

JRC SCIENCE AND POLICY REPORTS

# Najlepsze dostępne techniki (BAT)

## Dokument referencyjny w zakresie produkcji mas włóknistych, papieru i tektury

*Dyrektywa w sprawie emisji  
przemysłowych 2010/75/UE*

*(Zintegrowane zapobieganie  
zanieczyszczeniom i ich  
kontrola)*

Michael Suhr, Gabriele Klein, Ioanna  
Kourti, Miguel Rodrigo Gonzalo,  
Germán Giner Santonja, Serge Roudier,  
Luis Delgado Sancho

2015

Komisja Europejska

Wspólne Centrum Badawcze

Instytut Studiów Perspektyw Technologicznych

#### Kontakt

European IPPC Bureau

Adres: Joint Research Centre, Edificio Expo c/ Inca Garcilaso 3, E-41092  
Seville, Spain

E-mail: JRC-IPTS-EIPPCB@ec.europa.eu

Tel.: +34 95 4488 284

Fax: +34 95 4488 426

<http://eippcb.jrc.ec.europa.eu>

<https://ec.europa.eu/jrc/en/institutes/ipts>

#### Nota prawna

Zgodnie z decyzją Komisji z dnia 12 grudnia 2011 roku w sprawie ponownego wykorzystywania dokumentów Komisji (2011/833/UE), niniejszy dokument BREF jest przedmiotem swobodnego ponownego wykorzystania, z wyjątkiem części objętych prawami jakichkolwiek osób trzecich, które niniejszy dokument może zawierać (np. zdjęcia, tabele, dane, materiały pisemne, lub podobne, do których prawa muszą zostać nabyte oddzielnie od posiadaczy praw do ww. materiałów w celu ich dalszego wykorzystania). Komisja Europejska nie ponosi odpowiedzialności za jakiegokolwiek skutki wynikające z ponownego wykorzystania niniejszej publikacji. Każde ponowne wykorzystanie wymaga podania źródła i zachowania pierwotnego znaczenia treści lub przekazu.

Wszystkie zdjęcia © Unia Europejska 2015, z wyjątkiem: Zdjęcia ze strony tytułowej, od góry z lewej strony w dół prawej strony, są objęte prawami autorskimi: 1. © Fotolia.com – Inzyx; 2. © Fotolia.com –Moreno Soppelsa; 3. © Fotolia.com –EyeMark; 4. © Fotolia.com –itrija; 5. © Fotolia.com –Moreno Soppelsa; 6. © Fotolia.com –miket; 7. © Fotolia.com –hxdyl.

JRC95678

EUR 27235

EN

ISBN 978-92-79-48167-3 (PDF)

ISSN 1831-9424 (online)

doi:10.2791/370629

Luksemburg: Urząd Publikacji Unii Europejskiej, 2015

© Unia Europejska, 2015

Powielanie wymaga podania źródła publikacji.

---

## Streszczenie

Niniejszy dokument referencyjny BAT zatytułowany „Produkcja mas włóknistych, papieru i tektury” stanowi część serii prezentującej wyniki procesu wymiany informacji pomiędzy państwami członkowskimi UE, przedstawicielami gałęzi przemysłu, których dokument ten dotyczy oraz organizacjami pozarządowymi działającymi na rzecz ochrony środowiska a Komisją, prowadzonej w celu sporządzenia, dokonania przeglądu oraz, w stosownych przypadkach, uaktualnienia dokumentów referencyjnych BAT, zgodnie z wymogami art. 13 ust. 1 dyrektywy 2010/75/UE w sprawie emisji przemysłowych. Niniejszy dokument został opublikowany przez Komisję Europejską zgodnie z art. 13 ust. 6 wyżej wymienionej dyrektywy. Niniejszy dokument referencyjny BREF dotyczący produkcji mas włóknistych, papieru i tektury obejmuje działania określone w sekcjach 6.1 lit. a) i 6.1 lit. b) załącznika I do dyrektywy 2010/75/UE, czyli zintegrowaną i niezintegrowaną produkcję w instalacjach przemysłowych służących do:

- produkcji masy włóknistej z drewna lub innych materiałów włóknistych;
- produkcji tektury, o mocach wytwórczych przekraczających 20 ton dziennie.

W szczególności, dokument ten odnosi się do następujących procesów i działań:

- roztwarzanie chemiczne:
  - proces roztwarzania siarczanowego
  - proces roztwarzania siarczynowego
- wytwarzanie mas mechanicznych i chemo-mechanicznych
- przerób makulatury z odbarwianiem i bez odbarwiania
- wytwarzanie papieru i procesy z tym powiązane
- procesy zachodzące we wszystkich kotłach regeneracyjnych i piecach wapiennych wykorzystywanych w zakładach celulozowo-papierniczych.

Wśród ważnych kwestii dotyczących wdrażania dyrektywy 2010/75/UE w przemyśle produkcji mas włóknistych, papieru i tektury należy wymienić emisje do atmosfery tlenków azotu, tlenków siarki, pyłu, całkowitej siarki zredukowanej i amoniaku; emisje do wody węgla organicznego, zawiesin, azotu, fosforu i adsorbowanych, organicznie związanych chlorowców. Prezentowany dokument BREF składa się z dziewięciu rozdziałów. Rozdziały 1 i 2 zawierają ogólne informacje na temat przemysłu produkcji mas włóknistych, papieru i tektury, jak również procesów przemysłowych i technik stosowanych w całym sektorze. Rozdziały 3, 4, 5, 6 i 7 odnoszą się do poszczególnych sektorów: proces roztwarzania siarczanowego, proces roztwarzania siarczynowego, wytwarzanie mas mechanicznych i chemo-mechanicznych, przerób makulatury z odbarwianiem i bez odbarwiania oraz wytwarzanie papieru i procesy z tym powiązane. W każdym z pięciu wyżej wymienionych rozdziałów przedstawiono informacje i dane dotyczące stosowanych procesów i technik; wpływu instalacji na środowisko w odniesieniu do bieżących emisji, zużycia surowców, wody i energii oraz produkcji odpadów; technik stosowanych w celu wyeliminowania lub zmniejszenia wpływu instalacji na środowisko; oraz technik wschodzących. W rozdziale 8 przedstawiono konkluzje dotyczące najlepszych dostępnych technik w sektorze produkcji mas włóknistych, papieru i tektury, zgodnie z art. 3 ust. 12 dyrektywy. Rozdział 9 zawiera uwagi końcowe i zalecenia odnoszące się do prac prowadzonych w przyszłości w ramach omawianego sektora.

---

Dokument referencyjny dotyczący  
najlepszych dostępnych technik w  
zakresie produkcji mas włóknistych,  
papieru i tektury

Dyrektywa 2010/75/EU w sprawie emisji  
przemysłowych

Zintegrowane zapobieganie zanieczyszczeniom i ich  
kontrola

*Autorzy:*

Michael Suhr  
Gabriele Klein  
Ioanna Kourti  
Miguel Rodrigo Gonzalo  
Germán Giner Santonja  
Serge Roudier  
Luis Delgado Sancho

2015

EUR 27235 EN

---



## Podziękowania

Niniejszy raport został opracowany przez Europejskie Biuro ds. Zintegrowanego Zapobiegania Zanieczyszczeniom i ich Kontroli (EIPPCB) przy Wspólnotowym Centrum Badawczym Komisji Europejskiej – Instytucie Studiów Perspektyw Technologicznych (IPTS), pod nadzorem Pana Serge’a Roudiera (kierownika Europejskiego Biura IPPC) i Pana Luisa Delgado (kierownika działu „Zrównowazona Produkcja i Konsumpcja”).

Autorami niniejszego dokumentu referencyjnego BREF są Pan Michael Suhr, Pani Gabriele Klein, Pani Ioanna Kourti, Pan Miguel Rodrigo Gonzalo i Pan Germán Giner Santonja. Pan Michael Parth brał udział w reaktywacji Technicznej Grupy Roboczej i zainicjował przegląd niniejszego dokumentu referencyjnego BREF.

Niniejszy raport został sporządzony w ramach wdrażania dyrektywy w sprawie emisji przemysłowych (2010/75/UE) i odzwierciedla proces wymiany informacji prowadzony zgodnie z art. 13 tej dyrektywy.

Najwięcej informacji wykorzystanych w raporcie dostarczyły następujące podmioty:

- w ramach sektora: Konfederacja Europejskiego Przemysłu Papierniczego (CEPI);
- spośród organizacji pozarządowych działających na rzecz ochrony środowiska: Europejskie Biuro Ochrony Środowiska (EEB);
- spośród państw członkowskich UE: Austria, Dania, Finlandia, Francja, Niemcy, Włochy, Holandia, Polska, Portugalia, Hiszpania, Szwecja i Wielka Brytania;
- spośród poza-unijnych państw członkowskich EOG: Norwegia.

Cały zespół EIPPCB miał swój wkład w opracowanie niniejszego dokumentu i jego recenzowanie.

---

Niniejszy dokument jest jednym z serii przedstawionych poniżej przewidywanych dokumentów (nie wszystkie z poniższych były już dostępne w trakcie opracowywania niniejszego dokumentu):

<b>Dokument referencyjny dotyczący najlepszych dostępnych technik (BAT) dla</b>	<b>Kod</b>
Przemysłu ceramicznego	CER
Wspólnych systemów oczyszczania ścieków i gazów odlotowych oraz gospodarowania nimi w sektorze chemicznym	CWW
Emisje ze składowania	EFS
Efektywności energetycznej	ENE
Przemysłu przetwórstwa metali żelaznych	FMP
Przemysłu spożywczego, napojów i mleczarskiego	FDM
Przemysłowych systemów chłodzenia	ICS
Intensywnego chowu drobiu i świń	IRPP
Produkcji żelaza i stali	IS
Dużych obiektów energetycznego spalania	LCP
Wielkotonażowej produkcji związków nieorganicznych – amoniaku, kwasów u nawozów	LVIC-AAF
Wielkotonażowej produkcji związków nieorganicznych – stałych i innych	LVIC-S
Wielkotonażowej produkcji związków organicznych	LVOC
Gospodarki odpadami przeróbczymi i skałą płonną rud w górnictwie	MTWR
Przemysłu szklarskiego	GLS
Produkcji związków organicznych głęboko przetworzonych	OFC
Przemysłu metali nieżelaznych	NFM
Produkcji cementu, wapna i tlenku magnezu	CLM
Przemysłu chloro-alkalicznego	CAK
Produkcji polimerów	POL
<i>Produkcji mas włóknistych, papieru i tektury</i>	<i>PP</i>
Produkcji związków nieorganicznych specjalnego przeznaczenia	SIC
Rafinerii olejów mineralnych i gazu	REF
Rzeźni i przetwórstwa produktów ubocznych pochodzenia zwierzęcego	SA
Kuźni i odlewni	SF
Powierzchniowej obróbki metalu i materiałów z tworzyw sztucznych	STM
Obróbki powierzchniowej z wykorzystaniem rozpuszczalników organicznych	STS
Garbowania skór	TAN
Przemysłu tekstylnego	TXT
Spalanie odpadów	WI
Sektora przetwarzania odpadów	WT
Konserwacji drewna i produktów z drewna produktami chemicznymi	WPC
Produkcji płyt drewnopochodnych	WBP
<b>Dokument referencyjny</b>	
Gospodarka i wzajemne powiązania pomiędzy różnymi komponentami środowiska	ECM
Ogólne zasady monitorowania	MON

Elektroniczne wersje projektu i końcowych wersji wyżej wymienionych dokumentów są publiczne dostępne i mogą zostać pobrane ze strony: [HYPERLINK "http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/".](http://eippcb.jrc.ec.europa.eu/)

## WSTĘP

### 1. Status niniejszego dokumentu

O ile nie zaznaczono inaczej, termin ‘dyrektywa’ oznacza w niniejszym dokumencie dyrektywę Parlamentu Europejskiego i Rady nr 2010/75/EU w sprawie emisji przemysłowych (zintegrowane zapobieganie i ograniczanie zanieczyszczeń (wersja przekształcona).

Pierwotny dokument referencyjny BREF dotyczący najlepszych dostępnych technik (BAT) dotyczących produkcji mas włóknistych, papieru i tektury został przyjęty przez Komisję Europejską w 2001 r. Niniejszy dokument został opracowany na podstawie przeglądu pierwotnego dokumentu referencyjnego BREF. Przegląd został zapoczątkowany w kwietniu 2006 r.

Niniejszy dokument referencyjny dotyczący najlepszych dostępnych technik w zakresie produkcji mas włóknistych, papieru i tektury stanowi część serii prezentującej wyniki procesu wymiany informacji pomiędzy państwami członkowskimi UE, przedstawicielami gałęzi przemysłu, których dokument ten dotyczy oraz organizacjami pozarządowymi działającymi na rzecz ochrony środowiska a Komisją, prowadzonej w celu sporządzenia, dokonania przeglądu oraz, w stosownych przypadkach, uaktualnienia dokumentów referencyjnych BAT, zgodnie z wymogami art. 13 ust. 1 dyrektywy. Dokument ten został opublikowany przez Komisję Europejską zgodnie z art. 13 ust. 6 dyrektywy.

Zgodnie z art. 13 ust. 5 dyrektywy, decyzja wykonawcza Komisji 2014/687/UE w sprawie konkluzji dotyczących BAT zawartych w rozdziale 8, została przyjęta w dniu 26 września 2014 r. i opublikowana w dniu 30 września 2014 r.<sup>1</sup>

### 2. Podmioty uczestniczące w wymianie informacji

Zgodnie z wymogami art. 13 ust. 3 dyrektywy, Komisja ustanowiła forum w celu wspierania wymiany informacji. Członkami forum są przedstawiciele państw członkowskich, odpowiednich gałęzi przemysłu oraz organizacji pozarządowych działających na rzecz ochrony środowiska (decyzja Komisji z dnia 16 maja 2011 r. ustanawiająca forum wymiany informacji na mocy art. 13 dyrektywy 2010/75/UE w sprawie emisji przemysłowych (2011/C 146/03), Dz. U. C 146 z 17.05.2011 r., str. 3).

Członkowie forum wyznaczyli ekspertów technicznych tworzących techniczną grupę roboczą (TWG), który była głównym źródłem informacji wykorzystanych przy opracowywaniu niniejszego dokumentu. Pracami TWG kierowało Europejskie Biuro IPPC (Wspólnego Centrum Badawczego Komisji Europejskiej).

---

<sup>1</sup> Dz. U. L 284, 30.9.2014, str. 76.



### 3. Struktura i zawartość dokumentu

Rozdział 1, pkt od 2.1 do 2.8 rozdziału 2 i pierwsze sekcje rozdziałów 3 do 7 zawierają ogólne informacje dotyczące produkcji mas włóknistych, papieru i tektury oraz procesów przemysłowych stosowanych w tym sektorze.

Drugie sekcje rozdziałów 3 do 7 i pkt 2.6.2 zawierają dane i informacje dotyczące wpływu na środowisko wywieranego przez instalacje (czynne w trakcie opracowywania niniejszego dokumentu) wykorzystywane w sektorze, w zakresie bieżących emisji, zużycia i charakteru surowców, zużycia wody, wykorzystania energii oraz wytwarzania odpadów.

Punkt 2.9 oraz trzecie sekcje rozdziałów od 3 do 7 opisują bardziej szczegółowo techniki opracowane w celu zapobiegania lub, jeżeli nie jest to możliwe, zmniejszenia wpływu wywieranego na środowisko przez instalacje wykorzystywane w tym sektorze, które zostały uwzględnione w procesie identyfikacji najlepszych dostępnych technik. Informacje te dotyczą, w stosownych przypadkach, poziomów oddziaływania na środowisko (np. poziomów emisji i zużycia), które są możliwe do osiągnięcia dzięki stosowaniu tych technik, koniecznego monitorowania oraz kosztów i zagadnień odnoszących się do wzajemnych powiązań pomiędzy różnymi komponentami środowiska związanych z tymi technikami.

W rozdziale 8 przedstawiono konkluzje dotyczące najlepszych dostępnych technik stosowanych w sektorze zgodnie z art. 3 ust. 12 dyrektywy.

Czwarte sekcje rozdziałów od 3 do 7 przedstawiają informacje na temat ‘technik wschodzących’ w rozumieniu art. 3 ust. 14 dyrektywy.

Uwagi końcowe i zalecenia odnoszące się do prac, które będą prowadzone w przyszłości zostały przedstawione w rozdziale 9.

### 4. Źródła informacji i pochodzenie najlepszych dostępnych technik

Niniejszy dokument został opracowany na podstawie informacji uzyskanych z wielu źródeł, w szczególności od TWG, która została utworzona specjalnie w celu wymiany informacji, na mocy artykułu 13 dyrektywy.

Informacje zostały zebrane i ocenione przez Europejskie Biuro IPPC (Wspólnego Centrum Badawczego Komisji Europejskiej), które prowadziło prace w zakresie określania BAT, kierując się zasadami wiedzy technicznej, przejrzystości i neutralności. Autorzy są wdzięczni TWG i wszystkim pozostałym osobom za ich wkład w prace nad ustaleniem BAT.

Konkluzje dotyczące BAT zostały sformułowane w wyniku procesu iteracyjnego obejmującego następujące etapy:

- określenie kluczowych zagadnień dotyczących ochrony środowiska w przedmiotowym sektorze (np. emisji do wody, zwłaszcza obciążenia organicznego, zawiesiny ogólnej, itp.; emisji do powietrza z kotłów regeneracyjnych, pieców wapiennych lub obiektów energetycznego spalania wytwarzających parę i energię elektryczną; uciążliwości zapachowych i hałasu);
- zbadanie technik mających największe znaczenie w odniesieniu do tych kluczowych zagadnień;
- określenie poziomów emisji optymalnych dla środowiska, na podstawie dostępnych danych w Unii Europejskiej i na świecie;

- zbadanie warunków, w których te poziomy oddziaływania na środowisko zostały osiągnięte, takich jak koszty, oddziaływanie na procesy i środowisko oraz motywację do wdrażania określonych technik;
- wybór najlepszych dostępnych technik (BAT), związane z nimi poziomy emisji (i inne poziomy oddziaływania na środowisko) oraz ich monitorowanie w tym sektorze zgodnie z art. 3 ust. 10 dyrektywy i załącznikiem III do dyrektywy.

Opinie ekspertów z Europejskiego Biura IPPC i TWG odegrały kluczową rolę na każdym z tych etapów i miały wpływ na sposób przedstawienia informacji w niniejszym dokumencie.

Dostępne dane ekonomiczne zostały podane wraz z opisami technik omówionych w rozdziałach 3, 4, 5, 6 i 7. Dane te dają ogólne pojęcie o wysokości kosztów i skali uzyskiwanych korzyści. Jednak rzeczywiste koszty i korzyści wynikające z zastosowania danej techniki mogą zależeć w dużym stopniu od konkretnej sytuacji, w jakiej znajduje się dana instalacja, stąd nie można ich w pełni ocenić w niniejszym dokumencie. W przypadku braku danych odnoszących się do kosztów, wnioski dotyczące ekonomicznej użyteczności technik zostały sformułowane na podstawie obserwacji istniejących instalacji.

## **5. Przegląd dokumentów referencyjnych BREF dotyczących najlepszych dostępnych technik (BAT)**

BAT jest koncepcją dynamiczną, w związku z czym przegląd dokumentów referencyjnych BREF jest procesem ciągłym. Mogą się, na przykład, pojawić nowe środki i techniki, następuje ciągły rozwój w zakresie nauki i technologii, a w różnych gałęziach przemysłu wprowadzane są z powodzeniem nowe lub wschodzące procesy. W celu odzwierciedlenia tych zmian i ich wpływu na BAT, dokument ten będzie poddawany okresowym przeglądom oraz, jeśli zaistnieje taka konieczność, stosownym aktualizacjom.

## **6. Kontakt**

Wszystkie uwagi i sugestie należy kierować do Europejskiego Biura IPPC przy Instytucie Studiów Perspektyw Technologicznych na następujący adres:

European Commission  
Institute for Prospective Technological Studies  
European IPPC Bureau  
Edificio Expo  
c/ Inca Garcilaso, 3  
E-41092 Seville, Spain Tel.:  
+34 95 4488 284  
Faks: +34 95 4488 426  
E-mail: [JRC-IPTS-EIPPCB@ec.europa.eu](mailto:JRC-IPTS-EIPPCB@ec.europa.eu)  
Strona WWW: <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu>



# Dokument referencyjny dotyczący najlepszych dostępnych technik w zakresie produkcji mas włóknistych, papieru i tektury

WSTĘP i

ZAKRES xl

1	INFORMACJE OGÓLNE .....	1
1.2	Przegląd zagadnień związanych z produkcją mas włóknistych, papieru i tektury .....	5
1.3	Europejski rynek mas włóknistych .....	8
1.4	Europejski sektor papierniczy .....	17
1.5	Klasyfikacja zakładów celulozowo-papierniczych dla celów niniejszego dokumentu .....	24
1.6	Aspekty ekonomiczne i zatrudnienie w przemyśle celulozowo-papierniczym w UE .....	29
1.7	Główne zagadnienia związane z ochroną środowiska w odniesieniu do produkcji mas włóknistych i papieru .....	34
2	PROCESY I TECHNIKI WSPÓLNE DLA CAŁEGO SEKTORA CELULOZOWO-PAPIERNICZEGO .....	45
2.1	Zintegrowane i/lub wielo-produktowe zakłady celulozowo-papiernicze .....	46
2.1.1	<b>Definicja zakładu niezintegrowanego, zintegrowanego i wielo-produktowego....</b>	<b>46</b>
2.1.2	<b>Podjęcie proponowane w zakresie szacowania emisji generowanych przez zintegrowane zakłady celulozowo-papiernicze i/lub zakłady wielo-produktowe.....</b>	<b>50</b>
2.1.3	<b>Proponowana metoda oceny emisji dla poszczególnych ładunków ścieków.....</b>	<b>51</b>
2.2	Monitorowanie.....	53
2.2.1	<b>Ogólne aspekty monitorowania emisji z zakładów celulozowo-papierniczych .....</b>	<b>53</b>
2.2.1.1	Uwzględnione źródła emisji .....	54
2.2.1.2	Warunki operacyjne przewidziane w niniejszym dokumencie.....	55
2.2.1.3	Przetwarzanie danych.....	57
2.2.1.4	Prezentacja danych dotyczących emisji .....	57
2.2.2	<b>Opracowywanie danych dotyczących emisji z zakładów celulozowo-papierniczych</b>	<b>58</b>
2.2.2.1	Monitorowanie zrzutów ścieków .....	58
2.2.2.1.1	Punkty poboru próbek .....	58
2.2.2.1.2	Metody i ramy czasowe poboru próbek i częstotliwość analizy .....	59
2.2.2.1.3	Główne parametry i metody analityczne .....	63
2.2.2.1.4	Zależność pomiędzy mierzonymi stężeniami i obliczanymi ładunkami emisji.....	64
2.2.2.1.5	Kwestie szczególne mające wpływ na porównywalność danych dotyczących emisji	67
2.2.2.2	Monitorowanie emisji do atmosfery.....	67
2.2.2.2.1	Punkty poboru próbek .....	68
2.2.2.2.2	Pobór próbek i metody pomiarów ciągłych/okresowych .....	68
2.2.2.2.3	Główne parametry i metody analityczne .....	74
2.2.2.2.4	Warunki referencyjne .....	77
2.2.2.2.5	Wzajemne powiązanie między stężeniem i poszczególnymi ładunkami emisji.....	78
2.2.2.2.6	Pomiar emisji rozproszonych w celulozowniach siarczanowych.....	79
2.2.2.3	Monitorowanie odpadów stałych .....	81
2.3	Przyjmowanie, magazynowanie i obróbka materiałów włóknistych i przyjmowanie, magazynowanie i sposób postępowania z chemikaliami .....	83
2.3.1	<b>Obróbka drewna.....</b>	<b>83</b>
2.3.1.1	Czynności prowadzone na placu drzewnym .....	83
2.3.1.2	Korowanie.....	86

<b>2.3.2</b>	<b><i>Magazynowanie chemikaliów i dodatków chemicznych i sposób postępowania z tymi substancjami</i></b> .....	<b>87</b>
2.3.2.1	Stosowanie podstawowych chemikaliów i dodatków chemicznych .....	87
2.3.2.2	Przepisy UE dotyczące magazynowania, stosowania i postępowania z chemikaliami .....	93
2.3.2.3	Magazynowanie chemikaliów, postępowanie z nimi i ich transport .....	95
2.4	Zasilanie w wodę wykorzystywaną w ramach procesów i do chłodzenia .....	96
<b>2.4.1</b>	<b><i>Uzdatnianie wody surowej</i></b> .....	<b>96</b>
2.4.1.1	Uzdatnianie wody procesowej .....	96
2.4.1.2	Uzdatnianie wody zasilającej kotły .....	97
<b>2.4.2</b>	<b><i>Układy chłodzące i wykorzystanie wody chłodzącej</i></b> .....	<b>97</b>
2.4.2.1	Rodzaje systemów chłodzenia stosowanych w zakładach celulozowo-papierniczych .....	97
2.5	Zużycie energii w zakładach celulozowo-papierniczych.....	101
<b>2.5.1</b>	<b><i>Kwestie, które należy uwzględnić czytając zgłaszane dane dotyczące zużycia energii</i></b>	<b>102</b>
<b>2.5.2</b>	<b><i>Przykłady całkowitego zużycia energii procesowej w zakładach celulozowo-papierniczych</i></b> .....	<b>107</b>
<b>2.5.3</b>	<b><i>Wpływ instalacji procesowych na całkowite zużycie energii</i></b> .....	<b>112</b>
<b>2.5.4</b>	<b><i>Zużycie energii w związku z działaniami pomocniczymi</i></b> .....	<b>114</b>
2.6	Wytwarzanie pary wodnej i energii elektrycznej w zakładach celulozowo-papierniczych .....	117
<b>2.6.1</b>	<b><i>Procesy i techniki stosowane w zakresie energetycznego spalania</i></b> .....	<b>118</b>
2.6.1.1	Podstawowe paliwa wykorzystywane w ramach procesów i ich wstępna obróbka .....	119
2.6.1.2	Wytwarzanie energii.....	121
2.6.1.2.1	Instalacje wytwarzające parę .....	121
2.6.1.2.2	Instalacje kogeneracyjne (CHP) .....	122
2.6.1.2.3	Kotły ze złożem fluidalnym.....	126
<b>2.6.2</b>	<b><i>Bieżące emisje do atmosfery związane z wytwarzaniem pary wodnej i energii elektrycznej</i></b> .....	<b>129</b>
2.6.2.1	Emisje pyłu .....	129
2.6.2.2	Emisje SO <sub>2</sub> i innych zanieczyszczeń gazowych .....	131
2.6.2.3	Emisje NO <sub>x</sub> .....	132
2.6.2.4	Emisje CO .....	134
2.7	Oczyszczalnie ścieków .....	135
2.8	Przegląd pozostałości z procesu produkcji i odpadów stałych .....	142
2.9	Ogólne techniki do rozważenia przy ustalaniu BAT wspólnych dla wszystkich zakładów .....	144
<b>2.9.1</b>	<b><i>Systemy zarządzania środowiskowego (ang. Environment Management Systems – EMS)</i></b>	<b>145</b>
<b>2.9.2</b>	<b><i>Obróbka i przechowywanie surowców</i></b> .....	<b>148</b>
2.9.2.1	Zmniejszenie emisji generowanych w procesie obróbki drewna .....	148
2.9.2.2	Suche korowanie .....	150
2.9.2.3	Bezpieczne magazynowanie i postępowanie z chemikaliami i dodatkami chemicznymi .....	153
2.9.2.4	System oceny środowiskowej dla chemikaliów .....	154
2.9.2.5	Zastępowanie substancji potencjalnie niebezpiecznych substancjami bardziej bezpiecznymi .....	157

2.9.3	<i>Zoptymalizowana gospodarka wodna.....</i>	163
2.9.4	<i>Ocena środków optymalizacyjnych odnoszących się do obiegów wody przeprowadzona w z wykorzystaniem modelu .....</i>	169
2.9.5	<i>Analiza efektywności energetycznej, gospodarka energetyczna i audyty energetyczne.....</i>	175
2.9.6	<i>Zmniejszenie zużycia energii mające zastosowanie do wszystkich/większości rodzajów mas włóknistych i papieru.....</i>	180
2.9.6.1	Zmniejszanie zużycia energii cieplnej.....	181
2.9.6.1.1	<b>Odzysk ciepła z dmuchaw promieniowych stosowanych w systemach próżniowych.....</b>	181
2.9.6.1.2	<b>Stosowanie termosprężarek.....</b>	182
2.9.6.1.3	<b>Stosowanie izolacji przewodów rurowych transportujących parę i kondensat</b> 183	
2.9.6.1.4	<b>Suszenie biopaliw i osadów z wykorzystaniem nadmiaru ciepła.....</b>	184
2.9.6.1.5	<b>Dodatkowe środki służące zmniejszeniu zużycia energii cieplnej .....</b>	187
2.9.6.2	Zmniejszenie zużycia energii elektrycznej.....	188
2.9.6.2.1	<b>Energooszczędne systemy odwadniania próżniowego.....</b>	188
2.9.6.2.2	<b>Wykorzystywanie wysokosprawnych silników elektrycznych .....</b>	189
2.9.6.2.3	<b>Energooszczędne przetwornice częstotliwości do pomp, wentylatorów i sprężarek.....</b>	190
2.9.6.2.4	<b>Dodatkowe środki służące zmniejszeniu zużycia energii elektrycznej.....</b>	191
2.9.6.3	Skojarzona produkcja ciepła i energii elektrycznej.....	191
2.9.7	<i>Zmniejszenie emisji do atmosfery z kotłów opalanych paliwem wieloskładnikowym, biomasą i z kotłów pomocniczych.....</i>	197
2.9.7.1	Zmniejszanie emisji pyłu .....	198
2.9.7.2	Zmniejszanie emisji NO <sub>x</sub> .....	201
2.9.7.2.1	<b>Pierwotne środki zmniejszania redukcji NO<sub>x</sub> .....</b>	201
2.9.7.2.2	<b>Selektywna redukcja niekatalityczna (SNCR).....</b>	206
2.9.7.3	Zmniejszanie emisji SO <sub>2</sub> i innych zanieczyszczeń gazowych.....	210
2.9.8	<i>Zapobieganie, ograniczanie do minimum, odzysk i przetwarzanie pozostałości z procesów – ograniczanie do minimum ilości odpadów stałych przeznaczonych do składowania .....</i>	216
2.9.9	<i>Zmniejszanie emisji związanych ze stosowaniem środków chelatujących w technologiach wybielania opartych na stosowaniu nadtlenków.....</i>	227
2.9.10	<i>Zapewnienie sprawnego przebiegu procesów i ograniczenie do minimum przypadkowych uwolnień.....</i>	235
2.9.11	<i>Zmniejszanie ładunku zanieczyszczeń w ściekach .....</i>	237
2.9.11.1	Pierwszy stopień oczyszczania ścieków.....	237
2.9.11.2	Drugi stopień oczyszczania ścieków .....	238
2.9.11.2.1	<b>Biologiczne oczyszczanie ścieków metodą tlenową .....</b>	238
2.9.11.2.2	<b>Wstępne biologiczne oczyszczanie ścieków metodą beztlenową .....</b>	243
2.9.11.2.3	<b>Sterowanie pracą biologicznych oczyszczalni ścieków i zoptymalizowana podaż składników odżywczych.....</b>	246
2.9.11.2.4	<b>Techniki ograniczania ilości fosforu i azotu .....</b>	253
2.9.11.3	Trzeci stopień oczyszczania ścieków .....	253
2.9.11.3.1	<b>Strącanie chemiczne .....</b>	253

2.9.11.3.2	Nitryfikacja i denitryfikacja .....	254
2.9.11.3.3	Ozonowanie i biofiltracja .....	254
2.9.11.3.4	Dodatkowe techniki zmniejszania ilości zawiesiny ogólnej .....	254
2.9.12	<i>Zapobieganie ryzyku zanieczyszczenia w związku z wycofywaniem obiektu z eksploatacji</i> .....	256
2.9.13	<i>Zmniejszanie emisji hałasu</i> .....	262
2.9.14	<i>Ograniczanie emisji zapachów złownnych</i> .....	267
2.10	Ogólne tendencje występujące w sektorze celulozowo-papierniczym.....	273
3.1	Stosowane procesy i techniki .....	275
3.1.1	<i>Przyjęcie i magazynowanie drewna</i> .....	277
3.1.2	<i>Korowanie</i> .....	277
3.1.3	<i>Rozdrabnianie drewna na zrębki i sortowanie</i> .....	277
3.1.4	<i>Roztworzenie i delignifikacja</i> .....	277
3.1.5	<i>Mycie i sortowanie</i> .....	279
3.1.6	<i>Delignifikacja tlenowa</i> .....	280
3.1.7	<i>Bielenie</i> .....	281
3.1.8	<i>Sortowanie masy bielonej</i> .....	284
3.1.9	<i>Suszenie</i> .....	284
3.1.10	<i>Produkty uboczne procesu roztwarzania siarczanowego</i> .....	285
3.1.11	<i>System regeneracji chemikaliów i energii</i> .....	285
3.1.12	<i>Przygotowanie na miejscu chemikaliów do bielenia</i> .....	289
3.1.12.1	Dwutlenek chloru .....	289
3.1.12.2	Ozon.....	292
3.1.12.3	Inne chemikalia bielące .....	293
3.2	Obecne poziomy zużycia i emisji .....	294
3.2.1	<i>Przegląd wejście / wyjście dla produkcji masy celulozowej</i> .....	294
3.2.2	<i>Poziomy zużycia i emisji pochodzące z jednostek procesowych</i> .....	297
3.2.2.1	Zużycie drewna .....	297
3.2.2.2	Zużycie chemikaliów .....	297
3.2.2.3	Zużycie energii .....	299
3.2.2.4	Zużycie wody i przepływ ścieków .....	301
3.2.2.5	Emisje do wody .....	303
3.2.2.5.1	Ścieki z różnych etapów procesu .....	304
3.2.2.5.2	Główne parametry i poziomy emisji .....	307
3.2.2.5.3	Całkowite zrzuty ścieków po oczyszczeniu biologicznym .....	320
3.2.2.6	Emisje do atmosfery.....	325
3.2.2.6.1	Emisje do powietrza z kotła regeneracyjnego .....	326
3.2.2.6.2	Emisje do powietrza z pieca wapiennego .....	335
3.2.2.6.3	Emisje do powietrza z kotłów parowych lub elektrociepłowni .....	336
3.2.2.6.4	Gazy złoowne .....	337
3.2.2.6.5	Emisje LZO.....	339
3.2.2.6.6	Związki chloru z bielenia i przygotowania chemikaliów bielących .....	339
3.2.2.6.7	Całkowite emisje z procesu .....	340
3.2.2.6.7.1	Całkowite emisje siarkowe z procesu .....	340
3.2.2.6.7.2	Emisje NO <sub>x</sub> z głównych procesów .....	341
3.2.2.7	Odpady stałe.....	342

3.2.2.8	Hałas.....	345
3.2.2.9	Emisje do gleby i wód gruntowych.....	345
3.3	Techniki, które należy wziąć pod uwagę przy określaniu najlepszych dostępnych technik BAT.....	346
3.3.1	<b>Znaczenie gatunków drewna przy określaniu BAT dla celulozowni siarczanowych.....</b>	<b>346</b>
3.3.1.1	Kwestie ochrony środowiska w odniesieniu do procesu produkcji masy siarczanowej z drewna eukaliptusowego .....	347
3.3.2	<i>Suche korowanie.....</i>	<i>348</i>
3.3.3	<i>Modyfikowane roztworzenie przed bieleniem.....</i>	<i>348</i>
3.3.4	<i>Zamknięty proces sortowania.....</i>	<i>351</i>
3.3.5	<i>Delignifikacja tlenowa przed bieleniem.....</i>	<i>352</i>
3.3.6	<i>Nowoczesne bielenie ECF.....</i>	<i>355</i>
3.3.7	<i>Bielenie TCF.....</i>	<i>358</i>
3.3.8	<i>Częściowy recykling wody technologicznej w instalacji bielenia.....</i>	<i>361</i>
3.3.9	<i>Efektywne monitorowanie i gromadzenie przelewów z odpowiednim systemem odzysku.....</i>	<i>364</i>
3.3.10	<i>Skuteczne mycie masy niebielonej.....</i>	<i>367</i>
3.3.11	<i>Odpędzanie zanieczyszczonych kondensatów i ponowne użycie kondensatów w procesie.....</i>	<i>368</i>
3.3.12	<i>Zastosowanie wystarczająco dużych zbiorników buforowych do magazynowania stężonych lub gorących płynów procesowych.....</i>	<i>371</i>
3.3.13	<i>Biologiczne oczyszczanie ścieków metodą aerobową.....</i>	<i>372</i>
3.3.14	<i>Trzeci stopień oczyszczania ścieków z chemicznym strącaniem.....</i>	<i>382</i>
3.3.15	<i>Zbieranie stężonych i rozcieńczonych gazów złowonnych.....</i>	<i>384</i>
3.3.16	<i>Kontrola stężonych i słabych gazów niekondensujących w systemach oczyszczania o wysokiej dostępności.....</i>	<i>394</i>
3.3.16.1	<i>Spalanie stężonych i rozcieńczonych gazów złowonnych w kotle regeneracyjnym .....</i>	<i>397</i>
3.3.16.2	<i>Spalanie zebranych gazów złowonnych (stężonych i rozcieńczonych) w piecu wapiennym .....</i>	<i>398</i>
3.3.16.3	<i>Spalanie zebranych stężonych gazów złowonnych z użyciem oddzielnego palnika NCG wyposażonego w skruber do usuwania SO<sub>2</sub> .....</i>	<i>402</i>
3.3.17	<b>Redukcja emisji siarki (SO<sub>2</sub> i TRS) z kotła regeneracyjnego ługu czarnego 405</b>	
3.3.17.1	<i>Zwiększenie zawartości suchej substancji w ługu czarnym.....</i>	<i>405</i>
3.3.17.2	<i>Instalacja skruberów w kotle regeneracyjnym .....</i>	<i>412</i>
3.3.18	<b>Kontrola emisji NO<sub>x</sub> z kotłów regeneracyjnych ługu czarnego.....</b>	<b>415</b>
3.3.18.1	<i>Optymalna kontrola procesu spalania i kontrola czynników determinujących emisje NO<sub>x</sub>.....</i>	<i>415</i>
3.3.18.2	<i>Zoptymalizowane instalacje powietrza kotłów regeneracyjnych ługu czarnego .....</i>	<i>425</i>
3.3.19	<b>Redukcja emisji pyłów z kotła regeneracyjnego ługu czarnego.....</b>	<b>430</b>
3.3.19.1	<i>Elektrofiltry .....</i>	<i>430</i>
3.3.19.2	<i>Elektrofiltry przed mokrymi skruberami.....</i>	<i>436</i>
3.3.20	<b>Redukcja emisji siarki (SO<sub>2</sub> i TRS) z pieca wapiennego .....</b>	<b>439</b>
3.3.20.1	<i>Wybór paliwa i kontrola nadmiarowego tlenu .....</i>	<i>439</i>
3.3.20.2	<i>Instalacja lepszego mycia i filtracji szlamu wapiennego w kaustyzacji</i>	
	444	
3.3.20.3	<i>Użycie skrubera alkalicznego do oczyszczania gazów odlotowych...</i>	<i>445</i>



3.3.21	<b>Redukcja emisji NO<sub>x</sub> z pieca wapiennego</b> .....	446
3.3.21.1	Wybór paliw, optymalizacja spalania i kontroli pracy pieca .....	446
3.3.21.2	Instalacja palników niskiej emisji NO <sub>x</sub> w piecu wapiennym .....	451
3.3.22	<b>Redukcja emisji pyłów z pieca wapiennego</b> .....	452
3.3.22.1	Elektrofiltry .....	452
3.3.22.2	Elektrofiltry przed mokrymi skrubierami.....	456
3.3.23	<b>Zastąpienie paliw kopalnych używanych w piecu wapiennym</b> .....	457
3.3.24	<b>Redukcja emisji NO<sub>x</sub> z oddzielnych palników TRS</b> .....	460
3.3.24.1	Spalanie etapowe .....	460
3.3.25	<b>Redukcji emisji z kory lub kotłów wielopaliwowych</b> .....	462
3.3.26	<b>Zintegrowana koncepcja zarządzania odpadami</b> .....	462
3.3.27	<b>Środki dla poprawy efektywności energetycznej</b> .....	464
3.3.28	<b>Techniki redukcji hałasu</b> .....	470
3.4	Nowo powstające techniki .....	471
3.4.1	<b>Usprawnione wytwarzanie energii elektrycznej, produktów na bazie biomasy oraz wykorzystanie nadmiarowego ciepła</b> .....	471
3.4.2	<b>Zgazowywanie ługu czarnego</b> .....	474
3.4.3	<b>Selektywne usuwanie chlorku i potasu za pomocą oczyszczania popiołu przez ESP</b> .....	476
3.4.4	<b>Częściowa autokaustyzacja boranu</b> .....	476
3.4.5	<b>Proces SNCR lub SCR dla redukcji emisji NO<sub>x</sub> z kotła regeneracyjnego ługu czarnego</b> .....	478
3.4.6	<b>Usuwanie środków chelatujących za pomocą słabo alkalicznego oczyszczania biologicznego lub poprzez użycie technologii typu „nerki” (kidneys)</b> 479	
3.4.7	<b>Zwiększony stopień zamknięcia układu połączony ze stosowaniem technologii “nerek”</b> .....	481
4	PROCES ROZTWARZANIA SIARCZYNOWEGO .....	485
4.1	Stosowane procesy i techniki .....	486
4.1.1	<b>Główne grupy celulozowni siarczynowych w Europie</b> .....	487
4.1.1.1	Roztwarzanie wodorosiarczynowe do wytwarzania papieru .....	487
4.1.1.2	Proces przy użyciu metody magnefite.....	487
4.1.1.3	Masa celulozowa do przerobu chemicznego dla przemysłu tekstylnego .....	488
4.1.1.4	Specjalna masa celulozowa do zastosowań chemicznych.....	489
4.1.1.5	Masa celulozowa wytwarzana metodą NSSC.....	493
4.1.2	<b>Procesy i urządzenia techniczne</b> .....	495
4.1.3	<b>Procesy na linii masy</b> .....	498
4.1.3.1	Obróbka drewna.....	501
4.1.3.2	Warzenie i delignifikacja niebielonej masy celulozowej.....	501
4.1.3.3	Przesiewanie i płukanie niebielonej masy celulozowej.....	501
4.1.3.4	Delignifikacja tlenowa i bielenie.....	502
4.1.3.5	Końcowe przesiewanie i suszenie .....	504
4.1.4	<b>System odzyskiwania energii i substancji chemicznych</b> .....	505
4.1.5	<b>Przetwarzanie produktów ubocznych z roztwarzania siarczynowego</b> .....	507
4.1.6	<b>Przygotowywanie i przetwarzanie dwutlenku siarki i substancji chemicznych do bielenia</b> .....	510
4.2	Aktualne poziomy zużycia i emisji.....	514
4.2.1	<b>Przegląd mediów wejściowych/wyjściowych w przypadku produkcji</b>	

<i>masy celulozowej siarczynowej.....</i>	<i>514</i>
<b>4.2.2 Poziomy zużycia i emisji wynikające z działania linii technicznych ...</b>	<b>520</b>
4.2.2.1 Zużycie drewna .....	520
4.2.2.2 Zużycie chemikaliów .....	521
4.2.2.3 Zużycie energii .....	521
4.2.2.4 Strumień ścieków i emisje do wody .....	525
4.2.2.5 Emisje do powietrza .....	546
4.2.2.6 Wytwarzanie odpadów stałych.....	560
4.2.2.7 Hałas.....	562
<b>4.3 Techniki, które należy uwzględnić przy ustalaniu najlepszych dostępnych technik BAT.....</b>	<b>563</b>
<b>4.3.1 Korowanie na sucho.....</b>	<b>565</b>
<b>4.3.2 Rozszerzone zmodyfikowane warzenia przez bieleniem.....</b>	<b>565</b>
<b>4.3.3 Delignifikacja tlenowa przed bieleniem.....</b>	<b>567</b>
<b>4.3.4 Przesiewanie zamknięte masy bielonej.....</b>	<b>569</b>
<b>4.3.5 Wydajne mycie masy celulozowej.....</b>	<b>570</b>
<b>4.3.6 Wydajne monitorowanie wycieków i zanieczyszczeń, w tym również system odzyskiwania substancji chemicznych i energii.....</b>	<b>570</b>
<b>4.3.7 Bielenie bez użycia chloru.....</b>	<b>570</b>
<b>4.3.8 Bielenie wstępne, podczas którego jako zasadę stosuje się MgO i recyrkulacja płynów myjących z bielenia wstępnego do mycia masy celulozowej</b>	<b>573</b>
<b>4.3.9 Bielenie z obiegiem zamkniętym (w zakładzie siarczynowym, w którym stosuje się zasadę sodową oraz ultrafiltrację i separację) .....</b>	<b>575</b>
<b>4.3.10 Ograniczanie emisji w bielarni poprzez zastosowanie środków chelatujących na etapach z wykorzystaniem nadtlenu.....</b>	<b>577</b>
<b>4.3.11 Dopasowywanie poziomu pH słabego ługu przed/w instalacji do odparowywania.....</b>	<b>577</b>
<b>4.3.12 Wstępne oczyszczanie ścieków z etapów z wykorzystaniem tlenu w bielarni w instalacji ultrafiltracji a następnie tlenowe oczyszczanie wszystkich ścieków</b>	<b>578</b>
<b>4.3.13 Odparowywanie ścieków z etapu ekstrakcji alkalicznej na gorąco i spalanie koncentratów w kotle sodowym.....</b>	<b>582</b>
<b>4.3.14 Korzystanie ze zbiorników awaryjnych i buforowych na stężone płyny</b>	<b>585</b>
<b>4.3.15 Oczyszczanie beztlenowe kondensatów i wysoki ładunek ChZT w ściekach z bielarni.....</b>	<b>585</b>
<b>4.3.16 Biologiczne oczyszczanie tlenowe ścieków.....</b>	<b>588</b>
<b>4.3.17 Oczyszczania ścieków trzeciego stopnia – wytrącanie chemiczne....</b>	<b>610</b>
<b>4.3.18 Optymalizacja pracy kotła odzysknicowego poprzez regulowanie warunków spalania.....</b>	<b>610</b>
<b>4.3.19 Stopniowe wstrzykiwanie ługu powarzelnego.....</b>	<b>613</b>
<b>4.3.20 Selektywna redukcja niekatalityczna (wtrysk amoniaku lub mocznika) w kotle odzysknicowym.....</b>	<b>613</b>
<b>4.3.21 Filtr elektrostatyczny lub wielostopniowy cyklon i wielostopniowe płuczki Venturiego lub wielostopniowe, dwustronnie ssące skrubery wylotowe na kotle odzysknicowym.....</b>	<b>619</b>
<b>4.3.22 Wychwytywanie gazów o nieprzyjemnym zapachu i rozproszonych emisji SO<sub>2</sub> oraz proces spalania w kotle odzysknicowym lub mycia w płuczkach</b>	<b>629</b>
<b>4.3.23 Środki zapobiegające występowaniu niekontrolowanych warunków eksploatacyjnych oraz środki mające na celu ograniczenie konsekwencji</b>	

wypadków.....	633
4.3.24 <b>Ograniczanie zużycia energii (efektywność energetyczna).....</b>	<b>635</b>
4.3.25 <b>Techniki redukcji hałasu .....</b>	<b>637</b>
4.4 Nowe techniki .....	637
5 ROZTWARZANIE MECHANICZNE I CHEMOMECHANICZNE .....	638
5.1 Stosowane procesy i techniki .....	641
5.1.1 <b>Obróbka drewna.....</b>	<b>641</b>
5.1.2 <b>Roztwarzanie ścieru drzewnego .....</b>	<b>641</b>
5.1.2.1 <b>Rozdrabnianie .....</b>	<b>642</b>
5.1.3 <b>Rafinerowa masa mechaniczna.....</b>	<b>642</b>
5.1.4 <b>Roztwarzanie masy termomechanicznej.....</b>	<b>644</b>
5.1.5 <b>Roztwarzanie chemotermomechaniczne i chemomechaniczne.....</b>	<b>647</b>
5.1.6 <b>Sortowanie i oczyszczanie.....</b>	<b>649</b>
Rozwłóknianie odrzutu.....	650
5.1.7 <b>Bielenie masy mechanicznej.....</b>	<b>650</b>
5.2 Aktualne poziomy zużycia i emisji .....	654
5.2.1 <b>Przegląd mediów wejściowych/wyjściowych w przypadku produkcji masy mechanicznej i chemomechanicznej.....</b>	<b>654</b>
5.2.2 <b>Poziomy zużycia i emisji wynikające z działania linii technologicznych</b>	<b>658</b>
5.2.2.1 <b>Zużycie drewna .....</b>	<b>659</b>
5.2.2.2 <b>Zużycie wody .....</b>	<b>659</b>
5.2.2.3 <b>Strumień ścieków i emisje do wody .....</b>	<b>660</b>
5.2.2.4 <b>Emisje do powietrza .....</b>	<b>671</b>
5.2.2.5 <b>Wytwarzanie odpadów stałych.....</b>	<b>674</b>
5.2.2.6 <b>Zużycie chemikaliów .....</b>	<b>675</b>
5.2.2.7 <b>Zużycie energii .....</b>	<b>676</b>
5.2.2.8 <b>Hałas .....</b>	<b>682</b>
5.3 Techniki, które należy uwzględnić przy ustalaniu najlepszych dostępnych technik BAT.....	683
5.3.1 <b>Ograniczanie emisji z placu drzewnego.....</b>	<b>684</b>
5.3.2 <b>Korowanie na sucho.....</b>	<b>684</b>
5.3.3 <b>Minimalizacja strat odrzutu podczas usuwania zanieczyszczeń z procesu roztwarzania mechanicznego .....</b>	<b>684</b>
5.3.4 <b>Minimalizacja ilości odpadów i osadów odprowadzanych na składowisko poprzez ich spalanie z odzyskiwaniem energii.....</b>	<b>685</b>
Opis i główne korzyści środowiskowe.....	685
5.3.5 <b>Skuteczne mycie i sterowanie procesem.....</b>	<b>687</b>
5.3.6 <b>Recyrkulacja wody w zakładach celulozowo-papierniczych.....</b>	<b>688</b>
5.3.7 <b>Zamiana NaOH na Ca(OH)<sub>2</sub> lub Mg(OH)<sub>2</sub> jako alkalia do bielenia nadtlakiem.....</b>	<b>694</b>
5.3.8 <b>Oczyszczanie ścieków w zakładzie chemotermomechanicznym – zamykanie obiegów wody poprzez odparowywanie i spalanie koncentratu .....</b>	<b>695</b>
5.3.9 <b>Szeroki zakres odzysku wtórnej energii cieplnej rafinerów termomechanicznych i chemotermomechanicznych oraz ponowne wykorzystanie odzyskanej pary do suszenia papieru lub masy celulozowej.....</b>	<b>700</b>
5.3.10 <b>Optymalne pod względem emisji spalanie odpadów stałych i odzyskiwanie energii.....</b>	<b>704</b>
5.3.11 <b>Zastosowanie wystarczająco dużych zbiorników buforowych do magazynowania stężonych lub gorących cieczy produkcyjnych.....</b>	<b>707</b>
5.3.12 <b>Biologiczne oczyszczanie tlenowe ścieków.....</b>	<b>708</b>

5.4	Nowe techniki .....	715
5.4.1	<b>Nowe energooszczędne procesy termomechaniczne.....</b>	<b>715</b>
5.4.2	<b>Nowe energooszczędne procesy chemotermomechaniczne.....</b>	<b>716</b>
5.4.3	<b>Zastosowanie enzymów podczas rafinacji termomechanicznej.....</b>	<b>716</b>
6	PRZERÓB MAKULATURY .....	718
6.1	<b>Stosowane procesy i techniki.....</b>	<b>719</b>
6.1.1	Sortowanie, obróbka i składowanie makulatury.....	719
6.1.2	Główne procesy .....	720
6.1.3	Przykłady układów do przerobu makulatury.....	725
6.1.3.1	Papier i tektura opakowaniowa .....	725
6.1.3.2	Papier gazetowy oraz zwykłej klasy papier do drukowania i do pisania.....	727
6.1.3.3	Papier LWC/SC .....	729
6.1.3.4	Bibułka higieniczna .....	730
6.2	<b>Obecne poziomy zużycia i emisji w papierniach przerabiających makulaturę .....</b>	<b>734</b>
6.2.1	Przegląd wielkości wejściowych/wyjściowych w produkcji papieru z makulatury .....	734
6.2.2	Poziomy zużycia i emisji poszczególnych instalacji .....	738
6.2.2.1	Zużycie makulatury .....	738
6.2.2.2	Zużycie wody i strumień ścieków.....	739
6.2.2.3	Stosowanie dodatków chemicznych.....	745
6.2.2.4	Zapotrzebowanie na energię.....	746
6.2.2.5	Emisje ścieków .....	752
6.2.2.6	Wytwarzanie odpadów stałych.....	772
6.2.2.7	Emisje do atmosfery .....	776
6.2.2.8	Hałas i drgania z maszyn papierniczych.....	777
6.3	<b>Techniki, które należy uwzględnić przy określaniu najlepszych dostępnych technik.....</b>	<b>778</b>
6.3.1	Dobre gospodarowanie w czasie obróbki i składowania makulatury.....	779
6.3.2	Oddzielanie wody uszczelniającej i chłodzącej od zanieczyszczonej wody obiegowej i ponowne wykorzystanie tej wody.....	781
6.3.3	Optymalna gospodarka wodna, rozdzielanie i układ obiegów wodnych, strumienie przeciwapływu i wewnętrzne klarowanie wody.....	783
6.3.4	Zamknięte obiegi wodne z oczyszczaniem biologicznym wody obiegowej typu „in-line” .....	789
6.3.5	Usuwanie wapnia z wody obiegowej.....	792
6.3.6	Montaż zbiornika wyrównawczego i pierwotne oczyszczenie ścieków .....	794
6.3.7	Techniki beztlenowe jako pierwszy stopień biologicznego oczyszczania ścieków .....	794
6.3.8	Tlenowe oczyszczanie biologiczne ścieków.....	803
6.3.9	Skojarzone ozonowanie i biofiltracja .....	810
6.3.10	Przykłady energooszczędnych technik.....	815
6.3.10.1	Rozwłóknianie wysokostężeniowe jako metoda rozdrabniania makulatury na pojedyncze włókna .....	816
6.3.10.2	Energooszczędne techniki sortowania .....	818
6.3.10.3	Modernizacja instalacji do przygotowania masy w celu zmniejszenia zużycia energii i emisji .....	820

6.3.11	Klarowanie wody podsitowej .....	827
6.3.12	Zapobieganie powstawaniu warstw biologicznych i ich eliminacja przy użyciu metod minimalizujących emisje biocydów .....	828
6.3.13	Skuteczna obróbka i przetwarzanie (odwadnianie) odrzutów i osadów na miejscu .....	830
6.3.14	Przyjazna dla środowiska utylizacja odpadów i odzysk energii .....	834
6.4	<i>Nowe techniki</i> .....	850
7	<b>PAPIERNICTWO I PROCESY POKREWNE</b> .....	851
7.1	Stosowane procesy i techniki .....	852
7.1.1	<b>Przygotowanie masy</b> .....	852
7.1.2	<b>Maszyna papiernicza</b> .....	854
7.1.3	<b>Obiegi wodne i odzyskiwanie włókien</b> .....	859
7.1.4	<b>Układ braku własnego</b> .....	862
7.1.5	<b>Zaklejanie (fakultatywne)</b> .....	863
7.1.6	<b>Powlekanie (fakultatywne)</b> .....	865
7.1.7	<b>Barwienie papieru (fakultatywne)</b> .....	866
7.1.8	<b>Dodatki chemiczne</b> .....	867
7.1.9	<b>Kalandrowanie (fakultatywne)</b> .....	868
7.1.10	<b>Nawijanie / cięcie / wysyłka</b> .....	869
7.1.11	<b>Przykłady papierni niezintegrowanych w Europie</b> .....	870
7.1.11.1	Niepowlekane papiery bezdrzewne do drukowania i pisania.....	870
7.1.11.2	Powlekane papiery bezdrzewne do drukowania i pisania.....	870
7.1.11.3	Bibułki tissue .....	871
7.1.11.4	Papiery specjalne .....	874
7.1.11.5	Tektury .....	878
7.2	Obecne poziomy zużycia i emisji w papierni.....	880
7.2.1	<b>Przegląd danych wejściowych i wyjściowych dla produkcji papieru i tektury</b> 880	
7.2.2	<b>Poziomy zużycia i emisji</b> .....	887
7.2.2.1	Zużycie głównych surowców .....	888
7.2.2.2	Wykorzystanie wody .....	889
7.2.2.3	Stosowanie dodatków chemicznych .....	895
7.2.2.4	Zapotrzebowanie energii .....	898
7.2.2.5	Ścieki i emisje do ścieków .....	908
7.2.2.6	Powstawanie odpadów stałych .....	931
7.2.2.7	Emisje do atmosfery .....	933
7.2.2.8	Hałas z maszyn papierniczych (lokalny) .....	936
7.3	Techniki, które należy wziąć pod uwagę w ustalaniu BAT .....	938
7.3.1	<b>Gospodarka wodna i minimalizowanie zużycia wody do produkcji różnych rodzajów papieru</b> .....	939
7.3.2	<b>Ograniczenie potencjalnych negatywnych skutków ubocznych zamykania obiegu wodnych</b> .....	941
7.3.3	<b>Wewnętrzne oczyszczanie wody podsitowej przy użyciu filtracji membranowej i zwracanie do obiegu oczyszczonej wody produkcyjnej</b> .....	944
7.3.4	<b>Skuteczne odzyskiwanie włókien i wypełniaczy oraz układ braku własnego</b> 951	
7.3.5	<b>Odzyskiwanie mieszanek powlekających/zawracanie pigmentów</b> .....	953
7.3.6	<b>Wstępne oczyszczanie ścieków zawierających mieszanki powlekające</b>	

	959	
<b>7.3.7</b>	<b>Optymalne rozplanowanie i konstrukcja zbiorników.....</b>	<b>961</b>
<b>7.3.8</b>	<b>Pomiary i automatyzacja.....</b>	<b>963</b>
<b>7.3.9</b>	<b>Użycie chemikaliów.....</b>	<b>964</b>
<b>7.3.10</b>	<b>Instalacja zbiornika wyrównawczego i wstępne oczyszczanie ścieków</b>	<b>965</b>
<b>7.3.11</b>	<b>Tlenowe biologiczne oczyszczanie ścieków.....</b>	<b>966</b>
<b>7.3.12</b>	<b>III stopień oczyszczania – strącanie chemiczne .....</b>	<b>971</b>
<b>7.3.13</b>	<b>Odwadnianie i zagęszczanie osadu przed końcowym</b>	
	<b>unieszkodliwieniem lub termicznym przekształceniem.....</b>	<b>973</b>
<b>7.3.14</b>	<b>Zapobieganie powstawaniu, ponowne użycie i przetwarzanie</b>	
	<b>pozostałości produkcyjnych.....</b>	<b>975</b>
<b>7.3.15</b>	<b>Oszczędzanie energii w papiernictwie.....</b>	<b>975</b>
<b>7.3.15.1</b>	<b>Optymalizacja odwadniania w części prasowej maszyny papierniczej</b>	
	<b>(prasy o rozszerzonej strefie styku) .....</b>	<b>981</b>
<b>7.3.15.2</b>	<b>Zastosowanie wysokowydajnych rafinerów lub optymalizacja istniejących</b>	
	<b>rafinerów.....</b>	<b>985</b>
<b>7.3.15.3</b>	<b>Odzyskiwanie kondensatu parowego i zastosowanie efektywnych układów</b>	
	<b>odzyskiwania ciepła z powietrza odprowadzanego .....</b>	<b>986</b>
<b>7.4</b>	<b>Nowo powstające techniki.....</b>	<b>997</b>
<b>7.4.2</b>	<b>Wyrób papieru z gęstej masy (przetwarzaniu przy małej ilości wody)</b>	
	<b>1002</b>	
<b>7.4.3</b>	<b>Odzyskiwanie ciepła za pomocą pomp ciepła.....</b>	<b>1004</b>
<b>7.4.4</b>	<b>Narzędzia integracji całego zakładu.....</b>	<b>1006</b>
<b>8</b>	<b>NAJLEPSZE DOSTĘPNE TECHNIKI (BAT) – KONKLUZJE .....</b>	<b>1008</b>
	<b>Zakres</b>	<b>1008</b>
	<b>Uwagi ogólne .....</b>	<b>1009</b>
	<b>Poziomy emisji związane z BAT .....</b>	<b>1009</b>
	<b>Okresy uśrednienia dla emisji zanieczyszczeń do wody .....</b>	<b>1009</b>
	<b>Warunki referencyjne emisji zanieczyszczeń do atmosfery.....</b>	<b>1009</b>
	<b>Okresy uśrednienia dla emisji zanieczyszczeń do atmosfery.....</b>	<b>1010</b>
	<b>Definicje</b>	<b>1010</b>
<b>8.1</b>	<b>Ogólne konkluzje związane z BAT dla przemysłu papierniczego i celulozowego .....</b>	<b>1012</b>
<b>8.1.1.</b>	<b>System zarządzania środowiskowego .....</b>	<b>1012</b>
<b>8.1.2</b>	<b>Zarządzanie surowcami i dobre gospodarowanie.....</b>	<b>1013</b>
<b>8.1.3</b>	<b>Gospodarowanie wodą i ściekami.....</b>	<b>1014</b>
<b>8.1.4</b>	<b>Zużycie energii i wydajność.....</b>	<b>1015</b>
<b>8.1.5</b>	<b>Emisje zapachu .....</b>	<b>1016</b>
<b>8.1.6</b>	<b>Monitorowanie kluczowych parametrów procesów oraz emisji do wody i powietrza</b>	
	<b>.....</b>	<b>1017</b>
<b>8.1.7</b>	<b>Gospodarowanie odpadami .....</b>	<b>1019</b>
<b>8.1.8.</b>	<b>Emisje do wody.....</b>	<b>1019</b>
<b>8.1.9</b>	<b>Emisje hałasu .....</b>	<b>1020</b>
<b>8.1.10</b>	<b>Likwidacja.....</b>	<b>1021</b>
<b>8.2.1</b>	<b>Ścieki i emisje do wody .....</b>	<b>1021</b>
<b>8.2.2</b>	<b>Emisje do atmosfery.....</b>	<b>1022</b>
<b>8.2.2.1</b>	<b>Redukcja emisji w silnych i słabych cuchnących gazach.....</b>	<b>1022</b>
<b>8.2.2.2</b>	<b>Redukcja emisji z kotła odzysknicowego.....</b>	<b>1023</b>

8.2.2.3	Redukcja emisji z wapiennika.....	1025
8.2.2.4	Redukcja emisji z palnika do silnych gazów cuchnących (dedykowanego palnika TRS).....	1027
8.2.3	Generacja odpadów.....	1027
8.2.4	Zużycie energii i wydajność.....	1027
<b>8.3</b>	<b>Konkluzje BAT dotyczące procesu siarczynowego.....</b>	<b>1028</b>
8.3.1	Ścieki i emisje do wody.....	1028
8.3.2	Emisje do atmosfery.....	1030
8.3.3	Zużycie energii i wydajność.....	1032
<b>8.4</b>	<b>Konkluzje BAT dotyczące pulpowania mechanicznego i chemo-mechanicznego .....</b>	<b>1032</b>
8.4.2	Zużycie energii i wydajność.....	1034
<b>8.5</b>	<b>Konkluzje z obszaru BAT dotyczące przygotowania papieru do recyklingu .....</b>	<b>1034</b>
8.5.1	Zarządzanie materiałami.....	1034
8.5.2	Ścieki i emisje do wody.....	1035
8.5.3	Zużycie energii i wydajność.....	1036
<b>8.6</b>	<b>Konkluzje z obszaru BAT dotyczące produkcji papieru i związanych z tym procesów</b>	<b>1036</b>
8.6.1	Ścieki i emisje do wody.....	1037
8.6.2	Emisje do atmosfery.....	1039
8.6.3	Generowanie odpadów.....	1039
8.6.4	Zużycie energii i wydajność.....	1039
<b>8.7</b>	<b>Opis technik .....</b>	<b>1040</b>
8.7.1	Opis technik dla prewencji i kontroli emisji do atmosfery.....	1040
8.7.1.1	Pył.....	1040
8.7.1.2	NOx.....	1040
8.7.1.3	Prewencja i kontrola emisji SO <sub>2</sub> oraz całkowitej siarki zredukowanej.....	1041
8.7.2	Opis technik redukcji zużycia świeżej wody/przepływu ścieków oraz ładunku zanieczyszczeń w ściekach.....	1042
8.7.2.1	Techniki zintegrowane z procesem produkcji.....	1042
8.7.2.2	Oczyszczanie ścieków.....	1045
8.7.3	Opis technik zapobiegania generacji odpadów i gospodarki odpadami.....	1046
9	WNIOSKI KOŃCOWE I ZALECENIA DLA PRZYSZŁEJ PRACY .....	1048
10	ANEKSY.....	1051
<b>10.1</b>	<b>Aneks I: Określanie wielkości emisji dla specyficznych zrzutów ścieków ze zintegrowanych zakładów produkujących chemiczną masę celulozową lub/i zakładów wieloproduktowych .....</b>	<b>1051</b>
<b>10.2</b>	<b>Aneks II: Zmienność emisji w czasie.....</b>	<b>1056</b>
10.2.1	Zmienność emisji podczas różnych okresów referencyjnych.....	1056
10.2.2	Powody zmienności emisji i przeciwdziałanie.....	1060
GLOSARIUSZ.....		1062
<b>I.</b>	<b>Kody krajów ISO.....</b>	<b>1062</b>
<b>II.</b>	<b>Jednostki i współczynniki przeliczeniowe.....</b>	<b>1063</b>
<b>III.</b>	<b>Pierwiastki chemiczne.....</b>	<b>1063</b>
<b>IV.</b>	<b>Wzory chemiczne powszechnie stosowane w powyższym dokumencie.....</b>	<b>1064</b>
<b>V.</b>	<b>Skróty i definicje.....</b>	<b>1064</b>
Pulpa i definicje klasy papieru według CEPI.....		1074
BIBLIOGRAFIA.....		1077





## Spis rysunków

Rysunek 1.1 Zużycie papieru w poszczególnych regionach w 2007 r. ....	4
Rysunek 1.2 Proces produkcji papieru .....	6
Rysunek 1.3 Produkcja mas włóknistych w 2008 r. według regionów .....	8
Rysunek 1. 4 Całkowita produkcja mas włóknistych w Europie w 2008 r. według ich rodzajów (dotyczy krajów stowarzyszonych w ramach CEPI) .....	10
Rysunek 1.5 Produkcja mas włóknistych w Europie według ich rodzajów (dotyczy krajów stowarzyszonych w ramach CEPI) .....	11
Rysunek 1.6 Rozmieszczenie geograficzne celulozowni w Europie ze wskazaniem rozkładu wielkości produkcji .....	11
Rysunek 1. 7 Liczba celulozowni w Europie według wielkości produkcji w 1998 r. i 2008 r. (kraje stowarzyszone w ramach CEPI) .....	14
Rysunek 1. 8 Przepływy handlowe mas włóknistych importowanych do krajów europejskich stowarzyszonych w ramach CEPI i z nich eksportowanych w 2008 r. ....	14
Rysunek 1.9 Wykorzystanie makulatury w 18 krajach stowarzyszonych w ramach CEPI w 2008 r. ....	15
Rysunek 1.10 Import i eksport makulatury w Europie w 2008 r. ....	16
Rysunek 1.11 Produkcja papieru w 2008 r. według regionów w skali globalnej .....	17
Rysunek 1.12 Rozmieszczenie przemysłu papierniczego w Europie dla 18 krajów stowarzyszonych w ramach CEPI (2008 r.) .....	18
Rysunek 1.13 Liczba zakładów papierniczych w Europie w 2008 r. według ich zdolności produkcyjnych .....	21
Rysunek 1.14 Liczba zakładów papierniczych w krajach stowarzyszonych w ramach CEPI w 1998 r. i 2008 r. według ich zdolności produkcyjnych .....	22
Rysunek 1.15 Wielkość eksportu i importu papieru w Europie w 2008 r. (95% produkcji z krajów stowarzyszonych w ramach CEPI) .....	23
Rysunek 1.16 Klasyfikacja europejskich celulozowni i papierni dla celów niniejszego dokumentu, ze wskazaniem rozdziałów odnoszących się do poszczególnych rodzajów zakładów .....	25
Rysunek 1.17 Typowe wahania cen masy towarowej .....	30
Rysunek 1.18 Ewolucja całkowitego zatrudnienia w Europie (kraje stowarzyszone w ramach CEPI) w latach 1991-2008 .....	31
Rysunek 1.19 Struktura kosztów produkcji dla europejskiego rynku celulozowo-papierniczego w 2009 r. ....	32
Rysunek 1.20 Ewolucja zużycia poszczególnych zasobów i poziomów emisji (kg zanieczyszczeń na tonę produktu) w europejskim przemyśle celulozowo-papierniczym w latach 1990 - 2008....	34
Rysunek 1.21 Ewolucja zużycia poszczególnych zasobów i poziomów emisji w europejskim przemyśle celulozowo-papierniczym w latach 1990 – 2008 w wartościach bezwzględnych .....	35
Rysunek 1.22 Widziany z lotu ptaka zintegrowany zakład produkujący masę celulozową siarczanową, masę mechaniczną oraz papier, posiadający elektrownię i oczyszczalnię ścieków .	36
Rysunek 1.23 Zużycie surowców w produkcji papieru w latach 1991 – 2008 w krajach stowarzyszonych w ramach CEPI .....	38
Rysunek 1.24 Zużycie materiałów niewłóknistych w krajach stowarzyszonych w ramach CEPI w latach 1991 - 2008 .....	39
Rysunek 1.25 Udział poszczególnych nośników energii w zużyciu energii pierwotnej w europejskim przemyśle celulozowo-papierniczym w 2008 r. ....	40

Rysunek 2. 1 Przegląd różnych procesów prowadzonych w zakładzie wielo-produktowym ze wskazaniem miejsca, gdzie zostały one opisane w niniejszym dokumencie.....	48
Rysunek 2. 2 Różne formy opracowywania i raportowania danych dotyczących emisji z zakładów celulozowo-papierniczych.....	53
Rysunek 2. 3 Przykładowe przeliczenie stężenia danego zanieczyszczenia wody (mg/l) na dzienne ładunki emisji i poszczególne ładunki emisji oraz strumienie.....	65
Rysunek 2. 4 Przykładowe przeliczenie stężenia konkretnego zanieczyszczenia powietrza (mg/Nm <sup>3</sup> ) na konkretny współczynnik emisji (np. kg pyłu/ADt).....	78
Rysunek 2. 5 Przykład: Hałda zrębków na betonowej nawierzchni na terenie zakładu M-real Hallein AG.....	85
Rysunek 2. 6 Zużycie surowców w produkcji papieru i tektury w odniesieniu do światowej produkcji papieru w 2005 r. (procentowa zawartość w masie).....	87
Rysunek 2. 7 Udział w rynku chemikaliów specjalistycznych stosowanych w światowej produkcji papieru i tektury (procentowa zawartość w suchej masie).....	89
Rysunek 2. 8 Los dodatków chemicznych w procesie produkcji papieru na przykładzie biocydów.....	90
Rysunek 2. 9 Możliwości wykorzystania i odprowadzania wody chłodzącej.....	100
Rysunek 2. 10 Schemat podsystemów, które należy uwzględnić porównując bilanse energetyczne zakładów celulozowo-papierniczych.....	104
Rysunek 2. 11 Układ wodno-parowy w instalacji do wytwarzania czystej pary wodnej.....	122
Rysunek 2. 12 Przykład instalacji CHP w papierni/celulozowni.....	124
Rysunek 2. 13 Przykład bloku CCGT służącego jako blok kogeneracyjny eksploatowany w zakładzie posiadającym zarówno w turbinę parową przeciwpiętną jak i obieg pary wodnej nasyconej.....	125
Rysunek 2. 14 Różne koncepcje stosowania biologicznego oczyszczania ścieków dla różnych rodzajów papieru i uproszczone tendencje w odniesieniu do ładunków organicznych.....	137
Rysunek 2. 15 Główne techniki oczyszczania ścieków z zakładów celulozowo-papierniczych oraz zakresy stężeń dla odpowiednich zastosowań.....	138
Rysunek 2. 16 Ciągłe doskonalenie w modelu EMS.....	145
Rysunek 2. 17 Pragmatyczne podejście do oceny ilości trudno biodegradowalnych dodatków, której można się spodziewać w ściekach z papierni po oczyszczeniu.....	158
Rysunek 2. 18 Schemat przedstawiający los dodatków chemicznych w procesie produkcji papieru uwzględniając oczyszczanie poza zakładem.....	159
Rysunek 2. 19 Środki służące zmniejszeniu zużycia wody i ładunku zanieczyszczeń odprowadzanych do środowiska.....	165
Rysunek 2. 20 Podejście oparte na analizie danych i symulacji.....	171
Rysunek 2. 21 Systematyczna ocena i poprawa wykorzystania energii w papierniach.....	176
Rysunek 2. 22 Metoda gospodarowania energią pozwalająca na ciągłe monitorowanie i optymalizację jej wykorzystania.....	178
Rysunek 2. 23 Schemat działania termosprężarki.....	182
Rysunek 2. 24 Wzajemna zależność pomiędzy wydajnością paliwa i wybranym współczynnikiem ciepła do energii elektrycznej dla instalacji CCGT.....	193
Rysunek 2. 25 Średnie dobowe wartości emisji odnoszące się do kotła z bąbelkowym złożem fluidalnym wyposażonym w system SNCR, eksploatowanym w celulozowni KRAFT SE 1 ....	208
Rysunek 2. 26 Schemat blokowy przedstawiający kocioł fluidalny ze złożem cyrkulacyjnym eksploatowany w zakładzie UPM-Kymmene, Austria.....	214

Rysunek 2. 27	Możliwe drzewo decyzyjne odnoszące się do gospodarowania odpadami z papierni .....	217
Rysunek 2. 28	Możliwości odzysku materiałów z pozostałości powstających w papierni i czynniki określające wybór metody przetwarzania.....	219
Rysunek 2. 29	Trójkąt paliwowy dla odpadów i pozostałości generowanych w przemyśle papierniczym (dostarczony przez IFP) .....	223
Rysunek 2. 30	Poziomy emisji w zależności od przebiegu procesów w zakładzie .....	235
Rysunek 2. 31	Uproszczony schemat oczyszczalni ścieków pracującej z wykorzystaniem łączonej technologii beztlenowo-tlenowej.....	244
Rysunek 3. 1	Przegląd procesów celulozowni siarczanowej.....	275
Rysunek 3. 2	Warnik ciągłego działania .....	279
Rysunek 3. 3	Obiegi regeneracji chemikaliów dla celulozowni siarczanowej .....	286
Rysunek 3. 4	Przegląd strumieni masowych w celulozowni masy siarczanowej.....	294
Rysunek 3. 5	Właściwy przepływ ścieków w celulozowni masy siarczanowej bielonej .....	301
Rysunek 3. 6	Właściwy przepływ ścieków w celulozowni masy siarczanowej niebielonej .....	302
Rysunek 3. 7	Emisje do wody z celulozowni siarczanowej .....	303
Rysunek 3. 8	Emisje AOX z celulozowni masy siarczanowej bielonej .....	308
Rysunek 3. 9	Wartości krótkoterminowe emisji AOX dla masy bielonej i niebielonej .....	308
Rysunek 3. 10	Emisje fosforu ogólnego w celulozowniach masy siarczanowej bielonej .....	310
Rysunek 3. 11	Emisje fosforu ogólnego w celulozowniach masy siarczanowej niebielonej .....	311
Rysunek 3. 12	Wartości krótkoterminowe emisji P-og dla celulozowni masy siarczanowej bielonej i niebielonej .....	312
Rysunek 3. 13	Emisje azotu ogólnego w celulozowniach masy siarczanowej bielonej .....	313
Rysunek 3. 14	Emisje azotu ogólnego w celulozowniach masy siarczanowej niebielonej .....	314
Rysunek 3. 15	Wartości krótkoterminowe emisji N-og dla celulozowni masy siarczanowej bielonej i niebielonej .....	315
Rysunek 3. 16	Poziom emisji zawiesiny ogólnej z celulozowni masy siarczanowej bielonej po biologicznym oczyszczeniu i usunięciu biomasy .....	317
Rysunek 3. 17	Poziom emisji zawiesin z celulozowni masy siarczanowej niebielonej po biologicznym oczyszczeniu i usunięciu biomasy .....	318
Rysunek 3. 18	Wartości krótkoterminowe emisji TSS dla celulozowni masy siarczanowej bielonej i niebielonej.....	319
Rysunek 3. 19	Emisje ChZT z celulozowni masy siarczanowej bielonej po oczyszczeniu biologicznym.....	320
Rysunek 3. 20	Emisje ChZT z celulozowni masy siarczanowej niebielonej po oczyszczeniu biologicznym.....	321
Rysunek 3. 21	Wartości krótkoterminowe emisji ChZT dla celulozowni masy siarczanowej bielonej i niebielonej .....	322
Rysunek 3. 22	Wartości krótkoterminowe emisji BZT dla celulozowni masy siarczanowej bielonej i niebielonej .....	323
Rysunek 3. 23	Emisje do wody z celulozowni siarczanowych .....	325
Rysunek 3. 24	Podstawowe reakcje chemiczne w kotle regeneracyjnym .....	328
Rysunek 3. 25	Uprozczone ścieżki reakcji azotu z ługu czarnego.....	330
Rysunek 3. 26	Ładunki NOX z kotłów regeneracyjnych celulozowni siarczanowych .....	332
Rysunek 3. 27	Stężenia NOX z kotłów regeneracyjnych w celulozowniach siarczanowych.....	333

Rysunek 3. 28 Przykładowy rozkład wielkości cząstek pyłu z kotłów regeneracyjnych mierzony przed elektrofiltrami .....	334
Rysunek 3. 29 Łączny ładunek emisji S (w kg S/ADt) z głównych procesów (kocioł regeneracyjny, piec wapienny, palnik NCG), w tym niezgromadzone lub nieoczyszczone gazy słabe.....	340
Rysunek 3. 30 Całkowite emisje NO <sub>x</sub> (jako NO <sub>2</sub> /ADt) z głównych procesów (kocioł regeneracyjny, piec wapienny, palnik NCG).....	342
Rysunek 3. 31 Trendy liczby kappa w fińskich celulozowniach masy siarczanowej.....	350
Rysunek 3. 32 Jedno-stopniowa delignifikacja tlenem.....	353
Rysunek 3. 33 Dwu-stopniowa delignifikacja tlenem .....	353
Rysunek 3. 34 Przykład koncepcji instalacji bielenia o małej objętości ścieków i małym ładunkiem ChZT .....	363
Rysunek 3. 35 Stężenie ChZT w ściekach z celulozowni masy siarczanowej bielonej po oczyszczeniu biologicznym dla różnych okresów odniesienia.....	374
Rysunek 3. 36 Ładunek ChZT w ściekach z celulozowni masy siarczanowej bielonej po oczyszczeniu biologicznym dla różnych okresów odniesienia.....	375
Rysunek 3. 37 Stężenia TSS, BZT <sub>5</sub> , N <sub>nieorganiczny</sub> w ściekach z celulozowni siarczanowych po oczyszczeniu biologicznym dla różnych okresów odniesienia.....	377
Rysunek 3. 38 Ładunek ChZT w ściekach z celulozowni masy siarczanowej niebielonej po oczyszczeniu biologicznym dla różnych okresów odniesienia (KRAFT SE 1).....	379
Rysunek 3. 39 Systemy oczyszczania i zbierania silnych gazów złowonnych (celulozownia Botnia Rauma).....	385
Rysunek 3. 40 Systemy oczyszczania i zbierania silnych gazów złowonnych (celulozownia Botnia Joutseno).....	386
Rysunek 3. 41 Oczyszczanie i zbieranie rozcieńczonych gazów złowonnych na linii produkcyjnej masy włóknistej (celulozownia Botnia Rauma) .....	387
Rysunek 3. 42 Zbieranie i oczyszczanie lekkich gazów złowonnych z obszaru parowania i obszaru gotowania oleju talowego (celulozownia Botnia Rauma).....	388
Rysunek 3. 43 Zbieranie i oczyszczanie słabych gazów złowonnych z obszaru kaustyzacji (celulozownia Botnia Rauma) .....	390
Rysunek 3. 44 Przykład systemu oczyszczania CNCG .....	395
Rysunek 3. 45 Przykład systemu oczyszczania DNCG.....	396
Rysunek 3. 46 Przykładowe wymagania dla pozwolenia i osiągnięta dostępność systemu oczyszczania gazów złowonnych .....	400
Rysunek 3. 47 Emisje do atmosfery z oddzielnego palnika TRS wyposażonego w skruber.....	403
Rysunek 3. 48 Stężenia emisji SO <sub>2</sub> i ładunki z kotłów regeneracyjnych z różną zawartością suchej substancji (%) w ługu czarnym i różnym wykorzystaniem drewna iglastego/liściastego .....	407
Rysunek 3. 49 Stężenia emisji TRS-S i ładunki z kotłów regeneracyjnych z różną zawartością suchej substancji (%) w ługu czarnym i różnym wykorzystaniem drewna iglastego/liściastego	407
Rysunek 3. 50 Emisje gazowe S z kotłów regeneracyjnych z analogiczną zawartością suchej substancji (%) w ługu czarnym, stężenia SO <sub>2</sub> i przepływ gazów odlotowych .....	408
Rysunek 3. 51 Mierzone w sposób ciągły dziennie średnie dane dla emisji SO <sub>2</sub> z kotła regeneracyjnego .....	409
Rysunek 3. 52 Emisje SO <sub>2</sub> z kotła regeneracyjnego jako średnia krótkoterminowa .....	410
Rysunek 3. 53 Emisje TRS z kotła regeneracyjnego jako średnia krótkoterminowa .....	411
Rysunek 3. 54 Skruber gazów odlotowych dla kotłów regeneracyjnych .....	413

Rysunek 3. 55 Mierzone w sposób ciągiel dziennie średnie dane dla emisji SO <sub>2</sub> z kotła regeneracyjnego wyposażonego w ESP i skruber .....	414
Rysunek 3. 56 Kompletny widok kotła i schematyczny widok dolnej i środkowej części pieca kotła regeneracyjnego w celulozowni siarczanowej.....	416
Rysunek 3. 57 Emisje NO <sub>x</sub> (kg NO <sub>2</sub> /ADt) z kotłów regeneracyjnych jako funkcja zawartości suchej substancji w ługu czarnym (%) .....	417
Rysunek 3. 58 Związek między stężeniem CO i emisjami NO <sub>x</sub> z kotłów regeneracyjnych ługu czarnego .....	418
Rysunek 3. 59 Związek między zawartością N w ługu czarnym (%), a emisjami NO <sub>x</sub> z kotłów regeneracyjnych .....	419
Rysunek 3. 60 Stężenie NO <sub>x</sub> (jako NO <sub>2</sub> ), przy 6% O <sub>2</sub> z kotłów regeneracyjnych ługu czarnego .....	420
Rysunek 3. 61 Emisje NO <sub>x</sub> z kotłów regeneracyjnych ługu czarnego .....	421
Rysunek 3. 62 Średnie dzienne wartości NO <sub>x</sub> i CO w ciągu całego roku z kotła regeneracyjnego ługu czarnego .....	422
Rysunek 3. 63 Emisje NO <sub>x</sub> z kotła regeneracyjnego jako średnia krótkoterminowa.....	423
Rysunek 3. 64 Emisje CO z kotła regeneracyjnego jako średnia krótkoterminowa .....	424
Rysunek 3. 65 Mierzone w sposób ciągiel średnie dzienne dane dla emisji NO <sub>x</sub> i CO kotła regeneracyjnego ługu czarnego .....	427
Rysunek 3. 66 Mierzone w sposób ciągiel dziennie średnie dane dla emisji NO <sub>x</sub> i CO z kotła regeneracyjnego w celulozowni Södra Värö .....	429
Rysunek 3. 67 Średnioroczne stężenie emisji pyłów z kotłów regeneracyjnych po ESP i ESP z mokrym skruberem .....	431
Rysunek 3. 68 Mierzone w sposób ciągiel dziennie średnie wartości dla emisji pyłów za ESP kotła regeneracyjnego .....	432
Rysunek 3. 69 Emisje pyłów z kotła regeneracyjnego jako średnia krótkoterminowa.....	433
Rysunek 3. 70 Średnioroczne ładunki emisji pyłów z kotłów regeneracyjnych po ESP i ESP z mokrym skruberem .....	434
Rysunek 3. 71 Mierzone w sposób ciągiel dziennie średnie wartości dla emisji pyłów za ESP kotła regeneracyjnego .....	438
Rysunek 3. 72 Stężenia emisji TRS i SO <sub>2</sub> z pieców wapiennych opalanych różnymi paliwami. 440	
Rysunek 3. 73 Ładunki emisji TRS i SO <sub>2</sub> z pieców wapiennych opalanych różnymi paliwami. 441	
Rysunek 3. 74 Emisje SO <sub>2</sub> z pieców wapiennych jako średnie krótkoterminowe.....	442
Rysunek 3. 75 Emisje TRS z pieców wapiennych jako średnie krótkoterminowe.....	443
Rysunek 3. 76 Stężenia emisji NO <sub>x</sub> z pieców wapiennych dla różnych paliw .....	447
Rysunek 3. 77 Ładunki emisji NO <sub>x</sub> z pieców wapiennych dla różnych paliw.....	448
Rysunek 3. 78 Emisje NO <sub>x</sub> z pieców wapiennych jako średnie krótkoterminowe .....	449
Rysunek 3. 79 Emisje z pieców wapiennych jako średnie krótkoterminowe .....	450
Rysunek 3. 80 Stężenia emisji pyłów z pieców wapiennych, w tym techniki ograniczania emisji pyłów.....	453
Rysunek 3. 81 Ładunki emisji pyłów z pieców wapiennych, w tym techniki ograniczania emisji pyłów.....	453
Rysunek 3. 82 Mierzone w sposób ciągiel dziennie średnie wartości dla emisji pyłów za ESP pieca wapiennego .....	454
Rysunek 3. 83 Emisje z pieców wapiennych jako średnie krótkoterminowe .....	455

Rysunek 3. 84 Dzielne średnie wartości z całego roku dla emisji pyłów z pieca wapiennego wyposażonego w ESP i mokry skrubler (uwzględniono emisje CO) .....	456
Rysunek 3. 85 Stężenia emisji NO <sub>x</sub> z oddzielnego palnika TRS .....	460
Rysunek 3. 86 Ładunki emisji NO <sub>x</sub> z oddzielnego palnika TRS .....	461
Rysunek 3. 87 Ścieżki biorafinerii leśnej .....	472
Rysunek 3. 88 Odzyskiwanie środków chelatujących z filtratów z instalacji bielenia za pomocą technologii „nerek” .....	480
Rysunek 4. 1 Przebieg procesu w zakładzie siarczynowym produkującym specjalną masę celulozową i różne inne produkty w oparciu o konwersję ługu powarzelnego siarczynowego... 491	
Rysunek 4. 2 Schemat produkcyjny zakładu stosującego metodę NSSC z Europy (300 000 t/rok) z jednostkami odzyskiwania substancji chemicznych i energii .....	494
Rysunek 4. 3 Widok z lotu ptaka na zintegrowany zakład produkcji masy siarczynowej produkujący cienki papier powlekany, w tym na elektrownię (w środku) i oczyszczalnię ścieków (z tyłu po prawej) .....	495
Rysunek 4. 4 Główne procesy służące do wytwarzania masy celulozowej siarczynowej magnezowej ukazujące działania na linii masy oraz odzyskiwanie energii i substancji chemicznych.....	496
Rysunek 4. 5 Typowa linia masy w celulozowni siarczynowej, w której produkuje się masę celulozową do produkcji papieru.....	499
Rysunek 4. 6 Przykładowy filtr do płukania (z lewej) i instalacja do mycia i prasowania (z prawej) podczas procesu mycia masy celulozowej .....	502
Rysunek 4. 7 Sortownik ciśnieniowy do końcowego przesiewania .....	505
Rysunek 4. 8 Cykle odzyskiwania substancji chemicznych i energii w przypadku zakładu siarczynowego bazującego na magnezie .....	506
Rysunek 4. 9 Podstawowa zasada przepływu masy celulozowej i ługu powarzelnego w zakładach stosujących koncepcję biorafinerii .....	508
Rysunek 4. 10 Schemat produkcji drożdży paszowych i separacji lignosulfoniany z ługu powarzelnego siarczynowego.....	509
Rysunek 4. 11 Przygotowanie dwutlenku chloru metodą Kestinga.....	512
Rysunek 4. 12 Ogólny zarys strumieni masowych materiałów wsadowych i produktów powstających w celulozowni siarczynowej .....	515
Rysunek 4. 13 Główne źródła emisji do wody z procesu roztwarzania siarczynowego.....	525
Rysunek 4. 14 Ścieki odprowadzane (średniorocznie) z różnych celulozowni siarczynowych ..	527
Rysunek 4. 15 Średnie wartości roczne indywidualnych ładunków ChZT z celulozowni siarczynowych (wyłączając zakłady stosujące metodę NSSC) .....	529
Rysunek 4. 16 Średnie wartości roczne indywidualnych ładunków ChZT w celulozowniach stosujących metodę NSSC.....	530
Rysunek 4. 17 Średnie wartości krótkoterminowe dotyczące emisji ChZT z celulozowni siarczynowych.....	532
Rysunek 4. 18 Średnie wartości krótkoterminowe dotyczące emisji BZT z celulozowni siarczynowych.....	533
Rysunek 4. 19 Średnie wartości roczne indywidualnych ładunków zawiesiny ogółem z celulozowni siarczynowych (wyłączając zakłady stosujące metodę NSSC).....	534
Rysunek 4. 20 Średnie wartości roczne emisji zawiesiny ogółem z celulozowni stosujących metodę NSSC.....	535

Rysunek 4. 21 Średnie wartości krótkoterminowe dotyczące emisji zawiesiny ogółem z celulozowni siarczynowych.....	536
Rysunek 4. 22 Średnie wartości roczne emisji P łącznie z celulozowni siarczynowych (wyłączając zakłady stosujące metodę NSSC).....	537
Rysunek 4. 23 Średnie wartości roczne emisji P łącznie z celulozowni stosujących metodę NSSC .....	538
Rysunek 4. 24 Średnie wartości krótkoterminowe dotyczące emisji P łącznie z celulozowni siarczynowych.....	539
Rysunek 4. 25 Średnie wartości roczne emisji N łącznie z celulozowni siarczynowych (wyłączając zakłady stosujące metodę NSSC).....	540
Rysunek 4. 26 Średnie wartości roczne dotyczące emisji N łącznie z celulozowni stosujących metodę NSSC .....	541
Rysunek 4. 27 Średnie wartości krótkoterminowe dotyczące emisji N łącznie z celulozowni siarczynowych.....	542
Rysunek 4. 28 Średnie wartości roczne ładunków AOX z celulozowni siarczynowych (wyłączając zakłady stosujące metodę NSSC).....	543
Rysunek 4. 29 Średnie wartości krótkoterminowe dotyczące emisji AOX z celulozowni siarczynowych.....	545
Rysunek 4. 30 Przykładowe wychwytywanie gazów zawierających dwutlenek siarki i gazów o nieprzyjemnym zapachu oraz ich oczyszczanie .....	547
Rysunek 4. 31 Przykładowe emisje SO <sub>2</sub> z kotłów odzysknicowych w przypadku „działania normalnego” i „trybu pracy z użyciem kwasu” .....	550
Rysunek 4. 32 Emisje SO <sub>2</sub> z kotła odzysknicowego .....	551
Rysunek 4. 33 Emisje SO <sub>2</sub> z kotła odzysknicowego jako średnie wartości krótkoterminowe ...	552
Rysunek 4. 34 Emisje pyłu z kotła odzysknicowego jako wartości roczne.....	553
Rysunek 4. 35 Emisje NO <sub>x</sub> z kotła odzysknicowego jako wartości roczne .....	554
Rysunek 4. 36 Emisje NO <sub>x</sub> z kotła odzysknicowego jako średnie wartości krótkoterminowe...	555
Rysunek 4. 37 Emisje CO z kotła odzysknicowego jako wartości roczne .....	556
Rysunek 4. 38 Emisje CO z kotła odzysknicowego jako średnie wartości krótkoterminowe .....	557
Rysunek 4. 39 Przykładowa linia masy z delignifikacją tlenową, w tym również wartości ekstraktu ChZT i chlorku metylenu przed i po delignifikacji tlenowej .....	567
Rysunek 4. 40 Obieg zamknięty w ramach bielenia wstępnego przy użyciu MgO jako zasady (M-real Hallein, AT) .....	574
Rysunek 4. 41 System ultrafiltracji w celulozowni produkującej masę celulozową do przerobu chemicznego, Domsjö Fabriker AB, SE.....	576
Rysunek 4. 42 Schemat technologiczny zastosowania instalacji do ultrafiltracji w celulozowni Nymölla.....	579
Rysunek 4. 43 Uproszczony schemat odparowywania i spalania ścieków z etapu EOP.....	583
Rysunek 4. 44 Przykładowy ładunek substancji organicznych i skuteczności ich usuwania w ramach beztlenowego i tlenowego oczyszczania ścieków w Sappi Fine Paper Europe .....	586
Rysunek 4. 45 Schemat technologiczny oczyszczalni ścieków w zintegrowanej celulozowni i papierni produkującej masę celulozową przy użyciu wodorosiarczynu magnezu.....	589
Rysunek 4. 46 Schemat technologiczny oczyszczalni ścieków w zintegrowanej celulozowni produkującej masę celulozową do sprzedaży na rynek przy użyciu wodorosiarczynu magnezu	595
Rysunek 4. 47 Schemat technologiczny oczyszczalni ścieków w zintegrowanym zakładzie produkującym masę celulozową metodą NSSC i papier półchemiczny na warstwę pofalowaną	601

Rysunek 4. 48 Schemat technologiczny oczyszczalni ścieków (napowietrzonego zbiornika) w celulozowni produkującej masę specjalną przy użyciu wodorosiarczynu amonu .....	606
Rysunek 4. 49 Schemat kotła odzysknicowego w celulozowni siarczynowej (M-real Hallein, 1985) .....	611
Rysunek 4. 50 Schemat wtrysku amoniaku do kotła odzysknicowego .....	614
Rysunek 4. 51 Dobowa średnia emisja NO <sub>x</sub> z kotła odzysknicowego określona przez automatyczny system monitorowania emisji w roku 2008.....	616
Rysunek 4. 52 Uproszczony schemat przepływu w instalacji do odsiarczania spalin (wielostopniowe skrubery i płuczka końcowa) i jej uwzględnienie podczas etapu przygotowywania substancji chemicznych do warzenia .....	620
Rysunek 4. 53 Zgłoszony czas działania kwasu .....	623
Rysunek 4. 54 Obwód SO <sub>2</sub> w zakładzie siarczynowym i główne źródła emisji rozproszonych SO <sub>2</sub> , wychwytywanych i spalanych w kotle odzysknicowym .....	631
Rysunek 5. 1 Główne etapy podczas roztwarzania mechanicznego .....	639
Rysunek 5. 2 Schemat przepływów w zakładzie produkującym ciśnieniowy ścier drzewny.....	641
Rysunek 5. 3 Schemat procesu wytwarzania termomechanicznego i związanych z nim emisji .	644
Rysunek 5. 4 Schemat głównych procesów jednostkowych w procesie wytwarzania masy chemotermomechanicznej .....	648
Rysunek 5. 5 Współczesny systemu bielienia nadtlakiem przy wysokim stężeniu w papierni produkującej papier powlekany o niskiej gramaturze na bazie bielonego klasycznego ścieru drzewnego .....	652
Rysunek 5. 6 Ogólny zarys strumieni masowych w zintegrowanej wytwórni masy mechanicznej i papieru.....	654
Rysunek 5. 7 Indywidualny strumień ścieków odprowadzanych z poszczególnych celulozowni i papierni mechanicznych i chemomechanicznych.....	661
Rysunek 5. 8 Źródła emisji do wody z zakładu chemotermomechanicznego .....	662
Rysunek 5. 9 Średnie wartości roczne indywidualnych ładunków ChZT z poszczególnych celulozowni mechanicznych i chemomechanicznych .....	665
Rysunek 5. 10 Średnie wartości krótkoterminowe dotyczące emisji BZT z celulozowni mechanicznych.....	666
Rysunek 5. 11 Średnie wartości roczne indywidualnych ładunków zawiesiny ogółem z poszczególnych celulozowni mechanicznych i chemomechanicznych .....	667
Rysunek 5. 12 Średnie wartości roczne P łącznie z poszczególnych celulozowni mechanicznych i chemomechanicznych .....	668
Rysunek 5. 13 Średnie wartości krótkoterminowe dotyczące emisji całkowitego P z celulozowni mechanicznych.....	668
Rysunek 5. 14 Średnie wartości roczne N łącznie z poszczególnych celulozowni mechanicznych i chemomechanicznych .....	669
Rysunek 5. 15 Średnie wartości krótkoterminowe dotyczące emisji całkowitego N z celulozowni mechanicznych.....	670
Rysunek 5. 16 Średnie wartości roczne dotyczące ładunku AOX z poszczególnych celulozowni mechanicznych i chemomechanicznych.....	671
Rysunek 5. 17 Emisje do atmosfery z zakładów chemotermomechanicznych.....	672
Rysunek 5. 18 Główne dopływy i odpływy wody w zintegrowanym mechanicznym zakładzie celulozowo-papierniczym .....	690



Rysunek 5. 19 System recyklingu wody w zakładzie Meadow Lake, produkującym białoną masę chemotermomechaniczną .....	696
Rysunek 5. 20 Koncepcja procesu obróbki z emisjami ścieków w stanie płynnym na poziomie zerowym w zakładzie Meadow Lake produkującym białoną masę chemotermomechaniczną ...	697
Rysunek 5. 21 Przepływy energii i masy oraz przepływy energii związanej w przepływach masowych w rafinerach z jedną tarczą lub z tarczami stożkowymi .....	701
Rysunek 5. 22 Przepływy energii i masy oraz przepływy energii związanej w przepływach masowych w rafinerach z podwójnymi tarczami i rafinerach dwutarczowych .....	702
Rysunek 6. 1 Schemat przykładowej instalacji do przerobu makulatury i przygotowania masy do produkcji papieru na tekturę falistą (dwuwarstwowy papier na warstwy płaskie) .....	722
Rysunek 6. 2 Przykład ogólnej koncepcji przygotowania masy papieru na warstwę płaską (układ dwuobiegowy).....	726
Rysunek 6. 3 Przykładowa koncepcja ogólna układu przy produkcji (ulepszzonego) papieru gazetowego, papieru SC lub LWC .....	728
Rysunek 6. 4 Przykład ogólnej koncepcji linii do przerobu makulatury w wytwarzaniu bibułki higienicznej .....	732
Rysunek 6. 5 Przegląd obiegu masy w zintegrowanej papierni przerabiającej makulaturę.....	734
Rysunek 6. 6 Podstawowy schemat procesu przygotowania makulatury do wytwarzania papieru i tektury .....	740
Rysunek 6. 7 Przykład obiegu wodnego zintegrowanej papierni przerabiającej makulaturę na warstwę pofalowaną tektury falistej bez odbarwiania .....	741
Rysunek 6. 8 Przykład zoptymalizowanego układu masowo-wodnego w zintegrowanej produkcji odbarwionej masy makulaturowej.....	742
Rysunek 6. 9 Jednostkowy strumień ścieków europejskich papierni przerabiających makulaturę bez odbarwiania.....	744
Rysunek 6. 10 Jednostkowy strumień ścieków europejskich papierni przerabiających makulaturę z odbarwianiem .....	745
Rysunek 6. 11 Jednostkowe zużycie energii na przerób makulatury w wytwórni papieru gazetowego.....	752
Rysunek 6. 12 Jednostkowy ładunek ChZT w ujęciu średniorocznym po oczyszczeniu ścieków z papierni przerabiających makulaturę bez odbarwiania.....	755
Rysunek 6. 13 Jednostkowy ładunek ChZT w ujęciu średniorocznym po oczyszczeniu ścieków z papierni przerabiających makulaturę z odbarwianiem .....	756
Rysunek 6. 14 Krótkookresowe średnie wartości emisji ChZT z papierni przerabiających makulaturę bez odbarwiania.....	757
Rysunek 6. 15 Dzielne ładunki ChZT osiągnięte w ciągu roku w papierni przerabiającej makulaturę z odbarwianiem (RCF 18 w Niemczech).....	758
Rysunek 6. 16 Krótkookresowe średnie wartości emisji BZT z papierni przerabiających makulaturę bez odbarwiania.....	759
Rysunek 6. 17 Dzielne stężenia BZT osiągnięte w ciągu roku w papierni przerabiającej makulaturę z odbarwianiem (RCF 18 w Niemczech).....	760
Rysunek 6. 18 Jednostkowy ładunek $P_{ogółem}$ w ujęciu średniorocznym po oczyszczeniu ścieków z papierni przerabiających makulaturę bez odbarwiania, z oznaczeniem strumienia ścieków.....	761
Rysunek 6. 19 Jednostkowy ładunek $P_{ogółem}$ w ujęciu średniorocznym po oczyszczeniu ścieków z papierni przerabiających makulaturę z odbarwianiem .....	762

Rysunek 6. 20 Krótkookresowe średnie wartości emisji $P_{ogółem}$ z papierni przerabiających makulaturę bez odbarwiania.....	763
Rysunek 6. 21 Dzielne stężenia $P_{ogółem}$ osiągnięte w ciągu roku w papierni przerabiającej makulaturę z odbarwianiem (RCF 18 w Niemczech).....	764
Rysunek 6. 22 Jednostkowy ładunek $N_{ogółem}$ lub $TN_b$ w ujęciu średniorocznym po oczyszczeniu ścieków z papierni przerabiających makulaturę bez odbarwiania .....	765
Rysunek 6. 23 Jednostkowy ładunek $N_{ogółem}$ lub $TN_b$ w ujęciu średniorocznym po oczyszczeniu ścieków z papierni przerabiających makulaturę z odbarwianiem.....	766
Rysunek 6. 24 Krótkookresowe średnie wartości emisji $N_{ogółem}$ z papierni przerabiających makulaturę bez odbarwiania.....	767
Rysunek 6. 25 Dzielne stężenia $N_{ogółem}$ osiągnięte w ciągu roku w papierni przerabiającej makulaturę z odbarwianiem (RCF 18 w Niemczech).....	768
Rysunek 6. 26 Jednostkowy ładunek zawiesiny w ujęciu średniorocznym po oczyszczeniu ścieków z papierni przerabiających makulaturę bez odbarwiania .....	769
Rysunek 6. 27 Jednostkowy ładunek zawiesiny w ujęciu średniorocznym po oczyszczeniu ścieków z papierni przerabiających makulaturę z odbarwianiem.....	770
Rysunek 6. 28 Średnie roczne wartości ładunków AOX dla poszczególnych papierni przerabiających makulaturę bez odbarwiania.....	771
Rysunek 6. 29 Rozładunek i składowanie makulatury luzem w zadaszonym obiekcie.....	779
Rysunek 6. 30 Składowanie makulatury na zewnątrz, na powierzchni utwardzonej betonem....	779
Rysunek 6. 31 Składowanie makulatury w rolach pod dachem .....	780
Rysunek 6. 32 Schemat obiegów wodnych w papierniach.....	784
Rysunek 6. 33 Układ obiegów wodnych w papierni z rozdzieleniem poszczególnych obiegów i przepływem przeciwnym.....	785
Rysunek 6. 34 Przykład oczyszczania typu „in-line” w zamkniętych obiegach wodnych, układ oczyszczania wody obiegowej w zakładzie RCF 6 w Niemczech.....	790
Rysunek 6. 35 Średni dzienny ładunek ChZT w ciągu pełnego roku (RCF 1 w Holandii).....	798
Rysunek 6. 36 Ładunek ChZT w papierni przerabiającej makulaturę na papier gazetowy z odbarwianiem po biologicznym oczyszczaniu beztlenowo-tlenowym dla różnych okresów referencyjnych.....	801
Rysunek 6. 37 Stężenie $P_{ogółem}$ i $N_{ogółem}$ po biologicznym oczyszczaniu beztlenowo-tlenowym i trzecim etapie oczyszczania częściowego ścieków w papierni przerabiającej makulaturę na papier gazetowy .....	802
Rysunek 6. 38 Schemat oczyszczania wody obiegowej w zakładzie Köhler Pappen z reaktorem MBR.....	804
Rysunek 6. 39 Układ instalacji do ozonowania z późniejszą biofiltracją .....	810
Rysunek 6. 40 Zmiany poziomów stężeń ChZT i BZT <sub>5</sub> podczas ozonowania i biofiltracji .....	811
Rysunek 6. 41 Dane dotyczące typowych poziomów produkcji i emisji przed przeprowadzeniem skojarzonego ozonowania i biofiltracji oraz po ich przeprowadzeniu.....	813
Rysunek 6. 42 Etapy przebiegu (podsystemy) procesu w przykładowej papierni przerabiającej makulaturę bez odbarwiania.....	816
Rysunek 6. 43 Etapy przebiegu (podsystemy) procesu w przykładowej papierni przerabiającej makulaturę z odbarwianiem .....	818
Rysunek 6. 44 Dwie przykładowe koncepcje instalacji do przygotowania masy przeznaczone do przerobu makulatury na dwuwarstwowy papier na warstwę płaską.....	822
Rysunek 6. 45 Zasada działania flotacji drobnopęcherzykowej (DAF) .....	827

Rysunek 6. 46 Przykładowe ogólne etapy przebiegu procesu efektywnej obróbki odrzutów i osadów w zakładzie przerabiającym makulaturę na papier brązowy .....	832
Rysunek 6. 47 Uproszczony schemat spalania odrzutów w spalarni wielotrzonowej .....	837
Rysunek 6. 48 Uproszczony schemat współspalania odrzutów w elektrowni opalanej węglem brunatnym .....	841
Rysunek 6. 49 Schemat instalacji z układem odzysku energii elektrycznej z odrzutów .....	846
Rysunek 7. 1 Kluczowe elementy dwusitowej maszyny papierniczej.....	854
Rysunek 7. 2 Układ odzyskiwania ciepła maszyny papierniczej.....	856
Rysunek 7. 3 Uproszczony schemat strumieni wody i masy w papierni. ....	860
Rysunek 7. 4 Możliwe rozplanowanie układu braku własnego w papierni wytwarzającej papier powlekany .....	863
Rysunek 7. 5 Przykład dwóch różnych kalandrów: superkalander i kalander maszynowy.....	869
Rysunek 7. 6 Proces produkcji bibułek tissue typu CWP (konwencjonalne prasowanie na mokro) z konwencjonalnym cylindrem Yankee. ....	872
Rysunek 7. 7 Proces produkcji bibułki tissue typu TAD z dwoma suszarkami TAD i cylindrem Yankee.....	873
Rysunek 7. 8 Opatentowany hybrydowy proces produkcji bibułek tissue. ....	873
Rysunek 7. 9 Schemat przepływu strumienia masy w papierni.....	880
Rysunek 7. 10 Miejsca użycia wody świeżej w papierni.....	889
Rysunek 7. 11 Schemat typowego przepływu wody w niezintegrowanej papierni produkującej bibułki tissue z włókien pierwotnych. ....	892
Rysunek 7. 12 Różnica zużycia wody w dwóch podobnych maszynach produkujących bibułki tissue na skutek zmian barw. ....	894
Rysunek 7. 13 Przykładowe jednostkowe emisje ścieków z europejskich niezintegrowanych papierni (bez papierów specjalnych). ....	910
Rysunek 7. 14 Przykładowy jednostkowy przepływ ścieków z europejskich niezintegrowanych papierni wytwarzających papiery specjalne. ....	911
Rysunek 7. 15 Przykłady średniej rocznej jednostkowej emisji ChZT po oczyszczalni ścieków z niezintegrowanych papierni europejskich (bez papierów specjalnych. ....	914
Rysunek 7. 16 Dobowe ładunki ChZT w ciągu roku z niemieckiej papierni niezintegrowanej wytwarzającej bibułki.....	915
Rysunek 7. 17 Przykłady średniej rocznej jednostkowej emisji ChZT po oczyszczalni ścieków z niezintegrowanych papierni europejskich wytwarzających papiery specjalne. ....	916
Rysunek 7. 18 Dobowe ładunki ChZT w ciągu roku z papierni niezintegrowanej wytwarzającej papiery specjalne (niemieckiej papierni wytwarzającej papiery specjalne nr DE 4). ....	919
Rysunek 7. 19 Krótkoterminowe średnie wielkości emisji BZT z niezintegrowanych papierni europejskich wytwarzających papiery specjalne. ....	921
Rysunek 7. 20 Przykłady średnich rocznych jednostkowych wielkości emisji TSS po oczyszczalni ścieków z niezintegrowanych papierni europejskich (bez papierów specjalnych). ....	922
Rysunek 7. 21 Przykłady średnich rocznych jednostkowych wielkości emisji TSS po oczyszczalni ścieków z niezintegrowanych papierni europejskich wytwarzających papiery specjalne. ....	923
Rysunek 7. 22 Przykładowe średnioroczne jednostkowe wielkości emisji ładunku fosforu ogólnego po oczyszczalni ścieków z niezintegrowanych papierni europejskich (bez papierów specjalnych).....	924

Rysunek 7. 23 Przykładowe średnioroczne jednostkowe wielkości emisji ładunku fosforu ogólnego po oczyszczalni ścieków z niezintegrowanych papierni europejskich wytwarzających papiery specjalne. ....	926
Rysunek 7. 24 Krótkoterminowe średnie wielkości emisji fosforu ogólnego z niezintegrowanych papierni europejskich wytwarzających papiery specjalne. ....	927
Rysunek 7. 25 Przykładowe średnie roczne jednostkowe wielkości emisji ładunku azotu ogólnego po oczyszczalni ścieków z niezintegrowanych papierni europejskich (bez papierów specjalnych) .....	928
Rysunek 7. 26 Przykładowe średnie roczne jednostkowe wielkości emisji ładunku azotu ogólnego po oczyszczalni ścieków z niezintegrowanych papierni europejskich wytwarzających papiery specjalne. ....	929
Rysunek 7. 27 Krótkoterminowe średnie wielkości emisji azotu ogólnego z niezintegrowanych papierni europejskich wytwarzających papiery specjalne. ....	930
Rysunek 7. 28 Zakresy filtracji różnych technologii filtracyjnych. ....	945
Rysunek 7. 29 Możliwy schemat zintegrowanej papierni stosującej ultrafiltrację do oczyszczania wody podsitowej. ....	947
Rysunek 7. 30 Przykładowy układ odzyskiwania składników mieszanek powlekających poprzez ultrafiltrację. ....	954
Rysunek 7. 31 Schemat działania układu odzyskiwania składników z odrzutów mieszanki powlekającej i zużytej wody. ....	956
Rysunek 7. 32 Wykres Sankeya dla maszyny wytwarzającej papier gazetowy (980 t/d).....	987
Rysunek 7. 33 Typowy wykres Sankeya dla maszyny papierniczej w cieplejszych regionach..	988
Rysunek 7. 34 Przykład wieży rekuperacji ciepła. ....	989
Rysunek 7. 35 Równoważny poziom dźwięku A ( $L_{Aeq}$ ) w jednym punkcie referencyjnym przed i po zamontowaniu tłumika. ....	992
Rysunek 7. 36 Tłumienie dźwięku za pomocą rezonatorów rurowych. Poziomy hałasu przed i po zamontowaniu tłumików. ....	993
Rysunek 7. 37 Tłumiki na dachu papierni. ....	993
Rysunek 7. 38 Tłumienie hałasu emitowanego przez pompy próżniowe za pomocą tłumików..	994
Rysunek 7. 39 Względne koszty ograniczania hałasu zewnętrznego. ....	995
Rysunek 7. 40 Przykład możliwego wewnętrznego oczyszczania wody technologicznej. ....	1000
Rysunek 7. 41 Typowe stężenie w wlewie stosowane we wczesnych badaniach nad formowaniem gęstej masy. ....	1003
Rysunek 7. 42 Układ z pompą ciepła do wytwarzania pary technologicznej. ....	1005
Rysunek 10. 1 Przykład zintegrowanej papierni i celulozowni: produkcja i procesy wspierające w zakładach z miasta Rauma.....	1053
Rysunek 10. 2 Rozmieszczenie emisji z połączonej oczyszczalni ścieków w zintegrowanych zakładach w Raunie, gdzie znajduje się także celulozownia produkująca chemiczną masę celulozową oraz papiernia .....	1055
Rysunek 10. 3 Emisje chemicznego i biologicznego zapotrzebowania tlenu po biologicznym oczyszczaniu ścieków wyrażone jako średnie dzienne, miesięczne i roczne .....	1057

## Spis tabel

Tabela 1. 1 Główne zastosowania papieru i tektury .....	1
Tabela 1. 2 Zużycie papieru na głowę mieszkańca i według krajów w 2008 r.....	3
Tabela 1. 3 Całkowita europejska produkcja głównych rodzajów mas włóknistych w 2008 r. (obszar CEPI) oraz udział produkcji zintegrowanej/mas towarowych .....	9
Tabela 1. 4 Zużycie energii elektrycznej w krajach stowarzyszonych w ramach CEPI w latach 2005 – 2007 .....	40
Tabela 2. 1 Przykładowe okresy pobierania próbek dla odpowiednich zanieczyszczeń .....	60
Tabela 2. 2 Przykład częstotliwości analizy istotnych parametrów ścieków w zakładach celulozowo-papierniczych w kilku krajach .....	62
Tabela 2. 3 Parametry oznaczane w trzech wybranych krajach i stosowane w nich metody analityczne.....	63
Tabela 2. 4 Ciągłe i okresowe monitorowanie emisji generowanych w ramach procesów prowadzonych w celulozowniach siarczanowych w pięciu przykładowych państwach członkowskich.....	71
Tabela 2. 5 Ciągłe i okresowe monitorowanie emisji do atmosfery z obiektów energetycznego spalania w pięciu przykładowych państwach członkowskich .....	73
Tabela 2. 6 Metody pomiarowe według związku i źródła stosowane do oznaczania emisji do atmosfery w zakładach celulozowo-papierniczych w Finlandii .....	75
Tabela 2. 7 Referencyjne poziomy tlenu dla różnych obiektów energetycznego spalania w wybranych krajach .....	77
Tabela 2. 8 Emisje siarki zawartej w związkach lotnych jako S z punktowych i niepunktowych źródeł w szwedzkich celulozowniach siarczanowych .....	80
Tabela 2. 9 Zużycie energii wykorzystywanej bezpośrednio w procesie produkcji i w instalacjach pomocniczych powiązanych z produkcją w kilku przykładowych zakładach celulozowo- papierniczych .....	107
Tabela 2. 10 Ocena podsystemów w odniesieniu do ich znaczenia w zużyciu energii .....	112
Tabela 2. 11 Typowe wartości dotyczące zużycia energii w ramach ogólnych usług świadczonych w zakładzie.....	115
Tabela 2. 12 Podstawowe dane liczbowe odnoszące się do różnych rodzajów instalacji CHP ...	123
Tabela 2. 13 Zakres osiągniętych poziomów emisji pyłu zawieszonego z kotłów parowych przy wykorzystaniu różnych rodzajów paliw i stosowaniu różnych środków kontroli emisji (suchy gaz, warunki standardowe) w instalacjach w Europie .....	130
Tabela 2. 14 Osiągane poziomy emisji SO <sub>2</sub> z kotłów pomocniczych przy wykorzystaniu różnych rodzajów paliw i stosowaniu różnych środków kontroli emisji (warunki standardowe, 6% O <sub>2</sub> , suchy gaz).....	131
Tabela 2. 15 Osiągane poziomy emisji NO <sub>x</sub> z kotłów pomocniczych przy wykorzystaniu różnych rodzajów paliw i stosowaniu różnych środków kontroli emisji.....	133
Tabela 2. 16 Osiągane poziomy emisji CO przy wykorzystaniu różnych rodzajów paliw i stosowaniu różnych środków kontroli emisji .....	135
Tabela 2. 17 Biologiczne oczyszczanie ścieków z zakładów celulozowo-papierniczych .....	140
Tabela 2. 18 Przykłady odpadów generowanych w ramach procesów produkcji mas włóknistych i papieru.....	142
Tabela 2. 19 Informacje przedstawiane w odniesieniu do każdej techniki.....	144
Tabela 2. 20 Aspekty środowiskowe i środki służące zmniejszeniu oddziaływania na środowisko w związku z obróbką drewna .....	149

Tabela 2. 21 Ładunek zanieczyszczeń ze ścieków z korowania na mokro i z suchego korowania przed oczyszczaniem biologicznym .....	152
Tabela 2. 22 Przykład zakładów stosujących dezynfekcję katalityczną .....	161
Tabela 2. 23 Porównanie parametrów ekologicznych instalacji z obiegiem kombinowanym gazowo-parowym z turbiną gazową i parametrów ekologicznych dostawcy publicznego działającego (przypadek z Niemiec).....	194
Tabela 2. 24 Dane dotyczące emisji pyłu odnoszące się do przykładowych kotłów eksploatowanych w zakładach papierniczych z wykorzystaniem różnych paliw i wyposażonych w filtr ESP lub FF .....	199
Tabela 2. 25 Koszty urządzeń do usuwania pyłu w przypadku mniejszych instalacji energetycznego spalania.....	200
Tabela 2. 26 Dane dotyczące poziomów emisji NO <sub>x</sub> odnoszące się do przykładowych kotłów fluidalnych eksploatowanych w zakładach papierniczych stosujących pierwotne i/lub wtórne środki ograniczania emisji NO <sub>x</sub> .....	204
Tabela 2. 27 Dane dotyczące emisji NO <sub>x</sub> odnoszące się do przykładowych kotłów gazowych eksploatowanych w austriackich papierniach stosujących techniki sprzyjające niskim emisjom NO <sub>x</sub> .....	204
Tabela 2. 28 Dane dotyczące emisji NO <sub>x</sub> odnoszące się do przykładowych kotłów CCGT eksploatowanych w austriackich papierniach stosujących techniki sprzyjające niskim emisjom NO <sub>x</sub> .....	205
Tabela 2. 29 Dane dotyczące emisji SO <sub>2</sub> odnoszące się do przykładowych kotłów fluidalnych eksploatowanych w zakładach papierniczych stosujących różne paliwa (i ich mieszanki) (AT, DE, FR, FI) .....	212
Tabela 2. 30 Dane dotyczące emisji z zakładu UPM-Kymmene, Austria.....	215
Tabela 2. 31 Typowe zakresy ilości pozostałości stałych (masa mokra) przeznaczonych do składowania, generowanych w ramach różnych rodzajów produkcji mas włóknistych i papieru.....	224
Tabela 2. 32 Dwa przykładowe zakłady produkujące niewielkie ilości pozostałości kierowanych ostatecznie do składowania .....	225
Tabela 2. 33 Biodegradowalne środki chelatujące o niemal pełnej funkcjonalności.....	230
Tabela 2. 34 Przykłady środków kontroli składników odżywczych i osiągniętych poziomów emisji w dziewięciu zakładach celulozowo-papierniczych .....	251
Tabela 2. 35 Przykład środków kontroli ilości zawiesiny ogólnej i osiągniętych poziomów emisji w zakładzie celulozowo-papierniczym.....	255
Tabela 2. 36 Docelowe poziomy hałasu w kilku krajach w Europie.....	265
Tabela 3. 1 Techniki produkcji dwutlenku chloru na dużą skalę.....	290
Tabela 3. 2 Zużycie surowców i powstawanie produktów ubocznych dla niektórych ważnych z handlowego punktu widzenia metod produkcji dwutlenku chloru .....	291
Tabela 3. 3 Zużycie głównych chemikaliów przy produkcji masy celulozowej siarczanowej bielonej i niebielonej .....	298
Tabela 3. 4 Typowy pobór siarki w celulozowni masy siarczanowej bielonej.....	298
Tabela 3. 5 Bilans ciepła i energii dla typowej nowoczesnej celulozowni siarczanowej oraz celulozowni zintegrowanej z papiernią. ....	299
Tabela 3. 6 Przeciętne zużycie energii elektrycznej przy wytwarzaniu chemikaliów do bielenia.....	301
Tabela 3. 7 Ładunek zanieczyszczeń w ściekach z korowania przed oczyszczeniem biologicznym .....	304

Tabela 3. 8 Przykłady współzależności pomiędzy rodzajem drewna, metodami i stopniem delignifikacji przed bieleniem oraz ładunkiem ChZT generowanym podczas bielenia .....	307
Tabela 3. 9 Typowe zrzuty metali z celulozowni siarczanowych w g/ADt.....	316
Tabela 3. 10 Procentowa redukcja w oczyszczalniach ścieków w celulozowniach masy chemicznej.....	320
Tabela 3. 11 Średnie roczne zrzuty z celulozowni masy siarczanowej w UE .....	324
Tabela 3. 12 Analiza elementarna ługów czarnych drewna iglastego z dwóch fińskich celulozowni siarczanowych .....	327
Tabela 3. 13 Średni roczny zakres emisji z kotłów regeneracyjnych i zakres wartości stężeń emisji .....	327
Tabela 3. 14 Ilości stężonych gazów niekondensujących pochodzących z różnych źródeł.....	338
Tabela 3. 15 Ilości rozcieńczonych gazów niekondensujących pochodzące z różnych źródeł w temperaturze 40 °C.....	339
Tabela 3. 16 Przykłady dozwolonych i zmierzonych wartości emisji chloru do powietrza z instalacji bielenia i produkcji ClO <sub>2</sub> z kilku szwedzkich celulozowni .....	339
Tabela 3. 17 Średnia ilość wytwarzanych odpadów w celulozowniach siarczanowych w kg suchej masy/ADt .....	343
Tabela 3. 18 Skład osadu ługu zielonego z różnymi ilościami szlamu wapiennego .....	344
Tabela 3. 19 Średnie stężenia metali w osadzie ługu zielonego z różnymi ilościami szlamu wapiennego .....	344
Tabela 3. 20 Informacje dla każdej z technik opisanych w tym rozdziale.....	346
Tabela 3. 21 Nowoczesne sekwencje bielenia masy celulozowej .....	355
Tabela 3. 22 Nowoczesne sekwencje bielenia w celulozowniach eukaliptusowych .....	356
Tabela 3. 23 Koszty operacyjne związane z użyciem najważniejszych chemikaliów bielących w ramach szeregu alternatywnych sekwencji bielenia ocenianych dla różnych poziomów jasności masy .....	358
Tabela 3. 24 Sekwencje bielenia metodą TCF dla mas celulozowych siarczanowych z drewna iglastego (SW) i liściastego (HW).....	359
Tabela 3. 25 Poziomy emisji do wody po biologicznym oczyszczeniu w przykładowych europejskich celulozowniach siarczanowych .....	380
Tabela 3. 26 Emisje SO <sub>2</sub> z pieców wapiennych dla różnych paliw, ze skruberm i bez .....	441
Tabela 3. 27 Emisje NOX z ponownego spalania w piecach wapiennych .....	448
Tabela 3. 28 Główne frakcje odpadów z celulozowni.....	462
Tabela 3. 29 Porównanie między zapotrzebowaniem na parę (GJ/ADt) w instalacji referencyjnej BAT z bieleniem ECF i w energooszczędnej instalacji siarczanowej .....	466
Tabela 3. 30 Bilans pary w instalacji referencyjnej Ecocyclic KAM2, w tym turbiny.....	467
Tabela 3. 31 Zużycie pary w energooszczędnych celulozowniach masy siarczanowej bielonej, wyrażone jako średnia roczna .....	468
Tabela 3. 32 Zużycie energii w instalacji referencyjnej BAT z bieleniem ECF (w 2002 r.).....	468
Tabela 3. 33 Bilans energetyczny instalacji Veracel .....	469
Tabela 3. 34 Negatywne skutki spowodowane przez NPE.....	482
Tabela 4. 1 Główne rodzaje procesu roztwarzania siarczynowego w Europie.....	486
Tabela 4. 2 Przykładowa sekwencja bielenia bez chloru pierwiastkowego podczas roztwarzania siarczynowego.....	502
Tabela 4. 3 Sekwencje bielenia stosowane w europejskich celulozowniach siarczynowych i ładunek ChZT wychodzący z bielarni przed oczyszczeniem .....	504

Tabela 4. 4 Średnie wartości roczne dotyczące konkretnych danych wejściowych/wyjściowych z trzech zintegrowanych celulozowni i papierni siarczynowych, produkujących łącznie ok. 462 000 t powietrznie suchej masy rocznie.....	518
Tabela 4. 5 Zużycie głównych chemikaliów w produkcji masy celulozowej siarczynowej.....	521
Tabela 4. 6 Przykładowe zużycie energii w niektórych europejskich celulozowniach i papierniach siarczynowych w 2008 r.....	522
Tabela 4. 7 Zużycie energii na potrzeby produkcji bielonej masy siarczynowej.....	523
Tabela 4. 8 Odnotowane zużycie energii na potrzeby produkcji bielonej masy siarczynowej....	524
Tabela 4. 9 Odnotowane w 2008 r. zakresy średniorocznych zrzutów ścieków z różnych rodzajów europejskich celulozowni siarczynowych po oczyszczaniu ścieków .....	527
Tabela 4. 10 Indywidualne emisje do wody ze zintegrowanego zakładu produkującego masę celulozową do przerobu chemicznego przed i po obróbce biologicznej.....	531
Tabela 4. 11 Emisje metali z częściowo zintegrowanej szwedzkiej celulozowni siarczynowej do zbiornika wodnego w 1996 r. ....	546
Tabela 4. 12 Emisje z przykładowych kotłów odzysknicowych w zakładzie siarczynowym .....	558
Tabela 4. 13 Emisje do powietrza z niewielkiego kotła odzysknicowego w zakładzie stosującym metodę NSSC i różnice w tym zakresie .....	559
Tabela 4. 14 Przykładowe odpady wytwarzane podczas produkcji masy siarczynowej .....	560
Tabela 4. 15 Informacje na temat poszczególnych technik opisanych w tym rozdziale.....	563
Tabela 4. 16 Przykładowe warunki procesu w ramach typowej sekwencji bielenia bez użycia chloru na potrzeby produkcji masy siarczynowej.....	571
Tabela 4. 17 Zużycie chemikaliów w zakładzie stosującym bielenie wstępne w obiegu zamkniętym .....	574
Tabela 4. 18 Ładunek substancji organicznych z biologicznej oczyszczalni ścieków .....	590
Tabela 4. 19 Średnie miesięczne i roczne wartości emisji ze zintegrowanej celulozowni stosującej wodorosiarczyn magnezu po oczyszczaniu biologicznym .....	591
Tabela 4. 20 Średnie wartości dobowe dotyczące emisji ze zintegrowanej celulozowni stosującej wodorosiarczyn magnezu po oczyszczaniu biologicznym .....	592
Tabela 4. 21 Średnie miesięczne i roczne wartości emisji z celulozowni produkującej masę celulozową do sprzedaży na rynek, stosującej wodorosiarczyn magnezu po oczyszczaniu biologicznym.....	597
Tabela 4. 22 Średnie miesięczne i roczne wartości emisji z celulozowni produkującej masę celulozową do sprzedaży na rynek, stosującej wodorosiarczyn magnezu po oczyszczaniu biologicznym.....	598
Tabela 4. 23 Średnie miesięczne i roczne wartości emisji po oczyszczaniu ścieków ze zintegrowanego zakładu produkującego masę celulozową metodą NSSC i papier półchemiczny na warstwę pofalowaną.....	601
Tabela 4. 24 Dobowe średnie wartości emisji po oczyszczaniu ścieków w typowym miesiącu ze zintegrowanego zakładu produkującego masę celulozową metodą NSSC i papier półchemiczny na warstwę pofalowaną.....	603
Tabela 4. 25 Ścieki odprowadzane z celulozowni wodorosiarczynowej, w której jako zasadę stosuje się amon, w przypadku produkcji gatunków specjalnych po oczyszczaniu biologicznym (w napowietrzonym zbiorniku).....	607
Tabela 4. 26 Przykłady osiągniętych poziomów emisji do wody po oczyszczaniu biologicznym oraz osiągające dobre wyniki celulozownie siarczynowe w Europie .....	608



Tabela 4. 27 Zmierzone wartości CO i NO <sub>x</sub> z kotłów odzysknicowych w celulozowniach siarczynowych.....	612
Tabela 4. 28 Pomiar emisji NO <sub>x</sub> i CO z kotła odzysknicowego w austriackiej celulozowni siarczynowej (21,5 MW <sub>th</sub> ).....	617
Tabela 4. 29 Emisje do atmosfery przy 5% zawartości tlenu z kotła odzysknicowego w małej austriackiej celulozowni siarczynowej produkującej 50 000 t powietrznie suchej masy/rok do produkcji papieru.....	625
Tabela 4. 30 Emisje do atmosfery z kotła odzysknicowego wyposażonego w pięciostopniowe płuczki w dużej austriackiej celulozowni siarczynowej produkującej rocznie 273-790 ton miazgi wiskozowej dla przemysłu tekstylnego .....	627
Tabela 4. 31 Przykłady emisji do powietrza atmosferycznego z kotłów odzysknicowych z niektórych celulozowni w Europie, z wyłączeniem emisji z kotłów pomocniczych (rok referencyjny: 2008) .....	628
Tabela 4. 32 Orientacyjne poziomy zużycia energii cieplnej i elektrycznej z procesu technologicznego brutto w przypadku różnych rodzajów celulozowni siarczynowych .....	636
Tabela 5. 1 Główne procesy roztwarzania, surowce, wydajność drewna i zastosowania końcowe różnych rodzajów masy.....	638
Tabela 5. 2 Wartości średnioroczne (rok referencyjny: 1997) dotyczące poziomów zużycia i emisji z zakładu z Niemiec do produkcji papieru drukowego drzewnego (papier powlekany o bardzo niskiej gramaturze i bardzo cienkiej powłoce, papier powlekany o niskiej gramaturze i papier powlekany o wysokiej gramaturze) .....	657
Tabela 5. 3 Średnie roczne poziomy zużycia i emisji z fińskiego zakładu chemotermomechanicznego .....	658
Tabela 5. 4 Zużycie wody podczas roztwarzania mechanicznego.....	660
Tabela 5. 5 Typowe ładunki indywidualne w ściekach z mechanicznego roztwarzania świerka pospolitego ( <i>Picea abies</i> ) przed oczyszczaniem .....	663
Tabela 5. 6 Emisje z celulozowni mechanicznych po oczyszczeniu biologicznym .....	664
Tabela 5. 7 Emisje lotnych związków organicznych z niemieckiego zakładu termomechanicznego przed oczyszczaniem.....	672
Tabela 5. 8 Skład osadu z osadników i nadmiernego osadu z instalacji do obróbki osadu czynnego .....	675
Tabela 5. 9 Zużycie podstawowych substancji chemicznych w kg/t do produkcji bielonych rodzajów gatunków masy mechanicznej .....	676
Tabela 5. 10 Zużycie energii i stopień jej odzyskiwania w roztwarzaniu mechanicznym .....	677
Tabela 5. 11 Przykłady zastosowanych wsadów włóknistych do produkcji papieru powlekanego o niskiej gramaturze i papieru powlekanego maszynowo wykańczanego.....	678
Tabela 5. 12 Zużycie energii w przypadku różnych rodzajów wsadu włóknistego.....	678
Tabela 5. 13 Zużycie energii w zakładzie zintegrowanym o zdolności produkcyjnej na poziomie 500 000 t papieru gazetowego z masy termomechanicznej rocznie .....	678
Tabela 5. 14 Bilans energetyczny zakładu zintegrowanego ze Szwecji, produkującego rocznie 500 000 t papieru gazetowego z masy termomechanicznej.....	679
Tabela 5. 15 Bilans energetyczny w niezintegrowanej wytwórni chemotermomechanicznej z Finlandii (CSF 400 ml).....	679
Tabela 5. 16 Przykłady jednostkowego zużycia energii w niektórych zintegrowanych celulozowniach i papierniach mechanicznych (lata referencyjne: 2006 i 2008) .....	680

Tabela 5. 17 Orientacyjne poziomy zużycia energii cieplnej i elektrycznej w różnych zintegrowanych celulozowniach i papierniach mechanicznych, produkujących papier drzewny i karton.....	681
Tabela 5. 18 Informacje na temat poszczególnych technik opisanych w tym rozdziale.....	683
Tabela 5. 19 Osiągnięte poziomy zużycia wody w niektórych przykładowych zakładach produkujących papier drzewny przy użyciu różnych rodzajów wsadu włóknistego .....	692
Tabela 5. 20 Szacunkowy względny rozkład odzyskiwanej pary wodnej i energii cieplnej z mocy zastosowanego rafinera na głównej linii rafinerów .....	702
Tabela 5. 21 Średnie roczne emisje do wody po oczyszczaniu biologicznym z celulozowni mechanicznych w Europie.....	710
Tabela 6. 1 Poziomy zużycia i emisji typowe dla przygotowania masy do produkcji różnych klas papieru.....	737
Tabela 6. 2 Zużycie wody w papierni przerabiającej makulaturę na papier i tekturę.....	743
Tabela 6. 3 Typowe dawki substancji chemicznych stosowane w procesie odbarwiania, łącznie z bieleniem.....	746
Tabela 6. 4 Rzeczywiste przykłady zużycia energii w produkcji bibułki higienicznej i papieru gazetowego z makulatury .....	747
Tabela 6. 5 Jednostkowe zużycie energii w zintegrowanym szwedzkim zakładzie o zdolności produkcyjnej papieru gazetowego z odbarwionej masy makulaturowej wynoszącej 500 000 t/rok (w 1995 r.).....	749
Tabela 6. 6 Bilanse energetyczne dwóch zintegrowanych wytwórni produkujących papier gazetowy z makulatury o zdolności produkcyjnej wynoszącej 500 000 t/rok oraz 250 000 t/rok	749
Tabela 6. 7 Dane dotyczące jednostkowego zużycia energii w niemieckich papierniach przerabiających makulaturę bez odbarwiania (rok referencyjny: 2006; rok referencyjny w szczególności dla wiersza tabeli dotyczącego papieru gazetowego: 2011).....	750
Tabela 6. 8 Dane dotyczące jednostkowego zużycia energii w niemieckich papierniach przerabiających makulaturę z odbarwianiem (rok referencyjny: 2011) .....	750
Tabela 6. 9 Średnie emisje do wody z papierni przerabiających makulaturę po wstępnym oczyszczeniu ścieków i przed odprowadzeniem do oczyszczalni komunalnej .....	753
Tabela 6. 10 Średnie emisje do wody z papierni przerabiających makulaturę, które odprowadzają ścieki do zbiorników wodnych po oczyszczeniu wstępnym i biologicznym na miejscu.....	753
Tabela 6. 11 Osiągalne poziomy masy suchej w odrzutach oraz odpowiadające im zużycie energii dla różnej zawartości włókien .....	772
Tabela 6. 12 Osiągalne poziomy masy suchej w osadach oraz odpowiadające im zużycie energii dla różnej zawartości włókien .....	772
Tabela 6. 13 Ilość odpadów odnosząca się do wprowadzonego surowca (%), w zależności od odmiany zastosowanej makulatury oraz klasy produkowanego papieru .....	773
Tabela 6. 14 Skład odrzutów z przerobu makulatury na papier na tekturę falistą (4 – 6 % odrzutów) .....	774
Tabela 6. 15 Skład osadów z wyławiania włókien i z chemiczno-mechanicznego oczyszczania ścieków.....	774
Tabela 6. 16 Typowe zawartości zanieczyszczeń w osadach z odbarwiania z papierni przerabiających makulaturę w porównaniu z osadami z komunalnych oczyszczalni ścieków....	775
Tabela 6. 17 Zmierzone wartości emisji ze spalania odrzutów i osadów z dwóch niemieckich papierni przerabiających makulaturę.....	776
Tabela 6. 18 Informacje na temat każdej techniki opisanej w niniejszym rozdziale .....	778

Tabela 6. 19 Niektóre zalety i wady zamykania obiegów wodnych w papierniach .....	786
Tabela 6. 20 Średnie roczne wartości oczyszczonych ścieków w niemieckiej papierni wytwarzającej papier i tekturę w 100 % z makulatury .....	795
Tabela 6. 21 Średnie roczne emisje do wody z papierni przerabiających makulaturę bez odbarwiania po oczyszczaniu beztlenowo-tlenowym.....	795
Tabela 6. 22 Średnie roczne emisje do wody z papierni przerabiających makulaturę z odbarwianiem po oczyszczaniu beztlenowo-tlenowym .....	799
Tabela 6. 23 Osiągnięta średnia jakość ścieków na różnych etapach oczyszczania w wytwórni kartonu w Gengenbach.....	806
Tabela 6. 24 Średnie roczne emisje do wody z papierni przerabiających makulaturę z odbarwianiem i bez odbarwiania po oczyszczaniu tlenowym .....	807
Tabela 6. 25 Orientacyjne poziomy zużycia ciepła i energii elektrycznej w różnych rodzajach papierni przerabiających makulaturę .....	815
Tabela 6. 26 Zużycie energii w przykładowej papierni przerabiającej makulaturę bez odbarwiania .....	817
Tabela 6. 27 Zużycie energii w przykładowej papierni przerabiającej makulaturę z odbarwianiem .....	819
Tabela 6. 28 Podstawowe cechy charakterystyczne i zapotrzebowanie na energię dwóch koncepcji instalacji do przygotowania masy przeznaczonych do przerobu makulatury na dwuwarstwowy papier na warstwę płaską.....	823
Tabela 6. 29 Jednostkowe zapotrzebowanie na energię i stężenia robocze w procesach jednostkowych w produkcji papieru na warstwę pofalowaną i płaską .....	825
Tabela 6. 30 Stosowanie dezynfekcji katalitycznej nadtlakiem wodoru w papierniach .....	829
Tabela 6. 31 Dane dotyczące emisji ze spalania odrzutów w wielotrzonowej instalacji do spalania odniesione do niemieckich norm prawnych .....	838
Tabela 6. 32 Skład odrzutów z wytwarzania papieru na warstwę płaską i pofalowaną.....	840
Tabela 6. 33 Dane dotyczące emisji z kotła fluidalnego stosowanego do spalania osadów z odbarwiania, odrzutów, osadów biologicznych, biogazu, gazu ziemnego oraz paliwa odpadowego .....	844
Tabela 6. 34 Skład paliwa mokrego .....	847
Tabela 6. 35 Dane dotyczące emisji z przykładowego zakładu Mayr-Melnhof w Hirschwang w Austrii.....	848
Tabela 7. 1 Przykład odzyskiwania ciepła i strat ciepła w maszynie papierniczej o produkcji 667 ton/dobę.....	858
Tabela 7. 2 Przykłady głównych cech, aspektów środowiskowych i określonych technik ochrony środowiska, które należy uwzględnić w przypadku różnych rodzajów papierów specjalnych. ..	877
Tabela 7. 3 Średnie roczne dane wejściowe i wyjściowe dla największej w Europie niezintegrowanej papierni produkującej wysokiej jakości bezdrzewne papiery do drukowania i pisanie (powlekane i niepowlekane) w ilości około 1,228 mln ton rocznie (dane zaktualizowane w 2012 r.) .....	884
Tabela 7. 4 Poziomy zużycia surowców i emisji zanieczyszczeń dla typowych papierni produkujących bibułki tissue. ....	886
Tabela 7. 5 Średnie roczne dane wejściowe i wyjściowe dla niezintegrowanej papierni produkującej bezdrzewne papiery specjalne (powlekane i niepowlekane) w ilości 212 500 ton papieru nadającego się do sprzedaży netto. ....	887

Tabela 7. 6 Przykłady głównych surowców stosowanych do wyrobu różnych rodzajów papieru .....	888
Tabela 7. 7 Główne procesy i środki pomocnicze oraz ich zastosowanie w przemyśle papierniczym. ....	896
Tabela 7. 8 Rola energii w głównych etapach wyrobu papieru i możliwości usprawnień. ....	898
Tabela 7. 9 Przykładowe zużycie energii (faktyczne wielkości zużycia pary, gazu i energii elektrycznej przy 100% wydajności) w papierni niezintegrowanej wytwarzającej papier powlekany ze zdolnością produkcyjną 150 000 t/rok. ....	900
Tabela 7. 10 Typowe zużycie energii elektrycznej na rafinowanie według produktów. ....	902
Tabela 7. 11 Typowe zużycie energii elektrycznej w nowoczesnych papierniach dla 100% wydajności maszyny papierniczej (na nawijaku). ....	903
Tabela 7. 12 Typowe wielkości jednostkowego zużycia energii w układzie doprowadzenia masy do wlewu maszyny papierniczej. ....	904
Tabela 7. 13 Typowe wielkości jednostkowego zużycia energii w układzie próżniowym części mokrej maszyny papierniczej. ....	904
Tabela 7. 14 Typowe wielkości jednostkowego zużycia energii w rozczyniaczach pod maszyną papierniczą .....	905
Tabela 7. 15 Typowe wielkości jednostkowego zużycia energii na tonę rafinowanej masy w rafineriach w przypadku nowych maszyn. ....	905
Tabela 7. 16 Typowe wielkości jednostkowego zużycia energii w przygotowaniu masy oraz w układzie wody podsitowej na tonę papieru (bez rafinowania, rozwłókniania i układu doprowadzenia masy do wlewu). ....	905
Tabela 7. 17 Typowe jednostkowe zużycie energii w napędach urządzeń papierni. ....	906
Tabela 7. 18 Dane dotyczące zużycia energii w konwencjonalnych papierniach wytwarzających bibułki tissue. ....	907
Tabela 7. 19 Przykładowe ilości opadów stałych (w tonach na rok) dla niektórych rodzajów papieru. ....	932
Tabela 7. 20 Substancje organiczne oznaczone w powietrzu odprowadzanym z papierni przed wymiennikiem ciepła. ....	934
Tabela 7. 21 Główne źródła hałasu w maszynach do wyrobu papieru i tektury. ....	936
Tabela 7. 22 Informacje dotyczące każdej techniki przedstawionej w tym rozdziale. ....	938
Tabela 7. 23 Możliwe korzystne i niekorzystne skutki zwiększenia zakresu zamknięcia obiegów wodnych w papierniach. ....	942
Tabela 7. 24 Przykładowe obliczenia kosztów eksploatacyjnych ultrafiltracji wody podsitowej z produkcji papierów drukowych. ....	950
Tabela 7. 25 Obliczenia ekonomiczne dla procesu odzyskiwania składników mieszanek powlekających za pomocą ultrafiltracji. ....	958
Tabela 7. 26 Średnie roczne emisje z niezintegrowanych papierni po oczyszczaniu biologicznym. ....	968
Tabela 7. 27 Średnie roczne emisje ścieków z papierni niezintegrowanych wytwarzających papiery specjalne po oczyszczaniu biologicznym. ....	969
Tabela 7. 28 Efektywność strącania chemicznego/flokulacji jako odrębnej metody lub III stopnia oczyszczania ścieków z papierni. ....	972
Tabela 7. 29 Dostępne rozwiązania zapewniające oszczędności energii i orientacyjne możliwości poprawy. ....	977

Tabela 7. 30 Orientacyjne poziomy zużycia ciepła i energii elektrycznej dla różnych rodzajów papierni niezintegrowanych wytwarzających papiery do zastosowań poligraficznych i bibułki issue z konwencjonalnym układem suszenia.....	978
Tabela 7. 31 Przykłady poziomów zużycia energii związanych z zastosowaniem niektórych technik, które należy uwzględnić w odniesieniu do produkcji różnych rodzajów papieru.....	980
Tabela 7. 32 Obliczenia kosztów rafinera (300 bezwzględnie suchych ton na dobę) dla rafinowania włókien drzew liściastych.....	986
Tabela 7. 33 Nowo powstające techniki do zastosowania w ciągu maszyny papierniczej.....	998
Tabela 8. 1 Poziomy emisji związane z BAT dotyczące bezpośredniego zrzutu ścieków do wód przez zakłady wytwarzające bieloną masę celulozową.....	1022
Tabela 8. 2 Poziomy emisji związane z BAT dotyczące bezpośredniego zrzutu ścieków do wód przez zakłady wytwarzające niebieloną masę celulozową.....	1022
Tabela 8. 3 Związane z BAT poziomy emisji SO <sub>2</sub> i całkowitej siarki zredukowanej z kotła odzysknicowego.....	1023
Tabela 8. 4 Poziomy związane z BAT dla emisji NO <sub>x</sub> z kotła odzysknicowego.....	1024
Tabela 8. 5 Poziomy związane z BAT dla emisji pyłu z kotła odzysknicowego.....	1025
Tabela 8. 6 Poziomy emisji związane z BAT dla SO <sub>2</sub> i emisje siarki z wapiennika.....	1025
Tabela 8. 7 Poziomy związane z BAT dla emisji całkowitej siarki zredukowanej i siarki z wapiennika.....	1026
Tabela 8. 8 Poziomy związane z BAT dla emisji NO <sub>x</sub> z wapiennika.....	1026
Tabela 8. 9 Poziomy związane z BAT dla emisji pyłu pochodzących z wapiennika.....	1026
Tabela 8. 10 Poziomy związane z BAT dla emisji SO <sub>2</sub> powstałych wskutek spalania silnych gazów w dedykowanym palniku TRS.....	1027
Tabela 8. 11 Poziomy związane z BAT dla emisji NO <sub>x</sub> powstałych wskutek spalania silnych gazów w dedykowanym palniku TRS.....	1027
Tabela 8. 12 Poziomy emisji związane z BAT dotyczące bezpośredniego zrzutu ścieków do wód przyjmujących z celulozowni produkujących siarczynową bieloną masę celulozową oraz masę magnefitową.....	1029
Tabela 8. 13 Poziomy emisji związane z BAT dotyczące bezpośredniego zrzutu ścieków do wód przyjmujących z celulozowni produkujących siarczynową masę celulozową z neutralnym siarczynem pół-chemicznym.....	1030
Tabela 8. 14 Poziomy związane z BAT dla emisji NO <sub>x</sub> i NH <sub>3</sub> z kotła odzysknicowego.....	1031
Tabela 8. 15 Poziomy związane z BAT dla emisji pyłu i SO <sub>2</sub> z kotła odzysknicowego.....	1031
Tabela 8. 16 Poziomy emisji związane z BAT dla bezpośredniego zrzutu ścieków do wód przyjmujących wskutek zintegrowanej produkcji papieru oraz produkcji tektury z pulpy mechanicznej wytwarzanej na miejscu.....	1033
Tabela 8. 17 Poziomy emisji związane z BAT dla bezpośredniego zrzutu ścieków do wód przyjmujących z zakładów produkujących chemo-mechaniczną i chemo-termo-mechaniczną masę celulozową.....	1033
Tabela 8. 18 Poziomy emisji związane z BAT dla bezpośredniego zrzutu ścieków do wód przyjmujących wskutek zintegrowanej produkcji papieru i tektury z masy celulozowej z włóknami po recyklingu, wyprodukowanej na miejscu bez odbarwiania.....	1036
Tabela 8. 19 Poziomy emisji związane z BAT dotyczące bezpośredniego zrzutu ścieków do wód przyjmujących wskutek zintegrowanej produkcji papieru i tektury z pulpy z włókien poddanych recyklingowi wraz z odbarwianiem na miejscu.....	1036

Tabela 8. 20 Poziomy emisji związane z BAT dla bezpośredniego zrzutu ścieków do wód przyjmujących z niezintegrowanych papierń i zakładów produkujących tekturę (wyłączając papier specjalistyczny) .....	1038
Tabela 8. 21 Poziomy emisji związane z BAT dla bezpośredniego zrzutu ścieków do wód przyjmujących z niezintegrowanych papierń produkujących papier specjalistyczny.....	1039
Tabela 9. 1 Kluczowe momenty procesu oceny dokumentów referencyjnych z obszaru BAT (ang. BREF) dotyczących produkcji mas włóknistych, papieru i tektury.....	1048
Tabela 9. 2 Rozbieżne opinie .....	1048
Tabela 10. 1 Profil produkcji zakładu wieloproduktowego.....	1051
Tabela 10. 2 BAT-AEL dla chemicznego zapotrzebowania tlenu w różnych typach produkcji w zakładzie wieloproduktowym.....	1052
Tabela 10. 3 Średnie wartości roczne, miesięczne i dzienne dla specyficznych emisji chemicznego zapotrzebowania tlenu (COD) z czterech zakładów .....	1058
Tabela 10. 4 Czynniki zmienności dziennej/rocznej w przypadku kotłów odzysknicowych ....	1059
Tabela 10. 5 Czynniki zmienności dziennej/rocznej w przypadku wapienników .....	1060

## ZAKRES

Niniejszy dokument referencyjny BREF dotyczący działań opisanych w sekcjach 6.1 lit. a) i 6.1 lit. b załącznika I do dyrektywy 2010/75/UE, czyli zintegrowanej i niezintegrowanej produkcji w instalacjach przemysłowych służących do:

- (a) produkcji masy włóknistej z drewna lub innych materiałów włóknistych;
- (b) produkcji tektury, o mocach wytwórczych przekraczających 20 ton na dobę.

W szczególności, dokument ten odnosi się do następujących procesów i działań:

- roztwarzanie chemiczne:
  - proces roztwarzania siarczanowego
  - proces roztwarzania siarczynowego
- wytwarzanie mas mechanicznych i chemo-mechanicznych
- przerób makulatury z odbarwianiem i bez odbarwiania
- wytwarzanie papieru i procesy z tym powiązane
- procesy zachodzące we wszystkich kotłach regeneracyjnych i piecach wapiennych wykorzystywanych w zakładach celulozowo-papierniczych.

Niniejszy dokument obejmuje obiekty energetycznego spalania wytwarzające parę wodną i energię elektryczną o zainstalowanej mocy cieplnej od 5 MW<sub>t</sub> do 50 MW<sub>t</sub>. Uwzględniono w nim również wszelkiego rodzaju kotły regeneracyjne, niezależnie od ich pojemności, oraz piece wapienne wykorzystywane w zakładach celulozowo-papierniczych.

Dokument ten nie obejmuje następujących rodzajów działalności:

- produkcji masy włóknistej z surowców włóknistych innych niż drewno (np. masy włóknistej roślin jednorocznych);
- stacjonarnych silników wewnętrznego spalania;
- obiektów energetycznego spalania innych niż kotły regeneracyjne o zainstalowanej mocy cieplnej poniżej 5 MW<sub>t</sub>;
- suszarek z wewnętrznymi palnikami do maszyn papierniczych i powlekarek.

Inne dokumenty referencyjne istotne dla rodzajów działalności objętych niniejszym dokumentem:

Dokument referencyjny	Rodzaj działalności
Przemysłowe systemy chłodzenia (ICS)	Przemysłowe systemy chłodzenia, np. chłodnie kominowe, płytowe wymienniki ciepła
Aspekty ekonomiczne i oddziaływanie na komponenty środowiska	Skutki ekonomiczne i oddziaływanie technik na komponenty środowiska
Emisje z magazynowania (EFS)	Emisje ze zbiorników, rurociągów i magazynowanych
Efektywność energetyczna (ENE)	Ogólna efektywność energetyczna
Duże obiekty energetycznego spalania (LCP)	Wytwarzanie pary technologicznej i energii elektrycznej w zakładach celulozowo-papierniczych przez obiekty energetycznego spalania o zainstalowanej mocy cieplnej

Ogólne zasady monitorowania (MON)	Monitorowanie emisji
Spalanie odpadów (WI)	Spalanie i współspalanie odpadów na miejscu
Sektor przetwarzania odpadów (WT)	Przygotowanie odpadów na paliwo

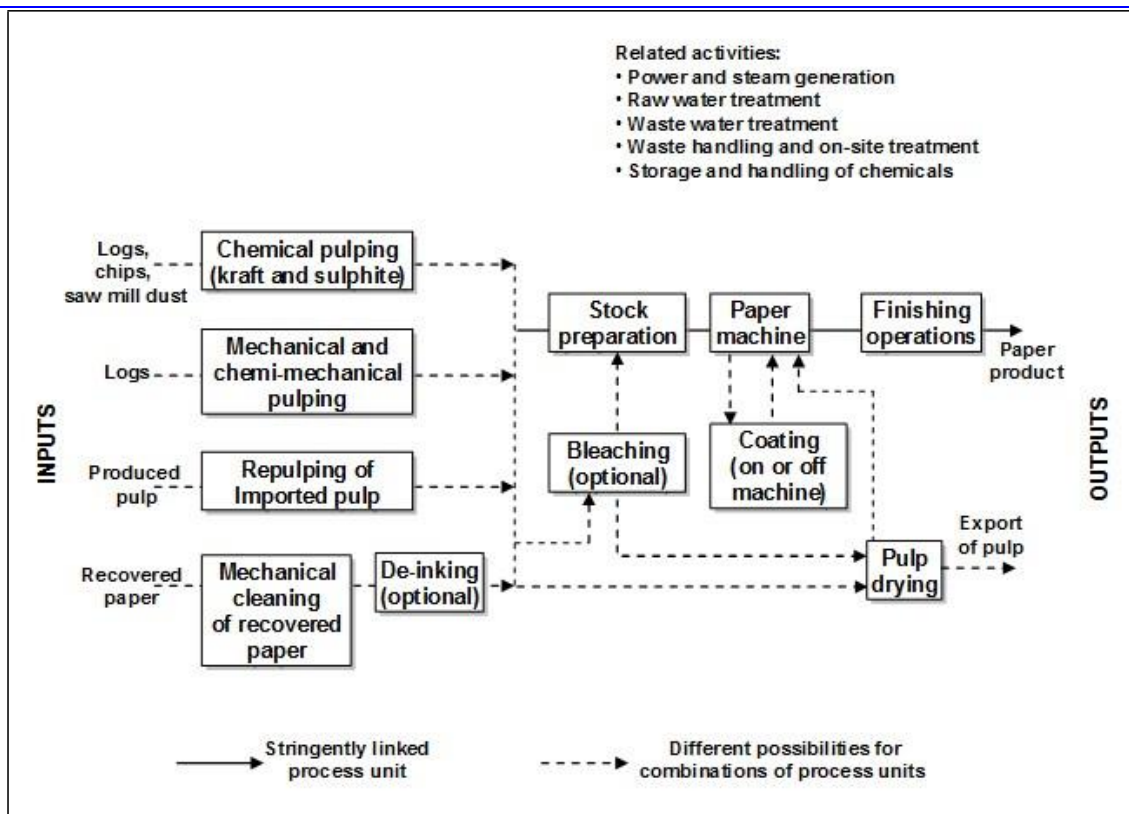
Zakres niniejszego dokumentu referencyjnego BREF nie obejmuje zagadnień, które dotyczą wyłącznie bezpieczeństwa w miejscu pracy lub bezpieczeństwa produktów, ponieważ zagadnienia te nie są objęte zakresem dyrektywy. Są one omawiane jedynie, gdy mają one wpływ na zagadnienia objęte zakresem dyrektywy.

Papiernia może ponownie rozczynić masę celulozową wyprodukowaną gdzie indziej lub może być zintegrowana z procesami wytwarzania masy na miejscu. Inaczej mówiąc, rodzaje działalności produkcyjnej obejmujące wytwarzanie mas włóknistych i przerób makulatury oraz procesy wytwarzania samego papieru mogą być podejmowane oddzielnie lub w powiązaniu ze sobą w tym samym zakładzie. Zarówno celulozownie jak i papiernie pracują w sposób niezintegrowany lub zintegrowany. Wytwarzanie mas mechanicznych i przerób włókien wtórnych odbywa się zwykle w zintegrowanych wytwórniach papieru, ale obecnie pojawiają się również wytwórnie prowadzące tylko działalność tego typu.

Niniejszy dokument obejmuje procesy związane z produkcją mas włóknistych i papieru w wytwórniach zintegrowanych, jak również w niezintegrowanych celulozowniach (produkujących masę włóknistą towarową) i w niezintegrowanych papierniach stosujących jako surowiec do produkcji papieru masę nabytą.

Główne procesy rozpatrywane w niniejszym dokumencie zostały zilustrowane na rysunku poniżej.





Related activities:	Działania powiązane
• Power and steam generation	Wytwarzanie energii elektrycznej i pary
• Raw water treatment	Uzdatnianie wody surowej
• Waste water treatment	Oczyszczanie ścieków
• Waste handling and on-site treatment	Gospodarka odpadami i przetwarzanie odpadów na miejscu
• Storage and handling of chemicals	Magazynowanie chemikaliów i postępowanie z tymi substancjami
Logs, chips, saw mill dust	Kłody, zrębki, pył drzewny
Chemical pulping (kraft and sulphite)	Roztworzenie chemiczne (siarczanowe i siarczynowe)
Logs	Kłody
Produced pulp	Masa nabyta
Mechanical and chemi-mechanical pulping	Wytwarzanie mas mechanicznych i chemicznych
Repulping of Imported pulp	Rozczynianie masy nabytej
Recovered paper	Makulatura
Mechanical cleaning of recovered paper	Mechaniczne oczyszczanie makulatury
De-inking (optional)	Odbarwianie (opcjonalnie)
Stock preparation	Przygotowanie masy papierniczej
Paper machine	Maszyna papiernicza
Finishing operations	Operacje wykończenia
Bleaching (optional)	Bielenie (opcjonalnie)
Coating (on or off machine)	Powlekanie (na maszynie lub poza maszyną)
Paper product	Papier
Pulp drying	Suszenie masy
Export of pulp	Masa na sprzedaż
Stringently linked process unit	Ściśle powiązana jednostka procesowa

Different possibilities for combinations of process units	Różne możliwe kombinacje jednostek procesowych
INPUTS	SUROWCE
OUTPUTS	PRODUKTY

Procesy niewykorzystywane w technologii wyrobu papieru, takie jak: gospodarka leśna, produkcja chemikaliów procesowych poza zakładem i transport materiałów, a także działania, takie jak powlekanie papieru i drukowanie, nie zostały ujęte w niniejszym dokumencie. Tym niemniej ostatnio wymienione działania mają wpływ na jakość makulatury i procesy przygotowania gotowych produktów.

Istnieje również wiele istotnych z punktu widzenia ochrony środowiska procesów i operacji, które nie odnoszą się w szczególny sposób do produkcji celulozowo-papierniczej, a zatem będą tylko krótko wspomniane w tym dokumencie. Obejmują one:

- magazynowanie chemikaliów i postępowanie z tymi substancjami
- uzdatnianie wody surowej
- układy chłodzenia i układy próżniowe
- monitorowanie emisji.

Dokument nie uwzględnia produkcji masy włóknistej z surowca roślinnego innego niż drewno (np. z roślin jednorocznych) ze względu na obszerność tej tematyki. Instalacje powinny być oceniane indywidualnie.

# 1 INFORMACJE OGÓLNE

## 1.1 Zużycie papieru w Europie

W rozwiniętych społeczeństwach większość osób codziennie korzysta z wielorakich produktów na bazie papieru i tektury. Papier, zgodnie z naszą dzisiejszą wiedzą, jest używany od ponad dwóch tysięcy lat i skutecznie konkuruje z nowoczesnymi, elektronicznymi nośnikami informacji oraz z najnowszymi materiałami opakowaniowymi plastikowymi i wieloskładnikowymi. W Tabeli 1.1 przedstawiono główne zastosowania papieru i tektury.

Tabela 1.1 Główne zastosowania papieru i tektury

Dziedzina zastosowania	Typowe rodzaje	Typowe produkty końcowe	Tendencje i uwagi
Gromadzenie, przechowywanie i rozpowszechnianie informacji	<ul style="list-style-type: none"> <li>Papier gazetowy</li> <li>Drzewne powlekanie i niepowlekanie (SC i LWC) do drukowania czasopism ilustrowanych</li> <li>Bezdrzewne powlekanie i niepowlekanie do drukowania i pisanie</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Gazety</li> <li>Czasopisma</li> <li>Książki</li> <li>Wydruki komputerowe</li> <li>Kserokopie</li> <li>Wkładki</li> <li>Ilustracje</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wzrost stosowania wielobarwnego drukowania i kopiowania</li> <li>Wzrost udziału włókien wtórnych</li> <li>Wzrost udziału środków pomocniczych</li> </ul>
Opakowania stosowane w celach transportu, dystrybucji i zabezpieczenia	<ul style="list-style-type: none"> <li>Papier workowy</li> <li>Papier do produkcji toreb</li> <li>Na warstwę pofalowaną</li> <li>Tektura pudełkowa</li> <li>Tektura do pakowania cieczy</li> <li>Papier pakowy</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Torby</li> <li>Pudełka</li> <li>Opakowania z papieru pakowego</li> <li>Pojemniki</li> <li>Organizery do toreb</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wzrost zastosowania w dystrybucji żywności i płynów</li> <li>Wzrost zapotrzebowania na opakowania papierowe związane ze sprzedażą wysyłkową</li> <li>Ogólny wzrost wtórnego wykorzystania materiałów opakowaniowych</li> <li>Zwiększone stosowanie kompozytów</li> </ul>
Higiena: <ul style="list-style-type: none"> <li>higiena osobista</li> <li>utrzymanie czystości</li> <li>zapobieganie chorobom</li> </ul>	Bibuła: <ul style="list-style-type: none"> <li>marszczona na sucho</li> <li>marszczona na mokro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Papier toaletowy</li> <li>Ręczniki kuchenne</li> <li>Chusteczki do odświeżania twarzy</li> <li>Serwetki</li> <li>Ręczniki do rąk</li> <li>Odzież szpitalna</li> <li>Ściereczki</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Wyższy ogólny standard życia wiąże się z większym zapotrzebowaniem</li> <li>Koniec łańcucha włókien wtórnych</li> <li>Stosowanie włókien pierwotnych do wyrobu produktów finalnych o najwyższej jakości</li> </ul>
	•		

Zastosowania specjalne – wielka różnorodność	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Papiery urzędowe</li> <li>• Papiery filtracyjne</li> <li>• Papiery ogniodoporne</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Banknoty</li> <li>• Znaczki (pocztowe i skarbowe)</li> <li>• Filtry powietrza</li> <li>• Filtry do ekspresów do kawy</li> <li>• Papier do pieczenia</li> </ul>	Ciągle rosnąca liczba nowych zastosowań
Źródło: [1, fiński raport BAT, 1997] zmodyfikowano przez EIIPCB.			

Tendencją niewymienioną powyżej jest łączenie w wielu produktach kilku funkcji, jak na przykład drukowanie na opakowaniach czy ręcznikach; gramatura niektórych materiałów opakowaniowych została zmniejszona, aby sprostać wymaganiom klientów (opakowania lekkie bądź tektura falista); prowadzone są obecnie prace nad zwiększeniem możliwości w zakresie powtórnego wykorzystania makulatury – istnieją na przykład grupy robocze zajmujące się zagadnieniami związanymi z farbami drukarskimi lub innymi materiałami wykorzystywanymi w przetwórstwie papieru, które mogą mieć negatywny wpływ na odzysk papieru.

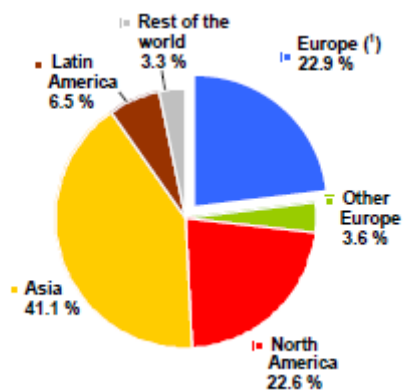
Zużycie papieru i tektury jest ściśle związane ze standardem życia i sytuacją ekonomiczną użytkowników tych materiałów. W długiej perspektywie można zaobserwować wyraźną zależność między zwiększeniem zużycia tych produktów a wzrostem PKB (produkt krajowy brutto).

Tabela 1.2 przedstawia poziom zużycia papieru na głowę mieszkańca i całkowite zużycie papieru w różnych krajach.

Tabela 1. 2 Zużycie papieru na głowę mieszkańca i według krajów w 2008 r.

Państwo członkowskie UE	Zużycie <sup>(1)</sup> na jednego mieszkańca (w kg)		Zużycie <sup>(1)</sup> w poszczególnych krajach (w 1.000 ton)		Populacja w mln)	
	1995	2008	1995	2008	1995	2008
Austria	185	257	1 468	2 140	7,9	8.3
Belgia	256	346	2 589	3 691	10,1	10.7
Bułgaria	30	49	249	376	8,4	7.6
Cypr	BD	137	BD	108	0,6	0.8
Czechy	67	149	693	1 549	10,3	10.4
Dania	217	225	1 134	1 234	5,2	5.5
Estonia	35	109	50	146	1,4	1.3
Finlandia	256	291	1 303	1 540	5,1	5.3
Francja	162	179	9 629	11 462	59,3	64.0
Niemcy	206	286	16 815	23 525	81,5	82.2
Grecja	85	107	902	1 199	10,6	11.2
Węgry	49	90	508	906	10,3	10.0
Irlandia	99	113	357	496	3,6	4.4
Włochy	160	187	9 108	11 126	56,8	59.6
Łotwa	28	83	71	188	2,5	2.3
Litwa	20	61	74	206	3,6	3.4
Luksemburg	BD	BD	BD	245	0,4	0.5
Malta	70	88	26	36	0,4	0.4
Holandia	202	246	3 121	4 040	15,4	16.4
Polska	40	115	1 551	4 364	38,6	38.1
Portugalia	80	108	803	1 147	10,0	10.6
Rumunia	15	31	345	663	22,7	21.5
Słowacja	61	93	325	503	5,4	5.4
Słowenia	121	171	240	344	2,0	2.0
Hiszpania	131	160	5 151	7 267	39,3	45.3
Szwecja	208	228	1 831	2 089	8,8	9.2
Wielka Brytania	197	186	11 398	11 401	57,9	61.2
<b>Kraje pozaunijne</b>						
Norwegia	174	168	758	794	4,3	4.7
Szwajcaria	218	218	1 528	1 656	7,0	7.6
USA	332	266	87 409	87 687	263	307
Chiny	22	59	26 499	79 130	1 205	1 339
Indonezja	14	25	2 641	5 916	189	240
Japonia	239	242	30 018	30 694	126	127
Brazylia	35	45	5 433	8 871	155	199
Egipt	9	21	606	1 751	67	83
<b>Ogółem świat</b>	<b>49</b>	<b>58</b>	<b>276 231</b>	<b>391 325</b>	<b>5 637</b>	<b>6 772</b>
<sup>(1)</sup> Zużycie = produkcja + import – eksport Uwagi: BD = brak danych Źródło: RISI 2009, [2. CEPI 2009].						

Średnie światowe zużycie papieru na głowę mieszkańca wyniosło w 2008 r. 58 kg, co łącznie stanowi ok. 391,3 miliona ton papieru zużytego w tym roku. Rysunek 1.1 pokazuje rozkład zużycia papieru w głównych regionach świata (dane dotyczące ‘Europy’ odnoszą się do 18 krajów stowarzyszonych w ramach Europejskiej Konfederacji Producentów Papieru; dane dla ‘pozostałych krajów europejskich’ podano oddzielnie). Zużycie papieru w Europie stanowi ok. 25% zużycia światowego.



(1) Kraje stowarzyszone w ramach CEPI: AT, BE, CH, CZ, DE, ES, FI, FR, HU, IT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SK, UK.

Source: RISI 2009, [2, CEPI 2009]

Rysunek 1.1 Zużycie papieru w poszczególnych regionach w 2007 r.

Rest of the world	Reszta świata
Europe	Europa
Other Europe	Pozostałe kraje europejskie
North America	Ameryka Północna
Asia	Azja
Latin America	Ameryka Łacińska
(1) CEPI associated countries = AT, BE, CH, CZ, DE, ES, FI, FR, HU, IT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SK, UK.	(1) Kraje stowarzyszone w ramach CEPI = AT, BE, CH, CZ, DE, ES, FI, FR, HU, IT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SK, UK.
Source: RISI 2009, [2, CEPI 2009]	Źródło: RISI 2009, [2, CEPI 2009]

## 1.2 Przegląd zagadnień związanych z produkcją mas włóknistych, papieru i tektury

Przemysł celulozowo-papierniczy dostarcza podstawowego produktu – papieru – ponad 5 mld ludziom na całym świecie. Początkowo produkcja papieru była powolnym procesem wymagającym dużych nakładów pracy. Obecnie do produkcji mas włóknistych i papieru wykorzystywane są kapitałochłonne urządzenia techniczne i zaawansowane technologie oraz wysoce wydajne maszyny papiernicze, produkujące role papieru o szerokości przekraczającej 8 metrów z szybkością do 2,000 m/min.

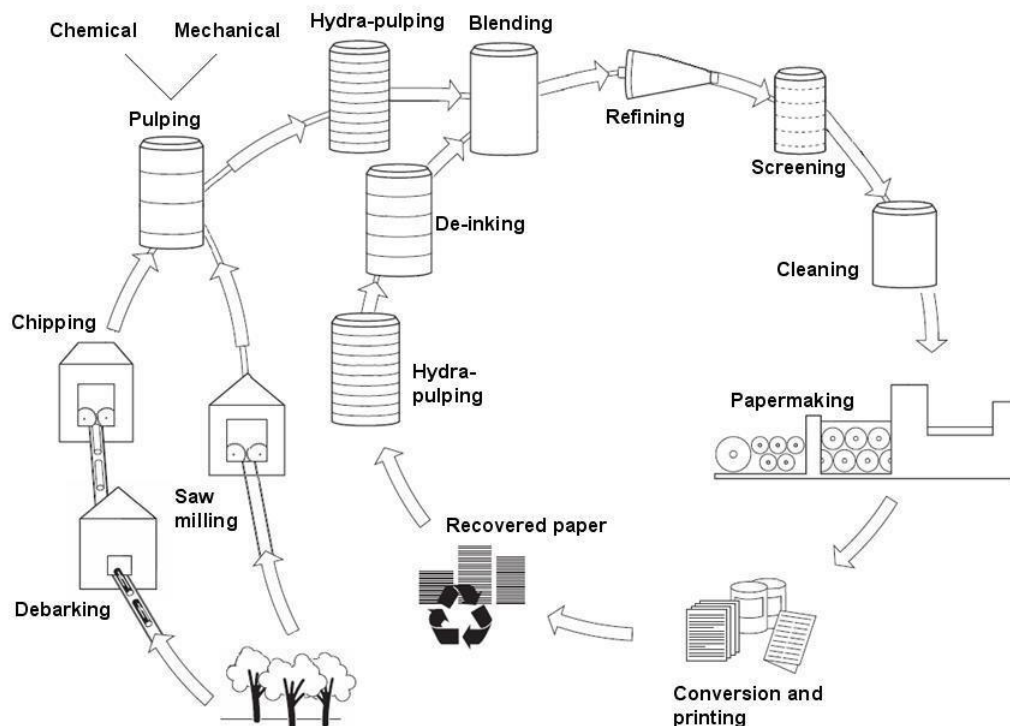
Papier to arkusz z włókien celulozowych z dodatkiem, jeśli jest to konieczne, składników mających wpływ na jakość tego arkusza i jego przydatność do zamierzonego zastosowania końcowego.

Kryterium różniącym papier od tektury (pkt 6.1 b) załącznika 1 do dyrektywy 2010/75/UE w sprawie emisji przemysłowych) jest ogólnie ujmując masa arkusza produktu (jego gramatura). Papier jest arkuszem o gramaturze w zakresie do około 160-220 g/m<sup>2</sup>, a cięższe arkusze uważa się za tekturę. W poszczególnych krajach występują jednak nieznaczne różnice w odniesieniu do gramatury odróżniającej papier od tektury.

Ujednolicony wykaz klas papieru i tektury [3, CEPI 2007] nie zawiera odniesienia do gramatury, lecz definiuje karton jako papier i tekturę wykorzystywane głównie do produkcji kartonów litych. Karton jest wyrobem wielowarstwowym, składającym się zazwyczaj z trzech lub większej liczby warstw. Karton jest określany również jako tektura lita, tektura na pudełka (składane) lub tektura wykorzystywana w celach transportowych.

Oficjalna definicja ISO 4046 (2002), ‘papier, tektura, masa włóknista i określenia związane – terminologia’, pokrywa się zasadniczo z definicją zawartą w wykazie CEPI: w sensie ogólnym, termin ‘papier’ może być używany zarówno w odniesieniu do papieru jak i tektury. Podstawową cechą różniącą papier od tektury jest zwykle jego grubość lub gramatura, choć w niektórych przypadkach o przynależności do danej kategorii decydują właściwości wyrobu lub jego końcowe zastosowanie. Na przykład, niektóre materiały o niższej gramaturze, takie jak pewne rodzaje kartonu na pudełka składane oraz materiał pofalowany są ogólnie określane mianem ‘tektury’, podczas gdy inne materiały o wyższej gramaturze, takie jak niektóre rodzaje bibuły, papier filcowy i papier ciągniony są określane ogólnie jako ‘papier’.

Masa papiernicza może być wyprodukowana sposobami chemicznym lub mechanicznym z włókien pierwotnych albo może być wytworzona przez rozczynianie makulatury i dalszy przerób na włókna wtórne (RCF). Drewno jest Rysunek 1.2 pokazuje główne etapy procesu roztwarzania masy włóknistej i produkcji papieru.



Źródło: CEPI

Rysunek 1.2 Proces produkcji papieru

Chemical	Chemiczne
Mechanical	Mechaniczne
Hydra-pulping	Rozwłóknianie na mokro
Blending	Mieszanie
Refining	Rafinacja
Screening	Sortowanie
Cleaning	Czyszczenie
Papermaking	Produkcja papieru
Conversion and printing	Konwersja i drukowanie
Recovered paper	Makulatura
Hydrapulping pulping	Rozwłóknianie w hydropulperze
De-inking	Odbarwianie
Pulping	Roztworzenie
Chipping	Wiórowanie
Saw milling	Mielenie drewna
Debarking	Korowanie
Source: CEPI	Źródło: CEPI

Proces produkcji papieru rozpoczyna się od usunięcia kory z kłód drewna i rozdrobnienia ich na małe kawałki. Następnie dodawana jest woda i dostarczana jest energia cieplna. Przy użyciu środków mechanicznych lub chemicznych, drewno jest rozdzielane na poszczególne włókna (proces roztwarzania). Po sortowaniu i czyszczeniu, a w niektórych przypadkach również rafinacji, włókna są mieszane z wodą. Tak uzyskana zawiesina masy włóknistej jest następnie natryskiwana na płaskie sito maszyny papierniczej pracującej z dużą prędkością. Odprowadzana jest woda, a włókna wiążą się ze sobą. Wstęga papieru zostaje sprasowana



---

przez walce, które wyciskają większą ilość wody i pozwalają uzyskać gładką powierzchnię. Papier jest następnie suszony za pomocą podgrzewanych cylindrów i cięty na mniejsze role, a w niektórych przypadkach na arkusze.

Skład drewna zmienia się w zależności od rodzaju i gatunku, najważniejszymi składnikami pozostają celuloza, hemiceluloza i lignina. Drewno zawiera około 50% wody, a jego część stała składa się zazwyczaj z około 45% celulozy, 25% hemiceluloz i 25% ligniny oraz 5% innych substancji organicznych i nieorganicznych. W procesie roztwarzania chemicznego w celu rozpuszczenia ligniny i uwolnienia włókien stosowane są substancje chemiczne.

W związku z tym lignina i szereg innych substancji organicznych jest wprowadzanych do roztworu, z którego odzyskiwane są substancje chemiczne i energia zawarta w ligninie oraz innych substancjach organicznych. Stopień odzysku jest uzależniony od zastosowanej bazy chemicznej i skonfigurowania procesu. W wyrobie masy mechanicznej do wyodrębnienia włókien stosuje się siły ścierające, a większość ligniny pozostaje z włóknami, chociaż i tu ma miejsce przenikanie do roztworu niektórych substancji organicznych.

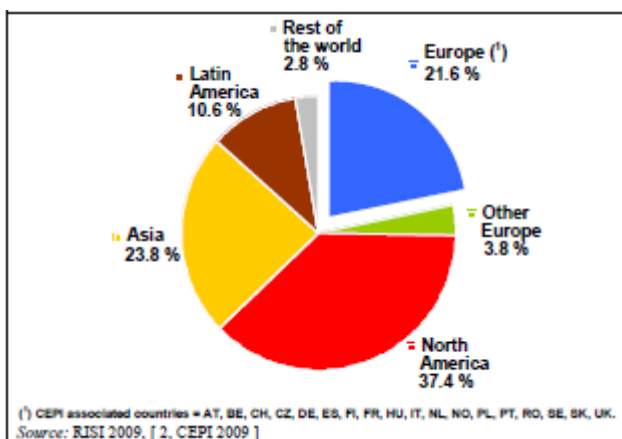
Masy włókniste wytwarzane różnymi metodami wykazują różne właściwości, które czynią je przydatnymi do wyrobu określonych produktów. Większość mas włóknistych wytwarza się w celu późniejszej produkcji papieru lub tektury. Niektóre są przeznaczone do innych zastosowań, jak na przykład grube płyty pilśniowe lub produkty z pochodnych celulozy (patrz pkt 4.1.1.3).

W Europie ponad 50% włókien wykorzystywanych w sektorze papierniczym uzyskuje się z makulatury. Papier wyprodukowany z wykorzystaniem włókien wtórnych uzyskanych z makulatury wymaga usunięcia zanieczyszczeń, a w pewnych przypadkach również odbarwiania, w zależności od jakości materiału z odzysku i wymogów w odniesieniu do produktu końcowego uzyskiwanego w procesie odzysku. Tak uzyskane włókna mogą zostać wykorzystane ponownie wiele razy, w zależności od jakości materiału z odzysku i przeznaczenia produktu końcowego. Masę produktu papierniczego może stanowić również do 45% wypełniaczy, powłok i innych substancji niewłóknistych. Selektowna zbiórka i sortowanie makulatury ma ogromny wpływ na jej jakość, ponieważ procesy te przyczyniają się do osiągnięcia wysokiego poziomu odzysku.

Sektor papierniczy w Europie wytwarza wiele różnych rodzajów papieru. Na potrzeby zastosowania koncepcji BAT, zostały one podzielone na różne grupy (patrz pkt 1.5).

### 1.3 Europejski rynek mas włóknistych

Europa odgrywa znaczącą rolę w światowym przemyśle celulozowo-papierniczym. Jak pokazano na rys. 1.3 (dane dla 'Europy' dotyczą jedynie 18 krajów stowarzyszonych w ramach CEPI), Europa jest drugim co do wielkości producentem i trzecim największym konsumentem papieru i tektury na świecie po Stanach Zjednoczonych, wyprzedzając nieznacznie Azję. Jej rola w produkcji mas włóknistych jest znacząca – roczna produkcja mas z drewna wynosi około 41,8 milionów ton, co odpowiada około 22% światowej produkcji wynoszącej 192,4 mln ton



Źródło: RISI 2009, [ 2, CEPI 2009 ]

Rysunek 1.3 Produkcja mas włóknistych w 2008 r. według regionów

Rest of the world	Reszta świata
Europe	Europa
Other Europe	Pozostałe kraje europejskie
North America	Ameryka Północna
Asia	Azja
Latin America	Ameryka Łacińska
(1) CEPI associated countries = AT, BE, CH, CZ, DE, ES, FI, FR, HU, IT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SK, UK.	(1) Kraje stowarzyszone w ramach CEPI = AT, BE, CH, CZ, DE, ES, FI, FR, HU, IT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SK, UK.
Source: RISI 2009, [ 2, CEPI 2009 ]	Źródło: RISI 2009, [ 2, CEPI 2009 ]

Większość papierówki (drewno okrągłe i zrębki) wykorzystywanej w Europie do produkcji mas włóknistych pochodzi od dostawców lokalnych: w 2008 r. 79%, tj. 88,1 mln ton papierówki pochodziło od dostawców lokalnych, a pozostałe 21%, tj. 23,6 mln ton zostało dostarczonych do europejskich celulozowni, które zużyły w sumie 111,7 mln ton papierówki. (Źródło: Eurostat, CEPI).

W Europie dostawy masy włóknistej towarowej pochodzą głównie z celulozowni zlokalizowanych w Finlandii, Szwecji, Francji, Portugalii, Hiszpanii, Austrii, Niemczech i Polsce. Na rynku mas włóknistych dominuje bielona masa siarczanowa, która stanowi ponad trzy czwarte całkowitej produkcji mas towarowych wynoszącej 13,3 mln ton. Do obrotu na rynku trafiło jedynie 1 mln ton masy siarczynowej (w tym masy włóknistej do przerobu chemicznego i masy do specjalnych zastosowań chemicznych) oraz 0,9 mln ton masy mechanicznej (ścieru klasycznego (SGW), masy termomechanicznej (TMP)) i masy pół-

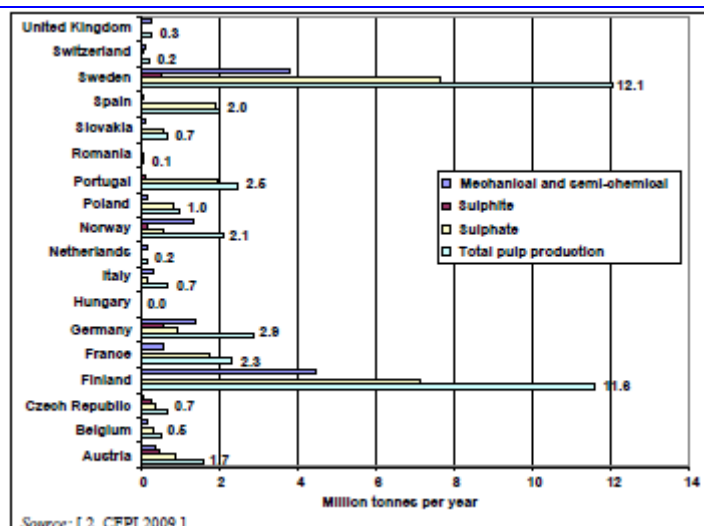
chemicznej.

Finlandia i Szwecja są głównymi producentami mas celulozowych zarówno z drewna iglastego jak i liściastego, natomiast Portugalia i Hiszpania dostarczają na rynek znaczące ilości gatunków mas z drewna liściastego. Ponad 50% masy siarczanowej i masy siarczynowej jest wytwarzanej w Europie jest wykorzystywane w zintegrowanych papierniach i celulozowniach. Tabela 1.3 pokazuje całkowitą produkcję głównych rodzajów mas włóknistych w Europie oraz udział mas wykorzystywanych w produkcji zintegrowanej i udział mas towarowych dla każdego rodzaju masy (dane z roku 2008).

**Tabela 1.3 Całkowita europejska produkcja głównych rodzajów mas włóknistych w 2008 r. (obszar CEPI) oraz udział produkcji zintegrowanej/mas towarowych**

Rodzaj masy	Produkcja całkowita (w mln ton)	Produkcja zintegrowana (w mln ton/rok)	Produkcja zintegrowana (%)	Masy towarowe (w mln ton/rok)	Masy towarowe (%)
Masy mechaniczne i półchemiczne	13.6	12.17	93.6 %	0.87	6.4 %
• Siarczynowa	2.2	1.07	53.5 %	1.02	46.5 %
• Siarczanowa	25.2	13.76	54.6 %	11.4	45.4 %
Masy chemiczne ogółem	27.4	14.93	54.5 %	12.47	45.5 %
Papiernicze masy celulozowe z drewna ogółem	40.9	27.61	67.5 %	13.3	32.5 %
Pozostałe rodzaje masy celulozowej	0.6	0.55	92.2 %	0.05	7.8 %
Masy celulozowe	41.6	28.21	67.8 %	13.4	32.2 %

W 2008 r. około 23,7 mln ton mas włóknistych zostało wyprodukowane w Finlandii i Szwecji (łącznie 57% całkowitej produkcji mas włóknistych wynoszącej 41,9 mln ton), podczas gdy Portugalia, Hiszpania, Austria, Niemcy, Norwegia i Francja wyprodukowały łącznie około 13,8 mln ton (33% produkcji całkowitej). Czterema największymi odbiorcami mas włóknistych towarowych były Włochy, Niemcy, Francja i Wielka Brytania. Rysunek 1.4 pokazuje całkowitą produkcję mas włóknistych w Europie w 2008 r. dla trzech głównych rodzajów masy. Podana została również całkowita produkcja mas włóknistych w poszczególnych krajach. Zaokrąglone wartości przedstawione na rys. 1.4 i rys. 1.5 stanowią ponad 95% całkowitej produkcji w Europie.

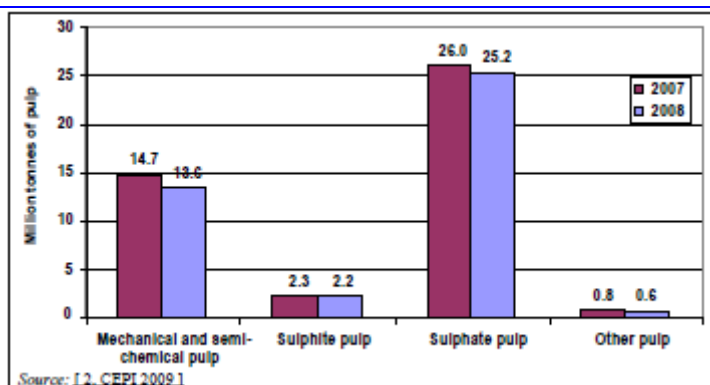


Źródło: [2, CEPI 2009]

Rysunek 1.4 Całkowita produkcja mas włóknistych w Europie w 2008 r. według ich rodzajów (dotyczy krajów stowarzyszonych w ramach CEPI)

Mechanical and semi-chemical	Mechaniczne i pół-chemiczne
Sulphite	Siarczynowe
Sulphate	Siarczanowe
Total pulp production	Produkcja ogółem
United Kingdom	Wielka Brytania
Switzerland	Szwajcaria
Sweden	Szwecja
Spain	Hiszpania
Slovakia	Słowacja
Romania	Rumunia
Portugal	Portugalia
Poland	Polska
Norway	Norwegia
Netherlands	Holandia
Italy	Włochy
Hungary	Węgry
Germany	Niemcy
France	Francja
Finland	Finlandia
Czech Republic	Czechy
Belgium	Belgia
Austria	Austria
Million tonnes per year	mln ton rocznie

W 2008 r. głównymi rodzajami papierówki w całej Europie były masy celulozowe siarczanowe (60% całkowitej produkcji mas włóknistych) oraz mechaniczne i pół-chemiczne (32% produkcji całkowitej), jak również masy siarczynowe (5% produkcji całkowitej). Rysunek 1.5 przedstawia dane dotyczące produkcji mas włóknistych w 2007 r. i 2008 r. dla głównych ich rodzajów w całej Europie.

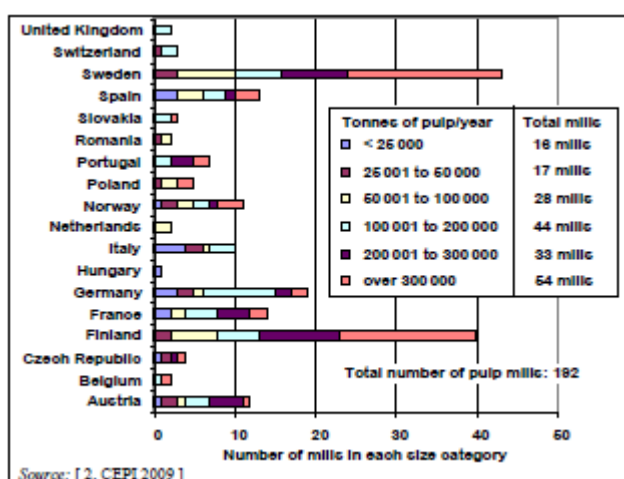


Źródło: [ 2, CEPI 2009 ]

Rysunek 1.5 Produkcja mas włóknistych w Europie według ich rodzajów (dotyczy krajów stowarzyszonych w ramach CEPI)

Million tonnes of pulp	mln ton
Mechanical and semichemical pulp	Masy mechaniczne i półchemiczne
Sulphite pulp	Masa siarczynowa
Sulphate pulp	Masa siarczanowa
Other pulp	Inne
Source: [ 2, CEPI 2009 ]	Źródło: [2, CEPI 2009]

Rysunek 1. 6 przedstawia rozmieszczenie geograficzne celulozowni w Europie. Całkowita liczba celulozowni obejmuje wszystkie celulozownie, włącznie z tymi, które nie zostały uwzględnione na wykresie słupkowym.



Rysunek 1.6 Rozmieszczenie geograficzne celulozowni w Europie ze wskazaniem rozkładu wielkości produkcji

Tonnes of pulp/year	mln ton rocznie
Total mills	Celulozownie ogółem
Mills	Celulozownie
Total number of pulp mills	Całkowita liczba celulozowni
Number of mills in each size category	Liczba celulozowni w każdym przedziale wielkości produkcji
United Kingdom	Wielka Brytania
Switzerland	Szwajcaria
Sweden	Szwecja

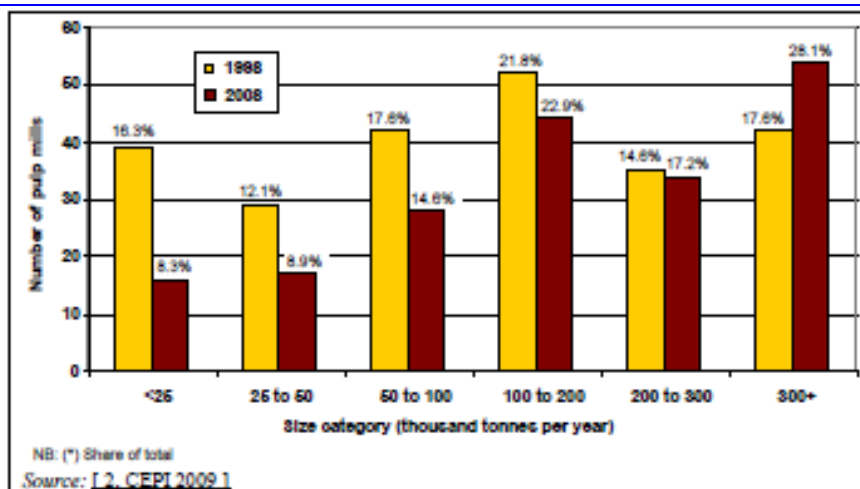
Spain	Hiszpania
Slovakia	Słowacja
Romania	Rumunia
Portugal	Portugalia
Poland	Polska
Norway	Norwegia
Netherlands	Holandia
Italy	Włochy
Hungary	Węgry
Germany	Niemcy
France	Francja
Finland	Finlandia
Czech Republic	Czechy
Belgium	Belgia
Austria	Austria
Source: [ 2, CEPI 2009 ]	Źródło: [2, CEPI 2009]

W Europie działają w sumie 192 celulozownie (produkujące wszystkie rodzaje mas). Jeśli chodzi o rozmieszczenie geograficzne produkcji poszczególnych rodzajów mas, masa siarczynowa jest produkowana w 77 celulozowniach zlokalizowanych w Szwecji (21) i Finlandii (17). Pozostała produkcja jest prowadzona w Hiszpanii (9), Francji (8), Portugalii (6), Polsce (3) i Austrii (3). Masa siarczynowa jest produkowana łącznie w 16 celulozowniach zlokalizowanych w Szwecji (4), Niemczech (4) i Austrii (3). Pozostałe 5 zakładów jest zlokalizowanych po jednym w różnych krajach.

W Europie funkcjonują 72 celulozownie produkujące masę mechaniczną. Są one zlokalizowane głównie w Finlandii (20), Niemczech (14), Szwecji (9), Norwegii (7), Francji (6), Włoszech (4) i Austrii (4). Głównymi producentami masy pół-chemicznej (łącznie 18 celulozowni) są Szwecja (7), Finlandia (3), Włochy (2) oraz Holandia (2). Pozostałe pojedyncze celulozownie są zlokalizowane w kilku innych krajach.

Szwecja i Finlandia posiadają większość dużych celulozowni o wydajności ponad 300 000 ton rocznie i jedynie kilka małych, o wydajności mniejszej niż 25 000 ton rocznie. Rysunek 1.7 przedstawia liczbę celulozowni według wielkości produkcji w latach 1998 i 2008 (uwaga: wartości odnoszące się do niektórych krajów zostały oszacowane przez CEPI). W ciągu 10 lat, przy średnim rocznym wzroście produkcji mas włóknistych na poziomie 1,4%, liczba celulozowni zmalała z 249 do 192. W tym samym czasie, średnia wydajność celulozowni w Europie wzrosła z 165 100 ton rocznie w roku 1998 do 239 000 w roku 2008.



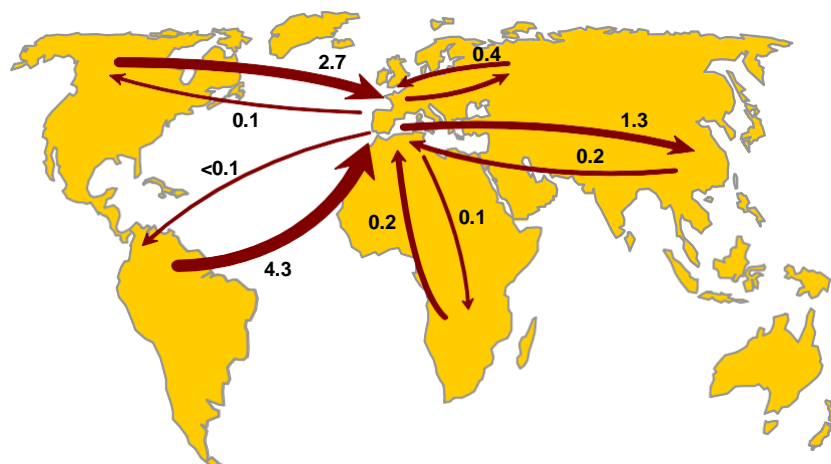


Źródło: [ 2, CEPI 2009 ]

Rysunek 1. 7 Liczba celulozowni w Europie według wielkości produkcji w 1998 r. i 2008 r. (kraje stowarzyszone w ramach CEPI)

Number of pulp mills	Liczba celulozowni
25 to 50	25 do 50
Size category (thousand tonnes per year)	Przedział wielkości (tys. ton rocznie)
NB: (*) Share of total	Uwagi: (*) Udział w liczbie całkowitej

Tabela 1.8 odnosi się do międzynarodowego obrotu masami włóknistymi, zarówno wwożonymi na teren Europy jak i wywożonymi poza Europę. W 2008 r. eksport mas włóknistych z Europy wyniósł ok. 2,1 mln ton, przy ich imporcie do Europy na poziomie 7,8 mln ton. Oznacza to, że Europa osiągnęła ujemny bilans w obrocie masami włóknistymi z innymi regionami świata wynoszący 5,7 mln ton. Głównym kierunkiem eksportu była Azja, natomiast najwięcej mas włóknistych trafiło do Europy z krajów Ameryki Północnej i Południowej. W latach 2000 – 2008, odnotowano nieznaczną tendencję wzrostową w odniesieniu do eksportu mas włóknistych przy jednoczesnym spadku wartości ich importu.



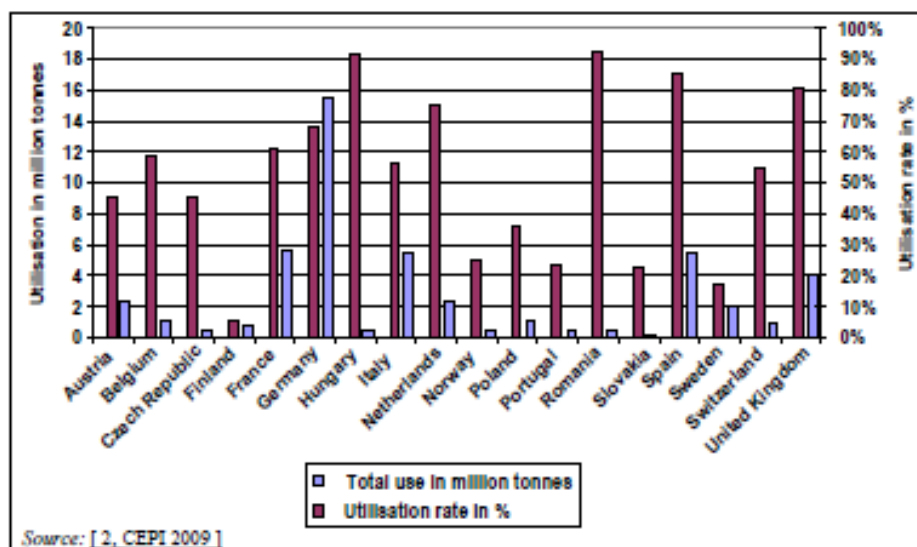
Mln ton mas włóknistych

Źródło: [ 2, CEPI 2009 ]

Rysunek 1. 8 Przepływy handlowe mas włóknistych importowanych do krajów europejskich stowarzyszonych w ramach CEPI i z nich eksportowanych w 2008 r.



Oprócz włókien pierwotnych, w 2008 r. europejski sektor papierniczy wykorzystał 48,6 mln ton makulatury, czyli ilość zbliżoną do całkowitego wykorzystania włókien pierwotnych (48,5 mln ton rocznie). Dane te dotyczą jedynie regionu CEPI; w przypadku dziewięciu państw członkowskich UE niestowarzyszonych w ramach CEPI wykorzystanie makulatury w sektorze papierniczym wyniosło 1,3 mln ton, tj. 2,7% całkowitego wykorzystania makulatury w obszarze CEPI (źródło: RISI). Jak pokazano na rys. 1.9, poziom wykorzystania włókien wtórnych (stosunek wartości wykorzystanej makulatury do całkowitej produkcji papieru i tektury) jest wyższy w krajach o dużej gęstości zaludnienia i wysokim zużyciu papieru na głowę mieszkańca, takich jak Węgry, Niemcy, Francja, Hiszpania, Holandia, Włochy i Wielka Brytania. Około dwie trzecie makulatury przeznaczają się na zastosowania niewymagające odbarwiania (30 mln ton), a ok. jedną trzecią (18 mln ton) na produkcję rodzajów papieru wymagających wcześniejszego odbarwiania, takich jak papier gazetowy, inne rodzaje papieru graficznego i papiery higieniczne.



Źródło: [ 2, CEPI 2009 ]

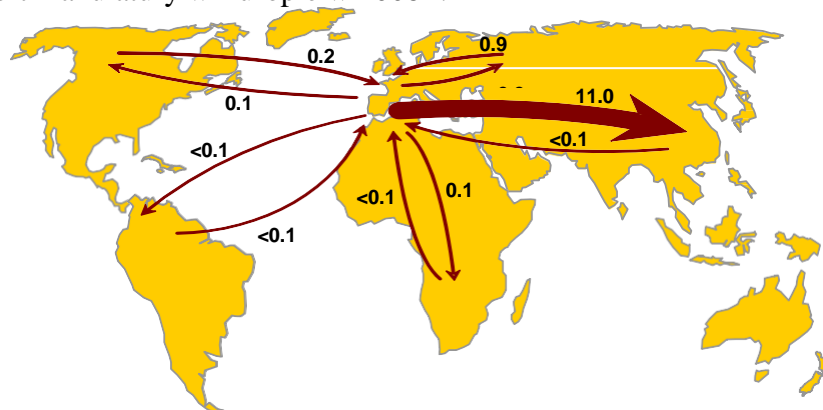
Rysunek 1.9 Wykorzystanie makulatury w 18 krajach stowarzyszonych w ramach CEPI w 2008 r.

Utilisation in million tones	Wykorzystanie w mln ton
Utilisation rate in %	Wykorzystanie [%]
Total use in million tonnes	Całkowite wykorzystanie w mln ton
Utilisation rate in %	Wykorzystanie [%]
Source: [ 2, CEPI 2009 ]	Źródło: [2,CEPI 2009]

W 2008 r. średni stopień wykorzystania makulatury w krajach stowarzyszonych w ramach CEPI wyniósł 49,1%. Współczynnik ten przybierał różne wartości dla różnych rodzajów papieru i tektury, np. w przypadku produkcji papieru gazetowego wykorzystanie makulatury wyniosło 91,0%, a w przypadku papierów graficznych innych niż papier gazetowy (o wyższej jakości) współczynnik ten wyniósł jedynie 10,3%. Wykorzystanie makulatury w produkcji materiałów opakowaniowych i kartonów wyniosło odpowiednio 91,2 i 40,7%, a w produkcji papierów wykorzystywanych w gospodarstwie domowym i w celach sanitarnych: 50,1% [2, CEPI 2009].

Od 2000 r. wzrasta zapotrzebowanie na makulaturę. Tendencja ta jest szczególnie widoczna na rynku azjatyckim. Aż 11,0 mln ton makulatury trafiło w 2008 r. na rynek azjatycki (do samych Chin trafiło 7,9 mln ton, czyli czterokrotnie więcej niż 10 lat

wcześniej), który jest znaczącym importerem makulatury. Rysunek 1.10 przedstawia import i eksport makulatury w Europie w 2008 r.



Mln ton makulatury

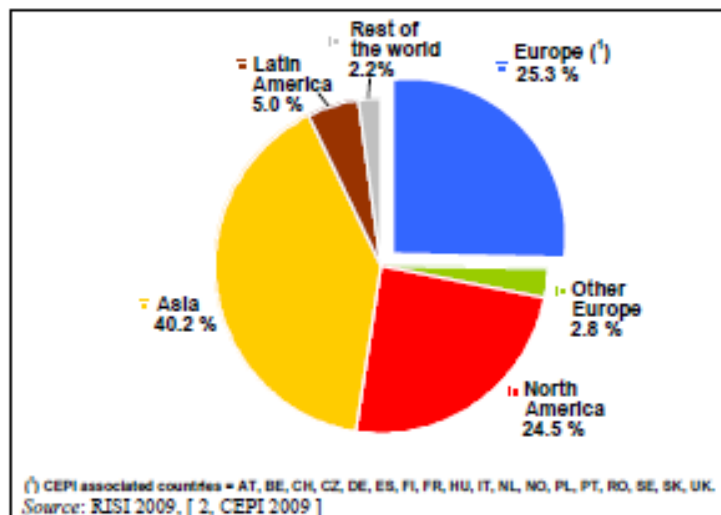
Źródło: [ 2, CEPI 2009 ]

Rysunek 1.10 Import i eksport makulatury w Europie w 2008 r.

Makulatura stała się towarem wykorzystywanym na skalę światową. W przyszłości może się ona stać towarem deficytowym, co będzie skutkowało wzrostem cen tego ważnego źródła włókien.

## 1.4 Europejski sektor papierniczy

W 2008 r. światowa produkcja papieru i tektury wyniosła 390,9 mln ton [2, CEPI 2009], a ich głównymi producentami były Azja, Ameryka Północna i Europa (dane dla 'Europy' dotyczą jedynie 18 krajów stowarzyszonych w ramach CEPI). Rysunek 1.11 przedstawia produkcję papieru w 2008 r. według regionów w skali globalnej.



(1) Kraje stowarzyszone w ramach CEPI = AT, BE, CH, CZ, DE, ES, FI, FR, HU, IT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SK, UK.  
Źródło: RISI 2009, [ 2, CEPI 2009 ]

Rysunek 1.11 Produkcja papieru w 2008 r. według regionów w skali globalnej

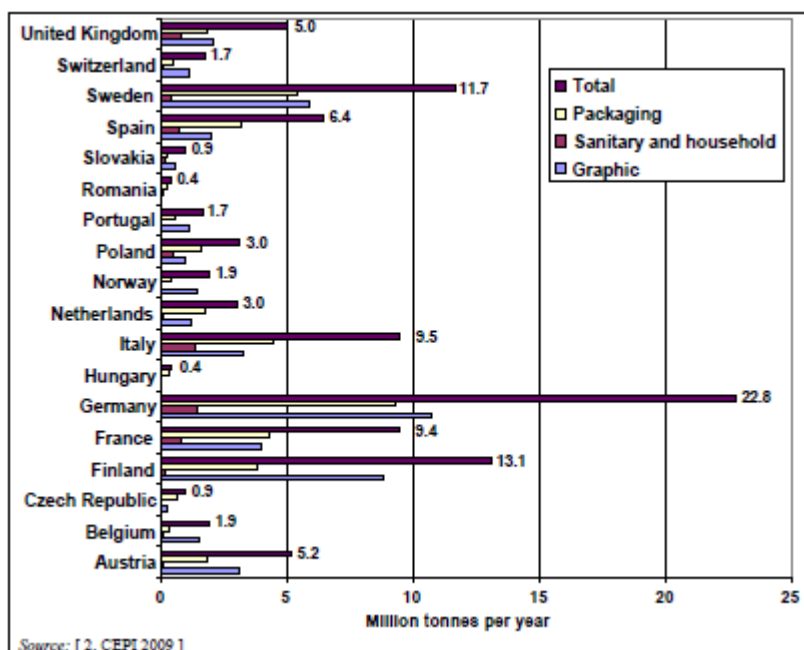
Rest of the world	Reszta świata
Europe	Europa
Other	Inne
Europe (1)	Europa (1)
North America	Ameryka Północna
Asia	Azja
Latin America	Ameryka Łacińska
(1) CEPI associated countries = AT, BE, CH, CZ, DE, ES, FI, FR, HU, IT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SK, UK.	(1) Kraje stowarzyszone w ramach CEPI = AT, BE, CH, CZ, DE, ES, FI, FR, HU, IT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SK, UK.
Source: RISI 2009, [ 2, CEPI 2009 ]	Źródło: RISI 2009, [ 2, CEPI 2009 ]

Produkcja papieru i tektury w UE-27 wyniosła w 2008 r. 98,9 mln ton. Od połowy lat 1990-tych, produkcja europejskiego przemysłu papierniczego wzrasta rocznie o ok. 2 - 3%.

W 2008 r. 48,0% całkowitej produkcji papieru stanowił papier graficzny. Jeśli chodzi o ten rodzaj papieru, największe wartości produkcji dotyczą papieru gazetowego, powlekanego papieru graficznego z masy mechanicznej oraz niepewlekanego i powlekanego papieru

graficznego bezdrzewnego (ok. 10 mln ton rocznie dla każdej grupy). Papier opakowaniowy stanowił łącznie 40,7%, produkty gospodarstwa domowego i produkty sanitarne stanowiły 6,8%, a pozostałe 4,5% to inne produkty papierowe. Z 47,5 mln ton produkcji papieru graficznego (dotyczy obszaru CEPI), mniej niż połowę stanowił papier powlekany (19,5 mln ton rocznie).

W pkt 1.3 pokazano, że produkcja papieru jest bardziej rozpowszechniona w Europie niż produkcja mas włóknistych. Rysunek 1.12 uwzględnia podział papieru na papier graficzny (papier gazetowy, papier niepowlekany z masy mechanicznej, papier niepowlekany bezdrzewny, papier powlekany z masy mechanicznej i papier bezdrzewny), papier służący do celów sanitarnych i do stosowania w gospodarstwie domowym (bibułka tissue i inne rodzaje papieru higienicznego) oraz papier opakowaniowy (papiery do wyrobu tektury falistej i pudeł, tektura pudełkowa, papiery pakowe o gramaturze do 150 g/m<sup>2</sup> oraz inne rodzaje papieru przeznaczone głównie na opakowania).



Źródło: [ 2, CEPI 2009 ]

Rysunek 1.12 Rozmieszczenie przemysłu papierniczego w Europie dla 18 krajów stowarzyszonych w ramach CEPI (2008 r.)

Total	Ogółem
Packaging	Papiery pakowe
Sanitary and household	Papiery do celów sanitarnych i gospodarstwa domowego
Graphic	Papier graficzny
United Kingdom	Wielka Brytania
Switzerland	Szwajcaria
Sweden	Szwecja
Spain	Hiszpania

Slovakia	Słowacja
Romania	Rumunia
Portugal	Portugalia
Poland	Polska
Norway	Norwegia
Netherlands	Holandia
Italy	Włochy
Hungary	Węgry
Germany	Niemcy
France	Francja
Finland	Finlandia
Czech Republic	Czechy
Belgium	Belgia
Austria	Austria
Million tonnes per year	Mln ton rocznie
Source: [ 2, CEPI 2009 ]	Źródło: [2, CEPI 2009]

Europejskimi liderami w produkcji papieru i tektury było w 2008 r. 8 krajów: Niemcy (22,8%), Finlandia (13,1%), Szwecja (11,7%), Włochy (9,5%), Francja (9,4%), Hiszpania (6,4%), Austria (5,2%) i (5,0%).

Jeśli chodzi o poszczególne rodzaje papieru, głównymi producentami papieru graficznego były Niemcy (22,5%), Finlandia (18,6%), Szwecja (12,3%), Francja (8,3%), Włochy (6,8%), Austria (6,5%) i Wielka Brytania (4,3%).

Liderami w produkcji papieru gazetowego są od lat Finlandia i Szwecja. Zwiększone wykorzystanie makulatury przez wielu europejskich producentów doprowadziło do koncentracji przemysłu w dużych centrach konsumenckich, takich jak Niemcy, Francja, Wielka Brytania i Hiszpania. Ze względu na charakter papieru gazetowego będącego towarem handlowym, jednostki produkcyjne charakteryzują się najczęściej stosunkowo dużą wydajnością wykorzystywanych w nich maszyn papierniczych (średnio około 300 000 ton rocznie na jedną maszynę).

Papiery do drukowania i papiery do pisania zawierające drewno produkowane są głównie w Finlandii i w Niemczech. Łączna produkcja tych dwóch krajów stanowi ok. 60% produkcji całkowitej. Papier zawierający drewno jest dostarczany przez duże papiernie zintegrowane (średnio 250 000 ton rocznie na jedną maszynę, choć można znaleźć także mniejsze lub większe papiernie, jak i maszyny o mniejszej lub większej wydajności).

Niemcy, Francja, Finlandia, Włochy, Szwecja i Austria odgrywają wiodącą rolę w produkcji

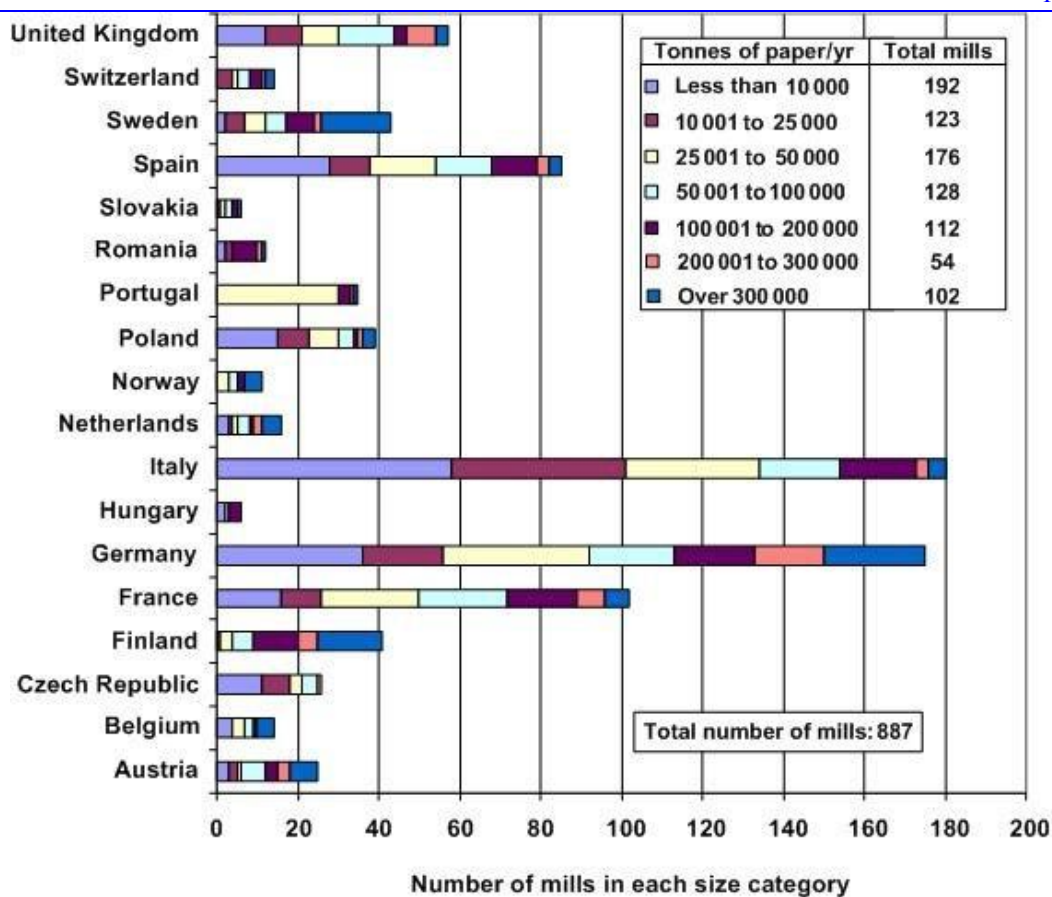
bezdrukowego papieru drukowego i papieru do pisania, choć większość innych krajów europejskich także produkuje znaczne ilości tych rodzajów papieru. Rynek papierniczy tworzy w głównej mierze niewielka liczba producentów skoncentrowanych (średnia wydajność jednej maszyny 150 000 ton rocznie, choć można znaleźć także mniejsze lub większe papiernie, jak i maszyny o mniejszej lub większej wydajności).

Głównymi producentami materiałów pakowych są Niemcy, Francja, Hiszpania, Włochy i Szwecja. Kraje te mają ok. 60% udziału w całkowitej produkcji. Produkcja z wykorzystaniem włókien wtórnych rozwija się w szybszym tempie niż produkcja oparta na włóknach pierwotnych. Wydajność maszyny papierniczej w tym przypadku wynosi zazwyczaj od 200 000 do 400 000 ton rocznie.

W przypadku kartonów surowcem mogą być zarówno włókna wtórne jak i pierwotne. Różne rodzaje papieru produkowanego w oparciu o włókna wtórne są dostarczane głównie przez Niemcy, Włochy, Holandię i Francję, natomiast tektura na pudełka składane i tektura do pakowania cieczy produkowana w oparciu o włókna pierwotne jest dostarczana głównie przez kraje skandynawskie. Papiernie działające w tym segmencie są zazwyczaj niewielkie, a wykorzystywane w nich maszyny mają stosunkowo małą wydajność, średnio na poziomie 33 000 ton rocznie, z wyjątkiem zakładów wytwórczych zlokalizowanych w Finlandii i Szwecji, gdzie średnia wydajność maszyny wynosi 100 000 – 150 000 ton rocznie.

Produkcja bibułki tissue koncentruje się w pięciu krajach: Niemczech, Włoszech, Wielkiej Brytanii, Francji i Hiszpanii, których łączny udział w produkcji europejskiej wynosi ponad 75%. Bibułka tissue jest wytwarzana łącznie w ponad 60 zakładach, jednak rynek europejski jest zdominowany przez czterech producentów o łącznym udziale w rynku na poziomie przekraczającym 40%. Na rynku amerykańskim dominuje dwóch graczy realizujących łącznie 20% całkowitej produkcji. Na rynku nadal obecne są liczne małe, prywatne lub rodzinne, firmy o możliwościach produkcyjnych na poziomie 10 000 ton rocznie lub mniej. Wydajność wykorzystywanych w nich maszyn jest stosunkowo niewielka – średnio 30 000 – 60 000 ton rocznie.

Rysunek 1.13 przedstawia liczbę zakładów papierniczych funkcjonujących w Europie w 2008 r. z uwzględnieniem ich wielkości.



NB: to comply with competition rules, some data do not appear for some countries.  
However, they are included in the total numbers.

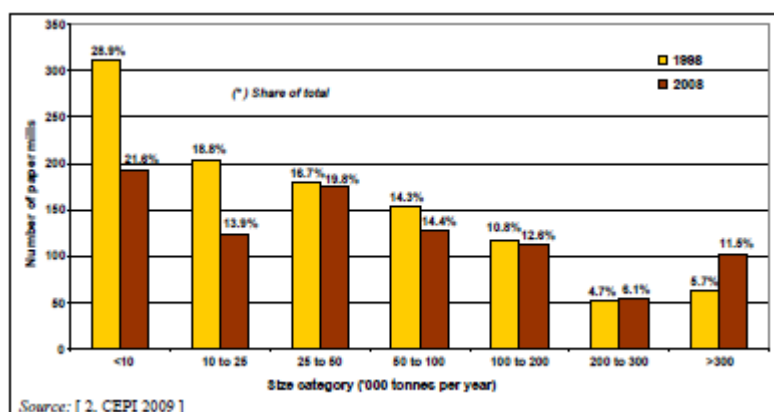
Źródło: [ 2, CEPI 2009 ]

Rysunek 1.13 Liczba zakładów papierniczych w Europie w 2008 r. według ich zdolności produkcyjnych

Tonnes of paper/yr	Liczba ton papieru rocznie
Total mills	Papiernie ogółem
Total number of mills	Całkowita liczba papierni
Less than	Mniej niż
To	Do
Over	Ponad
United Kingdom Switzerland Sweden Spain Slovakia Romania Portugal Poland Norway Netherlands Italy Hungary Germany France Finland Czech Republic Belgium Austria	Wielka Brytania, Szwajcaria, Szwecja, Hiszpania, Słowacja, Rumunia, Portugalia, Polska, Norwegia, Holandia, Włochy, Węgry, Niemcy, Francja, Finlandia, Czechy, Belgia, Austria
Number of mills in each size category	Liczba papierni w każdym przedziale wielkości
NB: to comply with competition rules, some data do not appear for some countries.	Uwaga: zgodnie z zasadami konkurencji, niektóre dane odnoszące się do pewnych

However, they are included in the total numbers.	krajów nie zostały podane. Zostały one jednak uwzględnione w wartościach ogólnych.
Source: [ 2, CEPI 2009 ]	Źródło: [2, CEPI 2009]

W 2008 r. w całej Europie funkcjonowały 887 papierni, z których większość była zlokalizowana we Włoszech, Niemczech, Francji, Hiszpanii i w Zjednoczonym Królestwie (łącznie 599 zakładów). Liczba bardzo dużych zakładów papierniczych w kategorii > 300 000 ton rocznie wyniosła 102, natomiast liczba małych zakładów o zdolnościach produkcyjnych poniżej 10 000 ton rocznie wyniosła 192. W porównaniu do produkcji mas włóknistych, na rynku papierniczym funkcjonuje stosunkowo duża liczba małych i średnich zakładów wytwórczych: 491 papierni o zdolnościach produkcyjnych poniżej 50 000 ton rocznie lub nieco więcej niż połowa zakładów papierniczych. Obserwowana jest tendencja do zamykania mniejszych papierni i budowania większych jednostek produkcyjnych. Rysunek 1.14 potwierdza występowanie tej tendencji w ciągu ostatnich 10 lat. W 2008 r. średnia wydajność maszyny papierniczej wyniosła ok. 123 000 ton rocznie.



Źródło: [ 2, CEPI 2009 ]

Rysunek 1.14 Liczba zakładów papierniczych w krajach stowarzyszonych w ramach CEPI w 1998 r. i 2008 r. według ich zdolności produkcyjnych

Share of total	Udział w całkowitej produkcji
Number of paper mills	Liczba zakładów papierniczych
Size category ('000 tonnes per year)	Wielkość ('000 ton rocznie)
Source: [ 2, CEPI 2009 ]	Źródło: [2, CEPI 2009]

Okolo jedna trzecia mas włóknistych produkowanych w Europie to masa towarowa, co oznacza, że dwie trzecie zakładów to jednostki zintegrowane, produkujące zarówno masy włókniste jak i papier. Produkcja papieru ze ścieru mechanicznego, takiego jak papier gazetowy, SC i LWC, jest zazwyczaj zintegrowana z produkcją masy mechanicznej, a w procesie wykorzystywane są często jedynie niewielkie ilości masy chemicznej. Stopień zintegrowania jest bardzo wysoki szczególnie w przypadku zakładów wykorzystujących makulaturę; niemal wszystkie tego rodzaju zakłady zajmują się także przetwórstwem makulatury, a niektóre z nich wykorzystują w procesie produkcji także pewne ilości zakupionej masy. Jednakże produkcja cienkiego papieru w Europie odbywa się głównie w oparciu o masę nabytą, co oznacza, że w tym przypadku stopień zintegrowania jest niewielki, natomiast w



krajach skandynawskich zakłady papiernicze są zazwyczaj budowane w sąsiedztwie celulozowni.

Całkowita wielkość dostaw do pozostałych krajów europejskich wyniosła w 2008 r. 45,0 mln ton, przy imporcie wewnątrz Europy na poziomie 45,3 mln ton. Rysunek 1.15 przedstawia dane odnoszące się do handlu międzynarodowego. Zgodnie z rysunkiem, eksport do krajów nieeuropejskich wyniósł 17,0 mln ton, przy imporcie z krajów spoza UE na poziomie 5,4 mln ton. Od 2000 r. obserwowany jest wzrost eksportu papieru i, w przypadku większości regionów, spadek jego importu.



Rysunek 1.15 Wielkość eksportu i importu papieru w Europie w 2008 r. (95% produkcji z krajów stowarzyszonych w ramach CEPI)

Million tonnes of paper	Mln ton papieru
Source: [ 2, CEPI 2009 ]	Źródło: [2, CEPI 2009]

## 1.5 Klasyfikacja zakładów celulozowo-papierniczych dla celów niniejszego dokumentu

Zazwyczaj wysoki stopień integracji procesów prowadzonych w przemyśle celulozowo-papierniczym wymaga, by podejście stosowane w odniesieniu do zakładów celulozowo-papierniczych odnosiło się nie tylko do opisywania jednostkowych procesów lub linii produkcyjnych, ale także całych zakładów. Na przykład, w celu zmniejszenia ilości ścieków, woda procesowa z papierni jest zazwyczaj zwracana do celulozowni, co sprawia, że czasem trudno dokonać wyraźnego rozróżnienia pomiędzy nimi.

Należy również pamiętać, że włókna pochodzące z różnych źródeł i wykorzystywane w różnych procesach (np. bielenie) do produkcji podobnych produktów są źródłem różnych emisji. Produkty, które wydają się być podobne (np. papier graficzny) mogą być wytwarzane za pomocą rozmaitych procesów i układów, i wymagać zużycia różnych ilości materiałów, generując różne poziomy emisji.

Na przykład, papier gazetowy może być wyrabiany z wykorzystaniem różnych źródeł masy włóknistej, takich jak: klasyczny ścier biały powstający na kamieniu ścieraka (angielski skrót: SGW), ścier ciśnieniowy (PGW), masa termomechaniczna (TMP), rafinerowa masa mechaniczna (RMP), masa chemo-termo-mechaniczna (CTMP), masa celulozowa siarczynowa (Si), bielona iglasta masa celulozowa siarczanowa (BSKP) i/lub masa odbarwiana z makulatury (DIP). Zamierzony stopień białości masy włóknistej (stopień bielenia) może także wpływać na początkową ilość emisji. Dlatego przy ocenie poziomów zużycia i emisji, podejście zorientowane na produkt (w tym przypadku papier gazetowy) powinno być uzupełnione o podejście zorientowane na proces. Konieczne jest rozważenie głównych procesów, które są odpowiedzialne za różne poziomy emisji (np. stopień bielenia oksydacyjnego masy mechanicznej), jak również ocena dostępnych środków służących do zmniejszania poziomów emisji.

Innym przykładem pokazującym, że oszacowanie emisji z celulozowni i papierni powinno opierać się na połączeniu podejścia zorientowanego na produkt z podejściem zorientowanym na proces jest produkcja bibuły tissue. Także w przypadku tego produktu, obserwowana jest tendencja do stosowania mieszaniny włókien pochodzących z różnych źródeł (np. mieszaniny różnych rodzajów włókien pierwotnych i włókien wtórnych). Wybór konkretnej masy włóknistej jest uzależniony od różnych czynników, takich jak koszty materiałów włóknistych, aspekty logistyczne, wymagania klientów i jakość produkowanego papieru. Papiernie wytwarzające bibułę tissue wykorzystują w procesie produkcji od 10% do 100% włókien wtórnych. W pewnym zakresie, wyższy udział makulatury jest zazwyczaj związany z koniecznością odprowadzania większych ładunków substancji organicznych.

Ponadto niektóre zakłady to konglomeraty wytwarzające różne produkty (patrz punkt 2.1), w przypadku których niekiedy trudno jest precyzyjnie oszacować całkowite emisje związane z produkcją konkretnej masy włóknistej i/lub produktu, nie uwzględniając specyficznych procesów produkcyjnych.

Aby określić poziom emisji generowanych przez celulozownie i papiernie, a zatem ich wpływ na środowisko, należy przyjąć podejście łączone:

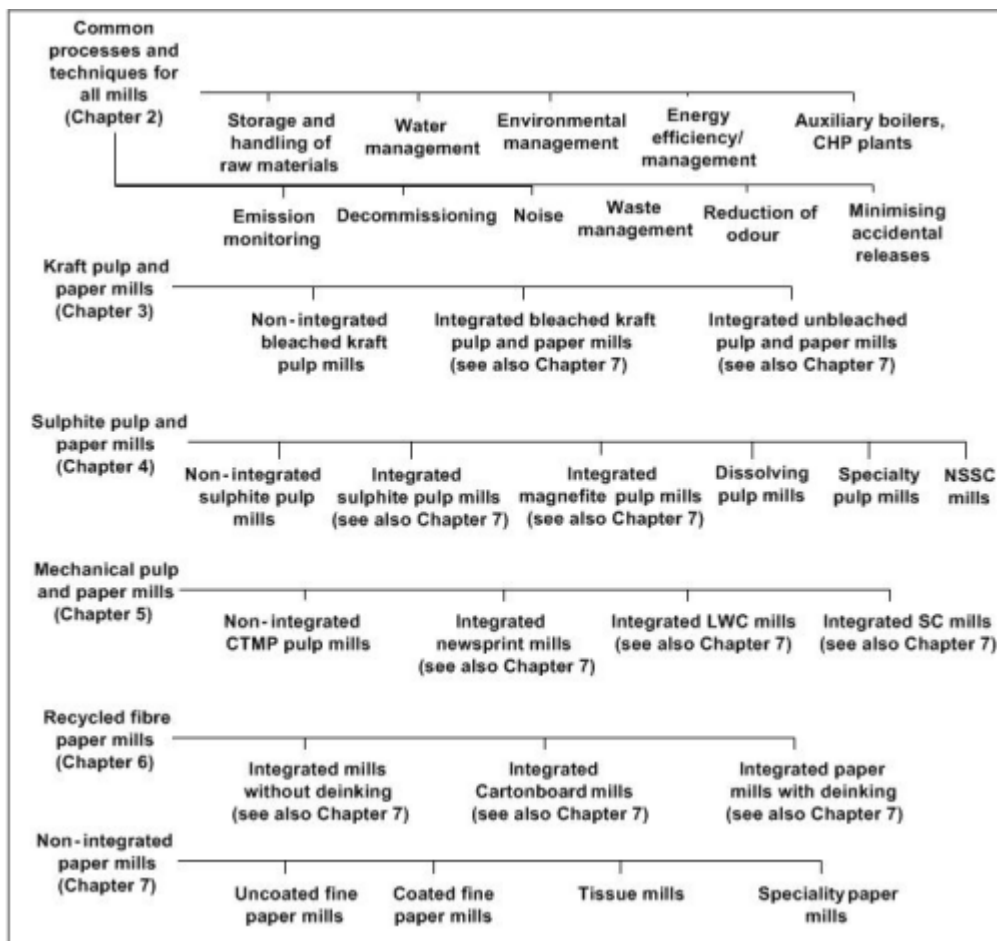
- ocena całej celulozowni i/lub papierni
- uwzględnienie różnych wytwarzanych produktów i ich cech.

Stosując takie podejście, w rozdziałach od 3 do 7 niniejszego dokumentu opisano najważniejsze rodzaje wytwarzanych produktów i procesów wykorzystywanych do produkcji mas włóknistych, papieru i tektury, oddzielnie dla pięciu głównych kategorii wytwórni. Główne rodzaje produkcji

mas włóknistych i papieru zostały podzielone dalej na podkategorie.

Rysunek 1.16 przedstawia strukturę europejskiego przemysłu celulozowo-papierniczego oraz informacje na temat treści niniejszego dokumentu.

Procesy i techniki wykorzystywane w przemyśle celulozowo-papierniczym, które są wspólne dla wszystkich/większości zakładów niezależnie od rodzaju produkowanej masy włóknistej i papieru zostały omówione w rozdziale 2.



Rysunek 1.16 Klasyfikacja europejskich celulozowni i papierni dla celów niniejszego dokumentu, ze wskazaniem rozdziałów odnoszących się do poszczególnych rodzajów zakładów

Common processes and techniques for all mills (Chapter 2)	Procesy i techniki wspólne dla wszystkich zakładów (rozdział 2)
Storage and handling of raw materials	Magazynowanie i obróbka surowców
Water management	Gospodarka wodna
Environmental management	Zarządzanie środowiskowe
Energy efficiency/ management	Efektywność energetyczna/gospodarka energetyczna
Auxiliary boilers, CHP plants	Kotły pomocnicze, elektrociepłownie
Emission monitoring	Monitorowanie emisji

Decommissioning	Wycofanie z eksploatacji
Noise	Hałas
Waste management	Gospodarka odpadami
Reduction of odour	Ograniczanie zapachów złownych
Minimising accidental releases	Minimalizowanie ryzyka przypadkowych uwolnień
Kraft pulp and paper mills (Chapter 3)	Wytwórnia masy celulozowej siarczanowej i papieru (rozdział 3)
Non-integrated bleached kraft pulp mills	Niezintegrowane celulozownie produkujące masę celulozową siarczanową bieloną
Integrated bleached kraft pulp and paper mills (see also Chapter 7)	Zintegrowane wytwórnie masy celulozowej siarczanowej bielonej i papieru (patrz także rozdział 7)
Integrated unbleached pulp and paper mills (see also Chapter 7)	Zintegrowane wytwórnie masy celulozowej niebielonej i papieru (patrz także rozdział 7)
Sulphite pulp and paper mills (Chapter 4)	Wytwórnie masy celulozowej siarczynowej i papieru (rozdział 4)
Non-integrated sulphite pulp mills	Niezintegrowane wytwórnie masy celulozowej siarczynowej
Integrated sulphite pulp mills (see also Chapter 7)	Zintegrowane wytwórnie masy siarczynowej (patrz także rozdział 7)
Integrated magnetite pulp mills (see also Chapter 7)	Zintegrowane wytwórnie masy celulozowej siarczynowej o zasadzie magnezowej (patrz także rozdział 7)
Dissolving pulp mills	Wytwórnie mas włóknistych do przerobu chemicznego
Specialty pulp mills	Wytwórnie mas włóknistych do specjalnych zastosowań
NSSC mills	Wytwórnie masy półchemicznej metodą obojętnego siarczynu (NSSC)
Mechanical pulp and paper mills (Chapter 5)	Wytwórnie masy mechanicznej i papieru (rozdział 5)
Non-integrated CTMP pulp mills	Niezintegrowane wytwórnie masy chemo-termo-mechanicznej (CTMP)
Integrated newsprint mills (see also Chapter 7)	Zintegrowane wytwórnie papieru gazetowego (patrz także rozdział 7)

Integrated LWC mills (see also Chapter 7)	Zintegrowane wytwórnie papierów drzewnych powlekanych o niskiej gramaturze (LWC) (patrz także rozdział 7)
Integrated SC mills (see also Chapter 7)	Zintegrowane wytwórnie papieru drzewnego satynowanego (SC) (patrz także rozdział 7)
Recycled fibre paper mills (Chapter 6)	Wytwórnie papieru z włókien wtórnych (rozdział 6)
Integrated mills without deinking (see also Chapter 7)	Zintegrowane wytwórnie niestosujące odbarwiania makulatury (patrz także rozdział 7)
Integrated Cartonboard mills (see also Chapter 7)	Zintegrowane wytwórnie kartonów (patrz także rozdział 7)
Integrated paper mills with deinking (see also Chapter 7)	Zintegrowane wytwórnie papieru stosujące odbarwiania makulatury (patrz także rozdział 7)
Non-integrated paper mills (Chapter 7)	Niezintegrowane wytwórnie papieru (rozdział 7)
Uncoated fine paper mills	Wytwórnie papierów niepowlekanych o niskiej gramaturze
Coated fine paper mills	Wytwórnie papierów powlekanych o niskiej gramaturze
Tissue mills	Wytwórnie bibułki tissue
Speciality paper mills	Wytwórnie papierów specjalnych

Wytwórnie mas włóknistych i papieru zostały podzielone na pięć głównych grup:

- wytwórnie masy celulozowej siarczanowej (rozdział 3)
- wytwórnie masy celulozowej siarczynowej (rozdział 4)
- wytwórnie mas mechanicznych i chemo-mechanicznych oraz wytwórnie papieru (rozdział 5)
- wytwórnie przetwarzające makulaturę (rozdział 6)
- papiernie niezintegrowane, w tym wytwórnie papierów specjalnych (rozdział 7). Część ta obejmuje również produkcję papieru w zintegrowanych wytwórniach masy celulozowej siarczanowej, siarczynowej, CTMP i CMP.

Rysunek 1.16 przedstawia najistotniejsze rodzaje wytwórni mas włóknistych i papieru w każdej z ww. grup. Jednak ze względu na różnorodność surowców i procesów wykorzystywanych w produkcji mas włóknistych i papieru, nie jest możliwe uwzględnienie w tej strukturze wszystkich przypadków, np. wytwórnie wielo-produktowe mogą wykorzystywać różne linie do produkcji mas włóknistych w tym samym zakładzie (patrz pkt 2.1), w związku z czym nie można ich jednoznacznie przyporządkować do jednej z tych grup.

Dla większości czytelników nie będzie konieczne rozpatrywanie całego dokumentu, a jedynie tych rozdziałów lub punktów, które dotyczą konkretnego rodzaju wytwórni. Na przykład, wytwórnie masy celulozowej siarczanowej przeznaczonej na sprzedaż będą zainteresowane jedynie rozdziałem 3; zintegrowane wytwórnie masy celulozowej

---

siarczanowej i papieru skorzystają z informacji zawartych w rozdziałach 3 i 7 (poświęconych produkcji papieru i działaniom powiązanym), natomiast w rozdziałach 6 i 7 można znaleźć istotne informacje dotyczące zintegrowanych wytwórni przetwarzających makulaturę.

Masy włókniste produkowane z włókien innych niż drewno stanowią jedynie niewielką część produkcji (na obszarze CEPI 0,6 mln ton rocznie: AT, HU, IT, PT, ES). Ze względu na szczegółowość tej tematyki nie było możliwości przedstawienia jej dokładnie w niniejszym dokumencie. W związku z tym tego rodzaju masy znalazły się poza zakresem prezentowanego dokumentu. Najlepsze dostępne techniki BAT i poziomy emisji BAT-AEL dla tych mas powinny być określone indywidualnie.

## 1.6 Aspekty ekonomiczne i zatrudnienie w przemyśle celulozowo-papierniczym w UE

Przemysł celulozowo-papierniczy jest sektorem kapitałochłonnym, wymagającym opracowywania zarówno długoterminowych jak i zmiennych planów inwestycyjnych, uwzględniających coraz większą integrację transgraniczną. Od połowy lat 1990, średnio 6-8% całkowitych przychodów sektora przeznaczane jest na inwestycje mające na celu zwiększanie potencjału i opracowywanie maszyn i innych środków trwałych, by osiągnąć wyższy poziom efektywności surowcowej i energetycznej, a także w celu dalszej poprawy efektywności środowiskowej. W porównaniu z innymi regionami świata odnotowywany jest również wzrost wydajności.

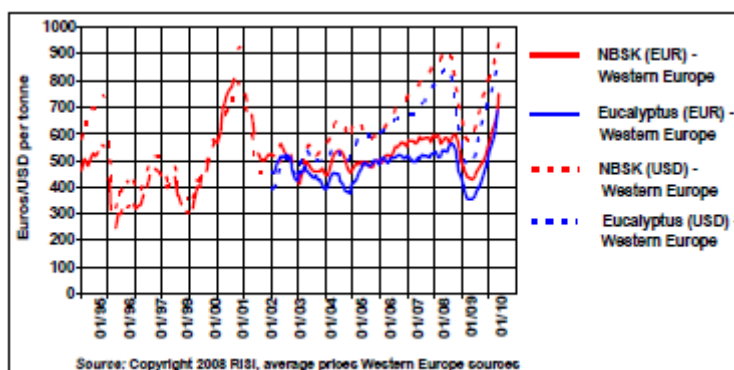
Przemysł celulozowo-papierniczy podlega procesowi konsolidacji i globalizacji, jednak sytuacja pod tym względem jest nadal dość niestabilna. Proces koncentracji prowadzi do zmniejszenia liczby spółek działających w tym sektorze. Na skutek tych działań występują poważne zmiany w strukturze sektora. Od 1991 do 2008 r. produkcja mas włóknistych wzrosła z 34,0 do 41,9 mln ton, podczas gdy w tym samym czasie liczba celulozowni zmalała z 295 do 193. Podobna tendencja jest obserwowana w odniesieniu do produkcji papieru: od 1991 do 2008 r. produkcja wzrosła z 65,9 mln ton do 98,9 mln ton, podczas gdy liczba papierni zmniejszyła się z 1 292 do 887. W tym samym czasie średnia wydajność papierni wzrosła 57 300 do 122 800 ton rocznie [2, CEPI 2009]. Wiele firm rozwinęło się dzięki inwestycjom w zwiększanie wydajności, ale także poprzez konsolidację lub zamykanie dużej liczby małych, przestarzałych wytwórni papieru i tektury. Tak więc europejski sektor papierniczy tworzy, z jednej strony, stosunkowo niewielką liczbą bardzo dużych międzynarodowych grup, ale także dużą liczbą małych przedsiębiorstw. Duża liczba stosunkowo małych zakładów wypracowała strategię niszy rynkowej.

Od wczesnych lat 1990-tych obserwowana jest istotna zmiana w strukturze własności. Polega ona głównie na tworzeniu większych przedsiębiorstw poprzez koncentrację producentów jak i fuzje zakładów papierniczych z zagranicznymi producentami mas włóknistych. Firmy z USA, RPA czy też Indonezji zostały zintegrowane, lub nawiązały bliższe relacje handlowe z europejskimi producentami papieru i tektury. W niektórych krajach, takich jak Szwecja lub Finlandia, tendencja do integracji obserwowana jest także na poziomie regionalnym i lokalnym, co pokazuje globalny charakter współczesnej branży celulozowo-papierniczej. Ponadto, do ważnych graczy na rynku celulozowo-papierniczym, czyli USA, Europy i Japonii, dołączyła także Azja, a w szczególności Chiny. Chiny były w 2011 r. drugim największym światowym producentem papieru po UE-27 (98,9 mln ton), podczas gdy USA wyprodukowały w 2008 r. 79,8 mln ton. Rynki południowoazjatyckie mają potencjał rozwojowy i mogą stać się światowym liderem jeśli chodzi o zużycie papieru. Ameryka Południowa, a w szczególności Brazylia, stała się światowym liderem w produkcji mas włóknistych. W międzynarodowym obrocie papierem i włóknami do produkcji papieru (masy włókniste, makulatura) będzie prawdopodobnie utrzymywać się tendencja wzrostowa we wszystkich głównych regionach, w których prowadzona jest produkcja. Najszybszy wzrost będzie dotyczyć obrotu papierem i tekturą, ponieważ kraje posiadające nadwyżki włókien wnoszą wartość dodaną przed ich eksportem.

Przemysł celulozowo-papierniczy charakteryzuje się występowaniem ogromnych wahań cen, np. wahaniami cen masy celulozowej siarczanowej wynikającymi z cykli koniunkturalnych i ewolucji produktu krajowego brutto (PKB), ale także ze spekulacji na rynku surowców i wahań kursów walut. Na kształtowanie się cen ma wpływ również brak równowagi podaży i popytu (np. zbyt duże moce produkcyjne i jednoczesne tymczasowe wzrosty i spadki popytu związane z zarządzaniem zapasami), w zależności od rodzaju towaru i rynku.

Jeśli chodzi o rodzaje papieru, obserwowana jest ogólna tendencja spadkowa w odniesieniu do rzeczywistych cen w dłuższej perspektywie. Zmiany cen nie są takie same w przypadku

wszystkich produktów (mas włóknistych i papieru). Im bliżej producentowi do handlu detalicznego i konsumenta końcowego, tym mniejsze wahania cen produktów. Na przykład, ceny mas włóknistych są dużo bardziej zmienne niż ceny bibułki tissue. Poziom zmienności cen jest mniejszy w przypadku transakcji o niższej wartości i przy niższym popycie ze strony klienta. Rysunek 1.17 (prawa autorskie: RISI) przedstawia typowe wahania cen mas włóknistych towarowych na giełdzie światowej dla masy NBSK (*masy celulozowej siarczanowej bielonej z drewna iglastego północnego*) i dla masy celulozowej z eukaliptusa – dwóch rodzajów masy włóknistej wykorzystywanych jako punkt odniesienia na rynku światowym.



Rysunek 1.17 Typowe wahania cen masy towarowej

Euros/USD per tone	EUR/USD za tonę
NBSK (EUR) - Western Europe	NBSK (EUR) – Europa Zachodnia
Eucalyptus (EUR) - Western Europe	Eukaliptus (EUR) – Europa Zachodnia
NBSK (USD) - Western Europe	NBSK (USD) – Europa Zachodnia
Eucalyptus (USD) - Western Europe	Eukaliptus (USD) – Europa Zachodnia
Source: Copyright 2008 RISI, average prices Western Europe sources	Źródło: prawa autorskie 2008 RISI, średnie ceny włókien w Europie Zachodniej

Od trzech lat obserwowana jest także duża zmienność cen makulatury. Makulatura stała się towarem handlowym na skalę światową, a ogromny wpływ na jej dostępność i ceny mają Chiny.

Od 2007 roku, ceny drewna w Europie pozostają na stałym poziomie, pomimo ich wzrostu, szczególnie w odniesieniu do sosny i brzozy. Zmienność cen była spowodowana konkurencją w zakresie drewna używanego do produkcji energii, wspieranej z publicznych dotacji przeznaczonych na produkcję energii ze źródeł odnawialnych, w szczególności energii opartej na biomasie. Wahania cen drewna nasiliły się gwałtownie po dużym wzroście opłat celnych nałożonych na eksportowane drewno przez Rosję – z 1,5 EUR w 2006 r. do 15 EUR w 2008 r. Dotknęło to bezpośrednio Finlandię i doprowadziło, choć na mniejszą skalę, do wzrostu cen papierówki w pozostałej części Europy.

Przemysł celulozowo-papierniczy jest przemysłem energochłonnym. Średnio 21% kosztów produkcji to koszty zużytego paliwa i energii elektrycznej [4, CEPI 2009], w związku z czym poprawa efektywności energetycznej procesu produkcji jest korzystna zarówno pod względem konkurencyjności jak i środowiska. Wyższe ceny energii elektrycznej i gazu oraz większa świadomość znaczenia zrównoważonego rozwoju obserwowana w ostatnich latach sprawiły,

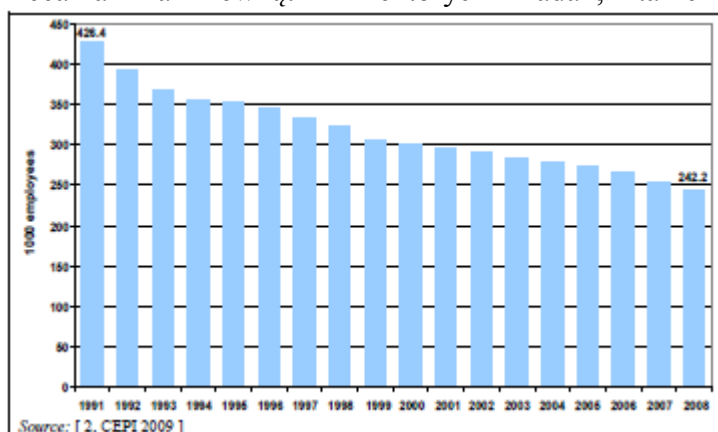


że sektor celulozowo-papierniczy koncentruje się w dużym stopniu na efektywności energetycznej. Wzrost cen energii ma znaczący wpływ na europejski przemysł papierniczy.

Popyt na papier i tekturę wykazuje generalnie tendencję wzrostową, o czym świadczy wzrost ogólnoświatowego zużycia papieru z 30 mln ton w 1946 r. do 214 mln ton w 1987 r. Po 1987 r. tempo wzrostu nieznacznie zmalało. W roku 1996 całkowite, ogólnoświatowe zużycie papieru wyniosło ok. 280 mln ton. W latach 1991-2008, zużycie papieru w Europie wzrastało w średnim tempie 2,1% rocznie. W 2008 r. ogólnoświatowe zużycie papieru osiągnęło poziom 391,3 mln ton. Kryzys finansowy i gospodarczy trwający od końca 2008 r. doprowadził do gwałtownego zatrzymania tej tendencji i zapoczątkował tendencję spadkową w odniesieniu do zużycia większości rodzajów papieru.

Wśród producentów mas włóknistych dominują kraje uprzemysłowione z półkuli północnej, tj. USA, Kanada, Szwecja, Japonia i Finlandia, choć szybki rozwój w tym zakresie obserwowany jest także w krajach Ameryki Południowej, takich jak Brazylia i Chile. Przychody z eksportu mas włóknistych i papieru są znaczącym źródłem dochodu dla krajów europejskich, szczególnie Finlandii i Szwecji. Wynika to z wysoce „rodzimego” charakteru tych produktów, ponieważ ich produkcja odbywa się przy bardzo niewielkim udziale towarów importowanych. W wyniku kryzysu finansowego, po którym nastąpiła ogólnoświatowa recesja, światowa produkcja mas włóknistych zmalała w 2008 r. o 1,4%. To samo zjawisko wystąpiło w Europie, jednak na dużo większą skalę (-4,6%). Produkcja mas włóknistych towarowych zmalała w Europie o 0,1%.

W 2008 r. sektor wygenerował obrót na poziomie 78,3 miliardów EUR, zapewniając bezpośrednie zatrudnienie dla 243 300 osób w Europie [2, CEPI 2009]. Jeśli uwzględnimy zatrudnienie pośrednie, liczba ta okaże się jeszcze większa. W ujęciu arytmetycznym, jedna zatrudniona osoba produkuje około 172 ton masy włóknistej i 407 ton papieru rocznie (dane przybliżone oparte o ogólne założenia, w związku z brakiem danych indywidualnych dla produkcji mas i papieru). Wynika z tego, że przemysł papierniczy jest wysoce kapitałochłonny, przy jednoczesnej wysokiej wydajności pracy. Wydajność pracy jest na poziomie ok. 0,50 tony metrycznej gotowego produktu na godzinę pracy wykonywanej przez jednego pracownika, co plasuje europejski przemysł papierniczy na drugim miejscu, tuż za Japonią [4, CEPI 2009]. Rysunek 1.18 przedstawia ewolucję zatrudnienia w produkcji mas włóknistych, papieru i wyrobów papierniczych w Europie (w krajach stowarzyszonych w ramach CEPI) od początku lat 1990. Widoczny spadek tłumaczy częściowo tendencja do zlecania na zewnątrz niektórych zadań, takich jak konserwacja czy logistyka.



Źródło: [ 2, CEPI 2009 ]

Rysunek 1.18 Ewolucja całkowitego zatrudnienia w Europie (kraje stowarzyszone w ramach CEPI) w latach 1991-2008

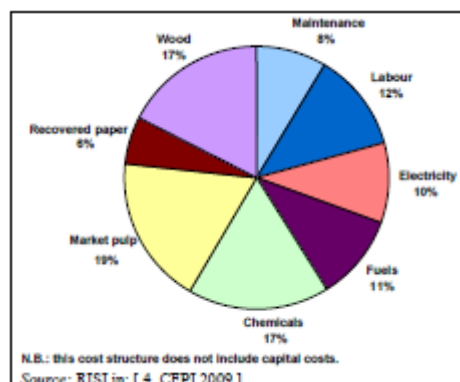
1000 employees	1 000 pracowników
----------------	-------------------

Source: [ 2, CEPI 2009 ]	Źródło: [2, CEPI 2009]
--------------------------	------------------------

Konkurencyjność branży celulozowo-papierniczej jest ściśle powiązana z ogólnoswiatowymi trendami wpływającymi na gospodarkę: w Rosji, Chinach, Indiach i innych regionach Azji. Kraje te poczyniły znaczne inwestycje w nowe moce produkcyjne i odgrywają coraz większą rolę w kształtowaniu podaży i popytu na surowce. Dotyczy to w szczególności Chin, które w ciągu ostatnich pięciu lat zwiększyły swoje moce łącznie o ok. 50%. Na konkurencyjność wpływają również kursy wymiany walut oraz wahania kursów towarowych i otwartość rynku (rynki europejskie są w pełni otwarte, w przeciwieństwie do większości rynków wschodzących, które mają bariery taryfowe i pozataryfowe).

Europejski przemysł papierniczy jest jednym z liderów technologicznych, utrzymujących swoją konkurencyjność w stosunku do innych regionów świata, pomimo wysokich kosztów produkcji. Jednakże, rosnące koszty produkcji i surowców oraz wschodzący przemysł papierniczy w różnych częściach Azji i Ameryki Łacińskiej, stanowią wyzwanie dla europejskiego przemysłu celulozowo-papierniczego.

Rysunek 1.19 przedstawia strukturę średnich kosztów produkcji w europejskim sektorze celulozowo-papierniczym w 2009 r. Koszt produkcji uwzględnia pewne materiały eksploatacyjne konieczne do produkcji nieprzekształconych produktów gotowych do dostawy. Nie uwzględniono wydatków inwestycyjnych i kosztów transportu.



Uwaga: struktura kosztów nie uwzględnia wydatków inwestycyjnych.

Źródło: RISI w: [ 4, CEPI 2009 ]

Rysunek 1.19 Struktura kosztów produkcji dla europejskiego rynku celulozowo-papierniczego w 2009 r.

Recovered paper	Makulatura
Wood	Drewno
Maintenance	Utrzymanie
Labour	Siła robocza
Electricity	Energia elektryczna
Fuels	Paliwo
Chemicals	Środki chemiczne
Market pulp	Masa towarowa

N.B.: this cost structure does not include capital costs.	Uwaga: struktura kosztów nie uwzględnia wydatków inwestycyjnych.
Source: RISI in: [ 4, CEPI 2009 ]	Źródło: RISI w: [ 4, CEPI 2009 ]

W Europie działa stosunkowo duża liczba małych i średniej wielkości wytwórni papieru (ponad 50% ogólnej liczby zakładów). Zakłady te często napotykają na różne wyzwania starając się konkurować z większymi producentami. Działają one często na małych, niekiedy niszowych rynkach i są w różnym stopniu narażone na konkurencję ze strony wytwórców międzynarodowych. W porównaniu do większych zakładów wytwarzających różne rodzaje produktów, oferta małych i średniej wielkości wytwórców spełnia zazwyczaj potrzeby lokalnego rynku lub konkretnej grupy klientów. Mniejsze wytwórnie papieru nie odnoszą korzyści z ‘efektu skali’ (zmniejszenia średnich kosztów jednostkowych wynikającego ze zwiększenia skali produkcji dzięki większej wydajności operacyjnej i innym działaniom ukierunkowanym na ograniczanie kosztów).

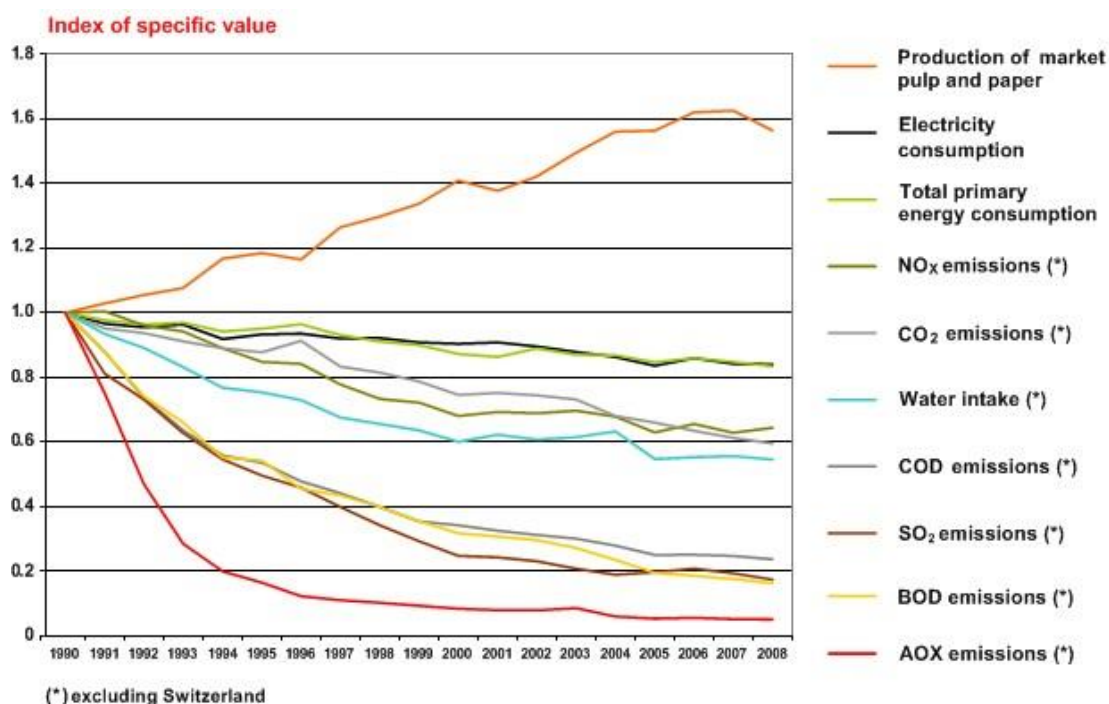
Do znaczących korzyści wynikających z prowadzenia działalności na większą skalę należy siła nabywcza umożliwiająca pozyskania surowców i sprzętu w korzystnej cenie, optymalizacja transportu, większy stopień specjalizacji kadry zarządzającej i pracowników (wysoki poziom wiedzy i specjalizacji w zakresie obsługi urządzeń) potrzebny do wdrożenia procesów produkcyjnych i zwiększenia możliwości w zakresie marketingu. Kolejnym czynnikiem, który może przynieść korzyści wynikające ze skali produkcji jest struktura potrzebna do kierowania procesami: większe zakłady mogą wykorzystywać bardziej wyszukane i wydajne urządzenia (w związku z łatwiejszą amortyzacją ich wyższych kosztów) i potrzebują mniejszej liczby pracowników. Dlatego też wraz ze wzrostem wydajności wzrasta też możliwość korzystania z bardziej złożonych rozwiązań procesowych. Wielkość zakładu może wpłynąć na poziom ‘rentowności’ i ‘wydajności’ papierni dzięki korzyściom skali, jakie dają stosowane technologie, co oznacza, że wraz ze wzrostem wielkości produkcji osiągnane są realne oszczędności zasobów [7, włoska TWG 2007]. W związku z tym większe zakłady papiernicze mogą lepiej zarządzać kosztami w celu uzyskania konkurencyjnych cen i wzrostu rentowności, co daje im możliwość lepszego przygotowania się do dalszych inwestycji w nowe technologie. Znaczenie ekonomii skali w sektorze papierniczym wynika ze stosowania niezbędnych technologii. Przemysł papierniczy jest przykładem typowego przemysłu kapitałochłonnego, w którym stosunek kapitału do siły roboczej na jednostkę produktu jest na bardzo wysokim poziomie, i w którym kluczową rolę odgrywają technologie. Konsolidacja procesów produkcyjnych niesie korzyści w przypadku działalności prowadzonej na większą skalę, a także w przypadku zintegrowania produkcji włókien z produkcją papieru. Kolejnym czynnikiem, który może przynieść korzyści wynikające ze skali produkcji w przypadku większych zakładów jest możliwość pozyskania bardziej wykwalifikowanego personelu.

W przemyśle papierniczym występuje silna tendencja do łączenia się spółek, co stwarza trudności ekonomiczne dla najślabszych przedsiębiorstw, czego doświadczył np. sektor opakowaniowy. W przypadku, gdy łączenie się spółek jest mniej istotne, istnieje możliwość różnicowania jakości, co daje mniejszym zakładom możliwość zdobycia udziału w rynku. Aby zwiększyć swoją konkurencyjność, mniejsze zakłady często starają się dostarczać swoim klientom bardziej wyszukane produkty oferując także większą elastyczność, co w wielu przypadkach kończy się produkcją niszową.

## 1.7 Główne zagadnienia związane z ochroną środowiska w odniesieniu do produkcji mas włóknistych i papieru

### Ogólna ewolucja zużycia i poziomów emisji od 1990 r.

Przemysł celulozowo-papierniczy jest tradycyjnie uznawany za jednego z głównych konsumentów zasobów naturalnych (drewna), energii (paliw kopalnych, choć przy dużym udziale 'bioenergii', energii elektrycznej) i wody, i przyczynia się w znacznym stopniu do zrzutów zanieczyszczeń i emisji do środowiska. Zmiany technologiczne, wykorzystywanie systemów zarządzania środowiskowego i gospodarki energetycznej, zwiększenie recyklingu papieru, zatrudnianie wysoko wykwalifikowanego i zaangażowanego w pracę personelu, inwestycje w zakresie ochrony środowiska oraz ciągłe udoskonolenia pozwoliły na stopniowe zmniejszenie wpływu sektora celulozowo-papierniczego na środowisko. Czynniki te spowodowały także zmniejszenie poziomu emisji o 80 - 90% lub więcej zależnie od poszczególnych produktów (w przeliczeniu na tonę produktu) od około 1980 r. Rysunek 1.20 i rysunek 1.21 przedstawiają zależność między produkcją mas włóknistych i papieru a zużyciem zasobów i poziomami emisji.



Źródło: [ 2, CEPI 2009 ]

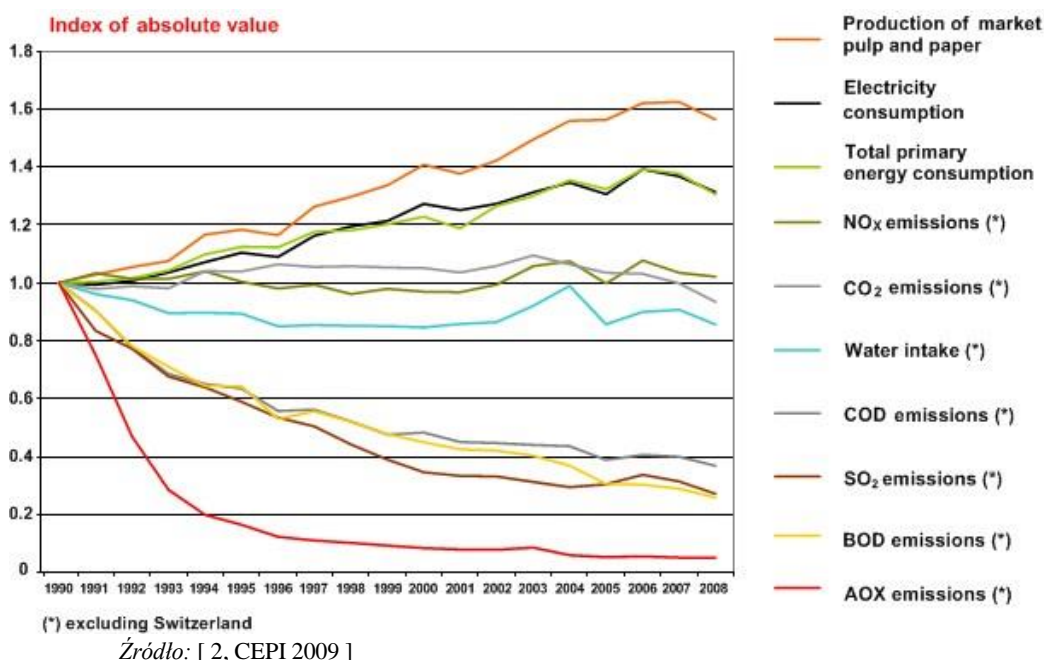
Rysunek 1.20 Ewolucja zużycia poszczególnych zasobów i poziomów emisji (kg zanieczyszczeń na tonę produktu) w europejskim przemyśle celulozowo-papierniczym w latach 1990 - 2008

Index of specific value	Indeks danej wartości
Production of market pulp and paper	Produkcja mas włóknistych towarowych i papieru
Electricity consumption	Zużycie energii elektrycznej
Total primary energy consumption	Całkowite zużycie energii pierwotnej
NO <sub>x</sub> emissions (*)	Emisje NO <sub>x</sub> (*)
CO <sub>2</sub> emissions (*)	Emisje CO <sub>2</sub> (*)
Water intake (*)	Zużycie wody (*)
COD emissions (*)	Emisje ChZT (*)

SO <sub>2</sub> emissions (*)	Emisje SO <sub>2</sub> (*)
BOD emissions (*)	Emisje BZT (*)
AOX emissions (*)	Emisje AOX (*)
excluding Switzerland	z wyłączeniem Szwajcarii
Source: [ 2, CEPI 2009 ]	Źródło: [ 2, CEPI 2009 ]

Indeks wartości dla danego produktu (patrz rysunek 1.20) pokazuje, że zużycie energii i poziom emisji na tonę masy włóknistej towarowej i papieru ulega zmniejszeniu, przy jednoczesnym wzroście produkcji papieru i mas włóknistych o 60% od roku 1990. Zużycie energii elektrycznej w odniesieniu do danego produktu i całkowite zużycie energii pierwotnej maleje w wolniejszym tempie niż ma to miejsce w przypadku emisji.

Indeks wartości bezwzględnych przedstawiony na rysunku 1.21 pokazuje nieco inną tendencję. Na rysunku przedstawiono zmiany – wyrażone w wartościach bezwzględnych – jakie zaszły w produkcji mas włóknistych i papieru oraz w odniesieniu do poziomów emisji i zużycia w europejskich wytwórniach mas włóknistych i papieru w latach 1990-2008. Zużycie energii pierwotnej i zużycie energii elektrycznej wzrasta w tempie zbliżonym do tempa wzrostu produkcji (w źródle nie wskazano, czy wartości te uwzględniają emisje CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> i SO<sub>2</sub> związane z wytworzeniem nabytej energii elektrycznej); emisje do wody i emisje SO<sub>2</sub> do atmosfery uległy zmniejszeniu pomimo ciągłego wzrostu produkcji; poziomy emisji NO<sub>x</sub> i CO<sub>2</sub> do atmosfery oraz zużycie wody pozostają względnie stabilne, pomimo wzrostu produkcji.



Rysunek 1.21 Ewolucja zużycia poszczególnych zasobów i poziomów emisji w europejskim przemyśle celulozowo-papierniczym w latach 1990 – 2008 w wartościach bezwzględnych

Index of absolute value	Indeks wartości bezwzględnej
Production of market pulp and paper	Produkcja mas włóknistych towarowych i papieru
Electricity consumption	Zużycie energii elektrycznej
Total primary energy consumption	Całkowite zużycie energii pierwotnej
NO <sub>x</sub> emissions (*)	Emisje NO <sub>x</sub> (*)
CO <sub>2</sub> emissions (*)	Emisje CO <sub>2</sub> (*)
Water intake (*)	Zużycie wody (*)
COD emissions (*)	Emisje COD (*)
SO <sub>2</sub> emissions (*)	Emisje SO <sub>2</sub> (*)

BOD emissions (*)	Emisje BOD (*)
AOX emissions (*)	Emisje AOX (*)
(*) excluding Switzerland	z wyłączeniem Szwajcarii
Source: [ 2, CEPI 2009 ]	Źródło: [ 2, CEPI 2009 ]

Rysunek 1.22 przedstawia widziany z lotu ptaka stosunkowo duży, zintegrowany zakład produkujący masę celulozową siarczanową, której część jest pompowana do sąsiadującego zakładu produkującego masę mechaniczną i papier. Prowadzone w nim procesy obejmują wytwarzania energii i oczyszczanie ścieków. Rysunek przedstawia zasięg większego zakładu i ogólny kształt nowoczesnych instalacji.



Źródło: [ 258, Botnia 2008 ]

**Rysunek 1.22** Widziany z lotu ptaka zintegrowany zakład produkujący masę celulozową siarczanową, masę mechaniczną oraz papier, posiadający elektrownię i oczyszczalnię ścieków

Pomimo znaczącej poprawy w zakresie ochrony środowiska trwającej od początku lat 1990., wyzwaniem pozostaje kontynuacja postępów w sposób gwarantujący, że każdy element procesu produkcyjnego jest przyjazny dla środowiska. Obecne wyzwania środowiskowe stojące przed sektorem celulozowo-papierniczym zostały podsumowane poniżej.

### **Podaż papierówki, włókien pierwotnych, makulatury i materiałów niewłóknistych**

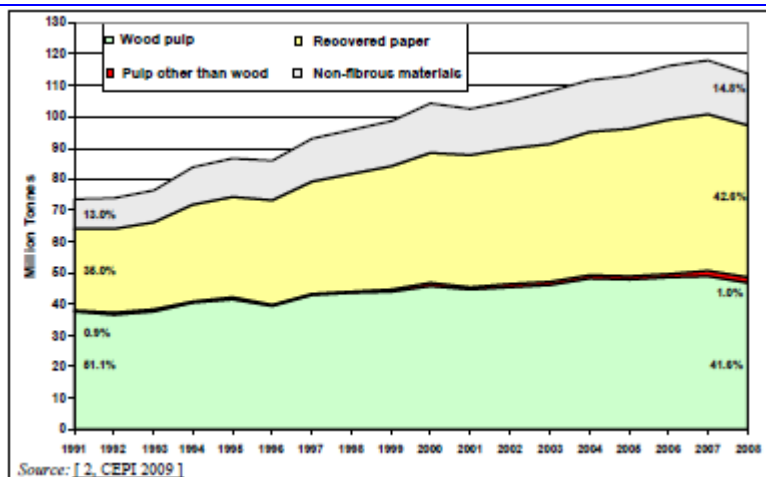
Głównymi surowcami wykorzystywanymi do produkcji papieru w Europie są ścier drzewny, makulatura, materiały niewłókniste (np. wypełniacze, powłoki i dodatki chemiczne) oraz, w ograniczonym stopniu, inne materiały włókniste (np. bawełna, len, kora, konopie, juta, słoma i szmaty). Wykorzystując drewno, jako główny surowiec, przemysł papierniczy opiera się na zasobie odnawialnym. W większości krajów europejskich certyfikacja zrównoważonej gospodarki leśnej stała się ważnym narzędziem służącym zapewnieniu, że drewno wykorzystywane w produktach pochodzi z lasów zarządzanych w sposób odpowiedzialny, uwzględniając w równym stopniu aspekty gospodarcze, środowiskowe i społeczne. Organizacje ekologiczne ustanowiły pierwszy system certyfikacji pod hasłem *Forest Stewardship Council* (FSC) (Rada Dobrej Gospodarki Leśnej). Następnie powstało kilka innych systemów certyfikacji. Obecnie drugim najbardziej rozpowszechnionym systemem jest *Programme for the Endorsement of Forest Certification* (PEFC) (Program Zatwierdzania Systemów Certyfikacji Leśnej). Choć certyfikacja była początkowo wprowadzona w celu zwalczania wycinania lasów tropikalnych, większość certyfikowanych lasów znajduje się na półkuli północnej, z czego prawie 100 mln m<sup>3</sup> w Europie. W sumie 10% (około 380 mln ha) lasów na świecie to lasy certyfikowane. Certyfikacja pochodzenia produktu umożliwia prześledzenie drogi surowców w

łańcuchu od lasu do produktu końcowego, pozwalając producentowi umieścić informację o certyfikacji produktu na jego produkcie o jego etykiecie. Poza rosnącym popytem na towary certyfikowane ze strony uczestników rynku (np. domy wydawnicze, drukarnie), pewne wydarzenia polityczne skłoniły rządy do większego zaangażowania się w sprawy certyfikacji, np. poprzez FLEGT (UE przyjęła plan działań na rzecz zwalczania nielegalnego pozyskiwania drewna z 2004 r. zatytułowany 'Egzekwowania prawa, zarządzanie i handel w dziedzinie leśnictwa') oraz zamówienia publiczne na produkty przyjazne środowisku.

Rosnąca konkurencja w związku z zapotrzebowaniem na drewno do produkcji bioenergii i dla przemysłu papierniczego stanowi nowe wyzwanie w zakresie długoterminowej dostępności i kosztów.

Po wykorzystaniu, większość produktów powstałych przy udziale lasów rozpoczyna nowe życie jako cenne surowce wtórne lub jako biopaliwo. W 2008 r. makulatura stanowiła 42,7% wszystkich wykorzystanych surowców, dostarczając 50% włókien wykorzystanych w tym okresie. Makulatura jest ważnym, komplementarnym źródłem włókien do produkcji papieru. Wykorzystanie makulatury prowadzi do zmniejszenia ilości papieru w strumieniu odpadów, a tym samym zmniejsza objętość wysypisk odpadów i przyczynia się do redukcji emisji gazów cieplarnianych z odpadów papierniczych składowanych na wysypiskach. Wiele krajów europejskich przyjęło oficjalnie własne cele w zakresie odzysku papieru i poczyniło znaczące starania na rzecz zwiększenia świadomości społecznej na temat programów odzysku papieru i korzyści płynących z ich realizacji dla społeczeństwa i środowiska.

Rysunek 1.23 przedstawia tendencję odnoszącą się do wykorzystania surowców do produkcji papieru w latach 1991 - 2008. W 2008 r. europejski przemysł papierniczy zużył 48,6 mln ton makulatury, tj. 2,6% mniej w stosunku do poprzedniego roku. Od roku 1991, zużycie makulatury wzrosło o 89% (około 23 mln ton).



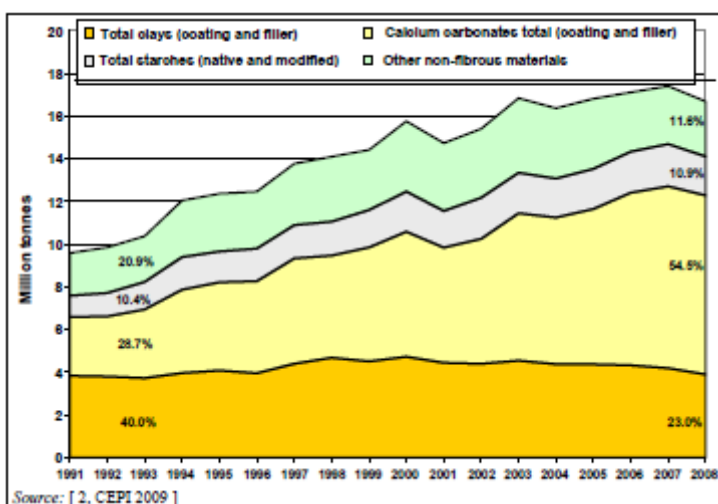
Źródło: [ 2, CEPI 2009 ]

Rysunek 1.23 Zużycie surowców w produkcji papieru w latach 1991 – 2008 w krajach stowarzyszonych w ramach CEPI

Wood pulp	Ścier drzewny
Pulp other than wood	Masa włóknista inna niż ścier drzewny
Recovered paper	Makulatura
Non-fibrous materials	Materiały niewłókniste
Million Tonnes	mln ton
Source: [ 2, CEPI 2009 ]	Źródło: [2, CEPI 2009 ]

W 2011 r. w Europie wykorzystano prawie taką samą ilość ścieru drzewnego, co makulatury. W związku z osiągnięciem w Europie już dość wysokiego poziomu odzysku makulatury, w najbliższych latach możemy się spodziewać raczej powolnego wzrostu. W niektórych państwach członkowskich możliwy jest postęp w zakresie zbiórki i recyklingu. Generalnie, obszarami, w których nadal można osiągać postęp jest eko-projektowanie, recykling, sortowanie i zbiórka.

Do materiałów niewłóknistych stosowanych w przemyśle papierniczym w większych ilościach należą głównie glina, węglan wapnia, skrobia i inne materiały niewłókniste (dodatki chemiczne). W 2008 r. europejski przemysł papierniczy wykorzystał 16,7 mln ton tych materiałów, co stanowi 14,7% surowców wykorzystanych w tym sektorze. Rysunek 1.24 przedstawia zużycie materiałów niewłóknistych w krajach stowarzyszonych w ramach CEPI, w latach 1991 – 2008. Należy zwrócić uwagę na znaczny wzrost wykorzystania węglanu wapnia, ponieważ tendencja ta prowadzi do wyższych stężeń  $\text{CaCO}_3$  w wodach technologicznych w zakładach papierniczych przetwarzających makulaturę (patrz punkt 6.3.5).





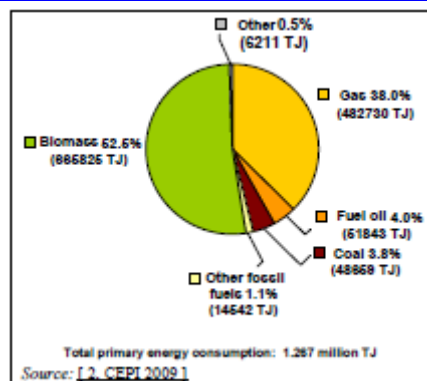
Rysunek 1.24 Zużycie materiałów niewłóknistych w krajach stowarzyszonych w ramach CEPI w latach 1991 - 2008

Total clays (coating and filler)	Glina ogółem (powłoki i jako wypełniacz)
Total starches (native and modified)	Skrobia ogółem (naturalna i modyfikowana)
Calcium carbonates total (coating and filler)	Węglan wapnia ogółem (powłoki i jako wypełniacz)
Other non-fibrous materials	Inne materiały niewłókniste
Million tones	mln ton
Source: [ 2, CEPI 2009 ]	Źródło: [ 2, CEPI 2009 ]

Wypełniacze, powłoki i skrobia są często dostarczane przez kilku dużych producentów środków chemicznych. Jeśli chodzi o produkcję skrobi, europejscy producenci używają w tym celu kukurydzy, pszenicy i ziemniaków. Glina i węglan wapnia są wydobywane metodą odkrywkową na całym świecie, a węglan wapnia jest częściowo wytwarzany w procesie strącania ( $\text{CaO} + \text{CO}_2$ ).

### Zużycie paliw i energii, emisje CO<sub>2</sub> i zmiany klimatu

Przemysł celulozowo-papierniczy jest przemysłem niezwykle energochłonnym. Gama produktów wytwarzanych przez ten przemysł, jak również procesów w nim zachodzących, jest bardzo szeroka, a każdy produkt i proces wymaga innych nakładów energii. Wyprodukowanie jednej tony papieru wymaga średnio około 11,5 GJ energii pierwotnej, w zależności od użytego wsadu surowców i włókien, rodzaju i jakości produkowanego papieru i stosowanych technik. Ilość energii wymaganej do produkcji papieru jest porównywalna z ilością energii potrzebną do wytworzenia innych energochłonnych produktów, takich jak cement lub stal. Z drugiej strony, najważniejszym naturalnym zasobem wykorzystywanym do produkcji papieru jest biomasa, głównie drewno, będące głównym źródłem włókien, których wykorzystanie uznawane jest za neutralne w kontekście CO<sub>2</sub>. Współczesny przemysł papierniczy jest zarówno największym konsumentem jak i wytwórcą odnawialnych źródeł energii i opiera się w dużym stopniu na biopaliwach: około 50% całej energii pierwotnej pochodzi z biomasy. Rysunek 1.25 przedstawia udział nośników energii w zużyciu energii pierwotnej w europejskim sektorze celulozowo-papierniczym w 2008 r. Udział biomasy wynosi 52,5%.



Źródło: [ 2, CEPI 2009 ]

Rysunek 1.25 Udział poszczególnych nośników energii w zużyciu energii pierwotnej w europejskim przemyśle celulozowo-papierniczym w 2008 r.

Other	Inne
Gas	Gaz
Fuel oil	Olej opałowy
Coal	Węgiel kamienny
Other fossil fuels	Inne paliwa kopalne
Biomass 52.5% (665825 TJ)	Biomasa 52,5% (665825 TJ)
Total primary energy consumption: 1.267 million TJ	Całkowite zużycie energii: 1,267 mln TJ
Source: [ 2, CEPI 2009 ]	Źródło: [ 2, CEPI 2009 ]

Efektywność energetyczna i zmniejszenie zużycia paliw kopalnych to kwestie o dużym znaczeniu dla sektora, wpływające zarówno na jego konkurencyjność jak i środowisko. W wielu krajach europejskich realizowane są programy efektywności energetycznej, jednak całkowite zapotrzebowanie na energię procesową jest wciąż wysokie.

Kolejnym kluczowym aspektem odnoszącym się do ekologiczności sektora jest wytwarzanie energii elektrycznej i ciepła na miejscu. Przemysł celulozowo-papierniczy jest jednym z największych użytkowników połączonej produkcji ciepła i energii elektrycznej (CHP), która pozwala zakładom papierniczym zaoszczędzić około 30% energii w porównaniu z technologiami konwencjonalnymi, przyczyniając się do zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych (GHG). W 2007 r. 95,79%, tj., około 50 919 GWh całkowitej energii elektrycznej produkowanej na miejscu dla europejskich wytwórni celulozy i papieru zostało wytworzone w procesie kogeneracji. Tabela 1.4 pokazuje zużycie energii elektrycznej w krajach stowarzyszonych w ramach CEPI w latach 2005 – 2007, a także odsetek energii elektrycznej wytwarzanej w procesie kogeneracji w odniesieniu do całkowitej produkcji energii elektrycznej na miejscu.

Tabela 1. 4 Zużycie energii elektrycznej w krajach stowarzyszonych w ramach CEPI w latach 2005 – 2007

Zużycie energii elektrycznej	2005	2006	2007
Energia elektryczna wyprodukowana na miejscu (GWh)	49591	50873	53157
- ilość wyprodukowana w procesie CHP (%)	95,55	95,96	95,79
Energia elektryczna nabyta (GWh)	74926	79194	76980
Energia elektryczna sprzedana (GWh)	-8557	-8893	-9105
<b>Całkowite zużycie energii elektrycznej (GWh)</b>	<b>115838</b>	<b>121192</b>	<b>120742</b>
Uwaga: ogółem dla obszaru CEPI: AT, BE, CH, CZ, DE, ES, FI, FR, IT, NL, NO, PL, PT, SE, SK, UK, z wyłączeniem HU.			
Źródło: [ 2, CEPI 2009 ], [ 4, CEPI 2009 ].			

Europejski przemysł celulozowo-papierniczy generuje bezpośrednie emisje CO<sub>2</sub> na

poziomie około 37 mln ton rocznie, co stanowi 2% emisji w ramach europejskiego systemu ETS (europejski system handlu) i mniej niż 1% całkowitych emisji w UE (dane z 2008 r., *Źródło*: Niezależny dziennik transakcji Wspólnoty (CITL)). Unijny system ETS obejmuje około 900 instalacji, co oznacza, że poza jego zasięgiem znajduje się jedynie około 260 instalacji [ 2, CEPI 2009 ]. Emisje CO<sub>2</sub> są generowane głównie w procesach spalania, przy produkcji energii elektrycznej i ciepła potrzebnego do procesu. Emisje pośrednie powstają w wyniku wykorzystania zakupionej energii elektrycznej (około 62% całkowitego zużycia energii elektrycznej).

Dyrektywa 2009/29/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 kwietnia 2009 r., zmieniająca dyrektywę 2003/87/WE w celu usprawnienia i rozszerzenia wspólnotowego systemu handlu uprawnieniami do emisji gazów cieplarnianych (dyrektywa UE ETS), zawiera szereg środków wykonawczych, które zostaną przyjęte przez Komisję po ich uzgodnieniu przez państwa członkowskie. Ważnym działaniem było określenie przez Komisję sektorów uważanych za narażone na znaczące ryzyko „ucieczki emisji” (czyli ryzyko narażenia na niedogodności w zakresie konkurencji i handlu ze względu na obciążenie dodatkowymi kosztami spowodowanymi zakupem niedoboru uprawnień do emisji CO<sub>2</sub>). W wyniku przeprowadzonych konsultacji przemysł celulozowo-papierniczy znalazł się na liście sektorów energochłonnych narażonych na ryzyko „ucieczki emisji” (masy włókniste cechują się intensywnością handlu powyżej 30%, a papier – ponad 10%, przy kosztach związanych z CO<sub>2</sub> powyżej 5%).

### **Zużycie wody**

Woda jest jednym z głównych zasobów wykorzystywanych w przemyśle papierniczym od początku jego istnienia. Do chwili obecnej poczyniono znaczne postępy w zakresie oczyszczania i zmniejszania ilości wody wykorzystywanej w przemyśle papierniczym. Celulozownie i papiernie wykorzystują stosując zamknięty obieg wody. W regionach o ograniczonych zasobach wodnych i suchym klimacie, aby uchronić kapitałochłonne zakłady produkcyjne przed zamknięciem, konieczne jest dalsze zmniejszenie zużycia wody na tonę produktu. Prawdopodobnie to właśnie te zakłady zainicjują rozwój technik i metod zarządzania służącym oszczędniejszemu zużyciu wody. Kolejnymi czynnikami wymuszającymi rozwój technik wykorzystujących mniejsze ilości wody będą prawdopodobnie regionalne koszty wody surowej i ścieków. Jednakże tradycyjne papiernie i celulozownie nie wykazują zbyt dużej presji na zamykanie obiegów wody ze względu na niedogodności techniczne, jakie często się z tym wiążą, takie jak odkładanie się kamienia, nasilenie się procesu korozji, gromadzenie się soli i pierwiastków nieprocesowych w wodach technologicznych, itd. Jednakże dzisiaj nie ma celulozowni siarczanowej pracującej w sposób ciągły, która by całkowicie regenerowała wszystkie ścieki z bielarni. Ideę wytwórni bezściekowej zrealizowały dotychczas następujące rodzaje zakładów: jedna wytwórnia masy chemo-termo-mechanicznej (CTMP), jedna celulozownia siarczynowa o zasadzie sodowej oraz kilku producentów papieru na warstwą pofalowaną i warstwą płaską tektury falistej stosujących włókna wtórne.

W ujęciu zintegrowanym należy dążyć do wytwarzania masy włóknistej i papieru przy minimalnym oddziaływaniu na środowisko. Koncepcja ta obejmuje szerszy zakres zagadnień i wyzwań, takich jak minimalizacja zużycia zasobów (wody, energii, włókien, dodatków chemicznych) i poziomów emisji czy minimalizacja oddziaływania na procesy i środowisko z uwzględnieniem aspektów ekonomicznych oraz środowiska pracy. W kilku papierniach nastąpiło zwiększenie ponownego wykorzystania oczyszczonych wód procesowych poprzez wdrożenie zaawansowanych systemów oczyszczania ścieków poprodukcyjnych. Jednak zużycie wody nie powinno być rozpatrywane w oderwaniu od innych głównych składników wykorzystywanych w procesie produkcji, takich jak energia, włókna i dodatki chemiczne. Należy również uwzględnić prawidłowe funkcjonowanie wszystkich urządzeń technicznych. Aspekty takie jak zużycie energii, stosowanie dodatków chemicznych, przerabialność maszyn

papierniczych i jakość produktu są ściśle związane z ilością wody zużytej na wyprodukowanie tony masy włóknistej lub papieru, i powinny być oceniane w sposób zintegrowany. **Emisje do wody**

Ogólny niepokój wynikający z potencjalnego zagrożenia dla środowiska wywołanego stosowaniem chloru w bielarniach spowodował gwałtowny spadek zużycia cząsteczkowego chloru jako czynnika bielącego obserwowany od lat 1990-tych. W wielu krajach organy ds. ochrony środowiska wprowadziły surowe restrykcje w zakresie emisji do środowiska wodnego chlorowanych związków organicznych, mierzonych jako AOX. Redukcję AOX osiągnięto w wyniku połączenia kilku działań: w Europie Zachodniej chlor cząsteczkowy został całkowicie zastąpiony dwutlenkiem chloru oraz wprowadzono inne wybielające środki chemiczne niezawierające chloru, takie jak tlen cząsteczkowy, nadtlenek wodoru, ozon lub kwas nadoctowy.

Dzięki wyraźnemu zmniejszeniu zawartości chlorków w ściekach stało się możliwe zamknięcie układu celulozowni i zawrócenie ścieków z bielarni do układu regeneracji chemikaliów. Zmniejszenie zawartości zarówno chlorowanych jak i niechlorowanych substancji organicznych w ściekach z celulozowni zostało osiągnięte w dużej mierze poprzez zmiany w procesie produkcyjnym, takie jak zwiększenie delignifikacji przed bielarnią poprzez zmodyfikowane warzenie i dodatkowe etapy procesu z wykorzystaniem tlenu, układy gromadzenia przelewów, wydajność mycia, a także odpędzanie i ponowne wykorzystanie kondensatów. Innym czynnikiem mającym udział w obniżeniu emisji AOX oraz niechlorowanych toksycznych związków organicznych do odbiorników wodnych było instalowanie zewnętrznych oczyszczalni ścieków o różnych konstrukcjach.

Od pewnego czasu podejmowane są działania na rzecz zmniejszenia emisji do wody, które przynoszą znaczną poprawę w tym zakresie. Jednakże, ze względu na fakt, że ilość odprowadzanej wody, zwłaszcza w przypadku większych zakładów, jest stosunkowo duża, redukcja pozostałej części substancji organicznych ulegających biodegradacji w niewielkim stopniu, w tym niektórych dodatków chemicznych, takich jak środki chelatujące (EDTA, DTPA), emisje substancji odżywczych (azotu i fosforu) powodujących eutrofizację wód w przyjmujących zbiornikach wodnych, a także odprowadzanie zanieczyszczeń stałych pozostaną wyzwaniem dla przemysłu celulozowo-papierniczego także w przyszłości.

### **Emisje do atmosfery**

W przeszłości celulozownie produkujące masy chemiczne generowały znaczne emisje związków siarki (powodując zakwaszanie), jednak w ostatnich latach szczególnie te emisje (związków siarki do atmosfery) zostały znacznie zredukowane w wyniku dużego postępu w technologii. Kotły regeneracyjne i piece wapienne są nadal poważnym źródłem substancji powodujących zanieczyszczenie powietrza, takich jak pył, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, a w niektórych przypadkach także H<sub>2</sub>S.

Ze względu na zapotrzebowanie na ciepło i energię elektryczną, większość zakładów celulozowo-papierniczych posiada na swoim terenie własne elektrownie, kotły pomocnicze, bloki parowe lub elektrociepłownie. Pomimo wysoce wydajnego spalania i efektywnego oczyszczania gazów odlotowych, instalacje te mają znaczny udział w całkowitych emisjach przemysłowych. Najpoważniejsze emisje do atmosfery związane ze spalaniem paliw w celu produkcji energii (NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, pyły) będą zatem nadal stanowić problem dla sektora celulozowo-papierniczego w związku z wymogami dyrektywy 2001/81/WE Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie krajowych pułapów emisji dla niektórych zanieczyszczeń powietrza atmosferycznego (dyrektywa NEC), której celem jest ograniczenie emisji substancji zakwaszających i eutrofizujących oraz prekursorów ozonu. Realizacja celów długoterminowych zakładających nieprzekraczanie krytycznych poziomów i ładunków oraz

---

zapewnienie skutecznej ochrony wszystkich ludzi przed znanymi zagrożeniami dla zdrowia wynikających z zanieczyszczenia powietrza będzie również wymagać podjęcia pewnych dodatkowych działań przez wiele zakładów, które wciąż mają możliwości poprawy w tym zakresie.

### **Odpady stałe**

Wiele firm decyduje się wdrożyć zintegrowane plany gospodarki odpadami, które mają na celu minimalizację pozostałości trafiających na wysypiska i dalsze zwiększanie udziału pozostałości, które są ponownie wykorzystywane, poddawane recyklingowi lub odzyskiwane (m.in. odzysk energii). Cele w zakresie gospodarki pozostałościami w branży celulozowo-papierniczej obejmują ich wykorzystanie jako paliwa odnawialne, polepszacze gleby lub jako surowce w innych branżach, bądź ich przekształcenie do produktów o wartości dodanej dla innych użytkowników. Nowe koncepcje powstające w ramach sektora celulozowo-papierniczego mają na celu odzysk energii z większości pozostałości wytwarzanych na miejscu i ich najlepsze możliwe wykorzystanie, w miarę możliwości także recykling popiołów, np. w branży budowlanej lub w przemyśle cementowym, bądź też poprzez wykorzystanie popiołu do stabilizacji gruntu. Celem ogólnym jest minimalizacja ilości odpadów wysyłanych na wysypiska. Rozwiązania te mają na celu zmniejszenie ilości odpadów, odzysk zasobów i osiągnięcie efektywności energetycznej przy rozsądnych kosztach.

### **Zapachy złowne i hałas**

Można się spodziewać, że w wymiarze lokalnym redukcja emisji uciążliwych zapachów i hałasu z celulozowni i papierni pozostanie priorytetem działań na rzecz ochrony środowiska prowadzonych w przemyśle celulozowo-papierniczym.

### **Transport**

Transport jest obszarem o kluczowym znaczeniu dla europejskiego przemysłu, zwłaszcza ze względu na ściśle powiązane z nim zagadnienia dotyczące energii, zmian klimatu, zużycia paliw kopalnych, hałasu i inne zagadnienia związane z ruchem drogowym. Przemysł celulozowo-papierniczy nie jest w stanie funkcjonować bez transportu ze względu na jego charakter, tj. wykorzystywanie surowców znajdujących się zazwyczaj w znacznej odległości od rynków końcowych.

Transport drogowy pozostaje głównym sposobem transportu stosowanym w Europie do dystrybucji mas włóknistych i papieru, i prawdopodobnie pozostanie nim także w przyszłości, ze względu na aktualne potrzeby rynku. Rozwiązania alternatywne, takie jak kolej, często nie spełniają oczekiwań sektora w zakresie kosztów i usług. Tam, gdzie jest to dostępne i możliwe, opłacalną i przyjazną dla środowiska alternatywę może stanowić transport morski. Firmy korzystają często z sieci opartej o transport kolejowy, drogowy i wodny. Można się jednak spodziewać, że polityka na rzecz łagodzenia zmian klimatu poprzez internalizację kosztów zewnętrznych i włączenie transportu do systemu handlu uprawnieniami do emisji spowoduje dalszy wzrost presji kosztowej w związku z transportem surowców i produktów gotowych.



## 2 PROCESY I TECHNIKI WSPÓLNE DLA CAŁEGO SEKTORA CELULOZOWO-PAPIERNICZEGO

### Jak należy czytać niniejszy rozdział

Niektóre procesy i techniki wykorzystywane w przemyśle celulozowo-papierniczym są wspólne dla większości zakładów niezależnie od rodzaju produkowanej masy włóknistej lub papieru. Zostały one omówione w niniejszym rozdziale. Tego rodzaju procesy/operacje mogą odgrywać rolę pomocniczą w zasadniczej produkcji mas włóknistych i papieru. Mogą one także przyczynić się do osiągnięcia przez zakład lepszych wyników w odniesieniu do ochrony środowiska i stosowania najlepszych dostępnych technik związanych z procesami opisanymi bardziej szczegółowo w rozdziale 8. Odsyłacze kierują czytelnika do bardziej szczegółowych aspektów omawianych w rozdziałach dotyczących procesów.

Rozdział zaczyna się od omówienia ogólnej koncepcji podejścia do emisji przyjętego dla zintegrowanych wytwórni mas włóknistych i papieru lub zakładów wielo-produktowych (patrz pkt 2.1).

W dalszej kolejności przedstawiono informacje i dane dotyczące ogólnych procesów stosowanych w omawianym sektorze (począwszy od pkt 2.2). Są to zagadnienia horyzontalne lub działania, które nie odnoszą się do jednego konkretnego rodzaju działalności w ramach produkcji mas włóknistych i papieru. W rozdziale omawiane są kolejno poszczególne główne strumienie surowców wprowadzanych do celulozowni lub papierni, które są następnie przekształcane w masę włóknistą i wyroby z papieru (źródła włókien, dodatki chemiczne, woda, energia) i ogólne techniki, które można uznać za przydatne w zakresie zintegrowanego zapobiegania i ograniczania zanieczyszczeń.

Struktura rozdziału dotyczącego wspólnych procesów i technik przypomina strukturę innych rozdziałów dotyczących procesów (rozdziały od 3 do 7): rozdział rozpoczyna się opisem stosowanych technik i ich oddziaływaniem na środowisko (patrz pkt od 2.2 do 2.8).

Poziomy zużycia i emisji zostały przedstawione w omawianym rozdziale tylko dla dwóch przypadków: a) w odniesieniu do zużycia energii, poziomy zużycia zostały podane (pkt 2.5.2 i 2.5.4) w zakresie koniecznym, aby zrozumieć aspekty ogólne; b) w odniesieniu do produkcji pary wodnej i energii elektrycznej w celulozowniach i papierniach, poziomy zużycia i emisji zostały podane (w pkt 2.6.2) kierując się podejściem przyjętym także w rozdziałach dotyczących poszczególnych procesów, czyli od 3 do 7.

Następnie, począwszy od pkt 2.9, omówione zostały ogólne techniki, które należy rozważyć przy określaniu BAT. Wreszcie, te techniki omówione w rozdziale 2, które są uważane za BAT dla całego sektora zostały podsumowane w pkt 8.1 'Najlepsze dostępne techniki'. Te najlepsze dostępne techniki przyczyniają się do zmniejszenia całkowitych emisji, dzięki czemu wpłyną one na efektywność środowiskową zakładów produkujących masy włókniste i papier.

Rozdział 2 należy czytać łącznie z odpowiednimi rozdziałami od 3 do 7, które mają zastosowanie do danego rodzaju zakładu celulozowo-papierniczego, co pozwoli uzyskać pełen obraz BAT dla konkretnej instalacji.

## 2.1 Zintegrowane i/lub wielo-produktowe zakłady celulozowo-papiernicze

W tej części dokumentu dotyczącej zakładów zintegrowanych i wielo-produktowych wyjaśniono szczególne cechy, które należy uwzględnić w przypadku zintegrowanej produkcji mas włóknistych i papieru i zawiera wskazówki odnośnie podejścia do szacowania emisji, jakie należy przyjąć w odniesieniu do bardziej złożonego zakładu, który produkuje różne rodzaje mas włóknistych i papieru w tym samym miejscu.

Poziomy emisji związane z najlepszymi dostępnymi technikami (BAT-AEL) dla produktów i procesów związanych z różnymi obszarami produkcji mas włóknistych i papieru zostały opisane w rozdziale 8.

Poziomy BAT-AEL dla roztwarzania chemicznego, a także dla produkcji papieru zostały opisane w rozdziale 8 w odniesieniu do zakładów niezintegrowanych. Jednak w praktyce bardzo często występują zakłady zintegrowane, a nawet wielo-produktowe. W takich przypadkach przy szacowaniu emisji ważne jest przyjęcie odpowiedniego podejścia, które łączy w sobie wkład poszczególnych procesów (roztwarzania i produkcji papieru). Takie podejście, które zakłada połączone obliczenia dla zrzutów ścieków zostało przedstawione w pkt 2.1.2. Podejście to wymaga zdefiniowania następujących pojęć: zakład niezintegrowany, zintegrowany i wielo-produktowy.

### 2.1.1 Definicja zakładu niezintegrowanego, zintegrowanego i wielo-produktowego

#### Zakłady niezintegrowane

Zakładem niezintegrowanym jest:

- celulozownia produkująca masę włóknistą towarową, w której nie pracują maszyny papiernicze. Masa włóknista towarowa to masa wytwarzana i suszona zazwyczaj w tym samym zakładzie, przeznaczona na sprzedaż producentom papieru prowadzącym działalność w innych miejscach; lub
- papiernia, która produkuje papier rozczyniając masę wytworzoną w innym miejscu.

#### Zakłady zintegrowane

Przez produkcję zintegrowaną należy rozumieć produkcję masy włóknistej i papieru w tym samym zakładzie. Przed produkcją papieru masa nie jest suszona. Zakłady zintegrowane mogą jednak wykorzystywać pewne ilości nabytej masy suszonej wytworzonej w innym zakładzie. Poziom integracji może się różnić zależnie od rodzaju zakładu: będzie on inny w przypadku zwykłego zintegrowanego zakładu celulozowo-papierniczego i inny w przypadku zintegrowanego zakładu wielo-produktowego. Wyróżnia się głównie następujące rodzaje zakładów zintegrowanych:

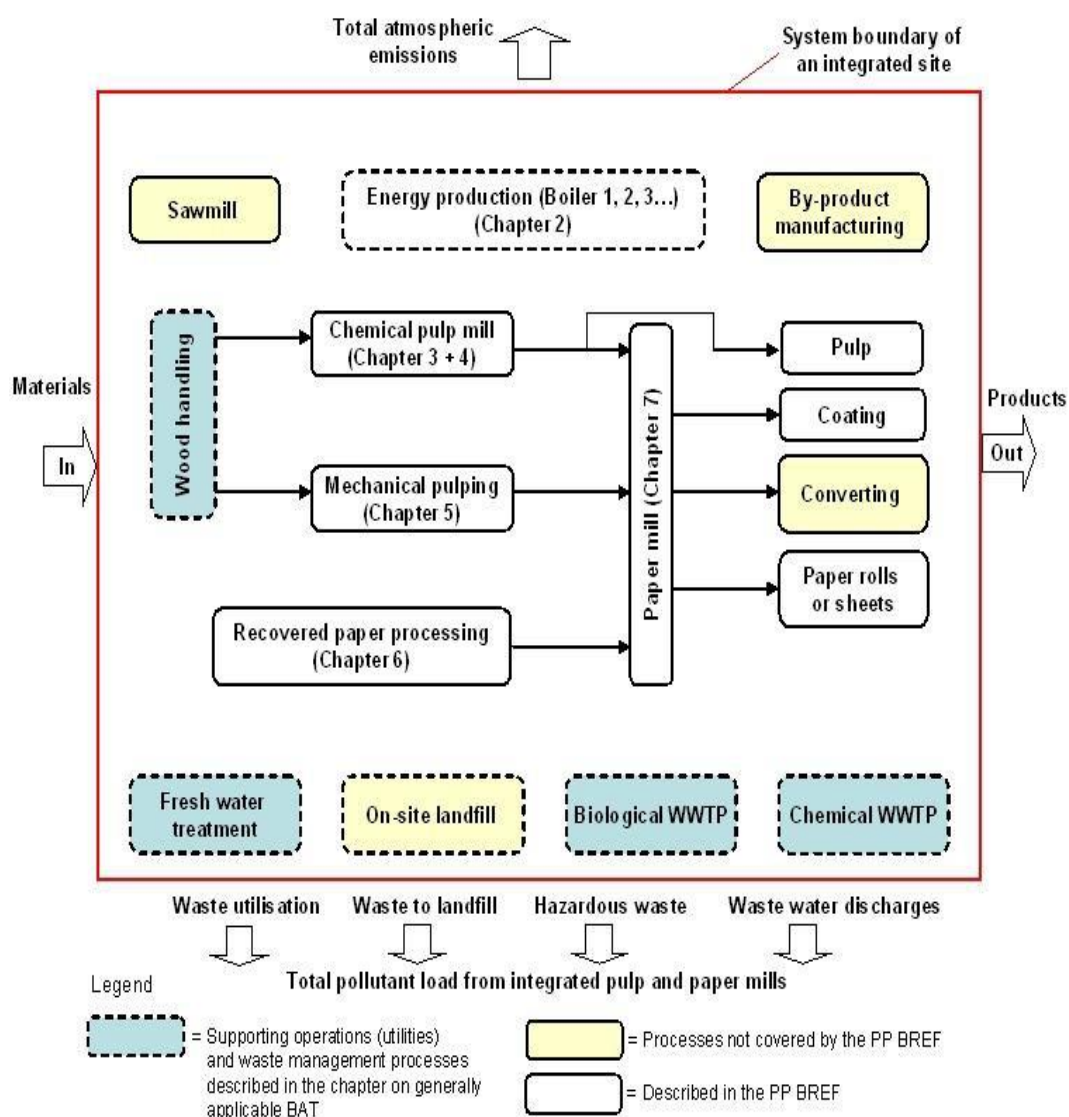
- zakłady prowadzące produkcję masy chemicznej (masy celulozowej siarczanowej lub siarczynowej) i papieru;
- zakłady prowadzące produkcję masy mechanicznej i papieru;



- zakłady zajmujące się przetwórstwem makulatury i produkcją papieru;
- zakłady prowadzące produkcję masy mechanicznej i przetwórstwo makulatury oraz produkcję papieru;
- inne kombinacje, np. masy chemiczne i makulatura mogą być wykorzystywane w tym samym zakładzie do produkcji jednego rodzaju produktu. W niektórych zakładach może być produkowana także dodatkowo masa mechaniczna;
- zakłady wielo-produktowe.

## Zakłady wielo-produktowe

Termin ‘zakład wielo-produktowy’ odnosi się do zakładu wytwarzającego różnorodne produkty wykorzystując do ich produkcji drewno (tarcicę, masy chemiczne, mechaniczne lub masy z przetworzonej makulatury, różne rodzaje papieru i tektury oraz produkty uboczne na bazie drewna). Rysunek 2.1 przedstawia przegląd głównych procesów prowadzonych w zakładzie wielo-produktowym i możliwe kombinacje. Z rysunku wynika również, gdzie w niniejszym dokumencie można znaleźć opisy różnych omawianych procesów.



Rysunek 2. 1 Przegląd różnych procesów prowadzonych w zakładzie wielo-produktowym ze wskazaniem miejsca, gdzie zostały one opisane w niniejszym dokumencie

Total atmospheric emissions	Całkowite emisje do atmosfery
System boundary of an integrated site	Granica systemu zakładu zintegrowanego
Sawmill	Tartak
Energy production (Boiler 1,2,3...) (Chapter 2)	Produkcja energii (Kocioł 1, 2, 3...) (rozdział 2)
By-product manufacturing	Wytwarzanie produktów ubocznych
Materials	Materiały
In	Wejście
Wood handling	Obróbka drewna
Chemical pulp mill (Chapter 3 + 4)	Celulozownia produkująca masę chemiczną (rozdział 3 + 4)
Mechanical pulping (Chapter 5)	Roztworzenie mechaniczne (rozdział 5)
Recovered paper processing (Chapter 6)	Przetwarzanie makulatury (rozdział 6)
Paper mill (Chapter 7)	Papiernia (rozdział 7)
Pulp	Masa włóknista
Coating	Powlekanie
Converting	Przekształcanie
Paper rolls or sheets	Role lub arkusze papieru
Products	Produkty
Out	Wyjście
Fresh water treatment	Uzdatnianie wody słodkiej
On-site landfill	Składowisko odpadów na terenie zakładu
Biological WWTP	Oczyszczalnia biologiczna
Chemical WWTP	Oczyszczalnia chemiczna
Waste utilization	Utylizacja odpadów
Waste to landfill	Odprowadzanie odpadów na składowiska
Hazardous waste	Niebezpieczne odpady
Waste water discharges	Odprowadzanie ścieków
Legend	Legenda
Total pollutant load from integrated pulp and paper mills	Całkowity ładunek zanieczyszczeń ze zintegrowanego zakładu celulozowo-papierniczego
Supporting operations (utilities) and waste management processes described in the chapter on generally applicable BAT	Procesy pomocnicze (usługi komunalne) i procesy związane z gospodarką odpadami opisane w rozdziale na temat BAT mających ogólne zastosowanie
Processes not covered by the PP BREF	Procesy nieuwzględnione w dokumencie BREF dotyczącym produkcji mas włóknistych i papieru
Described in the PP BREF	Procesy opisane w dokumencie BREF dotyczącym produkcji mas włóknistych i papieru (BREF PP)

W zakładzie wielo-produktowym mogą być obsługiwane różne linie rozwłókniania i mogą być produkowane różne gatunki papieru z mieszaniny różnych surowców. Zakłady wielo-produktowe mogą, lecz nie muszą, zajmować się produkcją papieru. Zakład produkujący np. masę celulozową siarczanową i masę chemo-termo-mechaniczną, lecz nieprodukujący papieru, jest także zaliczany do zakładów wielo-produktowych. Nie jest on jednak zakładem

zintegrowanym.

W przypadku złożonych, zintegrowanych zakładów celulozowo-papierniczych, takich jak większość zakładów wielo-produktowych, istnieją zasadnicze różnice pomiędzy emisjami do atmosfery ze źródeł punktowych i zrzutami ścieków.

Emisje gazowe ze źródeł punktowych są uwalniane z wybranych procesów bezpośrednio do atmosfery (po przejściu, tam, gdzie ma to zastosowanie, przez urządzenia do oczyszczania powietrza) i mogą być przypisane do konkretnego źródła emisji. Źródła inne niż źródła punktowe, takie jak słabe (rozcieńczone) i mocne (stężone) gazy z zakładów produkujących masę celulozową siarczanową są zbierane z różnych miejsc w obrębie zakładu zazwyczaj w celu ich spalania i przekształcenia ich w ten sposób w źródło punktowe. Natomiast nieodebrane gazy złowne są uwalniane jako emisje rozproszone.

Ścieki pochodzące z różnych procesów prowadzonych w ramach produkcji zintegrowanej są zazwyczaj mieszane i oczyszczane wspólnie w biologicznej oczyszczalni ścieków. W dużych zakładach zintegrowanych, w których obsługiwane są różne linie produkcyjne/maszyny, ma miejsce mniejsza zmienność emisji w czasie niż w przypadku mniejszych zakładów, a biologiczne oczyszczalnie ścieków mogą pracować bardziej wydajnie (więcej informacji na temat zmienności emisji w trakcie różnych okresów sprawozdawczych w pkt 10.2.1). Pomiary są dokonywane zazwyczaj tylko dla jednego punktu zrzutu. Po oczyszczeniu, nie jest możliwe rozróżnienie w łatwy sposób zrzutów do środowiska pochodzących z poszczególnych procesów.

W niektórych zakładach zintegrowanych można wyróżnić dodatkowe ładunki zanieczyszczeń, które nie zawierają jednak dużych ilości dodatkowych zanieczyszczeń: (i) niektóre zakłady posiadają instalacje do produkcji wytrąconego węgla wapnia (PCC) z wapna palonego i dwutlenku węgla. Tak otrzymany PCC jest wykorzystywany do produkcji papieru. Ścieki z instalacji PCC zawierające cząstki stałe są skierowane do układu oczyszczania ścieków zintegrowanego zakładu, co powoduje zwiększenie początkowych emisji zawiesiny cząstek stałych (TSS) do oczyszczalni ścieków; (ii) odcieki i kondensat z suszenia drewna w tartakach mogą być kierowane do zintegrowanej oczyszczalni ścieków. Ładunek zapotrzebowania tlenu i ładunek składników odżywczych w tych wodach są jednak niewielkie; (iii) konwersja produktów ubocznych powstających w ramach produkcji masy celulozowej siarczanowej, np. dalsze przetwarzanie terpentyny i oleju talowego w instalacjach przetwórczych znajdujących się w obrębie zintegrowanego zakładu. Ścieki produkowane przez takie firmy, należące często do podmiotów zewnętrznych (np. Arizona Chemicals Oy w przypadku zakładu Stora Enso Oulu, Forchem Oy w przypadku zakładu UPM/Botnia Rauma) są kierowane do zintegrowanych oczyszczalni ścieków.

Emisje do atmosfery i ilości odpadów mogą być przypisywane w zależności od źródła zanieczyszczenia. Emisje z kotłów pomocniczych, kotła(-ów) regeneracyjnego(-ych) lub pieca wapiennego mogą być przypisane do odpowiedniej jednostki technicznej. Jednak w zakładach wielo-produktowych kocioł regeneracyjny może być opalany paliwem pochodzącym z różnych procesów, np. produkcji masy celulozowej siarczanowej, wytwarzania masy pół-chemicznej metodą obojętnego siarczynu (NSSC) lub innych. To samo odnosi się do frakcji odpadów związanych z obróbką. Wartości BAT-AEL dla tych poszczególnych jednostek/procesów technicznych zostały podane w rozdziale 8 niniejszego dokumentu.

## 2.1.2 Podejście proponowane w zakresie szacowania emisji generowanych przez zintegrowane zakłady celulozowo-papiernicze i/lub zakłady wielo-produktowe

Jak wskazano powyżej, zakłady zintegrowane i/lub wielo-produktowe oczyszczają zbiorczo ścieki pochodzących z różnych obszarów produkcyjnych. W związku z tym trudność oszacowania emisji dla zakładów zintegrowanych i/lub wielo-produktowych ogranicza się do ścieków.

Opisy techniczne podstawowych operacji produkcyjnych prowadzonych w zakładach zintegrowanych i/lub wielo-produktowych zostały przedstawione w odpowiednich rozdziałach niniejszego dokumentu, np. procesy pomocnicze (usługi komunalne), procesy i techniki wspólne dla wszystkich zakładów w rozdziale 2; roztwarzanie chemiczne w rozdziałach 3 i 4; różne rodzaje roztwarzania mechanicznego w rozdziale 5; przetwarzanie makulatury w rozdziale 6 i produkcja papieru w rozdziale 7.

Jednakże w przypadku zakładów zintegrowanych produkujących masę mechaniczną i przetwarzających makulaturę podział może nie być konieczny, ponieważ roztwarzanie mechaniczne i przetwarzanie makulatury są prowadzone niemal wyłącznie w sposób zintegrowany. Ze względów praktycznych, dla tych dwóch rodzajów roztwarzania (mechanicznego i przetwarzania makulatury), opis procesów, technik, BAT i poziomów BAT-AEL dotyczy zarówno wytwarzania masy mechanicznej/przetwarzania makulatury jak i produkcji papieru (szczegółowy opis procesów i technik stosowanych przy produkcji papieru został przedstawiony w rozdziale 7). Jeśli jednak zakład produkuje towarową masę mechaniczną lub masę odbarwioną (DIP), mają do niego zastosowanie takie same poziomy emisji związane ze stosowaniem BAT, jak ma to miejsce w przypadku zakładów zintegrowanych. Wynika to z tego, że ładunek zanieczyszczenia powstający podczas produkcji papieru nie różni się znacząco od ładunku związanego z suszeniem masy.

Parametry takie jak zużycie wody słodkiej, strumień ścieków, ładunki określonych emisji (np. kg ChZT/ADt), całkowite zużycie ciepła procesowego i energii elektrycznej, określone poziomy emisji/zużycia mogą być obliczane dla zintegrowanych celulozowni wytwarzających masę chemiczną i/lub zakładów wielo-produktowych w sposób podany poniżej dla określonych zrzutów ścieków. Powyższe nie ma zastosowania do zwykłych zintegrowanych papierni RCF i zakładów produkujących masę mechaniczną i papier, niebędących zakładami wielo-produktowymi.

Równanie 1 w pkt 2.1.3, może być stosowane do obliczenia ładunku emisji pochodzących ze zintegrowanego zakładu wielo-produktowego. Jeśli jednak w zakładzie zintegrowanym prowadzone są procesy, które nie są objęte zakresem niniejszym dokumentu (np. działalność w tartaku, patrz rysunek 2.1), lecz mają wpływ na całkowity ładunek emisji (np. ładunek ścieków z tartaku, z przekształcania produktów ubocznych, z produkcji PCC, itd.), emisje te muszą zostać uwzględnione przy szacowaniu emisji dla całego zakładu.

Oszacowane wartości można zweryfikować na podstawie ciągłych lub okresowych pomiarów emisji do atmosfery i wody, pomiarów frakcji odpadów oraz, w przypadku zużycia zasobów i energii, korzystając z danych produkcyjnych uzyskanych bezpośrednio od zakładu.

### 2.1.3 Proponowana metoda oceny emisji dla poszczególnych ładunków ścieków

Jak wspomniano powyżej, ścieki pochodzące z procesów prowadzonych w ramach produkcji zintegrowanej są zwykle mieszane, a dane na temat emisji po oczyszczeniu pochodzą zazwyczaj tylko z jednego punktu zrzutu. W celu rozpatrzenia indywidualnego udziału procesów produkcji masy i produkcji papieru w mierzonym całkowitym ładunku zanieczyszczeń, proponowane jest uproszczenie pozwalające na uzyskanie dostatecznie dokładnych wyników. Zaproponowana metoda szacunkowa uwzględnia dodatkowy udział w zrzutach z sektorów/działalności zintegrowanego zakładu celulozowo-papierniczego. Metoda ta nie ma zastosowania do zwykłych zintegrowanych papierni RCF i zakładów produkujących masę mechaniczną i papier, niebędących zakładami wielo-produktowymi. Jest to spowodowane brakiem danych dla tego typu zakładów wytwarzających tylko masy włókniste (DIP, mechaniczną towarową), a także faktem, że jest ich w Europie zaledwie kilka. Ich przybliżony ładunek zanieczyszczeń można obliczyć na podstawie poziomów zużycia i emisji na tonę produktu wytworzonego w zakładach zintegrowanych.

Ładunek poszczególnych zanieczyszczeń (zanieczyszczenie P, np. ChZT) ze zintegrowanego zakładu produkującego masę chemiczną i/lub zakładu wielo-produktowego można obliczyć zgodnie z równaniem 1:

$$\text{Równanie 1: } \text{Ładunek}_p = (\text{Ładunek}_{p1} \times \text{PROD}_1 + \text{ŁADUNEK}_{p2} \times \text{PROD}_2 + \text{ŁADUNEK}_{pn} \times \text{PROD}_n)$$

gdzie:

Ładunek<sub>p</sub>: Całkowity ładunek zanieczyszczenia P (np. ChZT) ze zintegrowanego zakładu produkującego masę chemiczną i/lub zakładu wielo-produktowego. Ładunek powinien być wyrażony dla tego samego okresu odniesienia, co odpowiadająca mu produkcja netto (PROD). Stosowaną jednostką będzie kg zanieczyszczenia/dobę dla średnich wartości dobowych lub kg zanieczyszczenia/rok dla średnich wartości rocznych.

Ładunek<sub>p(1 do n)</sub>: Poziomy emisji zanieczyszczenia (P) dla różnych rodzajów produkcji mas włóknistych i papieru.

PROD(1 do n): Odpowiednia produkcja netto (np. ADt/dobę lub ADt/rok) każdego rodzaju masy włóknistej lub papieru produkowanego w zakładzie zintegrowanym, określona dla tego samego okresu odniesienia, co ładunek.

Stosując równanie 1 dla zintegrowanego zakładu produkującego masę chemiczną i papier i/lub zakładu wielo-produktowego, otrzymujemy wartość całkowitego ładunku emisji (np. kg ChZT/dobę) zanieczyszczenia P (np. ChZT) dla wybranego okresu referencyjnego (np. doba, miesiąc lub rok).

Stosując równanie 1 do oceny całkowitego ładunku pochodzącego z zakładu zintegrowanego, należy mieć na uwadze, że tak obliczone wartości nie uwzględniają wszystkich cech zintegrowanych procesów, w związku z czym mają one jedynie orientacyjny charakter. W przypadku zakładów zintegrowanych, ocena ta powinna być przeprowadzana według podprocesów (roztwarzania, produkcji papieru, etc.) opisanych w niniejszym dokumencie.

Taka sama ocena szacunkowa może zostać przeprowadzona dla odpowiednich strumieni (m<sup>3</sup>/ADt) w ramach stosownych głównych procesów produkcyjnych w celu określenia

---

całkowitego odnośnego strumienia (np. m<sup>3</sup>/dobę) z zakładu zintegrowanego lub wielo-produktowego (zgodnie z równaniem 2):

**Równanie 2:**  $\sum \text{strumień} = (\text{strumień1} \times \text{PROD}_1 + \text{strumień2} \times \text{PROD}_2 + \text{strumień } n \times \text{PROD}_n)$

Skróty zastosowane w równaniu 2 mają takie samo znaczenie, jak w przypadku ładunku w równaniu 1, jednak w każdym przypadku należy zastąpić ładunek strumieniem. Zależnie od przypadku, można rozważyć dodatkowe źródła emisji oraz środki służące zapobieganiu emisjom i ich kontroli.

Wszystkie niezawodne metody szacunkowe powinny uwzględniać właściwości różnych strumieni ścieków, ich biodegradowalność i rodzaj, skuteczność oczyszczania ścieków w oczyszczalni oraz dane produkcyjne. Jednakże, w wielu przypadkach to sam proces oczyszczania determinuje ostateczny poziom emisji w większym stopniu niż właściwości wprowadzanych ścieków, co zmniejsza znaczenie oszacowanej alokacji ładunków emisji. Alokacja może zatem zostać uproszczona dzięki zastosowaniu jasnych założeń lub oceny skuteczności oczyszczania konkretnych strumieni ścieków w oczyszczalni.

Niektóre zintegrowane zakłady opracowały własne metody szacowania poszczególnych rodzajów ścieków umożliwiające alokację ładunku zanieczyszczeń. Metody te są oparte na dość ogólnych założeniach i zasadach lub na badaniach laboratoryjnych lub pilotażowych różnych frakcji ścieków, jak również na wieloletnim doświadczeniu w prowadzeniu oczyszczalni ścieków. W tym ostatnim przypadku, oczyszczalnia dysponuje zazwyczaj wynikami badań biodegradowalności składników ścieków, zawartości i przydatności składników odżywczych dla biomasy oraz całkowitych współczynników redukcji. Na podstawie tych informacji, jak i danych na temat wielkości produkcji i strumieni oraz właściwości dostarczanych frakcji ścieków, operatorzy mogą ocenić udział poszczególnych procesów produkcyjnych prowadzonych w zintegrowanym zakładzie w całkowitym ładunku zanieczyszczeń mierzonym w punkcie zrzutu.

Więcej informacji na ten temat można znaleźć w załączniku I (patrz pkt 10.1), w którym omówiono dwa przykłady faktycznie istniejących zakładów wielo-produktowych i opisano praktyczny sposób oszacowania emisji dla określonego zrzutu ścieków.

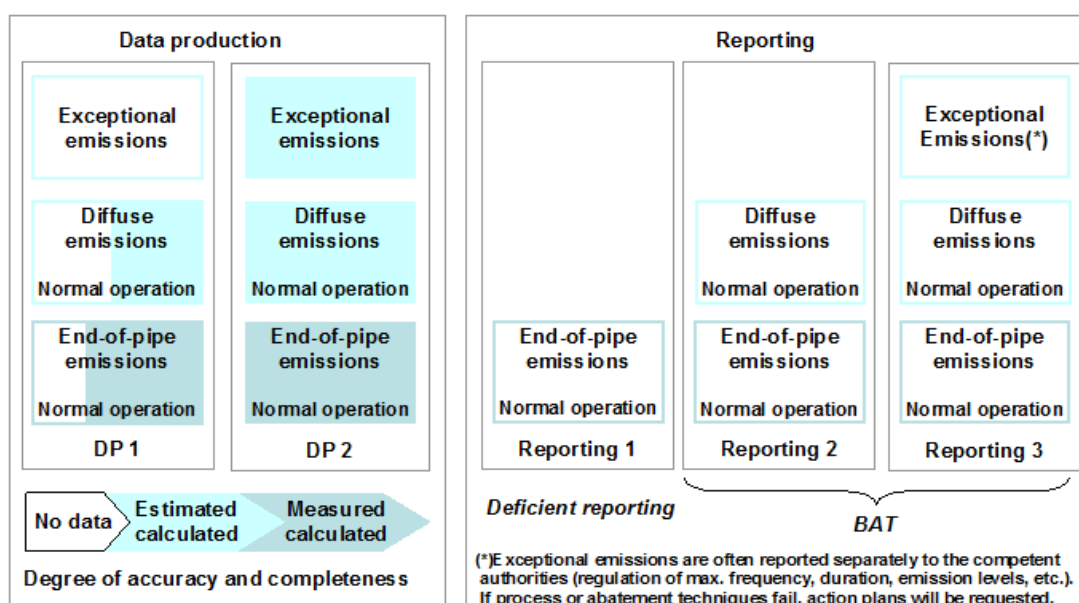
## 2.2 Monitorowanie

### 2.2.1 Ogólne aspekty monitorowania emisji z zakładów celulozowo-papierniczych

Sposób monitorowania emisji ma duży wpływ na porównywalność danych dotyczących generowanych emisji, które są wykorzystywane m.in. do określania poziomów BAT-AEL.

Czytelnik powinien mieć na uwadze, że w zależności od celu monitorowania i sprawozdawczości (np. kontrola zgodności lub sprawozdawczość środowiskowa) stosowane są różne okresy referencyjne (średnie wartości dobowe, miesięczne, roczne) (patrz pkt 2.2.1.3).

Rysunek 2.2 przedstawia schematycznie różne formy opracowywania danych, w tym rodzaje emisji, które należy wziąć pod uwagę podczas opracowywania i raportowania danych dotyczących poziomów emisji z zakładów celulozowo-papierniczych. Na rysunku przedstawiono również stopień dokładności i kompletności różnych metod określania poziomów emisji: emisje, które są mierzone bezpośrednio i wartości obliczane na podstawie bezpośrednich pomiarów są zazwyczaj najbardziej dokładne i kompletne.



Źródło: Fiński Instytut Ochrony Środowiska, zmodyfikowano przez Europejskie Biuro IPPC

Rysunek 2. 2 Różne formy opracowywania i raportowania danych dotyczących emisji z zakładów celulozowo-papierniczych

Data production	Opracowywanie danych
Exceptional emissions	Emisje wyjątkowe
Exceptional emissions	Emisje wyjątkowe
Diffuse emissions	Emisje rozproszone
Normal operation	Normalna praca
Diffuse emissions	Emisje rozproszone
End-of-pipe emissions	Emisje na “końcu rury”
End-of-pipe emissions	Emisje na “końcu rury”

DP 1	OD 1
DP 2	OD 2
No data	Brak danych
Estimated calculated	Oszacowane obliczone
Measured calculated	Zmierzone obliczone
Degree of accuracy and completeness	Stopień dokładności i kompletności
Reporting	Raportowanie
End-of-pipe emissions	Emisje na “końcu rury”
Reporting 1	Raportowanie 1
Diffuse emissions	Emisje rozproszone
End-of-pipe emissions	Emisje na “końcu rury”
Reporting 2	Raportowanie 2
Exceptional Emissions(*)	Emisje wyjątkowe (*)
Reporting 3	Raportowanie 3
Deficient reporting	Niedostateczne raportowanie
BAT	BAT
(*)Exceptional emissions are often reported separately to the competent authorities (regulation of max. frequency, duration, emission levels, etc.), If process or abatement techniques fail, action plans will be requested.	(*) Emisje wyjątkowe są często zgłaszane właściwym organom oddzielnie (dostosowanie maks. częstotliwości, czasu trwania, poziomów emisji, itp.). W przypadku niepowodzenia procesów lub technik zmniejszania emisji, konieczne będzie opracowanie planu działania.
Source: Finnish Environment Institute, modified by EIPPCB	Źródło: Fiński Instytut Ochrony Środowiska, zmodyfikowano przez EIPPCB

W celu porównania całkowitych emisji z zakładów celulozowo-papierniczych, należy uwzględnić wszystkie istotne źródła emisji i warunki operacyjne, tj. emisje ukierunkowane, rozproszone i niezorganizowane, zarówno w ‘standardowych warunkach operacyjnych’ jak i w ‘warunkach innych niż standardowe’ (uwzględniając przewidywalne, jak i nieprzewidywalne warunki operacyjne). Wyjątkowe uwolnienia w warunkach przewidywalnych mają miejsce np. podczas rutynowych okresów rozruchu i wyłączenia, podczas prac konserwacyjnych lub z powodu normalnych zmian warunków wejściowych lub procesowych. Warunki nieprzewidywalne obejmują np. nieoczekiwane zmienne warunki wejściowe lub procesowe, bądź nieprawidłowości w przebiegu procesów, wdrażaniu technik zmniejszania emisji lub pracy urządzeń monitorujących, jak również błąd ludzki.

Bardziej szczegółowy opis tych koncepcji został zawarty w Dokumencie referencyjnym na temat ogólnych zasad monitorowania [269, COM 2003].

### 2.2.1.1 Uwzględnione źródła emisji

#### Emisje do wody

Zakłady celulozowo-papiernicze posiadają zazwyczaj tylko jeden punkt zrzutu (patrz pkt 2.2.2.1.1). Zrzuty ścieków z zakładów celulozowo-papierniczych są zwykle zbierane ze wszystkich części zakładu, mieszane i przesyłane do oczyszczalni ścieków na terenie zakładu. W kilku przypadkach, zebrane ścieki są odprowadzane przez system kanalizacyjny. Emisje mogą zawierać wodę chłodzącą (jeśli jest ona wykorzystywana ponownie jako woda technologiczna) i często pod uwagę brane są tylko ścieki procesowe. Emisje rozproszone do



wody nie mają istotnego znaczenia, o ile stosowane są systemy zbierania, a kanalizacja jest poddawana okresowym kontrolom i konserwacji.

## Emisje do atmosfery

Jeśli chodzi o emisje do atmosfery, należy wziąć pod uwagę kilka źródeł emisji ukierunkowanych (głównie procesy spalania). Główne rodzaje instalacji w zakładach celulozowo-papierniczych, emitujące zanieczyszczenia do atmosfery zostały wymienione w pkt 2.6.1, i są szerzej omówione w pkt 2.2.2.2.1, pkt 2.2.2.2.2. Bardziej szczegółowe informacje na ten temat podano w odpowiednich punktach dotyczących emisji do atmosfery w rozdziałach poświęconych procesom, czyli od 3 do 7.

W przypadku szeregu procesów istotne znaczenie mają również emisje rozproszone, dlatego także one powinny być brane pod uwagę. Emisje rozproszone mogą odgrywać istotną rolę przede wszystkim w niektórych zakładach produkujących masy chemiczne (patrz pkt 2.2.2.2.6 i pkt 3.3.15). Opis procesów zbierania, oczyszczania i pomiaru emisji rozproszonych z zakładów produkujących masę celulozową siarczanową podano w pkt 2.2.2.2.6 i pkt 3.3.15. W większości zakładów produkujących masę celulozową siarczynową, prawie wszystkie emisje SO<sub>2</sub> w warstwie przyziemnej i gazy złownone są zbierane, a następnie spalane lub płukane (patrz pkt 4.3.22). Przy zgłaszaniu całkowitych emisji siarki z zakładów produkujących masę celulozową siarczanową, we wszystkich przypadkach, w których gazy rozcieńczone nie są (prawie) całkowicie zbierane i oczyszczane, należy prowadzić okresowe pomiary i ocenę gazów złownonnych z wielu źródeł niepunktowych i zgłaszać te dane osobno. Uciążliwości zapachowe są pierwszą oznaką uwolnienia emisji rozproszonych generowanych przez procesy.

### 2.2.1.2 Warunki operacyjne przewidziane w niniejszym dokumencie

#### Emisje do wody

Standardowe warunki operacyjne uwzględniają wszystkie czynności, które są regularnie prowadzone podczas normalnych dni produkcyjnych, i które mogą mieć wpływ na poziomy zużycia wody i zrzutów, takie jak prace konserwacyjne czy normalne zmiany zachodzące w odniesieniu do warunków wejściowych lub procesowych:

- i. W przypadku zakładów produkujących masy chemiczne, standardowe warunki operacyjne uwzględniają wycieki z linii roztwarzania lub odzysku, zmiany wielkości produkcji, zmiany surowca drzewnego, zmiany jakości produktów, np. białości (ISO%), regularne rutynowe prace konserwacyjne i czyszczenie. W przypadku zintegrowanych zakładów celulozowo-papierniczych, patrz także iv. ‘papiernie’ poniżej.
- ii. W przypadku zakładów produkujących masy mechaniczne, standardowe warunki operacyjne uwzględniają zmianę celów w zakresie rafinacji i zmiany surowca drzewnego, zmiany jakości produktów, np. stopień białości (ISO%), regularne rutynowe prace konserwacyjne i czyszczenie. W przypadku zintegrowanych zakładów celulozowo-papierniczych, patrz także iv. ‘papiernie’ poniżej.
- iii. Jeśli chodzi o papiernie RCF, standardowe warunki operacyjne uwzględniają zmianę jakości wykorzystywanej makulatury. W odniesieniu do produkcji papieru, patrz także iv. ‘papiernie’.
- iv. W odniesieniu do papierni, standardowe warunki operacyjne obejmują zmianę rodzajów i właściwości papieru, zerwanie wstęgi papieru, zatrzymanie i uruchomienie maszyny papierniczej lub innych części procesu z powodu zerwania wstęgi papieru, regularne rutynowe prace konserwacyjne i czyszczenie urządzeń, zbiorników, rur, skrzyń i podłóg.

W przypadku emisji do wody, różnice między „normalnymi warunkami operacyjnymi” i „warunkami operacyjnymi innymi niż standardowe” mają na ogół mniejsze znaczenie ze

względu na rozcieńczenie i efekty wyrównujące związane z wielkimi ilościami, które są zbierane i mieszane w systemie kanalizacyjnym w zakładzie, zbiornikach wyrównawczych przed etapem biologicznym, w niektórych przypadkach basenach awaryjnych (wycieki), a także ze względu na objętość i czas retencji w samej oczyszczalni ścieków. Poziomy emisji określone w pozwoleniu uwzględniają standardowo wszystkie warunki operacyjne.

Warunki operacyjne inne niż standardowe – jeśli występują – są zazwyczaj określone w pozwoleniu i/lub są zgłaszane właściwym organom (liczba zdarzeń, okres, w którym wystąpiły emisje wyjątkowe, przyczyna, zmierzone poziomy emisji i działania planowane lub podjęte w celu powrotu do wcześniejszego stanu). Takie ‘wyjątkowe warunki operacyjne’ mogą obejmować np. testowanie nowych dodatków chemicznych, innych nowych materiałów i urządzeń procesowych, które mogą mieć wpływ na efektywność oczyszczania ścieków.

### Emisje do atmosfery

‘Standardowe warunki operacyjne’ obejmują wszystkie czynności, które mają miejsce w trakcie normalnych dni produkcyjnych – w regularnych odstępach czasu lub sporadycznie (np. zerwanie wstęgi papieru) i obejmują w szczególności procedury, które są częścią rutynowych czynności konserwacyjnych. Uwzględniają one również typowe zmiany poziomów emisji w wyniku zmian warunków wejściowych lub procesowych.

Mimo, że mają one często wpływ na emisje do atmosfery, ‘standardowe warunki operacyjne’ uwzględniają:

- zmianę obciążenia kotłów;
- normalne zmiany warunków wejściowych i procesowych;
- zmianę jakości i rodzaju produktu;
- zerwanie wstęgi papieru lub inne przerwy na innych etapach procesu;
- regularne, rutynowe prace konserwacyjne i czyszczenie (np. okresowe czyszczenie filtrów, płuczek lub innych części urządzeń służących do redukcji emisji lub systemów pomiarowych);
- nadzór nad zakładem w formie pomiarów ‘zewnętrznych’.

Kwestie związane z okresami rozruchu lub czasowego wyłączenia mogą zostać uregulowane w specjalnych ustaleniach. Sytuacje, które są zazwyczaj określone w pozwoleniu obejmują poszczególne procesy, podczas których:

- urządzenie do oczyszczania gazów odlotowych musi być wyłączony ze względów bezpieczeństwa (niebezpieczeństwo deflagracji, zatkania lub korozji);
- urządzenie do oczyszczania gazów odlotowych nie jest w pełni skuteczne z powodu niewystarczającego objętościowego przepływu strumienia gazów odlotowych; lub
- zbieranie i oczyszczanie gazów odlotowych nie jest możliwe lub wykonalne z powodu napełnienia pojemników lub ich opróżniania.

W przypadku kotłów regeneracyjnych eksploatowanych w zakładach produkujących masę celulozową siarczynową, w większości zakładów należy wyróżnić dwa różne rodzaje warunków operacyjnych w odniesieniu do emisji SO<sub>2</sub>: ‘standardowe warunki operacyjne i okresy ‘działania kwasu’ (płukanie i usuwanie inkrustacji z płuczek i myjek). Ten drugi rodzaj warunków odnosi się do trybu pracy, w którym płuczki są czyszczone profilaktycznie z inkrustacji powodowanych przez siarczan (IV) magnezu (MgSO<sub>3</sub>). W trakcie cykli czyszczenia płuczki, poziom emisji wzrasta, ponieważ jedna z płuczek lub płuczka końcowa jest wyłączona z eksploatacji, w związku z czym konieczne jest uruchomienie płuczek zapasowych.

### 2.2.1.3 Przetwarzanie danych

Dane dotyczące średnich rocznych poziomów emisji powinny uwzględniać wszystkie uwolnienia ze wszystkich źródeł eksploatacyjnych i w każdych warunkach, w tym emisje rozproszone z urządzeń „końca rury” generowane w trakcie normalnej pracy, a także emisje inne niż emisje powstające w związku z normalną pracą, o ile wystąpią. Dane są zwykle oparte na bezpośrednich pomiarach (takich jak pomiary ciągłe i okresowe) lub monitorowaniu pośrednim (np. obliczeniach, bilansie masy i czynnikach emisji). Roczny ładunek w przypadku wody powinien uwzględniać niemal 100% całkowitego czasu pracy (uwaga: częstotliwość analizy). W przypadku emisji do atmosfery, uwzględnienie 100% czasu pracy jest możliwe tylko, gdy stosowane są systemy ciągłego monitorowania lub odpowiednie narzędzia obliczeniowe, i zbierane są lub uwzględniane wszystkie emisje rozproszone (patrz prawa kolumna na rysunku 2.2).

Reprezentatywne dane na temat średnich dziennych poziomów emisji odzwierciedlają wyniki uzyskiwane zazwyczaj w dłuższym okresie. Wszystkie emisje, które są mierzone – stosując pomiary ciągłe, okresowe lub na podstawie wyrywkowych próbek – są rejestrowane i zgłaszane.

Dla celów raportowania reprezentatywnych poziomów emisji lub poziomów BAT-AEL dla krótkich okresów referencyjnych, np. średnich dobowych poziomów emisji, często konieczne jest przeprowadzenie oceny zestawu danych w celu wyeliminowania danych wprowadzających w błąd lub niereprezentatywnych. W wielu przypadkach zasadnym jest pominięcie nietypowych ekstremalnych wartości szczytowych.

Uwzględnienie wszystkich szczytowych wartości w celach raportowania reprezentatywnych średnich dobowych emisji lub poziomów BAT-AEL mogłoby prowadzić w niektórych przypadkach do bardzo dużych, mylących zakresów emisji, które nie odzwierciedlałyby w reprezentatywny sposób rzeczywistej efektywności środowiskowej danego zakładu, ponieważ niezwykle niskie lub wysokie wartości emisji byłyby wartościami przeszacowanymi (w związku z tym, że występują one tylko w bardzo krótkim odstępie czasowym). W związku z tym, w celach raportowania reprezentatywnych średnich wartości dobowych, pewne wyjątkowe warunki operacyjne i nietypowe wartości szczytowe odnoszące się do bardzo ograniczonej liczby dni pracy mogą zostać pominięte. Możliwe jest zastosowanie różnych metod, np. metod statystycznych (np. 95 percentyl) lub analizy przyczyn nietypowych emisji szczytowych w celu przeprowadzenia indywidualnej oceny reprezentatywności danych.

Więcej informacji na temat zmienności emisji w różnych okresach referencyjnych i zależności między różnymi stosowanymi okresami referencyjnymi (średnie wartości dzienne, miesięczne i roczne) przedstawiono w pkt 10.2 załącznika II.

### 2.2.1.4 Prezentacja danych dotyczących emisji

Pomiary emisji do wody, wyrażanych jako wartości stężenia, powinny być zawsze wykonywane równoległe z pomiarem odpowiadającego im strumienia ścieków. Wartości stężenia bez odpowiadających im wartości strumienia ścieków mają niewielkie znaczenie. Odczytywanie wartości stężenia równoległe z wartością strumienia pozwala obliczyć ładunek zanieczyszczeń odprowadzanych do zbiorników wodnych (lub kanalizacji). Ładunki mogą być wyrażone w kg zanieczyszczeń/dobę (lub miesiąc bądź rok), lub jako ładunek emisji dla określonego produktu (kg zanieczyszczeń na tonę produktu).

Przy obliczaniu ładunku emisji do atmosfery, aby uzyskać porównywalne ładunki emisji, należy dokonać jednoczesnego pomiaru wartości stężenia, odpowiadającego mu średniego strumienia objętości (czyli w takich samych warunkach standardowych i przy takiej

samej zawartości tlenu) oraz czasu pracy i zgłosić uzyskane wartości. Na podstawie tak uzyskanych wartości ładunków emisji można obliczyć poszczególne współczynniki emisji, np. kg NO<sub>x</sub>/ADt.

## **2.2.2 Opracowywanie danych dotyczących emisji z zakładów celulozowo-papierniczych**

### **2.2.2.1 Monitorowanie zrzutów ścieków**

Monitorowanie zrzutów ścieków obejmuje pobieranie reprezentatywnych próbek ścieków, ich analizę, interpretację wyników i ich raportowanie. W celu określenia odpowiednich parametrów we wszystkich państwach członkowskich, wprowadzono ujednoczone procedury i metody pobierania próbek i analizy ścieków. Procedury te powinny bazować na odpowiednich normach międzynarodowych (np. normach określonych przez Europejski Komitet Normalizacyjny (CEN), ISO), lub normach krajowych, które zapewnią uzyskanie danych o równoważnej jakości naukowej.

Analiza powinna być wykonywana przez akredytowane laboratoria (ISO 17025). Techniki stosowane w zakresie monitorowania zostały opisane ogólnie w Dokumencie referencyjnym w sprawie ogólnych zasad monitorowania [269, COM 2003]. Dlatego poniżej omówiono jedynie aspekty szczególnie istotne dla zakładów celulozowo-papierniczych.

Do pomiarów w ramach kontroli zgodności muszą być stosowane koniecznie standardowe procedury i metody określania głównych parametrów emisji. Można stosować również szybkie testy. Wyniki szybkich testów powinny być regularnie porównywane (np. co miesiąc) z normami EN lub, w przypadku braku odpowiednich norm EN, z innymi normami, które zapewniają uzyskanie danych o równoważnej jakości naukowej. Szybkie testy są często wykorzystywane również do innych pomiarów wewnętrznych prowadzonych przez zakład lub do analizy określonych strumieni i stężeń w ramach samokontroli (patrz następny punkt).

#### **2.2.2.1.1 Punkty poboru próbek**

##### **Pobór próbek w miejscu zrzutu (dotyczy parametrów określonych w pozwoleniu)**

Zwykle zgłaszane dane odnoszą się do punktu, w którym ścieki są zrzucane do wody przyjmującej, tj. po oczyszczeniu w oczyszczalni. W większości przypadków jest to punkt, w którym ścieki opuszczają oczyszczalnię i łączą się z wodą w zbiorniku przyjmującym (zrzut bezpośredni) lub ze strumieniami ścieków z innych źródeł (zrzut pośredni do kanalizacji). Większość zakładów celulozowo-papierniczych dokonuje zrzutów bezpośrednio do zbiorników wodnych, zapewniając, by ścieki były szybko mieszane z wodą w zbiorniku przyjmującym – w niektórych przypadkach przy użyciu specjalnych urządzeń, takich jak dyfuzory.

##### **Pobór próbek w ramach programu samokontroli**

Wiele zakładów pobiera dodatkowe próbki także w kilku innych miejscach w obrębie zakładu i w oczyszczalni ścieków w ramach własnych wewnętrznych programów zarządzania jakością procesów lub w ramach programów samokontroli. Tego rodzaju bardziej kompleksowe programy monitorowania mogą zapewnić osiągnięcie zamierzonej wydajności procesów produkcyjnych i powiązanej z nimi oczyszczalni. Można także łatwiej uniknąć lub wykryć na wczesnym etapie ewentualne usterki w oczyszczalni ścieków i w każdym z jej urządzeniem technicznych. W przypadku wystąpienia usterki, analiza danych uzyskanych w ramach

samokontroli pozwala na dokonanie szybkiej oceny nieprawidłowości i podjęcie stosownych działań. Zastosowanie tego rodzaju środków samokontroli pozwala efektywnie zarządzać procesami w oczyszczalni ścieków i zapewnić jej prawidłowe funkcjonowanie. W tym celu wiele zakładów pobiera dodatkowe próbki w miejscach wprowadzania i odprowadzania strumieni w każdej części systemu oczyszczania w celu określenia wartości głównych parametrów procesu.

#### 2.2.2.1.2 Metody i ramy czasowe poboru próbek i częstotliwość analizy

Próbki są zwykle pobierane w sposób proporcjonalny do strumieni za pomocą ciągłych automatycznych próbników. W niektórych przypadkach (przy wystarczającej stabilności strumienia), próbki są pobierane również w sposób proporcjonalny do czasu. Zauważalne są różnice pomiędzy krajami i zakładami w zakresie pełnego i dokładnego ciągłego monitorowania różnych parametrów: stosowane są różne okresy próbkowania, w kilku przypadkach zaobserwowano różnice w częstotliwości analizy danego parametru, stosowane są różne metody analizy (np. N ogólny).

Pobieranie próbek do analizy może być prowadzone z zastosowaniem różnych okresów próbkowania, dlatego też stosowane są następujące rodzaje próbek:

- Próbka wrywkowa lub losowa (PL), oznacza pojedynczą próbkę pobraną ze strumienia ścieków.
- Próbka mieszana lub zbiorcza (PM lub PZ) oznacza próbkę, która jest pobierana w sposób ciągły w danym okresie, lub próbkę składającą się z kilku próbek pobranych w danym okresie w sposób ciągły lub okresowy, a następnie wymieszanych. W przemyśle celulozowo-papierniczym najczęściej stosuje się 24-godzinny okres próbkowania (24 godziny dla próbki mieszanej – 24 PM). W większości przypadków próbki są pobierane ze strumienia ścieków w sposób ciągły.
- W niektórych krajach stosowane są różne okresy referencyjne: (i) w Niemczech i w Polsce stosowane są również krótsze okresy (np. 2-godzinny dla próbek mieszanych – 2 PM); (ii) we Włoszech wartości stężenia są określane na podstawie próbek losowych lub 3-godzinnych próbek zbiorczych, natomiast ładunek jest obliczany na podstawie średnich wartości próbek wykorzystanych do pomiarów stężenia; (iii) w Finlandii w pewnych przypadkach pobierane i analizowane są również tygodniowe próbki zbiorcze (TPZ), a nawet miesięczne próbki zbiorcze (MPZ).
- W Niemczech w niektórych zakładach pobierane są 'kwalifikowane próbki losowe' (KPL), czyli próbki zbiorcze składające się z co najmniej 5 próbek losowych pobranych w czasie nie dłuższym niż 2 godziny, w odstępach nie krótszych niż 2 minuty, które są następnie mieszane. Podobne próbki są pobierane w Polsce (3 próbki losowe pobrane w czasie nie dłuższym niż 2 godziny).

Próbki mieszane 24-godzinne są pobierane od poniedziałku do niedzieli. W niektórych zakładach w Finlandii, Norwegii i Szwecji próbki 24-godzinne są pobierane od poniedziałku do piątku, a od piątku do poniedziałku pobierana jest jedna próbka 72-godzinna. W tym ostatnim przypadku, średnie wartości dzienne opierają się na średnim ładunku przypadającym na dany weekend i wartościach strumienia mierzonych oddzielnie dla każdego.

Tabela 2.1 przedstawia przykłady okresów pobierania próbek w odniesieniu do odpowiednich parametrów dla ścieków z zakładów celulozowo-papierniczych.

Tabela 2. 1 Przykładowe okresy pobierania próbek dla odpowiednich zanieczyszczeń

Kraj	Zawiesina ogólna	ChZT	BZT <sub>7lub5</sub>	P ogólny	N ogólny	AOX	EDTA	Chlorany
AT <sup>(*)</sup>	24 godz. PZ	24 godz. PZ	24 godz. PZ	24 godz. PZ	24 godz. PZ	24 godz. PZ		
DE <sup>(**)</sup>	DPZ	DPZ	BZT <sub>5</sub> DPZ	DPZ	DPZ <sup>(1)</sup>	DPZ	Zależnie od przypadku <sup>(2)</sup>	Brak pomiarów
FI	DPZ	DPZ	BZT <sub>7</sub> TPZ lub MPZ <sup>(3)</sup> (4)	TPZ lub MPZ <sup>(3)</sup> (4)	TPZ lub MPZ <sup>(3)</sup> (4)	TPZ lub MPZ <sup>(3)</sup> (4)	Brak pomiarów	Brak pomiarów
NO	DPZ	DPZ	-	24 PM lub MPZ <sup>(5)</sup>	DPZ lub MPZ <sup>(5)</sup>	DPZ	Brak pomiarów	Brak pomiarów
PL	DPZ, PK <sup>(6)</sup>	DPZ, PK <sup>(6)</sup>	BZT <sub>5</sub> , DPZ, PK <sup>(6)</sup>	DPZ, PK <sup>(6)</sup>	DPZ, PK <sup>(6)</sup>	DPZ	Brak pomiarów	Brak pomiarów
SE	DPZ	DPZ	Jedynie wewnętrzne kontrole na potrzeby zakładu	TPZ	TPZ	TPZ	TPZ	TPZ w zakładach stosujących metodę ECF
UK	PL lub DPZ	PL lub DPZ	PL lub DPZ <sup>(7)</sup>	PL lub DPZ <sup>(7)</sup>	PL lub DPZ <sup>(7)</sup>		Brak pomiarów	
IT <sup>(*)</sup>	PL, 3-godz. PZ	PL, 3-godz. PZ	PL, 3-godz. PZ	PL, 3-godz. PZ	PL, 3-godz. PZ	PL, 3-godz. PZ	Brak pomiarów	
<b>Pozostałe kraje</b>	Brak dostatecznie odpowiednich danych							
<p>Uwagi: PL = próbka losowa; 3-godz. PZ = 3-godzinna próbka zbiorcza; DPZ = dobowo (24-godzinna) próbka zbiorcza z odpowiedniego strumienia; 24-godz. PZ – 24-godzinna próbka zbiorcza z odpowiedniego strumienia, TPZ = tygodniowa (pobierana raz w tygodniu) próbka zbiorcza; MPZ = miesięczna (pobierana raz w miesiącu) próbka zbiorcza. Próbkę są pobierane w sposób ciągły i ze strumienia – proporcjonalnie.</p> <p><b>Austria</b> (*) Liczbę pomiarów wykonywanych rocznie do celów samokontroli i/lub kontroli zgodności określa właściwy organ. W przypadku dużych zakładów, samokontrola w odniesieniu do pewnych parametrów może być prowadzona nawet w sposób ciągły: kontrola zgodności może mieć miejsce do 5 razy w ciągu roku.</p> <p><b>Niemcy</b> (**) Do celów kontroli emisji przez organy udzielające pozwoleń, czas pobierania próbek w odniesieniu do stosownych zanieczyszczeń: ChZT, BZT, P, N, AOX w Niemczech wynosi 2 godziny, przy zastosowaniu próbki mieszanej lub kwalifikowanej próbki losowej. (1) W niektórych przypadkach, dane zgłaszane jako N ogólny były określane jako nieorganiczne związku azotu. Udział azotu związanego w związkach organicznych w ściekach z zakładów celulozowo-papierniczych jest zazwyczaj wysoki, a różnica pomiędzy N ogólnym org i Nnieorg jest często znaczna. (2) W niektórych zakładach wartości EDTA lub DTPA (zawierającego związany w związkach organicznych) są określane wyłącznie oddzielnie.</p> <p><b>Finlandia</b> (3) Próbkę jest pobierana w odniesieniu do strumienia z wykorzystaniem pojemnika zbiorczego w zamrażarce. (4) W niektórych zakładach parametry te są badane codziennie.</p> <p><b>Norwegia</b> (5) W zależności od wód przyjmujących, zwiększa się częstotliwość pobierania próbek – są one pobierane zazwyczaj co cztery tygodnie, a pobrany materiał jest analizowany z wykorzystaniem tygodniowych próbek zbiorczych lub próbek pobranych w ciągu ostatnich 72 godzin.</p> <p><b>Polska</b> (6) W niektórych przypadkach stosowane są kwalifikowane próbki losowe (PK). Odnosi się to do próbek zbiorczych składających się z co najmniej trzech próbek losowych pobranych w regularnych odstępach w czasie nie dłuższym niż dwie godziny, a następnie wymieszanych.</p> <p><b>Wielka Brytania</b> (7) W niektórych zakładach nie są przeprowadzane kontrole BZT<sub>5</sub>, P ogólnego i N ogólnego</p> <p><b>Włochy</b> (*) Liczba pomiarów wykonywanych w ciągu roku: do celów samokontroli – określona w ramach wewnętrznego systemu monitorowania; do celów kontroli zgodności – określona przez właściwy organ. Próbkę losowe mogą być wykorzystywane do wykonywania szybkich testów (np. do celów samokontroli), natomiast 3-godz. próbki zbiorcze są wykorzystywane w ramach kontroli zgodności.</p>								

Choć okresy pobierania próbek i częstotliwość monitorowania zdają się być podobne, wykazują one jednak pewne różnice zarówno między krajami jak i między zakładami zlokalizowanymi w tym samym kraju (patrz np. przypadek Finlandii czy Niemiec). Różnice te powinny być uwzględniane przy porównywaniu danych dotyczących emisji między zakładami i krajami.

We wszystkich krajach prowadzone są pomiary zawiesin, substancji organicznych, takich jak ChZT, składników odżywczych N i P, a w większości przypadków także AOX. W większości krajów i zakładów, ChZT (lub ogólny węgiel organiczny – TOC), zawiesina ogólna, fosfor i azot (do monitorowania P i N często stosowana jest metoda dr Lange) są analizowane w każdej próbce. W innych krajach i zakładach, P ogólny, N ogólny AOX i chloran są analizowane jedynie w pobieranych raz na tydzień próbkach zbiorczych. Na przykład, w Szwecji emisje chloranu są monitorowane w zakładach produkujących masę celulozową siarczanową stosujących metodę ECF. W pozostałych krajach nie są prowadzone żadne pomiary dla chloranu. EDTA/DTPA są analizowane w pobieranych raz na tydzień próbkach zbiorczych w niektórych zakładach produkujących masę chemiczną lub mechaniczną, np. w Szwecji i w Niemczech. Kwas etylenodiaminocteroowy (EDTA) nie jest rutynowo oznaczanym parametrem, a jego stężenie jest monitorowane jedynie wówczas, gdy jest on używany jako środek chelatujący, choć i tak nie we wszystkich przypadkach. Ostatnio wydane pozwolenia, np. w Niemczech, uwzględniają wartości docelowe dla dobowych ładunków EDTA uwalnianych do zbiorników wodnych, które muszą być monitorowane.

W związku z faktem, że oczyszczanie biologiczne eliminuje większość biodegradowalnych substancji organicznych, ostatnio mniej uwagi poświęca się BZT, a parametr ten jest oznaczany w wielu zakładach jedynie raz w tygodniu.

Oprócz rodzaju pobieranych próbek i okresu, w jakim są one pobierane, ważną rolę w interpretacji i porównywaniu danych dotyczących emisji odgrywa także częstotliwość analizy najważniejszych parametrów. Przykład częstotliwości analizy został przedstawiony w tabeli 2.2. Wszystkie próbki zostały przedstawione jako 24-godz. próbki zbiorcze. Częstotliwość analizy może wykazywać różnice w odniesieniu do poszczególnych parametrów (P, N, AOX) i zakładów zlokalizowanych w tym samym kraju. ChZT i zawiesina ogólna są analizowane raz na dobę na podstawie 24-godz. próbki zbiorczej, natomiast BZT jest oznaczane raz na tydzień. Pozostałe parametry wykazują stosunkowo duże różnice jeśli chodzi o częstotliwość pomiarów. Należy mieć to na uwadze np. porównując wartości AOX zgłaszane jako ‘średnie wartości roczne’.

Tabela 2. 2 Przykład częstotliwości analizy istotnych parametrów ścieków w zakładach celulozowo-papierniczych w kilku krajach

Kraj	Zawiesina ogólna	ChZT	BZT5	P ogólny	N ogólny	AOX	EDTA	Chlorany
Portugalia	24-godz. PM	24-godz. PM	24-godz. PM	24-godz. PM	24-godz. PM	24-godz. PM	Brak pomiarów	Brak pomiarów
	( <sup>1</sup> )	( <sup>1</sup> )	( <sup>2</sup> )	( <sup>2</sup> ) lub ( <sup>3</sup> ) lub ( <sup>5</sup> )(*)	( <sup>2</sup> ) lub ( <sup>3</sup> ) lub ( <sup>5</sup> )(*)	( <sup>3</sup> ) lub ( <sup>4</sup> ) lub ( <sup>5</sup> ) lub ( <sup>6</sup> )(*)	BD	BD
Finlandia	24-godz. PM	24-godz. PM	24-godz. PM lub TPZ lub MPZ	24-godz. PM lub TPZ lub MPZ	24-godz. PM lub TPZ lub MPZ	24-godz. PM lub TPZ lub MPZ	Brak pomiarów	Brak pomiarów
	( <sup>1</sup> )	( <sup>1</sup> )	( <sup>1</sup> ) lub ( <sup>2</sup> ) lub ( <sup>5</sup> )	( <sup>1</sup> ) lub ( <sup>2</sup> ) lub ( <sup>5</sup> )	( <sup>1</sup> ) lub ( <sup>2</sup> ) lub ( <sup>5</sup> )	( <sup>1</sup> ) lub ( <sup>2</sup> ) lub ( <sup>5</sup> )	BD	BD
Niemcy	24-godz. PM, codziennie	24-godz. PM, codziennie	BZT5 co tydzień jedna DPZ ( <sup>8</sup> )	Raz w tygodniu jedna 24-godz. PM ( <sup>8</sup> )	Raz w tygodniu jedna 24-godz. PM ( <sup>8</sup> )	DPZ, 4 razy w ciągu roku	Zależnie od przypadku, jeśli jest to stosowne	Brak pomiarów
Polska	Częstotliwość analizy określa się indywidualnie w każdym przypadku w pozwoleniu zintegrowanym. W przypadku zakładów celulozowo-papierniczych, częstotliwość jest zazwyczaj wyższa, np. raz w miesiącu. Niektóre większe zakłady pobierają codziennie 24-godz. próbki zbiorcze, które są następnie analizowane, także codziennie, w laboratorium zakładowym do celów wewnętrznej kontroli zakładowej.							
Pozostałe kraje	Brak dostatecznie odpowiednich danych							
<p>Uwaga:            BD = brak danych            24-godz. PM = 24-godz. próbka mieszana z odpowiedniego strumienia.</p> <p><b>Portugalia</b>  <i>Źródło:</i> CELPA Associates, 2009: (<sup>1</sup>) Analiza codziennie; (<sup>2</sup>) Analiza raz w tygodniu; (<sup>3</sup>) Analiza dwa razy w miesiącu; (<sup>4</sup>) Analiza sporadyczna; (<sup>5</sup>) Analiza raz w miesiącu; (<sup>6</sup>) Analiza co sześć miesięcy.            (*) Zgodnie z pozwoleniem.</p> <p><b>Finlandia</b>            (<sup>1</sup>) Analiza raz dziennie; (<sup>2</sup>) Analiza raz w tygodniu; (<sup>5</sup>) Analiza raz w miesiącu.</p> <p><b>Niemcy</b>            (<sup>8</sup>) W wielu zakładach parametry te są analizowane także codziennie, źródło: VDP, 2009.</p>								

Oznaczanie N i P w długich odstępach czasu nie zapewnia operatorowi informacji niezbędnych do podjęcia natychmiastowych działań w przypadku niewystarczającej dawki składników odżywczych lub nieprawidłowego działania oczyszczalni biologicznej. Jednakże w zakładach tych prowadzona jest także prawdopodobnie samokontrola.

W ramach prowadzonej w nich samokontroli, w kilku biologicznych oczyszczalniach ścieków prowadzone są z powodzeniem pomiary on-line dla azotu i fosforu w celu kontrolowania dawki składników odżywczych (np. DE, FI, SE). Analiza on-line próbek, które są pobierane w sposób ciągły i strumienia (proporcjonalnie) umożliwia w takich przypadkach dokładne ilościowe oszacowanie sytuacji w odniesieniu do składników odżywczych w oczyszczalni ścieków oraz, w przypadku niewystarczającej wydajności oczyszczalni lub niedostatecznego dawkowania substancji odżywczych, podjęcie szybkich działań w tym zakresie.



### 2.2.2.1.3 Główne parametry i metody analityczne

Wszystkie próbki są pobierane bez filtrowania przez laboratoria akredytowane w oparciu o normę ISO 17025 lub laboratoria zatwierdzone przez właściwe organy, posiadające certyfikację w oparciu o inne normy ISO (np. ISO 9001) i są w nich poddawane stosownej analizie (ChZT, BZT, zawiesina ogólna). W tym celu stosowane są znormalizowane metody analityczne, zatwierdzone przez właściwe organy danego państwa. Można się spodziewać dużych podobieństw jeśli chodzi o metody analityczne stosowane w poszczególnych krajach oraz porównywalnych wyników. Potwierdza to tabela 2.3, przedstawiająca metody analityczne stosowane w trzech wybranych krajach europejskich. We wszystkich krajach stosowane są metody znormalizowane, które są oparte na podobnych zasadach w zakresie pomiarów.

Tabela 2.3 Parametry oznaczane w trzech wybranych krajach i stosowane w nich metody analityczne

Parametr	Metody analityczne stosowane we Francji	Metody analityczne stosowane w Niemczech	Metody analityczne stosowane w Portugalii
Strumień	Przepływomierz (magnetyczny lub ultradźwiękowy) lub miernik poziomu cieczy	Przepływomierz (magnetyczny lub ultradźwiękowy)	Przepływomierz ultradźwiękowy lub zgodny z BS 3680- 4C lub przepływomierz Parshall'a
Zawiesina ogólna	SFS-EN 872: 1,6 µm (GF/A)	DIN EN 872 1,6 µm (GF/A)	SMBWŚ 2540B, D lub EN 872 lub SMEWW 250D; 1,5 µm
ChZT (próbka nieklarowana i niefiltrowana)	SFS 5504 ISO 15705	DIN EN 38409 lub szybkie testy uznane za równoważne z metodami standardowymi (wykaz dostarczony przez Dr Lange)	SMBWŚ 5220B, D lub ISO 15705 lub ISO 6060:1989; również szybkie testy
TOC	Nie stosuje się	EN-1484 bez filtrowania	Nie stosuje się
ChZT <sub>5</sub> lub 7 (próbka nieklarowana i niefiltrowana)	SFS-EN 1899 i SFS-EN 25813 lub SFS-EN 25814	DIN EN 1899-1	SMBWŚ 5210B, D lub SMBWŚ 2510B lub ISO 5815-1
P ogólny	SFS-EN 6878 lub SFS-EN 1189 lub SFS 3026	Spektrometryczne, często szybkie testy	SMBWŚ 4500-P, A, B4, C, D, E, H lub ISO 6878 lub MI N°133
N ogólny	SFS-EN 11905 lub SFS 5505	DIN EN ISO 11732, DIN EN 10304-2, DIN EN ISO 13395, często szybkie testy (suma N <sub>nieorg</sub> )	SMBWŚ 4500 N i 4500NO3 I lub ISO 11905-1 lub ISO 10048 lub MI N°135
AOX	SFS-EN 1485	EN ISO 9562	EN ISO 9562 lub DIN 38409-H14
Przewodnictwo	SFS-EN 27888	DIN-EN 27888	Brak danych
EDTA	Brak pomiarów	DIN 38413-3	Brak pomiarów

Chlorany	Brak pomiarów	Brak pomiarów	Brak pomiarów
Temperatura	Brak danych	On-line	Brak danych
pH	Brak danych	On-line	Brak danych
<p>Uwagi:  SMBWŚ = Standardowe metody badania wody i ścieków;  EN = Normy europejskie (EN) są metodami zatwierdzonymi przez Europejski Komitet Normalizacyjny (CEN). Po zatwierdzeniu, normy europejskie mają zastosowanie w niezmienionej formie jako normy krajowe (z wyjątkiem np. wprowadzenia).  W Niemczech, dane zgłaszane jako N ogólny były oznaczane jako azot niezwiązany w związkach organicznych.  W Europie stosowane są różne metody oznaczania zawiesiny ogólnej i różne rodzaje filtrów stosowanych w tym zakresie: w Austrii (filtr papierowy z membraną 0,45 µm), Szwecji (filtr 1,6 µm), Holandii (filtr 7-12 µm), Włoszech (filtr membranowy 0,45 µm), Hiszpanii (filtr z włókna szklanego 0,7 µm), Niemczech (filtr 1,6 µm), UK (filtr z włókna szklanego 1,2 µm), Belgii (filtr papierowy 7-12 µm), Francji (filtr papierowy 20-25 µm, w niektórych zakładach filtr 2 µm).  <i>Źródło:</i> Stowarzyszenia producentów papieru z FI, DE, PT</p>			

Wiele zakładów korzysta na co dzień z szybkich testów (np. dr Lange, Hach). Wyniki uzyskiwane w ramach szybkich testów są regularnie kontrolowane i sprawdzane pod kątem standaryzowanych metod, takich jak EN lub ISO w celu zapewnienia porównywalnych i wiarygodnych danych.

#### 2.2.2.1.4 Zależność pomiędzy mierzonymi stężeniami i obliczanymi ładunkami emisji

Na podstawie wiarygodnych pomiarów stężeń i przepływów, dane dotyczące emisji mogą być przekształcane w poszczególne wskaźniki emisji lub ładunki. Dane dotyczące emisji w obu formach są bardzo przydatne dla organu regulacyjnego i operatora. W branży celulozowo-papierniczej dane dotyczące emisji są dość często wyrażane jako konkretny ładunek emisji (np. kg ChZT/ADt). Jednakże w niektórych krajach bardziej powszechnym jest określanie dopuszczalnych wartości w formie stężenia (np. mg ChZT/l). W związku z tym w niniejszym dokumencie uwzględniono obie jednostki, omawiając poniżej sposób przeliczania wartości BAT-AEL wyrażonych jako ładunki emisji na wartości stężenia i odwrotnie.

Jeśli poziom emisji jest określony jedynie w formie poziomów stężenia, wartość ta, dla substancji zanieczyszczających, odnosi się do miejsca, w którym emisje opuszczają instalację, a wszelkie rozcieńczenia (tj. dodanie dodatkowej ilości wody, która nie jest przydatna w procesie i nie jest potrzebna ze względu na jakość produktu) przed tym miejscem w instalacji są pomijane przy określaniu tych wartości.

Zaleca się, aby wartości stężenia jak i ładunku były zawsze interpretowane biorąc pod uwagę odpowiedni strumień, oceniając w ten sposób ładunki emisji uwalniane do środowiska, a także lokalny wpływ stężonego strumienia ścieków na przyjmujący zbiornik wodny. Dzięki temu działania ukierunkowane na oszczędności wody, które utrzymują na niezmiennym poziomie lub zmniejszają ładunek emisji, ale mogą spowodować zwiększenie mierzonych wartości stężeń nie będą podlegały karze.

Obecnie w zakładach celulozowo-papierniczych w Europie praktykuje się obliczanie ładunku zanieczyszczeń, które są uwalniane do środowiska na podstawie zmierzonych

stężeń. Większość pozwoleń odnosi się do maksymalnych wartości ładunków, określanych na podstawie wartości BAT-AEL dla danego zanieczyszczenia. W pozwoleniach ładunki są często wyrażane jako ładunki dzienne, miesięczne lub roczne (np. kg ChZT/dobę, ton ChZT/miesiąc, ton ChZT/rok). Wartości te są obliczane na podstawie wartości określonych pod względem technicznym dla danego produktu, wyrażonych w kg zanieczyszczenia przypadających na tonę wytworzony produkt końcowy (np. kg ChZT/ADt). Normy jakości środowiska mogą wymagać zastosowania dodatkowych środków.

Na rysunku 2.3 wyjaśniono za pomocą odpowiednich równań sposób obliczania dobowych ładunków emisji i ładunków emisji dla poszczególnych produktów. Poniżej przedstawiono przykładowe obliczenie wartości ChZT dla faktycznie istniejącego zakładu. Wartość dla tego parametru może być obliczana w ten sam sposób dla wszystkich innych stosownych parametrów i dla innych okresów referencyjnych (miesięcznych lub rocznych).

Dobowy ładunek emisji oraz poszczególne ładunki i strumienie zostały obliczone w oparciu o następujące, wiarygodne dane:  
 stężenie danego zanieczyszczenia w określonym okresie [np. mg/l w 24-godz. próbie zbiorczej]  
 strumień określony w tym samym przedziale czasu jako wartości stężenia [np. m<sup>3</sup>/dobę]  
 produkcja netto w jednym i tym samym odstępie czasu [np. ADt/dobę].

**Równanie (1) odnoszące się do dziennego ładunku ChZT [kg ChZT/dobę]**

Stężenie <sup>(1)</sup> [mg/l] × odpowiedni strumień <sup>(2)</sup> [m<sup>3</sup>/dobę]/1 000

**Równanie (2) odnoszące się do konkretnego ładunku ChZT [kg ChZT/ADt]**

Dzienny ładunek ChZT [kg ChZT/dobę]/dobowa produkcja netto [kg ADt/dobę]

**Równanie (3) dla konkretnego strumienia [m<sup>3</sup>/ADt]**

Dzienny strumień/dzienna produkcja netto

Takie samo obliczenie może zostać wykonane dla średnich miesięcznych i rocznych wartości emisji. Aby obliczyć konkretny miesięczny ładunek ChZT, należy zsumować dzienne ładunki ChZT i podzielić uzyskany wynik przez miesięczną produkcję netto; aby obliczyć roczny konkretny ładunek ChZT, należy zsumować ładunki ChZT ze wszystkich dni w roku i podzielić uzyskany wynik przez roczną produkcję netto. W ten sam sposób wartości te mogą być określone dla bardzo krótkich okresów referencyjnych (np. w przypadku 2-godz. próbek mieszanych i 2-godz. odpowiadającego im strumienia).

<sup>(1)</sup> Wyniki analizy laboratoryjnej dla 24-godz. próbek zbiorczych.

<sup>(2)</sup> Strumień jest mierzony za pomocą przepływomierzy w odpowiednim okresie referencyjnym (doba, tydzień, miesiąc, rok).

**Rysunek 2.3 Przykładowe przeliczenie stężenia danego zanieczyszczenia wody (mg/l) naienne ładunki emisji i poszczególne ładunki emisji oraz strumienie**

Obliczenie dla faktycznie istniejącego zakładu produkującego masę celulozową siarczanową pokazuje zależność pomiędzy zmierzonym stężeniem, dziennym ładunkiem emisji i ładunkiem ChZT dla danego produktu.

Stężenie ChZT w ściekach z oczyszczalni ścieków w tym zakładzie wynosi 397 mg/l (zmierzone w 24-godz. próbie zbiorczej). Odpowiedni strumień w tym dniu wyniósł 44 204 m<sup>3</sup>/dobę (pomiar on-line w ciągu 24 godzin). Dzienny ładunek ChZT może być obliczony zgodnie z równaniem (1) tj. mnożąc wartości stężenia i strumienia, co daje 17 549 kg ChZT/dobę. Wartość masy netto wyprodukowanej tego dnia wyniosła 1 840 ADt/dobę. Ładunek ChZT dla danego produktu może zostać obliczony zgodnie z równaniem (2): 17 549/1 840 = 9,5 kg ChZT/ADt. Wartość dla konkretnego strumienia ścieków obliczona zgodnie z równaniem (3) wynosi 24 m<sup>3</sup>/ADt.

W pozwoleniach wydawanym europejskim zakładom celulozowo-papierniczym, w celu obliczenia ładunków dla poszczególnych produktów stosowane są dwa podejścia do odpowiadającej im produkcji: ‘produkcja netto’ i ‘maksymalna zainstalowana moc maszyny’. W celu przedstawienia porównywalnych i identyfikowalnych danych, wszystkie wartości emisji i wartości BAT-AEL prezentowane w niniejszym dokumencie odnoszą się wyłącznie do produkcji netto (masa powietrznie sucha) lub ‘produktu nadającego się do sprzedaży’ (patrz punkt II poniżej).

### **I. Maksymalna zainstalowana moc produkcyjna maszyny**

Maksymalna zainstalowana moc produkcyjna maszyny oznacza określoną wielkość produkcji produktu końcowego zważonego po zejściu z maszyn produkcyjnych i uzgodnioną z właściwym organem. Wartość ta odnosi się do maksymalnej rocznej mocy produkcyjnej netto celulozowni lub mocy produkcyjnej netto maszyn(-y) papierniczych(-ej) (tj. wyprodukowanego papieru po zwinięciu, pocięciu i zapakowaniu, z wyłączeniem braków). Maksymalna moc produkcyjna maszyny jest wartością stałą (niezależną od rzeczywistej wielkości produkcji w danym przedziale czasu), która nie ulega zmianie dopóki operator nie uzyska zgody właściwego organu na zwiększenie mocy produkcyjnej. Maksymalna zainstalowana moc produkcyjna maszyny różni się zazwyczaj od rzeczywistej produkcji (patrz punkt II poniżej). Uzyskiwany wynik jest w dużym stopniu porównywalny z wielkością produktu nadającego się do sprzedaży, o ile zakład pracuje wykorzystując w pełni swoje moce produkcyjne. Aby zachować zgodność z pozwoleniem, poszczególne ładunki (np. kg ChZT/ADt) oblicza się na podstawie rzeczywistego strumienia i rzeczywistych stężeń przy mocach produkcyjnych określonych w pozwoleniu. Do celów komunikacji zewnętrznej lub sprawozdawczości środowiskowej, przedsiębiorstwa te często używają dodatkowo wskaźników ładunków emisji opartych na rzeczywistej produkcji netto. W celu uzyskania porównywalnych danych, dane przedstawione w niniejszym dokumencie w odniesieniu do emisji z tych zakładów opierają się na rzeczywistej produkcji netto.

### **II. Produkcja netto**

(i) W przypadku papierni, produkcja netto odnosi się do produktów niezapakowanych, nadających się do sprzedaży po przejściu przez przewijarko-krajkarkę, tj. przed przetworzeniem.

W przypadku stosowania powlekarek poza linią produkcyjną, za produkcję netto uważa się papier po nałożeniu powłok.

W przypadku zakładów produkujących bibułę tissue, produkcja netto odnosi się do ilości ton bibuły tissue, która zeszała z maszyny do jej produkcji, przed jakimkolwiek procesem przewijania i wyłączając jakiegokolwiek rdzenie.

(ii) W przypadku zakładów produkujących masy włókniste towarowe (zakładów niezintegrowanych), produkcja netto masy włóknistej odnosi się do wyrażonej w tonach masy włóknistej po zapakowaniu (masa wysuszona w 90%, tj. ‘powietrznie sucha’ – AD (ang. air dry)).

(iii) W przypadku zintegrowanych zakładów celulozowo-papierniczych, produkcja netto masy włóknistej odnosi się do wyrażonej w tonach masy produktu po zapakowaniu (masa wysuszona w 90%, tj. powietrznie sucha), plus masa włóknista przesłana do papierni (masa wysuszona w 90%, tj. powietrznie sucha). W odniesieniu do produkcji netto papieru w zintegrowanych zakładach celulozowo-papierniczych patrz (i).

Niekiedy papiernie odnoszą się również do ‘produktu gotowego do sprzedaży’, co w przypadku masy włóknistej oznacza to samo, co produkcja netto opisana powyżej; w odniesieniu do produkcji papieru, ‘produkt gotowy do sprzedaży’

oznacza masę papieru przesyłanego do magazynu.

### 2.2.2.1.5 Kwestie szczególne mające wpływ na porównywalność danych dotyczących emisji

W wielu sektorach przemysłu w Niemczech N ogólny jest nadal definiowany jako suma azotu nieorganicznego, czyli azotynów, azotanów i amoniaku. W większości przypadków, azot związany w związkach organicznych nie jest uwzględniany. W związku z tym wartości azotu zgłaszane przez niemieckie zakłady celulozowo-papiernicze uwzględniają zazwyczaj jedynie część azotu ogólnego związanego (N ogólny<sub>ZW</sub>) odprowadzanego do środowiska; w związku z tym mierzone i zgłaszane poziomy emisji azotu z niemieckich papierni są na ogół niższe w porównaniu z zakładami w innych krajach, w których N ogólny<sub>ZW</sub> lub N ogólny jest mierzony i zgłaszany – w zależności od udziału azotu organicznego w danej próbce.

### 2.2.2.2 Monitorowanie emisji do atmosfery

Celem monitorowania emisji jest uzyskanie dokładnych, reprezentatywnych i porównywalnych danych dotyczących ilości emitowanych zanieczyszczeń (patrz punkt 2.2.1). Wyniki monitorowania emisji są wykorzystywane w ramach kontroli zgodności, w celu przekazywania informacji opinii publicznej, do obliczania emitowanych ładunków i optymalizacji zachowania emisji (np. w odniesieniu do NO<sub>x</sub> i CO) lub funkcjonowania systemów oczyszczania gazów odlotowych (np. w odniesieniu do SO<sub>2</sub>). Są one również wykorzystywane do porównania efektywności środowiskowej różnych zakładów i technologii oraz określania poziomów emisji związanych ze stosowaniem BAT.

Najnowocześniejsze rozwiązania w zakresie monitorowania emisji wymagają rozpatrzenia wielu aspektów. Aby spełnić powyższe cele, procedura monitorowania powinna bazować w jak największym stopniu na odpowiednich normach CEN, normach ISO bądź normach krajowych lub międzynarodowych, które zapewnią uzyskanie danych o równoważnej jakości naukowej. Procedura monitorowania obejmuje:

- lokalizację miejsc poboru próbek (np. EN 15529)
- wybór systemów pomiarowych (np. EN ISO 14956, EN 50379-1-3)
- kalibrację i stosowanie referencyjnych metod pomiarowych
- określenie systemów pomiarowych
- kontrolę funkcjonowania
- obliczenie niepewności pomiarów (np. EN ISO 20988)
- dostępność systemów pomiarowych
- utrzymanie systemów pomiarowych
- wdrożenie systemu zapewnienia jakości i kontroli jakości (np. EN 14181)
- monitorowanie odpowiednich parametrów procesu, takich jak zawartość tlenu, temperatura, ciśnienie, zawartość pary wodnej, objętość gazów odlotowych (głównie na podstawie obliczeń), paliwa, warunki związane z ładunkiem (np. EN 15529)
- obliczenia stężeń emisji (dobór surowych danych, stosowanych algorytmów) i emitowanych ładunków
- raportowanie.

Ogólne informacje na temat wyboru reprezentatywnej lokalizacji poboru próbek w odniesieniu do emisji do atmosfery lub kwestii związanych z ramami czasowymi (częstotliwość pomiarów, czas uśredniania, uwzględnienie wszystkich istotnych okresów operacyjnych), po informacji na temat dostępności systemów pomiarowych lub kontroli

funkcjonowania oraz kalibracji i sprawozdawczości zostały przedstawione w Dokumencie referencyjnym na temat ogólnych zasad monitorowania [269, COM 2003].

Poniżej omówiono jedynie najbardziej istotne aspekty odnoszące się do sektora celulozowo-papierniczego, które powinny być brane pod uwagę w odniesieniu do monitorowania związanego z BAT.

#### **2.2.2.2.1 Punkty poboru próbek**

Odpowiednia lokalizacja punktów poboru próbek ma duży wpływ na dokładność i porównywalność wyników w zakresie monitorowania emisji. Ogólnie ujmując, możliwe jest wybranie odpowiedniego punktu poboru próbek dla każdego źródła punktowego w zakładzie celulozowo-papierniczym, takiego jak instalacja energetycznego spalania (np. kotły regeneracyjne, piece wapienne, kotły ze złożem fluidalnym, palniki do spalania gazów złowonnych, kotły pomocnicze, np. kotły opalane olejem opałowym lub gazem, kotły na biomasę, np. kotły opalane korą lub kotły wielo-paliwowe, zlokalizowane na terenie zakładu spalarnie odrzutów, osadów i/lub biomasy, elektrociepłownie, np. gazowo-parowe) lub innych źródeł (np. zbiorniki do rozpuszczania, płuczki wchodzące w skład linii do wytwarzania masy włóknistej przeznaczone do oczyszczania gazów resztkowych z mycia, sortowania i bielarni w zakładach produkujących masę celulozową siarczanową, maszyny suszące papier lub maszyny powlekające).

Przy wyborze punktów pomiarowych należy przestrzegać zatwierdzonych norm (np. EN 15529). W wielu państwach członkowskich wymagane jest zaświadczenie od akredytowanego eksperta, w którym poświadcza on, że lokalizacja punktów poboru umożliwia uzyskanie reprezentatywnych próbek do celów monitorowania emisji. Reprezentatywność próbki ma tu kluczowe znaczenie. Kolejną ważną kwestią jest wybór zatwierdzonych systemów pomiarowych.

#### **2.2.2.2.2 Pobór próbek i metody pomiarów ciągłych/okresowych**

Decyzja dotyczące tego, czy zanieczyszczenie powinno być mierzone w sposób ciągły lub okresowy zależy przede wszystkim od wielkości zakładu, wykorzystywanych w nim paliw, strumienia gazów odlotowych, godzin pracy, warunków obciążenia, standardów jakości środowiska, zagrożenia dla środowiska związanego z emisją i kwestii lokalnych. Na rynku są dostępne systemy zatwierdzone do ciągłego monitorowania (CM) wielu zanieczyszczeń, w tym pyłów, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, Corg i HCl. Wyniki pomiarów ciągłych mogą być wykorzystane do obliczenia całkowitych emisji rocznych, lub w celu określenia zmienności emisji w czasie pracy zakładu (wartość dla okresu 30 min., średnia wartość dzienna, itp.).

W niektórych państwach członkowskich, emisje pyłu, NO<sub>x</sub> i SO<sub>2</sub> są mierzone w sposób ciągły, gdy zdolność produkcyjna zakładu przekracza 30 MWt (CO: 10 MWt). W niektórych państwach członkowskich, CM jest wymagane nawet w mniejszych zakładach w przypadku szybko zmieniających się warunków obciążenia lub gdy zachowanie emisji nie może być odpowiednio kontrolowane (np. w wyniku częstych zakłóceń).

Dzięki wdrożeniu systemu CM operator dostaje natychmiastową informację zwrotną na temat obecnej sytuacji w odniesieniu do emisji i występujących w tym zakresie tendencji. Wykorzystanie tej wiedzy umożliwia poprawę właściwości emisji z zakładu, np. poprzez optymalizację warunków spalania (NO<sub>x</sub>, CO, Corg), systemu oczyszczania gazów odlotowych (SO<sub>2</sub>) lub mieszanki paliwa. Jest to szczególnie ważne w przypadku wielokrotnych zmian właściwości mieszanki paliw (takich jak wartość opałowa, zawartość wody) i/lub warunki obciążenia. CO, będący parametrem kontroli spalania, może być

zawsze mierzony w sposób ciągły przy niewielkich nakładach kosztów.

Kolejną korzyścią jest możliwość informowania społeczeństwa o emisjach generowanych przez zakład za pośrednictwem Internetu, co doprowadziło w wielu przypadkach do poprawy stosunków między operatorami i lokalną społecznością. Wyniki CM mogą być również powiązane z danymi dotyczącymi jakości powietrza, co umożliwi natychmiastową i odpowiednią reakcję w przypadku przekroczenia wartości granicznych.

Wdrożenie systemu CM wiąże się z wyższymi kosztami inwestycyjnymi i operacyjnymi w porównaniu z systemem okresowych pomiarów emisji. Systemy pomiarów ciągłych podlegają okresowym kontrolom w formie równoległych pomiarów prowadzonych z zastosowaniem metod referencyjnych.

Pomiary okresowe są prowadzone z wykorzystaniem pewnej liczby niezależnych procedur określania emisji. Kluczowymi parametrami są w tym przypadku określenie niepewności pomiaru i związanych z tym warunków obciążenia, które powinny być reprezentatywne dla zakładu.

Pomiary okresowe są często stosowane w przypadku źródeł emisji generujących mniejsze strumienie gazów odlotowych. Pomiary okresowe dostarczają informacji o poziomach emisji w wybranym okresie próbkowania. W przypadku, gdy monitorowanie okresowe jest prowadzone z zamiarem uzyskania wiarygodnego obrazu całkowitych emisji przez okres dłuższy niż okres próbkowania, np. dzień, miesiąc lub rok, kluczowe znaczenie ma dostarczanie i zbadanie statystycznie uzasadnionej liczby próbek. Jeśli całkowite emisje są liczone na podstawie kilku próbek reprezentujących jedynie krótki przedział czasu łącznych godzin pracy, należy się spodziewać, że nie dadzą one rzeczywistego obrazu sytuacji. Jest to spowodowane zmiennością procesów zależnie od panujących warunków lub zakłóceń, co może mieć znaczący wpływ na wyniki obliczeń.

Niezależnie od stosowanego systemu, operator i właściwy organ powinni otrzymać szczegółowy raport dotyczący zastosowanych procedur (uwzględniający strategię, narzędzia, systemy, niepewność pomiarów, surowe dane, parametry procesu, warunki obciążenia, stosowane paliwa, funkcjonowanie systemów oczyszczania gazów odlotowych, sposób pobierania próbek i ich obróbki) i wyników monitorowania emisji.

Obowiązki sprawozdawcze mogą obejmować, oprócz pomiarów pyłu ogółem, także określenie PM<sub>10</sub> and PM<sub>2,5</sub> (na podstawie rozkładu wielkości). Skład pyłu jest określany w ramach pojedynczych pomiarów, np. raz lub dwa razy w roku.

Tabela 2.5 przedstawia metody stosowane zwykle do pobierania próbek emisji do atmosfery w niektórych państwach członkowskich, które przekazały dane na temat stosowanych przez nie praktyk monitorowania (inne kraje nie dostarczyły danych lub przedstawione przez nie dane są niepełne lub niejasne). Zaprezentowane przykłady dowodzą, że pomiary ciągłe mają zastosowanie do większości punktów emisji:

- (i) Austria: Generalnie wymóg stosowania ciągłego monitorowania emisji ma zastosowanie w przypadku:
  - spalania paliw ciekłych i stałych do
    - cząstek i CO, gdy zainstalowana moc cieplna przekracza 10 MW
    - NO<sub>x</sub> i SO<sub>2</sub>, gdy zainstalowana moc cieplna przekracza 30 MW
  - spalania paliw gazowych do
    - CO, gdy zainstalowana moc cieplna przekracza 10 MW
    - NO<sub>x</sub>, gdy zainstalowana moc cieplna przekracza 30 MW.

Jednak niektóre organy wymagają ciągłych pomiarów nawet przy mocy na niższym poziomie. Zgodnie z dyrektywą UE w sprawie spalania odpadów w przypadku ich współspalania wymagane może być ciągle monitorowanie dla dodatkowych zanieczyszczeń lub przy mocy na niższym poziomie (*źródło*: Umweltbundesamt 2010).

(ii) Finlandia: W tabeli 2.4 i tabeli 2.5 pokazano, że w wielu zakładach celulozowo-papierniczych pomiary dla większości parametrów są prowadzone w sposób ciągły; niektóre pozostałe zakłady prowadzą pomiary okresowe.

(iii) Polska: Uwzględniane są wszystkie źródła emisji, w przypadku których stosowana jest wentylacja mechaniczna. Dlatego też, oprócz głównych źródeł emisji zestawionych w tabeli 2.5, uwzględnia się następujące punkty emisji: instalacje do mycia i sortowania mas włóknistych, instalacje do bielienia masy, płuczka w instalacji oleju talowego, płuczka zbiornika stopu, gaśnik wapna, odpylacze w instalacji do cięcia papieru, w pewnych przypadkach także emisje z kadzi magazynowych, filtrów szlamu pokaustacyjnego i z ługu zielonego.

(iv) Portugalia: Oprócz pomiarów dla głównych źródeł emisji zestawionych w tabelach 2.4 i 2.5, w portugalskich celulozowniach siarczanowych przeprowadzane są okresowe pomiary strumienia, pyłu, SO<sub>2</sub> i całkowitej siarki zredukowanej (TRS) lub H<sub>2</sub>S w spalinach ze zbiornika do rozpuszczania, przy płuczce na linii wytwarzania masy włóknistej, która oczyszcza gazy resztkowe i emisje rozproszone z kadzi na linii wytwarzania masy oraz przy urządzeniach procesowych (generowane podczas mycia, sortowania, delignifikacji tlenowej, bielienia i z instalacji ClO<sub>2</sub>). Dodatkowo przeprowadzane są także okresowe pomiary Cl<sub>2</sub> na dalszych etapach procesu, tj. po kontroli w miejscu płuczki na linii wytwarzania masy. Prowadzone są także sporadyczne pomiary lotnych związków organicznych (LZO) przy kotle regeneracyjnym, piecu wapiennym i palniki do spalania gazów złowonnych.

(v) Szwecja: Zgodnie z informacjami dostarczonymi przez szwedzką Agencję Ochrony Środowiska, pomiary dla większości parametrów są prowadzone w sposób ciągły przy kotłach regeneracyjnych, piecach wapiennych, palniki do spalania TRS, kotłach pomocniczych i współspalarniach odpadów. W przypadku, gdy instalacja do współspalania odpadów funkcjonuje na miejscu (ma w niej miejsce np. spalanie odrzutów, szlamu z odbarwiania i innych materiałów powstających w procesie przetwarzania makulatury), zgodnie z dyrektywą w sprawie spalania odpadów (WID) [203, dyrektywa 2000/76/WE, 2000] monitorowanie i pomiary obejmują zazwyczaj większą liczbę parametrów.

Prowadzenie pomiarów w celulozowni siarczanowej na linii produkcyjnej jest często trudniejsze niż na przykład pomiary przy kotle energetycznym z powodu różnych właściwości fizyko-chemicznych powstających gazów. Na przykład, popioły z kotła regeneracyjnego osadzają się po prostu na powierzchni urządzenia pomiarowego. Trudności w zakresie prowadzenia pomiarów mogą wynikać także z wilgotności gazów odlotowych. Dlatego pomiary prowadzone w celulozowni wymagają większego zaangażowania w porównaniu z innymi procesami. Jednakże, jak wynika z tabeli 2.4, wiele zakładów prowadzi ciągle pomiary dla większości parametrów.

Dodatkowe informacje dotyczące systemów ciągłego monitorowania można znaleźć w dokumencie referencyjnym w sprawie ogólnych zasad monitorowania (MON) [269, COM 2003].



Tabela 2. 4 Ciągłe i okresowe monitorowanie emisji generowanych w ramach procesów prowadzonych w celulozowniach siarczanowych w pięciu przykładowych państwach członkowskich

Parametr	Kociol regeneracyjny (KR)					Piec wapienny (PW)					Palnik do spalania gazów złownych					Gazy rozcieńczone				
	Kod kraju	AT	FI	PL	PT (5)	SE	AT	FI	PL	PT (5)	SE	AT	FI	PL	PT (5)	SE	AT	FI	PL	PT (5)
Strumień	C/AP	AP, C lub PO	PO	C lub PO	AP	C/AP	AP, C lub PO	PO	C lub PO	AP	C/AP	PO	PO	PO	D	Brak pomiarów, ponieważ prawie wszystkie gazy rozcieńczone są zbierane i spalane	Brak pomiarów			Na miejscu
SO <sub>2</sub>	C	C, PO	PO, C	C or PM	C	C, PM	C, PM	PM, C	C or PM	C	PM	C, PM	PM	PM	C					BD
TRS lub H <sub>2</sub> S (6)	C, PO	C, PO	PO, C	C lub	C	C, PO	C, PO	PO	C lub	C	PO	C, PO	PO	PO	PO					1-4/rok (6)
NO <sub>x</sub>	C	C, PO (4)	PO	C lub	C	C, PO	C, PO (4)	PO	C lub	C	PO	C, PO	PO	PO	C					BD
Pył	C, PO	PO, (próby)	PO, C	C lub	C	C, PO	PO, (próby C)	PO, C	C lub	C	NM	PO	PO	PO	BD					BD
CO (2)	C	PO	PO, C	C, PO	C	C	PO	PO, C	C, PO	C	PO	PO	PO	PO	C					BD
Metale ciężkie	NM	PO	NM	PO	BD	NM	PO	NM	PO	BD	NM	PO	NM	NM	BD					BD
Dioksyny/fura	NM	PO	NM	NM	BD	NM	BD	NM	NM	BD	NM	BD	NM	NM	BD					BD

Uwaga:

(<sup>1</sup>) TRS obejmuje H<sub>2</sub>S; (<sup>2</sup>) Zazwyczaj nie jest zgłaszane właściwym organom; (<sup>3</sup>) Emisje Cl<sub>ogólny</sub> (Cl<sub>2</sub> + ClO<sub>2</sub>) są zazwyczaj mierzone w bielarni.

**Zastosowane skróty:**

**BD** = Brak danych; **C** = monitorowanie ciągłe, **PO** = pomiary okresowe, **AP** = określono na podstawie analizy paliwa (C,H,O,N,S, popiół, wilgotność i wartość energetyczna są określane w ramach analizy paliwa, a obliczone parametry są wykorzystywane jako dane wejściowe do modelowania matematycznego, czyli do obliczenia wartości strumienia); **D** = dane dotyczące pomiarów dla dmuchaw; **BP** = brak pomiarów.

**Austria:** Zakłady Pöls i M-real prowadzą pomiary pyłów przy jednym KR w sposób ciągły, przy drugim – okresowo; Pomiar TRS w sposób ciągły jest prowadzony jedynie w zakładzie Pöls. Pomiary CO, NO<sub>x</sub> i SO<sub>2</sub> są prowadzone w sposób ciągły na stanowiskach pomiarowych przy wszystkich KR. Na stanowisku pomiarowym przy PW w zakładzie Pöls pomiary ciągłe są prowadzone w odniesieniu do CO, NO<sub>x</sub> i SO<sub>2</sub> oraz TRS; pozostałe zakłady przeprowadzają pomiary okresowe. *Źródło:* Umweltbundesamt, 2010.

**Finlandia:** (<sup>4</sup>) Emisje NO<sub>x</sub> z kotłów regeneracyjnych i pieców wapiennych są mierzone w sposób ciągły w wielu zakładach.

**Polska:** Pomiary drobnego pyłu zawieszonego (PM<sub>10</sub> lub PM<sub>2.5</sub>) są prowadzone w ramach kampanii, *Źródło:* Stowarzyszenie Papierników Polskich, 2009.

**Portugalia:** (<sup>5</sup>) Oprócz głównych źródeł emisji, spaliny ze spluczki na linii wytwarzania masy włóknistej (płuczka przeznaczona do gazów generowanych w procesie mycia i sortowania masy oraz gazów resztkowych z bielarni) i z kadzi do rozpuszczania są mierzone okresowo. *Źródło:* CELPA Associates, 2009.

**Szwecja:** (<sup>6</sup>) Gazy rozcieńczone są emitowane na różnych etapach procesu (około 20 – 40 punktów emisji). Pozostałe emisje rozcieńczonych gazów, które nie są całkowicie zbierane, są monitorowane w ramach kampanii, często nawet tylko raz w roku. Próbkę są pobierane w gazoszczelnych workach z tworzywa sztucznego. Monitorowanymi parametrami są strumień, temperatura i ciśnienie. Próbkę są analizowane z zastosowaniem metody chromatografii gazowej. Istotnymi zredukowanymi związkami siarki są H<sub>2</sub>S, merkaptan metylowy (MM), siarczek dimetylu (DMS) i disiarczek dimetylu (DMDS). Mimo, że wyniki pomiarów prowadzonych w tym samym miejscu mogą się znacznie różnić w czasie (od - 70% do około + 100% średniej wartości), całkowite ilości emitowane przez zakład różnią się w znacznie mniejszym stopniu jeśli chodzi o poszczególne kampanie. *Źródło:* Szwedzka Agencja Ochrony Środowiska, 2010.

**Norwegia:** Na stanowiskach pomiarowych przy KR i PW prowadzone są ciągłe pomiary strumienia, pyłów, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> i TRS; na stanowiskach pomiarowych przy pozostałych KR i PW pomiary strumienia, NO<sub>x</sub>, i metali ciężkich są prowadzone okresowo. W przypadku palnika do spalania gazów złowonnych prowadzone są okresowe pomiary strumienia, pyłów, CO, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> i TRS. W przypadku kotłów w dużych instalacjach spalania i spalarniach odpadów prowadzone są ciągłe pomiary strumienia, pyłów, Co, NO<sub>x</sub> i SO<sub>2</sub>. Pomiar dla pozostałych kotłów pomocniczych są prowadzone okresowo. W zależności od stosowanego paliwa (w ramach współspalania) określane są także wartości dla TOC, HCl, metali ciężkich i dioksyn/furanów. Podobnie, jak ma to miejsce w Szwecji, emisje rozproszone (gazy rozcieńczone), które nie są zbierane i przetwarzane, są zazwyczaj określane/obliczane 4 razy w roku. *Źródło:* Norweska Agencja Ochrony Środowiska, 2009.

Tabela 2. 5 Ciągłe i okresowe monitorowanie emisji do atmosfery z obiektów energetycznego spalania w pięciu przykładowych państwach członkowskich

Parametr	Kotły pomocnicze lub kotły korowe, spalanie w złożu fluidalnym					Współspalanie odrzutów, szlamu				
	AT <sup>(4)</sup>	FI <sup>(5)</sup>	PL <sup>(6)</sup>	PT <sup>(7)</sup>	SE	AT	FI	PL	PT	SE
Strumień	C	AP, C lub PO	C <sup>(6)</sup> i PO	C <sup>(7)</sup> lub PO	AP	C	C, PO	Brak czynnej instalacji	Brak czynnej instalacji	AP
SO <sub>2</sub>	C	C <sup>(5)</sup> lub AP i PO <sup>(5)</sup>	C <sup>(6)</sup> i PO	C i PO <sup>(7)</sup> lub C lub PO	AP/C	C	C, PO			C
NO <sub>x</sub>	C	C <sup>(5)</sup> i PO <sup>(5)</sup> , AP	C <sup>(6)</sup> i PO	C i PO <sup>(7)</sup> lub C lub PO	C	C	C, PO			C
Pył	C	C <sup>(5)</sup> i PO <sup>(5)</sup>	C <sup>(6)</sup> i PO	C i PO <sup>(7)</sup> lub C lub PM	C	C	C, PO			C
CO <sup>(2)</sup>	C	PO	C <sup>(6)</sup> i PO	C i PO <sup>(7)</sup> lub C lub PO	C	C	C, PO			C
Cl <sub>2</sub> <sup>(3)</sup>	BP	PO	BP	BP	BD		C, PO			BD
HCl	C w pewnych przypadkach, PO	BD	BD	BP	BD	C, PO	C, PO			BD
TOC (lub C <sub>org</sub> )	C w pewnych przypadkach, PO	BD	BD	PO	BD	C	C, PO			BD
Metale ciężkie	PO w pewnych przypadkach	PO	BD	PO <sup>(7)</sup>	BD	PO	PO			BD
Dioksyny/Furany	PO (tylko, gdy współspalane są odrzuty RCF)	PO	BD	BP	BD	PO (tylko, gdy współspalane są odrzuty RCF)	PO	BD		

Uwaga:  
<sup>(1)</sup> TRS zawiera H<sub>2</sub>S; <sup>(2)</sup> Pomiary nie są zazwyczaj zgłaszane właściwym organom; <sup>(3)</sup> Emisje Cl<sub>ogólny</sub> (Cl<sub>2</sub> + ClO<sub>2</sub>) są mierzone w bielami (pomiary okresowe).

**Zastosowane skróty:**  
**BD** = Brak danych; **C** = monitorowanie ciągłe, **PO** = pomiary okresowe, **AP** = określono na podstawie analizy paliwa (C,H,O,N,S, popiół, wilgotność i wartość energetyczna są określane w ramach analizy paliwa, a obliczone parametry są wykorzystywane jako dane wejściowe do modelowania matematycznego, czyli do obliczenia wartości strumienia); **D** = dane dotyczące pomiarów dla dmuchaw; **BP** = brak pomiarów.

**Austria:** <sup>(4)</sup> Dane odnoszą się do spalania w złożu fluidalnym przy nominalnej mocy cieplnej w zakresie od 4,8 do 133 MW. Większość kotłów ze złożem fluidalnym wykorzystuje się do współspalania odpadów. W przypadkach kotłów parowych stosuje się następujące pomiary: paliwa stałe i ciekłe – ciągłe pomiary pyłu i CO w przypadku instalacji > 10 MW<sub>t</sub>; ciągłe pomiary NO<sub>x</sub> i SO<sub>2</sub> w przypadku wszystkich instalacji > 30 MW<sub>t</sub>; w odniesieniu do paliw gazowych – CO (> 10 MW<sub>t</sub>), NO<sub>x</sub> (> 30 MW<sub>t</sub>), T, O<sub>2</sub> (lub CO<sub>2</sub>) podlegają pomiarom ciągłym. CCGT prowadzi ciągłe pomiary NO<sub>x</sub> i CO, *Źródło:* Umweltbundesamt, 2010.

**Finlandia:** <sup>(5)</sup> Emisje pyłu, NO<sub>x</sub> i SO<sub>2</sub> z kotłów w dużych obiektach energetycznego spalania (LCP) (kocioł pomocniczy >50 MW) są w większości przypadków mierzone w sposób ciągły.

**Polska:** <sup>(6)</sup> Emisje ze strumienia, emisje CO, pyłu, NO<sub>x</sub> i SO<sub>2</sub> w kotłach LCO (kocioł pomocniczy >50 MW) są w większości przypadków mierzone w sposób ciągły. **Portugalia:** <sup>(7)</sup> Emisje, NO<sub>x</sub> i SO<sub>2</sub> z kotłów LCP (kocioł pomocniczy >50 MW) są mierzone w sposób ciągły i okresowy. Przeprowadzane są także okresowe pomiary LZO.

**Szwecja:** *Źródło:* Szwedzka Agencja Ochrony Środowiska, 2009.

### 2.2.2.2.3 Główne parametry i metody analityczne

Tabela 2.6 przedstawia metody pomiaru emisji zanieczyszczeń do atmosfery stosowane w Finlandii według związku i źródła.

Większość metod pomiarowych jest oparta na metodach standardowych. Pewne metody pomiarów emisji do atmosfery różnią się w poszczególnych krajach w Europie. Jedną z nich odnosi się do oznaczania PM<sub>10</sub> (niektóre zakłady mają swoje własne systemy rozkładu wielkości cząstek). Pozostałe odnoszą się do np. LZO, TRS i określania strumienia gazów odlotowych.

Z tabeli 2.6 wynika, że wszystkie parametry uwzględniane w standardowym programie monitorowania mogą być kontrolowane w sposób ciągły. Właściwe organy mogą zażądać prowadzenia pomiarów ciągłych, okresowych lub okazjonalnych w zależności od strumienia masy substancji zanieczyszczającej, stosowanych paliw, godzin pracy, warunków obciążenia lub warunków lokalnych.

Tabela 2. 6 Metody pomiarowe według związku i źródła stosowane do oznaczania emisji do atmosfery w zakładach celulozowo-papierniczych w Finlandii

Parametr	Kocioł regeneracyjny	Kocioł wapienny	Kotły pomocnicze (wszystkie kotły z wyjątkiem kotłów do spalania odpadów)	Piec wydzielony do spalania gazów złoonych	Współspalanie odpadów
Strumień objętości	Przeływomierz ultradźwiękowy, stosowanie rurki Pitota lub obliczenia na podstawie bilansu ciepła i masy				Przeływomierz ultradźwiękowy, stosowanie rurki Pitota lub termiczny przeływomierz masowy
Pył/cząstki stałe	Pośredni (parametr zastępczy) pomiar ciągły: Metoda rozpraszania światła, pomiar optyczny, efekt tryboelektryczny lub metoda grawimetryczna: EN 13284 -1 lub SFS 3866				Pośredni pomiar ciągły: Metoda rozpraszania światła, pomiar optyczny, efekt tryboelektryczny lub metoda grawimetryczna (EN 13284-1)
PM <sub>10</sub>	Oznaczanie w ramach pojedynczych pomiarów prowadzonych w zakładzie lub z zastosowaniem znanego współczynnika frakcji				
SO <sub>2</sub>	Bezpośredni pomiar ciągły: fluorescencja UV, metoda NDIR lub FTIR paliwa    Parametr pośredni (zastępczy) pomiar ciągły: bilans masy/analiza				
Całkowita siarka zredukowana (TRS)	Konwerter TRS + fluorescencja UV, NDIR (FTIR) Bezpośrednie pomiary ciągłe lub okresowe/pośrednie pomiary ciągłe lub okresowe	Nie dotyczy		Konwerter TRS + fluorescencja UV, NDIR (FTIR) Bezpośrednie pomiary ciągłe lub okresowe/pośrednie pomiary ciągłe lub okresowe	Nie dotyczy
NO <sub>x</sub>	Bezpośrednie pomiary ciągłe lub okresowe: chemiluminescencja, absorpcja IR lub FTIR: ISO 11564:1998, ISO 10849:1993, EN 14792:2005				
CO	Bezpośrednie pomiary ciągłe: absorpcja IR, NDIR lub FTIR: ISO 12039:2001, EN 15058:2004. Parametr mierzony zawsze w połączeniu z pomiarami innych emisji. CO jest parametrem kontroli przebiegu procesu (mierzonym w kotłach)				
TOC	Parametry nieuwzględnione w standardowych programach kontroli, jednak śledzone z wykorzystaniem innych metod, np.				FID lub FTIR Pomiary bezpośrednie ciągłe
NMLZO					FTIR Pomiary bezpośrednie ciągłe
Metale					EN 14385, EN 13211: Pomiary bezpośrednie okresowe
Dioksyny/furany					EN 1948: Pomiary pośrednie ciągłe

NH <sub>3</sub>	obliczeń. Wszystkie pomiary związków specyficzne dla palników wykorzystywanych do spalania odpadów mają zastosowanie, w odpowiednich przypadkach, do wszystkich innych procesów	Współczynnik emisji: Wartość obliczona
PCDD/F		Pomiary lub obliczenia
PAH-4		Pomiary lub obliczenia
HCl		EN 1911-1-3:2003 Pomiary lub obliczenia
HF		Pomiary lub obliczenia
Źródło: Fiński Instytut Ochrony Środowiska i fińska Federacja Przemysłu Leśnego, 2009. Niemal identyczne metody zostały zgłoszone przez AT, DE, SE i PL.		

### 2.2.2.2.4 Warunki referencyjne

Wyniki monitorowania emisji do atmosfery są zazwyczaj podawane jako stężenia masowe ( $\text{mg}/\text{Nm}^3$ ) dla danego okresu w standardowych warunkach, i są normalizowane do określonej zawartości tlenu. Jeśli nie podano inaczej w niniejszym dokumencie, standardowe warunki dla pomiarów strumieni objętości i stężeń gazów odlotowych stosuje się następujące definicje:

$\text{Nm}^3/\text{h}$	Strumień objętości: strumienie objętości są odnoszone do vol % tlenu (wskazanej dla danego źródła emisji w warunkach standardowych)
$\text{mg}/\text{Nm}^3$	Stężenie: stężenia substancji gazowych lub mieszanin substancji są odnoszone do suchych gazów odlotowych przy vol % tlenu wskazanej dla danego źródła emisji/paliwa w warunkach standardowych
Warunki standardowe	Temperatura 273,15 K (0 °C), ciśnienie 101,3 kPa i suchy gaz odlotowy, tj. po odliczeniu zawartości pary wodnej

Zakresy emisji do atmosfery wyrażane jako wartości stężenia odnoszą się zawsze do określonego referencyjnego poziomu tlenu w  $\text{O}_2$  (vol %) wskazanego dla danego źródła emisji, choć rzeczywisty poziom tlenu w procesie wypalania może być niższy lub wyższy. Poszczególne kraje stosują różne referencyjne poziomy tlenu, jak pokazano na kilku przykładach w tabeli 2.7.

Tabela 2. 7 Referencyjne poziomy tlenu dla różnych obiektów energetycznego spalania w wybranych krajach

Rodzaj spalania	Referencyjny poziom $\text{O}_2$ (vol %)	Referencyjny poziom $\text{O}_2$ (vol %)	Referencyjny poziom $\text{O}_2$ (vol %)
Kocioł regeneracyjny	8%	5%	6%
Kocioł wapienny	8%	5 lub 6 %	6%
Pomocniczy kocioł korowy	6 lub 8%	11 lub 13%	6%
Pomocniczy kocioł olejowy	8%	3%	3%
Pomocniczy kocioł opalany gazem ziemnym	8%	3%	3%
Kocioł opalany biomasą	8%	11 lub 13%	6%
Elektrociepłownia (CCGT)	15%, z wyjątkiem LZO – 8% i CO – 8%	15%	6%
Palnik do spalania gazów złowonnych	BD	3%	3%
Uwaga: BD= Brak danych Źródło: CELPA Associates, austriacka Agencja Ochrony Środowiska, fiński Instytut Ochrony Środowiska, 2009.			

Aby umożliwić porównywalność i identyfikację danych dotyczących emisji opartych na różnych poziomach tlenu, należy przeprowadzić proste obliczenie zgodnie z poniższym wzorem:

$$E_R = \left| \frac{21 - O_R}{21 - O_M} \right| \cdot E_M$$

$E_R$  (mg/Nm<sup>3</sup>): stężenie emisji w odniesieniu do referencyjnego poziomu tlenu  $O_R$

$O_R$  (vol %): referencyjny poziom tlenu  $E_M$  (mg/Nm<sup>3</sup>): stężenie emisji w odniesieniu do mierzonego poziomu tlenu  $O_M$

$O_M$  (vol %): mierzony poziom tlenu

Więcej przydatnych informacji na temat monitorowania można znaleźć w Dokumencie referencyjnym w sprawie ogólnych zasad monitorowania (MON) [ 269, COM 2003 ].

### 2.2.2.2.5 Wzajemne powiązanie między stężeniem i poszczególnymi ładunkami emisji

Pomiary emisji wyrażone w formie stężenia mogą być przekształcone na konkretne ładunki emisji. Dane dotyczące emisji w obu formach są bardzo przydatne dla regulatora i operatora. Jednak porównując lub przekształcając dane w tych formach należy mieć na uwadze sposób obliczenia ładunków emisji.

Rysunek 2.4 przedstawia przykład dla emisji pyłu (średnie wartości roczne) z celulozowni. Obliczenie obrazuje sposób przeliczenia stężenia danego zanieczyszczenia (mg/Nm<sup>3</sup>) na konkretny współczynnik emisji (kg/ADt masy włóknistej lub papieru).

Obliczenie ładunku emisji i poszczególnych ładunków i strumieni jest oparte na rzetelnej wiedzy na temat następujących danych (przykład dla pyłu, średnie wartości roczne):

- stężenie pyłu na podstawie średnich wartości rocznych (mg/Nm<sup>3</sup>)
- strumień gazów odlotowych w ciągu jednej godziny (Nm<sup>3</sup>/godz.)
- roczny czas pracy (godz./rok)
- roczna produkcja netto (ADt masy włók./rok).

Obliczenie jest przeprowadzane w następujący sposób:

– zmierzone stężenie pyłu w ciągu jednego roku (mg/Nm <sup>3</sup> ):	<b>a</b>
– średnie roczne stężenie pyłu (mg/Nm <sup>3</sup> ), które zazwyczaj stanowi suma wszystkich odpowiednich wartości określonych w ramach ciągłego monitorowania:	<b>b</b>
– strumień gazów odlotowych w ciągu jednej godziny (Nm <sup>3</sup> /godz.):	<b>c</b>
– roczny czas pracy (godz./rok):	<b>d</b>
– roczna objętość gazów odlotowych (Nm <sup>3</sup> /rok):	<b>e = c × d</b>
– roczne emisje pyłu (kg zanieczyszczeń/rok):	<b>f = b × e</b>
– roczna produkcja netto (ADt masy włók./rok):	<b>g</b>
– konkretny współczynnik emisji (kg/ADt masy włók.):	<b>i = f/g</b>
– konkretny strumień gazów odlotowych (Nm <sup>3</sup> /ADt)	<b>h = e/g</b>

To samo obliczenie może zostać wykonane dla średnich miesięcznych i dziennych wartości emisji oraz innych parametrów emisji.

**Rysunek 2. 4 Przykładowe przeliczenie stężenia konkretnego zanieczyszczenia powietrza (mg/Nm<sup>3</sup>) na konkretny współczynnik emisji (np. kg pyłu/ADt)**

Poniższe obliczenie odnoszące się do faktycznie istniejącej celulozowni siarczynowej pokazuje wzajemne powiązanie pomiędzy mierzonym stężeniem, dziennym ładunkiem emisji



i ładunkiem emisji dla danego produktu na przykładzie SO<sub>2</sub>. W tym przypadku obliczenie przeprowadzono dla średnich wartości miesięcznych.

Produkcja netto masy celulozowej (ADt) w zakładzie wyniosła 3 928 ADt/miesiąc. W styczniu 2008 roku, średnie stężenie SO<sub>2</sub> w spalinach z kotła regeneracyjnego wyniosło 102 mg SO<sub>2</sub>/Nm<sup>3</sup> (pomiar ciągły). Odpowiedni średni strumień gazów odlotowych (w standardowych warunkach) był na poziomie 34 538 Nm<sup>3</sup>/godz. Wartość całkowitej emisji SO<sub>2</sub> uwolnionej w ciągu tego miesiąca obliczono mnożąc stężenie SO<sub>2</sub> przez wartość średniego strumienia gazów odlotowych wynoszącą 34 538 Nm<sup>3</sup>/godz. i liczbę godzin pracy w tym miesiącu, czyli 744, co daje całkowitą masę na poziomie 2 621 kg SO<sub>2</sub>/miesiąc.

Konkretny ładunek obliczono dzieląc całkowitą masę emisji SO<sub>2</sub> w danym miesiącu przez wartość produkcji netto masy celulozowej (powietrznie suchej), czyli 2 621 kg SO<sub>2</sub>/3 928 ADt = 0,67 kg SO<sub>2</sub>/ADt.

Strumień gazów odlotowych wyniósł w tym przypadku: średni strumień gazów odlotowych (Nm<sup>3</sup>/h) × godziny pracy/produkcja netto masy (powietrznie suchej) = 34 538 Nm<sup>3</sup>/godz. × 744 godz./3 928 ADt = 6 542 Nm<sup>3</sup>/ADt.

#### 2.2.2.2.6 Pomiar emisji rozproszonych w celulozowniach siarczanowych

Rozproszone emisje siarki z celulozowni siarczanowych mogą być rozpatrywane w odniesieniu do procesu produkcji, tj. emisje związane bezpośrednio z tym procesem (patrz pkt 3.3.15) lub w oderwaniu od procesu produkcji, czyli w związku z działaniami dodatkowymi, takimi jak obróbka drewna (hałdy zrębków) i oczyszczanie ścieków.

Jedynym sposobem na dokładne określenie emisji stężonych i rozcieńczonych gazów z różnych punktów emisji jest ich prawie całkowite kolektywizowanie i spalanie oraz ich zgłaszanie jako części całkowitych emisji ze źródeł punktowych.

Niepewność w przypadku określania wartości tych emisji – gdy nie one całkowicie kolektywizowane – wzrasta w związku z dużą liczbą źródeł i z poważnymi trudnościami wiążącymi się z oznaczaniem gazów lub objętości gazów, które wyparowały, pomimo prawidłowych pomiarów stężeń. Niepewność wartości całkowitej ilości emisji rozproszonych wzrasta wraz ze wzrostem liczby źródeł poza układami zbierania gazów.

#### ***Stan możliwy do osiągnięcia dzięki wykorzystywaniu nowoczesnych układów zbierania gazów***

W nowoczesnych zakładach, w których stosowane są efektywne układy zbierania, emisje rozproszone pochodzące ze wszystkich źródeł procesu produkcji są zbierane i spalane, a w praktyce nie są występują w nich znaczące emisje rozproszone – z wyjątkiem tych strumieni, które są zbierane ze względu na nieznaczną zawartości siarki. W przypadku celulozowni posiadających efektywne układy zbierania gazów, emisje rozproszone nie mogą być zgłaszane oddzielnie, ponieważ są one już uwzględnione w całkowitej ilości uwolnionych emisji. Możliwe jest zbieranie i spalanie ponad 99% całkowitych emisji lotnych związków siarki generowanych w procesie produkcji może (patrz pkt 3.3.15).

Nawet efektywnie zaprojektowane i eksploatowane układy zbierania gazów mogą nie zawsze całkowicie zbierać gazy ze wszystkich źródeł i w każdych warunkach operacyjnych. Znaczące emisje rozproszone występują zwykle w wyjątkowych warunkach, np. podczas przestojów i w trakcie rozruchu, a także w przypadku awarii. W takich przypadkach spalanie musi być chwilowo wstrzymane ze względu na niebezpieczeństwo wybuchu lub może zostać wykorzystany zapasowy układ oczyszczania.

Zazwyczaj nie ma możliwości dokładnego zmierzenia uwolnionych, nieoczyszczonych gazów, jednak, zgodnie z programem monitorowania, muszą one być oceniane lub obliczane przy użyciu wiarygodnych metod, takich jak modelowanie w wyjątkowych sytuacjach. Tego rodzaju metody obliczeń muszą być określone w programie monitorowania dla danej instalacji, a dane potrzebne do takich obliczeń powinny być uwzględnione w standardowo gromadzonych danych (np. zużycie paliwa). W wyżej określonych nietypowych sytuacjach istnieje także możliwość przeprowadzenia pomiarów symulacyjnych i wykorzystania uzyskanych danych w obliczeniach szacunkowych. Wyjątkowe emisje rozproszonych mogą stanowić bardzo wysoki odsetek całkowitych emisji siarki z zakładu w związku z występowaniem w nim niskich poziomów emisji siarki w czasie normalnych okresów pracy.

Efekt ten został przedstawiony w tabeli 2.8, w której zestawiono dane z pomiarów źródeł punktowych występujących w procesie oraz oceny niepunktowych źródeł gazów rozcieńczonych, odnoszące się do kilku szwedzkich celulozowni siarczanowych. W związku z tym, że zakłady te wykorzystują w ramach procesu BAT i stosują skuteczne techniki kontroli emisji, źródła punktowe z różnych procesów (kotły regeneracyjne, piece wapienne, palniki do spalania gazów złonnych) uwalniają stosunkowo niskie emisje zawierające siarkę. Poddawane ocenie emisje ze źródeł niepunktowych (emisje rozproszone) stanowią taki sam lub nawet większy odsetek emisji siarki niż emisje ze źródeł punktowych.

**Tabela 2. 8 Emisje siarki zawartej w związkach lotnych jako S z punktowych i niepunktowych źródeł w szwedzkich celulozowniach siarczanowych**

Celulozownia siarczanowa	Lotne związki siarki jako S		
	Średnia roczna dla źródeł punktowych występujących w procesie (kg/t masy celulozowej siarczanowej)	Gazy rozcieńczone ze źródeł niepunktowych (kg/t masy celulozowej siarczanowej)	Wszystkie źródła występujące w procesie (kg/t masy celulozowej siarczanowej)
Mönsterås	0,15	0,16	0,32
Skutskär	0,03	0,62	0,64
Mörrum	0,10	0,23	0,33
Värö	0,15	0,15	0,30

*Źródło:* Szwedzkie statystyki odnoszące się do emisji generowanych przez sektor celulozowo-papierniczy (2007).

### ***Pozostałe przypadki***

W europejskich celulozowniach siarczanowych występują różnice w zakresie zgłaszanych przez nie całkowitych emisjach siarki, tzn. w zgłaszanych uwolnieniach siarki, uwzględnianych jest więcej lub mniej emisji różnych związków siarki. W niektórych celulozowniach siarczanowych w Europie, układy zbierania i spalania słabych gazów są nadal niewystarczająco efektywne, czego skutkiem są wysokie poziomy rozproszonych emisji gazów złonnych z terenu zakładu. Typowymi źródłami są obszary kadzi w celulozowniach o układzie rozproszonym do tego stopnia, że w praktyce rozwiązania w zakresie zbierania emisji, opłacalne pod względem technicznym i ekonomicznym, są trudne do realizacji.

W takich przypadkach, wymogi w zakresie monitorowania powinny mieć zastosowanie do wszystkich emisji rozproszonych generowanych w ramach procesów, w związku z czym emisje rozproszone muszą być mierzone lub oceniane w inny sposób.

Określenie rzeczywistych emisji rozproszonych jest trudne ze względu na problematyczność okresowej oceny emitowanych ilości gazów w związku ze zmiennością strumienia objętości z różnych źródeł emisji w czasie. Urządzeniami do pobierania próbek, które mogą być stosowane w takich przypadkach są wyciągi do pobierania próbek, wentylatory strumieniowe lub tunele, w zależności od projektu źródła. Analiza stężenia gazu jest przeprowadzana z wykorzystaniem standardowych metod laboratoryjnych. Stosowane mogą być także pomiary bezpośrednie np. przy użyciu przenośnych analizatorów FTIR. W przypadku zapachów, pomiary mogą być wykonywane przy wykorzystaniu olfaktometrii dynamicznej (EN 13725: 2003).

Orientacyjną metodą monitorowania mogą być kontrole zapachów prowadzone przez odpowiednio przeszkolony personel. Pracownicy tacy powinni być przeszkoleni w zakresie rozpoznawania rodzaju zapachu emisji rozproszonych. Jeśli takie zapachy są wyczuwalne na granicy terenu instalacji, należy zbadać źródło tych emisji. Jeśli źródło zostanie ocenione jako istotne, należy podjąć odpowiednie środki w celu zmniejszenia lub wyeliminowania tych emisji. W stosowanych przypadkach, opis takiej procedury może stanowić część systemu zarządzania środowiskowego.

Sposób pomiaru, który jest praktykowany np. w Finlandii, polega na oznaczaniu emisji rozproszonych z zakładu w ramach pomiarów TRS prowadzonych na poziomie gruntu na obrzeżach zakładu: stacje pomiarowe są zlokalizowane wokół zakładu w miejscach, które ze względu na typowy kierunek wiatru, są obszarami, w których efekt tego rodzaju rozproszonych emisji może być zmierzony.

W Szwecji pozostałe gazy rozcieńczone, które nie są zbierane, a są emitowane na różnych etapach procesu (około 20 – 40 punktów emisji) są monitorowane w ramach kampanii, często tylko raz w roku. Próbkę są pobierane do gazoszczelnych worków z tworzywa sztucznego. Monitorowanymi parametrami są strumień, temperatura i ciśnienie. W wielu punktach pomiarowych może być to dość trudne. Próbkę są analizowane z zastosowaniem chromatografii gazowej. Zredukowanymi związkami siarki są w tym przypadku siarkowodor ( $H_2S$ ), merkaptan metylu (MM), disiarczek metylu (DMS) i disiarczek dimetylu (DMDS).

Wyniki uzyskane w ramach monitorowania w tym samym miejscu pomiarowym mogą się znacznie różnić w czasie. Zgłaszano odchylenia od wartości średniej na poziomie od -70% do + 100%. Jednak w przypadku pomiarów kampanijnych całkowite ilości zanieczyszczeń emitowanych przez zakład wykazują znacznie mniejsze różnice. Niemniej jednak, należy pamiętać o szczególnej niepewności przy porównywaniu wartości dla pozostałych emisji słabych gazów (TRS jako S) z niepunktowych źródeł w celulozowniach siarczanowych w Europie.

W przypadku zakładów posiadających bardzo wydajne układy zbierania emisji, prowadzenie pomiarów emisji rozproszonych może nie być zasadne, ponieważ są one przechwytywane i spalane, a zatem są uwzględniane w emisjach ze źródeł punktowych. Emisje rozproszone z takich zakładów są uwalniane tylko w przypadku zakłóceń operacyjnych lub awarii układu oczyszczania gazów, np. w czasie, gdy układ ten jest wyłączony, należy rejestrować odstępy czasu, a oszacowane wartości emisji powinny być zgłaszane jako ‘gazy rozcieńczone zebrane, ale nieoczyszczone’.

### 2.2.2.3 Monitorowanie odpadów stałych

Wytwórca odpadów monitoruje różne frakcje odpadów wytwarzanych podczas produkcji. W ramach prowadzonego monitoringu gromadzone są informacje na temat ilości, jakości, właściwości i pochodzenia wytworzonych odpadów (czyli ogólne wymogi w zakresie ewidencji). Dostępne powinny być także informacje na temat wpływu odpadów na środowisko i

---

zdrowie, a także właściwości, które mają wpływ na dalsze postępowanie z odpadami i ich ostateczną utylizację.

Operatorzy są zobowiązani do prowadzenia ewidencji odpadów wytworzonych, zebranych, magazynowanych, transportowanych, utylizowanych lub unieszkodliwianych, jak również odpadów sprzedanych lub przekazanych innym podmiotom. Wymagane jest również prowadzenie ewidencji miejsc i dat dostaw, sposobów transportu, utylizacji i unieszkodliwiania odpadów, które są dostarczane z miejsca wytworzenia w inne miejsce. Każdego roku właściwe organy muszą otrzymywać informacje na temat ilości, składowania, utylizacji, magazynowania lub transportu odpadów wytworzonych lub pozyskanych z innych źródeł. Stosowny raport jest sporządzany z wykorzystaniem specjalnego formularza i określonych kodów odpadów zawartych w skonsolidowanym 'wykazie odpadów' [50, decyzja 2000/532/WE, 2000].

W zakresie składowania odpadów obowiązują szczególne wymagania, uwzględniające ocenę zdatności odpadów do składowania. Przed przyjęciem odpadów do składowania należy określić ich skład, zdolność do tworzenia odcieku i długoterminowe zachowanie. Ocena odpadów opiera się na badaniu właściwości odpadów w ramach szeregu badań fizyko-chemicznych. Tego rodzaju badania mogą obejmować analizę:

- składu fizyko-chemicznego odpadów;
- zawartości związków organicznych i właściwości odpadów w odniesieniu do degradacji;
- zawartości związków i ich zdolności do tworzenia odcieku;
- właściwości ekotoksykologicznych odpadów i związanego z nimi odcieku.

Zdatność odpadów do składowania jest zazwyczaj badana w specjalistycznych laboratoriach zajmujących się badaniem odcieków i wykonywaniem innych badań w celu określenia właściwości odpadów.

## 2.3 Przyjmowanie, magazynowanie i obróbka materiałów włóknistych i przyjmowanie, magazynowanie i sposób postępowania z chemikaliami

Głównymi surowcami wykorzystywanymi do produkcji mas włóknistych i papieru są włókna (drewno, makulatura), woda, energia cieplna (ciepło i para wodna) i elektryczna oraz substancje lub dodatki chemiczne. Informacje na temat dostarczania i postępowania z tymi materiałami przedstawiono w pkt 2.3 – 2.6.

Informacje na temat dobrego gospodarowania w zakresie magazynowania i obróbki makulatury przedstawiono w pkt 6.3.1.

### 2.3.1 Obróbka drewna

Informacje zawarte w tej części dokumentu mają zastosowanie do wszystkich celulozowni wytwarzających masy chemiczne i mechaniczne oraz papierni.

#### 2.3.1.1 Czynności prowadzone na placu drzewnym

Plac drzewny i skład drewna na terenie zakładu są w pełni dostosowane do przygotowywania i przechowywania surowca drzewnego między bramą zakładu i znajdującą się w nim instalacją do roztwarzania masy. Surowiec drzewny składa się zazwyczaj z drewna okrągłego i zrębków drzewnych (pozostałości z obróbki w tartaku). Obróbka drewna obejmuje prowadzenie pomiarów przyjętego drewna okrągłego i zrębków (waga, objętość, wilgotność), rozładunek, przechowywanie drewna okrągłego, okorowywanie drewna, rozdrabnianie na zrębki, sortowanie zrębków i przechowywanie zrębków w hałdach. Obróbka drewna obejmuje również obróbkę i przechowywanie kory i pozostałości drewna. Nowoczesne place drzewne muszą spełniać wysokie standardy w zakresie jakości i niezmienności produktów, a wykorzystywane tam technologie są równie zaawansowane jak te wykorzystywane w ramach innych operacji prowadzonych w zakładzie, takich jak sterowanie komputerowe, monitoring, itp.

Do wytwarzania ścieru wykorzystywane są kłody, natomiast w procesie roztwarzania chemicznego oraz wytwarzania masy półchemicznej metodą obojętnego siarczynu (NSSC), masy termo-mechanicznej (TMP) i masy chemo-termo-mechanicznej (CTMP) wykorzystywane są zrębki drzewne. Aby uzyskać masę o wysokim stopniu białości, w procesie produkcji masy celulozowej siarczanowej, mechanicznej, ścieru drzewnego i TMP konieczne jest stosowanie świeżego drewna. Podczas przechowywania kłód przeznaczonych do produkcji masy mechanicznej w okresie letnim, często konieczne jest spryskiwanie stosów drewna wodą, aby zapobiec jego wysychaniu i ciemnieniu. W przypadku produkcji masy celulozowej siarczanowej korzystne jest magazynowanie zrębków przez pewien czas, w którym następuje kontrolowana degradacja związków ekstrakcyjnych w drewnie poprzez mechanizmy utleniające i enzymatyczne, w celu uzyskania masy włóknistej o małej zawartości substancji ekstrakcyjnych.

Drewno jest transportowane do zakładów z miejsca ścinki ciężarówką, koleją lub statkiem/barką i jest odbierane w składzie drewna w formie kłód lub zrębków. Kłody są dostarczane głównie z korą, dlatego przed dalszą obróbką konieczne jest ich okorowanie (patrz pkt 2.3.1.2). Eukaliptus (*E. globulus*) jest okorowywany często w miejscu jego pozyskania. Zrębki z tartaku i inne zrębki dostarczone do zakładu są zazwyczaj pozbawione kory i mogą być wykorzystane bezpośrednio po ich sortowaniu.

Okorowanie powinno być przeprowadzone w sposób zapewniający uzyskanie czystego i

jednolitego surowca drzewnego przy minimalnych stratach drewna, zapewniając jednocześnie, by kora była sucha i pozbawiona zanieczyszczeń w stopniu umożliwiającym jej wykorzystanie jako paliwa, a także minimalizując wszelkie zanieczyszczenia powietrza lub wody powstałe w związku z obróbką drewna i okorowywaniem. W procesie obróbki drewna, zrębków i kory należy dążyć do zminimalizowania wszelkich zanieczyszczeń gleby, aby zminimalizować ryzyko zakłóceń procesu i ilości pozostałości kory i drewna zanieczyszczonych piaskiem i kamieniami. Powierzchnia placu drzewnego, a zwłaszcza powierzchnie używane do magazynowania kłód i zrębków są często wybrukowane.

Okorowane kłody są rozdrabniane na zrębki w rębaku, gdzie absorbują one w szybki i równomierny sposób wodę, chemikalia i ciepło. Dostarczenie jednolitych pod względem rozmiaru zrębków jest konieczne dla skuteczności procesów i ze względu na jakość masy. Im bardziej jednolite są zrębki po obróbce w rębaku, tym niższe jest zużycie surowca ze względu na lepszą możliwość optymalizacji procesu roztwarzania i uzysk masy celulozowej. Rozmiar zrębków jest również istotny dla osiągnięcia optymalnych warunków pakowania, umożliwiając prawidłowe wypełnienie lejów i/lub właściwy przepływ cieczy w przypadku roztwarzania chemicznego. Po stacji rębaka zrębki są sortowane w celu usunięcia ponadwymiarowych zrębków i trocin. Zrębki są często sortowane według grubości, ponieważ jest to krytyczny parametr przy wytwarzaniu mas włóknistych. Często osiąga się ogólne optimum poprzez poświęcenie pewnej ilości surowca dla zapewnienia stabilnych warunków przerobu, które z kolei przyczyniają się do lepszej jakości masy i mniejszego zanieczyszczenia. Ponadwymiarowe zrębki mogą być ponownie rozdrobnione we wtórnym rębaku w celu zwiększenia uzysku masy i zmniejszenia pozostałości z procesów. Materiał usunięty w procesie sortowania może być sprzedany lub spalony w pomocniczym kotle odzysknicowym.

Przesortowane zrębki powinny być transportowane z zachowaniem ostrożności, aby uniknąć ich pękania i rozszczipiania się, co może mieć negatywny wpływ na proces warzenia i jakość masy celulozowej. W związku z tym preferowanym sposobem transportu jest w tym przypadku stosowanie przenośników taśmowych. Przenośniki te są również energooszczędne i generują mniej hałasu w porównaniu z innymi rozwiązaniami transportowymi.

Kora i odrzuty z rozdrabniania i sortowania zrębków są odpadami generowanymi na tym etapie procesu. Zazwyczaj są one zbierane i spalane w celu odzysku energii w specjalnym kotle opalanym korą, biomasą lub odpadami drzewnymi (patrz pkt 5.3.10).

Zakłady często magazynują zrębki drewna, zarówno te wytwarzane na miejscu jak i zakupione, w hałdach. Rysunek 2.5 przedstawia przykładową hałdę zrębków na terenie celulozowni siarczynowej.



Rysunek 2. 5 Przykład: Hałda zrębków na betonowej nawierzchni na terenie zakładu M-real Hallein AG

W trakcie magazynowania następuje pewna degradacja związków żywicznych (ekstraktów) zawartych w drewnie w wyniku działania mechanizmu utleniania i mechanizmów enzymatycznych. Hałda zrębków drzewnych może stać się dość ciepła podczas takiego okresu dojrzewania. Dłuższe składowanie może przyczynić się do zmniejszenia ilości masy włóknistej otrzymywanej z drewna (uzysku masy) i jej wytrzymałości.

Zrębki przeznaczone do roztwarzania (chemicznego lub mechanicznego) powinny być takie same pod względem ich wielkości i jakości oraz mieć zbliżoną zawartość suchej masy.

Plac drzewny i skład drewna na terenie zakładu są często źródłem znacznych emisji hałasu. Przy planowaniu nowego obiektu lub przebudowy istniejącego, należy dokładnie ocenić i zaplanować jego lokalizację, rozplanowanie i wyposażenie, m.in. należy dokładnie rozważyć kwestie związane z samochodami ciężarowymi poruszającymi się na terenie i wokół zakładu, aby zminimalizować hałas i potencjalne zakłócenia. Ciężarówki i inne ruchome maszyny powinny spełniać wymagania w zakresie ograniczania hałasu.

### 2.3.1.2 Korowanie

Drewno z europejskich drzew iglastych i liściastych jest zazwyczaj dostarczane do zakładu z korą (choć w niektórych przypadkach dostarczane drewno jest już pozbawione kory), która jest usuwana na terenie zakładu.

W zależności od gatunku i wieku drzewa, kora eukaliptusa może być znacznie zróżnicowana, w związku z czym stosowane są różne metody korowania. Młode i świeżo ścięte drzewa z gatunku *E. globulus* są stosunkowo łatwe do korowania, a pozyskane z nich drewno nadaje się do korowania w korowarkach mechanicznych w celulozowni. Kora z dojrzałego i magazynowanego drewna z eukaliptusa (oraz ze świeżego świerku ściętego w okresie wzrostu) zawiera silne włókna nitkowate, które owijają się wokół obracających się części korowarki bębnowej i powodują jej zablokowanie. Powszechną praktyką jest korowanie drewna z dojrzałych drzew eukaliptusa w miejscu pozyskiwania i z własnych plantacji eukaliptusa zlokalizowanych na terenie celulozowni.

Najbardziej powszechną metodą korowania jest korowanie bębnowe. Kora jest usuwana, gdy kłody ocierają się o siebie w wyniku wzajemnego ruchu nadanego im przez ruch obrotowy bębna korującego. Luźna kora, kawałki drewna, itp. z okorowanych kłód spadają z bębna przez specjalne rynny. Przed rozdrobnieniem na zrębki odkorowane kłody są zazwyczaj natryskiwane wodą. W regionach charakteryzujących się zimnym klimatem przed przystąpieniem do korowania kłody muszą zostać rozmrożone i należy usunąć z nich śnieg i lód w celu usprawnienia procesu. Może to być prowadzone za pomocą ciepłej wody lub pary w specjalnych przenośnikach lub przed bębniem korującym.

W przypadku suchego korowania, woda procesowa jest stosowana jedynie do mycia kłód i jest zawracana, generując minimalne ilości ścieków i zanieczyszczeń wody. W ramach suchego korowania uzyskiwana jest kora z niską zawartością wody, co przyczynia się do większej efektywności energetycznej w przypadku jej spalania.

Suche korowanie skutkuje niskimi ładunkami BZT i ChZT w ściekach, a także niewielkimi ilościami związków organicznych, takich jak substancje ekstrakcyjne odciskane z kory i wprowadzane do strumienia ścieków. Niektóre z tych substancji są toksyczne dla organizmów wodnych. Obecnie w sektorze stosowane jest głównie suche korowanie, a układy do mokrego korowania są wycofywane. W nowych lub przebudowanych składach drewna prowadzone jest prawie wyłącznie suche korowanie.

Wszelkie nadmiarowe ilości wody z procesu mycia kłód i filtry z odcisniętej kory powinny być przesyłane do instalacji oczyszczania ścieków. Ze względu na małą objętość filtratów z odcisniętej kory, ich potencjalnie toksyczne działanie jest zmniejszane poprzez zmieszanie z innymi strumieniami wody procesowej w zbiorniku wyrównawczym przed oczyszczaniem biologicznym, by umożliwić ich łączne oczyszczanie we wspólnej oczyszczalni biologicznej. Filtry z odcisniętej kory mogą być zawracane do procesu roztwarzania siarczanowego, na przykład do odzysku chemikaliów.

Wykazano, że biologiczne oczyszczanie jest bardzo skuteczne w usuwaniu toksyczności ścieków z procesu korowania. Objętość ścieków z suchego korowania jest zwykle poniżej 2 m<sup>3</sup>/ADt. W niektórych celulozowniach siarczynowych, w procesie korowania nie są



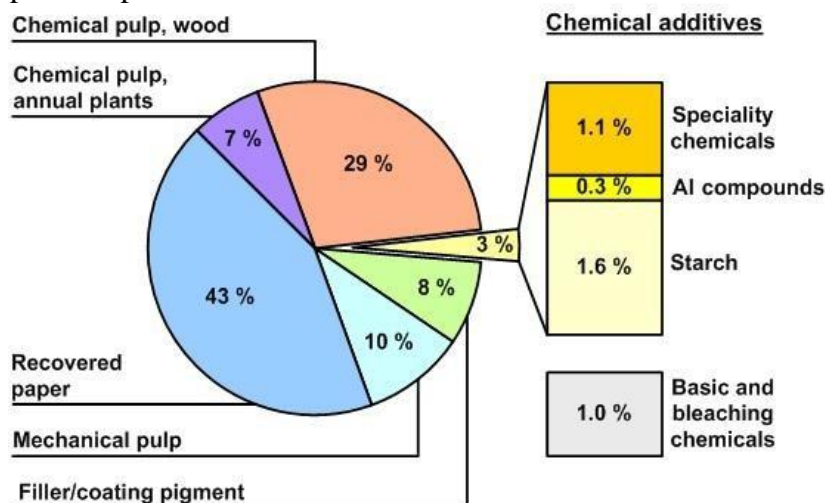
generowane żadne strumienie wypływające (suche korowanie w korowarkach bębnowych), a tym samym żadne ścieki. W warunkach zimowych i przy konieczności rozmrażania kłód w miesiącach zimowych w chłodnym klimacie, korowarki bębnowe do suchego korowania posiadają przed bębniem stację odładzania.

## 2.3.2 Magazynowanie chemikaliów i dodatków chemicznych i sposób postępowania z tymi substancjami

### 2.3.2.1 Stosowanie podstawowych chemikaliów i dodatków chemicznych

Do produkcji zarówno mas włóknistych jak i papieru, stosowane są różne podstawowe chemikalia i dodatki chemiczne. Do wytwarzania bielonej masy celulozowej siarczanowej stosowane są związki chemiczne, takie jak dwutlenek chloru, nadtlenek wodoru i środki chelatujące (patrz pkt 3.2.2.2). Ponadto, powszechną praktyką jest wykorzystywanie paliw kopalnych, takich jak ropa naftowa lub gaz jako paliwa w zintegrowanej produkcji zasad (patrz pkt 3.1.11), a także jako paliwa do kotłów pomocniczych (patrz pkt 2.6.1.1). Informacje na temat chemikaliów wykorzystywanych do roztwarzania siarczynowego zostały przedstawione w pkt 4.2.2.2, natomiast informacje na temat chemikaliów stosowanych do produkcji bielonej masy mechanicznej przedstawiono w pkt 5.2.2.6.

W skali globalnej, papier składa się w około 98% z materiału naturalnego. Jak pokazano na rysunku 2.6, 89% jego składu stanowi masa chemiczna i mechaniczna oraz makulatura. Około 8% stanowią wypełniacze i pigmenty powlekające, głównie w postaci kaolinu i węgla wapnia. W pozostałych 3% składu papieru zawarte są dodatki chemiczne. Nieco więcej niż połowę tego odsetka stanowi skrobia, którą także uzyskuje się z odnawialnych surowców, a jedną dziesiątą tego odsetka stanowią związki glinu, np. stosowany tradycyjnie przez wytwórców papieru z mas chemicznych alun (siarczan glinu). Tylko 1,1% surowców wykorzystywanych do produkcji papieru i tektury stanowią syntetyczne dodatki chemiczne (chemikalia specjalistyczne). Wszystkie wartości przedstawione na rysunku 2.6 obliczono na podstawie zawartości substancji suchej produktu w odniesieniu do światowej produkcji papieru na poziomie 375 mln ton w 2005 roku.



Źródło: [ 165, ZELLCHEMING 2008 ]

Rysunek 2. 6 Zużycie surowców w produkcji papieru i tektury w odniesieniu do światowej produkcji papieru w 2005 r. (procentowa zawartość w masie)

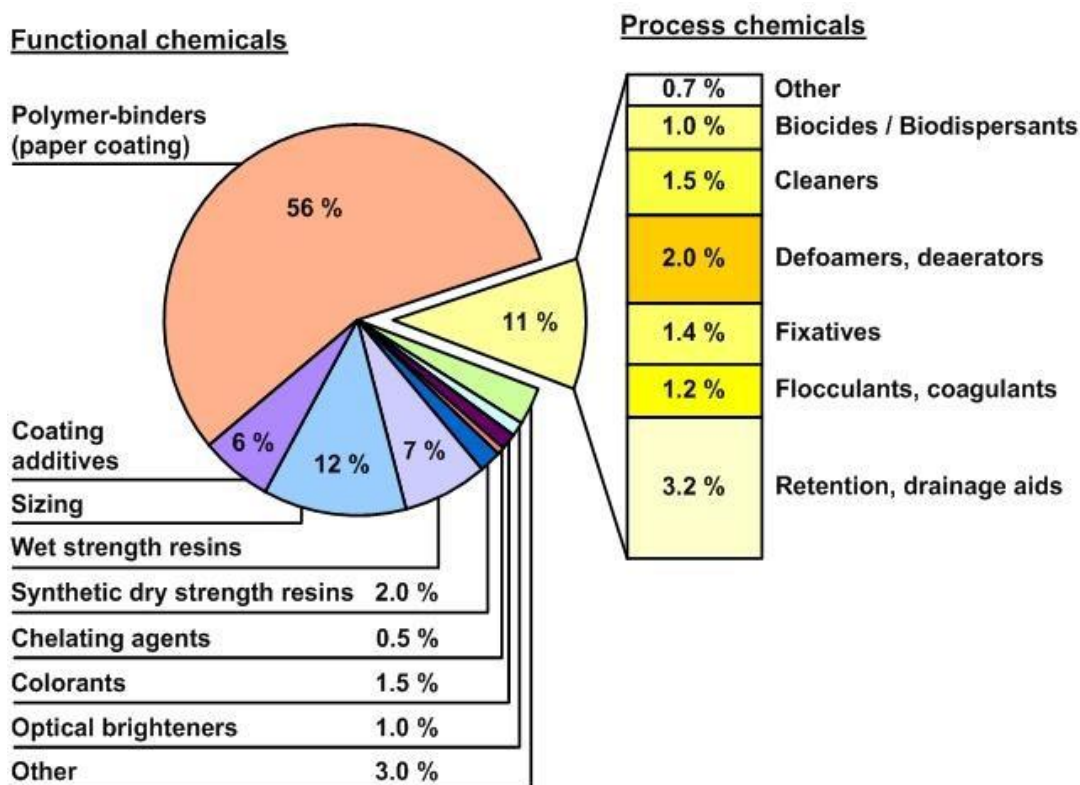
Chemical pulp, wood	Masa chemiczna, drewno
Chemical pulp, annual plants	Masa chemiczna, rośliny jednoroczne

Chemical additives	Dodatki chemiczne
Speciality chemicals	Dodatki specjalistyczne
AI compounds	Związki AI
Starch	Skrobia
Basic and bleaching chemicals	Podstawowe chemikalia i środki wybielające
Recovered paper	Makulatura
Mechanical pulp	Masa mechaniczna
Filler/coating pigment	Wypełniacze/pigmenty powlekające
Source: [ 165, ZELLCHEMING 2008 ]	Źródło: [ 165, ZELLCHEMING 2008 ]

Konieczne jest także stosowanie około 1% chemikaliów podstawowych i środków wybielających, takich jak wodorotlenek sodu lub kwas siarkowy w celu dostosowania pH. Produkt końcowy nie zawiera tych substancji chemicznych, które są głównie związkami nieorganicznymi i w przeważającej części są zużywane w procesie lub są odzyskiwane i zawracane. W ściekach z zakładu pozostają jedynie jony (sodu, wapnia, siarczanowe lub chlorkowe), które są następnie uwalniane w zbiornikach wodnych.

Pozostałe chemikalia i materiały, których nie uwzględniono na rysunku 2.6, a także materiały barierotwórcze, takie jak glin, alkohol etylowy (EVOH), polipropylen (PP) i kwas polimlekowy (PLA), są często używane do wytwarzania produktów opakowaniowych i kartonów do produktów płynnych.

Rysunek 2.7 przedstawia udziały w rynku różnych dodatków chemicznych zgrupowanych według pełnionych przez nie funkcji. Dokonano rozróżnienia między chemikaliami niezbędnymi do prowadzenia procesu produkcji (chemikalia procesowe) i chemikaliami, które zapewniają szczególne właściwości funkcjonalne produktu końcowego (chemikalia funkcjonalne). Chemikalia funkcjonalne stanowią ponad 90% wszystkich dodatków chemicznych w odniesieniu do zawartości substancji suchej produktu. Jak widać na rysunku 2.7, w tej grupie dominują spoiwa polimerowe z 56% udziałem w runku. Chemikalia procesowe przyczyniają się do zwiększenia wydajności i przerabialności maszyn papierniczych i tekturnic. W tej grupie, 53% udział w rynku mają środki do zwiększania retencji i środki przyspieszające odwadnianie oraz utrwalacze i flokulanty/koagulanty.



Źródło: [ 165, ZELLCHEMING 2008 ]

Rysunek 2. 7 Udział w rynku chemikaliów specjalistycznych stosowanych w światowej produkcji papieru i tektury (procentowa zawartość w suchej masie)

Functional chemicals	Chemikalia funkcjonalne
Polymer-binders (paper coating)	Spoiwa polimerowe (powlekanie papieru)
Coating additives	Dodatki do powłok
Sizing	Środki zaklejające
Wet strength resins	Żywice zwiększające odporność na wilgoć
Synthetic dry strength resins	Żywice syntetyczne zwiększające odporność w stanie suchym
Chelating agents	Środki chelatujące
Colorants	Barwniki
Optical brighteners	Wybielacze optyczne
Other	Pozostałe
Process chemicals	Chemikalia procesowe
Other	Pozostałe
Biocides / Biodispersants	Biocydy/biodyspersatory
Cleaners	Środki oczyszczające
Defoamers, deaerators	Środki przeciwpieniące, środki odpowietrzające
Fixatives	Utrwalacze
Floccuiants, coagulants	Flokulanty, koagulanty
Retention, drainage aids	Środki zwiększające retencję, środki przyspieszające odwadnianie
Source: [ 165, ZELLCHEMING 2008 ]	Źródło: [ 165, ZELLCHEMING 2008 ]

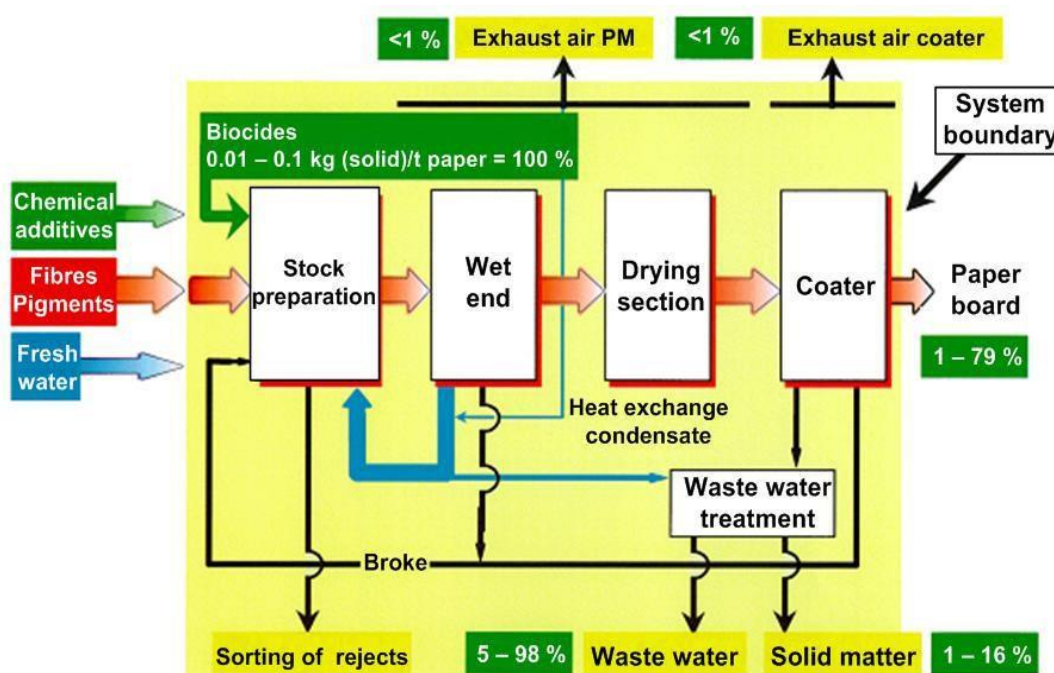
Pozostałymi chemikaliami stosowanymi w zakładach celulozowo-papierniczych (nieujętymi na rysunku 2.6) są substancje chemiczne dodawane w oczyszczalniach do wody procesowej i

ścieków (np. mocznik, kwas fosforowy, środki flokujące, polimery, wodorotlenek sodu, środki uzdatniające do osadów ściekowych i środki przeciwpieniące/odpieniacze) oraz do płuczek gazów odlotowych (np. zasady), jeżeli są one w użyciu. Dodatki chemiczne są stosowane również w procesie przygotowywania wody zasilającej kotły.

Dodatki chemiczne przyczyniają się do optymalizacji procesu produkcji i zwiększenia wydajności produkcji. Przyczyniają się one także do modyfikacji niektórych właściwości gotowego papieru i mogą być niezbędne dla uzyskania danych właściwości. Chemikalia są zatem istotnym elementem w produkcji mas włóknistych i papieru. Liczba dodatków chemicznych stosowanych w niektórych przypadkach podkreśla znaczenie bezpiecznego i odpowiedzialnego postępowania z chemikaliami i ich stosowania ze względu na środowisko i ochronę zdrowia pracowników (patrz pkt 2.9.2.3 do 2.9.2.5).

W ramach kompleksowej oceny ryzyka dla środowiska należy rozważyć dane dotyczące retencji chemikaliów w wyrobie papierowym, ich biodegradacji, toksyczności lub innych szkodliwych skutków dla środowiska. Wiele papierni przeprowadza wewnętrzne oceny korzystając z dostępnych na rynku baz danych (patrz pkt 2.9.2.4), które ułatwiają dokonanie odpowiedzialnego wyboru, stosowanie i postępowanie z dodatkami chemicznymi. Jeden zakład prowadzi analizę stosowanych chemikaliów według ich retencji oraz ich eliminacji w oczyszczalni ścieków (patrz pkt 2.9.2.5).

Komitet Techniczny ds. Dodatków Chemicznych, część niemieckiego stowarzyszenia producentów papieru ZELLCHEMING, zbadał potencjalne oddziaływanie na środowisko głównych grup dodatków chemicznych wymienionych na rysunku 2.7, i zaproponował systematyczne podejście, w ramach którego szacowany jest rozkład dodatków chemicznych pomiędzy spaliny, papier, ścieki i odpady stałe (odrzuty, szlam). Wynika to z tego, że wszystkie składniki dodatków chemicznych trafiają do ww. fizycznych elementów w zależności od właściwości chemicznych i fizycznych składników dodatków jak i surowców wykorzystywanych do produkcji papieru, a także od warunków, w jakich chemikalia są stosowane. Na rysunku 2.8 przedstawiono przykład biocydów, aby pokazać, jak los dodatków w procesie produkcji papieru został oceniony przez tę grupę ekspertów.



Źródło: [ 165, ZELLCHEMING 2008 ]

Rysunek 2. 8 Los dodatków chemicznych w procesie produkcji papieru na przykładzie biocydów

Chemical additives	Dodatki chemiczne
Fresh water	Woda słodka
Biocides	Biocydy
0.01 - 0.1 kg (solid)/t paper = 100 %	0,01 – 0,1 kg (w formie stałej)/t papieru = 100%
Exhaust air PM	Powietrze odlotowe z MP
Exhaust air coater	Powietrze odlotowe z powlekarki
System boundary	Granica układu
Stock preparation	Przygotowanie masy
Wet end	Część mokra
Drying section	Część susząca
Coater	Powlekarka
Paper board	Tektura/ papier
Heat exchange condensate	Kondensat z wymiany ciepła
Broke	Braki
Waste water treatment	Oczyszczanie ścieków
Sorting of rejects	Sortowanie odrzutów
Waste water	Ścieki
Solid matter	Cząstki stałe
Source: [ 165, ZELLCHEMING 2008 ]	Źródło: [ 165, ZELLCHEMING 2008 ]

Bilans masowy przedstawia zasady tej analizy. W przedstawionym przykładzie dawka biocydów zależy od użytych chemikaliów (dawka biocydów w zakresie 10 – 100 g/t papieru, tj. środek o wysokiej skuteczności działania przy niskiej dawce). Większość dozowanych biocydów pozostaje w obiegu wody i wchodzi tam w reakcje. Wyprodukowany papier może zawierać maksymalnie 79% zastosowanej dawki biocydów (w pozostałych przypadkach tylko 1%). Maksymalnie 98% dozowanego materiału może się teoretycznie znajdować w ściekach (tylko 5% w pozostałych przypadkach). Wykrycie biocydów w ściekach jest często bardzo trudne ze względu na niski poziom ich dawkowania oraz szybkie reagowanie i rozkład zastosowanych chemikaliów. Podejście zaproponowane przez ZELLCHEMING jest interesujące ze względu na rozkład produktów biobójczych pomiędzy papier, ścieki (po oczyszczeniu), odpady stałe (osad z oczyszczalni ścieków) i powietrze odlotowe, odpowiednio z części suszącej maszyny papierniczej i powlekarki ( <1%, w przypadku biocydów). W ramach badań prowadzonych w odniesieniu do produktów biobójczych stwierdzono stosunkowo szerokie zakresy szeregu różnorodnych produktów biobójczych (biocydy utleniające i nieutleniające, biodyspersatory, itd.) i fakt, że poczyniono wiele założeń w celu dokonania oceny ewentualnego rozproszenia biocydów w poszczególnych elementach środowiska.

Oczekiwany zrzut dodatków chemicznych do wody jest bezpośrednio związany z retencją chemikaliów w arkuszu papieru (zatrzymaniem w procesie) i ich eliminacją w oczyszczalni ścieków. Główne grupy dodatków chemicznych zostały omówione w [165, ZELLCHEMING 2008].

Współczynnik retencji opisuje tę część stosowanych substancji chemicznych, które są zatrzymywane w papierze, i nie są tym samym emitowane do środowiska (wody, powietrza i ziemi). Im większa retencja, tym niższy poziom zrzutów ścieków i tym mniejszy potencjalny wpływ zastosowanych dodatków na środowisko. W przypadku środków pomocniczych, maksymalny stopień retencji jest pożądany ze względów gospodarczych (strata dodatków) i środowiskowych. W związku z tym, że zadaniem chemikaliów funkcjonalnych jest nadawanie papierowi szczególnych właściwości, charakteryzują się one – ze względu na koszty i wydajność – stosunkowo wysokim poziomem retencji we włóknach celulozowych. Chemikalia wspomagające proces zwykle nie są zatrzymywane w gotowym arkuszu papieru w równym stopniu. Dlatego też pewna

część tych chemikaliów jest odprowadzana wraz ze ściekami z zakładu. Wiedza na temat retencji dodatków chemicznych ma zatem duże znaczenie. Nadmiarowe ilości dodatków także opuszczają układ wraz z odrzutami i szlamem. Niektóre z tych dodatków mogą mieć negatywny wpływ na praktyczne funkcjonowanie oczyszczalni ścieków i/lub jakość wody przyjmującej, jeżeli są one uwalniane w sposób niezamierzony w wyższych stężeniach.

Jednak wraz z poprawą kontroli właściwości substancji chemicznych zgodnie z rozporządzeniem REACH (patrz pkt 2.3.2.2) oraz dzięki systematycznej pracy prowadzonej w zakładach w celu zastąpienia niektórych chemikaliów substancjami chemicznymi, które są bezpieczniejsze dla środowiska (patrz pkt 2.9.2.4), ryzyko, że zrzuty pozostałości mogą zakłócić funkcjonowanie oczyszczalni ścieków i/lub wpłynąć negatywnie na jakość wody przyjmującej ulega zmniejszeniu.

Wiedza na temat zdolności substancji do ich rozkładu ma duże znaczenie dla oceny ilości substancji, które trafią do środowiska wodnego. Zakładając, że większość ścieków z papierni jest poddawana oczyszczaniu w biologicznych oczyszczalniach ścieków, znajomość współczynnika retencji i zdolności do biodegradacji umożliwia orientacyjne oszacowanie ilości substancji uwalnianych do wody przyjmującej (patrz pkt 2.9.2.5).

I wreszcie, jeśli substancje nie są zatrzymywane we wstędze papieru lub eliminowane w oczyszczalni ścieków, szczególne znaczenie mają dane dotyczące toksyczności dla środowiska wodnego i potencjału bioakumulacji.

Szczególną ostrożność należy zachować w przypadku substancji chemicznych, które są przeznaczone do wywoływania efektów biologicznych, takich jak biocydy, środki odkażające i slimicydy. Gromadzeniu się śluzu w układach eksploatowanych w zakładzie należy zapobiegać, w pierwszej kolejności, przez odpowiednie projektowanie i eksploatację układów tak, by uniknąć sytuacji, w których zawiesina masy włóknistej zalega w urządzeniach, rurach i kadziach przez dłuższy czas, i ustawianie temperatury pracy na ok. 40°C lub więcej. Środki te mogą być nie zawsze wystarczające, by całkowicie kontrolować gromadzenie się śluzu, ale doprowadzą do stosowania dodatków chemicznych tylko sporadycznie i/lub w małych ilościach. Praktyka pokazuje, że w zakładach wykorzystujących makulaturę do produkcji papieru do drukowania i bibułki tissue, temperatura pracy układów wynosi zazwyczaj około 45°C, a w przypadku papieru pakowego – do 50°C celem uniknięcia tworzenia się śluzu. Duży zakład RCF, produkujący np. papier pakowy, stosuje z powodzeniem środki dyspergujące i obróbkę enzymatyczną w przypadku, gdy bakterie z układów wody procesowej tworzą śluz, eliminując tym samym całkowicie stosowanie biocydów. [90 J.Schrijver i in. 2008] sugeruje, że połączenie biocydów i biodyspergatorów przyczynia się do zmniejszenia ilości stosowanych środków biobójczych.

Chemikalia są najczęściej dostarczane na teren zakładu ciężarówką, koleją lub statkiem, a niektóre z nich są przygotowywane na miejscu. Chemikalia specjalistyczne wykorzystywane w małych ilościach są zazwyczaj dostarczane w formie gotowej do użytku, natomiast chemikalia używane w większych ilościach mogą być dostarczane lub przygotowywane na miejscu. Przykładem przygotowywanej na miejscu substancji chemicznej wykorzystywanej w dużych ilościach jest wytrącony węglan wapnia (PCC), mający zastosowanie w produkcji papieru.

Postęp technologiczny i rozwój produktów powodują ciągłe zmiany w zakresie stosowania chemikaliów, w szczególności dodatków specjalistycznych stosowanych w małych ilościach. Niezmiernie ważne jest zatem dokonanie przeglądu i oceny chemikaliów pod kątem określonego przeznaczenia, aby wybrać substancje, które będą najbardziej wydajne w odniesieniu do procesu i produktu, który jest jednocześnie przyjazny dla środowiska (patrz pkt 2.9.2.4 i 2.9.2.5).

### 2.3.2.2 Przepisy UE dotyczące magazynowania, stosowania i postępowania z chemikaliami

#### Rozporządzenie REACH

Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie rejestracji, oceny, udzielania zezwoleń i stosowanych ograniczeń w zakresie chemikaliów [200, rozporządzenie REACH (WE) nr 1907/2006] ma na celu zapewnienie zaktualizowanych informacji na temat wszystkich substancji chemicznych stosowanych w ilościach powyżej określonych wartości progowych. REACH opiera się na zasadzie, zgodnie z którą producenci, importerzy i dalsi użytkownicy winni zapewnić, że produkują, wprowadzają do obrotu lub stosują substancje, które nie wpływają niekorzystnie na zdrowie człowieka lub środowisko naturalne. W tym celu producenci lub importerzy substancji, w jej postaci własnej lub jako składnika jednego lub większej liczby preparatów, w ilości co najmniej jednej tony rocznie, muszą przedłożyć odpowiednie dokumenty rejestracyjne Europejskiej Agencji Chemikaliów (ECHA). Dostawca substancji w jej własnej postaci lub jako składnika preparatu musi ponadto dostarczyć odbiorcy takiej substancji lub preparatu kartę charakterystyki zawierającą informacje na temat bezpieczeństwa, zgodnie z zasadami określonymi w rozporządzeniu. Karta charakterystyki musi zawierać informacje na temat identyfikacji substancji/preparatu, identyfikacji zagrożeń, składu, przechowywania i postępowania z substancją/preparatem oraz informacje ekologiczne i informacje dotyczące transportowania.

Bardziej rygorystyczne wymogi dotyczące stosowania chemikaliów mogą mieć zastosowanie do papieru lub tektury przeznaczonej do kontaktu z żywnością, lekami lub przyrządami chirurgicznymi. Przepisy dotyczące pakowania żywności w UE są w fazie opracowywania (Uchwała Rady Europy AP (2002) 1 w sprawie materiałów z papieru i tektury i wyrobów przeznaczonych do kontaktu z żywnością). W niektórych krajach stosuje się zalecenie XXXVI niemieckiego Federalnego Instytutu Oceny Ryzyka (BfR) dotyczące papieru i tektury przeznaczonej do kontaktu z żywnością.

#### Dyrektywa Seveso

Do pewnych niebezpiecznych substancji (chemikaliów) magazynowanych i stosowanych w zakładach celulozowo-papierniczych ma zastosowanie także dyrektywa Rady 96/82/WE w sprawie kontroli niebezpieczeństwa poważnych awarii związanych z substancjami niebezpiecznymi (dyrektywa Seveso II) [214, dyrektywa Seveso II (96/82/WE), 1996] oraz zmieniająca ją dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2003/105/WE. Dyrektywa Seveso II zawiera wykaz substancji, których dotyczą jej przepisy. Niektóre z nich są używane w pewnych zakładach celulozowo-papierniczych, m.in. dwutlenek siarki (R9-22-51/53), chloran sodu (R23-24), gaz LPG (R12), metanol i tlen. Nadtlenek wodoru i dwutlenek chloru zwykle nie podlegają przepisom dyrektywy ze względu na to, że są używane w formie rozcieńczonych roztworów. Dyrektywa określa kategorie substancji (toksyczne, utleniające, wybuchowe, łatwopalne), do których mają zastosowanie jej przepisy.

Dyrektywa przewiduje trzy poziomy kontroli, zakładając, że w przypadku dużych ilości chemikaliów konieczne jest zaostrzenie kontroli. Zakład, który posiada substancję niebezpieczną w ilości poniżej niższych poziomów progowych określonych w dyrektywie nie jest objęty tymi przepisami, ale podlega przepisom ogólnym dotyczącym zdrowia, bezpieczeństwa i środowiska, określonych w innych aktach prawnych, które nie dotyczą bezpośrednio niebezpieczeństwa poważnych awarii.

Dyrektywa wymaga wdrożenia systemu zarządzania bezpieczeństwem. Operator jest

zobowiązany opracować plany operacyjno-ratownicze określające środki reagowania, które należy podjąć w zakładzie, i przedłożyć je władzom lokalnym, aby umożliwić im opracowanie zewnętrznych planów operacyjno-ratowniczych. Jeśli jest to wymagane, plany operacyjno-ratownicze powinny zostać poddane przeglądowi, zmienione i uaktualnione. Operatorzy mają obowiązek konsultować się ze swoim personelem w sprawie wewnętrznych planów operacyjno-ratowniczych, a także z władzami lokalnymi, aby umożliwić im prowadzenie konsultacji społecznych w zakresie zewnętrznych planów operacyjno-ratowniczych.

### **Rozporządzenie CLP**

Nowe rozporządzenie WE – rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady 1272/2008 w sprawie klasyfikacji, oznakowania i pakowania substancji i mieszanin (rozporządzenie CLP), weszło w życie w dniu 20 stycznia 2009 r. Ma ono bezpośrednie zastosowanie w całej UE bez konieczności jego transpozycji do przepisów krajowych. Obecnie obowiązują przepisy przejściowe, lecz rozpoczęto prace nad klasyfikacją substancji chemicznych i ich mieszanin zgodnie z nowymi kryteriami i znakowaniem ich z zastosowaniem nowych symboli ostrzegawczych (w formie piktogramów), podając jednocześnie obowiązujące instrukcje dotyczące zagrożeń i bezpieczeństwa. Rozporządzenie doprowadzi do stosowania bardziej jednolitego znakowania i pakowania substancji chemicznych, a także ułatwi identyfikację i postępowanie z substancjami, prowadząc tym samym do zwiększenia bezpieczeństwa w miejscu pracy i bezpieczeństwa środowiskowego.

### **Dyrektywa dotycząca wprowadzania na rynek produktów biobójczych**

Stosowanie produktów biobójczych jest regulowane dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady 98/8/WE dotyczącą wprowadzania do obrotu produktów biobójczych (dyrektywa BPD) i rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady 528/2012/UE w sprawie udostępniania na rynku i stosowania produktów biobójczych. Zakres dyrektywy BPD obejmuje 23 różne rodzaje produktów. Należą do nich slimicydy oraz środki chemiczne używane do konserwacji produktów i materiałów. Poniżej przedstawiono podstawowe przepisy dyrektywy.

- Substancje czynne są poddawane ocenie, a decyzja w sprawie ich uwzględnienia w załączniku I do dyrektywy BPD jest podejmowana na poziomie wspólnotowym.
- Produkty biobójcze są zatwierdzane na poziomie krajowym. Do obrotu mogą być dopuszczone tylko te produkty, które zawierają substancje czynne wymienione w załączniku I.
- Wzajemne uznawanie: produkt biobójczy dopuszczony do obrotu w jednym państwie członkowskim może być dopuszczony do obrotu, po złożeniu wniosku w tym zakresie, również w innym państwie członkowskim, o ile nie istnieją szczególne powody do odstąpienia od tej zasady.

Podejmowane są odrębne decyzje dotyczące nieuwzględniania substancji w załącznikach I, IA lub IB do dyrektywy BPD. Skonsolidowany wykaz istniejących substancji czynnych, dla których została podjęta decyzja o ich nieuwzględnieniu określa również daty, po których produkty zawierające te substancje czynne nie będą już mogły być wprowadzane do obrotu w odniesieniu do odpowiednich rodzajów produktów.

### **Wpływ innych aktów prawnych**

Obecne przepisy prawne zabraniają stosowania pewnych substancji stosowanych dotychczas w przemyśle celulozowo-papierniczym. Nonylofenole i etoksylaty nonylofenolu były stosowane jako środki powierzchniowo czynne i środki dyspergujące. Obecnie stosowanie



tych substancji jest zabronione. W papierniach stwierdzono stosowanie w niskich stężeniach niektórych substancji objętych przepisami prawnymi i stosowanych w dużych ilościach, np. slimicydów i środków zaklejających.

Dyrektywa 2008/105/WE w sprawie środowiskowych norm jakości w dziedzinie polityki wodnej zawiera w załączniku I wykaz substancji priorytetowych. Według CEPI (2010), żadna z wymienionych substancji priorytetowych nie jest wykorzystywana w procesie wytwarzania papieru i masy włóknistej (np. nonylofenole, związki nieorganiczne, DEHP). Mimo, że substancje priorytetowe uwzględnione w wykazie nie są stosowane, mogą one być jednak obecne w emisjach z oczyszczalni ścieków, ponieważ mogą być wprowadzane na teren zakładu w importowanej masie włóknistej lub wraz z wodami powierzchniowymi wykorzystywanymi do produkcji papieru pobieranymi powyżej ujęcia.

### **2.3.2.3 Magazynowanie chemikaliów, postępowanie z nimi i ich transport**

Wiele substancji chemicznych oraz dodatków chemicznych stosowanych w zakładach celulozowo-papierniczych zostało scharakteryzowane jako niebezpieczne w przypadku uwolnienia, w postaci stężonej. Wykorzystywane są substancje są w formie stałej, ciekłej i gazowej. Dlatego niezmiernie ważne jest prowadzenie kontroli łańcucha transportu, rozładunku, magazynowania i transportu do wykorzystania w procesie w celu zminimalizowania ryzyka dla personelu i środowiska (patrz pkt 2.9.2.3).

## 2.4 Zasilanie w wodę wykorzystywaną w ramach procesów i do chłodzenia

### 2.4.1 Uzdatnianie wody surowej

Wymagania dotyczące jakości wody wykorzystywanej w przemyśle papierniczym wykazują znaczne różnice w zależności od przeznaczenia wody (woda procesowa, do chłodzenia), jakości produktów oraz procesów produkcyjnych stosowanych w danym zakładzie celulozowo-papierniczym. W związku z tym wykorzystywana woda surowa i jej źródła (wody gruntowe, wody powierzchniowe) wykazuje znaczne różnice pomiędzy poszczególnymi zakładami. Główne zanieczyszczenia wody surowej, które muszą być usuwane, to barwa (naturalnie brązowa lub żółtawa) i mętności (małe cząstki zawieszonych substancji organicznych i nieorganicznych) w przypadku wód powierzchniowych (po pierwszym oczyszczeniu mechanicznym), twardość (rozpuszczone sole wapnia i magnezu) oraz żelazo i mangan. Ich obecność zależy przede wszystkim od wykorzystywanego źródła wody. W wielu krajach europejskich do produkcji mas włóknistych i papieru wykorzystywane są jedynie wody powierzchniowe. W innych wykorzystywane są także wody gruntowe, jako część wody procesowej. Jakość wody można poprawić stosując szeroki zakres działań uzdatniających, które mogą zależeć od zamierzonego wykorzystania wody i jakości wody potrzebnej do tego celu.

#### 2.4.1.1 Uzdatnianie wody procesowej

Uzdatnianie wody w zakładach celulozowo-papierniczych ma zazwyczaj na celu usunięcie cząstek stałych, barwy i substancji organicznych oraz żelaza i manganu. W kilku przypadkach usuwane są także rozpuszczone sole, a woda jest dezynfekowana. Z wyjątkiem cząstek stałych, usunięcie większości z ww. zanieczyszczeń wymaga zastosowania jednej z form oczyszczania chemicznego (w kilku przypadkach – w odniesieniu do wody procesowej – stosuje się także wymianę jonową, natomiast w przypadku wody zasilającej kocioł, metoda ta jest stosowana w większości przypadków) w związku z zanieczyszczoną wodą spłukującą, która jest zwykle oczyszczana wraz ze ściekami z wody procesowej. Oczyszczanie mechaniczne poprzez zastosowanie ekranów i filtrów jest zazwyczaj przeprowadzane przed oczyszczeniem chemicznym, w celu usunięcia małych organizmów, liści, trawy i innych zanieczyszczeń.

W przypadku oczyszczania chemicznego woda jest często napowietrzana, dodawane są odpowiednie substancje chemiczne i jest mieszana, aby doprowadzić do koagulacji i flokulacji; następnie zachodzi flokulacja (przy zastosowaniu środków koagulujących, jeśli zajdzie taka potrzeba), a powstałe kłaczkowate osady są oddzielane od fazy ciekłej poprzez klarowanie i filtrowanie przez piasek. W celu flokulacji zanieczyszczeń dodawane są koagulanty, np. siarczan glinu. Innym powszechnie stosowanym koagulantem jest glinian sodu. W celu dekarbonizacji można zastosować  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  i  $\text{Fe}(\text{Cl})_3$ . Koagulanty dodatkowe są stosowane w przypadku niewystarczającego formowania się kłaczek. Inne substancje chemiczne są stosowane przede wszystkim do regulacji pH. Większość kłaczek powstających podczas koagulacji i mieszania jest usuwana w trakcie klarowania. Odbywa się to poprzez sedymentację lub flotację. W procesie wytwarzania świeżej wody przeznaczonej do wykorzystania w przemyśle celulozowo-papierniczym, kłaczkowate osady, które pozostały w sklarowanej wodzie po oczyszczeniu chemicznym są usuwane poprzez filtrację. Złoża filtracyjne filtrów są co jakiś czas wypłukiwane do czystą wodą lub mieszaniną wody i powietrza. Woda wykorzystana do przepłukiwania jest zazwyczaj kierowana do oczyszczalni ścieków. Przed doprowadzeniem uzdatnionej wody do zbiorników magazynowych lub sieci zasilającej, woda jest niekiedy dezynfekowana.

W ramach uzdatniania wody procesowej zużywana jest energia elektryczna i powstaje osad, który należy poddać oczyszczaniu.

#### 2.4.1.2 Uzdatnianie wody zasilającej kotły

Woda wykorzystywana w kotłowni jest zwykle uzdatniana z wykorzystaniem wymiany jonowej. Uzdatnianie obejmuje zawrót kondensatu do elektrowni na terenie zakładu oraz wytworzenie wody zasilającej elektrownię i wody uzupełniającej. W większości przypadków kondensaty są najpierw filtrowane w celu usunięcia zanieczyszczeń pochodzących z rurociągu. Przefiltrowana woda jest kierowana do stacji wymiany jonowej. Wymiana jonowa odbywa się zazwyczaj na wymiennikach ze złożem mieszanym (zawierającym żywice jonowymienne anionowe jak i kationowe). W przypadku zakładów wytwarzających wodę uzupełniającą dejonizowaną, woda jest poddawana najpierw uzdatnianiu chemicznemu, po czym przepuszcza się ją przez stacje ze złożami anionowymi, kationowymi i mieszanymi. W zależności od rodzaju stosowanej żywicy jonowymiennej, kolumna jest regenerowana kwasem, zasadą lub roztworem chlorku sodu. Powstałe ścieki są zbierane i neutralizowane przed odprowadzeniem do oczyszczalni ścieków.

Woda użyta do mycia wymienników jonowych podczas ich regeneracji jest źródłem części całkowitego zrztu soli z zakładu, co stanowi problem szczególnie dla tych zakładów, w których obieg wody jest zamknięty w bardzo dużym stopniu, ponieważ woda ta niesie znaczny ładunek soli.

Dodatkowe oczyszczanie wody kotłowej może obejmować dodanie wodorosiarczynu, amoniaku lub hydrazyny w celu regulacji pH i jako zmiataczy tlenu w celu ograniczenia korozji.

#### 2.4.2 Układy chłodzące i wykorzystanie wody chłodzącej

Oprócz powietrza, zakłady celulozowo-papiernicze i powiązane z nimi obiekty wytwarzające energię, wykorzystują tradycyjnie duże ilości wody z jezior i rzek do celów chłodzenia. Zadaniem takiego układu chłodzącego jest usuwanie ciepła z procesów lub urządzeń, takich jak silniki lub ogólnie urządzenia wirujące, układy hydrauliczne, transformatory, skraplacze, sprężarki, jak również urządzenia do wentylacji pomieszczeń, itp. aby kontrolować temperaturę procesów i ścieków, a także, by poprawić warunki w miejscu pracy. Ciepło usunięte z procesu jest przekazywane do wody chłodzącej lub powietrza. Przekazywanie ciepła z wód procesowych lub urządzeń prowadzi do wzrostu temperatury wody chłodzącej, która jest odprowadzana lub zawracana po schłodzeniu, bądź też jest wykorzystywana jako ciepła woda w procesie.

W niektórych krajach obowiązują szczególne przepisy dotyczące ochrony środowiska w odniesieniu do funkcjonowania systemów chłodzenia oraz stosowania i odprowadzania substancji chemicznych używanych do zapobiegania korozji, odkładaniu się kamienia i/lub biologicznego wzrostu. Szczegółowe informacje na temat najlepszych dostępnych technik BAT dla przemysłowych systemów chłodzenia przedstawiono w Dokumencie referencyjnym dla najlepszych dostępnych technik w przemysłowych systemach chłodzenia [270, COM 2001].

##### 2.4.2.1 Rodzaje systemów chłodzenia stosowanych w zakładach celulozowo-papierniczych

Systemy chłodzenia można ogólnie podzielić na trzy główne rodzaje: układy z jednokrotnym przepływem, układy zamknięte i otwarte układy recyrkulacyjne, w których najczęściej wykorzystywane są chłodnie kominowe i wyparki. Podgrzana woda chłodząca jest albo odprowadzana przy podwyższonej temperaturze do wód przyjmujących (układ chłodzenia z

jednokrotnym przepływem) lub jest ochładzana i ponownie wykorzystana (zamknięty system chłodzenia). Wybór rozwiązania zależy od lokalizacji i koncepcji chłodzenia przyjętej przez dany zakład, tzn. zależy od dostępności wody słodkiej i zdolności przyjęcia ciepła przez przyjmujący zbiornik wodny.

#### a) Układy chłodzenia z jednokrotnym przepływem

Układy chłodzenia wykorzystujące zdolności chłodzące wody tylko jeden raz są nazywane układami chłodzenia z jednokrotnym przepływem. Nawet najmniejszy układ tego rodzaju wymaga stosowania dużych ilości wody. W związku z tym konieczna jest duża podaż wody o odpowiednio niskiej temperaturze. Układy chłodzenia z jednokrotnym przepływem są instalowane w miejscach dobrze zaopatrzonych w wodę z rzeki lub jeziora. Zakłady odprowadzają wykorzystaną wodę chłodzącą o podwyższonej temperaturze bezpośrednio z powrotem do rzeki/jeziora. Wymogi dotyczące dopuszczalnego ładunku ciepła odprowadzanego do zbiornika wodnego (takie jak maksymalna wartość temperatury w okresie letnim i zimowym oraz maks.  $\Delta T$  w porównaniu do warunków naturalnych) oraz odpowiedniego wymieszania z otaczającą wodą są zazwyczaj określane przez właściwe organy.

Jedynym sposobem uzdatniania zewnętrznego stosowanym na ogół w odniesieniu do systemów chłodzenia z jednokrotnym przepływem jest przesiewanie mechaniczne mające na celu ochronę urządzeń wylotowych przed poważnymi uszkodzeniami spowodowanymi ingerencją obcych materiałów. Właściwości chemiczne wody nie ulegają istotnym zmianom. Nie stosuje się substancji chemicznych przeznaczonych do ochrony przeciw korozji i tworzeniu się kamienia. Zimą może być stosowana podgrzana woda chłodząca do wytwarzania chemicznie oczyszczonej wody w celu zapewnienia prawidłowego oczyszczania.

#### b) Chłodzenie i ponowne wykorzystanie wody (układy otwarte i zamknięte układy z recyrkulacją)

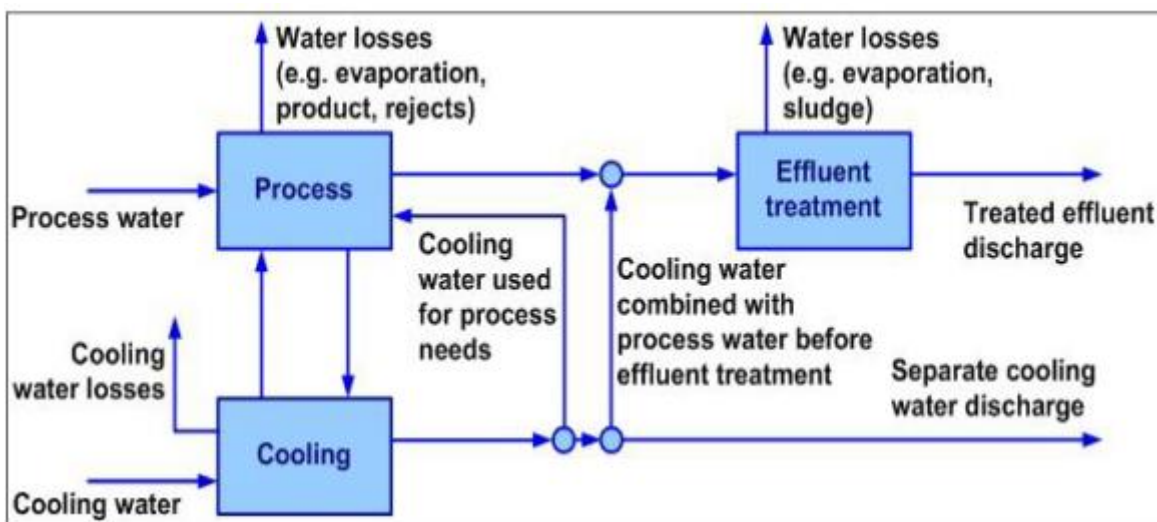
Otwarty układ chłodzenia z recyrkulacją wykorzystuje tę samą wodę wielokrotnie do chłodzenia urządzeń technologicznych lub wody procesowej. Ciepło pobierane z procesu i przekazywane do wody chłodzącej jest odprowadzane do atmosfery, aby umożliwić ponowne wykorzystanie wody do celów chłodzenia. Najczęściej wykorzystywanym rodzajem otwartego układu chłodzenia z recyrkulacją jest chłodnia kominowa. Podgrzana woda chłodząca jest częściowo odparowywana w chłodni kominowej, gdy wylatujące powietrze styka się ze spływającą wodą.

Chłodzenie odbywa się poprzez odparowanie części wody. Parowanie powoduje utratę czystej wody z układu i prowadzi do stężenia pozostałych rozpuszczonych cząstek stałych. Woda odparowana do atmosfery jest zastępowana wodą uzupełniającą. Co pewien czas konieczne jest usunięcie pewnej ilości wody w celu kontroli zwiększenia zanieczyszczeń; konieczne jest wówczas dodanie świeżej wody, aby uzupełnić układ.

Otwarte układy chłodzenia z recyrkulacją pozwalają na znaczne oszczędności słodkiej wody w porównaniu z chłodzeniem z jednokrotnym przepływem. Chemiczne uzdatnianie wody chłodzącej jest konieczne, aby zapobiec korozji, osadzaniu się kamienia lub obrastaniu powierzchni przez organizmy żywe, dzięki czemu substancje te są uwalniane do przyjmującego zbiornika wodnego jedynie sporadycznie. W związku z tym, że wraz z wodą uzupełniającą wprowadzane są do obiegu nowe rozpuszczone minerały i mikroorganizmy, w tego rodzaju obiegu konieczne jest ciągle stosowanie substancji chemicznych służących do uzdatniania wody. W niektórych przypadkach można stosować uzdatnianie szokowe. Substancje chemiczne przeznaczone do uzdatniania są stosowane także w celu zastąpienia chemikaliów utraconych podczas odmulania.

W zamkniętym układzie chłodzenia z recyrkulacją, woda krąży w obiegu zamkniętym i jest poddawana alternatywnie chłodzeniu i podgrzewaniu, bez kontaktu z powietrzem. Ciepło absorbowane przez wodę transportującą ciepło w układzie zamkniętym, jest zwykle przenoszone przez agregat chłodniczy, który usuwa ciepło z cieczy poprzez kompresję pary lub absorpcyjny cykl chłodzenia, z którego ciepło jest tracone do atmosfery. W przypadku zamkniętych układów z cyrkulacją, chemiczne uzdatnianie wody chłodzącej jest konieczne, by zapobiegać korozji, odkładaniu się kamienia i/lub wzrostowi mikrobiologicznemu. Nawet wówczas, niezbędna jest ciągła wymiana mniejszej części wody krążącej w obiegu. Oczyszczone strumienie umożliwiają usunięcie z obiegu zawieszonych cząstek i zgromadzonych soli. Zastosowany czynnik decentrujący zależy od właściwości chemicznych wody surowej znajdującej się w obiegu i od sposobu utylizacji. Oczyszczone strumienie powinny być uzdatniane razem z wodą procesową. Produktami stosowanymi do uzdatniania wody i do kontroli osadów są m.in. biocydy utleniające i nieutleniające. Środki przeciw tworzeniu się kamienia kotłowego są stosowane w celu zapobiegania tworzeniu się kamienia i krystalizacji.

W zależności od lokalizacji, rodzaju zakładu i wybranego układu chłodzenia, podgrzewana woda chłodząca, niemająca kontaktu z tlenem, może być stosowana jako woda procesowa, która następnie jest łączona ze ściekami procesowymi przed ich oczyszczeniem. Następnie woda ta jest odprowadzana z oczyszczonymi ściekami procesowymi w formie połączonego strumienia. W tym przypadku nie ma oddzielnego odprowadzania wody chłodzącej, ponieważ jest ona całkowicie przekształcana w wodę procesową. W kilku przypadkach woda chłodząca niemająca kontaktu z tlenem może być łączona ze ściekami procesowymi po ich oczyszczeniu, i następnie odprowadzana jako strumień połączony, bądź też woda chłodząca jest odprowadzana z oddzielnego punktu zrzutu wody chłodzącej niemającej kontaktu z tlenem. Rysunek 2.9 ilustruje ww. możliwości wykorzystania i odprowadzania wody chłodzącej.



Rysunek 2. 9 Możliwości wykorzystania i odprowadzania wody chłodzącej

Process water	Woda procesowa
Water losses (e.g. evaporation, product, rejects)	Straty wody (np. parowanie, produkt, odrzuty)
Process	Proces
Water losses (e.g. evaporation, sludge)	Straty wody (np. parowanie, szlam)
Effluent treatment	Oczyszczanie ścieków
Treated effluent discharge	Odprowadzanie oczyszczonych ścieków
Cooling water used for process needs	Woda chłodząca dla celów procesu
Cooling water combined with process water before effluent treatment	Woda chłodząca połączona z wodą procesową przed oczyszczeniem ścieków
Separate cooling water discharge	Oddzielne odprowadzanie wody chłodzącej
Cooling water losses	Straty wody chłodzącej
Cooling water	Woda chłodząca
Cooling	Chłodzenie

W niniejszym dokumencie woda chłodząca jest uwzględniana w przedstawionym strumieniu wody procesowej ( $m^3/ADt$ ) tylko, gdy jest wykorzystywana jako woda procesowa, lub gdy zanieczyszczone strumienie są oczyszczane i uzdatniane razem z wodą procesową w tej samej oczyszczalni ścieków.

## 2.5 Zużycie energii w zakładach celulozowo-papierniczych

Sektor celulozowo-papierniczy jest energochłonną gałęzią przemysłu. W skali globalnej, jest czwartym co do wielkości przemysłowym odbiorcą energii, pochłaniając 5,7% całkowitej energii zużywanej przez przemysł [ 197, IEA 2007 ]. Produkcja mas włóknistych i papieru wymaga nakładów energii w postaci ciepła i energii elektrycznej.

Energia cieplna, zazwyczaj w postaci pary pod wysokim ciśnieniem, jest używana do generowania energii elektrycznej w turbogeneratorach. Następnie para wodna pochodząca z turbin o średnim lub niskim ciśnieniu jest wykorzystywana głównie w następujących celach:

- ogrzewanie wody, zrębków drzewnych, włókien celulozowych, powietrza i chemikaliów do temperatury procesu;
- ogrzewanie cieczy warzelnej w przypadku roztwarzania chemicznego;
- odparowywanie wody z ługów powarzelnych z roztwarzania siarczanowego lub siarczynowego w wyparkach, przed ich spalaniem w kotłach regeneracyjnych;
- dyspersja masy makulaturowej (w pewnych przypadkach ogrzewanie masy makulaturowej w dyspergatorach);
- odparowywanie wody z masy włóknistej lub arkuszy papieru w części suszącej maszyny papierniczej lub maszyny do wytwarzania mas włóknistych;
- suszenie papieru powlekanego.

Energia elektryczna jest wykorzystywana w zakładach celulozowo-papierniczych do wielu celów i do obsługi różnych urządzeń, takich jak.:

- ścieraki i młyny rozbijające wykorzystywane w produkcji ścieru drzewnego, TMP i CTMP;
- rozczyniacze do rozczyniania zakupionej masy włóknistej lub do roztwarzania włókien wtórnych;
- mielenie masy i jej rafinacja;
- napędy do maszyn papierniczych i innych urządzeń do produkcji mas włóknistych i papieru;
- transport z wykorzystaniem pomp, dmuchaw, przenośników paskowych i ślimakowych;
- mieszanie cieczy i zawiesin;
- przygotowanie chemikaliów na miejscu;
- pompy próżniowe;
- sprężarki.

Następujące tendencje zwiększają ogólnie zużycie energii elektrycznej w ramach produkcji mas włóknistych i papieru:

- wyższe wymagania jakościowe dla papieru (zwiększone zużycie energii elektrycznej w procesie roztwarzania mechanicznego i suszenia powłok);
- większa prędkość maszyn papierniczych;
- nowe technologie w zakresie prasowania i suszenia, zmniejszające zużycie ciepła (np. elektryczne maszyny suszące w podczerwieni);
- zaostrzone wymogi w zakresie ochrony środowiska i związane z tym techniki kontroli (np. oczyszczanie ścieków i gazów odlotowych);

Dzięki wprowadzaniu nowych trybów pracy i narzędzi, takich jak analiza efektywności energetycznej, lub audytów energetycznych (patrz pkt 2.9.5), integracji procesów lub stosowaniu nowszego sprzętu, możliwe jest osiągnięcie znacznej poprawy efektywności energetycznej. Wydajność zarówno produkcji papieru jak i wytwarzania energii można zwiększyć poprzez opracowanie zaawansowanego monitorowania procesów (patrz np. pkt 2.9.10). Posiadanie wykwalifikowanych i zmotywowanych pracowników oraz dostępność wiarygodnych informacji o procesach umożliwia stosowanie energooszczędnych sposobów prowadzenia zakładów i elektrowni. Więcej informacji na temat efektywności energetycznej można znaleźć w Dokumencie referencyjnym na temat najlepszych dostępnych technik dla efektywności energetycznej (ENE) [ 268, COM 2009 ].

Do porównania zużycia energii w zakładach celulozowo-papierniczych mogą być wykorzystywane czynniki będące źródłem niepewności i nieporozumień. Typowy zakład produkuje więcej niż jeden rodzaj papieru/masy włóknistej z drewna pozyskanego z różnych gatunków drzew i często różnych mieszanek surowca włóknistego. Każdy rodzaj produktu wiąże się zwykle z określonym poziomem zużycia energii, jednak całkowite roczne zużycie energii zależy od dystrybucji produkcji, wydajności roztwarzania, tego, czy masa jest poddawana suszeniu czy też nie, a także od pory roku (większe zużycie ciepła zimą niż w lecie). Analiza porównawcza różnych zakładów nie jest łatwa ze względu na różnorodność produktów wytwarzanych w różnych zakładach. W tym podrozdziale przedstawiono niektóre z zagadnień, typowe dane dotyczące zużycia energii w zakładach celulozowo-papierniczych i znaczenie pewnych procesów w bilansie energetycznym zakładów. Więcej informacji dotyczących zużycia energii w procesie produkcji określonego rodzaju masy włóknistej lub papieru przedstawiono w rozdziałach od 3 do 7.

### **2.5.1      Kwestie, które należy uwzględnić czytając zgłaszane dane dotyczące zużycia energii**

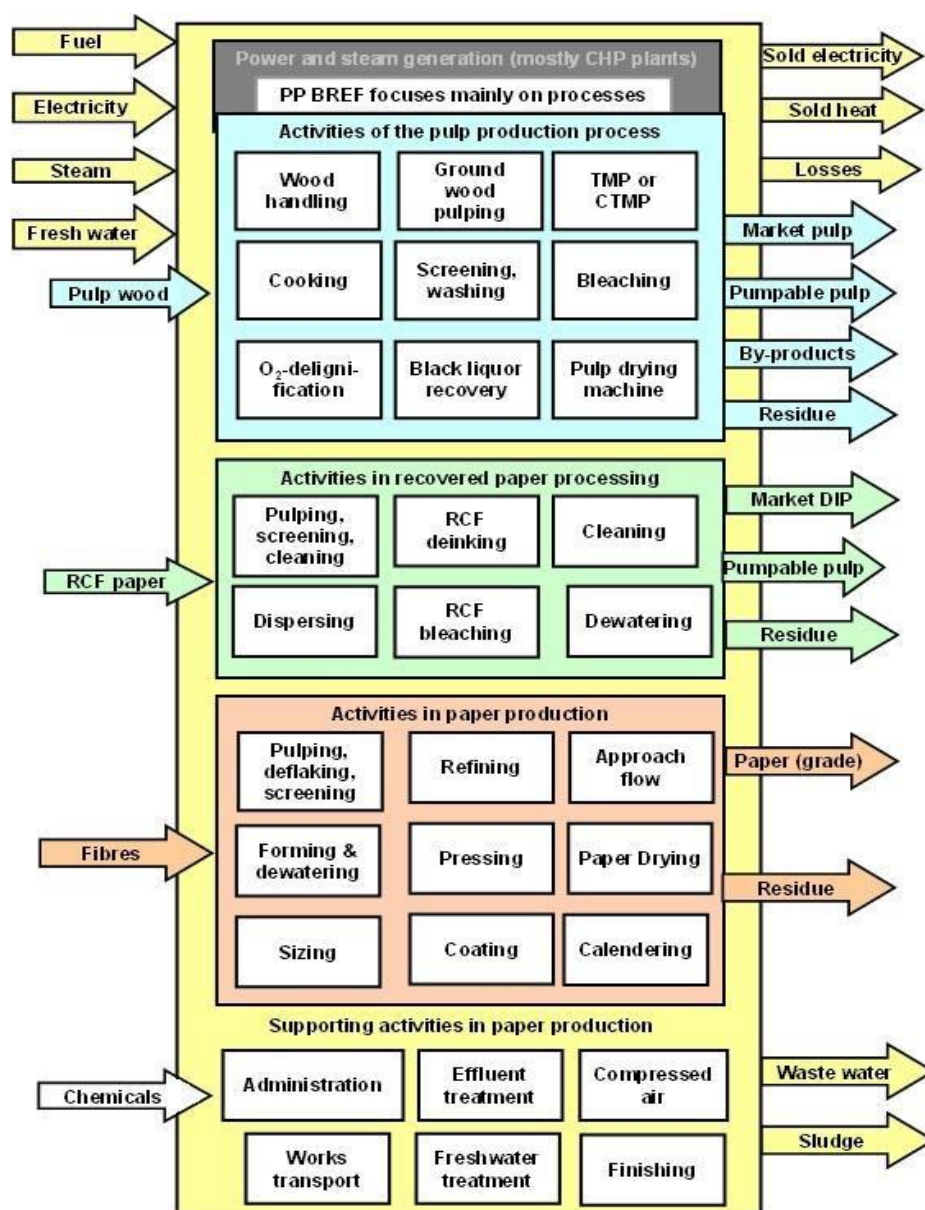
Porównując dane dotyczące zużycia energii należy pamiętać, że sposób ewidencji tych danych i ich raportowania nie został jeszcze ujednoczony [ 249, Blum i wsp. 2007 ]. W wielu przypadkach uzyskanie porównywalnych danych dotyczących zużycia energii w poszczególnych zakładach może być problematyczne ze względu na różnorodność czynników mających istotny wpływ na zużycie energii. W ramach zakładu funkcjonuje wiele jednostek zużywających energię, a zdarza się, że zainstalowano w nich tylko kilka punktów pomiarowych przeznaczonych do monitorowania zużycia energii. W przypadku tego samego rodzaju masy włóknistej lub papieru, występują różnice dotyczące składu surowcowego, właściwości produktu i zainstalowanych urządzeń procesowych (patrz Tabela 2.10).

Przeprowadzając ocenę lub porównanie danych odnoszących się do zużycia energii w zakładach celulozowo-papierniczych, należy uwzględnić kompletność działań ujętych w bilansie energetycznym. W niektórych przypadkach pozornie wyższy poziom efektywności energetycznej może tłumaczyć nieuwzględnienie przez dany zakład istotnych jednostek zużywających energię, uwzględnionych przez inny zakład. Na przykład, niektóre zakłady uwzględniają oczyszczanie ścieków, wykończanie, administrację i różne działania prowadzone w procesie produkcji mas włóknistych, podczas gdy inne zakłady wyłączają je ze swoich danych. Rysunek 2.10 pokazuje schematyczny przegląd podsystemów, które należy uwzględniać przy porównywaniu bilansów energetycznych zakładów celulozowo-papierniczych, i przedstawia, w górnej części, główne przepływy energii (na wejściu i wyjściu). Uwzględniono także surowiec włóknisty, wytwarzane produkty i pozostałości, ponieważ ich rodzaj, ilości i właściwości także mogą mieć wpływ na zużycie energii w



---

danym zakładzie. Istotne podsystemy zużywające energię zostały podzielone na trzy obszary przetwarzania: produkcję mas włóknistych, przetwarzanie makulatury i produkcję papieru. Te trzy obszary przetwarzania uwzględniają typowe etapy procesu (podsystemy). Każdy z tych podsystemów zużywa energię, i ma tym samym wpływ na bilans energetyczny całego zakładu. Na przykład, oceniając sytuację energetyczną zakładu z linią roztwarzania mechanicznego, należy wiedzieć, czy stosowany w nim proces rozwłókniania jest oparty na ścierze drzewnym czy rafinacji TMP. Inne aspekty uwzględniane w bilansie schematycznym, takie jak działania wspierające, m.in. administracja, są mniej istotne (patrz pkt 2.5.4).



Źródło: [ 194, Francis 2007 ] zmodyfikowano przez EIPPCB

Rysunek 2. 10 Schemat podsystemów, które należy uwzględnić porównując bilanse energetyczne zakładów celulozowo-papierniczych

Fuel	Paliwo
Electricity	Energia elektryczna
Steam	Para wodna
Fresh water	Woda słodka
Pulp wood	Ścier drzewny
RCF paper	Papier RCF
Fibres	Włókna

Chemicals	Substancje chemiczne
Power and steam generation (mostly CHP plants)	Wytwarzanie energii elektrycznej i pary (głównie przez elektrociepłownie)
PP BREF focuses mainly on processes	Dokument BREF PP koncentruje się głównie na procesach
Activities of the pulp production process	Operacje w ramach procesu wytwarzania mas włóknistych
Wood handling	Obróbka drewna
Ground wood pulping	Produkcja ścieru drzewnego
TMP or CTMP	TMP lub CTMP
Cooking	Warzenie
Screening, washing	Sortowanie, mycie
Bleaching	Wybielanie
O2-delignification	Delignifikacja tlenowa
Black liquor recovery	Odzysk ługu czarnego
Pulp drying machine	Maszyna susząca masę włóknistą
Activities in recovered paper processing	Operacje w ramach przetwarzania makulatury
Pulping, screening, cleaning	Rozwłóknianie, sortowanie, czyszczenie
RCF deinking	Odbarwianie RCF
Cleaning	Czyszczenie
Dispersing	Dyspergowanie
RCF bleaching	Bielenie RCF
Dewatering	Odwadnianie
Activities in paper production	Operacje w ramach produkcji papieru
Pulping, deflaking, screening	Rozwłóknianie, usuwanie płatków, sortowanie
Refining	Rafinacja
Approach flow	Dopływ masy
Forming & dewatering	Formowanie i odwadnianie
Pressing	Prasowanie
Paper Drying	Suszenie papieru

Sizing	Zaklejanie
Coating	Powlekanie
Calendering	Kalandrowanie
Supporting activities in paper production	Czynności pomocnicze w produkcji papieru
Administration	Administracja
Effluent treatment	Oczyszczanie ścieków
Compressed air	Sprężone powietrze
Works transport	Transport w ramach prac
Fresh water treatment	Uzdatnianie wody słodkiej
Finishing	Wykończanie
Sold electricity	Sprzedana energia elektryczna
Sold heat	Sprzedana energia cieplna
Losses	Straty
Market pulp	Masa włóknista towarowa
Pumpable pulp	Masa włóknista zdolna do pompowania
By-products	Produkty uboczne
Residue	Pozostałości
Market DIP	Masa DIP towarowa
Pumpable pulp	Masa włóknista zdolna do pompowania
Residue	Pozostałości
Paper (grade)	Papier (rodzaj)
Residue	Pozostałości
Waste water	Ścieki
Sludge	Szlam
Source: [ 194, Francis 2007 ] modified by EIPPCB	Źródło: [ 194, Francis 2007 ], zmodyfikowano przez EIPPCB

Wartości referencyjne dla całkowitego zużycia energii pierwotnej (nakładów paliwa, energii elektrycznej i pary) w zakładzie celulozowo-papierniczym, lub dla zużycia energii do wytworzenia ciepła do prowadzenia procesów i energii elektrycznej używanej w procesie produkcji danego rodzaju masy włóknistej/papieru powinny odnosić się do tego samego rodzaju produkcji i powinny uwzględniać porównywalne podprocesy. Jednak rejestrowane i zgłaszane

dane często nie mają aż tak dużego poziomu szczegółowości. W związku z tym dane dotyczące zużycia energii przedstawione w niniejszym dokumencie mają charakter orientacyjny, ponieważ obejmują one wiele podobnych przypadków, lecz niekoniecznie wszystkie.

Mając na uwadze, że zużycie energii jest silnie uzależnione od analizowanego systemu (granic systemu), rodzaju zakładu (zintegrowany lub niezintegrowany), metody rozwłókniania (rozwłóknianie siarczanowe, siarczynowe, GW, TMP, CTMP, przetwarzanie RCF, itd.), rodzaju, gramatury i jakości wyprodukowanego papieru i związanych z tym procesów, osoba wykorzystująca dane referencyjne dotyczące zużycia energii do celów analizy porównawczej powinna być świadoma tych wzajemnych powiązań.

## 2.5.2 Przykłady całkowitego zużycia energii procesowej w zakładach celulozowo-papierniczych

Liczby dotyczące zużycia energii w kilku przykładowych zakładach celulozowo-papierniczych zaprezentowane w tabeli 2.9 przedstawiają rzeczywiste wartości odnoszące się do zużycia energii procesowej (nie uwzględniono elektrowni, i co za tym idzie, konwersji paliw pierwotnych w energię i parę technologiczną) w przypadku kilku istotnych rodzajów papieru. W przypadku wytwórni zintegrowanych poszczególne wartości dotyczące zużycia energii odnoszą się do całkowitej produkcji papieru, w tym rozwłókniania mechanicznego lub przetwarzania makulatury. Wartości podane w tabeli 2.9 uzyskano z różnych źródeł danych. Granice systemu (w każdym przypadku rozpatrywany jest cały zakład, nie uwzględniając strat związanych z konwersją paliw kopalnych w celu wytwarzania pary i energii elektrycznej, patrz rysunek 2.10) oraz poziom produkcji (w tym przypadku produkcja netto gotowa na sprzedaż) są takie same dla wszystkich prezentowanych zakładów.

**Tabela 2.9** Zużycie energii wykorzystywanej bezpośrednio w procesie produkcji i w instalacjach pomocniczych powiązanych z produkcją w kilku przykładowych zakładach celulozowo-papierniczych

Rodzaj produkowanej masy włóknistej/papieru	Zakres zużycia energii		Źródło danych (liczba zakładów)
	Jednostki	od – do	
Masa celulozowa siarczanowa produkowana w wytwórni niezintegrowanej	Energia elektryczna (kWh/ADt) Energia cieplna (kWh/ADt) <sup>(7)</sup>	700 – 800 3 800 – 5 100	<sup>(1)</sup> (5 zakładów)
Papier drzewny niepowlekany produkowany w wytwórni zintegrowanej (obejmuje rozwłóknianie mechaniczne (RM) i może się odnosić do ścieru drzewnego (GW), masy TMP lub innych rodzajów włókien) <sup>(5)</sup>	Energia elektryczna (kWh/t) <sup>(6)</sup> Energia cieplna (kWh/t) <sup>(7)</sup>	1 200 – 1 400 1 000 – 1 600	<sup>(2)</sup> (1 zakład); <sup>(4)</sup> (2 zakładów)
Papier drzewny powlekany produkowany w wytwórni zintegrowanej (obejmuje rozwłóknianie mechaniczne (RM) i może się odnosić do ścieru drzewnego (GW), masy TMP lub innych rodzajów włókien) <sup>(5)</sup>	Energia elektryczna (kWh/t) <sup>(6)</sup> Energia cieplna (kWh/t) <sup>(7)</sup>	1 200 – 2 100 1 300 – 1 800	<sup>(2)</sup> (2 zakłady); <sup>(3)</sup> (8 zakładów); <sup>(4)</sup> (3 zakłady)
Papier do drukowania produkowany z masy TMP w wytwórni zintegrowanej (> 90% TMP)	Energia elektryczna (kWh/t) Energia cieplna (kWh/t)	2 500 – 2 700 330 <sup>(8)</sup>	Afconsult (1 zakład)
Papier powlekany bezdrzewny produkowany w wytwórni niezintegrowanej	Energia elektryczna (kWh/t) <sup>(6)</sup> Energia cieplna (kWh/t) <sup>(7)</sup>	600 – 1 000 1 200 – 2 100	<sup>(3)</sup> (5 zakładów); <sup>(4)</sup> (2 zakłady)
Papier na bazie nieodbarwionej masy RCF (pakowy)	Energia elektryczna (kWh/t) <sup>(6)</sup> Energia cieplna (kWh/t) <sup>(7)</sup>	300 – 700 1 100 – 1 800	<sup>(2)</sup> (1 zakład); <sup>(3)</sup> (11 zakładów); <sup>(4)</sup> (7 zakładów)

Papier na bazie odbarwionej masy RCF (do drukowania)	Energia elektryczna (kWh/t) <sup>(6)</sup> Energia cieplna (kWh/t) <sup>(7)</sup>	900 – 1 400 1 000 – 1 600	<sup>(2)</sup> (1 zakład); <sup>(3)</sup> (7 zakładów); <sup>(4)</sup> (4 zakłady)
Karton na bazie masy RCF (z odbarwianiem)	Energia elektryczna (kWh/t) <sup>(6)</sup> Energia cieplna (kWh/t) <sup>(7)</sup>	400 – 700 1 000 – 2 700	<sup>(2)</sup> (1 zakład); <sup>(3)</sup> (4 zakłady); <sup>(4)</sup> (5 zakładów)
Niezintegrowana wytwórnia bibułki tissue (bez suszenia przedmuchowego TAD)	Energia elektryczna (kWh/t) <sup>(6)</sup> Energia cieplna (kWh/t) <sup>(7)</sup>	900 – 1 200 1 900 – 2 300	<sup>(2)</sup> (2 zakłady); <sup>(3)</sup> (4 zakłady)
Wytwórnia bibułki tissue na bazie masy RCF (bez suszenia przedmuchowego TAD)	Energia elektryczna (kWh/t) <sup>(6)</sup> Energia cieplna (kWh/t) <sup>(7)</sup>	800 – 2 000 1 900 – 2 800	<sup>(2)</sup> (1 zakład); <sup>(4)</sup> (3 zakłady)
Bezdrzewny papier specjalny	Energia elektryczna (kWh/t) <sup>(6)</sup> Energia cieplna (kWh/t) <sup>(7)</sup>	600 – 3 000 1 600 – 4 500	<sup>(2)</sup> (3 zakłady); <sup>(3)</sup> (3 zakłady)
<p>NB:</p> <p><sup>(1)</sup> Szwedzka Agencja Ochrony Środowiska, dane statystyczne dotyczące szwedzkich celulozowni siarczanowych, 2005.</p> <p><sup>(2)</sup> PTS, Badania egzaminacyjne: Optymalizacja zużycia energii w europejskich wytwórniach (niepublikowane), Monachium 2004 do 2007 r..</p> <p><sup>(3)</sup> PTS, Gromadzenie danych dotyczących niemieckich zakładów celulozowo-papierniczych na potrzeby wewnętrzne (niepublikowane), Monachium 2004 do 2006 r..</p> <p><sup>(4)</sup> Badanie ankietowe przeprowadzone przez Institution for Science and Paper Technology GmbH (niepublikowane) Darmstadt, 2007 r.</p> <p><sup>(5)</sup> W przypadku papieru drzewnego produkowanego w wytwórni zintegrowanej należy zauważyć, że łączne zużycie energii do wytwarzania papieru i rozwłóknienia mechanicznego jest bezpośrednio proporcjonalną funkcją udziału i rodzaju masy mechanicznej w masie papierniczej. Zużycie energii do produkcji masy termomechanicznej (TMP) jest zwykle wyższe niż w przypadku ścieru ciśnieniowego/białego (PGW/SGW) i znacznie wyższe niż w przypadku RCF (włókien wtórnych). Więcej informacji na ten temat przedstawiono w pkt 5.2.2.7.</p> <p><sup>(6)</sup> Nie uwzględniono energii pierwotnej z wyjątkiem gazu (dolna wartość kaloryczna) wykorzystywanego w suszarkach na podcierwień lub suszarkach powietrznych, bądź też piecach obkurczających. Elektrownia jest poza granicami systemu. Aby przeliczyć zakupione zapotrzebowanie na energię na wykorzystywaną energię pierwotną należy uwzględnić uzysk energii w produkcji energii elektrycznej w danym kraju (jeżeli jest znany) lub na poziomie UE. Na przykład, na poziomie UE-25 całkowita energia pierwotna potrzebna do wytworzenia 1 kWh energii elektrycznej wynosi 2,62 kWh skumulowanego zapotrzebowania na energię (źródło: Model do obliczania globalnych emisji w systemach zintegrowanych GEMIS, dane zaczerpnięte z UE, DG-TREN 2003: Tendencje w energetyce i transporcie w Europie do 2030 r. (PRIMES)).</p> <p><sup>(7)</sup> Wartości dotyczące zużycia energii cieplnej nie uwzględniają ciepła do produkcji energii elektrycznej. Aby przeliczyć [kWh] na [MJ] należy pomnożyć [kWh] przez 3,6; aby przeliczyć [MWh] na [GJ] należy pomnożyć [MWh] przez 3,6.</p> <p><sup>(8)</sup> Zużycie energii w ramach rafinacji masy TMP jest na poziomie 2 500 – 2 700 kWh/t masy. Więcej informacji na ten temat przedstawiono w pkt 5.2.2.7. 75 – 80% z tego wkładu energii elektrycznej jest odzyskiwane jako para o niskim ciśnieniu, która pokrywa w dużym stopniu zapotrzebowanie na parę technologiczną w papierni. Jeśli wszystkie operacje są prowadzone zgodnie z dobrą praktyką, konieczne jest dostarczenie jedynie ok. 1,2 GJ/t (lub 330 kWh/t) dodatkowego ciepła w postaci pary.</p> <p>Źródła: Wszystkie źródła danych są podane w [ 249, Blum i wsp. 2007 ].</p>			

Wartości odnoszące się do zużycia energii przedstawione w tabeli 2.9 nie uwzględniają energii pierwotnej zawartej w paliwach przeznaczonych do wytworzenia energii. W przypadku energii cieplnej, wartości dotyczące zużycia odnoszą się do pojemności cieplnej wykorzystywanej pary i dolnej wartości opałowej gazu w przypadku suszarek IR lub suszarek powietrznych. Część zużywanej energii przypada na suszarki elektryczne na podczerwień (IR). Wartości dotyczące zużycia energii cieplnej uwzględniają układy gazowe IR. Minimalne wartości dotyczące energii elektrycznej i cieplnej określone dla danego rodzaju produktu nie muszą dotyczyć tego samego zakładu. To samo odnosi się do wartości maksymalnych. W związku z tym, dodanie wartości zużycia energii elektrycznej i cieplnej określonej dla danego produktu w celu obliczenia całkowitego zużycia energii przez dany zakład może skutkować, w niektórych przypadkach, uzyskaniem błędnych wyników.

Więcej szczegółowych informacji na temat zużycia energii w przypadku różnych rodzajów produkcji mas włóknistych i papieru przedstawiono w punktach dotyczących ‘bieżących poziomów zużycia i emisji’ w rozdziałach 3 do 7. Informacje na temat poziomów referencyjnych dla BAT w odniesieniu do zużycia energii przedstawiono w rozdziale 8 w punktach odnoszących się do konkluzji BAT.

### *Aspekty ogólne*

Poniżej omówiono pewne aspekty ogólne dotyczące jednego rodzaju produktu, które mogą mieć wpływ na określone poziomy zużycia energii wskazane w tabeli 2.9.

#### *Lokalizacja zakładu*

Zapotrzebowanie na energię cieplną niektórych jej konsumentów zależy w pewnym stopniu od warunków środowiskowych w miejscu produkcji. Zakłady zlokalizowane w Europie północnej różnią się od zakładów działających w Europie południowej jeśli chodzi o np. wentylację hal i rodzaj ogrzewania, stosowanie wody słodkiej i wody procesowej oraz chłodzenie.

#### *Wiek zakładu (data założenia)*

Bardzo stare zakłady celulozowo-papiernicze mogły początkowo znaleźć się w niekorzystnej sytuacji ze względu na przestarzałą infrastrukturę (np. systemy dystrybucji energii), co mogło prowadzić do zwiększonego ogólnego zużycia energii w zakładzie. Jednak wiele zakładów, które funkcjonują od ponad 100 lat, przeprowadziło stopniową modernizację swojej infrastruktury, w związku z czym obecnie nie można zaobserwować jakichkolwiek korelacji między wiekiem zakładu a jego efektywnością energetyczną. Można to stwierdzić na podstawie wartości odnoszących się do zużycia energii w istniejących zakładach, które stale zwiększają swoją efektywność energetyczną dzięki inwestycjom w nowe technologie i odpowiedniemu gospodarowaniu energią. W wielu przypadkach konieczność aktualizacji warunków pozwolenia skutkowałą zainstalowaniem nowych urządzeń, przyczyniając się w ten sposób do poprawy efektywności energetycznej zakładu. Z drugiej strony, w przypadku niektórych nowo powstających celulozowni siarczanowych (np. celulozowni produkujących masę celulozową z eukaliptusa w Ameryce Południowej), zużycie energii jest znacznie niższe niż w przypadku porównywalnych starszych zakładów, patrz tabela 3.33 w pkt 3.3.27.

#### *Wiek urządzeń*

Wiek maszyn papierniczych lub urządzeń na linii wytwarzania masy włóknistej ma wpływ na zużycie energii w zakładzie. To samo dotyczy innych zainstalowanych agregatów. W wielu przypadkach nowsze urządzenia są bardziej energooszczędne niż starszy sprzęt. Jednak po uruchomieniu nowej maszyny papierniczej lub nowej linii wytwarzania masy włóknistej, potrzeba roku lub dwóch lat na optymalizację procesu, a tym samym także zużycia energii.

Europejskie zakłady celulozowo-papiernicze podlegające przepisom dyrektywy w sprawie emisji przemysłowych, różnią się w pod względem wielkości, szczególnie w przypadku pewnych konkretnych rodzajów wytwarzanych w nich produktów. Tempo produkcji (w tonach wytwarzanej w ciągu roku masy włóknistej/papieru) oraz szerokość maszyny papierniczej są głównym powodem różnic w zużyciu energii. Mniejsze zakłady posiadające mniejsze maszyny papiernicze są w mniej korzystnej sytuacji, jeśli chodzi o zużycie energii.

### ***Rodzaj masy włóknistej/papieru i aspekty związane z procesem***

Oprócz aspektów ogólnych, wpływ na poszczególne poziomy zużycia energii wskazane w tabeli 2.9 ma także rodzaj masy włóknistej/papieru i aspekty związane z procesem. Aspekty te zostały omówione bardziej szczegółowo w dalszej części dokumentu.

- W przypadku niezintegrowanych celulozowni siarczanowych, zakłady wyposażone w urządzenia i układy generujące oszczędności pary technologicznej, wykorzystują energię elektryczną i ciepłą w dużo bardziej efektywny sposób. Bardziej efektywne zakłady mogą sprzedawać więcej energii elektrycznej pozyskanej z biomasy lub dostarczać energię do sieci ciepłowniczych. Oprócz różnic w zakresie gospodarki energetycznej, różnice w zużyciu energii mogą być spowodowane rodzajem użytego surowca (wykorzystywanych gatunkiem drewna), postacią papierówki (tym, czy zakupiona papierówka jest już rozdrobniona czy też nie), produkcją tlenu prowadzoną na miejscu, a także wymogami w zakresie ostatecznego stopnia białości produktu. Poziomy zużycia ciepła w celulozowniach uwzględnionych w tabeli 2.9 odnoszą się do zużycia energii cieplnej w ramach procesu. Ciepło do produkcji energii elektrycznej, ciepło sprzedawane i straty z konwersji w elektrowni nie zostały uwzględnione.
- W przypadku mas włóknistych/papieru zawierających(-ego) drewno, kluczowe znaczenie ma surowiec drzewny, rodzaj procesu roztwarzania (masa termomechaniczna, ścier drzewny, ścier ciśnieniowy), a także ich udział w ogóle wykorzystanych źródeł włókien. W przypadku papieru drzewnego produkowanego w wytwórniach zintegrowanych, należy zauważyć, że określone łączne zużycie energii do wytwarzania papieru i rozwłókniania mechanicznego jest bezpośrednio proporcjonalną funkcją udziału ścieru mechanicznego w masie papierniczej. Na przykład, jeśli masa TMP jest rozdrobniona w bardzo wysokim stopniu, określone zużycie energii elektrycznej do produkcji ścieru mechanicznego wynosi 3,6 MWh/BDt masy (patrz pkt 5.2.2.7), a łączne zużycie energii przez maszynę papierniczą i do rozwłókniania mechanicznego przekracza zdecydowanie 3 MWh/t papieru drzewnego, w przypadku, gdy masa chemiczna jest w dużej mierze zastępowana w masie papierniczej przez masę TMP. Jeśli chodzi o masy mechaniczne, duże zróżnicowanie włókien prowadzi do znacznych różnic w zużyciu energii do produkcji papieru ze ścieru mechanicznego: zużycie energii do produkcji masy termomechanicznej (TMP) jest zwykle wyższe niż w przypadku ścieru ciśnieniowego/białego (PGW/SGW) i znacznie wyższe niż w przypadku włókien wtórnych (RCF). Zaletą masy TMP jest jednak odzysk pary, który znacznie zmniejsza zapotrzebowanie na energię cieplną netto w późniejszym zintegrowanym procesie produkcji papieru. W przypadku papierów powlekanych, wpływ na zużycie energii ma technologia powlekania i masa powłoki.
- W przypadku papierów bezdrzewnych występują różnice w zużyciu energii ze względu na zróżnicowane wymagania w zakresie rafinowania. Różnice w zużyciu energii mogą wynikać także z różnic w gramaturze gotowego papieru ( $\text{g/m}^2$ ). W przypadku niepowlekanych papierów bezdrzewnych uzyskano dane jedynie z dwóch zakładów, patrz tabela 2.9. W jednym z tych zakładów ma miejsce bardzo wysokie zużycie ciepła w związku z wykorzystywaniem w nim starej sekcji suszącej oraz



bardzo niską gramaturą gotowego papieru.

- Jeśli chodzi o powlekane papiery bezdrzewne, przyczyny różnic w zużyciu energii są podobne jak w przypadku niepowlekanych papierów bezdrzewnych. Znaczący wpływ w tym zakresie ma także stosowana technologia powlekania i masa powłoki.
- W przypadku papierów produkowanych z włókien wtórnych (RCF) z odbarwianiem, wyróżniono dwa rodzaje produktów: papiery graficzne i kartony. W tych dwóch grupach, zakłady wymienione w tabeli 2.9 wykazywały podobieństwa pod względem specyfikacji produktów, wielkości zakładu oraz stosowanej technologii.
- Wartości odnoszące się do papierów higienicznych pochodzą z wytwórni bibułki tissue wykorzystującej do produkcji cylinder do marszczenia papieru. Zastosowanie technologii suszenia przelotowego z wykorzystaniem powietrza (TAD) wymaga znacznie większych nakładów energii: około 2 500 kWh/t (energia elektryczna) i 6 000 kWh/t (energia cieplna) w przypadku niezintegrowanej wytwórni bibułki tissue wykorzystującej technologię TAD. W ramach procesu TAD, prasowanie wstęgi bibułki jest ograniczone do minimum; nadal mokra wstęga bibułki jest suszona poprzez przelot gorącego suchego powietrza przez wstęgę i korpus ustrukturyzowanego materiału włókienniczego w temperaturze powyżej 350°C. Prowadzi to do wysokiego zużycia energii i uzyskania bardzo miękkiego i „pulchnego” arkusza, który może absorbować dwa razy więcej wody niż konwencjonalnie produkowana bibułka tissue. W ciągu ostatniej dekady, pojawiły się nowe technologie hybrydowe, dzięki którym także małe maszyny mogą produkować teksturyzowaną lub strukturyzowaną bibułkę tissue (gatunki premium), dorównującą w miękkości, pulchności i chłonności bibułce tissue produkowanej w technologii TAD, jednak przy niższych nakładach inwestycyjnych i kosztach produkcji niż w przypadku standardowej bibuły marszczonej, produkowanej z zastosowaniem konwencjonalnego prasowania na mokro (CWP). Pod względem zużycia energii, wspomniane technologie hybrydowe stosowane do produkcji bibułki tissue pozwalają na uzyskanie bibułki o właściwościach pomiędzy bibułką konwencjonalną i bibułką produkowaną w technologii TAD: charakteryzują się niższym zużyciem energii w porównaniu z technologią TAD, jednak wyższym niż w przypadku konwencjonalnego prasowania na mokro (CWP) uwzględnionego w tabeli 2.11. Technologia hybrydowa jest stosowana w Europie w ograniczonym stopniu, jednak widoczna jest tendencja wzrostowa w tym zakresie.
- Grupa papierów specjalnych obejmuje szeroką gamę produktów, które są zróżnicowane pod względem użytego surowca, procesów wytwarzania i oczekiwanych właściwości produktów. Wartości uwzględnione w tabeli 2.9 dotyczą zakładów papierniczych produkujących papier dekoracyjny, papier pokryciowy, papier fotograficzny i papier do drukarek atramentowych.

### 2.5.3 Wpływ instalacji procesowych na całkowite zużycie energii

Tabela 2.10 wskazuje udział poszczególnych podsystemów procesu produkcji w całkowitym zużyciu energii potrzebnej do produkcji różnych rodzajów papieru. W tabeli nie uwzględniono roztwarzania chemicznego (patrz pkt 3.2.2.3 w odniesieniu do roztwarzania siarczanowego i 4.2.2.3 w odniesieniu do roztwarzania siarczynowego). Rafinacja, mielenie, prasowanie i suszenie wymagają zużycia największej ilości energii w papierni. Istnieje ponadto wiele innych podsystemów, które łącznie mają także istotny wpływ na bilans energetyczny zakładu. Tabela pokazuje również, do produkcji których rodzajów produktów wymienione energochłonne procesy są zwykle wykorzystywane.

Tabela 2.10 Ocena podsystemów w odniesieniu do ich znaczenia w zużyciu energii

Proces <sup>(1)</sup>	Niepowlekanie na bazie masy mechanicznej – proces zintegrowany	Powlekanie na bazie masy mechanicznej – proces zintegrowany	Niepowlekanie bezdrzewny – proces niezintegrowany	Powlekanie bezdrzewny – proces niezintegrowany	RCF bez odbarwiania	Graficzny na bazie RCF (z odbarwianiem)	Tektura na bazie RCF (z odbarwianiem)	Bibulka tissue – proces niezintegrowany	Bibulka tissue na bazie RCF	Bezdrzewny specjalny
Obróbka			ND	ND	N	ND	N	ND	ND	ND
Rafinowanie										
Mielenie			ND	ND	N	N	N	ND	ND	ND
Sortowanie										
Oczyszczanie HC										
Zagęszczanie			ND	ND				ND		ND
Odbarwianie	ND	ND	ND	ND	N			ND		ND
Bielenie			ND	ND	N			ND		ND
Mieszanie										
Doprowadzanie masy										
Formowanie										
Prasowanie										
Suszenie										
Powlekanie	ND		ND		N	N		ND	ND	
Kalandrowanie					N		N	ND	ND	
Wykończanie										
Operacje ogólne										
	Bardzo duże (największy konsument w zakładzie)									
	Duże (główny konsument)									
	Niskie (ma jedynie niewielki wpływ na zużycie energii przez zakład)									
	Nieistotne									
ND	Proces nie biorący udziału w produkcji tego rodzaju papieru									
	Zmienne z powodu różnic w procesie i produkcji tego rodzaju papieru									

<sup>(1)</sup> Uwagi wyjaśniające odnoszące się do procesów podano w tekście pod tabelą.  
 Źródło: [ 249, Blum i wsp. 2007 ]

Uwagi wyjaśniające odnoszące się do procesów wymienionych w kolumnie po lewej stronie tabeli 2.10 podano poniżej.

- Obróbka drewna obejmuje korowanie, rozdrabnianie na zrębki, podgrzewanie i transport papierówki do wytwórni mechanicznych.
- Rafinowanie: energochłonne rafinery są stosowane do rozwłókniania mechanicznego (np. rafinery do produkcji masy TMP) i do powtórnego rafinowania w zakładach produkujących masę GWP. W papierniach wykorzystujących włókna pierwotne, rafinowanie ma wpływ na właściwości mechaniczne masy włóknistej i gotowego papieru. W zakładach stosujących rafinację, proces ten jest zazwyczaj największym konsumentem energii z zakładzie.
- Mielenie jest stosowane w zakładach produkujących masę GWP do wytwarzania masy włóknistej z papierówki.
- Sortowanie jest prowadzone we wszystkich zakładach, aby sklasyfikować cechy masy według ich długości i usunąć zanieczyszczenia. W związku z tym w zakładach wykorzystujących włókna pierwotne zużycie energii jest na niższym poziomie.
- Oczyszczanie HC odnosi się do stosowania hydrocyklonów do usuwania ciężkich zanieczyszczeń z surowca podczas przygotowywania masy.
- Zagęszczanie polega na mechanicznym odwodnieniu masy włóknistej. Jest ono konieczne do mycia masy, późniejszego procesu bielenia HC oraz rozdzielania w pętli procesowej.
- Bielenie wymaga energii do ogrzewania kolumny bielenia i przygotowania chemikaliów. Zużycie zależy od procesu bielenia i wymogów w odniesieniu do stopnia białości produktu.
- Mieszanie obejmuje wytworzenie mieszanki do zasilenia maszyny papierniczej. W tym przypadku energia jest potrzebna do pompowania i mieszania różnych składników papieru.
- Doprowadzenie masy do wlewu maszyny papierniczej wymaga energii do wpompowania masy w celu uruchomienia pierwszego obiegu białej wody, gdy masa papiernicza dociera do układu wodnego maszyny.
- Formowanie jest zasadniczym procesem w produkcji papieru. Energia jest w tym przypadku wykorzystywana do napędów części sitowej i do wytwarzania głównie niskiej próżni do odwadniania wstęgi.
- Prasowanie ma miejsce w części prasującej maszyny papierniczej, gdzie wstęga papieru jest odwadniana mechanicznie przez rolki prasy. Energia jest zużywana przez jednostki hydrauliczne, napędy części prasowania i do wytwarzania wysokich próżni.
- Suszenie ma miejsce po przejściu wstęgi przez część prasującą, gdzie papier jest w dalszym stopniu odwadniany poprzez termiczne odparowanie resztek wody. Suszenie wymaga największych nakładów energii w procesie produkcji papieru (w zintegrowanych zakładach produkujących masę celulozową siarczanową największym konsumentem energii jest celulozownia).
- Powlekanie obejmuje nałożenie pigmentów i środków wiążących na powierzchnię surowego papieru w celu uzyskania określonych właściwości powierzchni gotowego papieru. Proces ten różni się między poszczególnymi zakładami w zależności od rodzaju powłoki i zużycia energii.
- Operacje wykończeniowe nie są specyficzne dla danego rodzaju papieru i mogą się różnić w poszczególnych zakładach. Zużycie energii zależy od postaci, w jakiej produkt jest dostarczany do odbiorcy i od formy jego dostawy. Wykończanie może obejmować przewijanie, cięcie, pakowanie, cięcie na arkusze, obkurczanie termiczne oraz dostawę, i może lub nie być uwzględniane w wartościach odnoszących się do zużycia energii (patrz tabela 2.11).
- Operacje pomocnicze są prowadzone ogólnie dla całej papierni i nie są

---

związane z żadnym konkretnym rodzajem papieru. Operacje pomocnicze obejmują uzdatnianie wody surowej i oczyszczanie ścieków, wytwarzanie sprężonego powietrza, transport w ramach prowadzonych prac, itp.

Bardziej szczegółowe informacje na temat wykorzystania energii w związku z produkcją różnych rodzajów mas włóknistych i papieru przedstawiono w punktach odnoszących się do zagadnień związanych z energią w rozdziałach 3 do 7.

#### **2.5.4 Zużycie energii w związku z działaniami pomocniczymi**

Wartości dotyczące zużycia energii w ramach wewnętrznej infrastruktury zakładu papierniczego i do świadczenia usług ogólnych, które są konieczne w procesie produkcji papieru, zostały przedstawione w tabeli 2.11. Wspomniane usługi, urządzenia bądź instalacje są wspólne dla większości zakładów i są związane z określonym rodzajem papieru. Zużycie energii w ramach takich horyzontalnych technik ma jedynie niewielki wpływ na zużycie energii w całym zakładzie. Większa część energii jest zużywana w ramach procesów produkcyjnych i ma związek z produkcją określonych rodzajów mas włóknistych i papieru. W związku z tym zagadnienia te zostały omówione w rozdziałach 3 do 7.

Tabela 2. 11 Typowe wartości dotyczące zużycia energii w ramach ogólnych usług świadczonych w zakładzie

Energochłonne procesy/działania	Zużycie energii (elektrycznej)	Objaśnienia dotyczące wartości odnoszących się do zużycia
Biologiczne oczyszczanie ścieków oczyszczanie mechaniczne + oczyszczanie metodą tlenową np. w przypadku bezdrzewnego papieru graficznego	4 – 8 kWh/t energii elektrycznej	Wykorzystanie pomp, mieszań, napowietrzania; wartości odnoszą się do pierwszego lub drugiego stopnia napowietrzania, sedimentacja jako pierwszy i drugi stopień oczyszczania
mechaniczne + oczyszczanie tlenowe w przypadku zintegrowanych papierni produkujących papier drzewny na bazie masy RCF  - mechaniczne + etap beztlenowy/tlenowy (nie uwzględniono biogazu)  - mechaniczne + etap beztlenowy/tlenowy (z uwzględnieniem biogazu)	10 – 25 ( <sup>1</sup> ) kWh/t energii elektrycznej  5 – 10 kWh/t energii elektrycznej  15 – 20 kWh/t nadwyżka energii cieplnej (użyteczny biogaz jako dolna wartość kaloryczna)	Dane odnoszą się do wszystkich pomp i innych agregatów, oczyszczania pierwotnego, aeratorów turbo do oczyszczania biologicznego, klarowania wtórnego, filtrów piaskowych, odwadniania szlamu.  Nie uwzględniono wytwarzania i wykorzystania biogazu.  Bilans energetyczny z wykorzystaniem biogazu: Nadwyżkę biogazu wyznaczono na podstawie ładunku ChZT na poziomie 15 kg/t, degradacji ChZT na poziomie 70%, zmniejszonego współczynnika produkcji biogazu wynoszącego 0,3 m <sup>3</sup> /kg ChZT i dolnej wartości kalorycznej biogazu wynoszącej 7,5 kWh/m <sup>3</sup> . W ramach oczyszczania ścieków z papierni produkującej papier na bazie RCF wytwarzane jest ok. 25 kWh/t energii cieplnej – dolna wartość kaloryczna)
Uzdatnianie wody surowej	2 – 5 kWh/t energii elektrycznej	Eksploatacja pomp wodnych i przygotowanie wody
Sprężone powietrze	20 – 30 kWh/t energii elektrycznej	Eksploatacja sprężarek i suszarek powietrznych w przypadku papierni nie posiadających większych działów wykończeniowych; w przypadku zakładów posiadających działy zajmujące się cięciem papieru na arkusze wartości mogą sięgać do 50kWh/t.
Transport w ramach prowadzonych prac	1 – 2 kWh/t energii elektrycznej	Eksploatacja wózków widłowych, przemysłowych samochodów ciężarowych
Wykończanie (bez pakowania)  Wykończanie (z pakowaniem)	10 – 40 kWh/t energii elektrycznej  30 – 80 kWh/t energii cieplnej	Eksploatacja przewijarek, krajarek, rozwłóknianie braków.  Włącznie z linią pakowania (krajanie, pakowanie, obkurczanie, wysyłka); wartości odnoszą się do dolnej wartości kalorycznej gazu ziemnego wykorzystywanego w piekarnikach do obkurczania.
Administracja	BD	Nieistotne (na potrzeby biur, kawiarni, itp.)

Uwagi: BD= Brak danych

(<sup>1</sup>) Górna granica zakresu odnosi się do zakładów, które stosują trzeci stopień oczyszczania, wykorzystując np. filtry piaskowe lub ozonowanie + biofiltrację. Wydajne systemy oczyszczania w papierniach produkujących papier na bazie RCF, które stosują jedynie drugi stopień oczyszczania, zużywają energię w ilościach około 10 – 15 kWh/t. Generalnie zużycie energii przez oczyszczalnie ścieków w zintegrowanych zakładach celulozowo-papierniczych jest wyższe niż ma to miejsce w papierniach niezintegrowanych.

*Źródło:* PTS, badania egzaminacyjne: Optymalizacja zużycia energii w europejskich zakładach papierniczych (niepublikowane), Monachium od 2004 do 2007 r., niepublikowane badanie na zlecenie, zawierające wyniki badań prowadzonych w zakładach papierniczych w Europie, cytowane w [ 249, Blum i in. 2007 ]; osobista wymiana informacji (09.2010 r.) z kilkoma papierniami UPM wytwarzającymi papier na bazie RCF w AT and DE.

## 2.6 Wytwarzanie pary wodnej i energii elektrycznej w zakładach celulozowo-papierniczych

Sekcja ta dotyczy różnych obiektów energetycznego spalania przeznaczonych do produkcji pary technologicznej i energii elektrycznej w zakładach celulozowo-papierniczych. Obiekty energetycznego spalania w zakładach celulozowo-papierniczych różnią się wielkością, rodzajem wykorzystywanego paliwa, warunkami obciążenia i przeznaczeniem.

Obecnie eksploatowane jest wiele obiektów energetycznego spalania, które zostały już opisane w dokumentach referencyjnych BAT dla dużych obiektów energetycznego spalania [ 271, COM 2006 ] lub spalania śmieci [ 273, COM 2006 ]. Aby uniknąć powielania informacji, w niniejszym dokumencie rozpatrywane są jedynie obiekty spalania, które nie zostały uwzględnione w wyżej wymienionych dokumentach BREF (w literaturze są one określane niekiedy jako 'kotły pomocnicze'). Należą do nich:

- obiekty energetycznego spalania o zainstalowanej mocy cieplnej od 5 MW<sub>t</sub> do 50 MW<sub>t</sub>, w tym turbiny gazowe pracujące w cyklu połączonym, bloki parowe, reaktory ze złożem fluidalnym;
- obiekty energetycznego spalania o zainstalowanej mocy cieplnej <50 MW<sub>t</sub>, wykorzystujące jako paliwo określone pozostałości mas włóknistych i papieru lub produkty uboczne (np. korę, niektóre rodzaje szlamu, makulaturę, odrzuty), niezależnie od ich wielkości (instalacje > 50 MW są objęte Dokumentem referencyjnym BAT dla dużych obiektów spalania).

Niniejszy dokument BREF obejmuje swoim zakresem także podnajmowane obiekty energetycznego spalania.

W przypadku większych konwencjonalnych obiektów energetycznego spalania (takich jak kotły parowe opalane gazem lub olejem opałowym o mocy przekraczającej 50 MW<sub>t</sub>) należy odnieść się do Dokumentu referencyjnego BAT dla dużych obiektów energetycznego spalania (BREF LCP). BREF LCP zawiera obszerne informacje dotyczące stosowanych technik i metod redukcji emisji dla obiektów energetycznego spalania wykorzystujących paliwa będące w obrocie, takie jak gaz ziemny, paliwa płynne, węgiel, węgiel brunatny, biomasę i torf.

Ze względu na duży udział w całkowitych kosztach produkcji, podaż energii jest jednym z podstawowych czynników produkcji mas włóknistych i papieru. W zależności od rodzaju procesu (patrz rozdziały 3 do 7), przemysł papierniczy wytwarza większość lub niemal całkowite ciepło konieczne do jego funkcjonowania i dużą część energii elektrycznej (we własnych elektrowniach) wykorzystywanej przez ten sektor (około 44%, CEPI 2008). Wewnętrzne zasilanie w parę technologiczną i energię elektryczną było tradycyjnie częścią zasadniczej działalności przemysłu celulozowo-papierniczego. Konkurencyjne zakłady koncentrują się w dużej mierze na koncepcji kogeneracji, z zastosowaniem różnych rodzajów paliw (patrz pkt 2.6.1.2.2). Inne (głównie papiernie) korzystają z zewnętrznych dostaw energii, zmniejszając swoje wewnętrzne moce produkcji energii. Celulozownie produkujące masy chemiczne (patrz rozdziały 3 i 4) nie korzystają z zewnętrznych dostaw energii ze względu na konieczność wykorzystywania kotła regeneracyjnego, który jest zintegrowany z procesem regeneracji chemicznej.

'Kotły procesowe' lub kotły regeneracyjne siarczanowe lub siarczynowe, a także piece wapienne przeznaczone do odzyskiwania powarzelnych substancji chemicznych i do produkcji pary i energii elektrycznej nie są omawiane w tej części dokumentu, lecz w rozdziałach opisujących proces roztwarzania (patrz odpowiednie punkty w rozdziałach 3 i 4). Więcej informacji na temat energetycznego spalania odrzutów, szlamu i innych

materiałów generowanych przy przetwarzaniu makulatury przedstawiono w pkt 6.3.14. Stacjonarne silniki spalania wewnętrznego i mniejsze obiekty energetycznego spalania o mocy  $<5 \text{ MW}_t$  nie są objęte zakresem niniejszego dokumentu.

### 2.6.1 Procesy i techniki stosowane w zakresie energetycznego spalania

Rodzaj i liczba obiektów energetycznego spalania, które są technicznie podłączone do procesu produkcji mas włóknistych i papieru zależy od stosowanych surowców, procesów oraz ich zapotrzebowania na energię, a także od strategii zasilania w energię poszczególnych zakładów. Kotły wykorzystywane w przemyśle celulozowo-papierniczym są różnej wielkości (od około 5 do ponad 200  $\text{MW}_t$ ). Większe obiekty energetycznego spalania eksploatowane w zakładach celulozowo-papierniczych są porównywalne pod względem wielkości z obiektami energetycznego spalania należącymi do dostawców energii (do  $> 200 \text{ MW}_t$ ).

Generalnie w sektorze celulozowo-papierniczym stosowane są poniższe rodzaje technik:

- Kotły regeneracyjne (masa celulozowa siarczanowa, masa celulozowa siarczynowa): patrz rozdziały 3 i 4.
- Kotły sodowe (masa celulozowa siarczynowa): patrz pkt 4.3.13.
- Piece wapienne (masa celulozowa siarczanowa): patrz rozdział 3.
- Reaktory ze złożem fluidalnym ( $<5 \text{ MW}_t - >100 \text{ MW}_t$ , wszystkie rodzaje paliw i odpadów) patrz pkt 2.6.1.2.3. Wykorzystywane są kotły ze złożem fluidalnym stacjonarnym/pęcherzykowym (BFB) lub z cyrkulacyjnym złożem fluidalnym (CFB).
- Stałe lub ruchome kotły rusztowe, opalane głównie węglem kamiennym i miałem węglowym, węglem brunatnym i mieszaniną innych paliw stałych (np. energetyczne współspalanie odpadów). Wykorzystanie tego rodzaju pieców w zakładach celulozowo-papierniczych maleje.
- Turbiny gazowe pracujące w układzie kombinowanym (CCGT);  $<20 \text{ MW}_t - >100 \text{ MW}_t$ : W wielu zakładach papierniczych instalacje CCGT są eksploatowane w trybie zorientowanym na produkcję ciepła, co oznacza, że zapotrzebowanie na ciepło w danym zakładzie ma wpływ na projekt i funkcjonowanie instalacji CCGT. Wytwarzana energia elektryczna może być traktowana jako przydatny produkt uboczny. Stanowi to główną różnicę w porównaniu z instalacjami CCGT eksploatowanymi przez publicznych dostawców energii (patrz rysunek 2.12, opis procesu przedstawiono w dokumencie BREF LCP).
- Kotły parowe opalane gazem lub olejem opałowym (bloki parowe): kotły te są niekiedy eksploatowane w celu pokrycia zapotrzebowania w okresach obciążenia podstawowego. Jednakże ze względów ekonomicznych, są one zazwyczaj wykorzystywane w okresach obciążeń szczytowych lub jako kotły rezerwowe podczas konserwacji głównych obiektów energetycznego spalania. Jako paliwo wykorzystywany jest głównie gaz i olej opałowy ciężki (w przypadku starszych kotłów).
- Ostatnio w niezintegrowanych zakładach papierniczych instalowane są małe kotły opalane biopaliwem, wykorzystujące miał węglowy lub pelety.
- Kotły znormalizowane (jednostki kotłowe wyposażone w izolację, panele elektryczne, zawory i czujniki) do spalania rozcieńczonych gazów niekondensujących (NCG) i stężonych NCG.
- Turbiny gazowe: Bardzo niewiele zakładów wytwarza energię elektryczną uwalniając nadmiar ciepła do środowiska. Technika ta nie jest opłacalna, w związku z czym nie jest już praktycznie stosowana.
- Techniki gazyfikacji służą dostarczaniu gazu opałowego do instalacji CCGT, kotłów gazowych lub pieców wapiennych. W ramach sektora celulozowo-



papierniczego techniki te są stosowane przemysłowo w odniesieniu do kory w zakładzie Södra Värö mill (SE), i przetwarzanych kartonów do produktów płynnych w zakładzie Stora Enso Varkaus (FI). Gaz wytwarzany w zakładzie Södra Värö jest wykorzystywany jako paliwo w piecach wapiennych.

- Pochodnie gazowe.
- Silniki gazowe wykorzystujące gaz z fermentacji beztlenowej.
- Inne stacjonarne silniki wewnętrznego spalania.
- Awaryjne agregaty prądotwórcze.

Kotły i systemy zaopatrzenia w energię, które są eksploatowane na miejscu w zakładach celulozowo-papierniczych, można podzielić dodatkowo według stosowanego paliwa (patrz pkt 2.6.1.1), rodzaju pieca (patrz pkt 2.6.1.2.3), włączenia kotła do odzysku paliwa do układu energetycznego papierni (patrz pkt 2.6.1.2) i w zależności od tego, czy są one stosowane w celu produkcji wyłącznie pary lub energii elektrycznej (patrz pkt 2.6.1.2.1), bądź też są eksploatowane jako instalacje elektrociepłownicze (CHP), patrz pkt 2.6.1.2.2.

### **2.6.1.1 Podstawowe paliwa wykorzystywane w ramach procesów i ich wstępna obróbka**

Poniżej przedstawiono podstawowe paliwa (połączenia) paliw wykorzystywanych do wytwarzania pary (i ciepłej wody) i energii elektrycznej w sektorze celulozowo-papierniczym.

- I. Biomasa w postaci np. kory, pozostałości drewna i, w niektórych przypadkach, zrębki drzewne.
- II. Czarny ług (który jest podstawowym paliwem w celulozowniach chemicznych, patrz rozdział 3 i 4), który zgodnie z np. dyrektywą UE ETS jest także uważany za biomasę. Celulozownie siarczanowe wykorzystują jako paliwo także gazy niekondensacyjne.
- III. Różne rodzaje osadów (osad biologiczny z oczyszczania ścieków, osad włóknisty, osad z odbarwiania, itp.) powstające zarówno przy produkcji masy z włókien pierwotnych i/lub przetwarzania makulatury, jak i własne pozostałości generowane przez zakład celulozowo-papierniczy (odrzuty, makulatura nienadająca się do recyklingu, tworzywa sztuczne).
- IV. Paliwa kopalne, takie jak gaz ziemny, olej opałowy (olej opałowy ciężki, olej gazowy), węgiel kamienny, węgiel brunatny lub torf.
- V. Niekiedy odpady lub paliwo pochodzące z odpadów jest spalane w celu odzyskania energii lub z innych przyczyn środowiskowych (np. udział paliw o niskiej wartości kalorycznej, takich jak osady, w odzysku energii jest niski lub prawie zerowy).

W wielu kotłach parowych lub elektrowniach stosowane są mieszanki paliw (połączone spalanie osadów, kory, pozostałości drewna, pozostałości z procesu produkcji mas włóknistych i papieru oraz paliw kopalnych).

Na rysunku 1.25 w pkt 1.7 zestawiono paliwa stosowane do wytwarzania energii cieplnej i energii elektrycznej w europejskim sektorze celulozowo-papierniczym (w krajach stowarzyszonych w ramach CEPI); podstawowym paliwem jest biomasa w postaci ługów powarzelnych, kory i osadów włóknistych (52,5%). Duży udział ma także gaz (38,8%), podczas gdy olej opałowy, węgiel kamienny, inne paliwa kopalne i pozostałe paliwa stanowią łącznie ok. 9,4%.

Biomasa w postaci kory, odpadów drzewnych i drewna jest od lat szeroko stosowana w przemyśle celulozowo-papierniczym. W celu dalszego ograniczania emisji gazów cieplarnianych, przemysł celulozowo-papierniczy dąży do ograniczenia spalania paliw

kopalnych i do zwiększenia udziału energii ze źródeł odnawialnych. Ten drugi rodzaj energii jest promowany w wielu krajach i przeznaczane są na ten cel duże dotacje.

Aby umożliwić odpowiednie zasilanie kotła, dobre spalanie i obniżyć poziom emisji, wiele rodzajów paliw musi zostać poddanych wstępnej obróbce. Jest to konieczne także w celu zwiększenia dostępności instalacji. Rodzaj wstępnej obróbki zależy od wymogów dotyczących danego rodzaju pieca i kotła, i ma szczególne znaczenie w przypadku reaktorów ze złożem fluidalnym. Poniżej przedstawiono powszechnie stosowane rodzaje wstępnej obróbki istotnych rodzajów paliw.

- I. Biomasa (kora, drewno) jest rozdrabniana na zrębki i sortowana. Mokra kora jest zazwyczaj prasowana zanim zostanie wykorzystana jako paliwo, a w niektórych przypadkach przed spaleniem w kotle może być suszona. Zanieczyszczenia, takie jak kamienie, metale i inne niepożądane materiały są usuwane przez sortowanie.
- II. Różnego rodzaju osady mogą być stabilizowane, odwadniane i suszone. Pomimo poprawy wydajności energetycznej (patrz pkt 2.9.6.1.4), suszenie jest często uważane za ekonomicznie nieopłacalne.
- III. Drewno odpadowe i pewne frakcje odpadów wymagają wstępnej obróbki polegającej na rozdrabnianiu lub mieleniu, przesiewaniu oraz usunięciu metali żelaznych i nieżelaznych oraz innych niepożądanych materiałów.
- IV. Odrzuty z papierni wykorzystującej masę RCF do produkcji warstwy pofalowanej tektury falistej lub kartonu są klasyfikowane poprzez sortowanie. Odrzuty większej wielkości (np. ponad 50 mm) są rozdrabniane. Materiał żelazny jest następnie usuwany poprzez separację magnetyczną. Do załadowania odrzutów do komory suszenia i zgazowania wykorzystywany jest ruchomy ruszt.

Mimo, że etapy obróbki wstępnej konieczne do osiągnięcia dobrego spalania są uzależnione od konkretnego przypadku, ogólnym celem obróbki wstępnej jest usuwanie niepożądanych materiałów, redukcja zanieczyszczeń i homogenizacja paliw w odniesieniu do ich wartości opałowej, wielkości i innych parametrów fizycznych (takich jak gęstość). W związku z tym, że w ramach operacji prowadzonych w ramach obróbki wstępnej, takich jak rozdrabnianie i przesiewanie występują częste zakłócenia, większość instalacji jest wyposażona w magazyny na paliwa, które zostały poddane wstępnej obróbce.

Szczególnie ważne jest utrzymywanie zawartości Cl, K i Na w zakresach zgodnych z projektem danego kotła. Ogranicza to korozję zachodzącą w wysokich temperaturach i konieczność prac konserwacyjnych, prowadząc do wyższej ogólnej dostępności instalacji i niższych emisji.

Nadmiar ciepła (przy niskich parametrach pary, tj. niskim ciśnieniu, niskiej temperaturze) z procesu produkcyjnego może być wykorzystany do suszenia osadów i biomasy, zwiększając tym samym uzysk pary o wysokim ciśnieniu. Zależnie od okoliczności, gaz odpadowy powstający podczas wstępnej obróbki oraz gaz z magazynów może być wykorzystany jako powietrze do spalania, zmniejszając tym samym emisje zapachów i zanieczyszczeń.

W wielu zakładach funkcjonuje system zapewnienia jakości odnoszący się do paliw i pozostałości/odpadów przeznaczonych do spalania. W ramach systemu zapewnienia jakości wymagane są oświadczenia dostawców, oddzielne magazynowanie paliw/odpadów, przechowywanie próbek zapasowych oraz wdrożenie systemu monitorowania i raportowania. Dodatkowe kontrole prowadzone przez operatora, obejmujące analizę paliw pod kątem ich wartości opałowej i składu pierwiastkowego, oraz okresowe analizy gazów odlotowych i popiołów są cennym źródłem informacji na

temat składu paliw.

### 2.6.1.2 Wytwarzanie energii

W związku z faktem, że zakłady celulozowo-papiernicze potrzebują w ramach prowadzonego w nich procesu produkcyjnego energii elektrycznej i pary, większość z nich stosuje kogenerację wykorzystując w tym celu turbiny upustowo – kondensacyjne lub turbiny przeciwprężne (patrz pkt 2.6.1.2.2). Jednak w niektórych papierniach eksploatowane są także oddzielne instalacje ciepłownicze, wykorzystywane głównie w okresach szczytowych obciążeń, rozruchów lub jako instalacje rezerwowe.

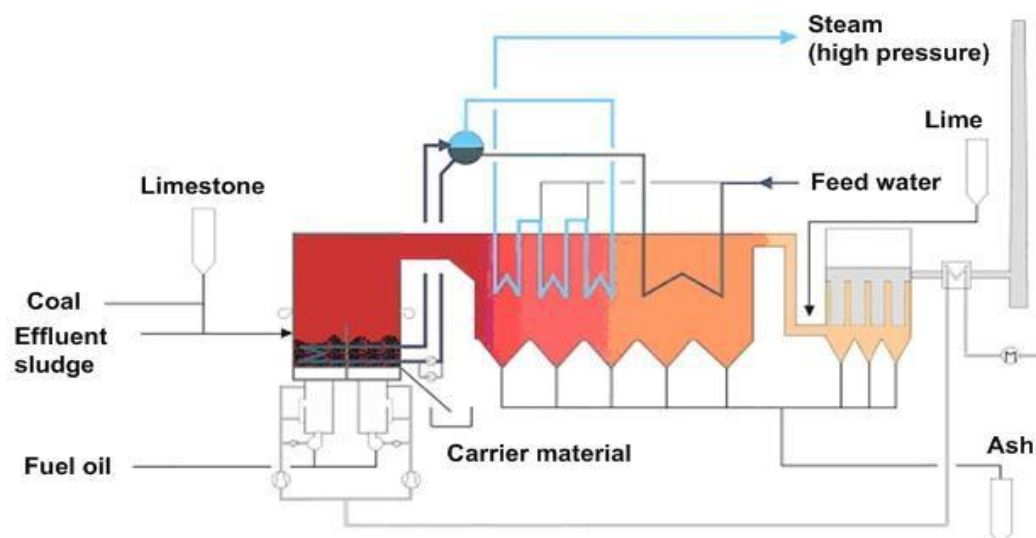
Jedną z zasadniczych różnic między kotłami wykorzystywanymi w sektorze celulozowo-papierniczym a kotłami eksploatowanymi w sektorze usług komunalnym jest to, że działają one przez niemal cały rok, nawet ponad 8 000 godzin. Kotły wykorzystywane w sektorze usług komunalnych są często wygaszane na cały okres letni. Kolejna różnica polega na tym, że działanie kotłów eksploatowanych w zakładach celulozowo-papierniczych musi być ciągle dostosowywane do pracy zakładu, co oznacza, że kotły te muszą być przystosowane do znacznych i gwałtownych zmian obciążenia. Kotły eksploatowane w sektorze komunalnym działają w bardziej stabilnych i wcześniej ustalonych warunkach operacyjnych.

Zapotrzebowanie na parę, szczególnie w papierniach, może ulegać niespodziewanym i gwałtownym zmianom, ze względu na np. zerwanie wstęgi papieru lub z powodu innych zakłóceń. Z powodu sytuacji rynkowej, prac konserwacyjnych lub w związku z innymi czynnikami, zapotrzebowanie na parę technologiczną może być niższe w porównaniu z eksploatacją w normalnych warunkach operacyjnych także przez dłuższy czas.

Gazy odlotowe ze spalania pewnych rodzajów odpadów i biomasy mogą zawierać duże stężenia chlorków alkalicznych, które mogą prowadzić do korozji spowodowanej wysoką temperaturą. Proces korozji zachodzi z reguły przy temperaturze ścianek przekraczające 450°C lub przy temperaturze gazów odlotowych powyżej 650°C. Wysokie parametry pary (tj.  $T > 420$  °C,  $p > 40$  barów) mogą zostać osiągnięte jedynie przy zastosowaniu materiałów odpornych na korozję lub stosując specjalne środki (np. współbieżny przepływ przez przegrzewacz pary). Przy typowych parametrach pary, wydajność elektryczna obiektów energetycznego spalania opalanych odpadami lub biomasą mieści się w zakresie 14—25%, w trybie kondensacji.

#### 2.6.1.2.1 Instalacje wytwarzające parę

Niektóre zakłady nie wytwarzają energii elektrycznej na miejscu. Eksploatowane są w nich jedynie kotły lub bloki parowe. Kocioł może być zasilany gazem ziemnym, paliwami ciekłymi (olej opałowy) lub stałymi (kora, węgiel) lub mieszankami paliwowymi. Kocioł może być dowolnego rodzaju i może być opalany dowolnym rodzajem paliwa. Na rysunku 2.11 przedstawiono przykład kotła większych rozmiarów z układem wodno-parowym (w tym przypadku kocioł fluidalny), w którym wytwarzana jest czysta para wodna. Przedstawiono także techniki kontroli emisji, w tym przypadku odsiarczanie i odpylanie z wykorzystaniem filtrów workowych (patrz pkt 2.9.7). W tym przypadku system oczyszczania powietrza składa się z czterokomorowego filtra workowego i układu dozującego wapno.



Źródło: [ 190, TBU Stubenvoll 2004 ]

Rysunek 2. 11 Układ wodno-parowy w instalacji do wytwarzania czystej pary wodnej

Limestone	Wapień
Coal	Węgiel
Effluent sludge	Osady pościekowe
Fuel oil	Olej opałowy
Steam (high pressure)	Para wodna (pod wysokim ciśnieniem)
Lime	Wapno
Feed water	Woda zasilająca
Carrier material	Materiał nośny
Ash	Popiół
Source: [ 190, TBU Stubenvoll 2004 ]	Źródło: [ 190, TBU Stubenvoll 2004 ]

### 2.6.1.2.2 Instalacje kogeneracyjne (CHP)

Ogólny opis instalacji kogeneracyjnych (CHP) został przedstawiony w dokumencie BREF LCP [ 271, COM 2006 ]. W instalacjach kogeneracyjnych w sektorze celulozowo-papierniczym stosowane są zazwyczaj turbiny parowe i/lub turbiny gazowe (TG). Turbiny parowe są połączone do kotła wytwarzającego parę o wysokim ciśnieniu i są opalane dowolnym paliwem (ług czarny, kora, odpady, paliwa ciekłe, stałe lub gazowe). Turbiny gazowe, o ile gorące gazy odlotowe nie są wykorzystywane w suszarce, są połączone z kotłami odzysknicowymi (HRSG). Stosowane są różne konfiguracje w zależności od tego, czy całość wytworzonej pary jest doprowadzana do różnych odbiorców pary (układ prosty), lub TG i piec HRSG są połączone z turbiną parową przeciwpęzną lub pośrednią turbiną upustowo-kondensacyjną (układ kombinowany – CCGT). Korzyścią wynikającą z połączonej produkcji energii cieplnej i elektrycznej (CHP) jest większa ogólna wydajność i elastyczność.

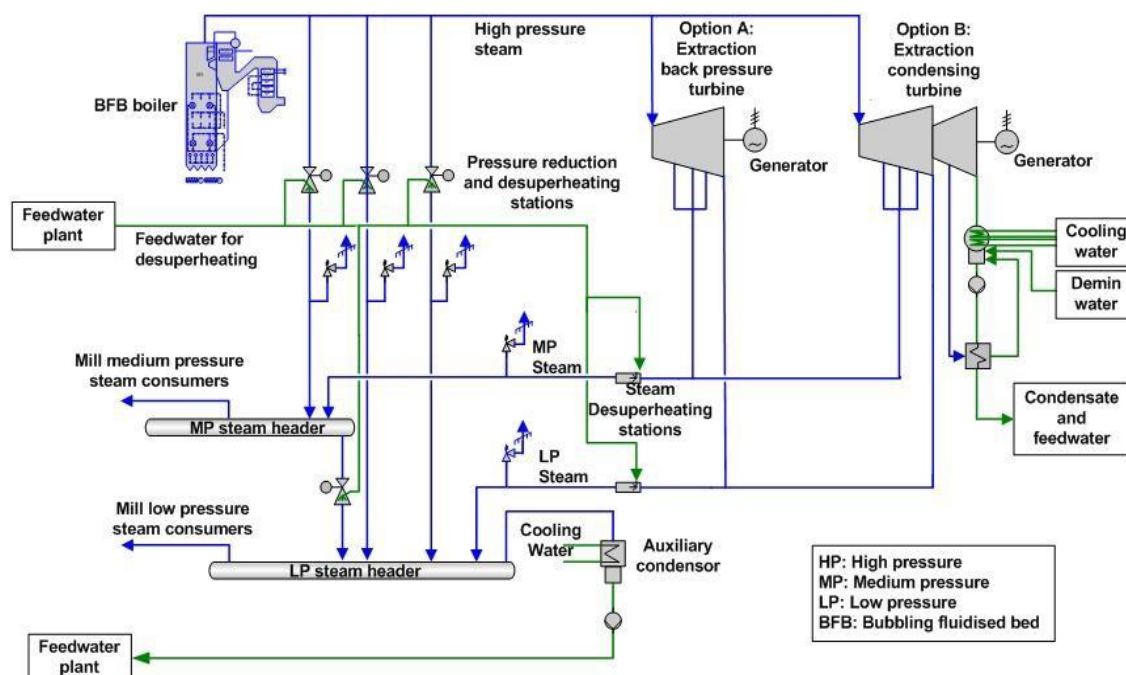
W przypadku instalacji CHP, w których wykorzystywane są paliwa kopalne lub biopaliwa (dotyczy to większości papierni) ogólna wydajność przy korzystaniu z turbin przeciwpężnych jest na poziomie 85 – 90%. W wielu przypadkach stosunek energii elektrycznej do energii cieplnej wynosi ok. 0,30. Produkcja energii elektrycznej musi

być zrównoważona w stosunku do produkcji energii cieplnej. W tabeli 2.12 obliczono zakresy ogólnej wydajności wykorzystując dolną wartość opałową paliw i uwzględniając kompensację wilgotności biomasy (patrz glosariusz). Zakres wydajności energetycznej został obliczony przez podzielenie wartości produkcji energii elektrycznej przez ilość zużytego w tym celu paliwa, a zakres współczynnika energii elektrycznej do energii cieplnej został przybliżony w oparciu o wyniki uzyskiwane przez zakłady wyróżniające się energooszczędnością.

Tabela 2. 12 Podstawowe dane liczbowe odnoszące się do różnych rodzajów instalacji CHP

Rodzaj instalacji CHP	Wydajność ogólna (LCV) (współczynnik wykorzystania paliwa)	Stosunek energii elektrycznej do energii cieplnej <sup>(1)</sup>
Kocioł gazowy i turbina upustowa	85 – 90 %	0,20 – 0,35
Kocioł na biomasę i turbina upustowa	85 – 90 %	0,20 – 0,35
CCGT z turbiną parową – produkcja energii elektrycznej na potrzeby wewnętrzne	85 – 92 %	0,40 – 1,10
CCGT z turbiną parową – produkcja energii elektrycznej na sprzedaż	75 – 80 %	1,50 – 2,00
Różnica w porównaniu z podobną, właściwie utrzymaną 20-letnią instalacją	1 – 4 %	ND
Uwagi: ND = Nie dotyczy <sup>(1)</sup> Współczynnik określający stosunek energii elektrycznej do ciepła zależy również od ilości pary doprowadzanej do części kondensacyjnej turbiny parowej, co tłumaczy dużą rozpiętość tych współczynników w przypadku instalacji CHP, w których turbina parowa jest jedyną jednostką wytwarzającą energię elektryczną. W przypadku wzrostu zapotrzebowania na energię cieplną następuje zmniejszenie wydajności energetycznej, ponieważ energia z paliw jest przeznaczana w większym stopniu na produkcję ciepła (i odwrotnie). Źródło: [ 167, BMUJF 1999 ], [ 170, Pöyry 2010 ]		

Wartości mocy produkcyjnych w odniesieniu do skojarzonej produkcji energii elektrycznej i ciepła wahają się od <1 MW<sub>t</sub> w przypadku małych papierni, do >500 MW<sub>t</sub> w przypadku kotłów regeneracyjnych eksploatowanych w dużych celulozowniach. Rysunek 2.12 i rysunek 2.13 przedstawiają przykłady instalacji CHP w przemyśle papierniczym. Kocioł pokazany na rysunku 2.12, w tym przypadku kocioł ze złożem fluidalnym pęcherzykowym, może być dowolnego rodzaju i może być opalany dowolnym paliwem. Stosowana może być turbina upustowo-przeciwprężna (wersja A na rysunku) lub turbina kondensacyjna (wersja B), bądź też obydwa rodzaje turbin jednocześnie.



Źródło: S.Kankkonen, Pöyry Finland Oy, 2010

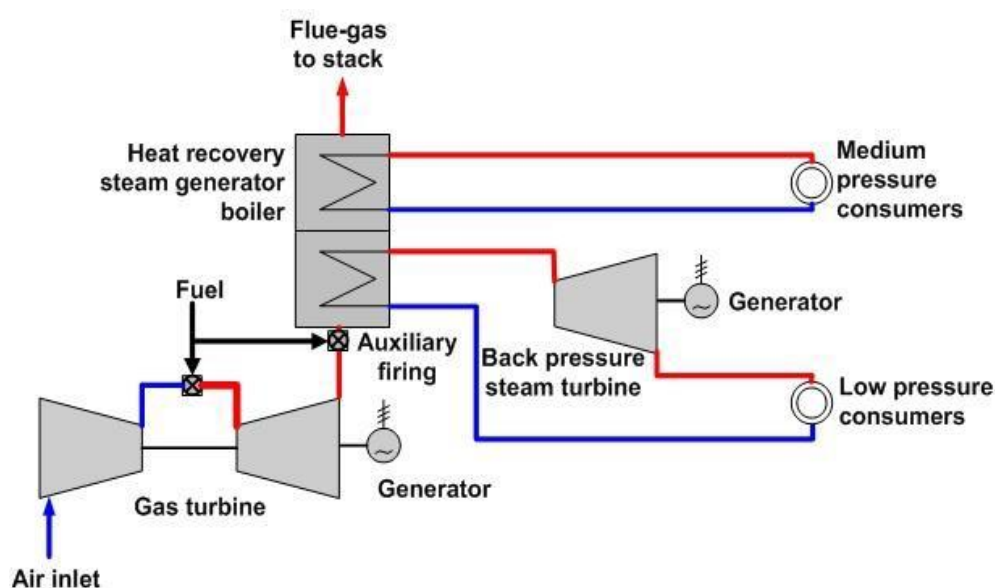
Rysunek 2. 12 Przykład instalacji CHP w papierni/celulozowni

BFB boiler	Kocioł BFB
Feedwater plant	Instalacja zasilająca w wodę
Feedwater for desuperheating	Woda zasilająca do chłodzenia przegrzanej pary
High pressure steam	Para o wysokim ciśnieniu
Option A: Extraction back pressure turbine	Wersja A: Turbina upustowo-przeciwprężna
Pressure reduction and desuperheating stations	Stacje redukcji ciśnienia i schładzania przegrzanej pary
Option B: Extraction condensing turbine	Wersja 2: Turbina upustowo-kondensacyjna
Generator	Generator
Cooling water	Woda chłodząca
Demin water	Woda demin
Condensate and feedwater	Kondensat i woda zasilająca
MP Steam	Para MP
Steam Desuperheating stations	Stacje schładzania przegrzanej pary
Mill medium pressure steam consumers	Instalacje w zakładzie wykorzystujące parę o średnim ciśnieniu
MP steam header	Kolektor pary MP
Mill low pressure steam consumers	Instalacje w zakładzie wykorzystujące parę o niskim ciśnieniu
LP steam header	Kolektor pary LP
Cooling Water	Woda chłodząca
LP Steam	Para LP
HP: High pressure MP: Medium	HP: Wysokie ciśnienie

pressure LP: Low pressure BFB: Bubbling fluidised bed	MP: Średnie ciśnienie LP: Niskie ciśnienie BFB: Złoże fluidalne pęcherzykowe
Auxiliary condensor	Kondensator pomocniczy
Feedwater plant	Instalacja zasilająca w wodę
Source: S.Kankkonen, Pöyry Finland Oy, 2010	Źródło: S.Kankkonen, Pöyry Finland Oy, 2010

Technologia ta jest stosowana w przemyśle celulozowo-papierniczym od początku ubiegłego stulecia. Wszystkie celulozownie siarczanowe i duże papiernie są wyposażone w turbiny parowe.

Szczególnym przypadkiem instalacji CHP jest blok gazowo-parowy z turbiną gazową (CCGT), w którym olej opałowy i gaz ziemny jest spalany w turbinie gazowej, która napędza bezpośrednio generator. Ponadto energia zawarta w gorących gazach odlotowych z turbiny gazowej jest przekształcana na energię użyteczną (parę wodną i/lub energię elektryczną) w kotle regeneracyjnym. Zasada działania takiego bloku CCGT jako bloku kogeneracyjnego eksploatowanego w zakładzie posiadającym zarówno turbinę parową przeciwną jak i obieg pary wodnej nasyconej, została przedstawiona na rysunku 2.13. Układ prosty jest skonfigurowany podobnie, lecz nie ma w nim turbiny parowej, a nasycona para wodna jest pozyskiwana z kotła.



Źródło: S.Kankkonen, Pöyry Finland Oy, 2010

Rysunek 2. 13 Przykład bloku CCGT służącego jako blok kogeneracyjny eksploatowany w zakładzie posiadającym zarówno w turbinę parową przeciwną jak i obieg pary wodnej nasyconej

Flue-gas to stack	Gazy odlotowe kierowane do komina
Medium pressure consumers	Instalacje wykorzystujące parę o średnim ciśnieniu
Generator	Generator
Low pressure consumers	Instalacje wykorzystujące parę o niskim ciśnieniu

Back pressure steam turbine	Turbina parowa przeciwpiężna
Generator	Generator
Auxiliary firing	Opalanie dodatkowe
Gas turbine	Turbina gazowa
Heat recovery steam generator boiler	Kocioł odzysknicowy
Fuel	Paliwo
Air inlet	Wlot powietrza

Turbiny gazowe zaczęto instalować w instalacjach przemysłowych pod koniec lat 80-tych ubiegłego wieku. Obecnie są one w nich szeroko stosowane.

W przypadku kogeneracji (CHP) z wykorzystaniem bloku gazowo-parowego z turbiną gazową (CCGT) całkowita wydajność jest na poziomie 86 – 92%, a współczynnik określający stosunek energii elektrycznej do ciepła jest często wyższy niż w przypadku innych instalacji CHP. Może on wynieść ponad 1,0.

Elastyczność w zakresie zapotrzebowania na ciepło części zakładu, które je wykorzystują, może zostać zwiększona poprzez spalanie gazu w kotle odzysknicowym przy nadmiarze tlenu z turbiny gazowej (opalanie dodatkowe patrz rysunek 2.13).

Zasadnicze usprawnienia w zakresie urządzeń wykorzystywanych w procesie kogeneracji były możliwe w dużej mierze dzięki wykorzystaniu nowych narzędzi komputerowych wspomagających proces projektowania i produkcji. Osiągnięto poprawę wydajności w odniesieniu do przepływów pary wodnej i gazu w turbinach oraz procesu spalania w kotłach, co przyczyniło się do zmniejszenia poziomu emisji.

### 2.6.1.2.3 Kotły ze złożem fluidalnym

Kotły fluidalne stosowane w przemyśle celulozowo-papierniczym są szczególnie przydatne w przypadku spalania „trudnych” mieszanin paliw o różnych właściwościach. Podczas spalania w złożu fluidalnym na podsypkę piaskową poddawaną fluidyzacji powietrzem do spalania doprowadzane są powszechnie stosowane paliwa kopalne/biomasa, pozostałości lub odpady. W temperaturze w zakresie 750 – 900°C, paliwa są przekształcane przy udziale powietrza do spalania w gorące gazy odlotowe i popiół.

Istnieją dwa główne rodzaje układów ze złożami fluidalnymi: kotły ze złożem fluidalnym pęcherzykowym lub cyrkulacyjnym (BFB i CFB). W przypadku złoż BFB podsypka piaskowa wewnątrz kotła jest poddawana fluidyzacji i utrzymywana w dolnej części kotła, z wyjątkiem niewielkiej części, która ucieka ze złoża. Natomiast w przypadku złoż CFB złoż piaskowe unosi się ponad pierwszą część, w której następuje wymiana ciepła, po czym piasek jest oddzielany od gazów odlotowych w dużym cyklonie i odprowadzany z powrotem na dno złoża. W przypadku kotłów o mocy do 50 MW<sub>t</sub> spalanie odbywa się zazwyczaj w złożu BFB. Technologia CFB jest zazwyczaj stosowana jedynie w przypadku większych kotłów, np. o mocy >50 MW<sub>t</sub>. Gdy wykorzystywane paliwo ma dużą zawartość węgla, złoż cyrkulacyjne zapobiega w większym stopniu nadmiernej koncentracji ciepła wytwarzanego przez węgiel spalany w złożu.

Ze względu na spontaniczne spalanie i wiele różnych możliwości kontrolowania temperatury, spalanie w złożu fluidalnym pozwala na stosowanie zróżnicowanych paliw o szerokim zakresie wartości opałowych. Kotły ze złożem fluidalnym stosowane w przemyśle papierniczym są wykorzystywane do pokrycia



podstawowego zapotrzebowania na parę wodną.

Jeśli chodzi o wykorzystywane paliwa, obiekty energetycznego spalania wykorzystujące złoża fluidalne mogą być opalane paliwami kopalnymi (węglem brunatnym i węglem kamiennym, olejem opałowym, gazem ziemnym), biogazem, biomasą (np. korą), pozostałościami i odpadami drzewnymi oraz innymi pozostałościami z procesu produkcji prowadzonej na miejscu, a niekiedy także odpadami dostarczonymi spoza zakładu lub paliwem uzyskanym z odrzutów. Ponadto możliwe jest współpalanie różnych rodzajów osadów (np. osadów z biologicznego oczyszczania ścieków). W większości przypadków ilość energii skumulowanej w odwodnionych osadach pościekowych (20 – 40% suchej masy) wystarcza na pokrycie strat w gazach odlotowych generowanych w ramach spalania osadów ściekowych. Do spalania osadów papierniczych i osadów z odrzutów stosowane są zarówno konwencjonalne kotły rusztowe jak i kotły ze złożem fluidalnym. Jednak technologia wykorzystująca złoża fluidalne cechuje się większą elastycznością jeśli chodzi o dopuszczalne właściwości stosowanych paliw. Dzięki jednorodnym warunkom w odniesieniu do temperatury, mieszania paliw, kontroli powietrza do spalania i stosowaniu innych środków (patrz punkty poniżej) możliwe jest osiągnięcie niższych poziomów emisji CO, SO<sub>2</sub> (możliwe jest zmniejszenie in situ) i NO<sub>x</sub> porównaniu z kotłami rusztowymi.

Zawartość wody w typowych paliwach spalanych w sektorze celulozowo-papierniczym jest istotnym parametrem projektowym i operacyjnym: wartość opałowa kory z korowania na mokro lub torfu o 40 – 60% wilgotności jest na poziomie 4,5 – 10,5 MJ/kg. Natomiast mechanicznie odwodniony szlam z mycia masy celulozowej ma wyższą wartość opałową, między 2,5 i 6,0 MJ/kg, ze względu na jego zazwyczaj wyższą wilgotność i zawartość popiołu. Wartość opałowa suchych odpadów z produkcji masy włóknistej może wynieść ponad 20 MJ/kg. Im wyższa wilgotność paliwa, tym niższa jest całkowita wydajność kotła i trudniejsza jego eksploatacja, chyba że zastosowana zostanie efektywna technologia. Kocioł ze złożem fluidalnym w mniejszym stopniu reaguje na wilgotność paliwa i wyższą zawartość popiołu w paliwach niż kocioł rusztowy.

Zasadniczą różnicą między spalaniem na ruszcie a spalaniem w złożu fluidalnym jest metoda przenoszenia ciepła. W przypadku spalania na ruszcie cząsteczki paliwa są ogrzewane głównie poprzez promieniowanie. Dlatego bardzo ważna jest w tym przypadku temperatura spalania i czas przebywania na ruszcie. Przy wzroście wilgotności paliwa następuje spadek wydajności układu. Różnice w suchości osadów na wejściu kotła rusztowego utrudniają utrzymanie efektywnego spalania w związku ze spadkami temperatury. W kotłach ze złożem fluidalnym główną ciepło jest przenoszone głównie przez przewodzenie, które, przy udziale złoża fluidalnego wewnątrz kotła, stabilizuje sprawność cieplną układu i czyni go mniej wrażliwym na zmiany wilgotności paliwa i jego wartości opałowej. Tego rodzaju układ jest także mniej wrażliwy na wyższą zawartość popiołu w paliwie (np. w przypadku spalania szlamu z odbarwiania).

Ulepszenia w konstrukcji kotłów rusztowych w połączeniu z nowoczesnymi metodami odzyskiwania ciepła i zewnętrznego oczyszczania gazów odlotowych mogą przyczynić się do zwiększenia opłacalności ich eksploatacji i poprawy ich efektywności środowiskowej, jednak w niższym stopniu niż w przypadku układów ze złożem fluidalnym. Spalanie w kotle ze złożem fluidalnym zachodzi w niższej temperaturze (750 – 950°C) niż spalanie na ruszcie, co przyczynia się do zmniejszenia emisji NO<sub>x</sub>. Ponadto w przypadku układów ze złożem fluidalnym wymiana ciepła na jednostkę powierzchni jest na nieco wyższym poziomie. W związku ze spadkiem znaczenia kotłów rusztowych w sektorze celulozowo-papierniczym, nie zostały one omówione w niniejszym dokumencie bardziej szczegółowo.

Oprócz generowania niskich emisji CO, układy ze złożem fluidalnym pozwalają na kontrolę emisji SO<sub>2</sub> i NO<sub>x</sub> in situ.

Do monitorowania emisji często wykorzystywane są mierniki związków gazowych mierzące ich poziom podczas pracy kotła ze względu na ich większą niezawodność i akceptowalny koszt. Powszechnie stosowane jest wielopunktowe monitorowanie temperatury i tlenu.

Zmniejszenie emisji można osiągnąć stosując następujące działania w komorze spalania:

- I. etapowe spalanie w celu ograniczenia powstawania NO<sub>x</sub>;
- II. zapewnienie wystarczającego czasu przebywania w komorze; odpowiedniej temperatury, wirowania w komorze spalania i unikanie przeładowania w celu zmniejszenia emisji CO i węglowodorów (C<sub>org</sub>) i utrzymania ich na bardzo niskim poziomie;
- III. wtrysk wapna lub wapienia do kotła do odsiarczania;
- IV. wtrysk amoniaku lub związków, które reagując tworzą amoniak do komory spalania: metoda selektywnej redukcji niekatalitycznej (SNCR)

Poniższe środki mogą być stosowane w celu kontrolowania temperatury spalania:

- I. recyrkulacja gazów odlotowych
- II. kontrolowane chłodzenie cyrkulującego popiołu
- III. spalanie etapowe.

Dzięki zaawansowanej kontroli szybkości spalania i przewodnictwu powietrza możliwe jest osiągnięcie niskich emisji NO<sub>x</sub>, CO i C<sub>org</sub>. Przy zastosowaniu nowoczesnych technik etapowego napowietrzania możliwe jest osiągnięcie niskich poziomów emisji NO<sub>x</sub>. W nowoczesnych kotłach ze złożem fluidalnym normalne poziomy operacyjne dla tlenu mieszczą się w zakresie 2 – 3% w suchych gazach odlotowych.

Jeśli chodzi o wtórne instalacje oczyszczania gazów odlotowych, wykorzystywane są następujące urządzenia, w zależności od rodzaju stosowanego paliwa i/lub odpadów oraz wymogów prawnych:

- I. prawidłowo zaprojektowane, eksploatowane i utrzymywane elektrofiltry;
- II. prawidłowo zaprojektowane, eksploatowane i utrzymywane filtry tkaninowe (także z dozowaniem wapna lub aktywnego koksu);
- III. płuczki suche z rozpylaniem adsorbentu.

W większości zakładów oczyszczanie gazów spalin ogranicza się do adsorpcji i odpylania. W kotłowniach z kotłami ze złożem fluidalnym nie są wykorzystywane urządzenia do oczyszczania gazów odlotowych na mokro lub metodą katalityczną. Niektóre zakłady są wyposażone w urządzenia do selektywnej redukcji niekatalitycznej.

## 2.6.2 Bieżące emisje do atmosfery związane z wytwarzaniem pary wodnej i energii elektrycznej

### 2.6.2.1 Emisje pyłu

Emisje pyłu zależą głównie od zawartości popiołu w paliwie (pod warunkiem, że warunki spalania są odpowiednie). Zawartość popiołu może się znacznie wahać, od blisko zera w przypadku gazu i oleju opałowego, do około 1 – 2% w przypadku drewna i kory, i nawet do 20% w przypadku węgla z dużą zawartością popiołu. Także torf i inne paliwa mogą zawierać różne ilości siarki i popiołu.

Powszechną techniką kontroli emisji cząstek stałych (pyłu) z obiektów energetycznego spalania eksploatowanych na miejscu w zakładach celulozowo-papierniczych jest stosowanie filtrów tkaninowych (FF – ang. fabric filter) i filtrów elektrostatycznych (ESP – ang. electrostatic precipitator). Czasem wykorzystywane są także kolektory mechaniczne/inercyjne (cyklony/multicyklony) – zanim spaliny dostaną się do filtrów, lub jako niezależna technika stosowana w przypadku starszych i mniejszych kotłów opalanych biomasą.

W tabeli 2.13 przedstawiono zakres osiągniętych poziomów emisji pyłu zawieszonego z kotłów wykorzystujących paliwa kopalne, biomasę i paliwa mieszane oraz stosowane techniki kontroli emisji. Wyższa zawartość siarki w przypadku oleju opałowego jest często związana z większą zawartością popiołu i azotu.

Starsze i mniejsze kotły, w szczególności kotły opalane biomasą, węglem i innymi paliwami zawierającymi duże ilości popiołu, mogą wykazywać wyższe poziomy emisji pyłu zawieszonego z powodu mniej efektywnego spalania i kontroli spalania i mniej efektywnych środków wtórnych mających na celu zmniejszenie emisji. Według danych ÅF i raportu sporządzonego na życzenie CEPI [ 189, Norrström 2010 ], średnie roczne emisje pyłu zawieszonego mogą wynosić powyżej 50 mg/Nm<sup>3</sup>, a w niektórych przypadkach nawet do 250 mg/Nm<sup>3</sup>. Pod względem technicznym, w układzie z cyklonem możliwe jest osiągnięcie wartości emisji pyłu na poziomie 100 mg/Nm<sup>3</sup>. Wyższe wartości mogą dotyczyć sytuacji, gdy wtórne urządzenia do odpylania nie są odpowiednio zwymiarowane, uległy awarii lub nie są prawidłowo utrzymywane. Poziomy emisji pyłu przekraczające 100 mg/Nm<sup>3</sup> są często wynikiem działania jedynie cyklonu. Nawet bardzo stare filtry elektrostatyczne pozwalają na osiągnięcie wartości emisji pyłu poniżej 100 mg/Nm<sup>3</sup>. Większe instalacje o mocy powyżej 50 MW podlegają przepisom dyrektywy w sprawie emisji przemysłowych i powinny spełniać cele określone w tej dyrektywie.

W niektórych państwach członkowskich (np. AT), nawet stare reaktory ze złożem fluidalnym (data uruchomienia: lata 1983 – 1986) zostały wyposażone w filtry ESP lub filtry tkaninowe. Żaden z tych obiektów energetycznego spalania (w sumie osiem) nie przekracza poziomu emisji wynoszącego 30 mg/Nm<sup>3</sup> (zarówno jako średnia wartość roczna jak i miesięczna). Kolejnym przykładem jest niemieckie zalecenie techniczne w sprawie kontroli jakości powietrza – TA Luft, które określa dopuszczalny poziom emisji (ELV) równy 20 mg/Nm<sup>3</sup> w przypadku kotłów o znamionowej mocy cieplnej przekraczającej 5 MW. Zakłady muszą przestrzegać tego poziomu niezależnie od stosowanego przez nie paliwa. W nowoczesnych instalacjach i w instalacjach, w których w ramach modernizacji zainstalowano filtry ESP lub filtry workowe, osiągnięte wartości

mieszczą się w zakresie 0,5 – 10 mg/Nm<sup>3</sup> (średnia wartość dzienna, przy 6 i 11% O<sub>2</sub>).

Tabela 2.13 pokazuje stosunkowo duże rozbieżności w odniesieniu do kotłów pomocniczych eksploatowanych w europejskich zakładach celulozowo-papierniczych. Tabela ma na celu pokazanie pełnego zakresu zmierzonych emisji z kotłów pomocniczych, które wykorzystują biomasę, paliwa kopalne lub paliwa mieszane.

**Tabela 2. 13 Zakres osiąganych poziomów emisji pyłu zawieszonego z kotłów parowych przy wykorzystaniu różnych rodzajów paliw i stosowaniu różnych środków kontroli emisji (suchy gaz, warunki standardowe) w instalacjach w Europie**

Paliwo	Średnia dobowa (mg/Nm <sup>3</sup> przy 6% O <sub>2</sub> )	Średnia roczna (mg/Nm <sup>3</sup> przy 6% O <sub>2</sub> )	Technika kontroli emisji
Gaz	<5	<5	Kontrola spalania
Olej opałowy 0,05% S	<5	<5	Selekcja paliwa i kontrola spalania
Olej opałowy <1% S	310 – 590	450	W niektórych obiektach nie są stosowane żadne techniki ograniczania emisji, a pomiary
olej opałowy <1% S	5 – 100	20 – 55	Selekcja oleju opałowego i stosowanie filtrów ESP <sup>(2)</sup>
Olej opałowy >1 % S	≤20	≤10	Stosowanie filtrów ESP
Kora, inne rodzaje biomasy, paliwa mieszane	1 – 300 <sup>(1)</sup>	1 – 250 <sup>(1)</sup>	W przypadku wyższych wartości wykorzystywanie cyklonów; standardowo
Węgiel i paliwa mieszane	1 – 300 <sup>(1)</sup>	1 – 250 <sup>(1)</sup>	W przypadku wyższych wartości wykorzystywanie cyklonów; standardowo stosowanie filtrów ESP lub filtrów workowych;
<p><sup>(1)</sup> Wartości z górnej granicy zakresu emisji dla biomasy i węgla zostały zaczerpnięte z bazy danych ÅF (dane odnoszące się do monitorowania prowadzonego w ramach różnych testów i badań dotyczących kotłów; ok. 50 obiektów): [ 189, Norrström 2010 ].</p> <p>Wartości z dolnej granicy zakresu danych zostały zaczerpnięte z wypełnionych kwestionariuszy (2008 r.) i z [229, Stubenvoll i wsp. 2007 ]; przy zastosowaniu filtrów workowych emisje pyłu są zazwyczaj poniżej 20 mg/Nm<sup>3</sup>.</p> <p><sup>(2)</sup> Dane pochodzą z badania ankietowego przeprowadzonego w Portugalii w 2009 r.</p>			

### 2.6.2.2 Emisje SO<sub>2</sub> i innych zanieczyszczeń gazowych

Właściwości i skład paliw wykorzystywanych w kotłach mają istotny wpływ na emisje do atmosfery i determinują, wraz z rodzajem i konstrukcją kotła oraz rodzajem, konstrukcją i działaniem środków służących kontroli emisji, końcowe emisje do atmosfery generowane przez kocioł. Zawartość siarki w paliwie może wynosić od 0,05% lub nawet mniej, w przypadku biomasy i oleju opałowego o niskiej zawartości siarki, aż do ok. 4% w przypadku węgla i oleju opałowego o wysokiej zawartości siarki.

Najbardziej powszechnym i często najbardziej ekonomicznym sposobem kontrolowania emisji SO<sub>2</sub> w przemyśle celulozowo-papierniczym jest stosowanie paliw kopalnych o niskiej zawartości siarki. Przy spalaniu samej kory emisje SO<sub>2</sub> są na niskim poziomie. W przypadku kotłów ze złożem fluidalnym skutecznym środkiem jest wtrysk wapna do kotła. Wtórne techniki kontroli emisji obejmują stosowanie suchych płuczek z rozpylaniem adsorbentu, wtrysk sorbentu (patrz pkt 2.9.7.3) i stosowanie płuczek mokrych (płuczki mokre są jednak stosowane w sektorze celulozowo-papierniczym tylko w przypadku kotłów regeneracyjnych).

Tabela 2.14 zawiera zestawienie osiąganych wartości emisji SO<sub>2</sub> z różnych rodzajów kotłów pomocniczych. W każdym indywidualnym przypadku należy brać pod uwagę czynniki takie, jak faktycznie stosowany rodzaj paliwa i warunki operacyjne, ponieważ w większości przypadków dane pierwotne nie przedstawiały specyficznych warunków, w których wartości te zostały zmierzone. Zakresy podane w tabeli obejmują zawartość siarki w paliwie w zakresie od 0,05% (np. biomasa leśna, olej o niskiej zawartości siarki) do ok. 1,5%. Olej opałowy o niskiej zawartości siarki (poniżej 0,05%, wagowo) jest dostępny na wielu obszarach od kilku dostawców. Olej opałowy o niskiej zawartości siarki zawiera także małe ilości azotu (ok. 0,05%, wagowo) i popiołu (ok. 0,005%), zapewniając tym samym niższe emisje NO<sub>x</sub> i cząstek stałych.

Niektóre starsze kotły pomocnicze, w szczególności kotły opalane węglem i olejem opałowym, mogą uwalniać wyższe emisje SO<sub>2</sub> ze względu na wyższą zawartość siarki w wykorzystywanych w nich paliwach, mniej efektywną kontrolę spalania i mniej efektywne wtórne środki redukcji emisji. Często, oprócz głównego paliwa kopalnego (np. gazu, oleju opałowego lub węgla), w kotłach współspalana jest także część pozostałości lub osadów (np. szlam, pozostałości z procesu produkcji lub inne paliwa). W tabeli podano także zestawienie danych odnoszących się do takich paliw mieszanych.

**Tabela 2. 14 Osiągnięte poziomy emisji SO<sub>2</sub> z kotłów pomocniczych przy wykorzystaniu różnych rodzajów paliw i stosowaniu różnych środków kontroli emisji (warunki standardowe, 6% O<sub>2</sub>, suchy gaz)**

Paliwo	Średnia dobowa (mg/Nm <sup>3</sup> przy 6% O <sub>2</sub> )		Średnia roczna (mg/Nm <sup>3</sup> przy 6% O <sub>2</sub> )		Technika kontroli emisji
	(mg/Nm <sup>3</sup> )	(mg/MJ) <sup>(2)</sup>	(mg/Nm <sup>3</sup> )	(mg/MJ) <sup>(2)</sup>	
Gaz	5	1	5	1	Niska zawartość siarki
Olej opałowy 0,05% S	10	3	10	3	BD
Olej opałowy 1,5% S	50	15	50	15	Płuczka
Biomasa	1 – 30	15	1 – 20	10	Czysta kora i pozostałości drewna ( <sup>1</sup> )

Paliwa mieszane (np. kora, węgiel, olej opałowy, osady, gaz)	35 – 77	BD	6 – 75	BD	Sucha płuczka, wtrysk + ESP lub FF
Węgiel 0,5% S	150	60	100	40	Sucha płuczka, wtrysk
Węgiel 1,5% S	200	80	150	60	Sucha płuczka, wtrysk
<p>Uwagi: BD = brak danych</p> <p>(<sup>1</sup>) Osad biologiczny i osad włóknisty mogą zwiększyć zawartość siarki w paliwie, a tym samym poziom emisji. Z drugiej strony, w Niemczech donoszono o kotle opalanym biomasą, w przypadku którego średnie wartości dobowe były w zakresie 0 – 2 mg/Nm<sup>3</sup>, co dało średnią wartość roczną na poziomie 0,63 mg/Nm<sup>3</sup> (Źródło: UBA, 2010)</p> <p>(<sup>2</sup>) Odnosi się wartości paliwowej paliwa.</p> <p>Źródła: W oparciu o bazę danych ĀF. Baza danych ĀF odnosi się do danych dotyczących monitorowania nowych kotłów w trakcie prób odbiorczych, jak również kotłów, które są już w eksploatacji, dla celów sprawozdawczości środowiskowej; dane zaczerpnięte z uzupełnionych kwestionariuszy (2008 r.)</p>					

### 2.6.2.3 Emisje NO<sub>x</sub>

Rozpatrywanymi związkami azotu są tlenek azotu (NO) i dwutlenek azotu (NO<sub>2</sub>), nazywane łącznie NO<sub>x</sub>, oraz, szczególnie w przypadku kotłów ze złożem fluidalnym, emisje podtlenku azotu (N<sub>2</sub>O).

Możliwym źródłem dodatkowego azotu, a tym samym tlenków azotu, jest osad z oczyszczalni biologicznej i chemicznej flokulacji ścieków. Niektóre paliwa kopalne, takie jak węgiel i ciężki olej opałowy, zawierają również stosunkowo dużo azotu. Oprócz azotu związanego w paliwie, na ogólny poziom emisji NO<sub>x</sub> z obiektu energetycznego spalania mają wpływ także termiczne NO<sub>x</sub>.

Na poziom emisji NO<sub>x</sub> wpływa również ilość nadmiaru powietrza, temperatura i rozkład temperatury w piecu. Ze względu na niższe temperatury spalania w reaktorach ze złożem fluidalnym jest w nich niski poziom termicznych NO<sub>x</sub>.

Środki kontrolowania emisji NO<sub>x</sub> z kotłów obejmują środki pierwotne i wtórne.

a) W reaktorach ze złożem fluidalnym wykorzystywanych w przemyśle celulozowo-papierniczym (patrz pkt 2.6.1.2.3) stosowane są następujące środki pierwotne:

- minimalizowanie nadmiaru powietrza
- napowietrzanie etapowe (nad powietrzem spalania)
- cyrkulacja gazów odlotowych.

b) W turbinach gazowych stosowany jest wtrysk pary lub wody, lub układ spalania niskoemisyjnego (dry low-NO<sub>x</sub> [DLN]). Jako środek wtórny może być zasadniczo stosowana technika SCR.

Powszechnie stosowaną techniką jest wtrysk pary/wody (np. w Kanadzie; patrz BREF LCP [271, COM 2006]. Osiągane wskaźniki redukcji emisji NO<sub>x</sub> wahają się między 60 i 80%. W przypadku, gdy zamierzone jest jednoczesne osiągnięcie niskich poziomów emisji CO, wskaźniki redukcji są na nieco niższym poziomie (40 – 60%).

Technika spalania niskoemisyjnego (dry low-NO<sub>x</sub>) może być stosowana zarówno w przypadku małych (4 – 25 MW<sub>e</sub>) jak i bardzo dużych turbin gazowych (400 MW<sub>e</sub>). Poziom emisji równy 25 ppm NO<sub>x</sub> (odpowiadający 50 mg NO<sub>x</sub>/Nm<sup>3</sup>) jest możliwy do osiągnięcia w mniejszych obiektach, natomiast w dużych obiektach poziom emisji NO<sub>x</sub>

może być dalej zmniejszany do  $<20 \text{ mg/Nm}^3$ , (patrz [ 271, COM 2006 ] i [ 167, BMUJF 1999 ]). Moc turbin gazowych wykorzystywanych w przemyśle celulozowo-papierniczym wynosi zazwyczaj poniżej 50 MWe. Wartości emisji w ich przypadku wynoszą 25 ppm  $\text{NO}_x$  ( $50 \text{ mg NO}_x/\text{Nm}^3$ ) przy 15%  $\text{O}_2$ , o ile stosowana jest technika spalania niskoemisyjnego (dry low- $\text{NO}_x$ ).

c) W przypadku paliw ciekłych lub gazowych stosowane są powszechnie palniki niskoemisyjne ( $\text{NO}_x$ ). Poziomy emisji dla paliw gazowych mieszczą się w zakresie 60 – 90  $\text{mg NO}_x/\text{Nm}^3$ . Wykazano, że dzięki zastosowaniu ciągłego systemu kontrolowania sond lambda, emisje mogą być utrzymywane na bardzo niskim poziomie. Jednak wymaga to zainstalowania systemu ciągłego monitorowania emisji (stosowanego np. w Hamburger, AT; Kwestionariusz 2008 r.)

Przykładowe środki wtórne:

- selektywna redukcja niekatalityczna (SNCR) oraz
- selektywna redukcja katalityczna (SCR).

Metoda SCR nie jest jeszcze stosowana w przemyśle celulozowo-papierniczym z powodu wykorzystywania w nim relatywnie małych kotłów, a także ze względu na zawartość sodu w popiele z kotłów opalanych biomasą, który dezaktywuje katalizator. W związku z tym, metoda SCR nie będzie dalej omawiana.

W układach, w których stosowana jest metoda SNCR, do paleniska wtryskiwany jest amoniak lub mocznik w odpowiednim zakresie temperatur. Emisje  $\text{NO}_x$  mogą zostać obniżone o 30 – 70% przez reakcję, jaka zachodzi między  $\text{NO}_x$  i odczynnikiem, której produktem jest azot i woda. Zakres temperatur dla efektywnego przebiegu procesu SNCR wynosi zazwyczaj 800 – 1 000°C. Wyższe współczynniki redukcji mogą przyczynić się do zwiększenia emisji  $\text{NO}_2$ . Konieczna jest szczególna kontrola dystrybucji reagenta. Zazwyczaj stosuje się wtrysk wielopunktowy, aby reagować na zmiany temperatury spowodowane przez zmiany obciążenia kotła. Korzyści wynikające ze zmniejszenia emisji  $\text{NO}$  należy zbilansować z ryzykiem wzrostu emisji  $\text{NH}_3$ . W dobrze kontrolowanych układach, w których stosowana jest metoda SNCR, emisje  $\text{NH}_3$  są w zakresie 1 – 10  $\text{mg/Nm}^3$  (patrz BREF LCP).

W tabeli 2.15 podano wartości emisji  $\text{NO}_x$  z kotłów, w których stosuje się połączenie technik opisanych powyżej. Dane dotyczące emisji odnoszą się do 3%  $\text{O}_2$  w przypadku gazu i 6%  $\text{O}_2$  dla innych paliw, zakładając, że proces przebiega w standardowych warunkach i przy udziale suchego gazu. Zakresy podane w tabeli odzwierciedlają przede wszystkim wpływ różnej zawartości azotu w paliwach i skuteczność zastosowanych środków wtórnych. W przypadku niektórych starszych kotłów, w których stosowane są mniej efektywne środki kontroli, poziomy emisji będą wyższe: odnotowywane są średnie dobowe poziomy emisji do ok. 200  $\text{mg NO}_x/\text{Nm}^3$  lub nawet wyższe. Kotły pomocnicze stosowane w przemyśle celulozowo-papierniczym pracują w zmiennych warunkach obciążenia, co może mieć wpływ na emisję  $\text{NO}_x$ . Jednakże zakresy emisji podane w tabelach odnoszą się do warunków częściowego obciążenia.

**Tabela 2. 15 Osiągane poziomy emisji  $\text{NO}_x$  z kotłów pomocniczych przy wykorzystaniu różnych rodzajów paliw i stosowaniu różnych środków kontroli emisji**

Paliwo	Średnia dobowa		Średnia roczna		Techniki kontroli emisji
	$\text{mg/Nm}^3$	$\text{mg/MJ}$	$\text{mg/Nm}^3$	$\text{mg/MJ}$	
Gaz	60 – 150	40	60 – 120	30	Palnik niskoemisyjny ( $\text{NO}_x$ ) lub technika DLN
Olej opałowy 0,05% S	200	50	150	40	Paliwo o niskiej zawartości N, palnik niskoemisyjny ( $\text{NO}_x$ ), metoda SNCR

Olej opałowy 1,5% S	240	60	200	50	Palnik niskoemisyjny (NO <sub>x</sub> ), Metoda SNCR
Biomasa	100	45	80	40	Metoda SNCR
Biomasa	75 – 470	Brak danych	190 – 290	80 – 95	Bez zastosowania metody SNCR (3 kotły)
Paliwa mieszane (np. kora, węgiel, olej opałowy, osady, gaz)	130 – 330	Brak danych	150 – 300	Brak danych	Kotły ze złożem fluidalnym
Węgiel 0,5% S	125	50	100	40	Metoda SNCR
Węgiel 1,5% S	75	30	60	25	Metoda SCR
<i>Źródło:</i> W oparciu o bazę danych ĀF. Baza danych ĀF odnosi się do danych dotyczących monitorowania nowych kotłów w trakcie prób odbiorczych, jak również kotłów, które są już w eksploatacji, dla celów sprawozdawczości środowiskowej; dane odnoszące się do gazu zostały zaczerpnięte z uzupełnionych kwestionariuszy (2008 r.) i [ 229, Stubenvoll i wsp. 2007 ]. Dane odnoszące się do kotłów opalanych paliwem mieszanym pochodzą z zakładu UBA (Austria).					

#### 2.6.2.4 Emisje CO

Emisje CO i węglowodorów są przede wszystkim związane z ilością nadmiaru powietrza i z warunkami spalania. Paliwo o niskiej lub nierównej zawartości suchej masy oraz gwałtowne zmiany obciążenia mogą prowadzić do zwiększenia poziomów emisji CO i węglowodorów (TOC), które muszą być kontrolowane. Praca kotła przy niskim lub nierównomiernym obciążeniu cieplnym prowadzi zazwyczaj do zwiększenia emisji.

Tlenek węgla powstaje z węgla zawartego w paliwach w warunkach niepełnego spalania. Warunki spalania prowadzące do podwyższonych poziomów CO powodują również wzrost emisji węglowodorów. Aby osiągnąć całkowite i efektywne spalanie – a tym samym zminimalizować emisje CO i węglowodorów – konieczne jest kontrolowanie następujących parametrów odnoszących się do kotła i do spalania:

- dopływu tlenu
- temperatury paleniska
- mieszania paliwa i powietrza do spalania (tlenu)
- czasu przebywania.

Na przykład spalanie sprzyjające niskiej emisji CO wymaga stosowania wysokich temperatur pieca i wystarczającej ilości tlenu dla pełnego spalania substancji organicznych. Redukcja zawartości CO w gazach odlotowych wymaga kontrolowanego nadmiaru powietrza do spalania. Jednak nadmiar powietrza do spalania będzie prowadzić do zwiększenia emisji NO<sub>x</sub>. Dlatego dążenie do utrzymania na niskim poziomie zarówno emisji NO<sub>x</sub> jak i CO będzie się do pewnego stopnia wykluczać. Kontrola warunków spalania i powietrza do spalania jest zatem ważnym elementem kontrolowania emisji CO. Innym koniecznym warunkiem jest stosowanie paliwa, które jest stabilne pod względem wartości opałowej oraz stabilne obciążenia kotła.

Kontrola szybkości spalania powinna zapewnić wystarczającą ilość tlenu. W prostym systemem sterowania, dopływ powietrza jest kontrolowany poprzez monitorowanie O<sub>2</sub>. Systemy złożone monitorują również obciążenie kotła, wartość opałową paliwa, dopływ paliwa i inne parametry.

Temperaturę w piecu można regulować poprzez recyrkulację gazów odlotowych, podgrzewanie powietrza, nadmiar powietrza i mieszanek paliwową. Recyrkulacja gazów odlotowych oraz podgrzewanie powietrza umożliwiała w szczególności stosowanie paliw o szerokim zakresie wartości opałowej w kotłach ze złożem fluidalnym. Szczególnie w przypadku współspalania osadów z oczyszczalni ścieków, ważne jest zapewnienie



efektywnego mieszania paliw, aby osiągnąć wystarczające wartości opałowe paliwa w celu zapewnienia odpowiedniej temperatury spalania.

Konstrukcja kotła powinna zapewnić wystarczający czas przebywania, temperaturę spalania i skuteczne mieszanie powietrza do spalania i paliw, itp. w celu zmniejszenia emisji CO i zanieczyszczeń organicznych (TOC).

W tabeli 2.16 podano osiągnięte wartości emisji CO z kotłów, w których prowadzone jest kontrolowane spalanie (w warunkach standardowych, przy 6% O<sub>2</sub>, suchy gaz). Starsze kotły bez skutecznej kontroli spalania, w których wykorzystywane są paliwa o nierównej zawartości suchej masy i które pracują w zmieniających się warunkach operacyjnych mogą wykazywać znacznie wyższe emisje, zwłaszcza w przypadku pomiarów dobowych.

**Tabela 2. 16 Osiągane poziomy emisji CO przy wykorzystaniu różnych rodzajów paliw i stosowaniu różnych środków kontroli emisji**

Paliwo	Średnia dobową		Średnia roczna		Środki kontroli emisji
	mg/Nm <sup>3</sup>	mg/MJ	mg/Nm <sup>3</sup>	mg/MJ	
Gaz	5 – 15	5	<5	<2	Nie określono
Olej opałowy 0,05%	15	5	<5	<2	Nie określono
Olej opałowy 1,5% S	25	8	<10	50	Nie określono
Biomasa	5 – 300	150	140	70	Nie określono
Paliwa mieszane (np. kora, węgiel, olej opałowy, osady, gaz)	5 – 150	Brak danych	6 – 100	Brak danych	Brak danych
Węgiel 0,5 % S	250	100	125	50	Pył węglowy

*Źródło:* W oparciu o bazę danych ĀF. Baza danych ĀF odnosi się do danych dotyczących monitorowania nowych kotłów w trakcie prób odbiorczych, jak również kotłów, które są już w eksploatacji, dla celów sprawozdawczości środowiskowej; dane z dolnej granicy zakresu wartości emisji zostały zaczerpnięte z uzupełnionych kwestionariuszy (2008 r.) i [ 229, Stubenvoll i wsp. 2007 ].

Kotły stosowane w przemyśle celulozowo-papierniczym muszą często pracować w warunkach znacznych i gwałtownych zmian obciążenia i zmienności paliwa w odniesieniu do zawartości masy suchej i wartości opałowej. Pomimo zaawansowanych systemów kontroli i prawidłowego mieszania paliw, może to prowadzić do znacznych szczytowych poziomów emisji CO. Poziomy szczytowe mogą przekładać się na wysokie wartości w przypadku dobowych pomiarów emisji, choć zazwyczaj wyrównują się w średniej wartości rocznej.

## 2.7 Oczyszczalnie ścieków

Ładunki ścieków generowanych przez sektor celulozowo-papierniczy można zmniejszyć poprzez zmiany i optymalizację procesów (podejście zintegrowane) i poprzez prowadzenie oczyszczania, gdy tylko ścieki opuszczą proces (oczyszczanie „na końcu rury”). W praktyce te dwa podejścia mogą być łączone w sposób pozwalający na osiągnięcie pożądanych rezultatów przy minimalnych kosztach. W sektorze celulozowo-papierniczym stosuje się również szereg rozwiązań w zakresie oczyszczania na linii produkcyjnej, w których systemy oczyszczania są zintegrowane z częścią obiegów wody i mogą być postrzegane jako rodzaj „nerki”, która trwale usuwa niepożądane substancje dopóki nie zostanie osiągnięty odpowiedni poziom jakości.

Oczyszczanie jest zawsze połączone z samym procesem produkcyjnym. Zmiany w procesie i, w szczególności, przypadkowe uwolnienia zanieczyszczeń, mają zwykle wpływ na

oczyszczalnię, zwłaszcza w przypadku oczyszczania biologicznego. Dlatego optymalizacja procesu wiąże się z funkcjonowaniem oczyszczalni ścieków. Przy projektowaniu lub eksploatacji oczyszczalni ścieków punktem wyjścia jest zazwyczaj analiza procesów i głównych ścieków, które są przez nie generowane. W pierwszej kolejności należy zadbać o wdrożenie środków w ramach procesów. Środki zintegrowane z procesem przyczyniają się do zmniejszenia ładunków u źródła, a w wielu przypadkach także do osiągnięcia bezpośrednich oszczędności w odniesieniu do kosztów surowców (włókien, wypełniaczy i dodatków) i zużycia energii. Niezbędne działania mogą być zwykle przeprowadzane przez personel zakładu. Jednak przejście na mniej szkodliwy proces może wiązać się ze znacznymi kosztami z powodu konieczności wdrożenia bardziej zaawansowanej technologii. Efektywne rozwiązania są zwykle kombinacją środków wewnętrznych i zewnętrznych.

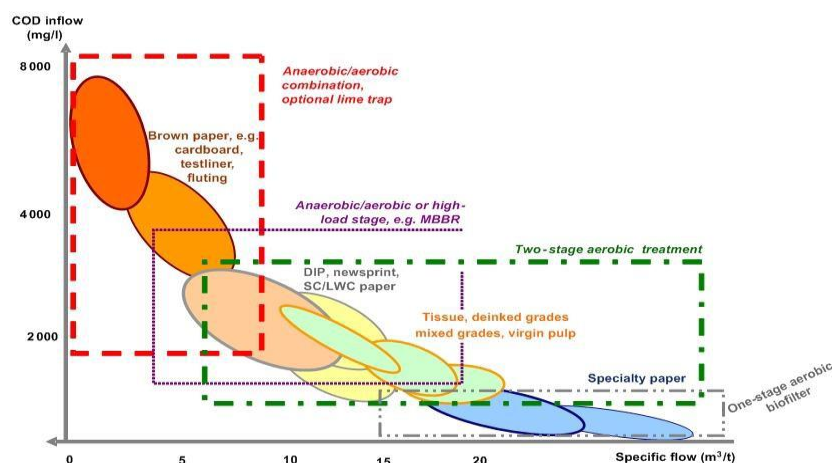
W przypadku gdy papiernie zrzucają generowane przez nie ścieki za pośrednictwem kanalizacji do oczyszczalni ścieków komunalnych lub przemysłowych zlokalizowanej poza terenem zakładu, ogólna sprawność oczyszczalni zewnętrznej może ulec zmianie pod wpływem jakości i ilości innych strumieni ścieków, które są oczyszczane łącznie ze ściekami z papierni. W niektórych przypadkach 'korzyści skali' generowane przez oczyszczalnię należącą do konsorcjum mogą prowadzić do osiągania współczynników zmniejszenia emisji, które są równe, a nawet lepsze niż w przypadku porównywalnej oczyszczalni ścieków na terenie zakładu. Jest to spowodowane tym, że papiernie i inne gałęzie przemysłu, które są podłączone do wspólnej oczyszczalni ścieków mogą mieć dostęp do bardziej skutecznych metod oczyszczania przy odpowiednim nadzorze ich funkcjonowania.

Ścieki produkowane przez przemysł celulozowo-papierniczy zawierają substancje, które są wyodrębniane z drewna lub z włókien wtórnych. Zawierają one także pewne substancje chemiczne wykorzystywane w procesie, które są uwalniane z procesów i nie są zatrzymywane we włóknach wytworzonej masy włóknistej lub papieru. Ścieki te zawierają cząstki stałe lub materiał w postaci koloidalnej lub rozpuszczonych substancji. Poza kilkoma wyjątkami (rozwłóknianie eukaliptusa), pierwotne poziomy azotu i fosforu są niskie, a zatem pierwiastki te są dodawane do biologicznych oczyszczalni ścieków w celu zasilenia biomasy. Ścieki mogą być zabarwione, zwłaszcza w przypadku produkcji masy chemicznej. Niektóre nieoczyszczone ścieki są toksyczne dla ryb, na przykład ścieki z korowania drewna.

W zależności od rodzaju i ładunku wytworzonych ścieków, zakłady celulozowo-papiernicze wykorzystują różne systemy oczyszczania, odpowiednie do efektywnego oczyszczania przyjmowanych ładunków. Zwykle oczyszczanie ścieków polega na wyrównaniu różnic w strumieniu ścieków i ich składzie, a następnie na usuwaniu cząstek stałych (np. pierwotna sedymentacja). Fizyczne lub fizykochemiczne metody oczyszczania są stosowane głównie w celu usunięcia ciał stałych i cząstek koloidalnych o wysokiej masie cząsteczkowej. Metody biologiczne pozwalają na usunięcie rozpuszczonych związków organicznych, które są utleniane biochemicznie lub kierowane do biomasy. Niepożądane uwolnienie takiej biomasy jest kontrolowane przez stosowanie materiału nośnego (biofilmu), wtórnej sedymentacji, flotacji lub filtracji – w niektórych przypadkach.

W zależności od jakości ścieków i ładunku organicznego, zakłady celulozowo-papiernicze wykorzystują różne koncepcje oczyszczania. Rysunek 2.14 przedstawia powszechnie stosowane metody biologicznego oczyszczania ścieków i ich możliwe zastosowanie w przemyśle papierniczym. Na rysunku pokazano, jakie systemy oczyszczania są często stosowane w przypadku ścieków z produkcji przykładowych rodzajów papieru (nie uwzględniono roztwarzania chemicznego) wytwarzanych z włókien pierwotnych lub

wtórnych (lub mieszanki włókien). Poszczególne wartości odnoszące się do zużycia wody ( $m^3/t$ ) i początkowych stężeń ChZT przed oczyszczaniem, naniesione na osiach X i Y, mają charakter orientacyjny. Inne koncepcje oczyszczania, np. oczyszczanie jednoetapowe z udziałem osadu czynnego, także mogą dawać satysfakcjonującą skuteczność usuwania. Obecne zastosowania tych systemów oczyszczania, opisy techniczne stosowanych technik i ich skuteczność zostały omówione rozdziałach 3 do 7, w punktach odnoszących się do oczyszczania ścieków metodą beztlenową lub tlenową.



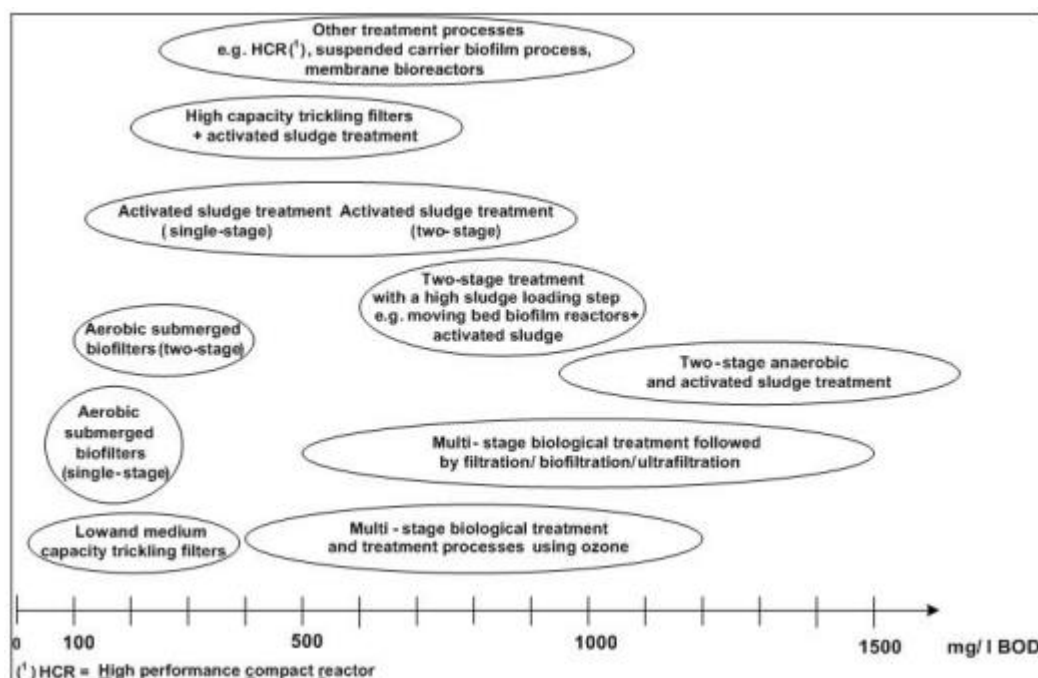
Źródło: [ 103, P.Fischer 2008 ]

Rysunek 2. 14 Różne koncepcje stosowania biologicznego oczyszczania ścieków dla różnych rodzajów papieru i uproszczone tendencje w odniesieniu do ładunków organicznych

COC inflow (mg/l)	Wpływający strumień ChZT (mg/l)
<i>Anaerobic/aerobic combination, optional lime trap</i>	Połączenie beztlenowe/tlenowe, opcjonalnie zgarniacz wapna
Brown paper, e.g. cardboard, testliner, fluting	Papier pakowy, np. tektura, papier na warstwę pofalowaną (testliner, fluting)
<i>Anaerobic/aerobic or highload stage, e.g. MBBR</i>	Beztlenowe/tlenowe lub metoda stosowana w przypadku wysokiego obciążenia, np. reactor MBBR
DIP, newsprint, SC/LWC paper	DIP, papier gazetowy, papier SC/LWC
<i>Two-stage aerobic treatment</i>	Dwustopniowe oczyszczanie tlenowe
Tissue, deinked grades mixed grades, virgin pulp	Bibułka tissue, papiery z makulatury odbarwionej, papiery z makulatury mieszanej, masa z włókien pierwotnych
Specialty paper	Papier specjalny
<i>One stage aerobic biofilter</i>	Jednostopniowy filtr biologiczny – metoda tlenowa
Specific flow ( $m^3/t$ )	Strumień ( $m^3/t$ )
Source: [ 103, P.Fischer 2008 ]	Źródło: [ 103, P.Fischer 2008 ]

Istnieje wiele różnych metod tlenowego oczyszczania ścieków z zakładów celulozowo-papierniczych: systemy wykorzystujące osad czynny, takie jak (lecz nie tylko) konwencjonalne reaktory z osadem czynnym (jedno- lub wielostopniowe), reaktory z sekwencjonowaniem partii osadu, wysoce wydajne reaktory kompaktowe i napowietrzane laguny; i systemy wykorzystujące biofilm, takie jak (lecz nie tylko), biofiltry na złożu

zanurzonym w wodzie, formowane z udziałem bakterii tlenowych, reaktory z biofilmem zawieszonym na materiale nośnym lub reaktory z biofilmem na złożu ruchomym (MBBR), filtry odsączające i obrotowe kontakторы biologiczne (RBC). Wymienione techniki oczyszczania są wykorzystywane w zastosowaniach jedno- lub wielostopniowych lub w połączeniu z innymi technikami. Stosowane są także metody beztlenowe (patrz pkt 2.9.11.2.2). Główne technologie wykorzystywane w celach oczyszczania biologicznego oraz zakresy stężeń dla odpowiednich zastosowań zostały przedstawione na rysunku 2.15.



Rysunek 2. 15 Główne techniki oczyszczania ścieków z zakładów celulozowo-papierniczych oraz zakresy stężeń dla odpowiednich zastosowań

Other treatment processes e.g. HCR <sup>(1)</sup> , suspended carrier biofilm process, membrane bioreactors	Inne procesy oczyszczania, np. HCR <sup>(1)</sup> , biofilm zawieszony na materiale nośnym, bioreaktory membranowe
High capacity trickling filters + activated sludge treatment	Filtry odsączające o dużej pojemności + oczyszczanie metodą osadu czynnego
Activated sludge treatment (single-stage)	Oczyszczanie metodą osadu czynnego (proces jednostopniowy)
Aerobic submerged biofilters (two-stage)	Biofiltry na złożu zanurzonym w wodzie, formowane przez bakterie tlenowe (proces dwustopniowy)
Two-stage treatment with a high sludge loading step e.g. moving bed biofilm reactors+ activated sludge	Dwustopniowe oczyszczanie z udziałem dużego ładunku osadu, np. reaktory z biofilmem na złożu ruchomym + osad czynny
Two-stage anaerobic and activated sludge treatment	Oczyszczanie dwustopniowe z udziałem osadu czynnego metodą tlenową
Aerobic submerged biofilters (single-stage)	Biofiltry na złożu zanurzonym w wodzie, formowane przez bakterie tlenowe (proces jednostopniowy)
Multi - stage biological treatment followed by filtration/ biofiltration/ ultrafiltration	Wielostopniowe oczyszczanie biologiczne + filtracja/biofiltracja/ultrafiltracja
Low and medium capacity trickling filters	Filtry odsączające o niskiej lub średniej pojemności

Multi - stage biological treatment and treatment processes using ozone	Wielostopniowe oczyszczanie biologiczne i procesy oczyszczania z zastosowaniem ozonu
( <sup>1</sup> ) HCR = High performance compact reactor	( <sup>1</sup> ) HCR = Wysoce wydajny reaktor kompaktowy
mg/l BOD	mg/l BZT

Wartości stężeń odnoszą się do stężeń wlotowych i należy je traktować jako dane szacunkowe dla celów ogólnego przeglądu systemów oczyszczania ścieków stosowanych w zakładach celulozowo-papierniczych. Celem rysunku nie jest wykluczenie lub umniejszenie znaczenia pewnych zastosowań lub systemów oczyszczania, np. gdy ładunek organiczny nie mieści się we wskazanych zakresie (według [ 113, PTS 1998 ]).

W tabeli 2.17 przedstawiono przegląd najważniejszych systemów oczyszczania biologicznego, ich odpowiednie zakresy zastosowania, niektóre zalety i wady, a także kilka dodatkowych uwag.

Tabela 2. 17 Biologiczne oczyszczanie ścieków z zakładów celulozowo-papierniczych

Proces	Zastosowanie (średnie stężenie wlotowe BZT)	Zalety	Wady	Uwagi
Biofiltry na złożu zanurzonym w wodzie, formowane z udziałem bakterii tlenowych (jednostopniowy)	20 – 100 mg/l	Proces jest bezpieczny; unieruchomiona biomasa; niskie stężenie cząstek stałych zawieszonych w ściekach	Wrażliwy na wyższe stężenie zawieszonych cząstek stałych	BD
Biofiltry na złożu zanurzonym w wodzie, formowane z udziałem bakterii tlenowych (dwustopniowy)	100 – 300 mg/l (lub więcej)	BD	BD	BD
Filtry odsączające o małej lub średniej pojemności	<400 mg/l	Prosta konstrukcja; niskie zużycie energii, chłodzenie ścieków, szybki odzysk po krótkotrwałym szoku toksycznym <sup>(1)</sup>	W niektórych przypadkach ryzyko zatkania; zapach złowny przy usuwaniu wkładu, dla optymalnego funkcjonowania konieczne jest wyższe stężenie P (1,0 – 1,5 mg/l)	Przy odpowiedniej gospodarce substancjami odżywczymi ryzyko zatkania i wydzielania zapachów złownych jest minimalne. Przy odpowiedniej eksploatacji żywotność na poziomie 15 lub więcej lat
Filtry odsączające o dużej pojemności + osad czynny	200 – 800 mg/l	BD	BD	BD
Osad czynny (jednostopniowy)	100 – 1 000 mg/l	Konwencjonalny proces, możliwy do prowadzenia na wiele sposobów; ugruntowana technika oczyszczania	Zużycie energii; nadmiar osadu; problemy z luźnym lub pływającym osadem	BD
Osad czynny (dwustopniowy)	300 – >1 000 mg/l	BD	BD	Duże znaczenie ma oddzielenie obwodów osadu
Osad czynny (dwustopniowy z etapem z udziałem dużego ładunku osadu)	600 – 1 200 mg/l	Lepsze właściwości procesu z udziałem osadu czynnego	Zużycie energii; nadmiar osadu	BD

Reaktory z biofilmem na złożu ruchomym (biomasa przytwierdzona do ruchomego materiału nośnego)	300 – 1 500 mg/l	Przytwierdzona biomasa; mniejsza objętość reaktora; brak powracającego osadu; mniej wrażliwy na obciążenia szczytowe	Nadmiar osadu	Odpowiedni także dla ładunków o dużej objętości
Obrotowe kontaktowy biologiczne (RBC) Systemy z przytwierdzoną biomasa/biodyski	Stosowane jako stopień usuwania masowego lub do oczyszczania zaawansowanego	Opłacalne kosztowo w przypadku mniejszych zakładów; niskie zapotrzebowanie na energię (<0,3 kWh/kg usuniętego BZT <sub>5</sub> )	W wielu krajach europejskich RBC są mniej popularne	Stosowane z sukcesem w przemyśle papierniczym w USA i we Włoszech
Osad czynny jako reaktor sekwencjonowania partii osadu (SBR)	100 – 1 000 mg/l	Bardziej elastyczna praca	Kontrola procesu wymaga większych nakładów pracy; proces nieciągły	BD
Uwagi: BD = brak danych <sup>(1)</sup> Źródło: Water treatment handbook, rozdział 11.2 filtry odsączające, wydanie 6, Degremont. Źródło: [ 113, PTS 1998 ], zmodyfikowano przez EIPPCB.				

W trakcie oczyszczania biologicznego, rozpuszczone substancje organiczne są przekształcane w biomase, która gromadzi się w osadzie biologicznym (ilości osadu podano w czterech przykładach poniżej). Osad włóknisty ze zbiornika wstępnej sedimentacji i nadmiar osadu z oczyszczalni wykorzystującej osad czynny zagęszcza się w oddzielnych zbiornikach zagęszczających. Odwadnianie może odbywać się przy użyciu prasy ślimakowej ze wstępnym koncentratorem lub w maszynie odwadniającej z prasą taśmową. Odwodniony osad jest często mieszany z korą i spalany w kotle korowym. Inne rozwiązanie to spalanie w instalacji produkującej energię elektryczną z biomasy, spalarni osadów ze złożem fluidalnym lub w kotle regeneracyjnym. W pozostałych przypadkach osad jest dostarczany do zewnętrznych zakładów zajmujących się gospodarką odpadami w celu produkcji biogazu, utylizacji na wysypisku lub w innych celach.

## 2.8 Przegląd pozostałości z procesu produkcji i odpadów stałych

Produkcja mas włóknistych i papieru generuje różne rodzaje pozostałości, których przykłady podano w tabeli 2.18.

Tabela 2. 18 Przykłady odpadów generowanych w ramach procesów produkcji mas włóknistych i papieru

Proces	Przykłady generowanych pozostałości/odpadów stałych
Obróbka drewna	Kora i fragmenty drewna, piasek i kamienie
Uzdatnianie wody surowej	Osady z flokulacji
Roztworzenie siarczanowe	Nadmiar wapna, szlam i żwir z systemu odzysku; wyodrębniony popiół ESP; odrzuty i włókna z linii włókien
Roztworzenie siarczynowe	Popioły z kotła regeneracyjnego; osady z klarowania ługu warzelnego; odrzuty i włókna z linii włókien
Rozwłóknianie mechaniczne	Piasek i fragmenty drewna z mycia zrębków; odrzuty i włókna z linii włókien
Przetwarzanie makulatury	Odrzuty z oczyszczania masy papierniczej (odrzuty niewłókniste, np. piasek, złom metalowy), odrzuty włókniste ze szlamu z odbarwiania
Produkcja papieru	Odrzuty i włókna, osad włóknisty, pigmenty powłok
Kotły energetyczne	Popioły
Oczyszczanie ścieków	Osad włóknisty, osad biologiczny i osad chemiczny
Pozostałości niespecyficzne dla sektora	Metale, tworzywa sztuczne, szkło, odpady budowlane, odpady komunalne, odpady niebezpieczne, takie jak chemikalia, oleje i smary z wycieków

Niektóre z wyżej wymienionych materiałów generowanych w ramach procesu produkcyjnego mogą nie być uważane za odpady, zgodnie z art. 3 ust. 1 dyrektywy ramowej w sprawie odpadów (WFD), lecz za produkty uboczne, o ile spełniają one warunki określone w art. 5 WFD [ 205, WFD 98/WE 2008 ].

Istnieją znaczne różnice w wielkości i charakterze pozostałości wytwarzanych w różnych typach zakładów. Główne frakcje odpadów i główne sposoby odzysku oraz kwestie związane z ich ponownym wykorzystaniem lub utylizacją zostały omówione w odpowiednich punktach rozdziałów 3 do 7.

Według skonsolidowanego ‘wykazu odpadów’ [ 50, Decyzja 2000/532/WE 2000 ] głównymi rodzajami ‘odpadów z produkcji i przetwarzania mas włóknistych, papieru i tektury’ są:

- 03 03 01 kora i drewno (kora, trociny, odrzuty z sortowania zgrubnego i dokładnego)
- 03 03 02 osady wapienne i szlamy z ługu zielonego (z odzysku ługu warzelnego w procesie rozwłókniania siarczanowego)
- 03 03 05 szlamy z odbarwiania przetwarzanej makulatury
- 03 03 07 mechanicznie wydzielone odrzuty z rozwłókniania makulatury i tektury
- 03 03 08 odpady z sortowania papieru i tektury przeznaczonej do recyklingu
- 03 03 09 szlam wapienny (pokaustykacyjny) (celulozownie siarczanowe)
- 03 03 10 odrzuty włókien, szlamy z włókien, wypełniaczy i powłok pochodzące z mechanicznego sortowania
- 03 03 11 osady z zakładowych oczyszczalni ścieków inne niż osady wymienione w 03 03 10
- 03 03 99 inne niewymienione odpady.



Wymienione odpady nie niebezpieczne stanowią 88% całkowitej produkcji odpadów z zakładów celulozowo-papierniczych [ 139, ASPAPEL 2008 ].

W zależności od ilości energii dostarczanej do zakładu celulozowo-papierniczego i ilości pary wodnej i energii elektrycznej wytwarzanej na miejscu, należy uwzględnić dodatkowo następujące materiały odpadowe:

10 01 odpady z elektrowni innych obiektów energetycznego spalania, takie jak 10 01 01 popioły paleniskowe  
10 01 02 popioły lotne z węgla  
10 01 03 popioły lotne z torfu i drewna (niepoddanego obróbce)  
i kilka innych materiałów odpadowych.

### ***Pozostałości/odpady niespecyficzne dla sektora celulozowo-papierniczego***

W większości zakładów celulozowo-papierniczych występują pozostałości/odpady niespecyficzne dla tej branży. Materiały te mogą obejmować:

- elementy metalowe i metal wykorzystany w ramach konserwacji
- urządzenia i części elektryczne i elektroniczne, w tym żarówki, lampy fluorescencyjne, itp.
- przewody i filc
- odpady budowlane, takie jak szkło, drewno, beton, cegły, itp.
- substancje chemiczne, w tym pozostałości powłok
- odpady z laboratoriów (głównie chemikalia)
- oleje i smary z wycieków
- materiał opakowaniowy (pojemniki na chemikalia, palety, itp.)
- odpady komunalne (ze stołówek i biur).

Aby poradzić sobie z tego rodzaju odpadami w jak najbardziej efektywny sposób, w wielu zakładach wdrożone zostały systemy do sortowania odpadów na główne frakcje. Systemy te ułatwiają ponowne wykorzystanie, dalszy recykling i/lub odzysk i minimalizują ilości, które muszą zostać przekazane do składowania lub specjalnego przetwarzania.

Materiały niebezpieczne powinny być zawsze gromadzone oddzielnie, a ich gromadzenie powinno być zorganizowane z podziałem na różne 'klasy', takie jak pozostałości rozpuszczalników, oleje i smary z wycieków, zużyte chemikalia, itp. Dalsza obróbka tak zgromadzonego materiału powinna być wykonywana przez certyfikowane firmy.

## 2.9 Ogólne techniki do rozważenia przy ustalaniu BAT wspólnych dla wszystkich zakładów

W tej części dokumentu opisano techniki (lub ich połączenia) wraz z ich monitorowaniem, które są uważane za techniki mogące przyczynić się do osiągnięcia wysokiego poziomu ochrony środowiska w działaniach objętych zakresem niniejszego dokumentu. Opisy technik będą obejmować zarówno zastosowaną technologię jak i sposób, w jaki dana instalacja została zaprojektowana, zbudowana, jest utrzymywana, eksploatowana i wycofywana z eksploatacji.

Niniejszy podrozdział obejmuje systemy zarządzania środowiskowego, techniki zintegrowane z procesem i środki stosowane w ramach technologii „końca rury”. Uwzględniono także zapobieganie powstawaniu odpadów i gospodarkę odpadami, w tym procedury minimalizacji ilości odpadów i procedury recyklingu, a także techniki, które zmniejszają zużycie surowców, wody i energii poprzez optymalizację ich wykorzystania i ich ponowne wykorzystanie. Opisane techniki obejmują również środki stosowane w celu zapobiegania lub ograniczenia wpływu na środowisko w przypadku wypadków i awarii, a także środki remediacji terenu. Obejmują one także środki podejmowane w celu zapobiegania emisjom lub ich zmniejszenia w warunkach operacyjnych innych niż standardowe (takich jak rozruch i operacje wyłączania, przecieki, awarie, chwilowe przestoje i ostateczne zaprzestanie działalności).

W załączniku III do dyrektywy wymieniono szereg kryteriów ustalania BAT, do których będą się odnosić informacje zawarte w tym rozdziale. W miarę możliwości, stosowana jest standardowa struktura pokazana w tabeli 2.19 w celu przedstawienia informacji na temat każdej techniki oraz umożliwienia porównania technik i dokonania oceny w odniesieniu do definicji BAT zawartych w dyrektywie w sprawie emisji przemysłowych.

Techniki omawiane w tej części dokumentu nie stanowią wyczerpującej listy technik, które mogą być stosowane w sektorze celulozowo-papierniczym. Mogą istnieć inne techniki lub mogą być opracowywane nowe, które mogą być uwzględnione przy ustalaniu BAT dla konkretnej instalacji.

Tabela 2. 19 Informacje przedstawiane w odniesieniu do każdej techniki

Nagłówki używane w odniesieniu do każdej z technik
Opis
Opis techniczny
Główne korzyści środowiskowe
Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne
Oddziaływanie na procesy i środowisko (cross-media effects)
Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania
Aspekty ekonomiczne
Motywacja do wdrożenia
Instalacje referencyjne
Bibliografia

## 2.9.1 Systemy zarządzania środowiskowego (ang. Environment Management Systems – EMS)

### Opis

System formalny służący wykazaniu zgodności z celami ochrony środowiska.

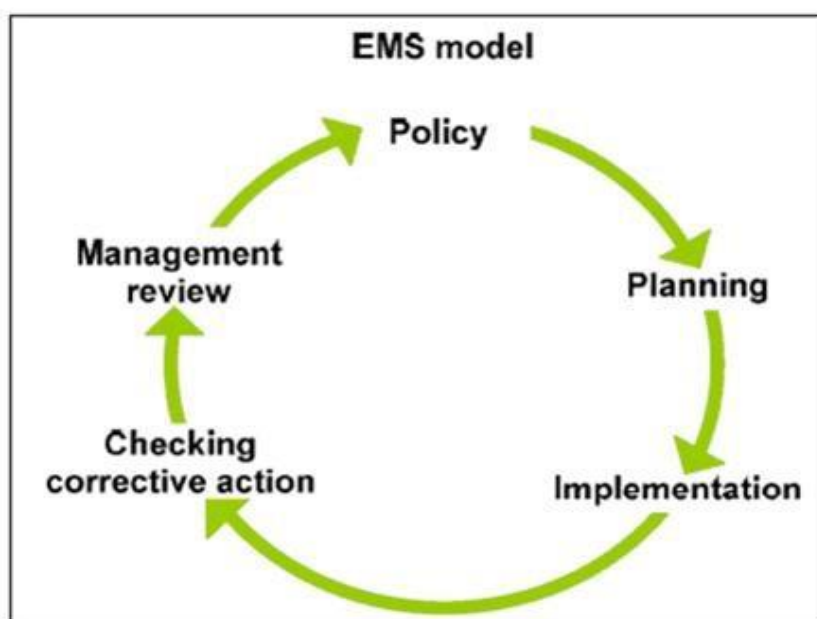
### Opis techniczny

Dyrektywa definiuje ‘techniki’ (zgodnie z definicją ‘najlepszych dostępnych technik’) jako ‘zarówno zastosowaną technologię jak i sposób, w jaki dana instalacja została zaprojektowana, zbudowana, jest utrzymywana, eksploatowana i wycofywana z eksploatacji’.

W związku z tym, system zarządzania środowiskowego (EMS) jest techniką umożliwiającą operatorom instalacji uwzględnianie kwestii środowiskowych w systematyczny i widoczny sposób. EMS są najbardziej skuteczne i wydajne, gdy stanowią nieodłączną część ogólnego systemu zarządzania i eksploatacji instalacji.

System EMS zwraca uwagę operatora na ekologiczność instalacji; w szczególności poprzez zastosowanie jasnych procedur operacyjnych zarówno w normalnych warunkach operacyjnych jak i w warunkach innych niż normalne, oraz poprzez określenie związanych z tym zakresów odpowiedzialności.

Wszystkie skuteczne EMS uwzględniają koncepcję ciągłego doskonalenia, co oznacza, że zarządzanie środowiskowe jest procesem ciągłym, a nie projektem, który w pewnym momencie się skończy. Istnieją różne wersje procesu, jednak większość EMS jest oparta na cyklu zaplanuj – wykonuj – sprawdzaj – działaj (który jest powszechnie stosowany w innych aspektach zarządzania przedsiębiorstwem). Cykl ten stanowi dynamiczny, powtarzalny model, w którym zakończenie jednego cyklu łączy się z rozpoczęciem kolejnego (patrz rysunek 2.16).



Rysunek 2.16 Ciągłe doskonalenie w modelu EMS

EMS model	Model EMS
Policy	Strategia
Planning	Planowanie

Implementation	Realizacja
Checking corrective action	Sprawdzanie i ewentualne działania naprawcze
Management review	Przegląd przez zarząd

System EMS może przyjąć formę systemu znormalizowanego lub nieznormalizowanego ('zmodyfikowanego'). Wdrożenie i przestrzeganie międzynarodowo przyjętego systemu znormalizowanego, takiego jak EN ISO 14001:2004, może zwiększyć wiarygodność EMS, zwłaszcza, gdy zostanie on poddany prawidłowo przeprowadzonej weryfikacji zewnętrznej. EMA zapewnia dodatkową wiarygodność ze względu na interakcję ze społeczeństwem poprzez deklarację środowiskową i mechanizm stosowany w celu zapewnienia zgodności z obowiązującymi przepisami w zakresie ochrony środowiska. Systemy nieznormalizowane mogą okazać się, co do zasady, równie skuteczne pod warunkiem, że są one odpowiednio zaprojektowane i wdrożone.

Choć zarówno systemy znormalizowane (EN ISO 14001:2004 lub EMAS) jak i nieznormalizowane odnoszą się zasadniczo do **organizacji**, w niniejszym dokumencie przyjęto węższe podejście, nie uwzględniając wszystkich działań w ramach organizacji, np. w odniesieniu do ich produktów i usług, z uwagi na fakt, że dyrektywa reguluje zagadnienia odnoszące się jedynie do **instalacji/zakładów**.

System EMS może uwzględniać następujące elementy:

1. zaangażowanie kierownictwa, w tym kadry kierowniczej wyższego szczebla;
2. definicję polityki w zakresie ochrony środowiska, obejmując ciągle doskonalenie instalacji przez kierownictwo;
3. planowanie i ustalenie niezbędnych procedur, celów i zadań, w powiązaniu z planami finansowymi i inwestycjami;
4. wdrożenie procedur zwracając szczególną uwagę na:
  - a) strukturę i odpowiedzialność
  - b) szkolenie, świadomość i kompetencje
  - c) komunikację
  - d) zaangażowanie pracowników
  - e) prowadzenie dokumentacji
  - f) skuteczne kierowanie procesem
  - g) programy prac konserwacyjnych
  - h) gotowość i reagowanie w sytuacjach zagrożenia
  - i) zagwarantowanie przestrzegania przepisów w zakresie ochrony środowiska;
5. sprawdzanie efektywności i podejmowanie działań naprawczych zwracając szczególną uwagę na:
  - a) monitorowanie i pomiary (patrz również Dokument referencyjny dla ogólnych zasad monitoringu) [ 269, COM 2003 ]
  - b) działania naprawcze i prewencyjne
  - c) prowadzenie dokumentacji
  - d) niezależny (w miarę możliwości) audyt wewnętrzny i zewnętrzny, w celu ustalenia, czy system EMS jest zgodny z zaplanowanymi ustaleniami i czy

został prawidłowo wdrożony i jest prawidłowo realizowany;

6. przegląd EMS i jego ciągłej przydatności, adekwatności i skuteczności przez kierownictwo wyższego szczebla;
7. śledzenie rozwoju bardziej ekologicznych technologii;
8. rozważenie wpływu na środowisko ostatecznego wycofania instalacji z użytkowania i uwzględnienie tego wpływu na etapie projektowania nowego obiektu i podczas jego eksploatacji;
9. regularne prowadzenie analizy porównawczej dla sektora.

### **Główne korzyści środowiskowe**

System EMS promuje i wspiera ciągłą poprawę efektywności środowiskowej instalacji. Jeśli instalacja osiągnęła już odpowiednio wysoki poziom efektywności środowiskowej, EMS pomaga operatorowi utrzymać jej wysoki poziom.

### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Europejski przemysł papierniczy, za pośrednictwem CEPI, zobowiązał się do osiągnięcia celu, jakim jest wdrożenie certyfikowanych systemów zarządzania środowiskowego (EMS/ISO 14001).

### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Brak doniesień. Systematyczna analiza początkowego oddziaływania na środowisko oraz zakres usprawnień w ramach EMS dają podstawę do oceny najlepszych rozwiązań dla wszystkich elementów środowiska.

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Elementy opisane powyżej mogą być zazwyczaj stosowane do wszystkich instalacji objętych zakresem niniejszego dokumentu. Zakres (np. poziom szczegółowości) i charakter systemu EMS (np. znormalizowany lub nieznormalizowany) będzie związany z charakterem, skalą i złożonością instalacji, a także z zakresem oddziaływania na środowisko, jakie dana instalacja może powodować.

### **Aspekty ekonomiczne**

Trudno jest dokładnie określić koszty i korzyści ekonomiczne związane z wdrożeniem i utrzymaniem efektywnego systemu EMS. Należy pamiętać również o korzyściach ekonomicznych wynikających z korzystania z systemu EMS, które wykazują znaczne różnice w zależności od sektora. Koszty zewnętrzne związane z weryfikacją systemu można oszacować na podstawie wytycznych wydanych przez International Accreditation Forum [ 31, IAF 2010 ].

### **Motywacja do wdrożenia**

Motywacją do wdrożenia systemu EMS jest m.in.:

- zwiększenie efektywności środowiskowej
- lepszy wgląd przedsiębiorstwa w kwestie środowiskowe, który może zostać wykorzystany do spełnienia wymogów w zakresie ochrony środowiska jego klientów, organów regulacyjnych, banków, firm ubezpieczeniowych i innych zainteresowanych stron (np. osób mieszkających lub pracujących w pobliżu instalacji)
- lepsze podstawy do podejmowania decyzji
- zwiększenie motywacji pracowników (np. menedżerowie mogą mieć pewność, że oddziaływanie na środowisko jest kontrolowane, a pracownicy mają poczucie, że pracują w przedsiębiorstwie przyjaznym środowisku)

- dodatkowe możliwości redukcji kosztów operacyjnych i poprawy jakości produktów
- poprawa wizerunku firmy
- niższe koszty związane z ponoszeniem odpowiedzialności, ubezpieczeniami i niespełnianiem wymogów.

### Instalacje referencyjne

Systemy EMS są stosowane w wielu instalacjach w całej Europie. System EMS został wdrożony przez 83% europejskich zakładów celulozowo-papierniczych. W 2010 r. systemy zarządzania środowiskowego zostały certyfikowane w 469 zakładach celulozowo-papierniczych w Europie (76% ogółu), *źródło*: CEPI). Na przykład w Hiszpanii, 94% całkowitej produkcji mas włóknistych i papieru zrealizowały zakłady posiadające certyfikowane systemy EMS (*źródło*: ASPAPEL: Update sustainability report 2009 (Raport dotyczący zrównoważonego rozwoju – aktualizacja).

### Bibliografia

Rozporządzenie EMAS (WE) nr 1221/2009: [ 83, rozporządzenie 1221/2009 ]; strona www DG ds. Środowiska EMAS: [ 30, DG ds. Środowiska 2010 ]; EN ISO 14001: 2004: ISO 14000 strona www dla grupy norm: [ 29, ISO 2004 ]; komitet techniczny ds. ISO 14000: [ 25, ISO 2010 ]; [ 79, Dyllick i Hamschmidt 2000 ], [ 82, Clausen J., M. Keil i M. Jungwirth 2002 ].

## 2.9.2 Obróbka i przechowywanie surowców

### 2.9.2.1 Zmniejszenie emisji generowanych w procesie obróbki drewna

#### Opis

Najistotniejsze aspekty środowiskowe odnoszące się do obróbki drewna i środki służące zmniejszeniu emisji zostały zestawione w tabeli 2.20. Ścieki z procesu obróbki drewna odprowadzane do wody pochodzą z bębna korowania i ze spryskiwania wodą hałd drewna. Ścieki z procesu korowania można zminimalizować poprzez stosowanie suchego korowania (patrz pkt 2.9.2.2). Podczas spryskiwania hałd należy ograniczyć do minimum ilość wykorzystywanej w tym celu wody poprzez kontrolowanie temperatury i wilgotności otoczenia, aby dostosować jej ilość do parowania hałd. Należy zapobiegać zanieczyszczeniu gleby i wód gruntowych poprzez brukowanie powierzchni placu drzewnego (w szczególności powierzchni używanych do przechowywania zrębków) i za pomocą systemów zbierania wody. Konieczne może być dalsze oczyszczanie zanieczyszczonej wody, natomiast woda niezanieczyszczona może nie wymagać żadnego oczyszczania.

Hałdy zrębków i kłód emitują pewne ilości pyłu. Pył występuje też ogólnie na placu drzewnym. Jest to zazwyczaj problem o charakterze ściśle lokalnym, którego konsekwencje są rzadko kiedy odczuwanego poza terenem zakładu. Hałdy drewna i zrębków emitują lotne związki organiczne (LZO) pochodzących z ekstraktów. W praktyce nie są stosowane żadne środki kontroli służące zmniejszeniu emisji LZO.

Tabela 2. 20 Aspekty środowiskowe i środki służące zmniejszeniu oddziaływania na środowisko w związku z obróbką drewna

Aspekt środowiskowy	Środki/techniki
Ścieki odprowadzane do wody	Ograniczenie ścieków do minimum poprzez stosowanie suchego korowania, ponowne wykorzystywanie filtratu z prasowania kory w procesie roztwarzania siarczanowego, oddzielanie ciał stałych w ściekach z placu drzewnego przed rozpoczęciem wtórnego oczyszczania lub flokulacji. Przy zraszaniu hałd drzewa wodą należy kontrolować strumień, aby zminimalizować ilość spływającej wody; w przypadku spryskiwania hałd, należy wykorzystywać systemy
Emisje do atmosfery	Zapobieganie powstawania emisji pyłu i znoszenia go przez powietrze z terenu placu drzewnego i z hałd zrębków.
Odpady stałe	Pozostałości kory i drewna są zanieczyszczone piaskiem i kamieniami. Ograniczanie ich ilości do minimum poprzez obróbkę w czystych warunkach. Odzysk kory i drobnych
Zużycie energii	Wykorzystywanie kory i fragmentów drewna jako paliwa lub przygotowanie ich do wykorzystania w celu do odzysku energii. Dążenie do wysokiej zawartości suchej masy
Hałas	Odpowiedni układ i lokalizacja placu drzewnego. Jeśli to możliwe, umieszczanie bębnow korujących, rębaków i sortowników zrębków w pomieszczeniu. Korzystanie z samochodów ciężarowych o niskim natężeniu hałasu i przenośników taśmowych.

Kora i wszelkie pozostałości drewna z placu drzewnego powinny być zbierane w możliwie najsuchszej i najmniej zanieczyszczonej postaci do wykorzystania jako paliwo w kotle opalonym korą lub biopaliwem na terenie zakładu, lub w kotle regeneracyjnym poza zakładem. Pomimo starannej obróbki nie da się uniknąć tego, że część materiału zostanie zanieczyszczona piaskiem i kamieniami. Taki materiał może być często wykorzystywany do poprawy stanu gleby.

Najważniejszym aspektem energetycznym w kontekście obróbki drewna jest wykorzystywanie dostępnej biomasy z pozostałości (kora, pozostałości drewna) w możliwie najbardziej efektywny sposób w celu wytwarzania energii. Odpowiednie rodzaje kotłów i środki ochrony środowiska zostały omówione w części dotyczącej wytwarzania pary i energii elektrycznej (patrz pkt 2.6).

Zużycie energii na placu drzewnym wynosi zazwyczaj około 10 kWh/m<sup>3</sup> masy materiału stałego pod korą przetwarzanego drewna. Daje to około 25 kWh/tonę masy włóknistej w celulozowni produkującej masę mechaniczną i poniżej 60 kWh/tonę masy włóknistej w celulozowni wytwarzającej masę chemiczną. Aby utrzymać pobór mocy na niskim poziomie, należy stosować odpowiednio wymiarowane silniki elektryczne i systemy sterowania silnikami. Przenośniki taśmowe zapewniają niskie zużycie energii elektrycznej, są zatem dobrą alternatywą dla transportu zrębków na placu drzewnym.

Na terenie placu drzewnego istnieje kilka źródeł dość wysokiego poziomu hałasu, takich jak bęben korujący i rębak(i). Sposobem na zmniejszenie hałasu (patrz również pkt 2.9.13) jest przede wszystkim lokalizowanie urządzeń w budynkach lub budowa barier przeciwdźwiękowych. Samochody ciężarowe używane w celach rozładunku i transportu kłód i zrębków drzewnych emitują dużo hałasu same w sobie. Dodatkowo powstaje hałas w formie impulsowych dźwięków, gdy kłody spadają na hałdy lub stoły odbiorcze. Należy nabywać samochody ciężarowe emitujące niski poziom hałasu i szkolić personel w zakresie 'delikatnej' jazdy. Można rozważyć zastosowanie barier przeciwdźwiękowych, aby osłaniać stoły odbiorcze.

### Główne korzyści środowiskowe

Zmniejszenie emisji do wody i atmosfery, niższy poziom hałasu i oszczędność energii.

**Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Nie dostarczono informacji.

**Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Przedstawiona technika ma głównie pozytywne oddziaływanie i zapobiega zanieczyszczeniu wszystkich elementów środowiska.

**Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Środki/techniki mogą być stosowane we wszystkich zakładach.

**Aspekty ekonomiczne**

Nie dostarczono informacji.

**Motywacja do wdrożenia**

Nie dostarczono informacji.

**Instalacje referencyjne**

Nie dostarczono informacji.

**Bibliografia**

Nie dostarczono informacji.

**2.9.2.2 Suche korowanie****Opis**

Zrzuty związków organicznych i zawiesiny oraz zużycie wody w związku z obróbką drewna może być zmniejszone poprzez stosowanie suchego korowania. W przypadku mokrego korowania, zrzuty ścieków są na poziomie od 3 do 10 m<sup>3</sup> wody na jedną tonę masy włóknistej. Z kory wymywane są związki organiczne, takie jak kwasy żywiczne, kwasy tłuszczowe, itp. oraz materiały wysoko barwne i trafiają do tego strumienia ścieków.

W przypadku suchego korowania woda procesowa jest używana tylko do mycia i odladzania kłód (z zimnym klimacie woda i para są używane do odtajania drewna), i jest efektywnie recykulowana przy minimalnym wytwarzaniu ścieków i zanieczyszczeń wody. Kora wytworzona w procesie suchego korowania ma niższą zawartość wody, co przyczynia się do uzyskania lepszego bilansu energetycznego w zakładzie. Mniej wody jest potrzebne do korowania i dzięki temu zmniejsza się ilość rozpuszczonych substancji organicznych. Przy wlocie do bębna korującego drewno jest spryskiwane wodą w celu zmniejszenia emisji pyłu. Surowy odciek z instalacji korowania jest toksyczny dla organizmów wodnych. Bardzo skuteczne w usuwaniu toksyczności okazuje się być oczyszczanie biologiczne. Ładunek ChZT i BZT jest znacznie mniejszy w porównaniu do korowania na mokro (patrz tabela 2.21).

**Główne korzyści środowiskowe**

Zmniejszenie zużycia wody i emisji substancji organicznych.



### Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

Suche korowanie daje bardzo zadowalające efekty korowania w przypadku większości rodzajów drewna i wszystkich rodzajów produktów. Korowanie pewnych gatunków eukaliptusa może być niemożliwe, gdy kłody były przechowywane po wycinie (suche korowanie i korowanie na mokro jest w tym przypadku tak samo problematyczne).

Przy suchym korowaniu objętość ścieków z przygotowania drewna jest zwykle w zakresie 0,5 – 2,5 m<sup>3</sup>/ADt. Zmniejszenie ilości ścieków uzyskuje się dzięki zwiększeniu cyrkulacji wód procesowych. Dzięki przejściu z korowania mokrego na suche ilość ścieków obniża się często o 5 – 10 m<sup>3</sup>/ADt. Całkowity ładunek ChZT przy suchym korowaniu może obniżyć się do 10%. Zrzuty typowe dla suchego korowania zostały przedstawione w tabeli 2.21. Należy zauważyć, że podane liczby odnoszą się do rozwłókniania chemicznego. Wartości przypadające na tonę produktu będą mniejsze o około połowę w przypadku rozwłókniania mechanicznego ze względu na wyższy uzysk mas mechanicznych z drzew iglastych (świerku) (> 90 – 95%) w porównaniu z masą ze skandynawskich drzew iglastych (44 – 46%) i z drzew liściastych (47 – 49%). Eukaliptus (*Eucalyptus globulus*) daje uzysk na poziomie 51 – 54%.

Tabela 2. 21 Ładunek zanieczyszczeń ze ścieków z korowania na mokro i z suchego korowania przed oczyszczeniem biologicznym

Technika korowania	Strumień ścieków	BZT <sub>5</sub> (kg/tonę masy)	ChZT (kg/tonę masy)	P ogólny (g/tonę)
Mokre korowanie i	3 – 10	5 – 15	20 – 30	25 – 35
Suche korowanie i	0.5 – 2.5	0.5 – 2.5	1 – 10	10 – 20
Uwagi: BZT7 zostało przeliczone na BZT5 używając wzoru: $BZT7 / 1,16 = BZT5$ , zaproponowanego w tym samym raporcie; kg zanieczyszczenia/m drewna przeliczono na kg zanieczyszczenia/t masy przy założeniu typowego zużycia papierówki na poziomie 5 m <sup>3</sup> /t masy. Wartość 5m <sup>3</sup> drewna/ADt dotyczy rozczyniania chemicznego; w przypadku rozwłókniania mechanicznego/półmechanicznego zużycie drewna jest na znacznie niższym poziomie. Źródło: [ 1, fiński Raport BAT 1997 ] i baza danych ÅF Engineering (2009).				

### Oddziaływanie na procesy i środowisko

Zużycie energii na korowanie może być wyższe w przypadku metody korowania na sucho ze względu na pracę bębna korującego. Jest to całkowicie bilansowane przez znaczną ilość energii, która jest zyskiwana, gdy kora jest wykorzystywana jako paliwo pomocnicze ze względu na niższą zawartość wody w korze z suchego korowania. Wyższa efektywność energetyczna kotłów opalanych korą powoduje zmniejszenie emisji na MJ produkowanej energii.

### Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki

Suche korowanie może być stosowane zarówno w nowych jak i w istniejących zakładach w przypadku większości rodzajów drewna (drewno iglaste, drewno liściaste) i we wszystkich rodzajach procesu rozwłókniania (mechaniczne, chemiczne, itd.) Suche korowanie już zdominowało przemysł, a systemy mokre są wycyfrowane. Nowe celulozownie prawie wyłącznie, a także coraz większa liczba istniejących zakładów stosuje suche korowanie. Korowanie na mokro może być jednak konieczne ze względów jakościowych przy produkcji bielonych mas TCF siarczynowych o wysokim stopniu białości.

### Aspekty ekonomiczne

Koszty bębnow korujących do suchego korowania nie powinny różnić się znacząco od kosztów w przypadku korowania na mokro. Koszt inwestycyjny całkowicie nowego systemu suchego korowania od podajników kłód po przenośniki (włącznie z rębakiem i obsługującymi go przenośnikami) wynosi zazwyczaj około 15 mln euro dla systemu o wydajności 1 300 ADt masy siarczanowej/dobę (baza danych ÅF Engineering (2009)).

Zmiana istniejącego systemu mokrego korowania na system suchego korowania kosztuje 4 – 6 mln euro. Koszty te obejmują urządzenia i ich instalację. W konkretnym przypadku trzeba także uwzględnić wydatki związane z budową nowych pomieszczeń, specjalnymi środkami służącymi obniżeniu hałasu, itp., które mogą dalej zwiększać koszty inwestycji. Koszty eksploatacyjne wynoszą 250 000 – 350 000 euro/rok, ale w obu przypadkach mogą obejmować znaczące inwestycje w urządzenia.

### Motywacja do wdrożenia

Suche korowanie obniża ładunki zawiesiny, BZT i ChZT, jak również związków organicznych, takich jak kwasy żywiczne i kwasy tłuszczowe wymywane z kory do strumienia ścieków. Niektóre z tych związków są toksyczne dla organizmów wodnych. Technika zwiększa również wydajność energetyczną.

### Instalacje referencyjne

---

Większość zakładów w Europie.

### **Bibliografia**

[ 1, fiński Raport BAT 1997 ], [ 75, Pöyry 1997 ], [ 130, raport SEPA 1997 ].

### **2.9.2.3 Bezpieczne magazynowanie i postępowanie z chemikaliami i dodatkami chemicznymi**

#### **Opis i główne korzyści środowiskowe**

Wiele substancji chemicznych i dodatków chemicznych stosowanych w zakładach celulozowo-papierniczych zostało scharakteryzowanych jako niebezpieczne dla wód w przypadku uwolnienia w postaci skoncentrowanej. Niezbędna jest kontrola łańcucha transportu, wyładunku i magazynowania w ramach procesu w celu zminimalizowania ryzyka dla personelu i środowiska. Niektóre ogólne wytyczne zostały podane poniżej.

- Kierowcy odpowiedzialni za przesyłki substancji chemicznych powinny przejść odpowiednie (certyfikowane) szkolenia, aby prawidłowo przeprowadzać załadunek i rozładunek towaru. Powinni także przejść szkolenia z zakresu wszelkich obowiązujących procedur postępowania w sytuacjach awaryjnych.
- Zanim ciężarówka lub wagon silnikowy zostanie wpuszczony na teren zakładu, należy powiadomić osobę odpowiedzialną w zakładzie, która, jeśli wystąpi taka potrzeba, pokieruje transport w odpowiednie miejsce w celu rozładunku towaru.
- Otwory wlewowe zbiorników na chemikalia zlokalizowane na terenie zakładu powinny być unikalne i/lub wyraźnie oznakowane, aby zapobiec napełnieniu zbiornika 'niewłaściwą' substancją chemiczną.
- Obszary załadunku i rozładunku chemikaliów powinny posiadać nieprzepuszczalne powierzchnie, aby umożliwić odzysk rozlanych substancji chemicznych lub unieszkodliwić je w inny sposób.
- Substancje chemiczne należy przechowywać, obchodzić się z nimi i stosować w taki sposób, by zapobiec przedostaniu się jakichkolwiek substancji, które wydostały się na skutek przecieku lub wycieku do gleby, wód powierzchniowych lub gruntowych, i ich zanieczyszczeniu.
- Pojemniki z substancjami chemicznymi powinny znajdować się na nieprzepuszczalnych nawierzchniach i tacach przeciwrozlewowych, lub być wyposażone w podobne zabezpieczenia (np. zbiorniki z podwójnym płaszczem), o wystarczającej pojemności, aby pomieścić zawartość największego zbiornika plus część zawartości innych pojemników znajdujących się na tej samej tacy. Komory zbiorcze nie mogą posiadać żadnych otworów wylotowych.
- Zbiorniki na chemikalia powinny być wyposażone w alarmy ostrzegające przed przepełnieniem.
- Należy stosować wskaźniki przecieku, aby szybko i rzetelnie wykrywać przecieki ze wszystkich części zbiornika, które weszły w kontakt z substancjami niebezpiecznymi.
- Zbiorniki, pojemniki, rurociągi i mosty rurociągowy na chemikalia powinny być wyraźnie oznakowane i zabezpieczone przed uszkodzeniem przez pojazdy za pomocą odpowiednich rozwiązań zabezpieczających.
- Specjalnie przeszkolony personel powinien być odpowiedzialny za postępowania z substancjami potencjalnie niebezpiecznymi; należy prowadzić regularne kontrole i konserwację zbiorników, rur i systemów dozujących.

- Należy sporządzić i przestrzegać instrukcji postępowania, zawierających plany monitorowania, konserwacji i plany alarmowe.

### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Powyższe wytyczne w zakresie bezpiecznego magazynowania i postępowania z podstawowymi substancjami chemicznymi i dodatkami chemicznymi są powszechnie stosowane w zakładach celulozowo-papierniczych. W przypadku wykrycia nieprawidłowości w ramach oceny ryzyka dla środowiska i audytów zarządzania środowiskowego, wdrażane są niezwłocznie środki naprawcze.

### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Przedstawiona technika ma pozytywne oddziaływanie na środowisko, ponieważ zapobiega zanieczyszczeniu wszystkich jego elementów.

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Środki/techniki mogą być stosowane w nowych i w istniejących zakładach.

### **Aspekty ekonomiczne**

Nie dostarczono informacji. Dane dotyczące kosztów są rozpatrywane indywidualnie dla każdego przypadku.

### **Motywacja do wdrożenia**

Wymogi prawne.

### **Instalacje referencyjne i bibliografia**

W większości zakładów celulozowo-papierniczych w Europie wdrożono środki zapobiegające uwolnieniu chemikaliów w postaci skoncentrowanej do gleby i wody.

## **2.9.2.4 System oceny środowiskowej dla chemikaliów**

### **Opis**

W celu zapobiegania wystąpieniu i zmniejszenia ewentualnego negatywnego oddziaływania na środowisko i zminimalizowania ryzyka przypadkowych lub normalnych zrzutów niebezpiecznych substancji do środowiska, wszystkie rodzaje substancji chemicznych używanych w procesie produkcji mas włóknistych i papieru powinny być poddawane regularnym przeglądom i, jeśli jest to możliwe, zastępowane przez chemikalia, które są bezpieczniejsze dla środowiska. Powinny one być właściwie stosowane, czyli w możliwie najniższych ilościach.

W wielu zakładach funkcjonują zespoły zajmujące się oceną wpływu substancji chemicznych na środowisko, odpowiedzialne za ocenę bieżącego stosowania chemikaliów i za zastępowanie potencjalnie niebezpiecznych chemikaliów substancjami bezpieczniejszymi dla środowiska, jeśli są one dostępne. Zespół taki składa się zazwyczaj z grupy kompetentnych przedstawicieli różnych działów zakładu, w tym przedstawiciela kompetentnego w kwestiach logistyki i przedstawiciela do spraw bezpieczeństwa i higieny pracy. Przedstawiciele odbywają zazwyczaj szkolenie z zakresu sposobu korzystania i interpretowania dostępnych baz danych odnoszących

się do ochrony środowiska.

Zespół jest odpowiedzialny za prowadzenie aktualizowanego rejestru substancji chemicznych stosowanych w zakładzie i ich ilości. Często zadaniem zespołu jest także kompilacja informacji na temat stosowania substancji chemicznych w zakładzie do celów sprawozdawczych na potrzeby właściwych władz krajowych i realizacji zadań określonych w rozporządzeniu REACH. Kolejnym głównym zadaniem zespołu jest prowadzenie ciągłego przeglądu chemikaliów stosowanych obecnie w zakładzie i proponowanie wprowadzenia ich zamienników w przypadkach, gdy możliwe jest określenie alternatyw bardziej łagodnych dla środowiska.

Przed dopuszczeniem do stosowania w zakładzie każda nowa substancja chemiczna jest sprawdzana pod kątem zagrożeń dla środowiska i innych zagrożeń przez zespół ekspertów. Innym zadaniem takiego zespołu może być zapewnienie spełniania wymogów dyrektywy Seveso, jeżeli ma ona zastosowanie. Kolejnym aspektem jest zapewnienie przestrzegania wymogów dotyczących kontaktu wytwarzanego papieru z żywnością, o ile zakład zajmuje się taką produkcją. Badanie i ocena losów dodatków chemicznych w systemie oczyszczania ścieków (absorpcja, eliminacja, biodegradacja w oczyszczalniach ścieków) może być kolejnym zadaniem zespołu ekspertów. Zespół może być odpowiedzialny także za wykluczenie substancji powszechnie uznawanych za krytyczne, np. 'substancji wzbudzających szczególnie duże obawy (SVHC)'.

Kluczowym elementem w pracach zespołu do spraw oceny wpływu substancji chemicznych na środowisko jest dostęp do wiarygodnych i aktualnych informacji na temat ochrony środowiska w odniesieniu do chemikaliów. Istotnym wkładem w tym zakresie są informacje zawarte w rozporządzeniu REACH, innych bazach danych i kartach charakterystyki substancji chemicznych. W celu stworzenia skutecznego systemu oceny można zaangażować w ten proces wysoce kompetentnych specjalistów, np. chemików/specjalistów w dziedzinie magazynowania i ochrony wody, pracowników specjalizujących się w kwestiach związanych z kontaktem z żywnością, pracownika do spraw bezpieczeństwa i higieny pracy oraz ekspertów w zakresie oznakowania ekologicznego. Każdy z nich zajmuje się kwestiami związanymi ze stosowaniem określonych substancji chemicznych. Stosowanie kompletnej procedury może wiązać się z różnymi korzyściami dla przedsiębiorstwa i powinno być stosownie dokumentowane.

### **Główne korzyści środowiskowe**

Minimalizacja ryzyka niepożądanych zrzutów do środowiska wszystkich rodzajów substancji chemicznych stosowanych w procesie produkcji mas włóknistych i papieru. Regularny przegląd stosowanych substancji chemicznych i, w miarę możliwości, wprowadzanie zamienników substancji chemicznych, które są bezpieczniejsze dla środowiska, oraz ich prawidłowe stosowanie (czyli w możliwie najmniejszej ilości), zmniejsza ryzyko uwolnienia potencjalnie szkodliwych substancji do środowiska.

### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Rozwiązaniem stosowanym powszechnie w zakładach celulozowo-papierniczych w Europie jest korzystanie z baz danych odnoszących się do substancji chemicznych, które zapewniają dostęp do informacji dotyczących substancji chemicznych istotnych w kontekście ochrony środowiska i ułatwiają pracę wykonywaną przez zespół do spraw oceny. Bazy te są dostępne w Internecie i zawierają, np. w przypadku szwedzkiej bazy danych, informacje na temat ponad 17

000 produktów chemicznych i 8 000 substancji chemicznych. Wspomniana baza danych zawiera zaawansowany model oceny ryzyka i jest wykorzystywana do celów sprawozdawczych zgodnie z rozporządzeniem REACH i przepisami rozporządzenia CLP. Zawiera również informacje na temat właściwości fizyko-chemicznych substancji chemicznych, a także wiele informacji na temat skutków zdrowotnych i środowiskowych produktów chemicznych i ich składników. Baza danych dotycząca substancji chemicznych jest szczególnie przydatna w zakresie zastępowania potencjalnie niebezpiecznych substancji chemicznych.

### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Brak negatywnego oddziaływania.

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Omawiana technika może być stosowana zarówno w nowych jak i w istniejących zakładach. System może być stosowany w każdym zakładzie papierniczym wykorzystującym wiele rodzajów lub znaczne ilości produktów chemicznych. Jest to istotne w przypadku niektórych papierni produkujących papiery specjalne; do produkcji masowych rodzajów papieru, takich jak papier gazetowy lub tektura falista, używa się mniejszej liczby dodatków chemicznych, jednak w większych ilościach, co może uzasadniać wdrożenie takiego systemu. Liczność i zróżnicowanie zespołu do spraw oceny wpływu substancji chemicznych na środowisko będzie uzależniona od wielkości zakładu oraz ilości i rodzaju stosowanych w nim dodatków chemicznych.

### **Aspekty ekonomiczne**

Koszty związane z funkcjonowaniem zespołu do spraw oceny wpływu substancji chemicznych na środowisko zależą od złożoności zakładu oraz liczby substancji chemicznych, które są w nim stosowane. Średnio w ciągu jednego roku w jednym zakładzie potrzeba zatrudnić jednego pracownika. Ponadto w prace w omawianym zakresie jest zazwyczaj zaangażowane kilka dodatkowych osób. W budżecie zakładu należy przeznaczyć środki na karty charakterystyki, subskrypcję baz danych, itp. Jednak wydatki te są zazwyczaj i tak konieczne w celu spełnienia wymogów rozporządzenia REACH. Przy odpowiednim określeniu liczby członków zespołu wydatek poniesiony przez zakład na ten cel powinien być opłacalny.

### **Motywacja do wdrożenia**

Odpowiedzialne stosowanie substancji niebezpiecznych. Przepisy prawne UE i przepisy krajowe.

### **Instalacje referencyjne**

Bazy danych dotyczące substancji chemicznych są powszechnie wykorzystywane w przemyśle celulozowo-papierniczym. Wiele zakładów stosuje z sukcesem system oceny oddziaływania substancji chemicznych na środowisko od kilku lub kilkunastu lat.

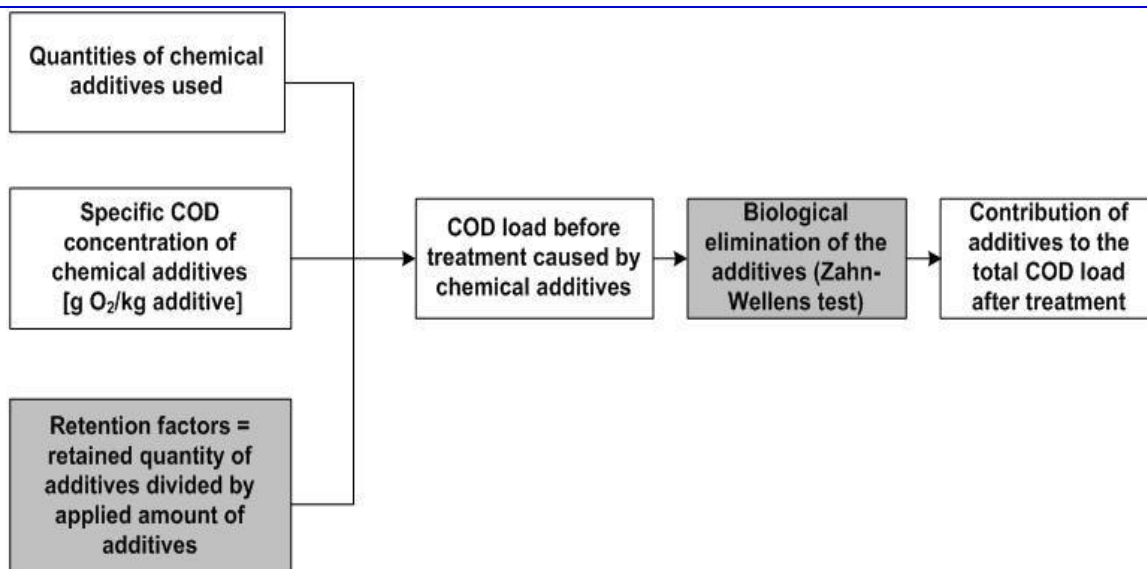
### 2.9.2.5 Zastępowanie substancji potencjalnie niebezpiecznych substancjami bardziej bezpiecznymi

#### Opis

W przemyśle papierniczym woda jest medium, do którego może trafiać większość uwolnionych substancji, ponieważ dodatki chemiczne są dodawane do wodnej zawiesiny włókien i wypełniaczy, i są zatrzymywane w papierze lub trafiają do wody podsitowej. Emisje do atmosfery są mniej istotne, a gleba może zostać zanieczyszczona poprzez utylizację odpadów (kompostowanie, wykorzystanie osadów z produkcji papieru w rolnictwie, składowanie).

Przewidywany zrzut dodatków chemicznych do wody jest bezpośrednio związany ze stopniem zatrzymywania substancji chemicznych w produkowanym papierze, degradowalnością substancji i retencją w oczyszczalni ścieków. Im wyższa retencja, tym mniejszy zrzut do ścieków, i tym mniejszy potencjalny wpływ stosowanych dodatków na środowisko. W przypadku produktów pomocniczych, maksymalny stopień retencji jest pożądanym ze względów ekonomicznych (utrata dodatków) i ekologicznych. W związku z tym, że środki pomocnicze dla produktu mają nadać papierowi szczególne właściwości, ze względu na koszty i wydajność mają one na ogół stosunkowo wysoki poziom retencji we włóknach celulozowych. Środki pomocnicze dla procesu zwykle nie są zatrzymywane w tak samo wysokim stopniu, ponieważ działają w obiegu wodnym zakładu celulozowo-papierniczego. Duża część jest odprowadzana ze ściekami. Ponadto, należy zauważyć, że braki są zwykle ponownie roztwarzane, aby zawrócić część dodatków do obiegu wody. Istotna jest zatem znajomość retencji dodatków. Natomiast wiedza na temat zdolności danej substancji do rozkładu ma zasadnicze znaczenie dla uniknięcia gromadzenia się danej substancji w środowisku i organizmach.

Niektóre organy ds. gospodarki wodnej stosują zarówno współczynniki retencji jak i biodegradowalności substancji w celu oceny i zminimalizowania wpływu dodatków na ładunek ChZT po oczyszczaniu. W Niemczech, na przykład, stosowanie metody pokazanej na rysunku 2.17 spowodowało ograniczenie stosowania i/lub zastąpienie kilku dodatków, które były przyczyną istotnej części ładunku ChZT po oczyszczaniu (zasada substytucji). Ponadto, zakład miał zgłosić, jak i dlaczego różne chemikalia zostały wykorzystane.



Źródło: [ 68, IFP 1997 ]

Rysunek 2. 17 Pragmatyczne podejście do oceny ilości trudno biodegradowalnych dodatków, której można się spodziewać w ściekach z papierni po oczyszczaniu

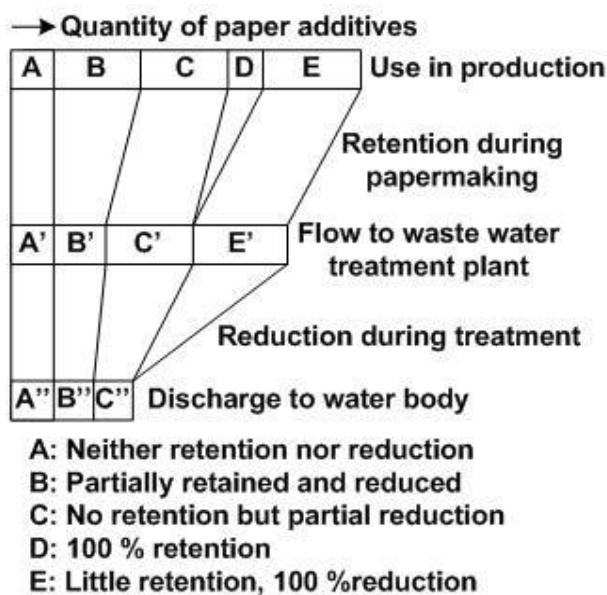
Quantities of chemical additives used	Ilości zastosowanych dodatków chemicznych
Specific COD concentration of chemical additives [g O <sub>2</sub> /kg additive]	Stężenie ChZT wynikające z zastosowania dodatków chemicznych [g O <sub>2</sub> /kg dodatku]
COD load before treatment caused by chemical additives	Ładunek ChZT przed oczyszczaniem spowodowany dodatkami chemicznymi
Biological elimination of the additives (Zahn-Wellens test)	Eliminacja biologiczna dodatków (test Zahn-Wellens)
Contribution of additives to the total COD load after treatment	Udział dodatków w całkowitym ładunku ChZT po oczyszczaniu
Retention factors = retained quantity of additives divided by applied amount of additives	Współczynniki retencji = zachowana ilość dodatków podzielona przez użytą ilość dodatków
Source: [ 68, IFP 1997 ]	Źródło: [ 68, IFP 1997 ]

Oprócz ogólnego podejścia do zmniejszania uwolnień dodatków chemicznych do wody, należy rozważyć istnienie substancji, które mogą być substytutem substancji szkodliwych, przyczyniając się do ochrony środowiska. Może tak być w szczególności, gdy pewne substancje chemiczne są uważane za niebezpieczne, a są dostępne ich mniej niebezpieczne substytuty, pozwalające na uzyskanie takiego samego celu. W miarę możliwości należy wymierać substancje chemiczne, które są biodegradowalne, nietoksyczne i nie wykazują zdolności do biokumulacji. Należy unikać chemikaliów, w przypadku których istnieje podejrzenie, że stanowią one zagrożenie dla ludzi lub środowiska, np. substancji o działaniu niszczącym warstwę ozonową, substancji podejrzewanych o zaburzenie gospodarki hormonalnej, substancji CMR (rakotwórczych, mutagennych, reprotoksycznych). Węglowodory, takie jak benzen (substancja rakotwórcza), toluen (substancja toksyczna) i ksylen (substancja toksyczna) pochodzące z rozpuszczalników i detergentów, które mogą być stosowane do czyszczenia przewodów, filców i maszyn, powinny być zastępowane przez rozpuszczalniki, które wykazują mniej toksyczne działanie. Dostępne są substancje alternatywne (na przykład estry), które są również w pewnym stopniu biodegradowalne.



### Główne korzyści środowiskowe

Możliwy rezultat stosowania takiego podejścia do monitorowania dodatków może być zbliżony do efektu pokazanego na rysunku 2.18. Pewne substancje, głównie dodatki pomocnicze dla procesu, nie są zatrzymywane lub są biodegradowalne (substancja A). W tym przypadku zastosowane dodatki trafiają całkowicie do zbiornika wody przyjmującej. Kolejne są częściowo zatrzymywane i częściowo eliminowane w oczyszczalni ścieków (substancja B), podczas gdy jeszcze inne są niemal w 100% zatrzymywane i nawet nie docierają do oczyszczalni. Można przyjąć, że większość dodatków pomocniczych dla produktu jest częściowo zatrzymywana i w pewnym stopniu eliminowana w oczyszczalni ścieków. Dodatki pomocnicze dla procesu cechują się niską retencją we włóknach celulozowych, a zatem można się spodziewać, że ostatecznie trafią do ścieków.



Źródło: [ 68, IFP 1997 ]

Rysunek 2. 18 Schemat przedstawiający los dodatków chemicznych w procesie produkcji papieru uwzględniając oczyszczanie poza zakładem

Quantity of paper additives	Ilość dodatków do papieru
Use in production	Wykorzystanie w produkcji
Retention during papermaking	Zatrzymanie w trakcie produkcji papieru
Flow to waste water treatment plant	Przepływ do oczyszczalni ścieków
Reduction during treatment	Redukcja podczas oczyszczania
Discharge to water body	Zrzut do wody przyjmującej
A: Neither retention nor reduction	A: Brak retencji, brak redukcji
B: Partially retained and reduced	B: Częściowa retencja i redukcja
C: No retention but partial reduction	C: Brak retencji, częściowa redukcja
D: 100 % retention	D: 100% retencja
E: Little retention, 100 %reduction	E: Niska retencja, 100% redukcja
Source: [ 68, IFP 1997 ]	Źródło: [ 68, IFP 1997 ]

### Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

W przypadku dodatków chemicznych i substancji pomocniczych wciąż brakuje 'przejrzystego' systemu informacyjnego, w którym producenci, importerzy i użytkownicy substancji chemicznych mogliby przeprowadzić 'samoocenę' chemikaliów na etapie cyklu życia, za który są odpowiedzialni. Istotne dane mogłyby wówczas przekazywane z jednego przedsiębiorstwa do kolejnego, aby uniknąć powielania pracy. Niektóre rządy zapewniają doradztwo i oceny audytu przedsiębiorstw w odniesieniu do substancji

chemicznych, inne wymagają od przedsiębiorstw czynienia starań w celu zwiększenia ‘efektywności ekologicznej’ produkcji chemikaliów poprzez wykorzystywanie mniejszej ilości zasobów i zmniejszenie emisji pozostałości na jednostkę produktu.

Poniżej podano kilka niewyczerpujących przykładów pozytywnych doświadczeń w związku z zastąpieniem substancji wzbudzających obawy:

**(a) Stosowanie biodyspersatorów zamiast środków biobójczych jako środków przeciwdziałających powstawaniu śluzu i osadów**

*Przykład* RCF NL 1. Zakład zastąpił całkowicie środki biobójcze dyspersatorami śluzu w celu kontrolowania jego osadów [ 89, RFC NL 1 2010 ].

*Cechy szczególne:* stosunkowo wysokie temperatury wód procesowych (do 55°C), obiegi wodne i zbiorniki o stosunkowo niewielkiej objętości pozwalające na uniknięcie długich okresów przebywania przyczyniających się do rozwoju bakterii, unikanie w możliwie największym stopniu martwych krawędzi w układach wodnych i kanalizacyjnych wodnych oraz szczególne (niższe) wymogi jakościowe w związku z produkcją papieru na warstwę pofalowaną w oparciu o masę RCF, które umożliwiają korzystanie z niewielkich kadzi.

*Wniosek:* Możliwość uniknięcia stosowania biocydów zależy od konkretnego zakładu/produktu. W przypadku zakładów, w których można prowadzić proces w warunkach podobnych do warunków opisanych powyżej, przedstawiona technika może być korzystną metodą produkcji. Produkty biobójcze stosowane do kontrolowania osadów mikrobiologicznych w papierni często charakteryzują się stosunkowo szybkim rozkładem, są stosowane w bardzo niskich czynnych stężeniach, a tym samym są trudne do wykrycia w ostatecznych ściekach; jednakże istnieje możliwość wpływu na efektywność rozkładu biologicznego, zwłaszcza gdy prowadzone jest oczyszczanie ścieków metodą beztlenową.

**b) Stosowanie dezynfekcji katalitycznej w celu usunięcia drobnoustrojów i biofilmu**

*Przykład* a) RCF DE 6, b) Papierfabrik Vreden GmbH, c) RCF DE 7, d) Hakle – Kimberly Deutschland GmbH [ uwagi dostarczone przez stronę niemiecką D 1 ].

*Opis:* Poprzez zastosowanie katalizatora zawierającego metal w fazie stałej i roztworu nadtlenu wodoru jako ‘aktywatora’, drobnoustroje są zabijane przez utlenianie. W związku z dodatnim ładunkiem katalizatora ujemnie naładowane mikroorganizmy są przyciągane w kierunku katalizatora, który odbiera elektrony z mikroorganizmów i w ten sposób częściowo je niszczy. Pozostałe fragmenty o właściwościach powierzchniowo czynnych będą prowadziły do oderwania warstw biologicznych obecnych w układzie wodnym, które są następnie przyciągane przez katalizator i niszczone.

Główne korzyści środowiskowe:

- nie powstaje siarkowodór ani zapachy złowonne, kwasy organiczne lub inne substancje toksyczne,
- brak korozji powodowanej przez mikroorganizmy,
- brak niepożądanych skutków ubocznych dla ludzi, środowiska i materiałów,
- H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> jest znacznie mniej niebezpieczny niż inne substancje biobójcze.

Dane operacyjne:

Dezynfekcja katalityczna jest regularnie stosowana w papierniach (przykłady a) do c), patrz tabela 2.22) przy produkcji papieru na poziomie 10 – 100 kt/rocznie i przy zamkniętych obiegach wodnych (objętość wody: 700 – 1 000 m<sup>3</sup>, ChZT: 25 – 40 g/l, woda słodka: 1 – 2 m<sup>3</sup>/t produktu). Zużycie wodnego roztworu 30% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> w ciągu pierwszych sześciu miesięcy wynosi 140 litrów tygodniowo. Usunięta warstwa biologiczna musi zostać oddzielona. Po pierwszych sześciu miesiącach zużycie roztworu wynosi zaledwie 20 – 30 litrów na tydzień. Roztwór musi być dozowany w pobliżu powierzchni katalizatora. Nie jest konieczne stosowanie innych biocydów lub inne metod opartych za stosowaniu biocydów. W jednym przypadku możliwe było zmniejszenie o połowę zużycia flokulantów.

Tabela 2. 22 Przykład zakładów stosujących dezynfekcję katalityczną

Zakład	RCF	Papierfabrik Vreden	RCF DE 7
Jakość papieru	Tektura	papier na warstwę pofalowaną	papier na tekturę falistą
Produkcja papieru w t/rok	12 500	75 000	60 000
Objętość wody w m <sup>3</sup>	700	1 000	-
ChZT w mg/l	25 000	40 000	25 000
Zużycie wody słodkiej w m <sup>3</sup> /h	3-4	12.5	-
Ścieki	0	0	0
Roztwór H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (30%), pierwsze sześć miesięcy	140 l/tydzień	140 l/tydzień	140 l/tydzień
Roztwór H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (30%) po pierwszych sześciu miesiącach	28 l/tydzień	21 l/tydzień	-

Dezynfekcja katalityczna jest sporadycznie stosowana w papierniach (przykład d)), w których produkcja papieru jest na poziomie 30 – 40 kt/rok i które wykorzystują otwarte układy wodne (objętość wody: 500 m<sup>3</sup>, ChZT: 2 g/l, woda słodka: 12 m<sup>3</sup>/t produktu, ścieki: 10 m<sup>3</sup>/t produktu). W trakcie dezynfekcji katalitycznej produkcja papieru zostaje wstrzymana na kilka dni, objętość wody jest zmniejszona o 250 m<sup>3</sup>, a obieg wody zostaje zamknięty. Kilka razy na dobę w pobliżu katalizatora dozowany jest roztwór nadtlenu wodoru (100 – 1 000 kg na dawkę). Po oczyszczeniu katalizator jest usuwany z układu wodnego, a woda zostaje wymieniona. W trakcie takiego oczyszczania katalitycznego możliwe jest stosowanie innych biocydów lub innych metod opartych na stosowaniu biocydów.

Oddziaływanie na procesy i środowisko:

Podanie dawki 1 litra roztworu wymaga zużycia 1 Wh. Nie zaobserwowano skutków ubocznych dla atmosfery i nie przewiduje się ich występowania. Na skutek wyeliminowania warstw biologicznych w wodzie wzrasta potencjał redoks. Biosurfaktanty są adsorbowane w warstwie biologicznej która jest usuwana.

Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki:

Dezynfekcja katalityczna jest stosowana do oczyszczania wody słodkiej, wody obiegowej, wody chłodzącej i szlamu papierniczego. System może być instalowany zarówno w nowych jak i w istniejących zakładach.

Aspekty ekonomiczne:

W przypadku produkcji papieru na poziomie 10 kt/rok przy zamkniętym obiegu wody konieczny jest wydatek rzędu 5 000 – 10 000 euro rocznie (odpis i koszty operacyjne). W

przypadku otwartego obiegu wody koszty są wyższe i zależą od ilości ścieków.

Przy stosowaniu omawianej techniki w istniejącym zakładzie zużycie roztworu w ciągu pierwszego roku jest znacznie wyższe niż w latach kolejnych. Koszt w przypadku jednorazowego zabiegu oczyszczania wynosi około 10 000 euro.

#### Motywacja do wdrożenia:

Stosowanie dezynfekcji katalitycznej powstrzymuje tworzenie się toksycznych gazów i zapachów złoonych, zwłaszcza siarkowodoru, i korozji wywoływanej przez mikroorganizmy. Stosowanie innych biocydów nie jest konieczne. W pewnych przypadkach możliwe było zmniejszenie zużycia flokulantów.

#### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Zmniejszenie szkodliwych dodatków w przetwórstwie papieru spowoduje mniejsze oddziaływanie na wodę i elementów środowiska, na które oddziałują ścieki. Może ono być także korzystne z punktu widzenia zarządzania cyklem życia. Stosując substancje pomocnicze, które są przyjazne dla środowiska można zapobiec zatrzymywaniu szkodliwych substancji w papierze, który z kolei może zostać wykorzystany jako surowiec w przetwórstwie włókien wtórnych.

#### **Aspekty ekonomiczne**

Brak danych.

#### **Motywacja do wdrożenia**

Niektóre organy ds. gospodarki wodnej określiły wymogi służące zminimalizowaniu udziału dodatków w ładunku ChZT po oczyszczaniu. Istnieją także wymogi odnoszące się do zmniejszenia uwalniania biocydów. W miarę możliwości należy dążyć do stosowania substancji chemicznych, które są biodegradowalne, nietoksyczne i nie wykazują zdolności do bioakumulacji. Należy unikać stosowania substancji chemicznych, w przypadku których istnieje podejrzenie, że mogą stanowić zagrożenie dla ludzi i środowiska, zwłaszcza substancji o działaniu niszczącym warstwę ozonową, substancji podejrzewanych o zaburzanie gospodarki hormonalnej oraz substancji CMR. Dyrektywa 2008/105/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 16 grudnia 2008 roku w sprawie środowiskowych norm jakości w dziedzinie polityki wodnej [ 263, dyrektywa 2008/105/WE 2008 ] (dyrektywa – córka do art. 16 Ramowej Dyrektywy Wodnej UE) zawiera w załączniku II ‘Wykaz substancji priorytetowych w dziedzinie polityki wodnej’ oraz w załączniku III ‘Substancje podlegające ewentualnemu zakwalifikowaniu jako substancje priorytetowych lub priorytetowe substancje niebezpieczne’. Do takich substancji mają zastosowanie cele środowiskowe określone w art. 1 i 4 Ramowej Dyrektywy Wodnej [ 264, RDW 2000/60/WE 2000 ].

#### **Instalacje referencyjne**

Ograniczona liczba instalacji w Europie, np. RCF NL 1, RCF DE 6, Papierfabrik Vreden GmbH, RCF DE 7 i Hakle-Kimberly Deutschland GmbH.

#### **Bibliografia**

[ 11, Braunsperger i wsp. 1996 ], [ 68, IFP 1997 ], [ 89, RFC NL 1 2010 ], [ 165, ZELLCHEMING 2008 ], [ 263, dyrektywa 2008/105/WE 2008 ], [ 264, RDW 2000/60/WE 2000 ].

### 2.9.3 Zoptymalizowana gospodarka wodna

#### Opis

Metody zmniejszenia zużycia wody przez maszyny papiernicze są zagadnieniem złożonym i zależą w dużej mierze od pożądanego stopnia zamknięcia obiegu wody. Należy dokonać bilansu zalet i wad zamknięcia układów wodnych. Akceptowalny poziom zamknięcia układu wodnego będzie zależał od jakości produkowanego papieru, zastosowanych surowców, zarządzania obiegiem wody i masy włóknistej i zaplanowanych celów [281, projekt Paper BREF 2002].

Stosując różne środki, które pokrótce opisane poniżej, i bardziej szczegółowo w rozdziałach 3 do 7 odnoszących się do produkcji mas włóknistych i papieru, należy koniecznie ocenić ich wpływ na właściwości fizykochemiczne wody procesowej, sam proces produkcyjny, instalacje techniczne i oczekiwaną jakość produktów.

Aby dokonać oceny potencjalnego wpływu zakładów papierniczych na środowisko, należy mieć pełną świadomość zachodzących w nich procesów. Europejskie instytuty badawcze prowadzące badania związane z przemysłem papierniczym i wyspecjalizowani konsultanci dostarczają narzędzia symulacyjne, które mogą być dostosowane do każdej papierni i mogą pomóc określić optymalne rozmieszczenie układów technologicznych oraz urządzenia potrzebne do osiągnięcia konkretnych celów. Zapewniają one szczegółowy globalny obraz sytuacji w zakresie wykorzystywania wody słodkiej i możliwości najlepszego rozplanowania obiegu wody wraz z urządzeniami, które należy zainstalować. Schemat blokowy przedstawiający układy masy włóknistej i układy wodne w zakładzie może pomóc uzyskać ogólny zarys obiegu masy i wody. Zmniejszenie zużycia wody słodkiej może mieć wpływ na jakość fizykochemiczną wody procesowej, dlatego w ważnych punktach odniesienia w układzie wodnym przeprowadzane są zazwyczaj analizy służące określeniu początkowych ładunków i przewidywanych zmiany. Wszystkie znaczące przypadki zużycia wody słodkiej są identyfikowane i wykonywane są stosowne pomiary.

Taka szczegółowa analiza procesu, połączona z wiedzą ekspercką, umożliwia:

- I. Oszacowanie ewentualnych oszczędności wody słodkiej w danym zakładzie. Szczegółowa analiza wykorzystania wody słodkiej pozwala na określenie ewentualnych 'strat', np. kierowanie niezanieczyszczonej wody surowej do oczyszczalni ścieków lub do środowiska, bez jej wcześniejszego wykorzystania.
- II. Reorganizację układu w celu poprawy wykorzystania wody w procesie produkcji papieru oraz jakości wody procesowej wykorzystywanej bezpośrednio w maszynie papierniczej do formowania arkuszy.

Modyfikacje potrzebne do pracy przy minimalnym zużyciu wody słodkiej odnoszą się do ponownego wykorzystania niezanieczyszczonej wody słodkiej, odpowiedniego oczyszczania wód procesowych w zakładzie, rozplanowania i kierowania obiegiem wody, zwracania do obiegu wody słodkiej i wody sklarowanej oraz zastępowania wody słodkiej sklarowaną wodą procesową.

Jako regułę należy przyjąć, że metodami, które należy zastosować w pierwszej kolejności są metody, które nie mają żadnego wpływu na ładunek substancji organicznych i nieorganicznych w wodzie procesowej. Takie metody dotyczą:

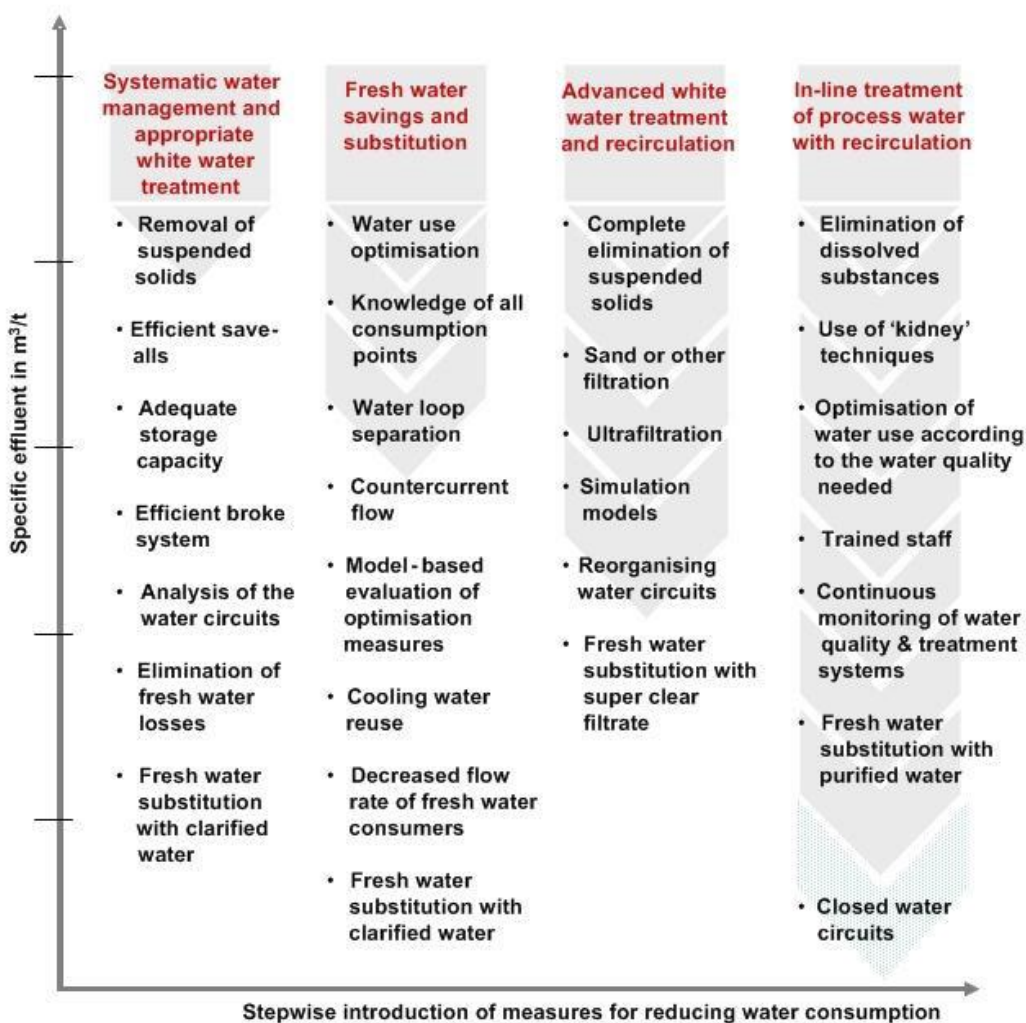
- I. Sieci wody chłodzącej z ponownym wykorzystaniem takiej niezanieczyszczonej wody (tzn. pozbawionej ładunku substancji organicznych i nieorganicznych) jako wody surowej w innych zastosowaniach procesowych.
- II. Zmniejszenia strumienia wody uszczelniającej do pomp z pierścieniem cieczowym (zmniejszenie strat wody poprzez zastąpienie i odparowanie w chłodni kominowej). Dostępnych układów próżniowych wykorzystujących dmuchawy z napędem turbo o zmiennej prędkości, które zupełnie nie wymagają wody uszczelniającej i są bardziej energooszczędne niż tradycyjne pompy z pierścieniem cieczowym lub dmuchawy z napędem o stałej prędkości [ 185, J.Zürcher 2009 ], [ 186, Lahtinen et al. 2009 ].
- III. Wszelkich innych strat wody słodkiej zidentyfikowanych w ramach odpowiedniej szczegółowej analizy wody słodkiej zużytej przez maszynę papierniczą.

Aby ograniczyć do minimum wykorzystanie wody słodkiej i ewentualne wady zmniejszenia zużycia wody słodkiej, konieczne jest połączenie dalszych środków:

- I. w odniesieniu do stabilności układu wody procesowej niezmiernie ważne jest zapewnienie odpowiedniej pojemności kadzi magazynowej i efektywna gospodarka brakami;
- II. wydajne wylawiacze włókien, które przyczyniają się do wywarzania wody sklarowanej o niskiej zawartości zawiesiny mają kluczowe znaczenie dla wykorzystywania wody procesowej zamiast wody słodkiej w zastosowaniach takich jak np. natryski maszyn papierniczych;
- III. należy także stosować ponowne wykorzystanie wody procesowej w układach przeciwwrządowych do strumienia włókien.

W przypadku zintegrowanych zakładów celulozowo-papierniczych, w szczególności w zakładach wykorzystujących makulaturę (patrz pkt 6.3.3), bardzo duże znaczenie ma ściśle oddzielenie obiegów wody o przeciwwrządowych strumieniach w celu ograniczenia ładunku organicznego w wodzie procesowej wokół maszyny papierniczej.

Środki przyjęte w celu zmniejszenia zużycia wody powinny być wprowadzane stopniowo. Rysunek 2.19 pokazuje schematyczny przegląd najważniejszych etapów, narzędzi, technik i tendencji w zakresie zużycia wody przy zastosowaniu stopniowego podejścia. Pierwszy element każdej kolumny na rysunku 2.19 pokazuje, które substancje są usuwane z wody podsitowej i określa najważniejszy etap służący ograniczeniu strumienia ścieków. Na rysunku uwzględnione zostały główne etapy. Niektóre z nich zostały omówione w rozdziałach 3 do 7 odnoszących się do poszczególnych procesów produkcji mas włóknistych i papieru. Z rysunku jednoznacznie wynika, że niskie zużycie wody można osiągnąć poprzez wprowadzenie kilku technik. Mniejsze objętości i bardziej skoncentrowane strumienie są korzystne w odniesieniu do późniejszego oczyszczania. Dostosowane i odpowiednie techniki mogą być stosowane przy zmniejszonych kosztach i jednoczesnym zmniejszeniu całkowitych emisji.



Rysunek 2. 19 Środki służące zmniejszeniu zużycia wody i ładunku zanieczyszczeń odprowadzanych do środowiska

Specific effluent in m <sup>3</sup> /t	Ścieki w m <sup>3</sup> /t
<b>Systematic water management and appropriate white water treatment</b>	<b>Usystematyzowana gospodarka wodna i właściwe oczyszczanie wody podsitowej</b>
• Removal of suspended solids	• Usuwanie zawiesiny
• Efficient save-ails	• Wydajne wyławiacze włókien
• Adequate storage capacity	• Odpowiednia pojemność kadzi magazynowych
• Efficient broke system	• Efektywny system zarządzania brakami
• Analysis of the water circuits	• Analiza obiegów wody
• Elimination of fresh water losses *	• Eliminacja strat wody słodkiej
• Fresh water substitution with clarified water	• Zastępowanie wody słodkiej wodą sklarowaną
<b>Fresh water savings and substitution</b>	<b>Oszczędność wody słodkiej i jej</b>

	zastępowanie
• Water use optimization	• Optymalizacja wykorzystania wody
• Knowledge of all consumption points	• Znajomość wszystkich punktów poboru
• Water loop separation	• Oddzielenie obiegów wody
• Countercurrent flow	• Strumień przeciwny
• Model-based evaluation of optimisation measures	• Ocena środków optymalizacyjnych na podstawie modelu
• Cooling water reuse	• Ponowne wykorzystanie wody chłodzącej
• Decreased flow rate of fresh water consumers	• Zmniejszenie natężenia strumienia wody słodkiej w instalacjach i urządzeniach i zastosowaniach, w których jest ona wykorzystywana
• Fresh water substitution with clarified water	• Zastępowanie wody słodkiej wodą sklarowaną
Advanced white water treatment and recirculation	Zaawansowane oczyszczanie wody podsitowej i jej recyrkulacja
• Complete elimination of suspended solids	• Całkowita eliminacja zawiesiny
• Sand or other filtration	• Filtracja, np. przy użyciu piasku
• Ultrafiltration	• Ultrafiltracja
• Simulation models	• Modele symulacyjne
• Reorganising water circuits	• Reorganizacja obiegów wody
• Fresh water substitution with super clear filtrate	• Zastępowanie wody słodkiej całkowicie czystym filtratem
In-line treatment of process water with recirculation	Oczyszczanie wody procesowej na linii z recyrkulacją
• Elimination of dissolved substances	• Wyeliminowanie rozpuszczonych substancji
• Use of 'kidney' techniques	• Stosowanie metod tzn. "nerki"
• Optimisation of water use according to the water quality needed	• Optymalizacja wykorzystania wody zgodnie z jej wymaganą jakością
• Trained staff	• Przeszkolony personel
• Continuous monitoring of water quality &	• Ciągłe monitorowanie jakości wody i



treatment systems	systemów oczyszczania
• Fresh water substitution with purified water	• Zastępowanie wody słodkiej wodą oczyszczoną
• Closed water circuits	• Zamknięte obiegi wodne
Stepwise introduction of measures for reducing water consumption	Stopniowe wdrażanie środków służących zmniejszeniu zużycia wody

Środki mogą być podzielone na cztery grupy: usystematyzowana gospodarka wodna i właściwe oczyszczanie wody podsitowej, oszczędność wody słodkiej i jej zastępowanie, zaawansowane oczyszczanie wody podsitowej i jej recyrkulacja oraz oczyszczanie wody procesowej na linii z recyrkulacją.

Ostatni etap zamykania obiegów wody powinien być stosowany dopiero po wdrożeniu wcześniejszych, np. ‘znajomość wszystkich punktów poboru’ jest warunkiem koniecznym dla kolejnych działań (zastępowanie wody słodkiej). Ocena działań optymalizacyjnych w oparciu o model jest potężnym narzędziem do przeprowadzenia efektywnej oceny i wprowadzenia ograniczania stosowania wody słodkiej, oddzielenia obiegów wody i strumienia przeciwprądowego. ‘Zmniejszenie natężenia strumienia wody słodkiej w instalacjach, urządzeniach i zastosowaniach, w których jest ona wykorzystywana’ odnosi się do szeregu częstych zastosowań wody słodkiej, takich jak woda uszczelniająca do pomp próżniowych, woda natryskowa lub woda stosowana do rozcieńczania dodatków chemicznych. Oczyszczanie wody procesowej na linii z recyrkulacją jest nadal ograniczone do pewnych konkretnych zastosowań i zależy od lokalnych warunków i celów środowiskowych (patrz pkt 7.3.3). Jednakże wszystkie z nich, w tym metody tzw. „nerki” i ‘zamknięte obiegi wodne’ są już stosowane na pełną skalę (patrz pkt 6.3.4).

Informacje na temat poszczególnych zagadnień w zakresie gospodarki wodnej w roztwarzaniu chemicznym lub w zintegrowanych zakładach celulozowo-papierniczych przedstawiono w pkt 3.3.8 w odniesieniu do roztwarzania siarczynowego i 4.3.8 w odniesieniu do roztwarzania siarczynowego; w przypadku roztwarzania mechanicznego patrz pkt 5.3.6 lub 5.3.8, 6.3.2 – 6.3.5 i 7.3.1 – 7.3.3.

### **Główne korzyści środowiskowe**

Mniejsze zużycie wody i zrzuty wody.

### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

W większości europejskich zakładów papierniczych wdrożono stopniowo środki na rzecz oszczędności wody. Szczegółowe dane odnoszące się do różnych rodzajów papieru podano w rozdziałach 3 do 7.

### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Zwiększone zawracanie wody procesowej z maszyn papierniczych i z tekturnic powoduje zwiększenie stężenia koloidalnych i rozpuszczonych składników organicznych i nieorganicznych w tych strumieniach. W zależności od właściwości użytej masy włóknistej i substancji chemicznych użytych do produkcji papieru, gospodarki wodą procesową i funkcjonowania zakładu, zamknięte układy wodne mogą mieć negatywny wpływ na pracę maszyny, jakość produktu końcowego i mogą zwiększyć koszty produkcji ze względu na wzrost zużycia środków chemicznych. Nagromadzenie się materiałów organicznych i nieorganicznych może zostać w pewnym stopniu zrównoważone przez zastosowanie specyficznych substancji chemicznych w celu zastąpienia lub uzupełnienia ubytku substancji chemicznych i przez wdrożenie szeregu innych środków określonych w niniejszym dokumencie.

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Technika ta jest omawiana głównie w odniesieniu do możliwych ulepszeń w procesie produkcji papieru i w funkcjonowaniu maszyny papierniczej. Informacje na temat produkcji włókien i zakładów zintegrowanych zostały przedstawione także w rozdziałach 3 do 6. Technika może być stosowana zarówno w istniejących jak i nowych zakładach. W latach 2001

– 2003 przeprowadzono badanie w 30 papierniach w regionie Toskania, Włochy [ 274, CTP 2002]. Zakłady te zajmują się produkcją papieru pakowego i bibułka tissue z włókien pierwotnych lub wtórnych. Badanie to potwierdziło, że omawiane środki są możliwe do zastosowania i są dostępne. Ze względu na złożoność systemów produkcji papieru, w wielu przypadkach konieczna była wiedza ekspercka do przeprowadzenia analizy możliwości udoskonalenia i wyboru najbardziej efektywnych technologii BAT oraz ich prawidłowego zastosowania.

### **Aspekty ekonomiczne**

W ramach finansowanego przez UE projektu „PaperBREF” (patrz [www.paperbref.info](http://www.paperbref.info)) zbadano koszty wdrożenia bardziej usystematyzowanego planu gospodarki wodnej w 30 papierniach we Włoszech. Wyniki badania wykazały, że przy bardzo niskich nakładach kapitałowych można osiągnąć potencjalne oszczędności wykorzystywanej wody na poziomie 12,3%; oszczędności rzędu 22% są możliwe przy lepszym wykorzystaniu wody i dokonaniu kilku istotnych inwestycji. Przy znacznych inwestycjach w przebudowę wielu części zakładu możliwe jest osiągnięcie oszczędności na poziomie 40%.

### **Motywacja do wdrożenia**

Dostępność możliwości technicznych w zakresie oszczędności wody ma duże znaczenie dla przemysłu papierniczego, ponieważ koszty wody i oczyszczania ścieków w przyszłości prawdopodobnie wzrosną.

### **Instalacje referencyjne**

Wszystkie zakłady celulozowo-papiernicze stosujące efektywne środki na rzecz ochrony środowiska zastosowały w różnym stopniu usystematyzowane podejście do gospodarki wodnej i mają na celu optymalizację swoich systemów włókien/wodnych/dodatków chemicznych. Metody wybrane przez operatorów i stopień, w jakim środki są wdrażane są jednak w każdym przypadku różne.

### **Bibliografia**

[ 185, J.Zürcher 2009 ], [ 186, Lahtinen i wsp. 2009 ], [ 274, CTP 2002 ], [ 281, Projekt PaperBREF 2002 ].

## **2.9.4 Ocena środków optymalizacyjnych odnoszących się do obiegu wody przeprowadzona w z wykorzystaniem modelu**

### **Opis**

Proces produkcji papieru charakteryzuje się wysokim stopniem interakcji pomiędzy poszczególnymi procesami produkcyjnymi, wykorzystywanymi surowcami, układem wodnym i energetycznym, jakością produktów i funkcjonalnością wszystkich urządzeń technicznych biorących w nich udział. W opanowaniu tej złożoności pomaga zastosowanie matematycznego modelowania i symulacji. Modele i symulacje matematyczne są wykorzystywane w badaniach zjawisk takich jak strumień, mieszanie, reakcje, wymiana ciepła i masy, w celu dogłębnego zrozumienia tego, co się faktycznie dzieje podczas procesów produkcyjnych i jak można je usprawnić. Przy projektowaniu procesu modele i symulacje są wykorzystywane w celu zoptymalizowania obsługi procesu i ułatwienia znalezienia najlepszych sposobów wykorzystania surowców (włókien, wody, dodatków chemicznych) i energii. Symulacja jest

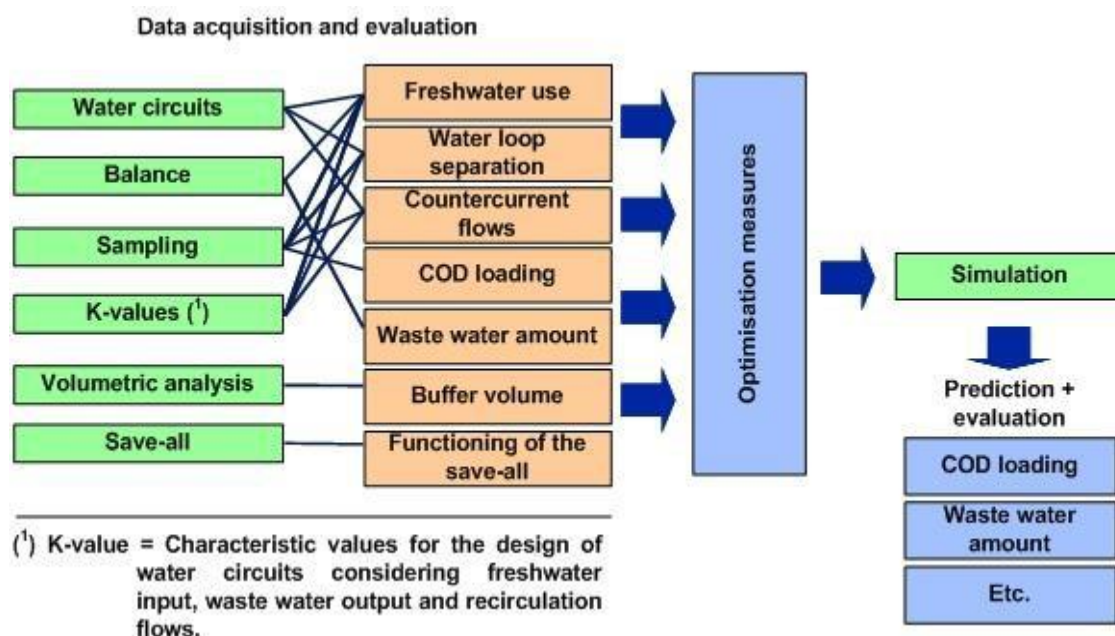
---

także interesującym narzędziem do obsługi procesu. Symulacja jest wykorzystywana na przykład w analizie zakłóceń i alarmów, w planowaniu rozruchów i wyłączeń, w prowadzeniu kontroli w czasie rzeczywistym i optymalizacji oraz w szkoleniu operatorów.

Badanie ankietowane na temat dostępnych pakietów oprogramowania do symulacji procesów w przemyśle celulozowo-papierniczym [184, Alonso i wsp. 2006] potwierdziło dostępność kilku pakietów oprogramowania odpowiednich do praktycznego wykorzystania i zastosowania w przemyśle celulozowo-papierniczym.

Pierwszym krokiem w ocenie prowadzonej w zakresie optymalizacji procesu z wykorzystaniem modelu jest określenie celu(-ów), który(-e) mają zostać osiągnięte poprzez optymalizację procesu. Usystematyzowane podejście ułatwia opracowanie, symulację i ocenę odpowiednich środków optymalizacyjnych. Podstawą oceny środków optymalizujących jest analiza bieżącego stanu procesu. Jak przedstawiono na rysunku 2.20, analiza może zostać podzielona na kilka etapów:

- pozyskiwanie danych (np. projekt obiegu, strumienie objętości, ilości odrzutów, pobieranie próbek i analiza)
- ocena danych (przy wykorzystaniu bilansów wody i ciepła, analizy objętościowej, wykresów Sankey'a)
- ocena (np. kluczowe wartości, struktura obiegów wody).



Źródło: J. Kappen, 2010

Rysunek 2. 20 Podejście oparte na analizie danych i symulacji

Data acquisition and evaluation	Gromadzenie i ocena danych
Water circuits	Obiegi wody
Balance	Bilans
Sampling	Pobieranie próbek
K-values (1)	Wartości K ( <sup>1</sup> )
Volumetric analysis	Analiza objętościowa
Save-all	Wyławiacz włókien
Freshwater use	Wykorzystanie wody słodkiej
Water loop separation	Oddzielenie obiegów wody
Countercurrent flows	Strumienie przeciwpłądowe
COD loading	Obciążenie ChZT
Waste water amount	Ilość ścieków
Buffer volume	Pojemność bufora
Functioning of the save-all	Funkcjonowanie wyławiaczy włókien
Optimisation measures	Środki optymalizacyjne
Simulation	Symulacja

Prediction + evaluation	Przewidywania + ocena
COD loading	Obciążenie ChZT
Waste water amount	Ilość ścieków
Etc.	Itd.
K-value = Characteristic values for the design of water circuits considering freshwater input, waste water output and recirculation flows.	( <sup>1</sup> ) Wartość K = Wartość parametru stosowanego przy projektowaniu obiegów wody, uwzględniającego ilość zużytej wody słodkiej, ilość wyprodukowanych ścieków i przepływy recyrkulacyjne.
Source: J.Kappen, 2010	Źródło: J.Kappen, 2010

Opierając się na zgromadzonych danych, możliwe jest stworzenie modelu symulacyjnego i jego skalibrowanie do celów rzeczywistego procesu. Poziom szczegółowości modelu symulacyjnego zależy od celów optymalizacji, na przykład:

- zwymiarowanie systemu, znalezienie możliwości przebudowy, które mogą przyczynić się do oszczędności wody i energii;
- optymalizacja kontroli poziomów w kadziach magazynowych;
- optymalizacja kontroli ograniczonych, lecz skomplikowanych procesów.

Skalibrowany model służy jako scenariusz bazowy i przedstawia bieżącą sytuację. Wpływ poszczególnych działań optymalizacyjnych można przewidzieć za pomocą różnych scenariuszy symulacyjnych.

Końcowym etapem badań symulacyjnych jest ocena. Ocena poszczególnych scenariuszy służy określeniu najbardziej odpowiedniej kombinacji dla utrzymania lub poprawy jakości produktu (np. niskie obciążenia systemu w obiegach maszyny papierniczej) przy optymalnych warunkach ekonomicznych. Wyniki symulacji prowadzą do opracowania ostatecznego planu działania, który opisuje poszczególne kroki służące osiągnięciu pożądanego celu.

### **Główne korzyści środowiskowe**

Główną zaletą technik modelowania i symulacji w procesach produkcji mas włóknistych i papieru jest lepsze zrozumienie mechanizmów procesów i ich obwodów sterowania. Pomaga to znaleźć optymalne rozwiązania w wielu obszarach, takich jak ograniczenie emisji poprzez poprawę projektów procesów, monitorowanie procesów i wspomaganie procesów decyzyjnych w czasie pracy, poprawę jakości papieru, optymalizację chemii części mokrej maszyny papierniczej i poprawę jej przerabialności.

### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Ponieważ układy wody w zakładach celulozowo-papierniczych stają się coraz bardziej złożone, modelowanie i symulacja tych układów jest przydatnym narzędziem do optymalizacji ich budowy i działania. Symulacja umożliwia przewidzenie konsekwencji zastosowania alternatyw

służących optymalizacji procesu. Może także ograniczyć do minimum ryzyko związane z wdrożeniem koncepcji optymalizacji. Zapewnia również możliwość skutecznego opanowania aspektów dynamicznych z wykorzystaniem oprogramowania symulacyjnego. Integracja w tego rodzaju modelach innych elementów, takich jak produkcja energii i odpadów, umożliwi dalszy krok w zintegrowanej analizie układów wody dla celów analizy porównawczej.

Ocena środków optymalizacyjnych w oparciu o model jest zwykle przeprowadzana w odniesieniu do:

- Zmniejszenia zużycia wody słodkiej i objętości ścieków
- Recykulacji wody oczyszczonej biologicznie [ 180, A.Well 2006 ]
- Optymalizacji obiegów wody
- Optymalizacji objętości dynamicznego bufora wodnego
- Gospodarki wodnej z wykorzystaniem dwupozycyjnego sterownika
- Obniżenia temperatury ścieków [ 179, O.Blum 2006 ]
- Optymalizacji bilansu cieplnego.

#### **Przykład 2.9.4.1: Optymalizacja bilansu cieplnego w zakładzie MD Albrck, DE**

[ 182, J.Kappen i wsp. 2004 ]

Celem oceny procesu przeprowadzonej w oparciu o model było opracowanie koncepcji optymalizacji bilansu cieplnego. Za główny cel optymalizacji przyjęto poprawę efektywności procesu bielenia, przy jednoczesnym zmniejszeniu jego kosztów. W tym celu układ wodny w zakładzie musiał zostać zmodyfikowany w celu zainstalowania obiegów przeciwapływowych. Kolejnym celem był wzrost temperatury układu w maszynach papierniczych, aby zwiększyć zdolność odwadniania w części sitowej i części prasowej. Połączony efekt wyższej zawartości masy suchej po sprasowaniu i wzrostu temperatury przed częścią suszącą prowadzi do zmniejszenia zużycia pary wodnej.

Zastosowanie wyników symulacji umożliwiło niemal całkowite oddzielenie obiegów wody wytwórni ścieru drzewnego, instalacji bielenia utleniającego i maszyny papierniczej w ramach zakładu, który zyskał dzięki temu szereg jednoczesnych korzyści (brak zmiany temperatury w procesie bielenia utleniającego (70 °C), zwiększenie temperatury w procesie bielenia redukcyjnego z 40 – 48 °C do 66 – 74 °C, zwiększenie temperatury w maszynach papierniczych średnio o 10 °C, zmniejszenie ChZT w maszynach papierniczych (27 – 51%), przy braku znaczącego wzrostu temperatury ścieków i ładunku ChZT w ściekach).

#### **Przykład 2.9.4.2: Optymalizacja wykorzystania wody słodkiej i obiegów wody**

W ramach projektu badawczego [ 181, Kappen i wsp. 2003 ] zbadano potencjał do ograniczenia określonej objętości ścieków poprzez optymalizację obiegów wody w różnych papierniach produkujących papiery bezdrzewne. Modele symulacyjne zostały wykorzystane do oszacowania wpływu działań optymalizacyjnych oraz określenia potencjału optymalizacji. Badaniem objęto różne, faktycznie istniejące zakłady. Symulacja pokazała skutki zmniejszenia zużycia wody słodkiej oraz przewidywane skutki zmian w układach wodnych i w koncepcji procesu na ładunek ChZT w obiegach wody. Dla jednego przykładowego zakładu przeprowadzono obliczenia w ramach trzech scenariuszy mających na celu zmniejszenie zużycia wody poprzez unikanie strat

wody słodkiej i optymalizację projektu obiegu wodnego. Unikanie strat wody słodkiej i optymalizacja obiegów wody poprzez zastosowanie strumieni przeciwwądowych spowodowała znaczne zmniejszenie ChZT w obiegu maszyny papierniczej.

### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Nie zgłaszano żadnych negatywnych skutków. Celem modelowania i symulacji jest znalezienie rozwiązań, które przynoszą jednocześnie korzyści w różnych obszarach, takich jak optymalizacja bilansu ciepła i temperatury układu w maszynach papierniczych, usprawnienie procesów i zmniejszenie kosztów, modyfikacja układu wodnego w zakładzie (np. wprowadzenie przepływu wody w przeciwwądzie).

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Symulacja zorientowana na konkretny cel okazała się odpowiednim narzędziem symulacji dla przemysłu papierniczego i dostępne jest już sprawdzone oprogramowanie do symulacji wykorzystywane w tym przemyśle. Możliwe jest przewidywanie ze względną dokładnością obciążenia systemu poprzez symulację obiegów wody oraz przewidywanie wartości temperatury, ChZT, zawiesin i ładunków soli (z wyjątkiem soli wapnia), zarówno w obiegach wody jak i w ściekach.

Modele symulacyjne są łatwo dostępne. Jednakże symulacja ukierunkowana na konkretny cel jest oparta na wiedzy empirycznej, a każdy model musi być zasilany rzeczywistymi danymi z istniejącego zakładu. Dlatego określenie bilansów materiałów i ciepła wymaga znacznych wysiłków. Wstępne przetwarzanie danych jest jednym z najważniejszych etapów w każdym projekcie opartym na modelowaniu i symulacji.

### **Aspekty ekonomiczne**

Badanie w zakresie środków optymalizacyjnych związanych z koncepcją i eksploatacją obiegów wody prowadzone w oparciu o model dla średniej wielkości papierni może kosztować około 30 000 euro (wartość orientacyjna oszacowana przez eksperta). Jednak dla osób decyzyjnych w papierni, całkowity koszt systemu, w tym koszt szkoleń i godzin pracy (przy opracowaniu i prowadzeniu symulacji) jest najważniejszym aspektem związanym z wdrożeniem oprogramowania symulacyjnego.

### **Motywacja do wdrożenia**

Optymalizacja procesów produkcyjnych przy jednoczesnym utrzymaniu lub obniżeniu zużycia energii, wody i ładunku emisji.

### **Instalacje referencyjne**

Przydatność wykorzystywanego oprogramowania i zakres jego zastosowania omówiono szczegółowo w ramach 'Działania COST E36' przez [183, J. Kappen i wsp. 2005]. Modelowanie i symulację stosuje się w wielu europejskich zakładach celulozowo-papierniczych (np. Norske Skog Bruck, AU; MD Albruck, DE).

### **Bibliografia**

[179, O. Blum 2006], [180, A. Well 2006], [181, J. Kappen i wsp. 2003], [182, J. Kappen i wsp. 2004], [183, J. Kappen i wsp. 2005], [184, Alonso i wsp. 2006].



## 2.9.5 Analiza efektywności energetycznej, gospodarka energetyczna i audyty energetyczne

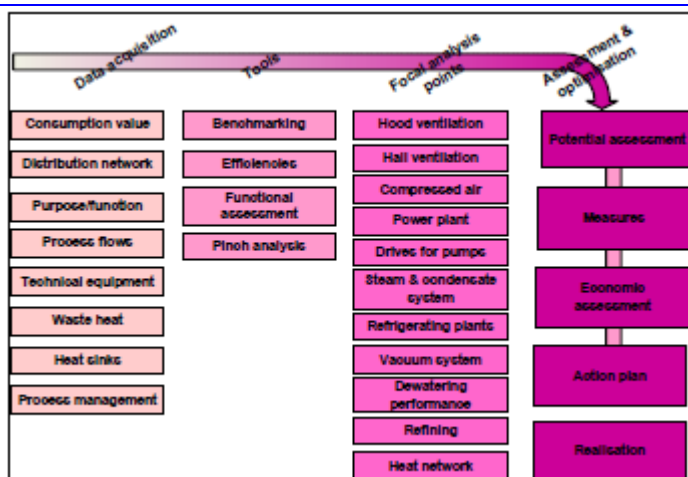
### Opis

Usystematyzowane podejście trójstopniowe lub zbliżone rozwiązanie stosowane w zakresie analizy efektywności energetycznej jest użytecznym narzędziem służącym ciągłej poprawie efektywności energetycznej papierni [249, Blum i wsp. 2007]. Systematyczna analiza efektywności energetycznej ułatwia papierniom dążenie do osiągnięcia poziomów zużycia energii określonych w BAT. Trzy, omówione poniżej, etapy to: a) ocena aktualnej sytuacji energetycznej oraz znaczenie działań naprawczych (etap 1); b) zastosowanie metody lokalizowania, kwantyfikacji i optymalizacji potencjału (etap 2); oraz c) określenie sposobu monitorowania i zabezpieczenia zoptymalizowanej sytuacji (etap 3). Zazwyczaj efektywność energetyczna jest mierzona poprzez konkretny poziom zużycia energii (SEC), co oznacza zużycie energii wtórnej na jednostkę energii wyprodukowanej.

- **Krok 1: Ocena wyjściowej sytuacji energetycznej zakładu i analiza porównawcza**  
Pierwszym krokiem jest określenie poziomu zużycia energii (elektrycznej i cieplnej przypadającej na produkcję gotową do wydania) w zakładzie. Porównanie tych wartości z poziomami zużycia w innych zakładach zajmujących się produkcją tego samego rodzaju papieru (analiza porównawcza) służy określeniu potencjału jeśli chodzi o oszczędność energii. Porównanie takie można przeprowadzić z wykorzystaniem wartości podanych w tabeli 2.9, przedstawionych w niniejszym dokumencie poziomów proponowanych w ramach BAT dla zakładów energooszczędnych zakładów, lub innego stosownego dokumentu referencyjnego (np. [193, Axegård i wsp. 2003] w odniesieniu do celulozowni siarczanowych). Tego rodzaju wstępna analiza porównawcza jest przydatna także do sklasyfikowania priorytetu projektu optymalizacji w zakresie zużycia energii w odniesieniu do innych działań prowadzonych w zakładzie.

Kolejnym krokiem jest podzielenie poziomu zużycia energii w całym zakładzie na poszczególne linie produkcyjne, co pomoże skoncentrować się na liniach zużywających najwięcej energii, a zatem wymagających optymalizacji w pierwszej kolejności. W wielu zakładach, szczególnie w starszych, wewnętrzny system pomiarów i monitorowania zużycia jest niewystarczający, by przypisać konkretny poziom zużycia dla każdej linii. W takich przypadkach konieczne może być przeprowadzenie specjalnej analizy energetycznej.

- **Krok 2: Szczegółowa analiza systemu i jego usprawnienie poprzez optymalizację**  
Ze względu na złożoność zagadnień związanych z wykorzystaniem energii w zakładach celulozowo-papierniczych, które mogą posiadać setki różnych urządzeń zużywających energię, aby określić potencjalne oszczędności i opracować działania optymalizacyjne konieczne jest przeprowadzenie szczegółowej analizy energetycznej na miejscu. Taka analiza służy ocenie bieżącego wykorzystania energii w zakładzie i zbadaniu wydajności obecnie zainstalowanych urządzeń. Analiza energetyczna może być przeprowadzona przez personel zakładu i/lub zewnętrznych konsultantów. Przykład systematycznej oceny i poprawy wykorzystania energii w papierni [196, Blum 2006] został pokazany na rysunku 2.21 (można spotkać wiele podobnych podejść).



Rysunek 2. 21 Systematyczna ocena i poprawa wykorzystania energii w papierniach

Data acquisition	Pozyskiwanie danych
Consumption value	Wartość zużycia
Distribution network	Sieć dystrybucji
Purpose/function	Cel/funkcja
Process flows	Przebieg procesu
Technical equipment	Urządzenia techniczne
Waste heat	Ciepło odpadowe
Heat sinks	Radiatory
Process management	Sterowanie procesem
Tools	Narzędzia
Benchmarking	Analiza porównawcza
Efficiencies	Wydajność
Functional assessment	Ocena sprawności
Pinch analysis	Analiza Linnhoffa
Focal analysis points	Główne elementy objęte analizą
Hood ventilation	Wentylacja wyciągowa
Hall ventilation	Wentylacja hali
Compressed air	Sprężone powietrze
Power plant	Elektrownia

Drives for pumps	Napędy do pomp
Steam & condensate system	Układ parakondensatu
Refrigerating plants	Urządzenia chłodnicze
Vacuum system	System próżniowy
Dewatering performance	Wydajność odwadniania
Refining	Rafinacja
Heat network	Sieć ciepłownicza
Assessment & optimisation	Ocena i optymalizacja
Potential assessment	Ocena potencjału
Measures	Środki
Economic assessment	Ocena ekonomiczna
Action plan	Plan działania
Realisation	Realizacja

Analiza efektywności energetycznej prowadzona w sposób przedstawiony na rysunku 2.21 obejmuje zazwyczaj następujące kroki:

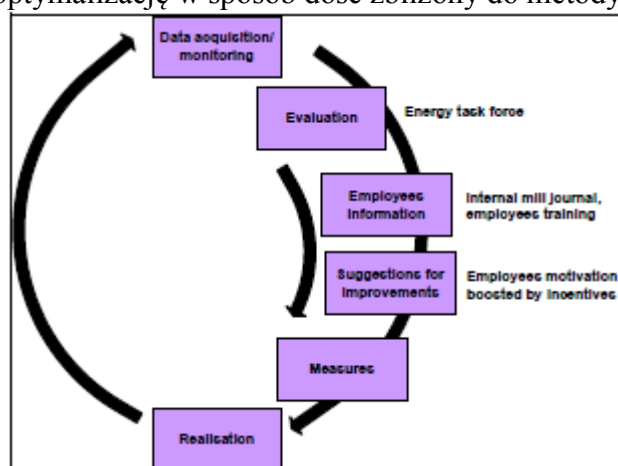
- pozyskiwanie określonych danych dotyczących analizowanych obszarów
- ocena danych prowadzona z wykorzystaniem odpowiednich narzędzi
- kompleksowe badanie głównych elementów objętych analizą, w których można się spodziewać największego potencjału w odniesieniu do oszczędności energii
- określenie potencjału i możliwości optymalizacji (w razie potrzeby optymalizacja z wykorzystaniem symulacji)
- ocena ekonomiczna obejmująca obliczenie oszczędności, które są możliwe do osiągnięcia i wymaganych nakładów kapitałowych
- opracowanie planu działania i wdrożenie określonych w nim działań o priorytetowym znaczeniu.

W zależności od indywidualnego przypadku, badanie wszystkich głównych elementów objętych analizą pokazanych na rysunku 2.21 może nie być wskazane. W związku z modułową konfiguracją omawianej procedury możliwy jest ich wybór.

• **Krok 3: Monitorowanie i trwale zabezpieczenie osiągniętych oszczędności**

Zaprezentowany plan gospodarowania energią prowadzi zwykle do ciągłej poprawy w zakresie wykorzystywania energii w zakładzie papierniczym. Aby osiągnąć zadowalające i trwałe rezultaty, luki lub słabe punkty określone w łańcuchu analizy i działań powinny być stopniowo eliminowane lub należy podjąć w związku z nimi odpowiednie działania. Rysunek poniżej pokazuje przykład metody gospodarowania energią pozwalającej na

ciągłą optymalizację w sposób dość zbliżony do metody omówionej w pkt 2.9.1.



Rysunek 2. 22 Metoda gospodarowania energią pozwalająca na ciągłe monitorowanie i optymalizację jej wykorzystania

Data acquisition/ monitoring	Pozyskiwanie/ monitorowanie danych
Evaluation	Ocena
Employees information	Informacje pozyskiwane od personelu
Suggestions for improvements	Propozycje usprawnień
Measures	Środki
Realisation	Realizacja
Energy task force	Grupa zadaniowa ds. energii
Internal mill journal, employees training	Magazyn wydawany w zakładzie, szkolenie pracowników
Employees motivation boosted by incentives	Zwiększanie motywacji personelu poprzez system zachęt

Narzędziem zbliżonym do ‘analizy efektywności energetycznej’ jest również skuteczny ‘audyt energetyczny’ [ 191, FFIF 2007 ], który także ma formę systematycznej procedury prowadzącej do uzyskania odpowiedniej wiedzy na temat istniejącego profilu zużycia energii na miejscu i określenia czynników wpływających na zużycie energii. Umożliwia on również określenie skali możliwości w zakresie oszczędności energii opłacalnych pod względem ekonomicznym.

### Główne korzyści środowiskowe

Dzięki wprowadzeniu nowych trybów pracy lub narzędzi, takich jak analiza efektywności energetycznej, systemy zarządzania energią lub audyty energetyczne, możliwe jest osiągnięcie znacznej poprawy efektywności energetycznej.

### Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

Analiza efektywności energetycznej, systemy zarządzania energią oraz audyty energetyczne

są sprawdzonymi narzędziami do poprawy efektywności energetycznej stosowanymi w przemyśle celulozowo-papierniczym od wielu lat. W wielu dużych zakładach celulozowo-papierniczych (np. SCA, Stora Enso, Holmen, itd.) stosowany jest pewnego rodzaju system zarządzania energią, ale nie zawsze we wszystkich obiektach do nich należących. W Europie nadal funkcjonuje wiele papierni, które nie wdrożyły systemu zarządzania energią, ani nie prowadzą audytów energetycznych – dotyczy to zwłaszcza mniejszych zakładów. Zakłady te mogą wykazywać większy potencjał w odniesieniu do poprawy ich efektywności energetycznej.

W 2009 r. wydana została nowa norma europejska w zakresie systemów zarządzania energią: EN 16001:2009 ‘Systemy zarządzania energią – wymogi i wytyczne w zakresie stosowania’ [ 195, CEN 2009 ], która także może być pomocna w prowadzeniu systematycznej oceny wykorzystania energii w zakładach papierniczych i osiągnięcia poprawy w tym zakresie. Wspomniana nowa norma europejska dostarcza organizacjom i przedsiębiorstwom wspólne, powszechnie uznawane ramy oraz narzędzie wspomagające je w opracowywaniu systemów i procesów niezbędnych do poprawy efektywności energetycznej, a także w celu zapewnienia, że zarządzanie energią zostanie uwzględnione w strukturach organizacyjnych przedsiębiorstwa. Norma ma zastosowanie także do zakładów celulozowo-papierniczych.

### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Omawiana technika nie ma negatywnego oddziaływania na procesy ani na środowisko. Środki służące oszczędzaniu energii wiążą się zazwyczaj z koniecznością poniesienia nakładów kapitałowych na wymianę, przebudowę lub modernizacji urządzeń wykorzystywanych w ramach procesów. Jednak w większości przypadków środki te służą nie tylko oszczędzaniu energii. Budzą one szczególne zainteresowanie, ponieważ przyczyniają się jednocześnie do zwiększenia wydajności produkcji, poprawy jakości produktów i obniżenia kosztów ogólnych. Istotne jest zatem wprowadzanie energooszczędnych technologii we wszystkich aspektach i na wszystkich poziomach produkcji papieru. Należy pamiętać o powiązaniu zagadnień energetycznych z procesami (efekty synergii) przy omawianiu wykorzystania energii i energooszczędnych technologii.

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Omawiana technika może być stosowana zarówno w nowych jak i w istniejących zakładach. W przypadku mniejszych zakładów jest ona zwykle trudniejsza do wdrożenia ze względu na ograniczoną liczbę odpowiednio przeszkolonych pracowników (np. brak personelu wewnętrznego, który mógłby przeprowadzić analizę energetyczną).

### **Aspekty ekonomiczne**

Nie dostarczono informacji.

### **Motywacja do wdrożenia**

Rosnące koszty energii i konieczność zmniejszania emisji gazów cieplarnianych zmuszają europejski przemysł celulozowo-papierniczy do optymalizacji wykorzystania energii.

Niezawodność procesów i wysoką wydajność produkcji są, wraz z dążeniem do efektywności kosztowej, głównymi celami w ramach produkcji przemysłowej. Celem poprawy efektywności energetycznej jest przyczynianie się do osiągnięcia tych celów. W wielu przypadkach poprawie efektywności energetycznej towarzyszy zwiększenie wydajności produkcji. Do zwiększenia

efektywności energetycznej przyczynia się na przykład ograniczenie przypadków zerwania wstęgi papieru, co wiąże się z krótszym czasem przestojów. Oszczędzanie energii obniża także wydatki na energię, a więc poprawia efektywność kosztową.

### **Instalacje referencyjne**

W Finlandii, wszystkie zakłady celulozowo-papiernicze przystąpiły do dobrowolnego porozumienia w zakresie oszczędzania energii w celach przemysłowych. Przedsiębiorstwa stosujące się do porozumienia zobowiązały się do określenia ich możliwości w zakresie oszczędzania energii poprzez wprowadzenie analizy energetycznej w swoich zakładach produkcyjnych. Systemy zarządzania energią są częścią systemów zarządzania środowiskowego. Podobne porozumienia zostały opracowane w Szwecji i Holandii.

### **Bibliografia**

[ 191, FFIF 2007 ], [ 193, Axegård i wsp. 2003 ], [ 195, CEN 2009 ], [ 196, Blum 2006 ], [ 249, Blum i wsp. 2007 ].

### **2.9.6 Zmniejszenie zużycia energii mające zastosowanie do wszystkich/większości rodzajów mas włóknistych i papieru**

Dla celów niniejszego dokumentu, środki dotyczące oszczędności energii zostały podzielone na ogólne techniki, które mogą być stosowane w większości rodzajów zakładów celulozowo-papierniczych, i które zostały opisane w tej części dokumentu; oraz środki, które mają zastosowanie do produkcji określonych rodzajów papieru i mas włóknistych lub powiązanych procesów. Zostały one omówione w rozdziałach 3 do 7 odnoszących się do procesów. W celu dokonania oceny udziału poszczególnych urządzeń wykorzystywanych w procesach w całkowitym zużyciu energii, czytelnik jest odsyłany do pkt 2.5 i pkt 2.5.3, w których wskazano urządzenia lub instalacje zużywające największe ilości energii w zakładach papierniczych. Istnieje jednak wiele urządzeń zużywających mniejsze ilości energii (niektóre z nich zostały omówione w niniejszym dokumencie), które razem mają także duże znaczenie w bilansie energetycznym zakładu. Lista technik nie jest listą wyczerpującą, gdyż zawiera jedynie wybrane techniki dostępne horyzontalnie.

Przydatne informacje w tym zakresie można też znaleźć w Dokumencie referencyjnym na temat najlepszych dostępnych technik w zakresie efektywności energetycznej (ENE) [ 268, COM 2009 ].

## 2.9.6.1 Zmniejszanie zużycia energii cieplnej

### 2.9.6.1.1 Odzysk ciepła z dmuchaw promieniowych stosowanych w systemach próżniowych

#### Opis i główne korzyści środowiskowe

Ze względu na proces sprężania w próżniowych dmuchawach promieniowych, powietrze odlotowe z dmuchaw osiąga temperaturę 130 – 160 °C. Takie gorące powietrze może być przekazywane przez wymienniki ciepła powietrze-powietrze, umożliwiając rekuperację ciepła na poziomie do 75% energii elektrycznej pobieranej przez dmuchawy próżniowe. Dmuchawy promieniowe są wykorzystywane w procesie odwadniania na sitach susznicowych i filcach prasowych w przypadku wszystkich rodzajów papieru i są zazwyczaj instalowane w większych maszynach papierniczych. Dzięki ponownemu wykorzystaniu odzyskanego ciepła możliwe jest zmniejszenie zapotrzebowania na parę w części suszącej maszyny papierniczej. Ciepło odpadowe ze spalin może być wykorzystywane do podgrzewania powietrza zasilającego okapturzenie w części suszącej, co prowadzi do oszczędności pary generowanej bezpośrednio.

#### Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

Dostępne są różne typy wymienników ciepła, które muszą być dostosowane do poszczególnych zastosowań. W niektórych przypadkach wilgoć pozostająca w spalinach z dmuchawy może powodować korozję. Odpowiednie utrzymanie zapobiegające korozji pomaga uniknąć niepotrzebnych i kosztownych przestojów z powodu uszkodzeń spowodowanych blokowaniem rur lub korozją.

#### Oddziaływanie na procesy i środowisko

Omawiana technika nie ma negatywnego oddziaływania na środowisko.

#### Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki

Omawiana technika może być stosowana zarówno w nowych, jak i istniejących instalacjach oraz w produkcji wszystkich rodzajów papieru, gdy do produkcji próżniowej wykorzystywane są dmuchawy osiowe. Ciśnienie na wylocie dmuchawy próżniowej musi być na tyle wysokie, aby pokonać spadek ciśnienia w wymienniku ciepła. Zwykle odległość między źródłem ciepła (część odwadniająca maszyny papierniczej, w której jest zainstalowana dmuchawa) a radiatorem (część susząca maszyny papierniczej) jest niewielka. W starszych zakładach problemem może być brak wystarczającej przestrzeni dla instalacji.

#### Aspekty ekonomiczne

Tego typu instalacje charakteryzują się zwykle krótkim czasem zwrotu nakładów. Efektywność ekonomiczna zależy od konkretnego przypadku. W przykładowym zakładzie oszczędność pary jest na poziomie 26 kWh/t, a czas zwrotu nakładów wyniósł 1,5 roku [ 249, Blum i wsp. 2007 ].

#### Motywacja do wdrożenia

Ograniczenie kosztów ze względu na oszczędność pary lub zwiększenie tempa produkcji w związku z większą wydajnością suszenia.

### Instalacje referencyjne

Liczne instalacje w Europie (co najmniej dwie w Niemczech). W przypadku nowych zakładów stosowanie tego środka jest już standardem.

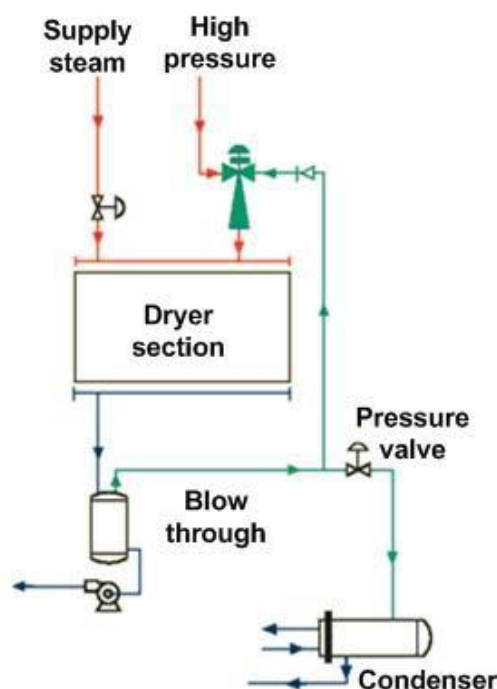
### Bibliografia

[ 249, Blum i wsp. 2007 ]

#### 2.9.6.1.2 Stosowanie termosprężarek

##### Opis i główne korzyści środowiskowe

Technika ta prowadzi do oszczędności pary w okapturzeniu części suszącej poprzez zmniejszenie strat kondensatora. Stosowanie termosprężarek zwiększa sprawność energetyczną procesu suszenia, ponieważ do kondensatora może być przesyłana mniejsza ilość pary. Termosprężarki są stosowane w celu zwiększenia ciśnienia oparów spalin z separatorów. Opary spalin z ostatnich separatorów w kaskadowym układzie pary i skroplin mają bardzo niski poziom ciśnienia, który nie jest bezpośrednio użyteczny w procesie suszenia. Przy zastosowaniu termosprężarki z wyrzutnikiem pary pod wysokim ciśnieniem ciśnienie oparów spalin wzrasta do poziomu, który umożliwia odzysk oparów spalin do ich wykorzystania w procesie suszenia. Rysunek 2.23 przedstawia schemat działania termosprężarek.



Rysunek 2. 23 Schemat działania termosprężarki

Supply steam	Para zasilająca
High pressure	Wysokie ciśnienie
Dryer section	Część susząca
Pressure valve	Zawór ciśnienia



Blow through	Przedmuchi
Condenser	Kondensator

### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Różni dostawcy oferują termosprężarki o różnych parametrach, które muszą zostać przystosowane i przeznaczone do konkretnego zastosowania. W przypadku większości zastosowań termosprężarek konieczny jest strumień pary o ciśnieniu w zakresie 5 – 12 barów.

### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

W wielu zakładach papierniczych woda chłodząca z kondensatora jest wykorzystywana jako ciepła woda w natryskach. Przy optymalizacji układu pary i skroplin, a tym samym zmniejszeniu strat kondensatora, zmniejsza się także ilość wody chłodzącej i może wystąpić niedobór ciepłej wody. W takim przypadku można dokonać oceny, czy ilość wody natryskowej może zostać zmniejszona, czy też możliwe jest znalezienie innego odpowiedniego źródła ciepła odpadowego.

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Omawiana technika może być stosowana zarówno w nowych jak i istniejących instalacjach i przy produkcji wszystkich rodzajów papieru i do powlekarek, o ile dostępna jest para o średnim ciśnieniu.

### **Aspekty ekonomiczne**

Efektywność ekonomiczna powinna być oceniana indywidualnie dla każdego przypadku. W przypadku niektórych zastosowań czas zwrotu z inwestycji może być bardzo krótki. Przykładowy zakład osiąga oszczędność pary na poziomie 25 kWh/t przy czasie zwrotu inwestycji wynoszącym 0,8 roku [ 249, Blum i wsp. 2007 ].

### **Motywacja do wdrożenia**

Oszczędność energii do wytworzenia pary.

### **Instalacje referencyjne**

Tego rodzaju instalacje są powszechnie wykorzystywane we wszystkich nowych papierniach, a także w większości ostatnio przebudowanych obiektów. Wiele tego typu instalacji jest eksploatowanych w Europie.

### **Bibliografia**

[ 249, Blum i wsp. 2007 ]

#### **2.9.6.1.3 Stosowanie izolacji przewodów rurowych transportujących parę i kondensat**

##### **Opis i główne korzyści środowiskowe**

Izolacja rur zmniejsza straty promieniowania cieplnego z rur. Stosowanie izolacji jest zalecane zarówno w przypadku rur jak i łączników przewodów. Dotyczy to rurociągów transportujących gorącą wodę, kondensat i parę wodną, a w celulozowniach – także gorące ługi warzelne.

### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Stosowanie izolacji rurociągów pary i kondensatu jest w Europie standardową praktyką. Stosowanie izolacji łączników przewodów nie jest aż tak powszechne.

### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Omawiany środek nie żadnego negatywnego oddziaływania. Zwiększa bezpieczeństwo pracy.

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Środek może być stosowany we wszystkich zakładach.

### **Aspekty ekonomiczne**

Koszty prac izolacyjnych zależą od stanu sieci. W przypadku przykładowej papierni w Europie Południowej koszt izolacji przewodów rurowych transportujących parę i kondensat (obliczony dla 25 rurociągów dla każdego nośnika) zwrócił się po 1,1 roku [ 249, Blum i wsp. 2007 ].

### **Motywacja do wdrożenia**

Ograniczenie kosztów w związku z oszczędnością energii do wytworzenia pary. Zwiększone bezpieczeństwo pracy.

### **Instalacje referencyjne**

Liczne (głównie nowe) instalacje w Europie. Izolowanie łączników przewodów jest standardem w nowych instalacjach i w instalacjach niedawno przebudowanych.

### **Bibliografia**

[ 249, Blum et al. 2007 ].

#### **2.9.6.1.4 Suszenie biopaliw i osadów z wykorzystaniem nadmiaru ciepła**

##### **Opis**

Wiele zakładów celulozowo-papierniczych posiada zarówno duże ilości biopaliw jak i znaczne niskotemperaturowe źródła ciepła (nadmiar ciepła). Jednak energia ta jest głównie tracona wraz ze spalinami i ściekami. Ciepło niskotemperaturowe może być wykorzystywane do suszenia biopaliw i osadów. Suszenie biopaliw i osadów może generować dodatkowe przychody (lub zmniejszenie kosztów zakupu energii) i tym samym stanowić zachętę do dalszych modyfikacji w ramach głównego procesu mających na celu oszczędność energii.

Ze względu na zawartość wilgoci, w niektórych zakładach do spalania kory w kotłach korowych dodawane są paliwa dodatkowe (takie jak olej opałowy). Dzieje się tak w przypadku niskiej skuteczności odwadniania mechanicznego. Suszenie kory i osadów generuje dodatkową ilość energii, co umożliwia spalanie wysuszonego materiału organicznego bez konieczności stosowania dodatkowego paliwa.

Zbadanie dostępnych źródeł nadmiaru ciepła w zakładzie produkcyjnym może posłużyć określeniu zawartości energii w takich źródłach ciepła i porównaniu tej ilości energii z ilością

energii potrzebnej do procesu suszenia. W ramach badania przeprowadzonego w Szwecji [ 252, Johansson i wsp. 2004 ] poczyniono następujące wnioski:

- Dostępne są znaczne źródła nadmiaru ciepła, które mogłyby być wykorzystane w procesie suszenia w zakładach celulozowo-papierniczych.
- Inwestycje w maszyny suszące biopaliwa z wykorzystaniem nadmiaru ciepła w zakładach celulozowo-papierniczych powinny być opłacalne, lecz w każdym przypadku konieczne jest przeprowadzenie indywidualnej oceny opłacalności tego rodzaju inwestycji. W celulozowniach chemicznych najbardziej opłacalnym rozwiązaniem jest wykorzystywanie spalin z kotłów regeneracyjnych jako gazu suszącego (zakładając, że nie zainstalowano żadnego kondensatora spalin). W pozostałych rodzajach zakładów celulozowo-papierniczych konieczne byłoby korzystanie z innych dostępnych źródeł nadmiaru ciepła.
- Z technicznego i ekonomicznego punktu widzenia najbardziej odpowiednim rozwiązaniem technologicznym wydaje się być suszenie w złożu.

Zazwyczaj suszenie biopaliw i osadów jest opłacalne ekonomicznie jedynie wtedy, gdy możliwe jest wykorzystanie w tym celu nadmiaru ciepła z innych procesów. Zwykle można do tego celu wykorzystywać nadmiar ciepła w postaci gorącego powietrza lub strumieni gorącej wody procesowej. Innymi bardziej kosztownymi rozwiązaniami jest korzystanie z parowych wymienników ciepła lub systemów suszących opalanych gazem. Wymagany zakres minimalnej temperatury to 4 – 60°C.

Pracę suszarki umożliwia gorące powietrze produkowane z wykorzystaniem wymiennika ciepła powietrze-powietrze lub woda-powietrze, a następnie wdmuchiwane przez wentylatory do jednostki suszącej.

### **Główne korzyści środowiskowe**

Zmniejszenie zawartości wody w korze, odrzutach włóknistych, osadzie biologicznym i innych pozostałościach organicznych zmniejsza tonaż odpadów, które mają być transportowane w celu dalszego przetwarzania lub składowania, co wiąże się z oszczędnością kosztów. Suszenie zwiększa wartość opałową biopaliw i osadów oraz podnosi sprawność cieplną podczas spalania. Podstawowe zapotrzebowanie na energię w postaci energii elektrycznej i, ewentualnie, dodatkowe ogrzewanie w warunkach szczytowych obciążeń jest na niskim poziomie, gdy nadmiar ciepła może być wykorzystany w procesie suszenia. Pobór energii pierwotnej w procesie suszenia jest zasadniczo mniejszy niż zwiększona wartość energetyczna paliwa. Możliwy jest bardziej korzystny bilans energii i bilans CO<sub>2</sub>.

### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Doświadczenia związane z suszeniem biopaliw i osadów w przemyśle celulozowo-papierniczym są nadal ograniczone. Prewencyjna konserwacja maszyn pomaga uniknąć niepotrzebnych i kosztownych przestojów w związku z uszkodzeniami powodowanymi przez blokowanie rur i korozję.

a) Instalacja do suszenia biopaliw w zakładzie UPM-Kymmene w Rauma osiąga zawartość suchej masy z mokrych biopaliw po wysuszeniu na poziomie 60%. Energia potrzebna w instalacji suszenia (suszarka taśmowa) pochodzi z nadmiaru ciepła z papierni (ciepłe ścieki i spaliny). Instalacja zmniejsza zużycie paliw kopalnych i zwiększa udział biopaliw o 10%.

W przypadku tego dużego zakładu w Rauma emisje CO<sub>2</sub> zostały zmniejszone o 70 000 ton rocznie.

b) W zakładzie Norske Skog Follum prowadzony jest proces suszenia osadu wtórnego (biologicznego) w celu umożliwienia jego spalania. Efekt netto jeśli chodzi o energię jest nieznacznie ujemny, a w celu dostarczenia ciepła do suszenia zakład kupuje pewną ilość biopaliw. Kora jest poddawana jedynie prasowaniu. Dzięki wykorzystaniu wiodącej technologii prasowania kory możliwe jest osiągnięcie zawartości masy suchej na poziomie 43%. Suszenie biopaliwa z odpadów ma pozytywny wpływ na bilans energetyczny jedynie wówczas, gdy wykorzystywany jest w tym celu nadmiar ciepła.

Osad wtórny może być wykorzystywany alternatywnie do nawożenia gleby, o ile poziom zanieczyszczeń jest utrzymywany na dopuszczalnym poziomie.

W przypadku szczególnych zastosowań (np. wykorzystywanie osadu włóknistego w przemyśle cementowym i przemyśle ceramiki budowlanej) i w celu ułatwienia postępowania z wysuszonym osadem, konieczna może być minimalna zawartość wilgoci.

### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Gdy nadmiar ciepła może być wykorzystywany do suszenia, bilans energetyczny procesu jest dodatni. Wyekstrahowana wilgoć może powodować zapach złowonny, co należy odpowiednio kontrolować.

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Omawiany środek może być ogólnie stosowany zarówno w nowych jak i istniejących instalacjach, które posiadają odpowiednie źródła nadmiaru ciepła do suszenia biomasy i osadów.

Suszenie jest korzystnym rozwiązaniem w szczególności, gdy tego rodzaju produkty uboczne są wykorzystywane ostatecznie do spalania w celu produkcji energii, i gdy koszt procesu suszenia (głównie nakłady na inwestycje i paliwo) jest niższy niż korzyści ze zwiększonej produkcji energii.

W Europie południowej, podczas suchych miesięcy, biopaliwo (kora i biomasa drzewna, z wyłączeniem osadów biologicznych) dociera do zakładu z zawartością wody na takim poziomie, który umożliwia produkcję energii przy pożądanej temperaturze płomienia przez prawie cały rok, co może mieć wpływ na opłacalność ekonomiczną omawianego środka.

Wykorzystanie ciepła wtórnego do suszenia może być ograniczone przez następujące czynniki:

- Koszty inwestycyjne tego rozwiązania wzrastają wraz z wykorzystywaniem nadmiaru ciepła niskotemperaturowego, w związku z koniecznością stosowania większych suszarek.
- Stosowanie nadmiaru ciepła wysokotemperaturowego, zazwyczaj gazów odlotowych, wiąże się z problemem osiągnięcia kwasowego punktu rosy w tych gazach, co z kolei może nasilać korozję lub zwiększać koszty. Można temu zapobiegać wybierając odpowiednie materiały konstrukcyjne lub zmniejszając

zakres temperatury odzysku.

- Wdrożenie tego rozwiązania jest uzależnione również od układu przestrzennego zakładu, tzn. odległości pomiędzy źródłami ciepła wtórnego a miejscami, w których powstają osady i biopaliwa.
- Suszenie i spalanie biomasy oraz osadów z oczyszczania ścieków jest jedną z wielu możliwości w zakresie gospodarowania odpadami. Dostępne są alternatywne rozwiązania w zakresie wykorzystania osadów z oczyszczania ścieków, które także pozwalają odzyskać wartość tego materiału.

### **Aspekty ekonomiczne**

Dane na temat kosztów nie zostały dostarczone.

Opłacalność ekonomiczna zależy od uwarunkowań technicznych w zakładzie, lub klimatu – w przypadku wykorzystywania ciepła ze środowiska. Przy ocenie kosztów należy uwzględnić oszczędności związane z ograniczeniem transportu. Skala korzyści ekonomicznych będzie zależeć również od przepisów prawnych dotyczących stosowania biopaliw w celu wytwarzania energii.

### **Motywacja do wdrożenia**

Suszenie osadów i kory jest praktykowane w niektórych zakładach głównie z dwóch powodów: aby zwiększyć wartość kaloryczną materiału przed spalaniem lub w celu usprawnienia dalszego postępowania (zmniejszenie wagi w celu ograniczenia kosztów transportu i składowania odpadów).

### **Instalacje referencyjne**

UPM-Kymmene, Rauma (FI), Norske Skog, Follum (NO).

### **Bibliografia**

[ 252, Johansson i wsp. 2004 ].

#### **2.9.6.1.5      Dodatkowe środki służące zmniejszeniu zużycia energii cieplnej**

W związku z tym, że techniki opisane w pkt 2.9.6.1 stanowią jedynie wybór dostępnych technik horyzontalnych, dla których dostarczono dane, poniżej przedstawiono niektóre inne środki służące zmniejszeniu zużycia energii cieplnej, wykorzystywane w zakładach celulozowo-papierniczych:

- Bilans okapturzenia cylindra suszącego.
- Odzysk ciepła z gorących spalin w podczerwieni (do suszenia zastosowanych barwników powlekających).
- Optymalizacja wentylacji hali. Najlepszym rozwiązaniem jest wykorzystywanie ciepła odzyskanego przez okapturzenie cylindra suszącego maszyny papierniczej lub suszarki masy włóknistej, kontrola wilgotności i temperatury dostarczanego świeżego powietrza i wentylatorów spalin, unikanie nawiewu rozproszonego mokrego powietrza, zamykanie drzwi i bram, aby uniknąć wycieku powietrza,

---

zapewnienie prawidłowej cyrkulacji i unikanie krótkich obiegów między powietrzem nawiewanym a powietrzem wylotowym.

Więcej informacji na temat możliwych oszczędności energii przedstawiono w punktach związanych z zagadnieniami dotyczącymi energii w rozdziałach 3 do 7 dotyczących poszczególnych procesów produkcji mas włóknistych i papieru.

## **2.9.6.2 Zmniejszenie zużycia energii elektrycznej**

### **2.9.6.2.1 Energooszczędne systemy odwadniania próżniowego**

#### **Opis i główne korzyści środowiskowe**

Energooszczędne systemy próżniowe generują oszczędności energii elektrycznej na poziomie około 20 – 45% i jako pompy z pierścieniem wodnym nie wymagają stosowania wody uszczelniającej (jedynie pewnej ilości wody chłodzącej). Wydajne systemy posiadają automatyczne sterowanie prędkością, dzięki czemu dostosowują się do zmian prędkości, gramatury i wieku filcu (patrz pkt 2.9.6.2.3).

#### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Nowoczesne dmuchawy próżniowe z regulacją prędkości obrotowej zapewniają większą elastyczność w odniesieniu do próżni w maszynie papierniczej, co pozwala na uzyskanie większej przerabialności maszyny poprzez zwiększanie lub zmniejszanie poziomu próżni zależnie od pracy rolki.

#### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Oszczędność wody na poziomie około 95%. Odzysk dużej części energii zużytej przez pompy poprzez rekuperację energii cieplnej ze spalin.

#### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Technika może być stosowana we wszystkich instalacjach. Jej wdrożenie wiąże się zwykle z potrzebą zainstalowania nowych urządzeń w systemach próżniowych w przypadku przebudowy lub optymalizacji systemu próżniowego w zakładzie jako całości.

#### **Aspekty ekonomiczne**

Zakłady Stora Enso Kaukopää (FI), Clairefontaine (FR) i MM Baiersbronn (DE) osiągnęły oszczędność energii na poziomie 45%; zakład M-real Lielähti (FI) na poziomie 46%, a zakład Metsä Tissue Mäntä (FI) zmniejszył zużycie energii przez wykorzystywany w nim system próżniowy o 40%.

#### **Instalacje referencyjne**

SE Kaukopää, zakład papierniczy Clairefontaine, MM Baiersbronn, M-real Lielähti, Metsä Tissue Mäntä.

## **Bibliografia**

[ 163, J.Lahtinen i wsp. 2009 ].

### **2.9.6.2.2 Wykorzystywanie wysokosprawnych silników elektrycznych**

#### **Opis i główne korzyści środowiskowe**

Niemal całość energii elektrycznej zużywanej przez papiernię przypada na silniki elektryczne. W przypadku najczęściej wykorzystywanych silników asynchronicznych wyróżnia się różne klasy sprawności. Oszczędności energii można osiągnąć poprzez wykorzystywanie wysokosprawnych silników elektrycznych. Do roku 2008 poziom sprawności w przypadku silników asynchronicznych był klasyfikowany przez stowarzyszenie CEMEP na trzy poziomy: EFF1, EFF2 i EFF3, przy czym poziom EFF1 odnosił się do najbardziej wydajnych silników. Od 2008 roku wspomniany system oznakowania został zastąpiony przez nową normę odnoszącą się do silników energooszczędnych, która została opracowana przez Międzynarodową Komisję Elektrotechniczną, normę IEC 60034-30:2008. Norma ta określa nowe klasy sprawności silników i ujednotacza poziomy sprawności na całym świecie.

Obecnie klasy sprawności silników elektrycznych są oznaczane w następujący sposób: IE1, IE2, IE3 (rozważana jest także klasa IE4), i oznaczają:

- IE4 – najwyższy poziom sprawności (super premium) (rozpatrywany)
- IE3 – bardzo wysoki poziom sprawności (premium) (odpowiednik NEMA Premium)
- IE2 – podwyższony poziom sprawności (odpowiednik EFF1)
- IE1 – standardowy poziom sprawności (odpowiednik EFF2)
- Brak oznakowania – sprawność poniżej poziomu standardowego – (odpowiednik EFF3).

Należy dążyć do stosowania silników elektrycznych o najwyższej klasie sprawności.

#### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Brak różnic w eksploatacji między różnymi silnikami klas EFF lub silnikami klas IE.

#### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Brak zagadnień do omówienia.

#### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Technika ma zastosowanie do wszystkich instalacji.

#### **Aspekty ekonomiczne**

W przypadku czasu pracy powyżej 4 000 rocznie zaleca się stosowanie silników o najwyższej klasie sprawności (co w większości zakładów jest już standardem). Biorąc pod uwagę koszty cyklu życia silnika asynchronicznego, pierwotna cena silnika stanowi około 2% kosztów jego eksploatacji w trakcie całego cyklu życia [ 164, M. Kara 2007 ]. W związku z tym zazwyczaj szybciej zwraca się inwestycja w silnik o możliwie najwyższej sprawności.

#### **Instalacje referencyjne**

W większości zakładów wykorzystywane są silniki o najwyższej sprawności, a ich eksploatacja nie powoduje problemów.

## **Bibliografia**

[ 164, M. Kara 2007 ], [ 249, Blum i wsp. 2007 ].

### 2.9.6.2.3 Energooszczędne przetwornice częstotliwości do pomp, wentylatorów i sprężarek

#### Opis i główne korzyści środowiskowe

W większości zakładów papierniczych przepływ pomp jest sterowany za pomocą zaworu, podczas gdy pompa pracuje przy stałej prędkości. Przy regulacji prędkości pompy do przepływu, silnik musi wytwarzać jedynie moc potrzebną do pompowania. Regulacja przepływu wody poprzez dostosowanie prędkości pompy jest bardziej wydajna niż stosowanie zaworu dławiącego. Przy użyciu przetwornicy, moc dostarczana przez sieć może być modyfikowana w celu regulacji prędkości silników asynchronicznych (w związku z tym, że prędkość silnika asynchronicznego jest funkcją częstotliwości).

Oszczędność energii elektrycznej wykorzystywanej do eksploatacji pomp wynika z mniejszych strat powodowanych przez dławienie i wyższej wydajności hydraulicznej pompy. Zazwyczaj oszczędność energii elektrycznej dla każdego zastosowania mieści się w zakresie 15 – 25%.

#### Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

Niektórzy dostawcy uszczelnień mechanicznych wymagają minimalnej prędkości pompy. Przetwornice potrzebują więcej miejsca w rozdzielni elektrycznej. Silnik musi dostosowany do możliwości regulacji przez przetwornicę. Należy zapewnić wystarczające chłodzenie silnika. W niektórych przypadkach konieczna może być też wymuszona wentylacja powietrza.

#### Oddziaływanie na procesy i środowisko

Brak zagadnień do omówienia.

#### Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki

Technika ma zastosowanie zarówno do nowych jak i istniejących instalacji wykorzystujących trójfazowe silniki asynchroniczne. Możliwość zastosowania przetwornicy częstotliwości w oczyszczalni ścieków może być ograniczona, gdy strumień ścieków jest nieciągły i charakteryzuje się nagłymi zmianami.

#### Aspekty ekonomiczne

W ostatnich latach ceny przetwornic częstotliwości znacznie zmalały. Efektywność ekonomiczna omawianej techniki musi być oceniona indywidualnie dla każdego przypadku. Okres zwrotu inwestycji waha się od 6 miesięcy do 4 lat (Źródło: badanie rynkowe przeprowadzone przez PTS w zakładach w Niemczech, grudzień 2006 r.).

#### Motywacja do wdrożenia

Ograniczenie kosztów w związku z oszczędnościami energii (elektrycznej) i sterowaniem procesami.

#### Instalacje referencyjne

Przetwornice są zainstalowane w większości europejskich zakładów. Jednak w większości zakładów zwykle tylko niektóre napędy są wyposażone w przetwornice.



## Bibliografia

[ 249, Blum i wsp. 2007 ].

### 2.9.6.2.4 Dodatkowe środki służące zmniejszeniu zużycia energii elektrycznej

W związku z tym, że techniki opisane w pkt 2.9.6.2 stanowią jedynie wybór dostępnych technik, dla których dostarczono dane, poniżej przedstawiono niektóre inne środki służące zmniejszeniu zużycia energii elektrycznej, wykorzystywane w zakładach celulozowo-papierniczych:

- Wydajne mieszadła
- Wydajne pompy
- Usprawnienie rafinerów (rozdziały 5 i 7).

Więcej informacji na temat możliwych oszczędności energii przedstawiono w punktach związanych z zagadnieniami dotyczącymi energii w rozdziałach 3 do 7 dotyczących procesów, zwłaszcza w pkt 7.3.15 (oszczędności energii w produkcji papieru).

### 2.9.6.3 Skojarzona produkcja ciepła i energii elektrycznej

#### Opis

Skojarzona produkcja ciepła i energii elektrycznej polega na równoczesnym wytwarzaniu energii cieplnej i energii elektrycznej i/lub mechanicznej w ramach jednego procesu prowadzonego w elektrociepłowni CHP (ang. combined heat and power plant). Więcej informacji na ten temat przedstawiono w pkt 2.6.1.2.2.

#### Główne korzyści środowiskowe

Zwiększona efektywność energetyczną i co za tym idzie, zmniejszenie emisji na wyprodukowaną kWh lub na wsad paliwa w MJ. Instalacja CHP może spowodować zmniejszenie zużycie energii pierwotnej w zakresie 10 – 15%, co prowadzi do zmniejszenia emisji CO<sub>2</sub>. Ilość odpadów w systemie dystrybucji energii elektrycznej zostaje zmniejszona do 5%.

#### Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

Instalacje CHP oparte o turbiny gazowe pracujące w cyklu połączonym są istotnym środkiem służącym zmniejszeniu zużycia paliwa i emisji CO<sub>2</sub> ze względu na ich stosunkowo wysoką ogólną efektywność paliwową, nawet w przypadku stosunkowo niewielkich jednostek mocy (od kilku MW<sub>t</sub> w górę). Wysoki współczynnik stosunku energii elektrycznej do ciepła wraz z wysokim współczynnikiem konwersji wykorzystywanych paliw przyczyniają się do znacznego zmniejszenia emisji CO<sub>2</sub>, a także całkowitych emisji na wyprodukowaną kWh w porównaniu do elektrowni kondensacyjnych. Osiągane są także niższe poziom emisji CO i NO<sub>x</sub>.

Straty energii podczas wytwarzania energii elektrycznej i produkcji ciepła można zredukować poprzez skojarzoną generację ciepła i energii elektrycznej (CHP). Instalacje kogeneracyjne podnoszą współczynnik konwersji wykorzystywanych paliw (poziom wydajności paliwa) z około jednej trzeciej – w elektrowniach konwencjonalnych – do około 80 – 93%. Charakter procesu produkcji papieru, czyli wysokie zapotrzebowanie na energię elektryczną i ciepło przy względnie stabilnym współczynniku stosunku energii elektrycznej do ciepła przez cały rok,

uzasadnia wybór instalacji CHP.

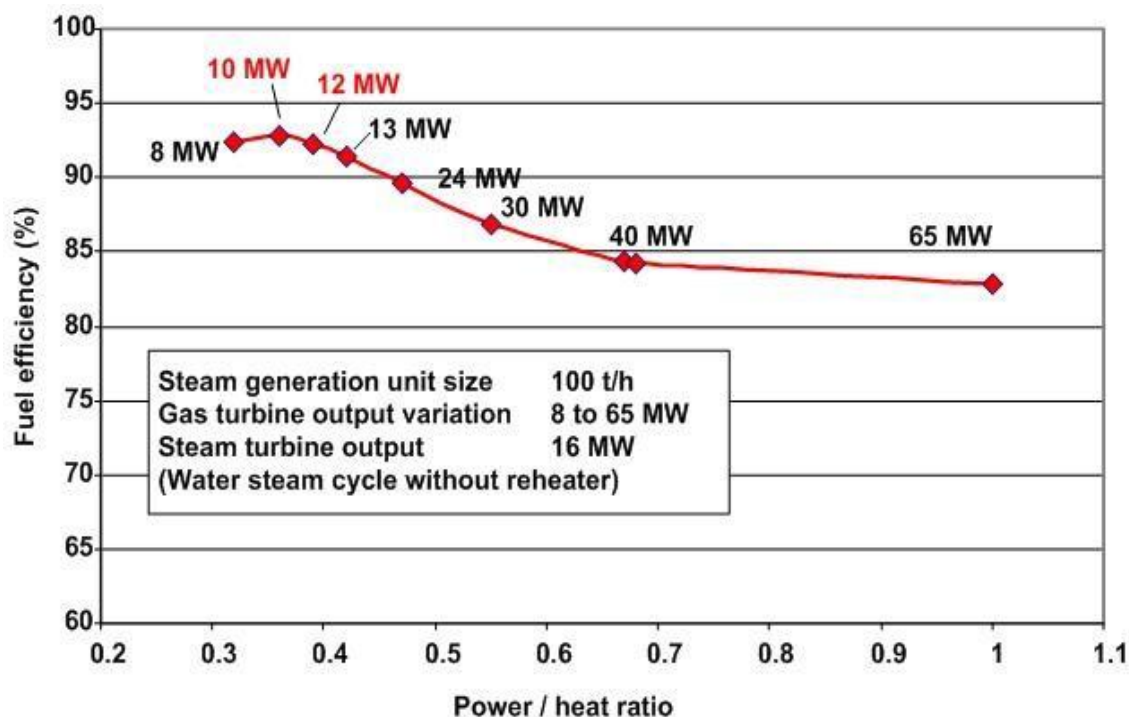
W papierniach wykorzystywane są różne rodzaje procesów kogeneracji. Poza klasycznymi elektrowniami parowymi z turbinami przeciwprężnymi, od 1980 r. na rynku funkcjonują także obiekty pracujące w cyklu skojarzonym. W przypadku elektrowni parowej z turbiną przeciwprężną możliwe jest osiągnięcie współczynnika stosunku energii elektrycznej do ciepła rzędu około 0,2, co nie wystarcza na pokrycie zapotrzebowania na energię elektryczną w nowoczesnych wytwórniach papieru. W przypadku maszyn papierniczych zaprojektowanych z wykorzystaniem najnowszych technologii stosunek energii elektrycznej do ciepła powinien być w zakresie 0,3 – 0,65, w zależności od rodzaju i jakości papieru oraz urządzeń wykorzystywanych do produkcji masy włóknistej (w przypadku celulozowni mechanicznych współczynnik ten jest jeszcze wyższy). Tradycyjne elektrownie parowe mogą zwiększyć moc poprzez modernizację układu parowego i zainstalowanie turbiny gazowej przed kotłem, co daje tzw. obieg kombinowany gazowo-parowy z turbiną gazową. W przypadku kotłowni opalanych gazem, w celu zwiększenia mocy instalacji można zainstalować jedną lub kilka turbin gazowych przed znajdującym się już w eksploatacji dodatkowym kotłem parowym. Jeśli turbina parowa jest już w eksploatacji, turbina gazowa może zostać zainstalowana przed generatorem pary w celu zwiększenia uzysku energii elektrycznej.

Przykładem w tym zakresie może być wytwórnia papieru i tektury w Niemczech, w której w 2008 r. zainstalowano nowoczesną i wydajną turbinę gazową pracującą w obiegu kombinowanym (CCGT). Taki system produkcji energii elektrycznej i ciepła na miejscu daje oszczędność paliwa na poziomie 92%, zmniejszenie emisji CO<sub>2</sub> i niskie emisje CO i NO<sub>x</sub>, w związku z czym w miarę możliwości należy dążyć do jego wdrożenia.

Podobnie jak w standardowej technologii turbin gazowych, powietrze jest zasysane z atmosfery i sprężane. W komorze spalania następuje mieszanie i spalanie paliwa i powietrza ze sprężarki turbiny gazowej. Po spaleniu, gazy odlotowe są rozprężane w turbinie, która napędza generator. W elektrowniach z obiegiem kombinowanym energia cieplna zawarta w gazach odlotowych z turbiny gazowej jest wykorzystywana w parowym kotle regeneracyjnym do produkcji pary, która jest wykorzystywana do wytwarzania dodatkowej energii elektrycznej za pomocą turbiny parowej (patrz pkt 2.6.1.2.2).

Instalacje kogeneracji ciepła i energii elektrycznej przekształcają 80 – 93% energii wejściowej w 50 – 80% ciepła i 20 – 50% energii elektrycznej, w zależności od zapotrzebowania zakładu na energię elektryczną i ciepło oraz systemu zastosowanego w instalacji CHP.

Stosunek ilości wyprodukowanej energii elektrycznej do wytworzonego ciepła procesowego jest nazywany współczynnikiem ciepła do mocy (ang. Heat to Power Ratio – HPR). Przy wyborze odpowiedniego współczynnika HPR dla danej papierni należy uwzględnić główne ograniczenia fizyczne odnoszące się do wydajności paliwa. Rysunek 2.24 przedstawia przykład wzajemnej zależności pomiędzy wydajnością paliwa i wybranym współczynnikiem HPR.



Źródło: [ 105, F.Hutter 2007 ]

Rysunek 2. 24 Wzajemna zależność pomiędzy wydajnością paliwa i wybranym współczynnikiem ciepła do energii elektrycznej dla instalacji CCGT

Fuel efficiency (%)	Wydajność paliwa (%)
Steam generation unit size 100 t/h	Ilość wytworzonej pary 100 t/h
Gas turbine output variation 8 to 65 MW Steam turbine output 16 MW	Zakres mocy wyjściowej turbiny gazowej 8 – 65 MW  Moc wyjściowa turbiny parowej 16 MW
(Water steam cycle without reheater)	(Obieg parowy bez nagrzewnicy)
Power / heat ratio	Współczynnik energia elektryczna/ciepło
Source: [ 105, F.Hutter 2007 ]	Źródło: [ 105, F. Hutter 2007 ]

Rysunek 2.24 przedstawia wyniki obliczeń termodynamicznych: z technicznego punktu widzenia, najwyższe wartości dla wydajności paliwa można osiągnąć przy współczynniku HPR w zakresie 0,3 – 0,5. Współczynnik HPR powyżej 0,5 prowadzi do zmniejszenia wydajności paliwa. Wykres odnosi się do zwykłej instalacji wytwarzającej parę procesową w ilości 100 ton na godzinę. Moc wyjściowa turbiny parowej jest utrzymywana na stałym poziomie 16 MW. Punkty na wykresie przedstawiają wyniki obliczeń termodynamicznych dla kotła z turbinami gazowymi różnej wielkości (od 8 do 65 MW), umieszczonymi przed kotłem parowym. Na wykresie zaznaczono także niektóre istotne klasy mocy turbin gazowych.

Wartości optymalne z perspektywy ekonomii mogą różnić się od wartości optymalnych z

technicznego punktu widzenia. Zależnie od współczynnika energii elektrycznej do ceny paliwa obliczenia prowadzone z ekonomicznego punktu widzenia mogą prowadzić do uzyskania wyższych lub niższych wartości współczynników HPR. Na przykład, wysokie wartości współczynnika energii elektrycznej do ceny paliwa, na poziomie około 4, pozwalają na wybór wyższej wartości współczynnika energii elektrycznej do ciepła, co sprawia, że instalacje kogeneracyjne osiągają wyższe wartości współczynnika HPR, ale mają niższą wydajność paliwa, np. jedynie 75%. Gdy wartość współczynnika energii elektrycznej do ceny paliwa spada do około 3, opłacalne są instalacje kogeneracyjne o wyższej wydajności paliwa i niższym współczynniku energii elektrycznej do ciepła.

Tabela 2.23 podaje przykład zmniejszenia emisji uzyskanego poprzez zastąpienia układu CCGT dostawami od przedsiębiorstwa publicznego pracującego w warunkach średniego obciążenia. Przykład CCGT przedstawia proces kogeneracji prowadzony przy możliwie najwyższej wydajności cieplnej. Skojarzona generacja pary i energii elektrycznej (CCGT przy 92% wydajności paliwa) została porównana z zakupioną energią elektryczną, wytwarzaną przez wykorzystującą najnowocześniejsze technologie, opalaną węglem instalację należącą do przedsiębiorstwa użytku publicznego (42% sprawność elektryczna w przypadku przykładu z Niemiec) i blok parowy eksploatowany na miejscu (sprawność kotła na poziomie 88%). Specjalny system klap gwarantuje, że do urządzeń do spalania dostarczana jest dokładnie odmierzona, odpowiednia ilość tlenu. Instalacje z regulowanym poziomem paliwa i tlenu, działające zgodnie z określonym systemem sterowania komputerowego, zapewniają spalanie, które jest prawie wolne od emisji CO. Niskie poziomy emisji NO<sub>x</sub> mogą nieść jeszcze jedną korzyść: właściwe organy zdecydowały w tym przypadku o zniesieniu obowiązku prowadzenia ciągłych pomiarów NO<sub>x</sub>, wynikającego ze stosownych przepisów.

**Tabela 2. 23 Porównanie parametrów ekologicznych instalacji z obiegiem kombinowanym gazowo-parowym z turbiną gazową i parametrów ekologicznych dostawcy publicznego działającego (przypadek z Niemiec)**

Przykład elektrociepłowni zaprojektowanej do produkcji pary na poziomie 95 t/h; produkcja pary na poziomie około 90 t/h; moc wyjściowa 24 MW <sub>e</sub> [1]					mg/MJ ( <sup>2</sup> )
	Jednostka			Wartość	BD
Moc wyjściowa z kogeneracji	MW			24,0	BD
Ciepło procesowe z kogeneracji	MW			60,0	BD
Stosunek mocy do ciepła	MW/MW			0,40	BD
Wyprodukowana energia ogółem	MJ/h			302 400	BD
<b>Dostawca publiczny</b>					
	Jednostka	Turbina gazowa	Dodatkowe wypalanie	Łącznie	mg/MJ ( <sup>2</sup> )
Nominalna moc cieplna	MW	37,9	53,6	91,5	BD
Strumień gazu (suchy gaz, warunki standardowe)	m <sup>3</sup> /h	BD	BD	109 000	BD
Emisja NO <sub>x</sub> ( <sup>1</sup> )	mg/m <sup>3</sup>	BD	BD	70	BD
Emisja CO ( <sup>1</sup> )	mg/m <sup>3</sup>	BD	BD	5	BD
Emisja SO <sub>2</sub> ( <sup>1</sup> )	mg/m <sup>3</sup>	BD	BD	0	BD
Strumień masy NO <sub>x</sub>	kg/h	BD	BD	10,9	36,0
Strumień masy CO	kg/h	BD	BD	0,5	1,8
Strumień masy SO <sub>2</sub>	kg/h	BD	BD	0	0
Strumień masy CO <sub>2</sub>	t/h	BD	BD	19,0	62 830

<b>Zakupiona energia elektryczna: 24 MW od dostawcy publicznego – elektrownia opalana węglem, praca w warunkach średniego obciążenia – para procesowa wytwarzana w bloku parowym 90 t/h [2]</b>					
	<b>Jednostka</b>			<b>Wartość</b>	<b>mg/MJ (<sup>2</sup>)</b>
Zakupiona energia elektryczna	MW			24	BD
Wytworzone ciepło	MW			60	BD
Wyprodukowana energia ogółem	MJ/h			302 400	BD
<b>Dostawca publiczny</b>					
	<b>Unit</b>	<b>Produkcja energii elektrycznej</b>	<b>Produkcja pary</b>	<b>Łącznie</b>	<b>mg/MJ (<sup>2</sup>)</b>
Nominalna moc cieplna	MW	59,4	67,6	127	BD
Strumień gazu (gaz suchy, warunki standardowe)	m <sup>3</sup> /h	73 070	69 030	142 100	BD
Emisja NO <sub>x</sub>	mg/m <sup>3</sup>	200	100	BD	BD
Emisja CO	mg/m <sup>3</sup>	200	50	BD	BD
Emisja SO <sub>2</sub>	mg/m <sup>3</sup>	200	0	BD	BD
Strumień masy NO <sub>x</sub>	kg/h	14,6	6,90	21,5	71,1
Strumień masy CO	kg/h	14,6	3,45	18	59,7
Strumień masy SO <sub>2</sub>	kg/h	14,6	0	14,6	48,3
Strumień masy CO <sub>2</sub>	t/h	19,6	13,9	33,6	110950
Uwagi: BD = brak danych					
(1) Zawartość tlenu w gazach odpadowych równa 3%.					
(2) Obliczenie odnoszące się do przeliczenia danych liczbowych na konkretne wartości: 1 MW × 3 600 = MJ/h; np. (24,0 + 60,0) × 3 600 = 302 400 MJ/h; Na przykład, konkretna wartość emisji NO <sub>x</sub> może zostać obliczona jako 10 900g/h podzielone przez 302 400 MJ/h = 36 mg/MJ.					
<i>Źródła:</i>					
[1] Dane z zakładu papierniczego korzystającego z zasilania sieciowego z bloku CCGT (DE) oddanego do eksploatacji w 2008 r., dane dostarczone w 2008 r. [106, F. Hutter 2010].					
[2] Dane z Raportu z badania BMFT-FB-T85-065, F. Hutter i wsp.; w: Fichtner: Design of a Coal Fired Power Station with Environmental Protecting Components, opublikowanym przez Ministerstwo Badań i Technologii, Niemcy, 1985 r. Przykład obliczony przez F. Hutter GmbH Biberach, Niemcy, 2010 r. Zakłada się, że kogeneracja zastępuje energię elektryczną wytwarzaną przez dostawców publicznych w warunkach podstawowego obciążenia. W Niemczech górny zakres obciążenia podstawowego jest pokrywa produkcja generowana przez bloki opalane węglem. Porównanie zostało przeprowadzone dla elektrowni o sprawności na poziomie 42%, wyposażonej w nowoczesne systemy odsiarczania i odazotowania, w której straty przesyłowe są na poziomie 2%.					

W porównaniu z konwencjonalnym wytwarzaniem energii elektrycznej w elektrowni węglowej wykorzystujące najnowsze technologie oraz kotła parowego eksploatowanego na miejscu, instalacja CCGT opisana w tabeli 2.23 umożliwia osiągnięcie następujących poziomów zmniejszenia:

- zużycie paliwa: 28% zmniejszenie
- NO<sub>x</sub>: 49% zmniejszenie (zamiast 21,5 kg NO<sub>x</sub>/h, instalacja CHP generuje 10,9 kg NO<sub>x</sub>/h)
- CO: 97% zmniejszenie (zamiast 18 kg CO/h, instalacja CHP generuje 0,5 kg CO/h)
- SO<sub>2</sub>: 100% zmniejszenie
- CO<sub>2</sub>: 43% zmniejszenie (zamiast 33,6 t CO<sub>2</sub>/h, instalacja CHP generuje 19 t CO<sub>2</sub>/h).

Należy zauważyć, że osiągnięte poziomy zmniejszenia emisji zależą od porównywanych systemów wytwarzania energii.

### Oddziaływanie na procesy i środowisko

Instalacja CHP powoduje powstawanie nowych źródeł emisji do atmosfery. Punktem generowania emisji w instalacji CHP jest zazwyczaj kocioł odzysknicowy (HRSG).

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Instalacja CHP może być wykorzystywana zarówno w nowych jak i w istniejących zakładach. W istniejących instalacjach kogeneracja może być wdrażana na przykład przez modernizację istniejących bloków parowych z turbinami przeciwprężnymi poprzez przekształcenie ich w instalacje kogeneracyjne z obiegiem kombinowanym. Instalacja CHP może być wykorzystywana w szerokim zakresie mocy produkcyjnych. Wartości mocy produkcyjnych w odniesieniu do skojarzonej produkcji energii elektrycznej i ciepła wahają się od  $\leq 1$  MWt w przypadku małych papierni, do  $\geq 500$  MWt w przypadku kotłów regeneracyjnych eksploatowanych w dużych celulozowniach. Przeszkodą do wdrożenia systemu CHP mogą być procedury administracyjne związane z uzyskaniem pozwoleń niezbędnych do budowy instalacji i podłączenia jej do sieci krajowej lub do budowy linii energetycznej wysokiego napięcia, aby podłączyć ją do sieci, jeśli jest to konieczne.

Stosunkowo niewielkie rozmiary większości wytwórni bibułki tissue mogą spowodować, że system CHP może być dla nich mniej opłacalny niż w przypadku większych zakładów.

### **Aspekty ekonomiczne**

Osiągane oszczędności i czas zwrotu inwestycji zależą głównie od cen energii elektrycznej i paliw w danym kraju. Należy uwzględnić również koszt inwestycji oraz koszty amortyzacji i utrzymania. W przypadku zakładów, które wdrożyły system kogeneracji ciepła i energii elektrycznej, środek ten okazał się być opłacalny (przy określonych cenach energii).

Koszty inwestycyjne w przypadku CHP zależą od wielkości instalacji. Koszty inwestycyjne na 1 MW mocy zainstalowanej są tym mniejsze, im większa jest instalacja i zależą od zastosowanej technologii CHP. Odnotowano następujące koszty kapitałowe wymagane w 2010 r. w zależności od wielkości instalacji i zastosowanej technologii [ASPAPPEL, 2011]:

#### ***Układ prosty z turbiną gazową:***

- 1 MW i wytwarzanie 3 t/h pary nasyconej o niskim ciśnieniu: 1,5 mln euro
- 4,5 MW i wytwarzanie 6 t/h pary nasyconej o niskim ciśnieniu: 5 mln euro

#### ***Układ prosty z silnikiem:***

- 1 MW i wytwarzanie pary lub zimna: 1,3–1,5 mln euro

#### ***Układ kombinowany gazowo-parowy z turbiną gazową (CCGT):***

- 25 MW i wytwarzanie 40 t/h pary nasyconej o niskim ciśnieniu: 30 mln euro
- 48 MW i wytwarzanie 90 t/h pary nasyconej o niskim ciśnieniu: 54 mln euro.

### **Motywacja do wdrożenia**

Szacowany wzrost efektywności energetycznej instalacji i zmniejszenie kosztów wytwarzanej w niej energii elektrycznej.

W przypadku wykorzystania całego potencjału kogeneracji na miejscu, produkcja energii elektrycznej w instalacji może przekraczać zapotrzebowanie zakładu na energię elektryczną.

Pewna ilość wytworzonej energii elektrycznej jest wówczas sprzedawana do sieci, o ile sprzyjają temu warunki rynkowe.

### **Instalacje referencyjne**

Skojarzone wytwarzanie ciepła i energii elektrycznej jest powszechnie stosowaną techniką, także w wielu zakładach papierniczych w Europie (patrz również tabela 1.4). W Hiszpanii w 2010 r. w sektorze celulozowo-papierniczym eksploatowano 50 elektrociepłowni. Wykorzystywane są różne systemy z turbiną gazową w układzie kombinowanym i inne rodzaje elektrociepłowni. To, który z nich zostanie ostatecznie wykorzystany zależy głównie od rodzaju istniejącej elektrowni będącej już w eksploatacji i od warunków lokalnych i rynkowych.

### **Bibliografia**

[ 9, dyrektywa 2004/8/WE 2004 ], [ 12, dyrektywa 2010/75/UE 2010 ], [ 105, F. Hutter 2007 ], [ 106, F. Hutter 2010 ].

## **2.9.7 Zmniejszenie emisji do atmosfery z kotłów opalanych paliwem wieloskładnikowym, biomasą i z kotłów pomocniczych**

W zakładach celulozowo-papierniczych do produkcji pary wykorzystywane mogą być różne rodzaje biomasy, paliw kopalnych (węgiel kamienny, węgiel brunatny, ropa naftowa lub gaz ziemny), pozostałości i odpady z procesów, zwykle w połączeniu z produkcją energii elektrycznej z wykorzystaniem turbin. Informacje na temat zakresu zostały przedstawione w pierwszych podpunktach pkt 2.6. Stacjonarne silniki o wewnętrznym spalaniu wykraczają poza zakres niniejszego dokumentu.

Kotły opalane wyłącznie biomasą (w tym korą, odpadami drzewnymi i odrzutami z sortowania) są powszechnie stosowane w zakładach celulozowo-papierniczych posiadających place drzewne i wykorzystujących do produkcji papieru masy mechaniczne i chemiczne. Powszechnie stosowane są także kotły opalane paliwem wieloskładnikowym. Kora jest stosowana z powodzeniem w zakładach jako paliwo do kotłów pomocniczych. Jeśli w kotłach tych spalany jest odwodniony osad (dolna wartość kaloryczna), należy rozważyć pewne zabiegi związane z przygotowaniem i spalaniem osadów (dodanie paliwa o wysokiej wartości cieplnej, zapewnienie pieca o odpowiedniej konstrukcji, mieszanie, podgrzewania powietrza do spalania, itp.).

Przy spalaniu takich paliw mieszanych konieczne jest stosowanie technik spalania przyjaznych dla środowiska, jak również technik wtórnego oczyszczania spalin w celu ograniczenia do minimum emisji pyłu, NO<sub>x</sub> i SO<sub>2</sub> oraz innych zanieczyszczeń gazowych, jeśli występują.

Więcej informacji na temat dostępnych technik kontroli emisji ze spalarni osadów i odrzutów z zakładów przetwarzających makulaturę przedstawiono również w pkt 6.3.14, w którym omówione zostały cztery przykłady.

Konwencjonalne kotły parowe gazowe lub olejowe (bloki parowe) o nominalnej mocy

cieplnej przekraczającej 50 MW, wykorzystywane w zakładach celulozowo-papierniczych, aby zaspokoić zapotrzebowanie na ciepło technologiczne nie różnią się od generatorów pary wykorzystywanych w innych sektorach przemysłowych, dlatego w niniejszym dokumencie nie omówiono szczegółowo środków kontroli emisji dla tego rodzaju kotłów (omówiono jedynie pewne dane dotyczące redukcji emisji NO<sub>x</sub>). Szczegółowe informacje na ten temat zostały zawarte w Dokumencie referencyjnym BAT dla dużych obiektów energetycznego spalania [ 271, COM 2006 ]. Dokument BREF LCP zawiera obszerne informacje odnoszące się do stosowanych technik i metod zmniejszania emisji w obiektach energetycznego spalania wykorzystujących paliwa handlowe, takie jak gaz ziemny, węgiel kamienny lub brunatny i inne.

Emisje z elektrociepłowni wykorzystywanych w przemyśle celulozowo-papierniczym są dokładnie takie same, jak w przypadku kotłów parowych wykorzystujących ten sam rodzaj paliwa. Punktem emisji w instalacjach CHP jest zazwyczaj kocioł. Jednak w przypadku zastosowania turbiny gazowej, proces spalania nie zachodzi w kotle, lecz rozpoczyna się w komorze spalania turbiny. W przypadku spalania w bloku gazowo-parowym z turbiną gazową poziomy emisji NO<sub>x</sub> i CO powinny być kontrolowane w turbinie. Emisje te są monitorowane także za kotłami.

### 2.9.7.1 Zmniejszanie emisji pyłu

#### Opis

Zakłady celulozowo-papiernicze eksploatują różne rodzaje obiektów energetycznego spalania w celu produkcji pary i energii elektrycznej. Jeśli chodzi o wykorzystywane paliwa, obiekty energetycznego spalania mogą być opalane jedynie pozostałościami drewna (korą i odpadami drzewnymi), jedynie paliwami kopalnymi (węglem brunatnym i kamiennym, olejem opałowym, gazem ziemnym) oraz mieszaniną paliw, takich jak biogaz, biomasa i paliwa kopalne, inne pozostałości po produkcji prowadzonej w zakładzie oraz różnego rodzaju osady (np. osady z biologicznego oczyszczania ścieków).

Powszechną techniką kontroli emisji cząstek stałych (pyłu) z obiektów tego typu jest stosowanie filtrów tkaninowych (FF) i filtrów elektrostatycznych (ESP).

Filtry elektrostatyczne wykorzystują siły elektrostatyczne do oddzielania i zatrzymywania cząstek stałych z gazów odlotowych z kotłów. W przypadku filtrów tkaninowych pył jest oddzielany przez przepuszczenie gazów odlotowych przez filtr wykonany z tkaniny.

Zarówno filtry elektrostatyczne jak i tkaninowe wykazują wysoką skuteczność w usuwaniu cząstek stałych przy wydajności przekraczającej zgodnie z projektem 99,5%. Wybór pomiędzy filtrami ESP i FF zależy na ogół od rodzaju wykorzystywanego paliwa, wielkości instalacji, rodzaju i konfiguracji kotła oraz założonym poziomem usuwania cząstek stałych. W przypadku filtrów tkaninowych możliwe jest osiągnięcie nieco niższych poziomów emisji w porównaniu z filtrami elektrostatycznymi. Szczegółowy opis filtrów elektrostatycznych i tkaninowych został przedstawiony w dokumencie BREF LCP [ 271, COM 2006 ].

#### Główne korzyści środowiskowe

Zmniejszenie emisji pyłu i pyłu drobnego. Drobnny pył jest na ogół określany jako PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>, co oznacza cząstki stałe (PM ang. particulate matter) o średnicy aerodynamicznej równoważnej



odpowiednio 10 mikronom lub mniej i 2,5 mikronom lub mniej. Filtry tkaninowe są bardziej skuteczne w usuwaniu bardzo drobnego pyłu niż filtry elektrostatyczne.

### Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

Obie techniki charakteryzują się bardzo wysoką skutecznością usuwania cząstek stałych, ponad 99%, i są powszechnie stosowane w branży celulozowo-papierniczej. Średnia dobowa zawartość cząstek stałych w gazach odlotowych po oczyszczeniu wynosi w przypadku odpowiednio zaprojektowanych filtrów elektrostatycznych pracujących w standardowych warunkach operacyjnych 5 – 20 mg/Nm<sup>3</sup> i 1 – 10 mg/Nm<sup>3</sup> w przypadku filtrów tkaninowych. W tabeli 2.24 zestawiono pewne przykładowe dane odnoszące się do kotłów fluidalnych wyposażonych w filtry elektrostatyczne lub filtry tkaninowe.

**Tabela 2.24: Dane dotyczące emisji pyłu odnoszące się do przykładowych kotłów eksploatowanych w zakładach papierniczych z wykorzystaniem różnych paliw i wyposażonych w filtr ESP lub FF**

Tabela 2. 24 Dane dotyczące emisji pyłu odnoszące się do przykładowych kotłów eksploatowanych w zakładach papierniczych z wykorzystaniem różnych paliw i wyposażonych w filtr ESP lub FF

Nominalna moc cieplna (MW)	Rok uruchomienia	Paliwa	System oczyszczaczy gazów	Pył (mg/Nm <sup>3</sup> )	O <sub>2</sub> (%)	Rodzaj pomiaru
48	1994	Kora, osady, papier, odpady drzewne	Metoda sucha: adsorpcja + FF	0 – 10 (ŚWD) 3 – 7	11	Ciągły
4,8	2003	Odpady drzewne, odrzuty, osady	Metoda sucha: adsorpcja + FF, SNCR	0,1 – 0,3 (ŚWR)	11	Ciągły
15	1984	Kora, osady, węgiel kamienny,	ESP+FF	1 – 4	11	Okresowy (co rok)
25	1982	Kora, osady, biogaz	ESP	15-16	11	Okresowy (co rok)
40	Nie podano	Kora	FF	1,1 – 4,4 (ŚWD)	11	Ciągły
32	Nie podano	Kora, osad biologiczny	ESP	7 (ŚWR)	11	Ciągły
35	2006	Biomasa (89%), odrzuty z makulatury (11%)	ESP	14 – 23 (ŚWD) 19 (ŚWR)	8	2 razy w roku

Uwagi: ŚWD = średnia wartość dobową; ŚWM = średnia wartość miesięczną; ŚWR = średnia wartość roczna. Przykładowe instalacje są eksploatowane w AT, DE, FR i PT (zobowiązano się do zachowania poufności w odniesieniu do nazw zakładów). Źródła: badania ankietowe z 2007 i 2009 r.; [ 229.

### Oddziaływanie na procesy i środowisko

Filtry ESP są zasilane energią elektryczną. Filtry tkaninowe zwykle powodują większy spadek ciśnienia niż filtry ESP i mogą w związku z tym potrzebować dostarczenia większej ilości energii do wentylatorów spalin. Usunięty popiół wymaga odpowiedniego oczyszczenia i utylizacji.

### Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki

Omawiane techniki są powszechnie stosowane w obiektach energetycznego spalania różnej wielkości i wykorzystywanych w różnych celach. Obie metody mogą być stosowane zarówno w nowych instalacjach jak i w istniejących zakładach poddanych modernizacji.

### Aspekty ekonomiczne

Szacunkowy koszt inwestycji w zainstalowanie filtra ESP lub filtra workowego wynosi około 1 mln euro w przypadku instalacji o mocy 40 MW<sub>t</sub>, 1,4 mln euro w przypadku instalacji o mocy 60 MW<sub>t</sub>, i 2,1 mln euro w przypadku instalacji o mocy 100 MW<sub>t</sub>. W przypadku kotła o takiej samej pojemności koszty inwestycji w filtr ESP i filtr tkaninowy są bardzo zbliżone [ 229, Stubenvoll i wsp. 2007 ].

W tabeli 2.25 podano dodatkowe dane odnoszące się do kosztów urządzeń do usuwania pyłu w przypadku mniejszych instalacji (2 – 20 MW).

Tabela 2. 25 Koszty urządzeń do usuwania pyłu w przypadku mniejszych instalacji energetycznego spalania

Koszty usuwania	Nominalna moc	Nominalna moc	Nominalna moc cieplna:	Uwagi
Koszt inwestycji w filtr ESP (w euro)	11 000 – 140 000	155 000 – 190 000	410 000 – 510 000	W tym instalacja, izolacja, ogrzewanie, odprowadzanie popiołu, urządzenia elektroniczne
Koszt inwestycji w filtr FF (w euro)	110 000 – 135 000	180 000 – 230 000	590 000 – 710 000	W tym instalacja, izolacja, ogrzewanie, odprowadzanie popiołu, urządzenia elektroniczne
Roczny koszt eksploatacji filtra ESP (w euro)	5 500	7 800	15 000	8 000 godzin eksploatacji; w tym koszty energii elektrycznej i strat ciśnienia
Roczny koszt eksploatacji filtra FF (w euro)	7 200	16 000	62 000	8 000 godzin eksploatacji; w tym koszty wymiany rurek przedmuchowych, energii elektrycznej strat ciśnienia i sprężonego powietrza

Źródło: Fa. Scheuch (2006)

(1) Zarówno w przypadku filtra ESP jak i FF ze względów bezpieczeństwa konieczne jest zainstalowanie multicyklonu (usuwanie dużych cząstek popiołu i iskier). Multicyklony zwiększają koszty inwestycji o koszt urządzeń do usuwania cząstek stałych o 5 – 10%.

Uwagi:  
 W przypadku nowych instalacji, nawet tych wyposażonych w jednopółowy filtr ESP, możliwe jest utrzymanie poziomów około 20 mg/Nm<sup>3</sup> (jako średniej wartości dobowej).  
 W przypadku zakładów istniejących: Jeśli filtr ESP został zaprojektowany do utrzymywania stężenia PM poniżej 50 mg/Nm<sup>3</sup>, modernizacja może okazać się trudna i konieczna może być wymiana całego filtra ESP.

Przykład zależności między kosztami inwestycyjnymi i skutecznością odpylania filtra ESP w przypadku obiektu energetycznego spalania o nominalnej mocy cieplnej 1,2 MW (źródło: Scheuch, 2006):

- ESP <50 mg/Nm<sup>3</sup>; 72 000 – 75 000 euro
- ESP <20 mg/Nm<sup>3</sup>; 82 000 – 85 000 euro.

### Motywacja do wdrożenia

Dyrektywa IED (dyrektywa 2010/75/UE w sprawie emisji przemysłowych) i dyrektywa LCP (dyrektywa 2001/80/WE) oraz przepisy krajowe.

### Instalacje referencyjne

Liczne instalacje w Europie.

## **Bibliografia**

[ 229, Stubenvoll i wsp. 2007 ], [ 189, Norrström 2010 ], [ Kwestionariusze 2007 i 2009 r.].

### **2.9.7.2 Zmniejszanie emisji NO<sub>x</sub>**

Zasadniczo w celu zmniejszenia emisji NO<sub>x</sub> mogą być stosowane środki pierwotne (zintegrowane z procesem) jak i środki wtórne służące usuwaniu NO<sub>x</sub> po spalaniu. Środki wtórne mają wpływ zarówno na termiczne NO<sub>x</sub> jak i NO<sub>x</sub> zawarte w paliwach.

#### **2.9.7.2.1 Pierwotne środki zmniejszania redukcji NO<sub>x</sub>**

##### **Opis i główne korzyści środowiskowe**

Powstawanie NO<sub>x</sub> w piecu zależy zasadniczo od trzech parametrów: temperatury, dopływu tlenu oraz zawartości azotu w paliwie. Podstawowe środki służące zmniejszeniu emisji NO<sub>x</sub> to m. in. optymalizacja wypalania palnikiem, stosowanie paliw o niskiej zawartości N, niski poziom nadmiaru powietrza, stosowanie palników o niskiej emisji NO<sub>x</sub> (tylko w przypadku paliw ciekłych i gazowych), stopniowanie powietrza (nadmuch powietrza do górnej części komory paleniskowej – technologia OFA (ang. over fire air) oraz cyrkulacja spalin. W tej części dokumentu przedstawiono jedynie ogólne zasady powstawania NO<sub>x</sub> i techniki stosowane w celu zmniejszenia emisji tlenków azotu. Szczegółowy opis przedstawiono w dokumencie BREF LCP [ 271, COM 2006 ].

Palniki o niskiej emisji NO<sub>x</sub> stosowane w przypadku paliw ciekłych i gazowych są przeznaczone do sterowania mieszaniną paliwa i powietrza w celu uzyskania większych i bardziej rozgałęzionych płomieni. Tym samym zmniejszana jest szczytowa temperatura płomienia, co prowadzi do powstawania mniejszej ilości termicznych NO<sub>x</sub>. Ulepszona struktura płomienia przyczynia się także do zmniejszenia ilości tlenu dostępnego w najbardziej gorącej części płomienia, zwiększając tym samym sprawność palnika.

W konwencjonalnych kotłach opalanych olejem opałowym lub gazem ziemnym palniki dostarczające mieszaninę paliwa i tlenu są zwykle zaprojektowane tak, by mogły zapewnić spalanie w warunkach prowadzących do niskich poziomów emisji NO<sub>x</sub>. Ponadto w konwencjonalnych kotłach węgiel kamienny lub torf jest często spalany w postaci drobno zmielonego pyłu, dostarczanego przez palniki, których budowa zapewnia spalanie przy niskim poziomie emisji NO<sub>x</sub>. W palnikach o niskim poziomie emisji NO<sub>x</sub> pierwotne powietrze spalania jest doprowadzane przez palnik w mieszaninie paliwa i powietrza. Powietrze wtórne i trzeciorzędowe jest dostarczane oddzielnie, aby zapewnić odpowiednią równowagę powietrza pierwotnego/wtórnego/trzeciorzędowego w obszarze płomienia w celu utrzymania spalania przy emisjach NO<sub>x</sub> na niskim poziomie. Pewna ilość powietrza może być dostarczana, jeśli jest to konieczne, ponad głównym obszarem płomienia w celu ukończenia procesu spalania paliwa.

Celem wielofazowego doprowadzania powietrza jest spalanie paliwa bez dostarczania nadmiaru powietrza, a nawet w warunkach redukujących, co prowadzi do braku wystarczającej ilości tlenu, która sprzyjałaby intensywnemu powstawaniu NO<sub>x</sub>, przy jednoczesnym obniżeniu temperatury płomienia w porównaniu z tradycyjnymi palnikami, co także przyczynia się do ograniczenia powstawania NO<sub>x</sub>.

Wykorzystywanie palników o niskiej emisji  $\text{NO}_x$  może być połączone z innymi środkami pierwotnymi, takimi jak nadmuch powietrza do górnej części komory paleniskowej lub recyrkulacja gazów odlotowych. Połączenie stosowania palników o niskiej emisji  $\text{NO}_x$  z innymi środkami pierwotnymi może skutkować zmniejszeniem emisji  $\text{NO}_x$  do około 70%.

Stopniowanie powietrza polega na wprowadzaniu powietrza dyszami OFA do kotła lub pieca. Stopniowanie powietrza (wewnętrzne stopniowanie powietrza) jest generalnie jedną z cech konstrukcyjnych palników o niskiej emisji  $\text{NO}_x$ . Powietrze OFA dostarczane do pieca wymaga, by powietrze do spalania było podzielone na powietrze pierwotne i wtórne w celu osiągnięcia kompletnego wypalenia i powstawania  $\text{N}_2$  zamiast  $\text{NO}_x$ . Powietrze pierwotne (70 – 90%) jest mieszane z paliwem wytwarzając strefę o względnie niskiej temperaturze, zmniejszonej ilości tlenu i bogatej w paliwo, w której powstają umiarkowane ilości  $\text{NO}_x$  paliwowych. Wtórne powietrze do spalania (10 – 30%) jest wtryskiwane powyżej strefy spalania. Drugi etap, charakteryzujący się względnie niską temperaturą, ogranicza powstawanie termicznych  $\text{NO}_x$ . Umiejscowienie otworów wtryskowych i mieszanie OFA ma kluczowe znaczenie dla podtrzymania efektywnego spalania.

Recyrkulacja gazów odlotowych obejmuje recyrkulację gazów do pieca lub do palnika. W ramach tej technologii część gazów odlotowych (np. 20 – 30%) jest zawracana (w temperaturze 350 – 400°C), a część jest mieszana z powietrzem do spalania. Wynikające z tego rozcieńczenie płomienia obniża temperaturę i zmniejsza dostępność tlenu, ograniczając tym samym powstawanie termicznych  $\text{NO}_x$ . Modernizacja kotłów z recyrkulacją gazów odlotowych polega na zainstalowaniu systemu do ekstrakcji gazów odlotowych z kotła, dodatkowych przewodów wentylacyjnych, wentylatora i urządzenia zbierającego popioły lotne. Urządzenie zbierające popioły lotne jest konieczne do odpylenia gazów odlotowych zanim zostaną zawrócone do obiegu. Możliwa jest zmiana rozkładu ciepła w piecu ze względu na zwiększenie wydajności. Nadmierna recyrkulacja gazów odlotowych może powodować także problemy związane z niestabilnością płomienia i podwyższoną temperaturą pary. Stosowanie samej recyrkulacji gazów odlotowych powoduje niewielkie ograniczenie powstawania  $\text{NO}_x$ , na poziomie poniżej 20%, lecz może być łączone z innymi środkami kontrolowania tych emisji.

Szczególnym rodzajem palnika o niskiej emisji  $\text{NO}_x$  jest palnik niskoemisyjny pracujący w technologii suchej DLN (ang. dry low- $\text{NO}_x$ ) wykorzystywany głównie w turbinach gazowych. System spalania niskoemisyjnego DLN powoduje niskie emisje podczas pracy z wykorzystaniem jako paliwa gazu ziemnego bez wtryskiwania jakiegokolwiek ilości wody lub pary na jednostki paliwa gazowego. System suchego spalania przy niskiej emisji  $\text{NO}_x$  ogranicza emisje  $\text{NO}_x$  poprzez oszczędne spalanie wstępne w wielostrefowych płaszczach komory spalania, a także poprzez zastosowanie urządzeń sterujących, które kierują paliwo do poszczególnych stref płaszczu, w zależności od trybu pracy. Wykorzystywanie palników o niskiej emisji  $\text{NO}_x$ , podobnie jak inne techniki kontroli  $\text{NO}_x$ , nie są specyficzne dla przemysłu celulozowo-papierniczego, gdyż palniki tego rodzaju są powszechnie stosowane w kotłach i turbinach gazowych.

Technologia spalania generującego niskie emisje  $\text{NO}_x$  stosowana przy wypalaniu paliw stałych i pozostałości poprodukcyjnych z zakładów celulozowo-papierniczych (kory, odpadów drzewnych, osadów) w kotłach fluidalnych została omówiona w pkt 2.6.1.2.3. Węgiel kamienny i węgiel brunatny są odpowiednie do wykorzystania jako paliwo główne lub pomocnicze w systemach ze złożem fluidalnym, które, poprzez stosowanie stopniowania powietrza i/lub recyrkulacji gazów odlotowych, przyczyniają się do osiągnięcia niskiego poziomu powstawania  $\text{NO}_x$ .

### Oddziaływanie na procesy i środowisko

Omawiane środki pierwotne mają na ogół niewielki wpływ na procesy i środowisko. Zoptymalizowane piece zapobiegają powstawaniu nadmiaru tlenu i wysokich temperatur, czyli warunków sprzyjających powstawaniu  $\text{NO}_x$ . Jednakże bezzasadnie niski poziom nadmiaru tlenu zwiększa ryzyko niekompletnego spalania przy wyższych emisjach CO (tlenku węgla) i TOC (ogólnego węgla organicznego). W celu osiągnięcia niskich poziomów emisji  $\text{NO}_x$  konieczne jest zachowanie odpowiedniej równowagi poprzez ograniczenie przepływu powietrza. W pewnych przypadkach recyrkulacja gazów odlotowych może poprawić kontrolę spalania, a co za tym idzie, skutkować zmniejszeniem emisji CO. W związku z niską temperaturą w niektórych instalacjach może nastąpić zmniejszenie wydajności energetycznej.

W reaktorach ze złożem fluidalnym, wtrysk powietrza wtórnego może prowadzić do zmniejszenia zużycia energii w związku z tym, że powietrze wtórne jest wtryskiwane pod niższym ciśnieniem niż powietrze pierwotne.

### Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

Poziom emisji  $\text{NO}_x$  z kotłów pomocniczych opalanych biomasą zależy od rodzaju stosowanego paliwa i warunków spalania. Zawartość azotu w biomase różni się między gatunkami, a w ramach poszczególnych gatunków biomasy także występują różnice w zawartości N zależnie od frakcji roślinnych. Wyższe emisje powodowane przez wykorzystywanie bardziej zanieczyszczających surowców (o większej zawartości N) lub procesów mogą być kompensowane poprzez czynienie większych wysiłków na rzecz zapobiegania zanieczyszczeniom i ich kontroli (środki pierwotne lub wtórne).

Monitorowanie emisji  $\text{NO}_x$  z wykorzystaniem mierników on-line i mierników zawartości tlenu przyczynia się do zapewnienia warunków spalania sprzyjających niskim emisjom  $\text{NO}_x$  oraz osiągnięciu celów w zakresie emisji. Skuteczne zmniejszenie emisji  $\text{NO}_x$  za pomocą środków pierwotnych wymaga zainstalowania efektywnego systemu kontroli szybkości wypalania w kotłach fluidalnych.

Środki pierwotne pozwalają na osiągnięcie skuteczności ograniczania  $\text{NO}_x$  na poziomie około 20% w przypadku zastosowania jednego środka pierwotnego (palnik o niskiej emisji  $\text{NO}_x$ , stopniowanie powietrza, cyrkulacja gazów odlotowych) i aż do 70% w przypadku łączenia tych środków.

Emisje z nowoczesnych kotłów fluidalnych opalanych osadem powstałym w wyniku rozwłókniania, który zawiera odrzuty oraz paliwami pomocniczymi mogą być skutecznie kontrolowane i regulowane. Na poziom osiąganych emisji wpływa różnorodność stosowanych paliw, techniki kontroli emisji poprzez modernizację kotłów oraz ustanowione cele w zakresie emisji. Poniżej przedstawiono przykłady osiąganych poziomów emisji dla poszczególnych paliw i kotłów.

I. W kotłach fluidalnych opalanych głównie paliwami stałymi i osadami, pracujących w standardowych warunkach operacyjnych, nie są stosowane palniki o niskiej emisji  $\text{NO}_x$ . Tego rodzaju palniki mogą być stosowane podczas uruchamiania i wygaszania pieca. Stopniowanie powietrza i recyrkulacja gazów odlotowych może zmniejszyć emisje  $\text{NO}_x$  do poziomu  $200 \text{ mg/Nm}^3$  (6%  $\text{O}_2$ ), niezależnie od zastosowanej mieszanki paliw.

Tabela 2.26 przedstawia stosowane techniki kontroli emisji i osiągnięte poziomy emisji NO<sub>x</sub> i CO dla kilku obiektów energetycznego spalania eksploatowanych w europejskich zakładach celulozowo-papierniczych (AT, DE, FR), wykorzystujących różne mieszanki paliwowe. W niektórych z przykładowych instalacjach stosowane są zarówno środki pierwotne jak i wtórne (patrz pkt 2.9.7.2.2).

Tabela 2. 26 Dane dotyczące poziomów emisji NO<sub>x</sub> odnoszące się do przykładowych kotłów fluidalnych eksploatowanych w zakładach papierniczych stosujących pierwotne i/lub wtórne środki ograniczania emisji NO<sub>x</sub>

Nominalna moc cieplna (MW)	Rok uruchomienia	Paliwa	System oczyszczaczy gazów odlotowych	NO <sub>x</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )	CO (mg/Nm <sup>3</sup> )	O <sub>2</sub> (%)	Obserwacje
48	1994	Kora, osady, papier, odpady drzewne	Środki pierwotne	90 – 220 (ŚWD) 142 – 187 (ŚWM) 165 (ŚWR)	3 – 20 (ŚWD) 4 – 9 (ŚWM) 6.4 (ŚWR)	11	C <sub>org</sub> <2 mg/Nm <sup>3</sup>
4,8	2003	Odpady drzewne, odrzuty, osady	Środki pierwotne, SNCR	161 – 171 (ŚWR)	2,3 – 2,8 (ŚWR)	11	C <sub>org</sub> <1 mg/Nm <sup>3</sup>
40	Nie podano	Kora	Powietrze OFA	80 – 150 (ŚWD) 116 (ŚWR)	70 – 170 (ŚWD) 95 (ŚWR)	11	C <sub>org</sub> 4 mg/Nm <sup>3</sup>
32	Nie podano	Kora, osad biologiczny	Środki pierwotne	148 (ŚWR)	54 (ŚWR)	11	BD

Uwagi:  
Wszystkie dane uzyskano w ramach pomiarów ciągłych.  
BD = brak danych; ŚWD = średnia wartość dobową; ŚWM = średnia wartość miesięczną; ŚWR = średnia wartość roczną  
Źródło: kwestionariusze 2007 i 2008 r.

II. W generatorach pary lub kotłach opalanych gazem, zastosowanie palników o niskiej emisji NO<sub>x</sub> prowadzi do uzyskania stężenia NO<sub>x</sub> na poziomie od 60 mg/Nm<sup>3</sup> do blisko 100 mg/Nm<sup>3</sup> (przy 3% O<sub>2</sub>), jak pokazano na kilku przykładach w tabeli 2.27. Emisje CO są ogólnie na poziomie poniżej 20 mg/Nm<sup>3</sup> (przy 3% O<sub>2</sub>). Wartości emisji podano jako średnie wartości dobowe odnoszące się do kotłów o mocy od 17 do >50 MW. W przypadku niektórych kotłów stosowany jest system ciągłych pomiarów NO<sub>x</sub> i CO:

Tabela 2. 27 Dane dotyczące emisji NO<sub>x</sub> odnoszące się do przykładowych kotłów gazowych eksploatowanych w austriackich papierniach stosujących techniki sprzyjające niskim emisjom NO<sub>x</sub>

Nominalna moc cieplna (MW)	Rok uruchomienia	System oczyszczaczy gazów odlotowych	NO <sub>x</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )	CO (mg/Nm <sup>3</sup> )	O <sub>2</sub> (%)	Rodzaj pomiaru
17	BD	Palnik o niskiej emisji NO <sub>x</sub>	95 (ŚWR)	19 (ŚWR)	3	Okresowy
45	2002	Palnik o niskiej emisji NO <sub>x</sub>	56 – 72 (ŚWD) 61 (ŚWM) 60 (ŚWR)	3 – 5 (ŚWD) 4 (ŚWM) 4 (ŚWR)	3	Ciągły

48	1977	Palnik o niskiej emisji NO <sub>x</sub> (po modernizacji), recyrkulacja gazów odlotowych	86 – 96 (ŚWD) 92 (ŚWM) 88 (ŚWR)	4 – 13 (ŚWD) 7 (ŚWM) 7 (ŚWR)	3	Ciągły
Uwagi: BD = brak danych. Wszystkie kotły opalane gazem. ŚWD = średnia wartość dobową; ŚWM = średnia wartość miesięczna; ŚWR = średnia wartość roczna. Źródło: Kwestionariusze 2007 r., 2009 r.						

III. Techniki prowadzące do niskich emisji NO<sub>x</sub> stosowane w układzie kombinowanym gazowo-parowym z turbiną gazową (CCGT) prowadzą do uzyskania stężenia NO<sub>x</sub> na poziomie 40 mg/Nm<sup>3</sup> (przy 15% O<sub>2</sub>) w przypadku nowych instalacji, i 60 – 90 mg/Nm<sup>3</sup> (przy 15% O<sub>2</sub>) w przypadku instalacji uwzględnionych w tabeli 2.28. Emisje CO są na ogół na poziomie poniżej 40 mg/Nm<sup>3</sup> (przy 15% O<sub>2</sub>). Wartości emisji zostały podane jako średnie wartości dobowe, a pomiary zostały przeprowadzone w nowszych i starszych instalacjach o różnych mocach. W przypadku większości kotłów CCGT stosowane są systemy ciągłych pomiarów NO<sub>x</sub> i CO.

**Tabela 2. 28 Dane dotyczące emisji NO<sub>x</sub> odnoszące się do przykładowych kotłów CCGT eksploatowanych w austriackich papierniach stosujących techniki sprzyjające niskim emisjom NO<sub>x</sub>**

Nominalna moc cieplna (MW)	Rok uruchomienia	System oczyszczaczy gazów odlotowych	NO <sub>x</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )	CO (mg/Nm <sup>3</sup> )	Rodzaj pomiaru
23	1997	DLN	70 – 90 (ŚWD)	0 – 40 (ŚWR)	Ciągły
Uwagi: Wszystkie wartości zostały uzyskane w ramach pomiarów ciągłych, przy zawartości O <sub>2</sub> na poziomie 15% i zastosowaniu paliwa gazowego. ŚWD = średnia wartość dobową; ŚWM = średnia wartość miesięczna; ŚWR = średnia wartość roczna. Źródło: Kwestionariusze 2006 r. i 2008 r.					

IV. Jeśli chodzi o generatory pary opalane olejem opałowym, w ramach wymiany informacji w zakresie BAT nie dostarczono żadnych danych dotyczących poziomów emisji NO<sub>x</sub> osiągniętych przy zastosowaniu środków pierwotnych.

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Palniki o niskiej emisji NO<sub>x</sub>, stopniowanie powietrza i recyrkulacja gazów odlotowych (w przypadku kotłów fluidalnych) to techniki stosowane z powodzeniem w ramach modernizacji kotłów będących już w eksploatacji i przy budowie nowych. Dowiedziono i udokumentowano, że środki pierwotne są stosowane z powodzeniem w przemyśle celulozowo-papierniczym.

Środki pierwotne opisane powyżej są technikami stosowanymi od wielu lat, a w przypadku nowych instalacji są one powszechnym rozwiązaniem. Zasadniczo możliwe jest również wprowadzenie ich w modernizowanych instalacjach już istniejących. W przypadku pewnych kotłów tego rodzaju modernizacje mogą być trudne do zrealizowania z następujących powodów:

- Reaktory ze złożem fluidalnym: Ograniczenia geometryczne i konieczność zainstalowania skutecznego mechanizmu sterowania szybkością wypalania mogą wiązać się w

- przypadku niektórych instalacji z koniecznością poniesienia wyższych kosztów.
- Kotły CCGT: Wdrożenie techniki DLN może być niemożliwe, jeśli nie zostało to przewidziane w pierwotnym projekcie. Jednak w każdym przypadku możliwe jest stosowanie wtrysku pary lub wody.
  - Kotły opalane olejem opałowym lub gazem: Palniki o niskiej emisji NO<sub>x</sub> mogą być instalowane w każdej instalacji; w przypadku bardzo starych instalacji mogą wystąpić trudności związane z ograniczeniami geometrycznymi.

### Aspekty ekonomiczne

Szacunkowy koszt inwestycji w palniki o niskiej emisji NO<sub>x</sub> wynosi 1 – 2 mln euro w przypadku kotłów o mocy w zakresie 50 – 100 MW (dane ÅF Engineering, 2009 r.). Nie należy się spodziewać znacznego wzrostu kosztów eksploatacji.

### Motywacja do wdrożenia

Dyrektywa IED (dyrektywa 2010/75/UE w sprawie emisji przemysłowych) i dyrektywa LCP (dyrektywa 2001/80/WE) oraz przepisy krajowe. Motywacją do wdrożenia omawianych technik są także wymogi prawne i cele UE w zakresie jakości powietrza, takie jak krajowe poziomy emisji w odniesieniu do zanieczyszczeń powodujących zakwaszenie i eutrofizację, określone w celu zapewnienia większej ochrony środowiska i zdrowia ludzi przed ich negatywnymi skutkami (dyrektywa 2001/81/WE Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie krajowych poziomów emisji dla niektórych rodzajów zanieczyszczenia powietrza).

### Instalacje referencyjne

Liczne zakłady w Europie i poza Europą.

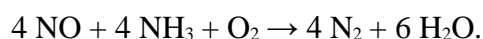
### Bibliografia

[ 1, fiński Raport BAT 1997 ], [ 229, Norrström 2007 ], [ Kwestionariusze 2007 r. i 2009 r.].

#### 2.9.7.2.2 Selektywna redukcja niekatalityczna (SNCR)

##### Opis i główne korzyści środowiskowe

W systemach SNCR do paleniska kotła w odpowiednim przedziale temperatury wtryskiwany jest amoniak lub mocznik. Emisje NO<sub>x</sub> mogą być zmniejszone o 30 – 70% na drodze reakcji NO ze środkiem redukującym, której produktem jest azot i woda. W procesach SNCR najczęściej stosowanymi reagentami są bezwodny amoniak, wodny roztwór amoniaku i roztwór mocznika. W procesie SNCR czynnym środkiem redukującym jest cząsteczka amoniaku. Jeśli w procesie NO<sub>x</sub>OUT zastosowany zostanie roztwór mocznika, mocznik zostanie przekształcony najpierw w amoniak. Główna reakcja w procesach SNCR zachodzących podczas spalania, gdy głównym rodzajem NO<sub>x</sub> jest NO, wygląda następująco:



W bardziej wydajnym procesie SCR, na 1 mol zredukowanego NO<sub>x</sub> potrzeba około 1 mola amoniaku lub około 0,5 mola mocznika. Proces SNCR nie jest aż tak wydajny jak proces SCR jeśli chodzi o wykorzystanie odczynnika. W procesie tym reagenty muszą być dozowane w stosunku nadstechiometrycznym. W przypadku procesu SNCR może się to odbywać w zakresie 1,5 – 2 mola (w niektórych przypadkach nawet wyższym). Przybliżone zużycie odczynnika w procesie SCR i SNCR wynosi:



SCR: do zredukowania 1 kg NO<sub>x</sub> potrzeba 0,37 kg NH<sub>3</sub> lub 0,653 kg mocznika.

SNCR: do zredukowania 1 kg NO<sub>x</sub> potrzeba 1,2 – 1,9 kg NH<sub>3</sub> lub 2,2 – 3,3 kg mocznika.

Aby zapewnić wydajny przebieg procesu SNCR, temperatura powinna być zazwyczaj w przedziale 800 – 1 050°C. Gdy temperatura reakcji wzrasta do ponad 1 000°C, efektywność usuwania NO<sub>x</sub> zmniejsza się ze względu na termiczny rozkład amoniaku. Poniżej 800°C, stopień redukcji NO<sub>x</sub> maleje, a do gazów odlotowych może przedostawać się więcej amoniaku. Im dłużej reagent znajduje się w optymalnym przedziale temperatury, tym skuteczniej przebiega redukcja NO<sub>x</sub>. Dla optymalnej redukcji NO<sub>x</sub> czas przebywania powinien wynosić ponad jedną sekundę.

Przedostawanie się amoniaku do gazów odlotowych w systemach SNCR jest powodowane wtryskiem w temperaturze zbyt niskiej, by umożliwić skuteczną reakcję z NO<sub>x</sub>, lub nadmiarem wtryskiwanego odczynnika. Kontrola przedostawania się amoniaku do gazów odlotowych w systemach SNCR jest trudna ze względu na brak możliwości skutecznego sprzężenia zwrotnego do sterowania wtryskiem odczynnika. Kolejną trudność stanowi to, że odczynnik powinien zostać umieszczony w miejscu, w którym będzie on najbardziej efektywny, podczas gdy rozkład NO<sub>x</sub> w kotle jest nierównomierny.

Rozmieszczenie odczynnika musi być kontrolowane szczególnie w większych kotłach ze względu na dużą odległość, jaką musi on pokonać, by pokryć przekrój kotła. Częstym rozwiązaniem jest korzystanie z wielu punktów wtrysku, aby dostosowywać się do zmian temperatury powodowanych przez zmiany obciążenia kotła. W prawidłowo sterowanych systemach SNCR emisje NH<sub>3</sub> są w zakresie 1 – 10 mg/Nm<sup>3</sup> (patrz 'Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne' oraz dokument BREF LCP).

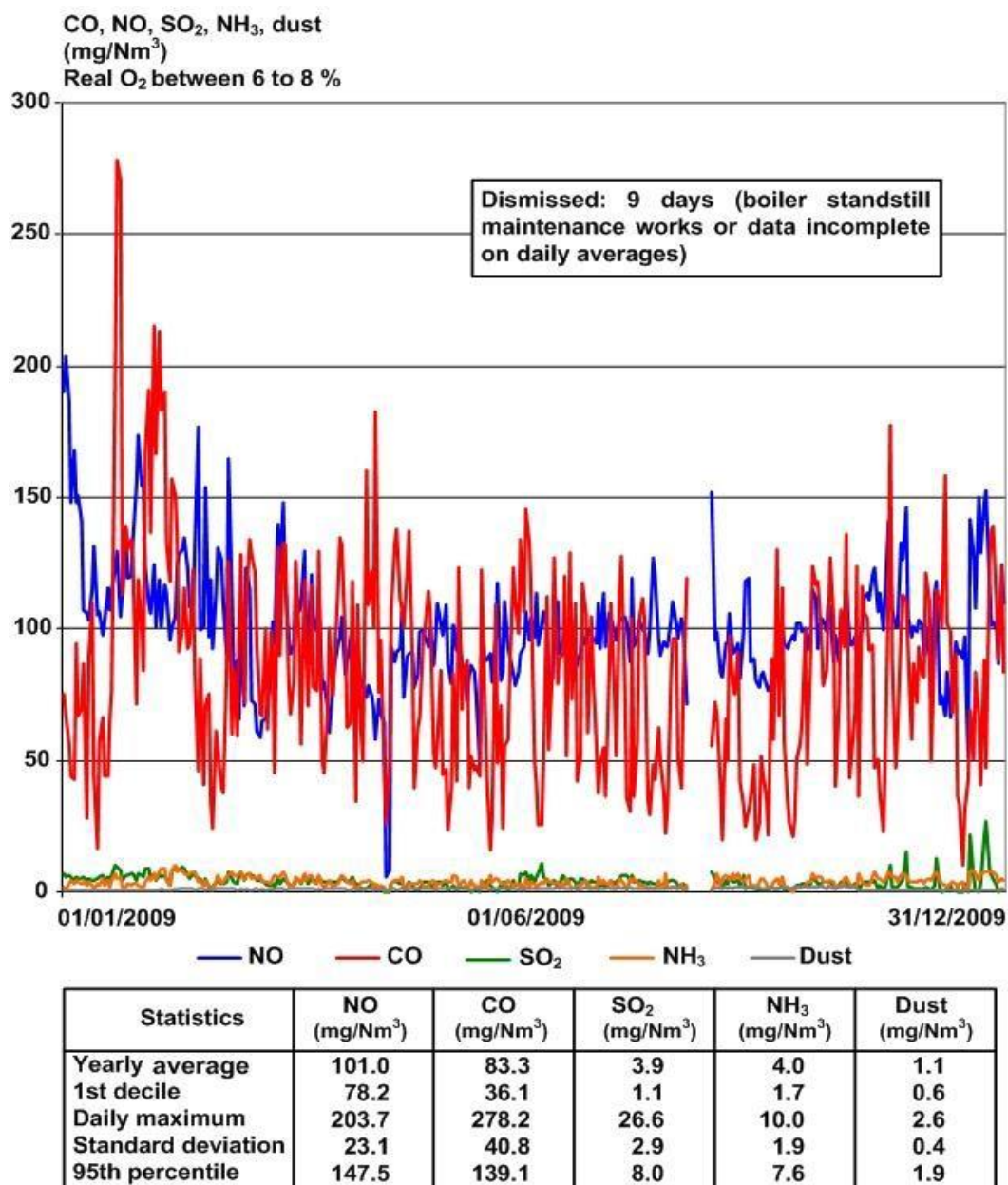
### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

W przypadku procesu SNCR donoszono o zmniejszeniu emisji o 30 – 70% (dane ÅF Engineering, 2009 r.). Na efektywność systemu SNCR bardzo duży wpływ ma zmienność warunków pracy kotła, w związku z czym należy stale kontrolować podawanie mocznika/amoniaku. Należy prowadzić ciągłe pomiary NO<sub>x</sub> w celu uzyskania wiarygodnych wyników.

Osiągnięcie najwyższego stopnia redukcji NO<sub>x</sub> w kotle opalanym korą, czyli około 30 – 50%, jest możliwe poprzez zmianę technik spalania i/lub zastosowanie procesu SNCR. W takim przypadku emisje NO<sub>x</sub> byłyby na poziomie 40 – 60 mg/MJ, odpowiadającym około 100 – 200 mg/Nm<sup>3</sup>. Dane dotyczące osiąganych poziomów emisji przy stosowaniu SNCR w kotłach fluidalnych zostały pokazane także w tabeli 2.26.

Rysunek 2.25 pokazuje wartości średnich emisji dobowych (2009 r.) zmierzonych w kotle ze złożem fluidalnym w zakładzie KRAFT SE 1. Kocioł opalany biomasą miał nominalną moc cieplną wynoszącą 132 MW<sub>t</sub>. Stosowano następujące paliwa (wartości procentowe odnoszą się do udziału danego paliwa w energii wejściowej): 0,16% lekkiego oleju opałowego; 2,07% torfu; 1,92% odpadów z przetwarzania makulatury na miejscu; 91,56% kory, pozostałości leśnych i trocin, i 4,29% odpadów drzewnych. Kocioł jest wyposażony w dysze OFA, system SNCR do redukcji NO<sub>x</sub> i filtr workowy z wtryskiem wapna na warstwę wstępnej powłoki w celach odpylania. Mocznik jest wtryskiwany do kotła różnych jego częściach i w różnych ilościach, zależnie od obciążenia kotła. Wapno jest stosowane jedynie jako warstwa powłoki wstępnej przy wprowadzaniu nowych filtrów. Cząsteczki zasadowe z kory wykorzystywanej jako paliwo dają taki sam efekt jak wtryskiwane wapno. NO jest mierzony on-line (dodatkowo raz w roku dokonywany jest pomiar NO<sub>2</sub>;

W 2009 r. udział NO<sub>2</sub> w NO<sub>x</sub> ogółem (NO + NO<sub>2</sub>) wynosił 7,4%, tj. 100 mg NO/Nm<sup>3</sup> równe 108 mg NO<sub>x</sub>/Nm<sup>3</sup>). HCl był na poziomie <1 mg HCl/Nm<sup>3</sup> w ciągu całego roku. Emisje TOC wahały się pomiędzy <1 mg/Nm<sup>3</sup> i 5 mg/Nm<sup>3</sup> na przestrzeni całego roku.



Źródło: [ 166, zakład KRAFT SE 1 2010 ]

Rysunek 2. 25 Średnie dobowe wartości emisji odnoszące się do kotła z bąbelkowym złożem fluidalnym wyposażonym w system SNCR, eksploatowanym w celulozowni KRAFT SE 1

CO, NO, SO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , dust (mg/Nm <sup>3</sup> )	CO, NO, SO <sub>2</sub> , NH <sub>3</sub> , pył (mg/Nm <sup>3</sup> )
Real O <sub>2</sub> between 6 to 8 %	Rzeczywisty O <sub>2</sub> między 6 i 8 %
Dismissed: 9 days (boiler standstill maintenance works or data incomplete on daily averages)	Brak danych: 9 dni (prace konserwacyjne przy niepracującym kotle lub niekompletne dane dla średnich wartości dobowych)
Dust	Pył
Statistics	Statystyki
Yearly average	Średnia wartość roczna

1st decile	Decyl pierwszy
Daily maximum	Maksymalna wartość dobową
Standard deviation	Odchylenie standardowe
95th percentile	95-ty percentyl
Source: [ 166. KRAFT SE 1 mill 2010 ]	Źródło: [ 166. zakład KRAFT SE 1 2010 ]

W przypadku kotłów opalanych korą mogą niekiedy występować trudności związane ze sterowaniem procesem SNCR wynikające z szybkich zmian obciążenia zdarzających się w tego rodzaju kotłach. Może to skutkować zmiennością stopnia redukcji NO<sub>x</sub> osiąganego przy wykorzystaniu tych technik. W związku z tym czasem trudno jest uzyskać stabilny stopień redukcji NO<sub>x</sub> przy wykorzystaniu procesu SNCR w kotłach, w których występują szybkie zmiany warunków pracy.

### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Wtryskiwany mocznik lub amoniak nie jest zużywany w reakcji całkowicie, ponieważ niewielka część odczynnika przedostaje się do gazów odlotowych. Korzyści wynikające z redukcji NO<sub>x</sub> powinny zostać przeanalizowane pod kątem wiążących się z tym wyższych poziomów emisji NH<sub>3</sub> i kontrolowanego przenikania amoniaku do gazów odlotowych, kontrolowanego utrzymywanego na możliwie najniższym poziomie (patrz 'Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne' poniżej). W zależności od stochiometrii dodatku mocznika może wystąpić niewielki wzrost zawartości amoniaku w gazach odlotowych, jednak przeprowadzone pomiary pokazują, że ryzyko jest w tym przypadku marginalne.

Potencjalnym źródłem zagrożenia jest nieprzereagowany amoniak łączący się z SO<sub>3</sub> tworząc wodorosiarczany amonu. Wodorosiarczany amonu wytrąca się przy temperaturach roboczych nagrzewnicy powietrza i może ostatecznie prowadzić do zanieczyszczenia i zablokowania nagrzewnicy. Przy braku odpowiedniego sterowania procesem istnieje pewne ryzyko, że proces SNCR może prowadzić do powstawania podtlenku azotu (N<sub>2</sub>O), co przyczynia się do nasilenia efektu cieplarnianego. Jednak wystąpienie emisji N<sub>2</sub>O jest bardziej prawdopodobne w przypadku kotłów węglowych niż w przypadku kotłów opalanych biomasą (patrz dokument BREF LCP).

Emisje CO<sub>2</sub> związane ze stosowaniem mocznika i amoniaku do redukcji NO<sub>x</sub> są stosunkowo niewielkie i nieistotne w porównaniu do całkowitego CO<sub>2</sub> wytwarzanego w związku z produkcją mas włóknistych i papieru. Jednakże zmniejszenie emisji NO<sub>x</sub> jest konieczne, by chronić zdrowie i środowisko przed ich niekorzystnymi skutkami (takimi jak eutrofizacja, zakwaszenie i powstawanie ozonu).

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Systemy SNCR są szeroko stosowane w różnych zakładach w różnych sektorach i są środkiem służącym zmniejszaniu emisji NO<sub>x</sub> do niskich poziomów opłacalnym pod względem ekonomicznym. Są one powszechnie montowane w nowych instalacjach, a wiele istniejących reaktorów ze złożem fluidalnym zostało doposażonych w system SNCR. W niektórych istniejących kotłach mogą występować trudności z uzyskaniem optymalnych warunków reakcji, ograniczając tym samym potencjalne zmniejszenie emisji NO<sub>x</sub> do około 40%.

### Aspekty ekonomiczne

Koszty inwestycyjne związane z instalacją techniki SNCR w kotłach zależą od ich nominalnej mocy cieplnej. Zgłaszano następujące wartości: 40 MW<sub>t</sub>: 0,7 mln euro; 60 MW<sub>t</sub>: 0,8 mln euro; 100 MW<sub>t</sub>: 1 mln euro [ 229, Stubenvoll i wsp. 2007 ]. Koszty inwestycyjne obejmują koszty wtryskiwaczy, rur, pomp, zbiorników oraz przebudowy/dostosowania kotła. Koszty operacyjne obejmują głównie zakup mocznika. Do usunięcia 1 kg NO<sub>x</sub> potrzeba około 1 – 2 kg mocznika.

W ramach innych obliczeń szacunkowych (dane ÅF Engineering, 2009) przyjęto, że inwestycja w technologię SNCR w przypadku kotłów o mocy w zakresie 50 – 100 MW<sub>t</sub> na około 0,2 – 0,3 mln euro. Dodatkowo należy wziąć pod uwagę koszty eksploatacyjne, zwłaszcza amoniaku.

### Motywacja do wdrożenia

Dyrektywa IED (dyrektywa 2010/75/UE w sprawie emisji przemysłowych) i dyrektywa LCP (dyrektywa 2001/80/WE) oraz przepisy krajowe. NO<sub>x</sub> ma potencjał zakwaszający i może nasilać eutrofizację. W związku z tym na niektórych wrażliwych obszarach pojezierzy w Europie konieczne jest dalsze ograniczanie emisji NO<sub>x</sub> za pomocą środków wtórnych, takich jak SNCR. Kolejnym czynnikiem może być dążenie do osiągnięcia celu w zakresie jakości powietrza oraz ewentualne przekroczenie krajowych krytycznych ładunków NO<sub>x</sub> określonych w dyrektywie NEC (dyrektywa 2001/81/WE) i konieczne jest w związku z tym wdrożenie dodatkowych środków ograniczających emisje NO<sub>x</sub>. Przykładem zachęty do dalszej redukcji emisji NO<sub>x</sub> może być opłata z tytułu emisji NO<sub>x</sub> wprowadzona w Szwecji.

### Instalacje referencyjne

Technika SNCR została wdrożona w wielu instalacjach wykorzystujących kotły opalane korą, spalarniach szlamu z odbarwiania makulatury i różnych innych rodzajach kotłów ze złożem fluidalnym w SE, AT i DE. W Szwecji technika SNCR jest szeroko stosowana w kotłach opalanych korą.

### Bibliografia

[ 166, zakład KRAFT SE 1 2010 ], [ 189, Norrström 2010 ], [ 229, Stubenvoll i wsp. 2007 ], [ Raport SEPA 4008 ], [ Raport SEPA 4713-2, 1997 ].

## 2.9.7.3 Zmniejszanie emisji SO<sub>2</sub> i innych zanieczyszczeń gazowych

### Opis i główne korzyści środowiskowe

Emisje SO<sub>2</sub> i innych zanieczyszczeń gazowych zależą od wykorzystywanych paliw, projektu i sposobu eksploatacji pieca i stosowanych technik kontroli emisji. Potrzeba wdrożenia techniki redukcji emisji i jej rodzaj zależy od potencjału zanieczyszczeń stosowanego paliwa i procesu spalania. Na przykład emisje lotnych związków siarki są na niskim poziomie, gdy jako paliwo wykorzystywana jest jedynie kora. W takim przypadku nie ma potrzeby stosowania żadnego środka zmniejszającego emisje SO<sub>2</sub>.

W przypadku spalania mieszanek paliwowych zawierających paliwa kopalne o różnym potencjale zanieczyszczającym dostępne są następujące środki zapobiegające emisjom SO<sub>2</sub> i/lub zmniejszające ich poziom:

- Stosowanie paliw o niskiej zawartości siarki.
- Stosowanie technik kontroli emisji, takich jak:
  - wtrysk wapna lub wapnia do kotła w celu odsiarczania (w przypadku kotłów fluidalnych);
  - suche płuczki natryskowe;
  - płuczki mokre (rzadko stosowane w sektorze celulozowo-papierniczym);
  - inne procesy oparte na wtrysku sorbentu (np. węgla aktywnego).

Najbardziej powszechnym i często najbardziej ekonomicznym sposobem kontroli emisji SO<sub>2</sub> w przemyśle celulozowo-papierniczym jest wykorzystywanie paliw o niskiej zawartości siarki. Paliwa o niskiej zawartości siarki zawierają wagowo 0,02 – 0,05% siarki (np. biomasa leśna, olej opałowy o niskiej zawartości siarki). Olej opałowy o niskiej zawartości siarki (poniżej 0,05% wagowo) jest dostępny na wielu obszarach od kilku dostawców. Olej opałowy o niskiej zawartości siarki zawiera także małe ilości azotu (około 0,05% wagowo) i popiołu (około 0,005%), co przyczynia się do niższych emisji NO<sub>x</sub> i cząstek stałych [189, Norrström 2010].

W kotłach ze złożem fluidalnym już sam popiół z kotła zawiera pewną ilość wapnia, która wiąże siarkę zawartą w paliwie. Dodatkowa redukcja SO<sub>2</sub> jest możliwa poprzez wtrysk wapna do kotła, zapewniając stosunek wapnia do siarki w zakresie 1 – 3. Wysoka nadwyżka wapnia zapewnia usuwanie siarki do popiołu z kotła na poziomie do 80 – 95%. W przypadku kotłów CFB poziom ten może być jeszcze wyższy. Wychwytywanie siarki na optymalnym poziomie ma miejsce w temperaturze spalania wynoszącej około 850°C. Wadą nawapniania jest zwiększona ilość popiołu. W przypadku kotłów rusztowych nie ma skutecznego środka wewnętrznego kontrolowania emisji SO<sub>2</sub>.

Możliwe jest zastosowanie zewnętrznych metod usuwania SO<sub>2</sub>. Dostępne są metody mokre lub pół-mokre, które polegają na zastosowaniu do mycia cieczy o odczynie zasadowym w celu wiązania siarki, lub metody suche. Metody suche są mniej wydajne niż wzmocniona kontrola spalania w złożu fluidalnym, wtrysk wapna do kotła lub zewnętrzne metody mokre. Płuczki mokre są jednak używane tylko w nielicznych przypadkach.

Procesy suche i półsuche mają zastosowanie głównie do oddzielania niewielkich ładunków zanieczyszczeń. Są one głównie stosowane w instalacjach do oczyszczania gazów odlotowych z różnych zanieczyszczeń, takich jak SO<sub>2</sub>, HCl, HF, TOC, metale ciężkie, PCDD/PCDF (te dwie ostatnie grupy zanieczyszczeń zwykle nie występują w znacznych stężeniach w branży celulozowo-papierniczej). Urządzenia wykorzystywane w tym celu to głównie reaktor suchy lub absorber natryskowy oraz skuteczne urządzenie do kontroli cząstek stałych, np. filtr ESP lub filtr tkaninowy, a także pewne urządzenia pomocnicze służące do sterowania pracą adsorbentów i oddzielania pyłu.

Jako sorbent zwykle używane jest wapno lub tlenek wapnia. Zawiesina wapna jest rozpylana na gazy odlotowe w zbiorniku reaktora, a woda zostaje odparowana pod wpływem ciepła z gazów odlotowych. Czas przebywania (około 10 sekund) w reaktorze wystarcza, by zaszła reakcja emisji SO<sub>2</sub> i innych kwaśnych gazów, takich jak SO<sub>3</sub> i HCl, z wapnem hydratyzowanym, której produktem jest sucha mieszanina siarczanu/siarczynu wapnia. W przypadku suchych płuczek natryskowych nie jest wymagane oczyszczanie ścieków, ponieważ woda zostaje całkowicie odparowana w suchym absorberze natryskowym. Produktem ubocznym jest również nieprzereagowane wapno, które może być zawrócone do obiegu i zmieszane ze świeżą zawiesiną wapna w celu lepszego wykorzystania sorbentu.

Suche płuczki natryskowe wykorzystywane w celach komercyjnych osiągają skuteczność usuwania do 90%, a niektórzy dostawcy twierdzą, że możliwe jest osiągnięcie skuteczności usuwania SO<sub>2</sub> na poziomie przekraczającym 95%. Oprócz zmniejszenia zawartości SO<sub>2</sub> w gazach odlotowych, układ z wykorzystaniem płuczki usuwa inne kwaśne składniki, takie jak HCl i HF.

Do układu może zostać dodany węgiel aktywny w celu usunięcia rtęci i związków organicznych, takich jak dioksyny i furany. Dodanie węgla aktywnego może być wymagane w przypadku kotłów do współspalania.

### Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

Efektywność usuwania w przypadku paliw o niskiej zawartości siarki zależy od poprzednio używanego paliwa. Środki wtórne wykazują skuteczność redukcji w zakresie od 50 do ponad 90% w zależności od zastosowanej metody i warunków operacyjnych (dane ÅF Engineering, 2009). Zarówno pierwotne jak i wtórne środki wykazują się dowiedzioną skutecznością w przemyśle celulozowo-papierniczym. W tabeli 2.29 pokazano osiągnięte poziomy emisji SO<sub>2</sub> w odniesieniu do różnych paliw i technik kontroli emisji. Kotły opalane korą wykazują poziomy emisji poniżej 20 mg SO<sub>2</sub>/Nm<sup>3</sup> (przy 6% O<sub>2</sub>) w instalacjach, w których poziomy emisji SO<sub>2</sub> są kontrolowane za pomocą metody suchej adsorpcji oraz skutecznego urządzenia do kontroli cząstek stałych.

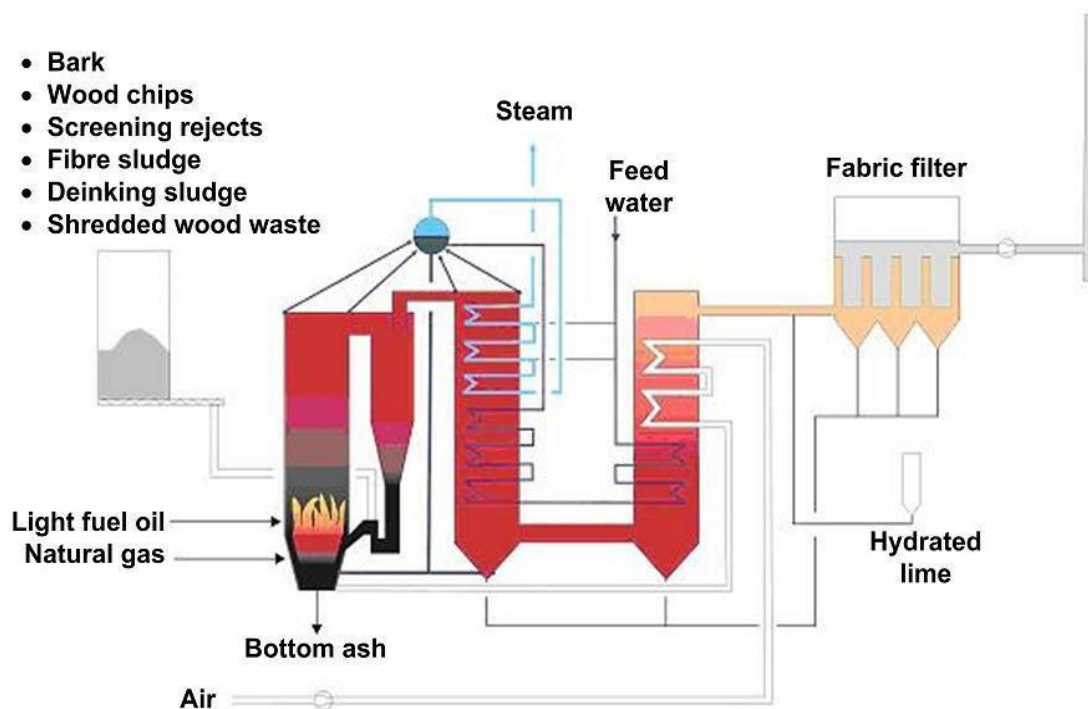
Tabela 2. 29 Dane dotyczące emisji SO<sub>2</sub> odnoszące się do przykładowych kotłów fluidalnych eksploatowanych w zakładach papierniczych stosujących różne paliwa (i ich mieszanki) (AT, DE, FR, FI)

Nominalna moc cieplna (MW)	Rok uruchomienia	Paliwo	System oczyszczaczy gazów odlotowych	SO <sub>2</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> )	O <sub>2</sub> (%)	Rodzaj pomiaru
48	1994	Kora, osady, papier, odpady drzewne	Metoda sucha: adsorpcja + FF	0 – 10 (ŚWD) 1 – 2 (ŚWM) 1,8 (ŚWR)	11	Ciągły
4,8	2003	Odpady drzewne, odrzuty, osady	Metoda sucha: adsorpcja + FF	2,5 – 3,9 (ŚWR)	11	Ciągły
15	1984	Kora, osady, węgiel kamienny, biogaz	ESP + FF	2 – 6	11	Okresowy
25	1982	Kora, osady, biogaz	ESP	1,7 – 13 (ŚWR)	11	Okresowy
40	Nie podano	Kora	FF	1,8 (ŚWR)	11	Okresowy
24	Nie podano	Kora	BD	5 (ŚWR)	6	Ciągły

Uwagi: BD = brak danych; ŚWD = średnia wartość dobową; ŚWM = średnia wartość miesięczną; ŚWR = średnia wartość roczna.

Źródło: Kwestionariusze 2006 r. i 2008 r.

Rysunek 2.26 przedstawia przykład kotła fluidalnego ze złożem cyrkulacyjnym, w którym do spalania wykorzystywana jest mieszanka paliw; jako paliwo wykorzystywane są pozostałości z procesów prowadzonych w zakładzie papierniczym zintegrowanym z celulozownią wytwarzającą masę mechaniczną (kora, pozostałości włókien) i z wytwórni papieru produkowanego z masy RCF (szlam z odbarwiania makulatury) oraz pewna ilość rozdrobnionych odpadów drzewnych wyprodukowanych poza zakładem.



Źródło: [ 229, Stubenvoll i wsp. 2007 ]

Rysunek 2. 26 Schemat blokowy przedstawiający kocioł fluidalny ze złożem cyrkulacyjnym eksploatowany w zakładzie UPM-Kymmene, Austria

Bark	Kora
Wood chips	Zrębki drzewne
Screening rejects	Odrzuty z sortowania
Fibre sludge	Osad włóknisty
Deinking sludge	Szlam z odbarwiana makulatury
Shredded wood waste	Rozdrobnione odpady drzewne
Steam	Para
Feed water	Woda zasilająca
Fabric filter	Filtr tkaninowy
Light fuel oil Natural gas	Lekki olej opałowy Gaz ziemny
Bottom ash	Popiół denny
Hydrated lime	Wapno hydratyzowane
Air	Powietrze
Source: [ 229, Stubenvoll et al. 2007 ]	Źródło: [ 229, Stubenvoll i wsp. 2007 ]



W celu zmniejszenia emisji NO<sub>x</sub> stosowane jest stopniowanie powietrza i recyrkulacja gazów odlotowych. W przypadku SO<sub>2</sub> i innych kwaśnych substancji, takich jak HCl, do ich usuwania stosuje się wodną zawiesinę wapna rozpylaną w gazach odlotowych, podczas gdy woda jest odparowywana pod wpływem ciepła z gazów odlotowych. Po zastosowaniu suchej płuczki natryskowej dalszym etapem procesu jest wykorzystanie filtra tkaninowego w celu odpylania. Jeśli jest to konieczne, do pieca może zostać podane wapno hydratyzowane. Tabela 2.30 zawiera zestawienie poziomów emisji osiągniętych w wyniku stosowania środków kontroli emisji.

Tabela 2. 30 Dane dotyczące emisji z zakładu UPM-Kymmene, Austria

Zanieczyszczenie	Stężenie emisji [mg/Nm <sup>3</sup> , przy 11% O <sub>2</sub> ,] wartości półgodzinne	Zastosowany środek kontroli emisji
NO <sub>x</sub>	165 (średnia wartość)	Stopniowanie powietrza i recyrkulacja gazów odlotowych
SO <sub>2</sub>	0 – 5	Sucha płuczka natryskowa z wapnem hydratyzowanym
HCl	0 – 2	Sucha płuczka natryskowa z wapnem hydratyzowanym
C <sub>org</sub>	0 – 2	Złoże fluidalne cyrkulacyjne, przy prawidłowych parametrach: dopływu tlenu, temperatury pieca, mieszania paliw i powietrza do spalania oraz czasu przebywania
CO	3 – 10	Złoże fluidalne cyrkulacyjne, przy prawidłowych parametrach: dopływu tlenu, temperatury pieca, mieszania paliw i powietrza do spalania oraz czasu przebywania
Pył	0 – 5	Filtr tkaninowy
Źródło: [ 229, Stubenvoll i wsp. 2007 ]		

W przypadku innych kotłów opalanych innymi rodzajami paliw wymagane jest jedynie skuteczne urządzenie do kontroli cząstek stałych, takie jak filtr ESP lub filtr tkaninowy, o ile emisje SO<sub>2</sub> i innych kwaśnych substancji nie przekraczają dopuszczalnych poziomów. Taka sytuacja ma miejsce, gdy jako paliwo główne stosowana jest kora i odpady włókien, jako paliwo pomocnicze stosowane jest paliwo naturalne lub paliwo o niskiej zawartości siarki oraz dodatek osadów z biologicznego oczyszczania ścieków.

### Oddziaływanie na procesy i środowisko

Oprócz zmniejszenia zawartości SO<sub>2</sub> w gazach odlotowych, układy oczyszczające z płuczka usuwają także inne kwaśne substancje, takie jak HCl i HF. Produktem stosowania środków wtórnych jest pewna ilość odpadów stałych (popiołu), które należy zutylizować.

### Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki

Wszystkie omawiane techniki są stosowane z powodzeniem w odniesieniu do kotłów eksploatowanych w branży celulozowo-papierniczej. Oprócz biomasy, która ma niską zawartość siarki, dostępne są paliwa o niskiej zawartości siarki, choć ich stosowanie wiąże się z koniecznością poniesienia dodatkowych kosztów.

### Aspekty ekonomiczne

Dodatkowy koszt związany z zakupem oleju opałowego o niskiej zawartości siarki w porównaniu z olejem o wysokiej zawartości siarki jest zmienny, lecz można określić, że średnio jest on około 20% wyższy. Szacunkowy koszt inwestycji w mokry układ oczyszczania z płuczka to 3 – 5 mln euro w przypadku kotłów o mocy w zakresie 50 – 100 MW<sub>t</sub>. Dodatkowy koszt urządzeń do podawania węglanu wapnia lub wtrysku sorbentu w nowych kotłach to około 0,5 mln euro [ 189, Norrström 2010 ].

### **Motywacja do wdrożenia**

Zarówno techniki pierwotne jak i wtórne przyczyniają się do zmniejszenia emisji SO<sub>2</sub>, a tym samym zakwaszającego potencjału kotłów. Ponadto ich stosowanie jest wymagane na mocy przepisów krajowych i unijnych.

### **Instalacje referencyjne**

Liczne instalacje w Europie i na świecie.

### **Bibliografia**

[ 189, Norrström 2010 ], [ 229, Stubenvoll i wsp. 2007 ].

## **2.9.8 Zapobieganie, ograniczanie do minimum, odzysk i przetwarzanie pozostałości z procesów – ograniczanie do minimum ilości odpadów stałych przeznaczonych do składowania**

### **Opis**

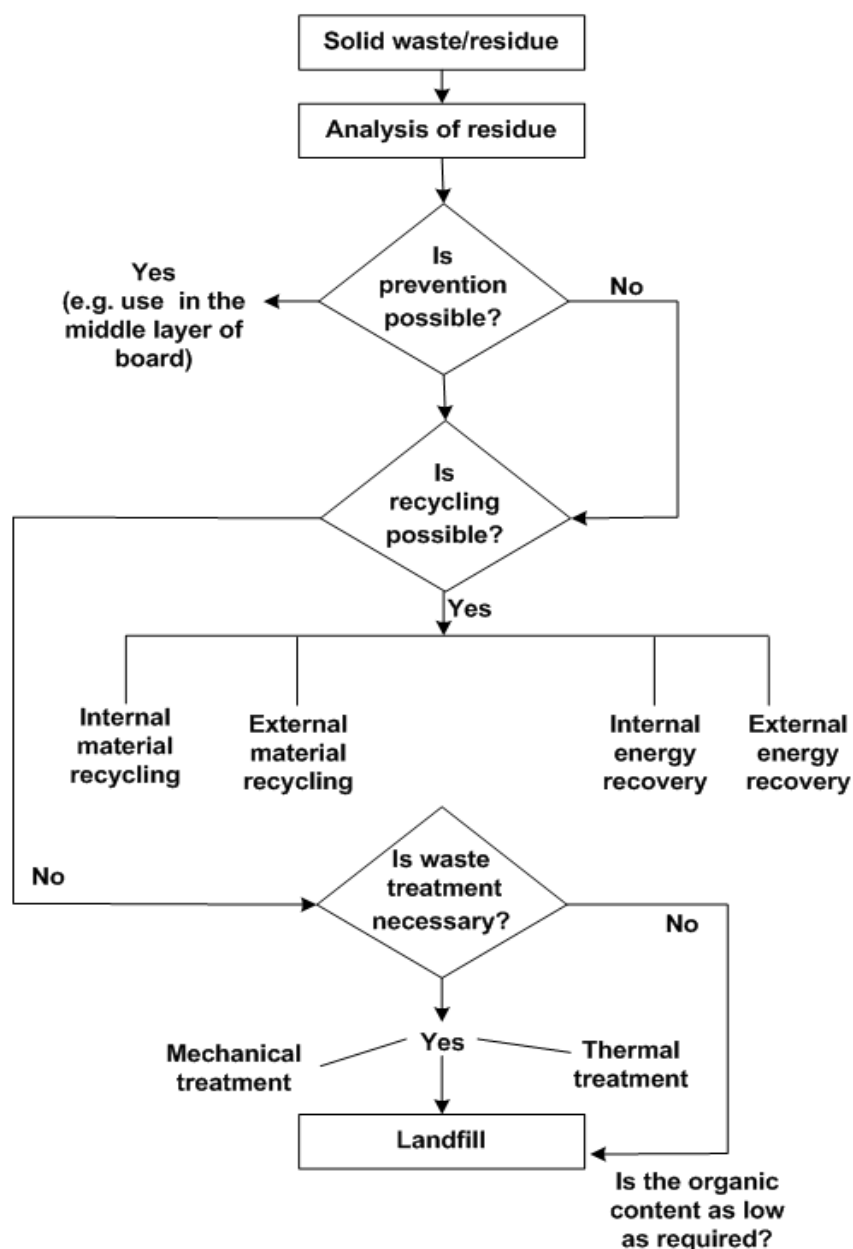
Większość pozostałości z procesów (patrz także pkt 2.8) może być w znacznym stopniu ponownie wykorzystana, zawrócona do obiegu i/lub odzyskana. Hierarchia odpadów zgodnie z dyrektywą w sprawie odpadów [ 205, WFD 98/WE 2008 ] zawiera wytyczne w zakresie planowania postępowania w celu ograniczenia do minimum ilości odpadów przeznaczonych do utylizacji.

Niektóre z odpadów/pozostałości generowanych w ramach procesu produkcyjnego mogą nie być uważane za odpady, zgodnie z art. 3 ust. 1 dyrektywy ramowej w sprawie odpadów (WFD), lecz za produkty uboczne, o ile spełniają one warunki określone w art. 5 WFD [ 205, WFD 98/WE 2008 ].

Aby zapobiec wytwarzaniu lub ograniczyć do minimum ilość wytwarzanych odpadów, wszystkie procesy powinny zostać poddane przeglądowi w celu określenia obszarów, w których istnieje możliwość poprawy. Inwentaryzacja odpadów umożliwi identyfikację i klasyfikację rodzaju, właściwości i ilości poszczególnych frakcji odpadów i wskazanie miejsc, z których te odpady pochodzą. Po zebraniu frakcji odpadów/pozostałości z miejsc ich pochodzenia, frakcje odpadów/pozostałości są przechowywane oddzielnie lub są łączone w zależności od preferowanych możliwości ich ponownego wykorzystania/zawracania do obiegu oraz dalszego przetwarzania i utylizacji.

Systemy/koncepcje oceny odpadów i gospodarowania nimi są przydatnymi narzędziami do określenia możliwości w zakresie zapobiegania, przygotowania do ponownego wykorzystania, odzysku, zawrócenia do obiegu i bezpiecznej utylizacji odpadów i pozostałości. Systemy gospodarowania odpadami mogą się również przyczynić do wysokiego wykorzystania zasobów i poprawy opłacalności eksploatacji.

Drzewo decyzyjne odnoszące się do gospodarowania odpadami z papierni pokazane na rysunku 2.27 przedstawia ogólne podejście stosowane w odniesieniu do hierarchii i pomaga określić możliwości w zakresie zawracania do obiegu materiałów lub odzysku energii.



Źródło: [ 60, Hamm 1996 ]

Rysunek 2. 27 Możliwe drzewo decyzyjne odnoszące się do gospodarowania odpadami z papierni

Solid waste/residue	Odpady/pozostałości stałe
Analysis of residue	Analiza pozostałości
Yes	Tak
(e.g. use in the middle layer of board)	(np. wykorzystanie jako warstwa środkowa tektury)
Is prevention possible?	Czy można zapobiec?
No	Nie
Is recycling possible?	Czy zawrótzenie do obiegu jest możliwe?

Yes	Tak
Internal material recycling	Zawrócenie materiałów do obiegu w ramach zakładu
External material recycling	Zawrócenie materiałów do obiegu poza zakładem
Internal energy recovery	Odzysk energii w ramach zakładu
External energy recovery	Odzysk energii poza zakładem
Is waste treatment necessary?	Czy obróbka odpadów jest konieczna?
No	Nie
Mechanical treatment	Obróbka mechaniczna
Yes	Tak
Thermal treatment	Obróbka cieplna
Landfill	Wysypisko śmieci
Is the organic content as low as required?	Czy zawartość związków organicznych jest na wystarczająco niskim poziomie?
No	Nie
Source: [ 60, Hamm 1996 ]	Źródło: [ 60, Hamm 1996 ]

Pozostałości z papierni charakteryzują się głównie stosunkowo dużą zawartością materiału organicznego. Ogólne możliwości ich zagospodarowania w celu ograniczenia do możliwego minimum ilości odpadów i stopniowego eliminowania składowania obejmują odzysk energii w spalarniach na miejscu lub instalacjach wytwarzających energię elektryczną z biomasy, odzysk energii i materiałów w innych branżach, takich jak przemysł cementowy, ceglarski lub budownictwo lądowe, a w niektórych przypadkach również wykorzystanie w rolnictwie, pod warunkiem, że skład pozostałości spełnia kryteria określone dla takiego wykorzystania.

#### a) **Zapobieganie**

Zapobieganie powstawaniu odpadów dotyczy głównie procesu produkcji, w którym, gdy tylko jest to możliwe, powinny być stosowane odpowiednie techniki. Przykładami w tym zakresie może być ograniczenie do możliwego minimum ilości odrzutów włókien, które muszą być usunięte z procesu (patrz pkt 5.3.3), odpowiednie postępowanie z chemikaliami i ich odzysk (patrz pkt 7.3.5) w celu uniknięcia konieczności usuwania chemikaliów zastosowanych w powłokach, lub stosowanie dodatkowych substancji chemicznych o dobrej jakości w celu zmniejszenia ilości materiału, który musi zostać odprowadzony z układu odzysku w celulozowni siarczanowej lub siarczynowej.

W wielu przypadkach zapobieganie powstawaniu pozostałości nie jest możliwe, np. w przypadku kory i odpadów drzewnych z obróbki drewna, nici z beli masy celulozowej lub

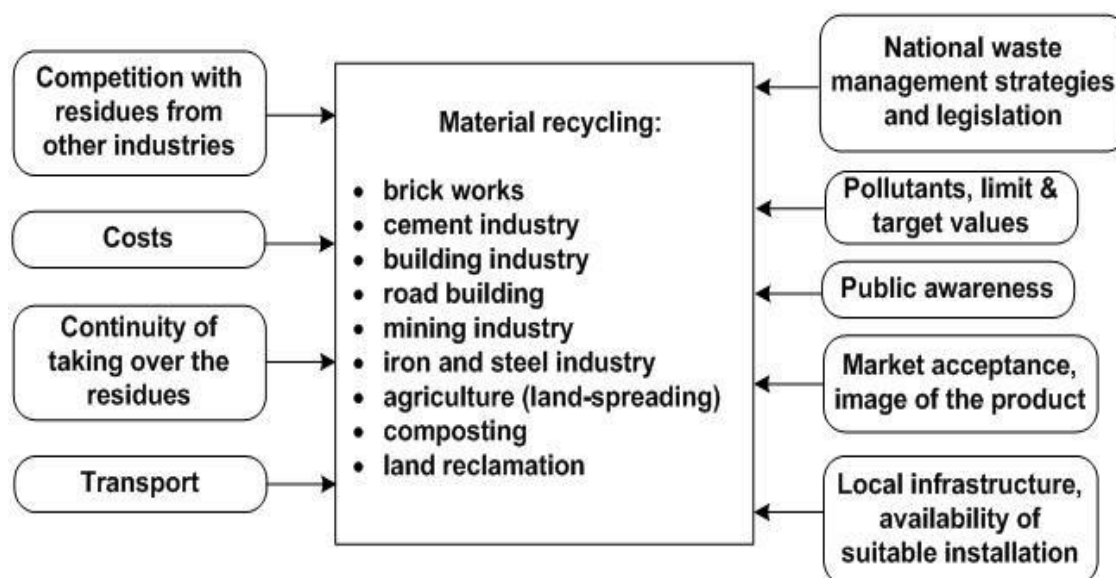
makulatury, osadu biologicznego lub osadu chemicznego z oczyszczania ścieków. Ilość osadu pierwotnego, często składającego się głównie z włókien i fragmentów włókien, może być jednak zminimalizowana poprzez zapobieganie w możliwie największym stopniu przedostawaniu się włókien i odrzutów włókien do odcieku (patrz pkt 7.3.4).

Ponowne wykorzystanie bezpośrednie ma najczęściej miejsce w przypadku urządzeń wykorzystywanych w procesach prowadzonych w przemyśle celulozowo-papierniczym. Urządzenia będące w dobrym stanie mogą być ponownie wykorzystane po generalnym remoncie i/lub naprawie. Zdarza się również, że całe maszyny papiernicze, kotły, itd. są demontowane, przechodzą generalny remont i są przywracane do eksploatacji w nowych lokalizacjach.

Skrawki i zrzynki papieru, masa włóknista nieodpowiedniego rodzaju i inne pozostałości z procesu produkcji papieru są zwracane do obiegu, co prowadzi do powstania nowych produktów powszechnie wykorzystywanych w zakładzie wytwarzającym pozostałości lub w innej wytwórni papieru wykorzystującej włókna wtórne.

## b) Zawracanie materiałów do obiegu

Przegląd głównych możliwości przetwarzania materiałów zwracanych do obiegu oraz czynników decydujących o wyborze możliwości ich przetwarzania przedstawiono na rysunku 2.28. Jeśli chodzi o kwestie związane z transportem, należy się kierować zasadą bliskości, co zmniejsza zarówno oddziaływanie na środowisko jak i koszty.



Źródło: [60, Hamm 1996, changed by EIPPCB]

Rysunek 2. 28 Możliwości odzysku materiałów z pozostałości powstających w papierni i czynniki określające wybór metody przetwarzania

Competition with residues from other industries	Konkurencja z pozostałościami wytwarzanych przez inne sektory
---	---

Costs	Koszty
Continuity of taking over the residues	Ciągłość odbierania pozostałości
Transport	Transport
Material recycling:	Odzysk materiałów
brick works	przemysł ceglarski
cement industry	przemysł cementowy
building industry	Budownictwo
road building	budowa dróg
mining industry	przemysł wydobywczy
iron and steel industry	hutnictwo żelaza i stali
agriculture (land-spreading)	rolnictwo (nawożenie gleby)
composting	Kompostowanie
land reclamation	rekultywacja terenu
National waste management strategies and legislation	Krajowe strategie i przepisy w zakresie gospodarki odpadami
Pollutants, limit & target values	Zanieczyszczenia, wartości graniczne i docelowe
Public awareness	Świadomość społeczna
Market acceptance, image of the product	Uznanie na rynku, wizerunek produktu
Local infrastructure, availability of suitable installation	Infrastruktura lokalna, dostępność odpowiedniej instalacji
Source: [ 60, Hamm 1996, changed by EIPPCB ]	Źródło: [ 60, Hamm 1996, po modyfikacji EIPPCB ]

Możliwości odzysku zależą od danego procesu wytwarzania papieru, użytych surowców, a co za tym idzie, rodzaju i właściwości fizykochemicznych generowanych pozostałości produkcyjnych. W niektórych krajach praktykowane jest kompostowanie osadów papierniczych lub wykorzystywanie ich do nawożenia gleby w rolnictwie, o ile frakcje odpadów są odpowiednie dla takiej możliwości wykorzystania; na przykład kompostowanie ma sens jedynie wtedy, gdy osad jest biodegradowalny (wysoka zawartość materii organicznej (włókien) w porównaniu z materiałem nieorganicznym, takim jak pigmenty), a możliwość wykorzystania osadu w rolnictwie do nawożenia gleby zależy od ilości składników odżywczych w osadach i ich zdolności do wpływania na wartość pH (pigmenty/wypełniacze).

W przypadku nawożenia gruntów rolnych kluczowe znaczenie ma kontrola potencjalnych zanieczyszczeń. Szlam z papierni zwykle nie zawiera więcej zanieczyszczeń niż osady z oczyszczalni komunalnych, a jego ograniczone zastosowanie może mieć pozytywny wpływ na glebę ( $\text{CaCO}_3$  jest środkiem neutralizującym dla gleb kwaśnych, zatrzymywanie wilgoci przez włókna i drobny odsiew na glebach suchych, niska zawartości azotu). Poziom możliwych korzyści zależy od rodzaju gleby. Okresy nawożenia są ograniczone do określonych miesięcy w roku. Konieczne jest zatem zapewnienie wystarczającej pojemności magazynowania szlamu.

Możliwość wykorzystywania osadów do nawożenia gleby zależy w dużym stopniu od akceptacji takiego zastosowania przez poszczególne państwa członkowskie. W niektórych państwach członkowskich taka praktyka jest prawnie dopuszczalna, o ile spełniane są określone wymogi prawne w tym zakresie, uwzględniające w szczególności ochronę gleby; w innych państwach członkowskich nawożenie gleby osadami papierniczymi jest zakazane. Wynika to głównie z zagrożenia ewentualnym zanieczyszczeniem gleb niskimi stężeniami metali ciężkich i mikrozanieczyszczeniami organicznymi, a także lokalnym sprzeciwem z powodu uciążliwości lub problemów wizerunkowych w przypadku produktów rolnych z nawożonych gruntów.

W przypadku kompostowania, wymagania jakościowe kompostu mają największe znaczenie dla uzyskania produktu handlowego. Komposty z odpadów organicznych mieszane się z różnymi ilościami makulatury i pozostałości z przemysłu papierniczego spełniają takie wymogi, jak stopień dojrzałości lub przydatność w odniesieniu do wzrostu roślin. Ponadto, poprawiane są wartości dla parametrów takich jak zawartość soli i substancji organicznych oraz emisje odcieków z określonych procesów. Stężenie substancji szkodliwych, w szczególności substancji zawierających metale ciężkie, należy uznać za czynnik ograniczający takie wykorzystanie osadów.

Kolejną możliwością odzysku materiału z osadów z papierni jest wykorzystanie ich w przemyśle cementowym i ceglarskim (w celu poprawy porowatości) lub jako innego materiału budowlanego. W przemyśle cementowym możliwe jest odzyskanie zarówno materiałów jak i energii zawartej w pozostałościach papierniczych. Do zastosowań w przemyśle cementowym szczególnie odpowiedni jest osad z osadników wstępnych (lub zmieszany z nadmiarem szlamu z oczyszczalni biologicznej), który zawiera włókna, drobny odsiew i związki nieorganiczne (np. wypełniacze, pigmenty powlekające). Osad (około 50% wilgoci) suszy się z wykorzystaniem ciepła odpadowego z wstępnej suszarki pieca cementowego, w związku z czym nie ma potrzeby zużywania żadnej dodatkowej energii cieplnej w celu zmniejszenia wilgotności osadu do 10 – 15%. Podczas spalania wysuszonego osadu w cementowym piecu obrotowym wykorzystywana jest wartość opałowa substancji organicznych, a popiół ze spalania osadu pozostaje (głównie) w produkcie (cemencie). Substancja nieorganiczna zawarta w popiele ze spalanego szlamu jest wykorzystywana jako składnik klinkieru cementowego. Jeśli zakłady cementowe (lub ceglarskie) są zlokalizowane w niewielkiej odległości od zakładu papierniczego i mogą wykorzystywać osady, takie rozwiązanie może być opłacalne. Donoszono również o wykorzystywaniu osadu zawierającego włókna zmieszanego z lotnym popiołem do celów budowlanych, na przykład do budowy dróg i infrastruktury do magazynowania.

Fracje odpadów nieorganicznych (piasek, kamienie, grys, popiół, wapno) często mogą być stosowane do budowy np. płyt chodnikowych, dróg, warstw pokrywających, itp. Przy zastosowaniu najlepszych dostępnych technik, tylko niewielka frakcja pierwotnej ilości pozostałości nie znajduje gospodarczego zastosowania i musi zostać skierowana do utylizacji.

W niektórych przypadkach, przed utylizacją pewne frakcje odpadów mogą wymagać wstępnej obróbki w celu spełnienia wymogów prawnych w zakresie limitów zawartości substancji organicznych w materiale przeznaczonym do utylizacji.

### c) Odzysk energii

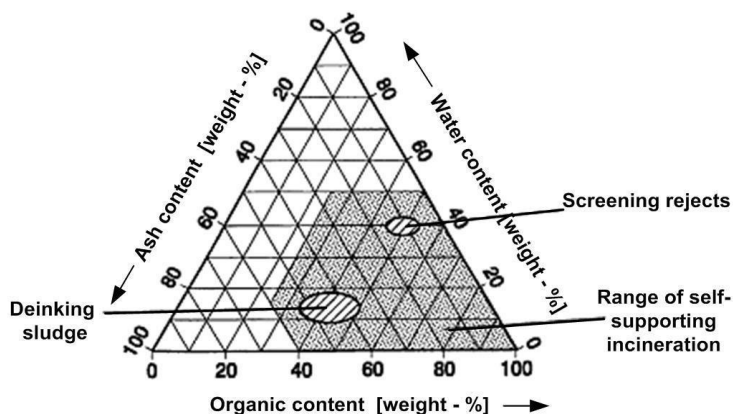
Większość odpadów i pozostałości organicznych z produkcji mas włóknistych i papieru (kora, odpady drzewne, włókna resztkowe) można odzyskać i spalać na miejscu do produkcji energii cieplnej. Odzysk energii poza zakładem (np. z suszonej kory) lub w innych gałęziach przemysłu, takich jak przemysł cementowy i ceglarski, są kolejnymi możliwościami ich przetwarzania. Kora i pozostałości z obróbki drewna są paliwami neutralnymi jeśli chodzi o węgiel. W celu uzyskania wysokiej wydajności energetycznej, przed spalaniem kora powinna być możliwie najbardziej sucha, co można osiągnąć przez jej suszenie (w gorących klimatach w wilgotnych okresach). Popiół z drewna z kotłów opalanych korą zawiera składniki odżywcze z lasu. Popiół ten może zostać wykorzystany jako nawóz, o ile możliwa jest efektywna organizacja transportu i nawożenia, i jeśli popiół ten nie jest zanieczyszczony, np. wysoką zawartością metali.

Do spalania pozostałości organicznych wytwarzanych w przemyśle papierniczym wykorzystywane są zazwyczaj kotły fluidalne lub piece półkowe. Instalacje te spełniają wymogi prawne w zakresie spalania, gdy stosowane są odpowiednie techniki zmniejszania emisji zanieczyszczeń powietrza (patrz pkt 2.9.7). Więcej informacji na temat spalania odrzutów i osadu z przetwarzania makulatury przedstawiono w pkt 6.3.14 niniejszego dokumentu.

Współspalanie odpadów i pozostałości generowanych przez przemysł papierniczy w ramach innych sektorów odbywa się w piecach cementowych, spalarniach odpadów komunalnych, wielkich piecach (w hutnictwie żelaza i stali) oraz piecach szybowych (w odlewniach). W tym przypadku odpady i pozostałości o wysokiej wartości opałowej są szczególnie odpowiednie do zastępowania paliw kopalnych (np. węgla, oleju opałowego). Pozostałości z procesów prowadzonych w papierni są zazwyczaj mieszane z innymi paliwami spalnymi w tych instalacjach. Przed spalaniem materiał ten musi zostać odwodniony, a czasem konieczne jest także suszenie (np. w przemyśle cementowym i hutnictwie żelaza i stali). Istotna jest także jednorodność paliwa wtórnego i jednolity i niezmienny skład pozostałości.

Rysunek 2.29 przedstawia palność spalanych odpadów i pozostałości z papierni, takich jak szlam odbarwiania, odrzuty z oczyszczania i sortowania, lub szlam z oczyszczalni ścieków. Rysunek ten ilustruje związek między zawartością substancji palnych/organicznych, zawartością popiołu i zawartością wody.





Rysunek 2. 29 Trójkąt paliwowy dla odpadów i pozostałości generowanych w przemyśle papierniczym (dostarczony przez IFP)

Deinking sludge	Szlam z odbarwiania makulatury
Ash content [weight - %]	Zawartość popiołu [% , wagowo ]
WATER CONTENT [WEIGHT - %]	ZAWARTOŚĆ WODY [% , wagowo]
Screening rejects	Odrzuty z sortowania
Range of selfsupporting incineration	Zakres samopodtrzymującego się spalania
Organic content [weight - %]	Zawartość substancji organicznych [% , wagowo]

Obszar, na którym naniesiono odwodniony osad z odbarwiania makulatury i odwodnione odrzuty z czyszczenia mechanicznego i sortowania został zakresowany. Pokazuje to, że samopodtrzymujące się spalanie paliw, w przypadku którego nie ma potrzeby stosowania paliw dodatkowych, można uzyskać zarówno w przypadku: (i) odrzutów o stosunkowo wysokich wartościach kalorycznych i (ii) osadów z odbarwiania makulatury o stosunkowo wysokiej zawartości popiołu. Spalany może być także szlam z oczyszczania ścieków, jednak gdy zawartość suchej masy (SM) w szlamie jest poniżej 40% i/lub szlam zawiera dużą ilość materiału nieorganicznego, produkcja energii netto jest zerowa lub ujemna. W takich warunkach konieczne jest zastosowanie paliwa pomocniczego, najlepiej kory i innych odpadów drzewnych. Spalanie zmniejsza objętość odpadów, a materiał nieorganiczny w formie popiołu jest składowany lub wykorzystywany w budownictwie.

Szlam zawierający wytrącone substancje chemiczne nie może być spalany sam, bez użycia paliwa pomocniczego, ze względu na wysoką zawartość substancji nieorganicznych i wody. Pomimo tego, takie osady są czasami spalane w celu zminimalizowania objętości składowanych odpadów. Metody odzysku wytrąconych chemikaliów są wciąż badane, lecz nadal są one w fazie opracowywania. Osad z flokulacji z wykorzystaniem wyłącznie syntetycznych polielektrolitów organicznych jest odpowiedni do spalania.

Wpływ współspalania odpadów, pozostałości i osadów z papierni na emisje do atmosfery zależy od składu spalanego materiału. Współspalanie osadów zawierających włókna i osadu papierniczego – szczególnie o wysokiej zawartości alkaliów – w elektrowniach węglowych lub w elektrowniach opalanych węglem brunatnym nie ma wpływu na emisje do atmosfery lub prowadzi do nieznacznego zmniejszenia zanieczyszczeń. Emisje SO<sub>2</sub>, HCl i HF ulegają zmniejszeniu w przypadku współspalania osadów o dużej zawartości alkaliów (szlamu z odbarwiania makulatury, szlamu z włókien zawierającego pigmenty kryjące i wypełniacze). W porównaniu z węglem kamiennym i węglem brunatnym w osadzie włóknistym i osadzie papierniczym niska jest również zawartość metali ciężkich. Odrzuty z przygotowywania masy papierniczej z makulatury w zakładach produkujących materiał na warstwę pofalowaną tektury mają wyższą zawartość chloru (1 – 3% masy). Z doświadczenia wiadomo, że współspalanie odrzutów, np. w elektrowniach opalanych węglem brunatny, jest możliwe bez powodowania zwiększenia emisji dioksyn (patrz pkt 6.3.14).

### Główne korzyści środowiskowe

Omawiane środki służą ochronie środowiska i zdrowia ludzi poprzez zapobieganie lub zmniejszanie negatywnego wpływu wytwarzania odpadów i gospodarowania nimi oraz przez zmniejszenie ogólnych skutków użytkowania zasobów i poprawę efektywności ich wykorzystania.

### Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

Typowe zakresy ilości pozostałości, które są kierowane do składowania odpadów stałych zostały zestawione w tabeli 2.31, w odniesieniu do różnych rodzajów produkcji mas włóknistych i papieru. Tabela odnosi się do sytuacji z 2009 r. w szwedzkich fabrykach, które wdrożyły ambitne działania w celu ograniczenia pozostałości do minimum.

**Tabela 2.31** Typowe zakresy ilości pozostałości stałych (masa mokra) przeznaczonych do składowania, generowanych w ramach różnych rodzajów produkcji mas włóknistych i papieru

Rodzaj produkcji	Odpady przeznaczone do składowania (kg/tonę <sup>(1)</sup> )
Niezintegrowana celulozownia	0 – 50
Krafliner (karton siarczanowy na warstwę pokryciową)	0,5 – 5
Papier siarczanowy produkowany w wytwórni zintegrowanej	0 – 20
Papier siarczynowy produkowany w wytwórni zintegrowanej	0,5 – 5
Tektura produkowana w wytwórni zintegrowanej	0 – 15
Papier drzewny do drukowania	0 – 5
Niezintegrowana papiernia	0 – 10
<sup>(1)</sup> Poszczególne ilości pozostałości zostały obliczone w odniesieniu do jednej tony produkcji całkowitej, tzn. w przypadku produkcji zintegrowanej, w odniesieniu do całkowitej ilości masy włóknistej i papieru produkowanego na miejscu. <i>Źródło:</i> Dane przedstawione w tabeli pochodzą ze statystyk dotyczących przemysłu szwedzkiego, a tabela została sporządzona przez Szwedzką Federację Przemysłu Leśnego.	

Z powyższej tabeli wynika, że w przypadku wszystkich rodzajów produkcji możliwe jest uzyskanie bardzo niewielkich ilości pozostałości kierowanych do składowania.

Przedstawione zakresy wskazują również, że zakłady produkujące masę celulozową siarczanową generują zwykle większe ilości pozostałości wysyłanych do składowania niż zakłady wykorzystujące masę celulozową siarczynową lub mechaniczną. Dzieje się tak z powodu konieczności usuwania zanieczyszczeń z obszaru odzyskiwania w celulozowniach siarczanowych (szlam z ługu zielonego, gres i inne materiały nieorganiczne). Niezintegrowana produkcja papieru prowadzi zwykle do powstawania bardzo małych ilości pozostałości stałych przesyłanych do składowania. Więcej przykładów przedstawiono w rozdziałach 3 do 7 odnoszących się do poszczególnych procesów.

Zakłady nie zawsze są w stanie osiągać tak małe ilości pozostałości kierowanych do składowania, jak te wskazane w dolnej granicy zakresów przedstawionych w tabeli 2.31. Aby tak się działo, konieczne jest posiadanie prawidłowo działających systemów, umożliwiających ograniczenie do minimum ilości pozostałości z procesów, oraz sortowanie pozostałości zgodnie z ich zakładanym przyszłym przetworzeniem. Kolejnym warunkiem jest możliwość zastosowania pozostałości w zakładzie lub poza nim.

Pozostałościami, które są zazwyczaj trudne do wyeliminowania i dla których trudno jest znaleźć zastosowanie są m.in. osad z ługu zielonego z procesu odzyskiwania chemikaliów z roztwarzania siarczanowego, popiół z kotłów oraz mieszanka piasku, kamieni, kory i fragmentów drewna z obróbki drewna. W wielu przypadkach materiały te mogą być stosowane jako materiał do zamykania wysypiska lub w budownictwie drogowym. Po dodaniu składników odżywczych, mieszanka piasku, kory i fragmentów drewna może być wykorzystana do poprawy jakości gleby. Od pewnego czasu prowadzone są badania w zakresie wykorzystywania popiołu do odzysku składników odżywczych i śledzenia zawartości metali w lasach. Na rynku działają również firmy specjalizujące się w obsłudze i uzdatnianiu takiego materiału do bardziej zróżnicowanych zastosowań.

Zakłady zgłaszające brak lub bardzo niewielką ilość pozostałości kierowanych do składowania znalazły użytkowników końcowych generowanych przez nie pozostałości, przynajmniej na pewien czas. W związku ze zmiennością zapotrzebowania ze strony użytkowników końcowych, w odniesieniu do prawie wszystkich zakładów celulozowo-papierniczych istotne jest posiadanie bezpiecznych i wystarczających składowisk.

Tabela 2.32 przedstawia dwa przykładowe zakłady, które były w stanie znacznie zmniejszyć ilość pozostałości kierowanych do składowania. Zakład A to niezintegrowana wytwórnia papieru, a zakład B to zintegrowana celulozownia siarczanowa produkująca papier do drukowania i pisania oraz masę włóknistą towarową.

Tabela 2. 32 Dwa przykładowe zakłady produkujące niewielkie ilości pozostałości kierowanych ostatecznie do składowania

Rodzaj pozostałości i sposób ich zagospodarowania	Pozostałości/sposób zagospodarowania	Zakład A (kg/tonę) <sup>(1)</sup>	Zakład B (kg/tonę) <sup>(1)</sup>
Rodzaj pozostałości	Specyficzne dla przemysłu papierniczego	25	306
	Ogólne	4	2
	Niebezpieczne	0,8	0,5
	Ogółem	30	309
	Odzysk materiałów	28	31

Zagospodarowanie	Odzysk energii	1	255
	Inny sposób ponownego wykorzystania/bezpieczne składowanie	0,8	0,5
	Kierowane do składowania	0,3	22
<sup>(1)</sup> Ilość pozostałości odnosi się do masy mokrej. Poszczególne ilości pozostałości zostały obliczone w odniesieniu do tony produkcji całkowitej, tzn. w przypadku produkcji zintegrowanej (zakład B), w odniesieniu do całkowitej ilości masy włóknistej i papieru wyprodukowanego na miejscu. Wykorzystane przykłady, zakład A i zakład B, pochodzą ze statystyk odnoszących się do przemysłu szwedzkiego, opracowanych przez Szwedzką Federację Przemysłu Leśnego.			

Pozostałościami specyficznymi dla sektora celulozowo-papierniczego są kora, pozostałości drewna, popiół, osady ługu zielonego, itp., i są one wykorzystywane do odzysku materiałów lub odzysku energii. W przypadku celulozowni siarczanowej zintegrowanej z papiernią praktycznie cała kora i pozostałości drewna są wykorzystywane jako paliwo w kotle korowym. Odpady niebezpieczne są w obu przypadkach unieszkodliwiane przez certyfikowane organizacje ('inny sposób recyklingu') i dostosowywane do wykorzystania do innych celów lub do bezpiecznego składowania. W wyniku prowadzonej gospodarki odpadami, ilość pozostałości z papierni na składowiskach jest bliska zeru. Pozostałościami kierowanymi na składowiskach z celulozowni siarczanowej są głównie osady ługu zielonego, który może być wykorzystywany jako warstwa pokrywająca składowisko odpadów stałych.

### Oddziaływanie na procesy i środowisko

Mniejsza ilość pozostałości, a w rezultacie mniejsze zużycie surowców i związane z tym niższe koszty. Odpady są wykorzystywane, a ich potencjał zanieczyszczający jest zmniejszony. Poprawa dotyczy również wydajności procesów i ich opłacalności.

### Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki

Omawiana technika może być stosowana we wszystkich zakładach. Potencjał w zakresie przetwarzania może zależeć od procesu wytwarzania papieru i wykorzystywanych surowców (w zależności od rodzaju wytwarzanego papieru). Na przykład, możliwość kompostowania osadów papierniczych zależy od ich zdolności do biodegradacji (ilości substancji organicznych, takich jak włókna, w stosunku do materiału nieorganicznego, np. pigmentów). Możliwość wykorzystania do nawożenia gruntów rolnych zależy od ilości składników odżywczych w osadzie (surowców) oraz jego zdolności do wpływania na wartość pH (pigmenty/wypełniacze).

### Aspekty ekonomiczne

Stosowanie hierarchii odpadów służy wykorzystywaniu zasobów o wysokiej efektywności ekonomicznej, w szczególności, aby zapobiec tworzeniu się pozostałości poprzez zastosowanie bardziej ekologicznych technologii.

### Motywacja do wdrożenia

Zapobieganie powstawaniu pozostałości poprocesowych lub ich przygotowanie do ponownego wykorzystania, zwracania do obiegu i odzysk są metodami korzystnymi pod względem ekonomicznym, ponieważ umożliwiają lepsze wykorzystanie zasobów i wyższą efektywność ekonomiczną. Odzysk energii poprzez spalanie pozostałości materiałów jest niezbędny, aby zwiększyć wartość i zminimalizować ilość odpadów przekazywanych ostatecznie do składowania. Motywacją do wdrożenia omawianej techniki jest również ustawodawstwo krajowe i UE w zakresie gospodarowania odpadami. Kwestie postępowania z

pozostałościami generowanymi przez przemysł celulozowo-papierniczy regulują głównie dwie dyrektywy UE: dyrektywa ramowa w sprawie odpadów oraz dyrektywa w sprawie spalania odpadów.

Dyrektywa ramowa w sprawie odpadów 2008/98/WE [ 205, WFD 98/EC 2008 ] zawiera definicje, promuje opracowywanie planów gospodarowania odpadami oraz hierarchię postępowania z odpadami, której należy przestrzegać w odniesieniu do zapobiegania powstawaniu odpadów i gospodarowania nimi: zapobieganie, przygotowanie do ponownego użycia, zawrócenie do obiegu, inne metody odzysku, np. odzysk energii, i wreszcie składowanie. Zgodnie z taką hierarchią postępowania, wszelkie pozostałości odpadowe powinny zostać zawrócone do obiegu, odzyskane jako surowiec, źródło energii lub, gdy wcześniej wymienione metody nie są możliwe, powinny być bezpiecznie składowane.

Dyrektywa w sprawie spalania odpadów [ 203, dyrektywa 2000/76/WE 2000 ] reguluje wymogi odnoszące się do pozwoleń udzielanych spalarniom i współspalarniom, oraz określa limity emisji oraz wymogi w zakresie monitorowania dla niektórych zanieczyszczeń uwalnianych do atmosfery lub wody. Dyrektywa odnosi się także do instalacji ‘współspalania’ (instalacji, których głównym celem jest wytwarzanie energii lub produktów materialnych, i które wykorzystują odpady jako paliwo stosowane standardowo lub dodatkowo; odpady te są poddawane obróbce termicznej w celu ich dalszego składowania). Zgodnie z art. 2 ust. 2 wyżej wymienionej dyrektywy, nie obejmuje ona obiektów energetycznego spalania przetwarzających wyłącznie ‘odpady włókniste pochodzenia roślinnego z procesu produkcji masy włóknistej z włókien pierwotnych’ lub ‘odpady drzewne’. Opis najlepszych dostępnych technik w zakresie spalania odpadów przedstawiono w Dokumencie referencyjnym BAT dla termicznego przekształcania odpadów [ 273, COM 2006 ].

### **Instalacje referencyjne**

Liczne zakłady celulozowo-papiernicze w Europie wdrożyły plany gospodarowania odpadami lub zintegrowane koncepcje gospodarowania odpadami. Wszystkie zakłady dążą do ograniczania, w możliwie największym stopniu, ilości odpadów stałych kierowanych do składowania.

### **Bibliografia**

[ 60, Hamm 1996 ], [ 139, ASPAPEL 2008 ], [ 203, dyrektywa 2000/76/WE 2000 ], [ 205, WFD 98/WE 2008 ], [ 273, COM 2006 ], [ Szwedzka Federacja Przemysłu Leśnego, 2008 ].

### **2.9.9 Zmniejszanie emisji związanych ze stosowaniem środków chelatujących w technologiach wybielania opartych na stosowaniu nadtlenuków**

#### **Opis**

W celulozowniach chemicznych lub mechanicznych wykorzystywane są środki kompleksotwórcze w celu ochrony środków wybielających na bazie tlenu przed rozkładem katalitycznym przed lub podczas etapów bielenia. Środki kompleksotwórcze stosuje się na przebiegających w środowisku neutralnym, lekko kwaśnym lub lekko zasadowym (zależnie od

składu i wymogów procesu) etapach mycia i bielenia masy celulozowej w celu usunięcia metali przejściowych (głównie Mn, Fe i Cu). Najszerzej stosowanymi środkami chelatującymi są EDTA (kwas etylenodiaminotetraoctowy) i DTPA, kwas dietylenotriaminopentaoctowy, w preparatach o różnym składzie.

- DTPA i EDTA mają silnie chelatujące działanie, jednak nie są podatne na biodegradację, a po zakończeniu procesu są emitowane do zbiorników wody przyjmującej. Chociaż EDTA i DTPA są uważane za cząsteczki stabilne, niektóre badania sugerują, że w warunkach bielenia ulegają one znacznej degradacji [ 208, Langi i wsp. 2007 ]. Środki wybielające, takie jak ozon, dwutlenek chloru i kwas nadoctowy mogą rozkładać do pewnego stopnia zarówno EDTA jak i DTPA wykorzystywane do bielenia masy celulozowej. W ramach innych badań zaobserwowano znaczną redukcję EDTA w biologicznych oczyszczalniach ścieków w środowisku lekko zasadowym (pH między 7 i 8) [ 206, Akso Nobel 2007 ]. Jest to wynikiem rozkładu lub przekształcenia EDTA w nieznane produkty rozkładu. Natomiast z kolejnych badań [ 209, Aschacher i wsp. 2007 ] i z obserwacji operatorów wynika, że zastosowany EDTA może być niemal całkowicie wykryty w ściekach z oczyszczanych biologicznie na miejscu (biodegradacja poniżej 10%). DTPA ulega degradacji w większym stopniu niż EDTA w środowisku wodnym, ale istnieje prawdopodobieństwo, że DTPA ulega rozkładowi do EDTA w procesie bielenia lub w oczyszczalni ścieków. [ Sillanpää M, 1997 ], [ Remberger M, 2001 ].

W celu efektywnego zmniejszenia emisji związanych ze stosowaniem środków chelatujących wdrożyć można następujące stopniowe podejście:

1. Przeprowadzenie uproszczonego ‘bilansu masy’, który dostarcza informacje na temat losów środków kompleksujących w procesie i w biologicznej oczyszczalni ścieków (wykorzystanie, zatrzymanie lub degradacja na etapach bielenia i mycia, eliminacja lub degradacja podczas oczyszczania ścieków). W ten sposób można określić ilość chelatów, które są uwalniane do środowiska. Z ekologicznego punktu widzenia można określić również jakość i formę wiązania odprowadzanych kompleksów.
2. Okresowe pomiary przez wykwalifikowane/certyfikowane laboratoria i dokumentacja dotycząca środków chelatujących w ściekach.
3. Badanie i dokumentacja możliwości:
  - (i) ograniczenia wykorzystywania w procesie słabiej biodegradowalnych środków chelatujących przez, na przykład, optymalne dostosowanie pH, dozowania i czas retencji, odzysk i zatrzymanie środków chelatujących w procesie);
  - (ii) odzysku i zatrzymania substancji chemicznych w procesie;
  - (iii) zmniejszenia ich ilości w systemie oczyszczania ścieków (przedłużenie czasu przebywania, np. wiek szlamu > 28 dni i lekko zasadowe pH wydają się zwiększać biodegradację środków chelatujących w niektórych oczyszczalni ścieków). Obejmuje to także działania podejmowane w kierunku opracowania biodegradowalnych lub możliwych do eliminacji zamienników spełniających wymogi w zakresie bielenia.
4. Wybieranie produktów biodegradowalnych lub produktów ulegających eliminacji i wycofywanie, w miarę możliwości, produktów nieulegających biodegradacji, z uwzględnieniem ich przydatności pod względem technicznym i ekonomicznym.

Alternatywne środki chelatujące powinny osiągnąć poziom biodegradacji powyżej 70 – 80% zgodnie z normą EN ISO 7827 dotyczącą badań podatności na biodegradację lub podobnymi metodami.

Zwykle najlepszym rozwiązaniem jest stopniowe wprowadzanie takich nowych dodatków chemicznych. W celu osiągnięcia skuteczności nowych środków kompleksujących, muszą one zostać najpierw przetestowane, należy określić odpowiedni skład preparatów i dostosować warunki operacyjne procesu bielenia (wartość pH, temperatury, inne stosowane substancje chemiczne, punkty dozowania).

### **Główne korzyści środowiskowe**

Technika ta powinna doprowadzić do zmniejszenia emisji słabo biodegradowalnych kwasów EDTA/DTPA przez ograniczenie ich zastosowania, co powinno skutkować zmniejszeniem stężenia środków chelatujących w wodach rzek za zakładem. EDTA/DTPA mają potencjał do remobilizacji metali ciężkich (ołowiu, rtęci, kadmu) z naturalnych osadów wodnych, które mogą gromadzić się w zbiornikach wodnych lub dotrzeć do wody pitnej poprzez odprowadzane ścieki.

### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

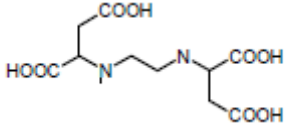
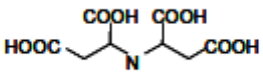
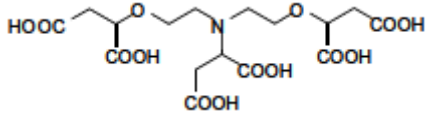
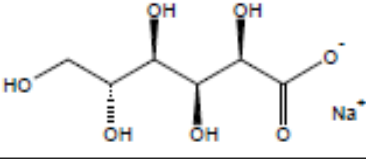
Stosowanie środków chelatujących dotyczy jedynie technologii wybielania z wykorzystaniem nadtlenu. Ilość potrzebnych środków chelatujących zależy od wielu czynników, takich jak jakość i zawartość metali ciężkich w wykorzystywanych kłodach drewna/zrębkach drzewnych, oczekiwany poziom białości, a w przypadku celulozowni chemicznych – od jakości wykorzystywanego zasady (zanieczyszczeń). Istnieją znaczne różnice w zakresie zawartości metali ciężkich w wykorzystywanym drewnie i zasadzie warzelnej (w przypadku roztwarzania siarczynowego, uzupełniany tlenek magnezu). Zakłady wykorzystujące drewno o większej zawartości metali ziem alkalicznych nie były w stanie osiągnąć pożądanych właściwości masy po wybieleniu bez zastosowania DTPA lub EDTA. Kilka innych zakładów było w stanie przeprowadzać etapy wybielania z użyciem nadtlenu bez stosowania środków chelatujących. Zapotrzebowanie na środki chelatujące w wybieleniu może zależeć także od pory roku. W lecie przechowywane drewno daje produkt o niższym poziomie białości, pomimo standardowej obróbki. Utrata jasności dotyczy także drewna, które jest przechowywane przez dłuższy czas.

Niektóre z nowych środków kompleksujących osiągają poziom biodegradacji powyżej 70% lub nawet 80% zgodnie z normą EN ISO 7827 [ 262, ISO 7827 1994 ]. Niektórzy dostawcy substancji chemicznych donoszą o opracowaniu biodegradowalnych systemów chelatujących, których skuteczność w procesach roztwarzania chemicznego dorównuje działaniu tradycyjnych środków chelatujących. Łatwo biodegradowalnym środkiem chelatującym jest na przykład sól sodowa kwasu iminodibursztynowego (IDS) [ 223, H. Hyvönen i wsp. 2003 ]. Biodegradowalność kwasu N-bis-dikarboksyetoksy-etylo asparaginowego (AES) jest oceniana na poziomie 20 – 70%, w zależności od osadu [ 222, S. Metsärinne i wsp. 2007 ]. Ten nowy środek kompleksujący (AES) nie jest łatwo biodegradowalny, ale wykazuje nieznaczną biodegradację.

Następujące substancje zostały ocenione pozytywnie w badaniach w kierunku biodegradowalności, co oznacza, że ich podatność na biodegradację wynosi co najmniej 80%, przeprowadzonych przez Holzforchung, Austria. Jeśli chodzi o funkcjonalność, skuteczność substancji przedstawionych w tabeli 2.33 dorównuje niemal skuteczności EDTA/DTPA, choć

w niektórych przypadkach nie całkowicie.

Tabela 2. 33 Biodegradowalne środki chelatujące o niemal pełnej funkcjonalności

Nazwa substancji czynnej	Związek chemiczny	Wzór strukturalny
EDDS	Kwas etylenodiaminodibursztynowy	
IDS	Kwas iminodibursztynowy (np. w postaci soli sodowej)	
AES	Kwas N-bis-dikarboksyetoksy-etyloasparaginowy	
Glukonian sodu (konieczne jest stosowanie w dużych ilościach; nie może być stosowany sam)	BD	
Uwagi: BD = brak danych Źródło: [ 224, Aschacher 2009 ]		

Trudno jest ocenić skuteczność biodegradowalnych środków chelatujących w badaniach prowadzonych na pełną skalę, ponieważ większość wyników jest traktowana jako dane poufne. Instytuty badawcze, takie jak Holzforschung w Austrii, donoszą, że w badaniach prowadzonych na pełną skalę nie uzyskano jeszcze jednoznacznych dowodów na to, że alternatywne dodatki wybielające dorównują pod względem skuteczności tradycyjnym środkom chelatującym. Wyniki uzyskane w odniesieniu do najbardziej obiecujących produktów nie dorównują jeszcze w pełni pod względem technologicznym DTPA lub EDTA. Należy o tym pamiętać szczególnie w przypadku, gdy oczekiwane jest osiągnięcie najwyższych stopni białości (gdy zmniejszenie stopnia białości o 1 punkt procentowy nie jest już akceptowalne dla zakładu). Dlatego też kontynuowane są badania w kierunku modyfikacji środków kompleksujących i sposobu ich stosowania [ 209, Aschacher i wsp. 2007 ]. Jednocześnie mają także miejsce doniesienia o tym, że wyniki prób prowadzonych na pełną skalę w zakładach oraz relacje stałych klientów wskazują, że biodegradowalne środki chelatujące mogą zastąpić DTPA/EDTA bez zmniejszenia skuteczności procesu [ 221, Sankari 2009 ].

Poniżej przedstawiono pewne obserwacje odnoszące się do zmniejszonych emisji środków chelatujących w odniesieniu do różnych głównych rodzajów mas włóknistych.

## I. Roztworzenie siarczanowe:



W niektórych przypadkach biologiczne oczyszczanie ścieków (patrz pkt 3.3.13) prowadzi do redukcji EDTA o około 90% [ 159, Steube i wsp. 2005 ]. Na przykład w celulozowni Stendal (DE) stężenie EDTA w strumieniu napływającym na poziomie 34 – 63 mg/l jest zredukowane do stężenia w ściekach na poziomie 0,4 – 7 mg EDTA/l (średnia wartość roczna w 2008 r.: 1,8 mg/l; pomiary przeprowadzone 12 razy w ciągu roku na 24-godzinnych próbkach złożonych; metoda badania: DIN 38413-3). W strumieniu napływającym średnie zmierzone stężenie EDTA wyniosło 50 mg/l (24-godzinna próbka mieszana) [ 160, LVSA, 2009 ].

Nie dostarczono dalszych dowodów z rzeczywiście istniejących zakładów, stąd nie wiadomo, czy był to pojedynczy przypadek, czy też podobna sytuacja miała miejsce także w innych celulozowniach siarczanowych.

## II. Roztworzenie siarczynowe:

W niemal wszystkich zakładach kwas DTPA jest używany w bielarniach (1 – 2 kg DTPA/ADt). W zależności od stopnia zamknięcia układu bielarni, 10 – 90% tej ilości trafia ostatecznie do ścieków. Zwykle nie należy się spodziewać istotnego stopnia biodegradacji DTPA w oczyszczalni ścieków. Tak więc celulozownie, w których nie występuje pierwszy etap wybielania z wykorzystaniem MgO, który to etap pozwala, by część cieczy myjących była zwracana do odzysku (patrz pkt 4.3.8) uwalniają praktycznie 90 – 100% wykorzystanego DTPA lub 1 – 2 kg DTPA/ADt.

W niemieckiej celulozowni wykorzystującej sekwencję bielenia  $P_{MgO-A-P_{NaOH}}$  80 – 90% wykorzystanego DTPA trafia w ramach recyrkulacji do instalacji odzysku chemikaliów, co skutecznie zapobiega uwalnianiu DTPA do zbiornika wodnego. Produkując 500 – 600 ton masy celulozowej na dobę, zakład ten zużywa około 1 000 kg DTPA na dobę, z czego zaledwie 50 – 60 kg DTPA na dobę jest faktycznie uwalniane do środowiska.

Skuteczność substytutów EDTA lub DTPA wydaje się zależeć od szeregu czynników, takich jak rodzaj roztwarzania i bielenia, wykorzystywane gatunki drewna i ich zawartość metali, zawartość metali ziem alkalicznych i metali ciężkich (zanieczyszczeń) w zasadzie wybielającej (np. dodatek MgO w przypadku celulozowni siarczynowych) i ostatecznych wymogów w zakresie białości. Jedną z niemieckich celulozowni wykorzystuje mieszaninę DTPA i DTMPA, fosfonianu, który także nie jest łatwo biodegradowalny, ale jest w większym stopniu adsorbowany przez osad biologiczny. W związku z tym, że DTMPA gromadzi się na biomacie w oczyszczalni ścieków, może on być wyeliminowany ze ścieków, co sprawia, że do zbiornika wodnego uwalniana jest mniejsza ilość środków chelatujących [ 216, Patt 2009 ].

Celulozownia siarczynowa Nordic Paper, SE, wykorzystuje 0,7 – 1,0 kg EDTA/ADt, z czego większość trafia do oczyszczalni ścieków. Przy zastosowaniu procesu prowadzonego w trzystopniowym reaktorze, połączonego z technologią MBBR, poziom degradacji EDTA wynosi 40%.

## III. Ścier drzewny

Kilka prób przeprowadzonych w austriackich zakładach przez Holzforschung w zakresie oksydacyjnego bielenia ścieru drzewnego pokazało wyraźnie, że eliminacja DTPA prowadzi do spadku białości o 5 – 6 punktów w skali białości według ISO. Próby zastąpienia DTPA innymi substancjami chemicznymi (sprzedawanymi przez

dostawców jako substancje biodegradowalne) wykazały, że ograniczenie (np. o 0,3 – 0,05%) DTPA jest możliwe, jednak przy jednoczesnym obniżeniu białości o 1 – 2 punkty. Zamienniki bazujące na fosfonianach dawały w niektórych przypadkach wyniki zbliżone do wyników osiąganych przy stosowaniu DTPA. Zawartość fosfonianów w zamienniku może powodować zakłócenia w pracy instalacji klarowania. W niektórych zakładach nie zaobserwowano tego rodzaju problemów w związku ze stosowaniem fosfonianów jako podatnych na eliminację alternatywnych środków chelatujących, osiągających właściwości kompleksujące zbliżone do DTPA [ 161, C. Hoelger i wsp. 2008 ]. W jednym z zakładów celulozowo-papierniczych w Niemczech odnotowano znaczne zmniejszenie ilości DTPA używanego na linii ścieru drzewnego, z 2 kg DTPA/t do 0,4 kg DTPA/t masy (źródło: niemiecka Agencja Ochrony Środowiska, 2010).

#### IV. Odbarwiana masa włóknista powstała w wyniku przetwarzania makulatury

W większości przypadków środki chelatujące nie są wymagane do produkcji odbarwianej masy bielonej z makulatury. Stabilizacja nadtlenu wymagana do bielenia utleniającego następuje głównie poprzez zastosowanie naturalnych lub zmodyfikowanych rodzajów krzemianu sodu (krzemiany Na/K). Ze względu na wysoką zawartość wapnia w wodach technologicznych, wpływ EDTA lub DTPA jest znacznie ograniczony, w związku z czym ich stosowanie jest zwykle nieskuteczne. W drodze wyjątku, DTPA jest stosowany jako środek chelatujący w produkcji papieru bardzo wysokiej jakości, takiego jak papier jakości SC-B produkowany w 100% z odbarwionej masy (DIP), lub SC-A z wykorzystaniem 25% DIP (przykładowy zakład w Niemczech). Przed etapem z zastosowaniem nadtlenu przeprowadzany jest dodatkowy etap mycia. Ilości DTPA wykorzystane w tych przypadkach są stosunkowo niewielkie.

#### Oddziaływanie na procesy i środowisko

W przypadku stosowania biodegradowalnych środków kompleksujących nie należy się spodziewać jakiegokolwiek negatywnego oddziaływania na procesy i środowisko (pod warunkiem, że środki alternatywne dorównują pod względem skuteczności tradycyjnym środkiem chelatującym).

Gdy główną cechą substytutów jest większa zdolność adsorpcji (np. w przypadku niektórych fosfonianów), kompleksy metali nie są biodegradowalne. Nie są one jednak uwalniane wraz z odprowadzanymi ściekami, lecz są adsorbowane na powierzchni bielonych włókien lub osadu biologicznego, który jest w większości przypadków spalany.

Badania przeprowadzone przez instytut *Holzforchung* w Austrii (HFA) w kierunku eliminacji fosfonianów (testy zgodnie z normą EN ISO 7827) wykazały, że fosfoniany nie są biodegradowalne; badania te wykazały również, że fosfoniany nie ulegają adsorpcji na osadzie biologicznym w stopniu zgłaszającym przez inne podmioty, oraz że są one bardzo trudno wykrywalne i mogą zwiększać zawartość fosforu w ściekach.

Jednak w przypadku zastosowania fosfonianów jako środków chelatujących na pełną skalę, np. w papirni Albrbruck (DE), po przejściu fosfonianów przez biologiczną oczyszczalnię ścieków wykazano, że są one usuwane w około 90% [ 161, C. Hoelger i wsp. 2008 ].

#### Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki

Stopniowe podejście do ograniczania emisji wynikających ze stosowania środków

chelatujących ma zastosowanie zarówno do nowych jak i istniejących zakładów. W zależności od stosowanych substytutów, konieczne mogą być niewielkie lub bardziej poważne zmiany w procesie w celu zapewnienia skuteczności tych środków kompleksujących. Stwierdzono, na przykład, że konieczne było pewne dostosowanie procesu, zazwyczaj w odniesieniu do wartości pH lub punktu dozowania środka chelatującego, w celu optymalizacji procesu prowadzonego z wykorzystaniem nowej mieszanki.

Często biodegradowalne alternatywy dla EDTA/DTPA są wysoce swoiste, tj. w przypadku różnych procesów roztwarzania i bielenia stosowane muszą być różne środki chelatujące. Nie istnieje jeden uniwersalny środek chelatujący, taki jak EDTA/DTPA. Przed ich zastosowaniem, konieczne jest dostosowanie procesu oraz określenie najbardziej odpowiednich dodatkowych substancji wybielających.

### **Aspekty ekonomiczne**

Bilans masowy wykorzystania i los stosowanych środków chelatujących (EDTA lub DTPA) wymaga uwzględnienia kosztów pobierania próbek, analiz chemicznych oraz sporządzania raportów. W przypadku pełnoskalowych badań z wykorzystaniem większej liczby biodegradowalnych substytutów, pobieranie próbek, analizy, itp. na etapie testów jest zazwyczaj prowadzone na koszt dostawców, tak więc nie powinno się to wiązać z żadnymi dodatkowymi kosztami ponoszonymi przez celulozownię. Jeśli chodzi o względy ekonomiczne związane z obliczaniem bilansu masy i testowaniem produktów tradycyjnych i ich substytutów, brak jakichkolwiek różnic w tym zakresie, ponieważ w przypadku zarówno produktów tradycyjnych jak i alternatywnych stosowana jest taka sama procedura.

Gdy operator zdecyduje o zastosowaniu łatwiej biodegradowalnego substytutu, konieczne będzie zamontowanie pompy dozującej i odpowiednich rur. Jednak gdy biodegradowalne środki chelatujące są stosowane na stałe, zakład wykorzystuje te same pompy dozujące/zbiorniki i rurociągi, które są wykorzystywane przy stosowaniu DTPA/EDTA, w związku z czym nie powinny wystąpić żadne dodatkowe koszty. Istnieje bardzo małe prawdopodobieństwo konieczności wprowadzenia znacznych modyfikacji w instalacji, a zatem koszty inwestycyjne konieczne w celu zastąpienia dodatków wybielających są bardzo niewielkie.

Głównym skutkiem kosztowym jest cena biodegradowalnego, alternatywnego środka chelatującego. Cena jednostkowa 100% czynnego składnika była w 2010 r. wyższa w przypadku ulegających biodegradacji lub eliminacji substytutów w porównaniu z DTPA lub EDTA. Jeden dostawca substancji chemicznych informował, że ceny jednostkowe biodegradowalnych substytutów są ~ 10 – 15% wyższe od ceny jednostkowej DTPA. Natomiast papiernia SCA Laakirchen, AT, przekazała informację, że koszty wybielania w przypadku stosowania wyłącznie przetestowanego, alternatywnego środka chelatującego ulegną znacznemu wzrostowi (nawet o 200%) [162, U.Hamm 2009].

### **Motywacja do wdrożenia**

Zalecenie Komisji w sprawie środków mających na celu zmniejszenie ryzyka dla substancji takich jak EDTA [260, zalecenie Komisji 2006/283/WE 2006] proponuje w sekcji 6 szereg środków mających na celu zmniejszenie emisji EDTA, które mają zastosowanie również do innych słabo biodegradowalnych środków chelatujących, takich jak DTPA:

- ustanowienie środowiskowych norm jakości (EQS) i krajowych środków

- ograniczania zanieczyszczeń;
- rozważenie stosowania EDTA w przypadku pozwoleń wydawanych na mocy dyrektywy 2010/75/EU;
- monitorowanie wdrażania BAT w odniesieniu do EDTA oraz informowanie Komisji o wszelkich istotnych zmianach w ramach wymiany informacji w zakresie BAT.

Ponadto w komunikacie Komisji w sprawie wyników oceny ryzyka i strategii ograniczania ryzyka dla różnych substancji, między innymi EDTA [ 259, komunikat Komisji 2006/C90/04 2006 ], zaleca się, by w zaktualizowanym dokumencie BREF znalazły się wytyczne dotyczące BAT w odniesieniu do stosowania EDTA. Dyrektywa 2008/105/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 16 grudnia 2008 roku w sprawie środowiskowych norm jakości w dziedzinie polityki wodnej [ 263, dyrektywa 2008/105/WE 2008 ] (dyrektywa – córka do art. 16 Ramowej Dyrektywy Wodnej UE) uwzględnia EDTA w załączniku III – ‘Substancje podlegające ewentualnemu zakwalifikowaniu jako substancje priorytetowych lub priorytetowe substancje niebezpieczne’.

Na mocy pewnych przepisów krajowych i w ramach kompetencji właściwych organów regionalnych, celulozownie są wzywane do zmniejszenia emisji EDTA lub DTPA do wód przyjmujących (m.in. w Austrii i Niemczech), a ww. organy oceniają dostępność substytutu indywidualnie dla każdego przypadku. Jeśli wody rzek lub jezior przyjmujących są wykorzystywane w celu zapewnienia wody pitnej, organy ds. ochrony środowiska ustalają coraz bardziej rygorystyczne limity dopuszczalnych stężeń EDTA i DTPA.

### **Instalacje referencyjne**

Kilka celulozowni siarczynowych nie stosuje żadnych środków chelatujących w ramach gospodarki metalami, chociaż jest to praktyka stosowana powszechnie w większości tego typu zakładów. Inne starają się ograniczyć uwalnianie środków chelatujących z zakładu do przyjmujących wód powierzchniowych. Według poufnych informacji, pewna celulozownia produkująca masę mechaniczną w Europie Środkowej stosuje z powodzeniem biodegradowalny środek chelatujący w prowadzonym w niej procesie od stycznia 2009 r. Wiadomo także o zakładzie przetwarzającym makulaturę w Europie Środkowej wykorzystującym regularnie biodegradowalny środek chelatujący.

Ze względu na poufność prowadzonych na pełną skalę doświadczeń, przedstawienie bardziej szczegółowych informacji nie jest możliwe.

### **Bibliografia**

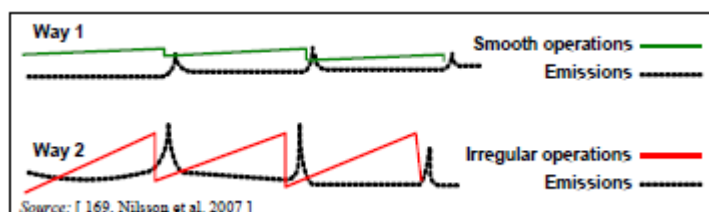
[ 161, C. Hoelger i wsp. 2008 ], [ 162, U.Hamm 2009 ], [ 206, Akso Nobel 2007 ], [ 208, Langi i wsp. 2007 ], [ 209, Aschacher i wsp. 2007 ], [ 216, Patt 2009 ], [ 221, Sankari 2009 ], [ 222, S. Metsärinne i wsp. 2007 ], [ 223, H. Hyvönen i wsp. 2003 ], [ 224, Aschacher 2009 ], [ 259, komunikat Komisji 2006/C90/04 2006 ], [ 260, zalecenie Komisji 2006/283/WE 2006 ], [ 263, dyrektywa 2008/105/WE 2008 ], [ 264, WFD 2000/60/WE 2000 ].

## 2.9.10 Zapewnienie sprawnego przebiegu procesów i ograniczenie do minimum przypadkowych uwolnień

### Opis i główne korzyści środowiskowe

W wielu przypadkach zapewnienie sprawnego przebiegu procesów i ograniczenie przypadkowych uwolnień ma znaczący wpływ na osiągnięty poziom efektywności ‘technik do rozważenia przy ustalaniu BAT’, omawianych w rozdziałach 3 – 7. Sprawny przebieg procesów poprawia wydajność materiałową, zmniejsza poziom zanieczyszczeń, zmniejsza zużycie energii i obniża koszty [ 169, Nilsson i wsp. 2007 ]. Natomiast powtarzające się przerwy w produkcji, przestoje techniczne i przypadkowe uwolnienia przyczyniające się do zwiększenia emisji i powodują straty w ramach procesów. Sprawna i bezpieczna praca maszyn i taki sam przebieg procesów gwarantuje niskie poziomy emisji bez konieczności ponoszenia dalszych nakładów na środki stosowane „na końcu rury”. Jednakże w branży celulozowo-papierniczej są okresy, gdy wskaźniki wykorzystania mocy produkcyjnych w zakładach celulozowo-papierniczych są dość niskie – może się tak dzieć z przyczyn rynkowych, z powodu niepokojów na rynku pracy lub innych zakłóceń niezależnych od zakładu. Taki stan powoduje zwiększenie jednostkowego zużycia energii oraz wartości emisji (wyrażonych w kg zanieczyszczeń na tonę masy włóknistej lub papieru). Dlatego, z punktu widzenia ochrony środowiska, najkorzystniejszym stanem jest prowadzenie ciągłych serii produkcyjnych bez przerw. Jednak różne warunki rynkowe mogą wymuszać zmiany w zakresie zawartości wkładu i wytwarzanych produktów. Oznacza to, że nie istnieje jedna najlepsza praktyka, jeśli chodzi o to, co należy produkować, a jedynie jak produkować różne rodzaje papieru i masy włóknistej z wykorzystaniem najlepszych praktyk i środków.

Rysunek 2.30 przedstawia zależności między sprawnym i nierównym przebiegiem procesów a osiąganymi poziomami emisjami. Sprawny przebieg procesów oznacza unikanie szczytowych/bardzo niskich poziomów produkcji i uruchomień/zatrzymań oraz nadzwyczajnych wysokich/niskich obciążeń, prowadząc do zmniejszenia emisji i ograniczenia zużycia energii. Przebieg procesów ma również wpływ na jakość produktów.



Rysunek 2. 30 Poziomy emisji w zależności od przebiegu procesów w zakładzie

Way 1	Sposób 1
Smooth operations	Sprawny przebieg procesów
Emissions	Emisje
Irregular operations	Nierówny przebieg procesów
Emissions	Emisje
Way 2	Sposób 2
Source: [ 169, Nilsson et al. 2007 ]	Źródło: [ 169, Nilsson i wsp. 2007 ]

Dążenie do sprawnego przebiegu procesów polega na wykorzystywaniu dostępnych informacji, aby mieć świadomość warunków, które mogą powodować zakłócenia, i by podejmować na czas odpowiednie działania, jeśli wystąpi taka konieczność. Poniższa lista zawiera opis środków ograniczających przypadkowe uwolnienia, które należy rozpatrzyć indywidualnie dla każdego przypadku.

- Nowoczesne systemy informatyczne, systemy automatyki i komputerowe systemy sterowania z możliwością prowadzenia pomiarów on-line, w szczególności w zakresie monitorowania emisji do atmosfery, zmniejszają potrzebę oddzielnej kontroli emisji i umożliwiają prowadzenie odpowiednich statystyk.
- Ciągłe pomiary i monitorowanie parametrów procesów w celu zapewnienia stabilności procesu, zarówno dla celów procesów produkcyjnych jak i technik kontroli emisji, pozwalające na uzyskanie danych niezbędnych do zapewnienia warunków operacyjnych o parametrach procesów bliskich wartościom optymalnym i dążenie do utrzymywania krytycznych parametrów procesów na stabilnym poziomie.
- Oznaczanie N i P w długich odstępach czasu nie dostarcza operatorowi informacji niezbędnych do podjęcia natychmiastowych działań w przypadku niewystarczającej dawki składników odżywczych lub nieprawidłowego działania oczyszczalni biologicznej. W ramach samokontroli można prowadzić pomiary on-line dla azotu i fosforu w celu kontroli dozowania składników odżywczych. Analiza on-line próbek pozwala na ciągłą ocenę stanu składników odżywczych w oczyszczalni i, w przypadku jej niskiej sprawności lub niewłaściwej dawki składników odżywczych, podjęcie szybkich działań. W wielu przypadkach korzystanie z pomiarów on-line w celu uzyskania dodatkowych informacji na temat poziomów i zmienności składników odżywczych uzupełnia działania prowadzone w ramach samodzielnej kontroli opartej na badaniach laboratoryjnych.
- Optymalne pojemności zbiorników i basenów do wykorzystania w przypadku wyjątkowych uwolnień.
- Optymalny poziom produkcji w odniesieniu do maksymalnych zdolności produkcyjnych. Prowadzenie produkcji przy pełnym wykorzystaniu zdolności produkcyjnych naraża instalację na zakłócenia w przebiegu procesów i brak pewności, co do skuteczności kontroli emisji.
- Wymiana informacji zwiększa zdolność do podejmowania odpowiednich działań w odpowiednim czasie. Komunikacja wymaga zaangażowania na wszystkich szczeblach i regularnych spotkań przedstawicieli wszystkich działów. W wymianie informacji powinien uczestniczyć także personel obsługujący procesy.
- Aktywne informowanie o wystąpieniu wyjątkowych warunków. Wszystkie informacje odnoszące się do środowiska powinny być przekazywane do sterowni w zakładzie z wykorzystaniem funkcjonującego w nim systemu informatycznego. Oczyszczalnia ścieków powinna być sterowana ze sterowni zakładu, a nie oddzielnie.
- Staranne planowanie wyłączeń i związanych z tym działań – przygotowanie na wypadek zakłóceń.

Techniki zmniejszania emisji do atmosfery i wody mogą być opracowywane i stosowane w sposób pozwalający na znaczne zmniejszenie nieoczekiwanych obciążeń szczytowych i przypadkowych uwolnień (patrz też pkt 10.2.2).

### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Nie dostarczono informacji.

### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Przedstawiona technika ma pozytywne oddziaływanie na środowisko, ponieważ zapobiega zanieczyszczeniu wszystkich jego elementów.

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Środki/techniki mogą być stosowane w nowych jak i w istniejących zakładach.

### **Aspekty ekonomiczne**

Nie dostarczono informacji.

### **Motywacja do wdrożenia**

Sprawny przebieg procesów i mniej przypadkowych uwolnień zwiększa wydajność materiałową, zmniejsza poziom zanieczyszczeń (odpady, emisje), a w większości przypadków także i koszty. Sprawna i bezpieczna praca maszyn i taki sam przebieg procesów gwarantuje zmniejszenie poziomu emisji.

### **Instalacje referencyjne**

Wiele zakładów celulozowo-papierniczych w Europie wdrożyło środki służące zapewnieniu sprawnego przebiegu procesów i techniki kontroli emisji do wody i atmosfery, ograniczając tym samym przypadkowe uwolnienia do środowiska.

### **Bibliografia**

[ 169, Nilsson i wsp. 2007 ].

## **2.9.11 Zmniejszanie ładunku zanieczyszczeń w ściekach**

### **2.9.11.1 Pierwszy stopień oczyszczania ścieków**

#### **Opis**

Pierwszy stopień oczyszczania ścieków polega na oczyszczaniu fizykochemicznym poprzez wyrównanie poziomów szczytowych, neutralizację lub sedymentację.

Celem pierwszego stopnia oczyszczania jest unikanie szczytowych wartości w odniesieniu do ładunków zanieczyszczeń, strumienia lub temperatury ścieków doprowadzanych do oczyszczalni ścieków, a tym samym ochrona biologicznej oczyszczalni ścieków, oraz wstępne zmniejszenie ładunku zanieczyszczeń, co umożliwia skuteczniejsze oczyszczanie biologiczne, w ramach którego powstaje mniejsza ilość osadu. Pierwszy stopień oczyszczania ścieków w zakładach celulozowo-papierniczych może obejmować wyrównanie obciążeń, neutralizację i sedymentację, flotację, filtrację, itd. W ramach wyrównania poziomów obciążeń (np. z wykorzystaniem basenów wyrównawczych lub dużych zbiorników buforowych) napływające ścieki są zbierane, mieszane i przejściowo przechowywane w celu uniknięcia wartości szczytowych. Zawiesiny (włókna, cząstki kory oraz materiał organiczny, taki jak wypełniacze) są usuwane za pomocą środków mechanicznych (sedymentacji, flotacji

i filtracji). W celu zwiększenia stopnia klaryfikacji i oddzielenia niektórych zawiesin, można stosować dodatek koloidów i pewnych rozpuszczonych koagulantów lub flokulantów.

### **Główne korzyści środowiskowe**

Zmniejszenie ładunku zanieczyszczeń, w szczególności zawiesin.

### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Oczyszczanie ścieków nie jest zwykle ograniczone do pierwszego stopnia oczyszczania, który jest traktowany raczej jako oczyszczanie wstępne. W związku z tym oddziaływanie na środowisko oraz dane operacyjne zostały zawarte w informacjach na temat wtórnych metod oczyszczania specyficznych dla sektora celulozowo-papierniczego przedstawionych w rozdziałach 3 – 7.

### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Oczyszczanie ścieków w ramach pierwszego stopnia oczyszczania wymaga zużycia energii potrzebnej do pompowania, itd. i wiąże się z powstawaniem osadu.

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Omawiana technika może być stosowana zarówno w nowych jak i istniejących instalacjach.

Informacje odnoszące się do omawianej techniki dotyczące oddziaływania na procesy i środowisko, możliwości zastosowania, aspektów ekonomicznych, motywacji do wdrożenia, referencyjnych instalacji i literatury zostały przedstawione w pkt 6.3.6 i 7.3.10.

## **2.9.11.2 Drugi stopień oczyszczania ścieków**

### **2.9.11.2.1 Biologiczne oczyszczanie ścieków metodą tlenową**

#### **Opis**

W przypadku biologicznego oczyszczania ścieków metodą tlenową ładunek podatny na rozkład biologiczny jest zmniejszany w obecności tlenu na skutek trawienia przez mikroorganizmy, tworząc biomasę, dwutlenek węgla i wodę.

Po przejściu przez pierwszy stopień oczyszczania, którego celem jest zwykle ochrona biologicznej oczyszczalni ścieków przed nadmiernymi obciążeniami i szczytowymi wartościami zanieczyszczeń, ulegający biodegradacji rozpuszczony materiał koloidalny zawarty w ściekach zostaje przekształcony przez mikroorganizmy w obecności powietrza w stałą substancję komórkową (biomasę), dwutlenek węgla i w wodę. Po zakończeniu procesu biodegradacji, biomasa zostaje oddzielona od wody zwykle za pomocą osadników (klaryfikację może ułatwić flokulacja, itp.). Dostępne są różne technologie procesu, które można podzielić na dwie główne kategorie: systemy z wykorzystaniem osadu czynnego (instalacje jedno- lub dwustopniowe z osadem czynnym lub napowietrzane laguny) i systemy oparte na tworzeniu się biofilmu (takie jak reaktory ze złożem ruchomym (MBBR) lub bioreaktory membranowe (MBR)). Stosowane jest także połączenie biofilmu z systemami z osadem czynnym.



**a) *Proces z osadem czynnym***

Instalacja w technologii osadu czynnego składa się z dwóch głównych jednostek – zbiornika napowietrzającego i osadnika wtórnego (zbiornika sedymentacyjnego). W zbiorniku napowietrzającym ścieki zostają przetworzone przez mikroorganizmy (osad czynny), które są w nim obecne w wysokim stężeniu. Osad oddziela się od wody w osadniku. Większość osadu zawraca się do zbiornika napowietrzającego, co jest niezbędne dla zachowania wysokiej koncentracji osadu. Niewielka część osadu, odpowiednio do wzrostu netto, jest usuwana z układu jako nadmiaru osadu.

Napowietrzanie w pierwszym zbiorniku odbywa się za pomocą mechanicznych urządzeń do napowietrzania. W tym celu stosowane są różne rodzaje aeratorów, np. aeratory powierzchniowe, zanurzeniowe aeratory turbinowe, aeratory drobno pęcherzykowe i aeratory strumieniowe. Ostatnie trzy rodzaje wymagają sprężonego powietrza z dmuchawy lub sprężarki. Proces z wykorzystaniem osadu czynnego może być prowadzony w wielu różnych technologiach i w instalacjach zaprojektowanych na wiele różnych sposobów.

Poszczególne warianty mogą różnić się pod względem konstrukcji zbiornika napowietrzającego, liczby stopni w procesie, rodzaju osadnika oraz urządzeń do napowietrzania, a także zawracania osadu do obiegu.

**b) *Napowietrzane laguny***

Napowietrzana laguna ma dużą objętość, a czas przebywania w niej ścieków waha się od 3 do 20 dni. Wzrost drobnoustrojów ma miejsce w zawiesinie w dużej ilości cieczy, osiągając w lagunie stosunkowo niskie stężenie substancji stałych rzędu 100 – 300 mg/l. Wzrost drobnoustrojów wymaga tlenu, który jest dostarczany prawie wyłącznie przez mechaniczne urządzenia do napowietrzania. W tym celu najczęściej wykorzystywane są powierzchniowe aeratory turbinowe, choć w przypadku głębokich lagun używane są również aeratory denne samowzbudne lub strumieniowe. Urządzenia napowietrzające zapewniają również mieszanie konieczne do utrzymania cząstek stałych w zawiesinie i zwiększenia wydajności drobnoustrojów. Laguny napowietrzane wymagają dostępności dużych powierzchni i objętości, i są budowane jako zbiorniki ziemne ze strefą sedymentacyjną lub bez. W pierwszym przypadku, koniec laguny pozostaje bez napowietrzania i mieszania, co umożliwia osadzanie się cząstek stałych. W drugim przypadku proces osadzania się cząstek stałych ma miejsce w oddzielnym zbiorniku. Proces biologiczny nie wymaga recyrkulacji biomasy z początku do końca zbiornika. Osadzony osad jest usuwany rzadko, raz na 1 – 10 lat.

Napowietrzane laguny są obecnie mniej popularnym rozwiązaniem, a wynika to z wielu powodów: wykazują one niższą efektywność usuwania zanieczyszczeń w ściekach w porównaniu z procesem z osadem czynnym, wymagają dużej powierzchni terenu i pojemności zbiornika oraz dużych ilości energii elektrycznej przy niskiej sprawności energetycznej napowietrzania i mieszania. Bardziej ambitne wymogi w odniesieniu do ścieków przyczyniły się do likwidacji wielu lagun wykorzystywanych w sektorze celulozowo-papierniczym lub do ich modernizacji w celu osiągnięcia wysokiej skuteczności procesów z udziałem osadu czynnego lub poprzez dodanie uzupełniających zbiorników do oczyszczania ścieków.

**c) *Reaktory ze złożem ruchomym z biofilmem***

Podstawą procesu z wykorzystaniem reaktora ze złożem ruchomym z biofilmem (MBBR) są przenośniki biofilmu, które są wykonane z polietylenu. Elementy te zapewniają dużą, chronioną powierzchnię dla biofilmu i optymalne warunki dla wzrostu bakterii. Kultury bakterii trawią rozpuszczalne związki organiczne, stopniowo dojrzewają i odpadają z przenośników. Kultury bakterii tworzą naturalne kłaczkę, które można łatwo oddzielić od wody.

**d)** *BAS – Oczyszczanie z zastosowaniem biofilmu i osadu czynnego*

W celu zmniejszenia objętości i zużycia energii, w ciągu ostatniej dekady opracowane zostały kompaktowe biologiczne oczyszczalnie ścieków, w których wykorzystywane są ruchome złoża i osad czynny (technologia BAS: ang. biofilm-activated sludge).

Zaletą nośnika biofilmu jest to, że duża ilość biomasy pozostaje na nośniku i nie musi trafiać do obiegu w komorze sedymentacyjnej. Zaletą ruchomych nośników biofilmu w porównaniu ze złożami stałymi jest to, że nie powodują one niebezpieczeństwa zatykania się wolnych przestrzeni złoża.

Zastosowanie tej technologii skraca czas retencji o co najmniej 50% w porównaniu z tradycyjnymi instalacjami z osadem czynnym. Mniejsza wymagana objętość pozwala budować biologiczne oczyszczalnie bliżej linii produkcyjnej, generując w ten sposób oszczędności energii i kosztów. Zmniejszenie emisji ChZT jest zbliżone we wszystkich różnych rodzajach oczyszczalni ścieków z osadem czynnym, jednak produkcja osadu jest mniejsza niż w oczyszczalniach z osadem czynnym, gdy osad ulega rozkładowi na ostatnim etapie w oczyszczalni BAS (np. oczyszczalnia BAS: 0,15 kg zawiesiny/kg zredukowanego ChZT w porównaniu z 0,3 kg zawiesiny/kg zredukowanego ChZT w przypadku oczyszczalni z osadem czynnym pracującej z wykorzystaniem technologii LAS (ang. long-term sludge) (odniesienie: zakłady Södra). Redukcja chloranu jest na wysokim poziomie (95 – 100%) ze względu na warunki beztlenowe w narastającej biomacie. Oczyszczalnie wykorzystujące technologię BAS zużywają mniej energii elektrycznej niż inne oczyszczalnie, ze względu na ich kompaktową objętość (BAS 23 kWh/ADt w porównaniu z 33 kWh/ADt w przypadku technologii LAS (odniesienie: zakłady Södra). Jednak tego rodzaju kompaktowe systemy są wrażliwe na brak składników odżywczych wynikający z krótkiego czasu retencji. W związku z tym systemy te są eksploatowane przy nadmiarze składników odżywczych, co prowadzi do zwiększenia emisji azotu i fosforu.

**e)** *Bioreaktor membranowy*

Bioreaktor membranowy (MBR) składa się zazwyczaj z napowietrzanego bioreaktora, podobnego do bioreaktora stosowanego w procesie z osadem czynnym, pracującego w połączeniu z procesem z udziałem membran, prowadzonym w celu oddzielania biomasy od odcieku. Możliwe są dwa podstawowe ustawienia bioreaktora MBR: w pierwszej membrany są zanurzone w reaktorze i są integralną częścią reaktora biologicznego (wewnętrzne/zanurzone), natomiast w drugim, membrany są podstawą oddzielnego procesu następującego po etapie reaktora biologicznego (zewnętrzne/strumień boczny). Sklarowany filtrat z etapu z udziałem membran może być ponownie wykorzystany w procesie, podczas gdy oddzielona biomasa jest zawracana do bioreaktora. Wysoka jakość filtratu sprawia, że technologia MBR jest idealnym rozwiązaniem w przypadku wewnętrznego oczyszczania wody poddawanej cyrkulacji. Aby uniknąć gromadzenia się cząstek stałych na powierzchni membrany, system membranowy wymaga czyszczenia mechanicznego lub chemicznego w określonych odstępach czasu. Zwykle czyszczenie jest przeprowadzane w pełni automatycznie, bezpośrednio w zbiorniku MBR (bez konieczności usuwania membran).

### **Główne korzyści środowiskowe**

Zmniejszenie emisji substancji organicznych (ChZT, BZT), AOX, fosforu, azotu i środków chelatujących do wody.

### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Oczyszczalnie wykorzystujące osad czynny są bardzo popularne w przemyśle celulozowo-papierniczym. Szacuje się, że proces z wykorzystaniem osadu czynnego jest stosowany w 60 – 75% wszystkich biologicznych oczyszczalni ścieków w tym sektorze, i jest najczęściej wykorzystywaną technologią oczyszczania ścieków w ostatnio wybudowanych oczyszczalniach. Generalnie proces z wykorzystaniem osadu czynnego – lub porównywalne techniki, takie jak reaktory z ruchomym złożem z biofilmem – wykazują wysoką skuteczność oczyszczania. Jednakże biomasa jest wrażliwa na zakłócenia i niestabilne warunki operacyjne. Dlatego operatorzy zazwyczaj zastrzegają, by w napowietrzanych zbiornikach z biomasą unikać szczytowych obciążeń lub przepływów, lub by nie dopuszczać do przedostania się do nich strumieni ścieków toksycznych. Środki stosowane w tym zakresie obejmują kontrolę stabilności procesu produkcyjnego (patrz pkt 2.9.10), unikanie wprowadzania wraz ze ściekami wycieków stężonych cieczy (patrz pkt 3.3.9) oraz korzystanie ze zbiorników awaryjnych (patrz pkt 3.3.12) i zbiorników wyrównawczych. Najczęstszym powodem niższej efektywności oczyszczalni jest jej projekt i zwymiarowanie, zbyt wysokie obciążenie lub niewystarczająca konserwacja i praca systemu.

Temperatura ścieków wpływa na przebieg procesów biologicznych. W przypadku procesów tlenowych temperatura nie może przekroczyć 30 – 35°C i konieczne może być chłodzenie.

Więcej informacji na temat oddziaływania poszczególnych technik na środowisko oraz danych operacyjnych odnoszących się do ich stosowania w poszczególnych podsektorach przemysłu celulozowo-papierniczego przedstawiono w punktach poświęconych oczyszczaniu ścieków w rozdziałach 3 – 7 dotyczących poszczególnych podsektorów.

### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Biologiczne oczyszczanie ścieków metodą tlenową wymaga energii elektrycznej (np. aeratory i pompy) i generuje osad, który przed utylizacją lub składowaniem wymaga zazwyczaj przetworzenia.

W niektórych biologicznych oczyszczalniach ścieków wykorzystywanych w przemyśle celulozowym wykryto bakterie *Legionella*. Problem ten powinien zostać rozwiązany przez operatorów we współpracy z właściwymi organami, aby ograniczyć do minimum i kontrolować rozprzestrzenianie się tych bakterii.

W przypadku kompaktowych biologicznych oczyszczalni ścieków, stosowanie nadmiaru składników odżywczych może prowadzić do zwiększenia emisji azotu i fosforu.

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Omawiana technika może być stosowana zarówno w nowych jak i istniejących instalacjach. Szczegółowe informacje dotyczące możliwości stosowania, aspektów ekonomicznych, itd. przedstawiono w punktach dotyczących drugiego stopnia oczyszczania dla poszczególnych

---

procesów produkcji mas włóknistych i papieru w rozdziałach 3 – 7.

Informacje odnoszące się do omawianej techniki dotyczące aspektów ekonomicznych, motywacji do wdrożenia, referencyjnych instalacji i literatury zostały przedstawione w pkt 3.3.13, 4.3.16, 5.3.12, 6.3.8 i 7.3.11).

### 2.9.11.2.2 Wstępne biologiczne oczyszczanie ścieków metodą beztlenową

#### Opis

W przypadku biologicznego oczyszczania ścieków metodą beztlenową ładunek podatny na rozkład biologiczny jest zmniejszany w warunkach beztlenowych na skutek trawienia przez mikroorganizmy, tworząc głównie i dwutlenek węgla.

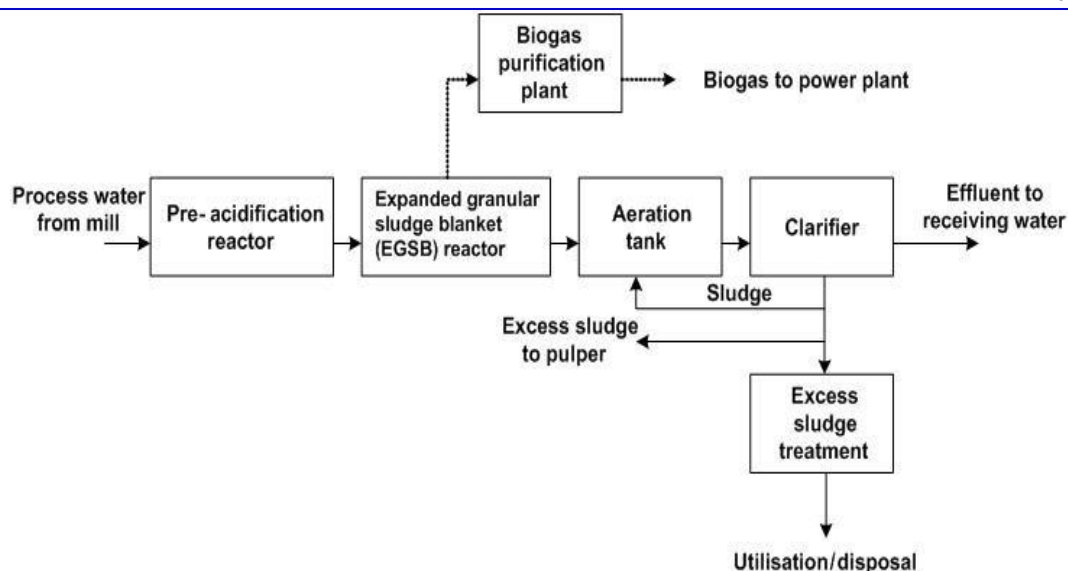
Powstały biogaz może po odsiarczeniu zostać wykorzystany do produkcji energii. W sytuacjach nadzwyczajnych możliwe jest zwykle spalanie biogazu z wykorzystaniem flar.

Dostępne są różne projekty technologiczne procesu. Stosowane są następujące główne typy reaktorów: reaktor ze złożem stacjonarnym, reaktor kontaktowy, beztlenowy reaktor ze złożem zawieszonym (UASB), reaktor z rozszerzalnym złożem granulowanym (EGSB), a ostatnio także reaktory z wewnętrzną cyrkulacją (IC). W reaktorach UASB i EGSB cząstki osadu są poddawane fluidyzacji przez dopływający strumień ścieków. W reaktorach IC gaz wytwarzany w systemie napędza przepływ i mieszanie się cieczy i cząstek stałych w reaktorze.

Głównym celem koncepcji różnych reaktorów jest zapewnienie wysokiego stężenia biomasy wewnątrz reaktorów. Jest to osiągnięte poprzez zawracanie wymytej biomasy po osadzeniu się w separatorze zewnętrznym (układ z reaktorem kontaktowym), lub przez dołączenie biomasy do nośnika pomocniczego wewnątrz reaktora (reaktor ze złożem stałym) lub poprzez automatyczną immobilizację skutkującą produkcją biomasy granulowanej (reaktory typu UASB i EGSB). Reaktory mogą pracować jako jednostki pojedyncze lub jako połączone jednostki modułowe.

Ścieki oczyszczane w warunkach beztlenowych nie spełniają wymogów dotyczących ostatecznych stężeń ChZT i BZT w oczyszczonych ściekach. Dlatego zwykle oczyszczanie beztlenowe nie jest stosowane samodzielnie. Ścieki oczyszczane metodą beztlenową są zawsze poddawane wstępnemu oczyszczaniu biologicznemu metodą tlenową.

Uproszczony schemat oczyszczalni ścieków pracującej z wykorzystaniem łączonej technologii beztlenowo-tlenowej został przedstawiony na rysunku 2.31 (w przypadku produkcji papieru graficznego na bazie masy RCF i bibułki tissue, nadmiar osadu nie może być zawracany do rozwłókniacza lub kadzi mieszalnej).



Źródło: [ 69, IFP 1998 ]

Rysunek 2. 31 Uproszczony schemat oczyszczalni ścieków pracującej z wykorzystaniem łączonej technologii beztlenowo-tlenowej

Biogas purification plant	Instalacja oczyszczania biogazu
Biogas to power plant	Biogaz przesyłany do elektrowni
Process water from mill	Woda procesowa z zakładu
Pre-acidification reactor	Reaktor wstępnego zakwaszania
Expanded granular sludge blanket (EGSB) reactor	Reaktor z rozszerzalnym złożem granulowanym (EGSB)
Aeration tank	Zbiornik napowietrzający
Clarifier	Osadnik
Effluent to receiving water	Ścieki odprowadzane do wody przyjmującej
Sludge	Osad
Excess sludge to pulper	Nadmiar osadu kierowany do rozwłóknacza
Excess sludge treatment	Przetwarzanie nadmiaru osadu
Utilisation/disposal	Utylizacja/składowanie
Source: [ 69, IFP 1998 ]	Źródło: [ 69, IFP 1998 ]

### Główne korzyści środowiskowe

Wstępne oczyszczanie metodą beztlenową zmniejsza ładunek zanieczyszczeń organicznych w ściekach, zmniejsza nadmiar wytwarzanych osadów w porównaniu z oczyszczaniem jedynie metodą tlenową i wykorzystuje zawartość energetyczną zawartą w organicznym ładunku zanieczyszczeń (produkcja biogazu).

### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

W porównaniu z oczyszczalniami, w których prowadzony jest tylko proces tlenowy, oczyszczalnie wykorzystujące połączoną technologię beztlenowo-tlenową okazały się być bardziej stabilnymi systemami w odniesieniu do zmieniających się obciążeń ChZT i ładunków substancji toksycznych lub hamujących w wodzie technologicznej. Dostępność tego typu oczyszczalni jest bliska 100%.

Aby stosowanie technik beztlenowych jako pierwszego etapu biologicznego oczyszczania ścieków było opłacalne, stężenie ChZT w wodzie procesowej nie powinno być niższe niż 1 000 – 2 000 mg/l.

W zależności od konstrukcji reaktora beztlenowego, zawiesiny cząstek stałych w stężeniach powyżej 200 – 500 mg/l mogą powodować problemy w systemach beztlenowych, w szczególności w reaktorach ze złożem stałym. W przypadku niektórych reaktorów UASB zaobserwowano powolny rozpad granulatu biomasy. W takim przypadku biomasa może być zastąpiona nowym granulatem z innych reaktorów UASB w celu utrzymania efektywnej pracy reaktora. Wstępne oczyszczanie beztlenowe znacznie zmniejsza prawdopodobieństwo zwiększenia objętości osadu na następnym etapie tlenowym.

W oczyszczalniach pracujących z wykorzystaniem skojarzonych technologii beztlenowych i tlenowych zapotrzebowanie na energię w celu usunięcia 1 tony ChZT (zużywanej głównie do pompowania i napowietrzania) wynosi około 200 – 300 kWh, podczas gdy w odpowiednio zaprojektowanych oczyszczalniach wykorzystujących wyłącznie metody tlenowe zapotrzebowanie na energię do usunięcia 1 tony ChZT może wynieść nawet 500 – 600 kWh. Objętość biogazu wytwarzanego w czasie rozkładu w warunkach beztlenowych mieści się w zakresie 400 – 600 m<sup>3</sup>/tonę usuniętego ChZT. Wytworzony biogaz składa się z metanu (60 – 75%), CO<sub>2</sub> (20 – 35%) i niewielkich ilości siarkowodoru. Przed wykorzystaniem jako substytut paliw kopalnych w zakładowych elektrowniach, biogaz jest poddawany odsiarczaniu. W przeciwnym razie w elektrowni mogą wystąpić problemy związane z korozją i wyższe emisje SO<sub>2</sub>.

W związku z tym, że wartość opałowa metanu wynosi 35,7 MJ/m<sup>3</sup>, energia wytworzona w procesie termicznej utylizacji biogazu w elektrociepłowni mieści się w zakresie 1 900 – 2 900 kWh/tonę usuniętego ChZT, przy założeniu sprawności energetycznej elektrowni na poziomie 75%. Energia z utylizacji biogazu pokrywa całkowite zapotrzebowanie energetyczne oczyszczalni pracującej z wykorzystaniem skojarzonych technologii beztlenowych i tlenowych. Część wytworzonej energii (około 70 – 80%) może być wykorzystana w innych celach, np. w procesie produkcji papieru.

Głównym parametrem stosowanym do kontroli efektywności oczyszczania ścieków z wykorzystaniem skojarzonych techniki beztlenowych i tlenowych jest wartość ChZT, która jest zazwyczaj analizowana codziennie. W przypadku systemów beztlenowych kolejnym ważnym parametrem wykorzystywanym do sterowania procesem jest produkcja biogazu, mierzona w sposób ciągły za pomocą licznika gazowego. Pozostałymi istotnymi parametrami poddawany ciągłym pomiarom są wartości CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> i zawartość H<sub>2</sub>S w biogazie.

### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Brak doniesień.

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Omawiana technika może być stosowana zarówno w nowych jak i istniejących instalacjach. Zwykle możliwe jest wprowadzenie etapu wstępnego oczyszczania metodą beztlenową w istniejącej oczyszczalni ścieków stosującej metody tlenowe, gdy skład wody procesowej, ładunek ChZT i zawartość siarczanów spełniają kryteria oczyszczania w warunkach beztlenowych. Wprowadzenie etapu wstępnego oczyszczania metodą beztlenową jest wskazane, gdy etap oczyszczania metodą tlenową pracuje z wykorzystaniem wszystkich mocy i istnieje prawdopodobieństwo, że jest przeciążony.

Oczyszczanie ścieków metodą beztlenową może wymagać więcej uwagi i ewentualnych zmian w odniesieniu do stosowanych dodatków chemicznych (np. środków czyszczących i odpinających oraz slimicydów), ponieważ mikroorganizmy beztlenowe są bardziej wrażliwe na tego rodzaju dodatki chemiczne i ich toksyczne działanie.

Informacje odnoszące się do omawianej techniki dotyczące oddziaływania na procesy i środowisko, możliwości zastosowania, aspektów ekonomicznych, motywacji do wdrożenia, referencyjnych instalacji i literatury zostały przedstawione w punktach dotyczących wstępnego oczyszczania metodą beztlenową w rozdziałach dotyczących poszczególnych procesów (patrz pkt 4.3.15 i 6.3.7).

#### **2.9.11.2.3 Sterowanie pracą biologicznych oczyszczalni ścieków i zoptymalizowana podaż składników odżywczych**

##### **Opis**

Emisje składników odżywczych są zmniejszane poprzez kontrolę funkcjonalności biologicznego oczyszczania ścieków oraz dostosowanie i optymalizację dawkowania składników odżywczych w celu uniknięcia ich nadmiaru.

Mikroorganizmy wykorzystywane w procesie biologicznego oczyszczaniu ścieków potrzebują do prawidłowego rozwoju azotu i fosforu. Ilość składników odżywczych w ściekach z zakładów celulozowo-papierniczych jest zwykle niska w porównaniu z ilością substancji organicznych. W związku z tym, aby oczyszczanie było efektywne, często konieczne jest dodanie do ścieków fosforu i azotu. Jednakże zalecane jest przeprowadzenie oceny, czy początkowa ilość substancji odżywczych w ściekach jest wystarczająca. W niektórych przypadkach, np. gdy wykorzystywanym surowcem jest eukaliptus, zawartość fosforu w ściekach jest wystarczająca i nie ma potrzeby dodania azotu, bądź wystarczy dodanie jedynie jego niewielkiej ilości. Poniżej przedstawiono istotne aspekty kontroli funkcjonalności biologicznego oczyszczania ścieków.

##### *Technika I. Dostateczna podaż składników odżywczych wykorzystywanych przez mikroorganizmy*

Mikroorganizmy w biologicznych oczyszczalniach ścieków potrzebują do rozkładu rozpuszczonych substancji organicznych w ściekach odpowiedniej ilości N i P. Ścieki z zakładów celulozowo-papierniczych zawierają zwykle jedynie niewielkie stężenia N i P, dlatego, aby zapewnić skuteczne funkcjonowanie biologicznej oczyszczalni ścieków, do ścieków dodawane są składniki odżywcze, np. w postaci mocznika i kwasu fosforowego.



Wyjątkiem są zakłady, w których roztwarzane jest drewno z eukaliptusa iberyjskiego, z którego podczas roztwarzania uwalniane są większe ilości fosforu. W oczyszczalniach biologicznych, w których oczyszczane są ścieki z celulozowni roztwarzających drewno z eukaliptusa nie dodaje się do nich fosforu. Składniki odżywcze są dodawane w łatwo dostępnych związkach odżywczych, najlepiej związkach amonowych ( $\text{NH}_4$ ) i fosforanach ( $\text{PO}_4$ ). W pewnych przypadkach woda procesowa zawiera wyższe stężenia składników odżywczych (czasami stężenia i skład są zmienne). W takich przypadkach, a także w warunkach zmiennych przepływów wody, jeśli dawka składników odżywczych nie jest odpowiednio dostosowana, po przejściu przez biologiczną oczyszczalnię ścieków pomiary wskazują na nadmiar składników odżywczych. Operator biologicznej oczyszczalni ścieków musi znaleźć właściwą równowagę między niewystarczającą podażą N i P w systemie biologicznym i ich niepożądaną nadmierną ilością. Niedostateczna podaż składników odżywczych może prowadzić do uszkodzenia biocenozy (patrz akapit: ‘pęczniący osad’ poniżej) i w rezultacie zmniejszyć efektywność oczyszczalni. Nadmierna dawka składników odżywczych jest niepożądana, ponieważ ich uwolniony nadmiar przyczynia się do nasilenia eutrofizacji wód.

W wielu zakładach nie uważa się, by zawartość azotu i fosforu w napływającej wodzie procesowej lub zmiany obciążenia hydraulicznego proporcjonalnie do czasu przyczyniały się proporcjonalnie do ciągłego dostarczania takiej samej ilości składników odżywczych do ścieków. Jednak w niektórych przypadkach, organiczne związki azotu są wprowadzane do ścieków wraz ze stosowanymi dodatkami chemicznymi, które ulegają hydrolizie w systemie biologicznym i są przekształcane w związki amonowe. Może to prowadzić do sytuacji, w której stężenie biologicznie użytecznego azotu przewyższa zapotrzebowanie w systemie biologicznym. Zapotrzebowanie na składniki odżywcze w poszczególnych zakładach jest różne. Maksymalne teoretyczne zapotrzebowanie odpowiada stosunkowi BZT:N:P wynoszącemu 100:5:1 [ 146, Möbius 2008 ]. W praktyce, w wielu oczyszczalniach stosunek 100:2.3 – 2.5:0.5 także daje oczekiwane rezultaty.

### *Technika II. Dozowanie składników odżywczych*

Zapotrzebowanie na składniki odżywcze w różnych systemach oczyszczania biologicznego metodami tlenowymi i beztlenowymi waha się w określonych zakresach. Odpowiednia podaż składników odżywczych może być sterowana na trzech różnych poziomach.

- a) Przy wlocie ścieków do biologicznej oczyszczalni ścieków. Początkowo dawka powinna się opierać na stosunku BZT:N:P w ściekach dopływających do oczyszczania na etapie biologicznym metodą tlenową wynoszącym około 100:3,0:0,5, a następnie być dostosowywana w zależności od rzeczywistych potrzeb. Ponieważ wiarygodne określenie BZT w ściekach w odpowiednim czasie okazało się bardzo trudne (analiza jest zbyt powolna), niektóre zakłady wykorzystują w tym celu wartość ChZT z pomiarów on-line, stosując początkowo niższy stosunek ChZT:N:P równy 100:1:0,2. W innych zakładach w celu dostosowania dawki składników odżywczych, prowadzone są ciągłe pomiary ogólnego węgla organicznego (TOC) i azotu ogólnego związanego ( $\text{TN}_b$ ).
- b) W oczyszczanych ściekach. Aby osiągnąć wystarczającą podaż składników odżywczych, średnie wartości roczne po oczyszczeniu biologicznym powinny wynosić: 0,5 – 1 mg/l  $\text{NH}_4\text{-N}$  i 0,5 – 1 mg/l  $\text{PO}_4\text{-P}$  [ 100, M. Cordes-Tolle 2000 ], lub w odniesieniu do wszystkich mierzonych wartości, np. w ciągu całego roku, wartości pojedynczych pomiarów powinny być w zakresie 0 – 2 mg/l.

W oczyszczalniach, w których panują bardzo stabilne warunki operacyjne i mają miejsce nieliczne zmiany obciążenia, mogą być wymagane niższe średnie stężenia niż stężenia wskazane w pkt b), zwłaszcza w odniesieniu do P. Podane wartości docelowe zostały ustalone na podstawie doświadczenia i mają jedynie orientacyjny charakter. Każdy system biologiczny musi być dostosowany i zoptymalizowany indywidualnie.

c) Poprzez analizę samej biomasy. Kontrola stężenia ścieków w systemach z osadem czynnym często nie dostarcza jasnych dowodów na optymalną podaż składników odżywczych w biomacie. Skład biomasy powinien być monitorowany za pomocą analizy zawartości popiołu, azotu Kjeldahla (TKN) i ogólnego P w próbkach osadu czynnego, szczególnie w przypadku niekorzystnych właściwości osadu, lub gdy zdolność degradacji w oczyszczalni nie jest na oczekiwanym poziomie. Wartości docelowe dla badanych próbek osadu czynnego (w odniesieniu do suchej masy):

P: >10 mg P ogólny/g SM)  
N: 50 – 60 mg TKN/g SM).

Na właściwości osadu szczególnie duży wpływ ma podaż P (indeks objętościowy osadu). Indeks objętościowy osadu powinien być oznaczany codziennie lub co tydzień. Jest to jeden z najważniejszych parametrów w sterowaniu procesem z zastosowaniem osadu czynnego. Mikroorganizmy powinny być co tydzień poddawane badaniu pod mikroskopem.

W przypadku oczyszczalni ścieków stosujących skojarzone metody beztlenowe i tlenowe należy pamiętać, że bakterie beztlenowe mają mniejsze zapotrzebowanie na składniki odżywcze niż bakterie tlenowe. Optymalne stężenie N i P w ładunku organicznym musi być określone dla każdego przypadku indywidualnie. Z doświadczenia wynika, że dobre rezultaty przynosi stosunek ChZT:N:P:S równy 350:5:1:1 [ 101, G.Weinberger 2004 ]. Stwierdzono, że zmniejszenie dawki składników odżywczych do poziomu dolnej granicy zapotrzebowania biomasy beztlenowej prowadzi do warunków, które są zbyt niestabilne dla prawidłowego przebiegu procesu na następnym etapie tlenowym. W związku z tym konieczne jest podawanie N i P na wlocie do etapu beztlenowego w ilościach wymaganych do prowadzenia późniejszego oczyszczania metodą tlenową.

### *Technika III. Kontrola dozowania składników odżywczych*

W celu zoptymalizowania dozowania składników odżywczych, dla każdej oczyszczalni należy wybrać najbardziej odpowiednie parametry kontroli. Przy pomiarze stężeń N i P na wlocie, należy zwrócić szczególną uwagę na biodostępność związków azotu. Pomiar  $\text{NH}_4\text{-N}$  nie zawsze jest wystarczający, na przykład, gdy znaczne ilości związków organicznych (mierzonych jako azot Kjeldahla) obecnych w ściekach są przekształcane w biodostępne związki amonowe. Nie wszystkie związki organiczne N (TKN) są użyteczne dla mikroorganizmów, w związku z czym część z nich nie zostaje biologicznie przetworzona. Nadmiar amoniaku i rozpuszczony ogólny P lub  $\text{PO}_4\text{-P}$  w ściekach opuszczających oczyszczalnię ścieków, wraz z N% i P% w osadzie i gęstość osadu są kluczowymi parametrami, które należy monitorować w celu odpowiedniego dozowania składników odżywczych. Kontrolę mogą uzupełnić pomiary on-line ChZT lub TOC.

Odpowiednia kontrola dozowania składników odżywczych jest niezbędna ze względów ekonomicznych i ochrony środowiska. Odpowiednią metodą kontroli dozowania

składników odżywczych jest sterowanie dozowaniem N i P w zależności od ładunku TOC. Dla celów dozowania można zastosować empirycznie ustalone proporcje TOC:N:P, uwzględniając stale mierzone stężenia N i P w nieoczyszczonych ściekach. Prowadzenie pomiarów on-line dla TOC oraz N i P jest odpowiednim narzędziem kontroli składników odżywczych, zwłaszcza w przypadku większych zakładów. W wielu oczyszczalniach ścieków dozowanie składników odżywczych odbywa się bez uwzględnienia wahań w ładunku organicznym lub obciążeniu hydraulicznym. Takie podejście jest odpowiednie w przypadku systemów, w których występuje niewielka zmienność. Gdy występują duże wahania obciążenia organicznego lub hydraulicznego, w przypadku braku kontroli dozowania składników odżywczych może wystąpić ich nadmiar. W przypadku takich systemów możliwym rozwiązaniem jest kontrola on-line i dozowanie składników odżywczych w zależności od strumienia objętości.

#### *Technika IV. Pomiary on-line*

Analizatory on-line substancji odżywczych na umożliwiają operatorowi rejestrowanie krzywych danych dla wybranych punktów pomiarowych w czasie rzeczywistym. Uwzględniając te dane, operatorzy mogą reagować w odpowiednim czasie w przypadku, gdy przekroczone zostaną wartości docelowe w ściekach lub w przypadku obciążeń szczytowych w napływającym strumieniu, a także gdy wystąpią większe wahania w odniesieniu do stabilności procesu w oczyszczalni ścieków. Niskie poziomy docelowe dla emisji składników odżywczych, kontrola skuteczności usuwania i wymogi w zakresie stabilności procesu i kontroli wyników oczyszczania ścieków przyczyniają się do większego wykorzystania urządzeń pomiarowych on-line. Przyczyniają się do tego także większe wymagania w zakresie nakładów czasu i pracy personelu w przypadku metod konwencjonalnych oraz brak elastyczności tych metod. Jednak pomiary on-line są droższe i aby były wiarygodne, wymagają częstej kalibracji i konserwacji. W przypadku mniejszych zakładów pomiary on-line mogą być zbyt kosztowne.

#### *Technika V. Ograniczenie ilości zawiesiny i zapobieganie powstawaniu pęczniejącego osadu*

Do oddzielenia stałej biomasy od oczyszczonej wody procesowej wykorzystywane są zwykle zbiorniki sedymentacyjne. Kluczowe znaczenie ma zatem utrzymanie odpowiedniej gęstości osadu czynnego i unikanie tworzenia się pęczniejącego osadu. Oprócz odpowiedniego wymiarowania i eksploatacji osadników (obciążenie powierzchniowe osadnika wtórnego lub obciążenie hydrauliczne), niezmiernie ważne jest także monitorowanie i kontrola składu mikrobiologicznego biomasy. Masowy wzrost niektórych gatunków mikroorganizmów, zwłaszcza bakterii nitkowatych, często wskazuje na degenerację osadu czynnego i prowadzi do zwiększonych strat zawiesiny.

Zwykle pęcznienie osadu w procesie z osadem czynnym ma miejsce w związku z zaburzeniem w systemie biologicznym, np. w wyniku zmian w ładunku zanieczyszczeń, zmiany stężenia rozpuszczonego tlenu w zbiorniku z osadem czynnym, braku lub nadmiaru azotu i fosforu lub zmiany ilości osadu zawracanego do zbiornika napowietrzającego.

Poniżej przedstawiono środki służące zapobieganiu i kontroli (masowego) powstawania pęczniejącego osadu w biologicznych oczyszczalniach ścieków.

- Monitorowanie dopływających ścieków. Należy unikać stref beztlenowych (np.

poprzez stosowanie krótkich czasów retencji w osadniku wstępnym lub napowietrzanie pośrednie) i zapewnić wystarczającą podaż substancji odżywczych. W niektórych przypadkach uważano, że niższe kwasy karboksylowe, np. kwasy octowe, były główną przyczyną intensywnego wzrostu bakterii nitkowatych, które są odpowiedzialne za powstawanie pęczniejącego osadu. Bakterie nitkowane mogą się również pojawić, gdy ścieki zawierają siarkę.

- Odpowiednia konstrukcja oczyszczalni ścieków [111, Möbius 2009]. Stosunek substancji pokarmowych do masy musi mieścić się w określonym zakresie, aby uniknąć powstawania pęczniejącego osadu i zapewnić eliminację CzZT na odpowiednim poziomie. W przypadku jednoetapowych reaktorów z osadem czynnym, kaskady, zbiorniki podłużne o przepływie tłokowym lub zbiorniki rozdzielcze zmniejszają ryzyko powstawania pęczniejącego osadu; napowietrzanie, zakres stężenia tlenu i gradient stężenia tlenu mają duże znaczenie w odniesieniu do efektywności procesu i zapobiegania powstawaniu pęczniejącego osadu. Dwustopniowe oczyszczanie biologiczne zapobiega w większym stopniu ryzyku powstawania pęczniejącego osadu na ostatnim etapie i umożliwia pracę przy stosunkowo niskim ładunku BZT w osadzie. Pierwszy stopień jest często etapem z wysokim obciążeniem materiałem nośnym biofilmu (reaktor ze złożem ruchomym z biofilmem). Gdy ścieki spełniają wymogi z zakresie oczyszczania w warunkach beztlenowych, możliwa jest budowa pierwszego stopnia oczyszczania biologicznego w warunkach beztlenowych odpowiedniego do wysokich obciążeń. Obecnie są to na ogół reaktory EGSB.
- Codzienna kontrola pracy oczyszczalni ścieków.
- Mikroskopowe badania osadu czynnego.

### **Główne korzyści środowiskowe**

Zmniejszenie emisji azotu, fosforu i zawiesiny ogólnej.

### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

*Techniki I – IV*

W tabeli 2.34 podano przykładowe poziomy  $N_{inorg}$  i P ogólnego osiągnane przy zoptymalizowanym dozowaniu składników odżywczych i prowadzeniu pomiarów kontrolnych.

Tabela 2. 34 Przykłady środków kontroli składników odżywczych i osiągniętych poziomów emisji w dziewięciu zakładach celulozowo-papierniczych

Papiernia i [źródło danych]	Średnia wartość N <sub>inorg</sub> w mg/l			Średnia wartość P ogólnego w mg/l			Uwagi
	Dobowa	Miesięczna	Roczna	Dobowa	Miesięczna	Roczna	
Papiernia MD Plattling Myllykoski (<50 % RCP), [4] <sup>(1)</sup>	2,8	BD	2,1	1	BD	0,77	Średnie wartości dobowe 80-ty percentyl
Papiernia Lang Ettringen (RCP, GW) [1] <sup>(1)</sup>	0,3	BD	BD	0,5	BD	BD	Średnie wartości 2-godzinnych próbek mieszanych
UPM Schongau (> 50% RCP), papier gazetowy, papier do druku czasopism, [1] <sup>(2)</sup>	0,1 – 10,0 <sup>(3)</sup>	1,3 – 2,6	1,8	0,2 – 3,0	BD	0,8	BD
Hans Kolb, papiernia Kaufbeuren, papier BD warstwę pofalowaną tekstury falistej, [1]	BD	1,1 – 7,5	4,8	BD	0,6 – 1,3	1,0	BD
Papiernia Rieger Trostberg (tekstura 100 % RCP), [1] <sup>(4)</sup>	BD	3,1 – 6,2	4,4	BD	0,7 – 2,2	1,2	BD
Papiernia Palm, Eltmann, papier gazetowy 100 % RCP, [1]	BD	0,6 – 1,6	1,2	BD	0,2 – 0,3	0,2	BD
Oczyszczalnia ścieków Südwasser, pracująca dla papierni Carl Macher (100 % RCP)	Nges: 0,4 – 4,9	3,8	BD	0,2 – 1,0	0,6	BD	Średnia wartość miesięczna 05/2001
Wepa Giershagen, Tissue: włókna pierwotne i wtórne, [3]	TN <sub>b</sub> : 6,1 – 9,4	BD	BD	0,08 – 0,5	BD	BD	Średnie wartości półgodzinne
Deli Tissue Stendal, włókna pierwotne, [2]	0,0 – 1,31 <sup>(5)</sup> Średnia N <sub>inorg</sub> : 3,08 TN <sub>b</sub> : 3,7 – 10 <sup>(6)</sup> Średnia TN <sub>b</sub> : 8,4	BD	BD	0,08 – 1,9 Average Tot-P: 0,44	BD	BD	2-godzinne próbki mieszane

Uwagi: BD = brak danych, Nges. = łączny azot zawarty w amoniaku, azotanach, azotynach

<sup>(1)</sup> Jeden pomiar kontrolny raz na dobę.

<sup>(2)</sup> Pomiar on-line składników odżywczych i TOC.

<sup>(3)</sup> W 2009 r. tylko dwie średnie wartości dobowe przekroczyły 10 mg/l: 15,6 i 10,4 mg/l.

<sup>(4)</sup> Techniki dodatkowe: osad czynny z denitryfikacją na wlocie

<sup>(5)</sup> Jedna wartość powyżej 10 mg/l: 19 w dniu 26/11/2009.

<sup>(6)</sup> Jedna wartość powyżej 10 mg/l: 29 w dniu 26/11/2009.

Źródła:

[1] Dane uzyskane od organu właściwego dla Bawarii (Rörig, 2009, raporty roczne).

[2] Dane uzyskane od organu właściwego dla Saksonii-Anhalt (Ziem, Raport analityczny 2006 – 2010).

[3] Data uzyskane od organu właściwego dla Nadrenii Północnej-Westfalii (Dreher, Raport analityczny 2010).

[4] MD Plattling, dane zaczerpnięte z badania ankietowego przeprowadzonego w Niemczech 2006 r.

### Technika IV (Pomiary on-line)

W kilku niemieckich papierniach wykorzystywane są urządzenia do prowadzenia pomiarów on-line TOC (EN 1484:1997), szybkiego oznaczania BZT, PO<sub>4</sub> (EN 1189:1996), ogólnego P (EN 1189:1996), NH<sub>4</sub> (DIN 38 406, Część 5) i TN<sub>b</sub> (DIN 38 409, Część 27). TOC jest najczęściej mierzonym parametrem w celu określenia napływającego obciążenia (kontrola procesu) lub monitorowania wartości granicznych w ściekach. W innych zakładach pomiary on-line są przeprowadzane w celu monitorowania stężeń N i P w ściekach lub do kontroli dozowania N i P; kolejnym zastosowaniem jest dozowanie flokulantów w przypadku usuwania P. Stosowanie pomiarów on-line w celu kontroli procesów w oczyszczalniach ścieków obsługujących niemieckie papiernie jest wciąż ograniczone do około 10 zakładów (5% ogólnej liczby zakładów), chociaż urządzenia on-line są łatwo dostępne, gdyż wyniki pomiarów TOC, NH<sub>4</sub>, PO<sub>4</sub> i ogólnego P są w dużej mierze wiarygodne (zapewniona jest właściwa konserwacja i odpowiednio przeszkolony personel) [ 94, F.Schmid i wsp. 2002 ], [ 95, M. Cordes-Tolle i wsp. 2000 ], [ 98, G. Weinberger i wsp. 2002 ]. Urządzenia do prowadzenia pomiarów on-line mają krótszy czas zwrotu inwestycji w przypadku większych zakładów, ponieważ koszty ewentualnego niewłaściwego dozowania składników odżywczych są w nich relatywnie wyższe. Aby ocenić opłacalność prowadzenia pomiarów on-line, koszty (nakłady kapitałowe, koszty chemikaliów, części zamiennych i umów serwisowych) i korzyści muszą być oceniane indywidualnie dla każdego przypadku.

#### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Brak doniesień.

#### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Technika może być stosowana we wszystkich zakładach.

#### **Aspekty ekonomiczne**

Nie dostarczono informacji.

#### **Motywacja do wdrożenia**

Wymogi ze strony właściwych organów. Redukcja kosztów dozowania składników odżywczych. Cele jakościowe w zakresie N i P w zbiornikach wodnych. Ponieważ celem biologicznego oczyszczania ścieków jest głównie zmniejszenie ładunku organicznego odprowadzanego do przyjmujących wód powierzchniowych, emisja nadmiernych ilości N, P i zawiesiny podważyłaby skuteczność oczyszczania.

#### **Instalacje referencyjne**

Patrz tabela 2.34.

#### **Bibliografia**

[ 87, Jouttijärvi i wsp. 2006 ], [ 94, F.Schmid i wsp. 2002 ], [ 95, M.Cordes-Tolle i wsp. 2000 ], [ 98, G.Weinberger i wsp. 2002 ], [ 100, M.Cordes-Tolle 2000 ], [ 101, G.Weinberger 2004 ], [ 111, Möbius 2009 ], [ 146, Möbius 2008 ].

#### 2.9.11.2.4 Techniki ograniczania ilości fosforu i azotu

Ocena zawartości azotu i fosforu w stosowanych dodatkach chemicznych i ich zastępowanie dodatkami o niższej zawartości azotu i fosforu może zmniejszyć ładunek składników odżywczych w ściekach wpływających do oczyszczalni ścieków, a w rezultacie, także w odprowadzanych ściekach. Dodatkowe techniki ograniczania ilości fosforu i azotu zostały opisane w pkt 2.9.11.3.

#### 2.9.11.3 Trzeci stopień oczyszczania ścieków

Trzeci stopień oczyszczania ścieków jest stosowany zwykle w celu usunięcia zanieczyszczeń, których nie udało się wyeliminować, lub zostały niedostatecznie wyeliminowane na wcześniejszych etapach oczyszczania (np. oczyszczania biologicznego). Dotyczy to zanieczyszczeń takich jak zawiesina ogólna, ChZT, azot i fosfor. Zaawansowane oczyszczanie może obejmować techniki takie jak flokulacja/wytrącanie, biofiltracja, stosowanie membran do filtracji zaawansowanej, ozonowanie, itp.

##### 2.9.11.3.1 Strącanie chemiczne

#### Opis

W procesie chemicznej flokulacji rozpuszczonych i zawieszonych cząstek powstają kłaczkowate skupienia, które są następnie oddzielane poprzez filtrację i klarowanie.

Strącanie chemiczne wymaga dodatku substancji chemicznych w celu zmiany stanu fizycznego rozpuszczonych i zawieszonych cząstek stałych i formowania większych cząstek/kłaczków, aby ułatwić ich usuwanie w drodze sedymentacji lub flotacji. Jako środki strącające stosowane są różne substancje. Najczęściej wykorzystywane są w tym celu sole glinu:  $(Al_2(SO_4)_3)$  i  $Al_n(OH)_mCl_{3n-m}$ , chlorek żelaza ( $FeCl_3$ ), siarczan żelaza ( $Fe_2(SO_4)_3$ ), siarczan żelazawy ( $FeSO_4$ ) lub wapno ( $Ca(OH)_2$ ). Aby zoptymalizować flokulację, na etapie mieszania stosowane są polielektrolity.

W celów strącania/flokulacji wykorzystywane są zazwyczaj następujące koagulanty zawierające jony metali:

- sole glinu:  $Al_2(SO_4)_3$  i  $Al_n(OH)_mCl_{3n-m}$ ;
- sole żelaza (Fe(III)):  $FeCl_3$  i  $Fe_2(SO_4)_3$ ;
- sole żelazawe (Fe(II)):  $FeSO_4$ ;
- wapno.

#### Główne korzyści środowiskowe

Zmniejszenie emisji fosforu i zawiesiny ogólnej.

#### Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

Strącanie chemiczne jest zwykle stosowane jako środek dodatkowy uzupełniający oczyszczanie biologiczne. W pewnych wyjątkowych przypadkach strącanie chemiczne może być stosowane z powodzeniem samodzielnie, zastępując oczyszczanie biologiczne (np. w przypadku ścieków z niektórych zakładów papierniczych (patrz pkt 7.3.12)).

Informacje odnoszące się do omawianej techniki dotyczące oddziaływania na procesy i środowisko, możliwości zastosowania, aspektów ekonomicznych, motywacji do wdrożenia, referencyjnych instalacji i literatury zostały przedstawione w punktach dotyczących trzeciego stopnia oczyszczania w rozdziałach poświęconym poszczególnym procesom (patrz pkt 3.3.14, 4.3.17 i 7.3.12).

### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Stosowanie omawianej techniki powoduje powstawanie dodatkowego osadu.

#### **2.9.11.3.2 Nitryfikacja i denitryfikacja**

##### **Opis**

W procesach nitryfikacji i denitryfikacji w celu usunięcia azotu, część organicznych związków azotu (TKN) jest przekształcana w związki amonowe.

Związki amonowe są wykorzystywane jako główne źródło składników odżywczych dla mikroorganizmów, i są prawie całkowicie przekształcane w azotany w procesie oczyszczania biologicznego przy niskim obciążeniu (warunek: niskie obciążenie osadu, wysoki wiek osadu). Nitryfikacja zwiększa stężenie azotanów i azotynów w ściekach. Z kolei azotany mogą być usuwane w drodze denitryfikacji. W procesie tym, w złych warunkach tlenowych mikroorganizmy wykorzystują azotany jako źródło tlenu. W niektórych papierniach denitryfikacja jest przeprowadzana poprzez przerywane napowietrzanie lub tworzenia stref ubogich w tlen. Kilka papierni w Niemczech wdrożyło środki służące ograniczeniu zawartości azotu w ściekach (patrz tabela 2.34).

#### **2.9.11.3.3 Ozonowanie i biofiltracja**

Patrz pkt 6.3.9.

#### **2.9.11.3.4 Dodatkowe techniki zmniejszania ilości zawiesiny ogólnej**

##### **Opis**

Niewystarczająca gęstość biomasy i/lub nadmierne obciążenie hydrauliczne w osadniku wtórnym w oczyszczalni biologicznej może prowadzić do wzrostu stężenia zawieszonych cząstek stałych w odprowadzanych ściekach. Alternatywą dla powiększenia zbiornika sedymentacyjnego jest instalacja urządzeń filtracyjnych przy odpływie z napowietrzanych zbiorników, które to urządzenia mogą być eksploatowane w sposób ciągły lub tylko w przypadku awarii. W zakładach celulozowo-papierniczych stosowane są różne rodzaje mikrofiltrów, filtrów tkaninowych lub filtrów piaskowych. Zwiększeniu ładunku zawiesiny ogólnej zapobiega także flokulacja/flotacja, stosowana pojedynczo lub w połączeniu z filtracją.

##### **Główne korzyści środowiskowe**

Zmniejszenie emisji zawiesiny ogólnej. Urządzenia filtracyjne zwiększają niezawodność procesu i zapobiegają przekroczeniu wartości docelowych w wyniku wadliwego działania instalacji [ 92, F.Schmidt i wsp. 2002 ].



### Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

Zazwyczaj, także gdy nie są stosowane dodatkowe środki, po oczyszczeniu biologicznym w dłuższym okresie osiągane są stężenia ścieków rzędu 20 mg zawiesiny ogólnej/l. W przypadku mniej stabilnych procesów, filtr tkaninowy stosowany w sposób ciągły lub w trybie obejścia jako środek awaryjny (filtr doczyszczający używany w przypadku zakłóceń lub awarii) może zagwarantować osiągnięcie stałych niskich poziomów zawiesiny ogólnej.

Niskie emisje zawiesiny ogólnej ograniczają uwolnienia substancji organicznych i składników odżywczych do zbiorników wodnych i są warunkiem skutecznego oczyszczania. 1 mg zatrzymanej zawiesiny ogólnej/l odpowiada w przybliżeniu 1 mg ChZT/l (0,8 – 1,5 mg ChZT/l) nieodprowadzonego do zbiornika wodnego.

Tabela 2.35 przedstawia przykład poziomów zawiesiny ogólnej osiągniętych przez zakład celulozowo-papierniczy.

**Tabela 2.35** Przykład środków kontroli ilości zawiesiny ogólnej i osiągniętych poziomów emisji w zakładzie celulozowo-papierniczym

Papiernia i [źródło]	Stosowane techniki usuwania	Osiągane wartości zawiesiny ogólnej (mg/l)
50 000 ton rocznie; papier bezdrzewny powlekany i niepowlekany	Mikrofiltracja, filtr biologiczny	Średnia dobową: 0,0 – 12 Średnia roczna: 0,02
<i>Źródło:</i> Na podstawie kwestionariusza uzupełnianego w 2006 r. przez zakłady w Niemczech.		

Zakład, który posłużył jako przykład, wykorzystuje filtr biologiczny i potwierdził, że filtry tego rodzaju usuwają praktycznie wszystkie zawieszane cząstki stałe (średnia wartość roczna na poziomie 0,02 mg/l).

### Oddziaływanie na procesy i środowisko

Brak doniesień.

### Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki

Brak doniesień.

### Aspekty ekonomiczne

Nie dostarczono informacji.

### Motywacja do wdrożenia

Zmniejszenie emisji zawiesiny ogólnej.

### Instalacje referencyjne

Zakłady korzystające z biofiltrów: Glatz Neidenfels, Drewsen Lachendorf, papiernia Königstein, Norske Skog Walsum lub RCF DE 5.

## 2.9.12 Zapobieganie ryzyku zanieczyszczenia w związku z wycofywaniem obiektu z eksploatacji

### Opis i główne korzyści środowiskowe

Zapewnienie ochrony gleby i wód to główne kwestie, które należy uwzględnić, gdy zakład celulozowo-papierniczy lub jego część zostaje zamknięta. Poniżej przedstawiono ogólne środki, które należy zastosować w trakcie tego procesu, aby uniknąć ryzyka zanieczyszczenia w fazie wycofywania instalacji z eksploatacji.

- Ograniczenie do minimum ilości substancji odprowadzanych do gleby w wyniku nieszczelności układów, opadu zanieczyszczeń z atmosfery i niewłaściwego przechowywania surowców, produktów lub pozostałości na etapie eksploatacji obiektu.
- Usunięcie podziemnych zbiorników i rurociągów lub ich odpowiednie udokumentowanie.
- Ustanowienie planu działania w przypadku wycieków i hermetyzacja odpowiednich źródeł, aby zapobiec skażeniu gleby i wód gruntowych.
- Opracowanie instrukcji w zakresie opróżniania urządzeń technologicznych, zbiorników i rurociągów.
- Zapewnienie, by po zamknięciu obiektu teren był odpowiednio oczyszczony, np. oczyszczenie i rewitalizacja terenu zakładu pod kątem jego przyszłego użytkowania. Zapewnienie, w miarę możliwości, by gleba spełniała swoje naturalne funkcje.
- Stosowanie programu monitorowania odnoszącego się w szczególności do wód gruntowych w celu określenia ewentualnego przyszłego oddziaływania na terenie zakładu lub na terenach z nim sąsiadujących.
- Opracowanie planu wycofania obiektu z eksploatacji, zawierającego przejrzysty plan organizacji prac związanych z zamknięciem obiektu z uwzględnieniem istotnych warunków lokalnych. Plan wycofania obiektu z eksploatacji może ułatwić działania i komunikację w związku z ogólnym ograniczeniem dostępności informacji spowodowanym prawdopodobnym opuszczeniem zamkniętego zakładu przez personel odpowiedzialny za kwestie związane z ochroną środowiska.

Operatorzy zakładu celulozowo-papierniczego powinni zapewnić, by działania, które należy przeprowadzić w trakcie wycofywania instalacji z eksploatacji były prowadzone przy wsparciu ze strony personelu posiadającego odpowiednie przeszkolenie techniczne. Warunkiem sprawnego wycofania obiektu z eksploatacji są dobre relacje z odpowiednim organem właściwym, oparte na regularnych spotkaniach i otwartych rozmowach w czasie, gdy obiekt był eksploatowany.

Raporty dotyczące sytuacji na terenie zakładu są środkiem, który, w możliwie najkrótszym czasie pozwala na ustalenie sytuacji bazowej, według której można ocenić dalsze skażenie terenu. Tego rodzaju raport bazowy może zostać następnie porównany z późniejszymi raportami, gdy instalacja jest sprzedawana, zamykana lub przebudowana. Raport bazowy może być również wykorzystywany w celu ustalenia priorytetowych działań, które należy podjąć w odniesieniu do instalacji.

Działania, które należy podjąć są specyficzne dla każdej lokalizacji zakładu i wytwarzanego w nim rodzaju masy włóknistej lub papieru. W przypadku nowych instalacji, należy rozważyć wycofanie z eksploatacji na etapie projektowania, minimalizując tym samym ryzyko i ograniczając nadmierne koszty późniejszego wycofania z eksploatacji. Projekt planowanych

instalacji może obejmować:

- zapewnienie, że projekt uwzględnia możliwość opróżnienia i czyszczenia zbiorników i rurociągów przed ich demontażem;
- projektowanie napowietrzanych lagun i składowisk z uwzględnieniem ich ostatecznego oczyszczenia lub likwidacji; ocena ryzyka może być przydatnym narzędziem do oceny poszczególnych wymogów;
- w miarę możliwości, wybór materiałów, które mogą zostać zawrócone do obiegu.

Przed budową nowej instalacji należy ocenić początkowy stan terenu.

W odniesieniu do istniejących instalacji należy opracować i uaktualniać ogólny plan dla terenu w przypadku zamknięcia zakładu lub zaprzestania prowadzonej w nim działalności. Plan ten powinien uwzględniać cel wykorzystania danego terenu. Indywidualny plan i cele w związku z wycofaniem z eksploatacji powinny być oparte na analizie ryzyka. Plan zaprzestania działalności powinien zostać ukończony przed opracowaniem faktycznego planu wyłączenia instalacji, aby wykazać, że instalacja może być wycofana z eksploatacji unikając ryzyka zanieczyszczenia, z możliwością przywrócenia terenu do zadowalającego stanu. Zgodnie z tym planem należy podjąć stosowne działania w odniesieniu do potencjalnych problemów środowiskowych i opracować środki na rzecz poprawy stanu tego terenu. Plan powinien być uaktualniany w przypadku wystąpienia istotnych zmian.

Plan zaprzestania prowadzenia działalności może uwzględniać także następujące działania:

- jeśli w ramach instalacji zainstalowane są podziemne zbiorniki i rurociągi, powinny one być wyposażone w odpowiedni system do ich czyszczenia i opróżniania;
- środki konieczne do przywrócenia napowietrzanych lagun do zadowalającego stanu;
- możliwe do przewidzenia środki mające na celu przywrócenie składowisk zlokalizowanych na terenie zakładu do stanu umożliwiającego ich zamknięcie zgodnie z przepisami w zakresie ochrony środowiska;
- środki zapewniające, że demontaż izolacji nie spowoduje powstania pyłu lub zagrożeń;
- środki służące usunięciu lub wypłukaniu rurociągów i zbiorników, w stosownych przypadkach, i całkowitemu opróżnieniu z nich wszelkiej potencjalnie szkodliwej zawartości;
- plan zamknięcia powinien zawierać szereg planów i metod analizowania możliwych problemów, np.:
  - specyfikacje dla wszystkich podziemnych rurociągów i zbiorników;
  - zasoby i metody niezbędne do przywrócenia napowietrzanych lagun do zadowalającego stanu, opracowane na podstawie oceny ryzyka;
  - metody przebudowy i modyfikacji oczyszczalni ścieków pod kątem mniejszego obciążenia ściekami;
  - metody zapewnienia, że żadne składowisko odpadów zlokalizowane na terenie zakładu nie spowodują jakiegokolwiek ryzyka po zakończeniu prowadzenia działalności;
  - metody rozbiórki budynków i innych obiektów zapewniające uniknięcie powstania pyłu i ochronę gleby i wód powierzchniowych i gruntowych na terenach, gdzie prowadzona jest budowa i rozbiórka;
  - badanie gleby w celu określenia stopnia jej zanieczyszczenia spowodowanego przez prowadzoną działalność i potrzeby rekultywacji w celu przywrócenia terenu do zadowalającego stanu, jak określono w raporcie bazowym dla terenu

---

zakładu.

Jeśli gleba na terenie zakładu była kiedykolwiek poważnie zanieczyszczona, opracowywane środki mogą obejmować pośrednie pokrycie gleby, gromadzenie i oczyszczanie odcieków, usuwanie zanieczyszczonej ziemi i zapewnienie barier geologicznych.

### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Niewiele jest publicznie dostępnych udokumentowanych informacji dotyczących zamykania zakładów celulozowo-papierniczych. Zgromadzono pewne doświadczenia, które mogą być wykorzystane jako ogólna lista kontrolna dotycząca zagadnień, których mogą się spodziewać operatorzy i właściwe organy w przypadku zamknięcia zakładu celulozowo-papierniczego.

Jedno z praktycznych doświadczeń opisane jako ‘Gromadzenie informacji na temat środków związanych z zamknięciem zakładu celulozowo-papierniczego’, zostało przeprowadzone przez Regionalne Centrum Ochrony Środowiska Południowo-Zachodniej Finlandii w 2009 r. Projekt dotyczył zgromadzenia informacji na temat środków związanych z zamknięciem siedmiu zakładów celulozowych lub papierniczych w Finlandii. Prośba o wskazanie środków została przesłana także do organów ds. ochrony środowiska i fińskiej Federacji Przemysłu Leśnego. W ramach projektu zgromadzono informacje na podstawie otrzymanych odpowiedzi na przesłane zapytania oraz dokumentów związanych z wycofywaniem z eksploatacji elektrowni. W odpowiedziach przesłanych przez siedem zakładów, cztery centra ochrony środowiska i fińską Federację Przemysłu Leśnego wskazano poniższe kwestie:

- W trakcie zamykania oczyszczalni ścieków i po jej zamknięciu nie występują żadne wyjątkowe emisje ścieków. W przypadku zewnętrznego oczyszczania ścieków z papierni lub oczyszczania ich razem ze ściekami komunalnymi, zaprzestanie działalności może powodować problemy w przypadku bardzo znacznych zmian w napływających ładunkach. W takich przypadkach oczyszczalnia ścieków może wymagać pewnych modyfikacji.
- Oczyszczanie osadów z zakładów, w których jest wciąż prowadzona działalność może powodować problemy, jeśli osad został wcześniej spalony w kotle eksploatowanym w zakładzie, który został zamknięty. Zgromadzone osady mogą powodować uciążliwości, stąd konieczna jest odpowiednia organizacja gospodarki odpadami.
- Odpady z rozbiórki mogą stanowić znaczną frakcję odpadów, które można poddać recyklingowi, przesłać na składowisko i/lub przesłać częściowo do zakładów unieszkodliwiania odpadów komunalnych. Problemy mogą pojawić się również w przypadku braku miejsca na składowisku, a pozwolenie środowiskowe nie zezwala na korzystanie z zamkniętych składowisk.
- Po zamknięciu składowiska należącego do zakładu, konieczne jest przeprowadzenie szeregu działań, takich jak badania gleby, wycieków, produkcji gazu, rekultywacja, oczyszczanie wód opadowych i gazów, zapewnienie jakości i monitorowanie. Działania te wynikają z wymogów zawartych w pozwoleniu na prowadzenie składowiska. Ryzyko ewentualnego skażenia gruntów można określić poprzez badanie próbek pobieranych na podstawie oceny ryzyka i korzystając z historycznych informacji na temat terenu i zlokalizowanego na nim zakładu. Na podstawie uzyskanych wyników badania próbek sporządzany jest plan i wniosek o pozwolenie środowiskowe dotyczące oczyszczania skażonych gruntów. Takie badanie powinno być uwzględnione w planie zamknięcia, który jest zwykle sporządzany po podjęciu decyzji o zaprzestaniu działalności. Zakłady, które wciąż prowadzą działalność nie

posiadają takich planów. W niektórych przypadkach występowały trudności z określeniem faktycznej lokalizacji skażonych gruntów. Przy braku informacji historycznych mogą wystąpić wątpliwości odnośnie lokalizacji zrehabilitowanych lub skażonych gruntów oraz tego, kto jest odpowiedzialny za rekultywację terenu.

- Wykorzystanie i przetworzenie pozostałych surowców i półproduktów zorganizowano zgodnie z planem zaprzestania działalności, który został przygotowany po ogłoszeniu likwidacji. Nadające się do wykorzystania substancje chemiczne, partie masy włóknistej, drewno, itp. można przetransportować do innych zakładów danej spółki. Materiał niezdatny do użytku jest traktowany jako odpady lub odpady niebezpieczne.
- Prace rozbiórkowe przyczyniają się do wzrostu natężenia transportu i hałasu. Organizacja miejsca, na którym prowadzona jest rozbiórka instalacji wymaga nadzoru i zawarcia określonych umów. Problemem może być również brak ważnego pozwolenia na składowanie odpadów rozbiórkowych. Odpady azbestowe wymagają stosowania szczególnych środków.
- W jednym przypadku donoszono o znacznych uciążliwościach zapachowych spowodowanych przez napowietrzane laguny, do których doprowadzane były ścieki podczas zamykania instalacji, i które nie zostały odpowiednio zabezpieczone. Obecnie laguna jest napowietrzana, aby zapobiec wystąpieniu takich uciążliwości. Rok po zamknięciu zapach złowonny nie był już odczuwalny. Wystąpieniu negatywnych skutków można zapobiec poprzez przywrócenie tego rodzaju stawów do zadowalającego stanu.
- Po zakończeniu prowadzenia działalności należy przez wiele lat kontynuować nadzór i monitorowanie zbiorników wodnych w celu zbadania wpływu zmniejszenia ładunków zanieczyszczeń odprowadzanych do zbiorników wodnych. Ponadto, także przez wiele lat należy monitorować wody opadowe spływające z wysypisk. W celu realizacji działań likwidacyjnych, czyli działań prowadzonych na miejscu po zamknięciu zakładu (np. rozbiórka budynków i rekultywacja skażonych gruntów), konieczny jest nadzór ze strony właściwych organów. Częstotliwość monitorowania musi korelować z ryzykiem i emisjami. Należy także określić odstępy czasu pomiędzy poszczególnymi badaniami, aby ich wyniki mogły być wykorzystane do monitorowania zmian.

Wszystkie ww. przykłady pochodzą z zakładów, w których proces likwidacji jest nadal w toku, a ostateczne decyzje właściwych organów mogą odbiegać od opinii przedstawionych w ramach wywiadów/prośby o informacje. Wyniki nadal prowadzonych badań gleby oraz zbiorników wodnych, do których były odprowadzane ścieki, itp. będą miały wpływ na decyzję w sprawie konieczności dalszego oczyszczania.

Najważniejsze spostrzeżenia zebrane w trakcie indywidualnych wywiadów przeprowadzonych z przedstawicielami szwedzkich zakładów, które zostały zamknięte [ 202, Svanberg 2010 ] zostały przedstawione poniżej.

- Warunkiem sprawnego wycofania obiektu z eksploatacji są dobre relacje z odpowiednim organem właściwym, oparte na regularnych spotkaniach i otwartych rozmowach w czasie, gdy obiekt był eksploatowany.
- Właściwe organy są odpowiednio informowane i zaangażowane od czasu przekazania decyzji o zamknięciu zakładu opinii publicznej i pracownikom.
- Każdy przypadek zamknięcia jest inny, lecz w każdym przypadku stosowana jest zasadnicza procedura identyczna z procedurą odnoszącą się do normalnego wyłączenia w związku z pracami konserwacyjnymi, jednak zmodyfikowana ze

względu na to, że wszystkie zbiorniki muszą zostać opróżnione, tj. nie wymagają żadnych cieczy do rozruchu.

- Przy właściwym planowaniu ilość pozostałych substancji chemicznych i półproduktów jest niewielka, i mogą one zostać sprzedane/przekazane innym zakładom będącym nadal w eksploatacji.
- Powszechną praktyką jest przejmowanie niektórych części (placu drzewnego, kotła korowego) zakładu przez nowego operatora, który sporządza dokumentację dotyczącą ich wcześniejszej pracy, np. w odniesieniu do zanieczyszczenia gleby. Sporządzenie takiej dokumentacji wymaga zwykle skorzystania z pomocy prawnej.
- Jeśli planowane są prace rozbiórkowe, czyli w istniejących budynkach nie będzie kontynuowana żadna działalność, bardzo ważne jest, aby wybrać doświadczonego wykonawcę, by zminimalizować ryzyko i osiągnąć otwarty dialog z właściwymi organami. Wielokrotnie wykonawcy biorą na siebie odpowiedzialność za sortowanie materiału z rozbiórki, kierowanie materiałów do recyklingu, itp.
- W związku z tym, że wszystkie tereny, na których zlokalizowane były przedmiotowe zakłady, były wykorzystywane do celów działalności przemysłowej od ponad 100 lat, najbardziej czasochłonną kwestią było zbadanie ewentualnego wcześniejszego zanieczyszczenia gleby. W Szwecji realizowany jest program krajowy, którego celem jest opracowanie wykazu wszystkich obszarów o skażonych gruntach. Wszystkie trzy zakłady, jeszcze przed podjęciem decyzji o zamknięciu, ukończyły 1 etap prac w ramach opracowywania tego wykazu, który obejmuje śledzenie działalności historycznej, jeszcze bez prowadzenia odwiertów i pobierania próbek. Po podjęciu decyzji o zamknięciu, wyniki uzyskane na pierwszym etapie zostały wykorzystane jako materiał do podjęcia, wraz z właściwymi organami, decyzji o lokalizacji i liczbie otworów wiertniczych. Próbkę były/będą poddane analizie w kierunku różnych składników, w zależności od działalności historycznej prowadzonej na przedmiotowych terenach.
- Do tej pory prace przebiegają bez większych niespodzianek i nie zgłaszano konieczności oczyszczenia skażonych gruntów. W związku z tym, że tereny te w czasie ich eksploatacji przemysłowej były w rękach różnych właścicieli, często konieczna jest analiza prawna w odniesieniu do odpowiedzialności.
- Zgłaszano różne doświadczenia, jeśli chodzi o wymogi w zakresie przyszłego monitorowania gleb i zbiorników wodnych przyjmujących w przeszłości ścieki, lecz w żadnym przypadku nie podjęto jeszcze ostatecznych decyzji w tym zakresie.

### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Przedstawiona technika ma wyłącznie pozytywne oddziaływanie na środowisko, ponieważ zapobiega lub ogranicza zanieczyszczenie wszystkich jego elementów. Należy oceniać, zapobiegać lub ograniczać ewentualne zanieczyszczenie spowodowane przez skażoną glebę lub osady.

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

W przypadku nowych instalacji wycofanie z eksploatacji należy rozważyć już na etapie projektowania, aby zapobiec ewentualnemu skażeniu. Na przykład, brytyjska Agencja Środowiska zobowiązuje operatorów ubiegających się o pozwolenie do przedstawienia planu wycofania z eksploatacji.

W przypadku istniejących instalacji operator powinien sporządzić ogólny plan dotyczący zaprzestania prowadzenia działalności w ramach programu działań na rzecz poprawy ochrony środowiska.

Gdy podjęta zostanie decyzja o zamknięciu zakładu, należy uzgodnić, w porozumieniu z właściwymi organami, plan zamknięcia. Głównym powodem, dla którego istniejący zakład nie sporządza z wyprzedzeniem planu zamknięcia jest konieczność uwzględnienia w nim wszystkich istotnych informacji (metody analityczne, techniki sanitarne, itp.) dostępnych w momencie podejmowania decyzji, zamiast opierania się jedynie na starszych faktach.

### **Aspekty ekonomiczne**

Nie dostarczono informacji na temat kosztów stosowania opisanych środków, lecz mogą one być dość znaczne. Koszt zależy również od potrzeby wdrożenia wspomnianych działań, które zostały poddane ocenie przez właściwe organy. Koszty działań prewencyjnych opisanych w tekście także nie zostały zgłoszone, lecz mogą one zminimalizować nadmierne koszty ponoszone podczas późniejszego wycofania instalacji z eksploatacji.

### **Instalacje referencyjne**

Kilka instalacji w Finlandii i Szwecji. Nawet jeżeli instalacje w Europie zostały zamknięte wcześniej, można wskazać kilka ostatnich przykładów (w których wydano pozwolenia zgodnie z obecnie obowiązującymi przepisami), w których wszystkie środki zostały wdrożone i zawarto ostateczne porozumienie z właściwym organem. Doświadczenia opisane w 'Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne' odnoszą się do projektów, które nie zostały jeszcze sfinalizowane.

### **Bibliografia**

[ 202, Svanberg 2010 ], [ 275, Inquiry Ojanen 2009 ].

### 2.9.13 Zmniejszanie emisji hałasu

#### Opis

Skuteczne ograniczenie emisji hałasu można osiągnąć poprzez stosowanie środków/technik bezpośrednio przy źródle hałasu, lub stosując wtórne środki ochrony przed hałasem, które ograniczają jego rozprzestrzenianie się, np. bariery, takie jak budynki, ściany, wały lub drzewa i krzewy zlokalizowane między miejscem prowadzenia działalności generującej hałas a obszarem chronionym. Najbardziej skuteczne połączenie środków/technik powinno zostać określone indywidualnie dla każdej instalacji lub terenu, na którym prowadzona jest produkcja.

Źródła hałasu są zlokalizowane w całym łańcuchu produkcji, od rozładunku surowca (masy włóknistej/drewna) po wysyłkę gotowych produktów. Najważniejszymi źródłami stałego hałasu są:

- urządzenia do mechanicznej obróbki drewna, takie jak bębny korujące, rafinery, ścieraki, itp.
- cięcie drewna przed korowaniem w przypadku celulozowni produkującej masę mechaniczną
- transport mediów w rurociągach i innych systemach, takich jak przenośniki o nieoptymalnych wymiarach
- tymczasowy nadmuch pary w przypadku zakłóceń procesu
- urządzenia hydrauliczne
- wentylatory, np. do odzysku ciepła z maszyn papierniczych
- silniki, sprężarki
- sprężarki maszyn chłodniczych
- samochody ciężarowe podczas załadunku i rozładunku
- wszystkie środki transportu na terenie zakładu i w jego pobliżu, w tym kolej
- czyszczenie urządzeń technologicznych, takich jak silosy na wapno, przy użyciu kolektorów próżniowych podłączonych do cysterny.

W zakładach celulozowo-papierniczych w celu zmniejszenia poziomu hałasu, aby chronić przed nim sąsiadujące obszary, można stosować różne środki/techniki, takie jak:

- odpowiedni wybór lokalizacji, w których przeprowadzane są czynności generujące hałas (w przypadku nowych instalacji)
- osłanianie urządzeń generujących hałas, np. urządzeń wymienionych powyżej
- izolacji drgań w urządzeniach takich jak wentylatory
- wygłuszanie budynków, w których prowadzone są bardzo głośne czynności, takie jak obróbka drewna, lub w których znajdują się urządzenia generujące szczególnie wysoki poziom hałasu, takie jak urządzenia hydrauliczne i sprężarki
- tłumiki wylotowe w przypadku kominów spalinowych; technika ta może być stosowana także w chłodniach kominowych
- stosowanie wewnętrznego i zewnętrznego wyłożenia zsuwni, wykonanego z odpornego materiału
- izolacja akustyczna budynków, w których pracują maszyny
- izolacja akustyczna kanałów
- oddzielenie źródeł hałasu od elementów potencjalnie rezonujących, np. sprężarek i kanałów
- wykorzystywanie większych maszyn do obróbki drewna w celu ograniczenia



czasu podnoszenia i transportu; ogranicza to także hałas emitowany przez spadający materiał drzewny

- lepsza konserwacja urządzeń, aby uniknąć awarii, np. dmuchaw i łożysk
- poprawa sposobu pracy, np. niższe poziomy, z których upuszczane są kłody; natychmiastowe przekazywanie informacji zwrotnych dotyczących poziomu hałasu pracownikom.

W przypadku, gdy nie jest możliwe zastosowanie wyżej wymienionych środków/technik ochrony przed hałasem i gdy nie ma możliwości przemieszczenia urządzeń generujących hałas wewnątrz budynku, np. ze względu na wielkość tych urządzeń, należy rozważyć zastosowanie wtórnych środków/technik ochrony przed hałasem.

Przed wdrożeniem środków ograniczających hałas, warto dokonać ogólnej oceny źródeł hałasu na terenie danego zakładu, zapoznać się ze stosownymi wymogami prawnymi i skargami składanych przez ludzi mieszkających w pobliżu zakładu, ocenić dostępne środki i ich koszty.

Najbardziej skuteczne podejście do ograniczenia hałasu nie musi obejmować środków/technik ograniczania hałasu przy najgłośniejszych urządzeniach, ponieważ poziomy hałasu ulegają znacznemu zmniejszeniu wraz ze wzrostem odległości od źródła hałasu. W związku z tym bardziej skuteczne może okazać się połączenie środków/technik w pobliżu źródeł hałasu będących w niewielkiej odległości od narażonych obszarów. W niektórych przypadkach środki/techniki organizacyjne, takie jak ograniczenie działalności w godzinach nocnych, mogą okazać się wystarczające, by zmniejszyć uciążliwość odczuwane na obszarach sąsiadujących z zakładem i by spełnić stosowne wymogi prawne.

Ogólny plan ograniczania emisji hałasu dla zakładu celulozowo-papierniczego powinien obejmować następujące działania:

- sporządzenie wykazu wszystkich źródeł dźwięku i określenie dla nich poziomów ciśnienia akustycznego w poszczególnych pasmach oktawowych wraz z analizą impulsów;
- identyfikacja obszarów narażonych na hałas, np. tereny zamieszkałe przez ludzi;
- komputerowe obliczenia propagacji hałasu (modelowanie terenu zakładu i sąsiadujących z nim obszarów); a także sprawdzenie faktycznego poziomu hałasu na terenach zamieszkałych poprzez przeprowadzenie bezpośrednich pomiarów;
- uporządkowanie źródeł hałasu zależnie od ich znaczenia dla poszczególnych obszarów narażonych na hałas (oddzielnie dla dnia i pory nocnej);
- ocena środków/technik ograniczania hałasu w odniesieniu do ich znaczenia dla poziomu hałasu na obszarach narażonych i ich szacunkowych kosztów;
- określenie najbardziej skutecznego połączenia środków/technik, które zapewni zgodność z wymogami prawnymi i zostanie zaakceptowane przez lokalną społeczność;
- uwzględnienie kontroli hałasu w procesach związanych z konserwacją urządzeń.

Tak opracowany plan ograniczania emisji hałasu (siedmiostopniowy) powinien być wdrażany w zakładach celulozowo-papierniczych, które są zlokalizowane w pobliżu obszarów mieszkalnych.

### **Główne korzyści środowiskowe**

Zmniejszenie emisji hałasu służy przede wszystkim wyeliminowaniu uciążliwości odczuwanych przez ludzi mieszkających w sąsiedztwie zakładu.

### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Pozwolenia wymaga, aby poziom hałasu nie przekraczał określonych poziomów emisji hałasu, które są zwykle określane indywidualnie dla każdego przypadku. Odrębne poziomy emisji hałasu mogą obowiązywać na obszarach mieszkalnych i na których prowadzona jest działalność gospodarcza w ciągu dnia (07:00 – 22:00) i w porze nocnej (22:00 – 07:00). Operator instalacji zwykle musi przedstawić informacje na temat rozpowszechnienia hałasu i środków podjętych w celu zmniejszenia jego emisji.

Oprócz wartości bezwzględnej w określonym miejscu (w dB (A)), uwzględniana jest także odległości do najbliższego obszaru mieszkalnego. W związku z tym, że większość zakładów pracuje w sposób ciągły przez cały dzień i noc (pewne przerwy mają miejsce w przypadku działu przygotowania drewna i transportu towarów) docelowe poziomy hałasu w nocy będą określać środki dla ogółu prowadzonej działalności. W przypadku hałasu impulsowego powszechną praktyką jest dodawanie 5 dBA do wyników pomiarów przy porównywaniu ich z dopuszczalnymi wartościami.

Informacje na temat rzeczywistych przykładów ograniczania emisji hałasu, stosowanych w tym celu środków, osiągniętego stopnia zmniejszenia emisji hałasu i aspektów ekonomicznych przedstawiono w punktach 'techniki ograniczania hałasu' w rozdziałach 3 – 7, dotyczących poszczególnych procesów.

### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Brak istotnych doniesień.

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Środki/techniki ograniczania hałasu mogą być zasadniczo stosowane zarówno w nowych jak i istniejących zakładach. Istniejące instalacje są często modernizowane w celu spełnienia krajowych wymogów prawnych. W przypadku starszych instalacji mogą wystąpić problemy spowodowane np. brakiem miejsca na izolację akustyczną lub utrudnionym dostępem podczas prac konserwacyjnych.

#### **Aspekty ekonomiczne**

Konieczne jest poniesienie dodatkowych nakładów kapitałowych i zazwyczaj kosztów prac konserwacyjnych w związku z wdrożeniem środków/technik ochrony przed hałasem. Jest to szczególnie istotne w przypadku istniejących instalacji. Dokładny poziom kosztów zależy od lokalnych warunków, jednak w przypadku dwóch analizowanych zakładów w Szwecji, obniżenie dopuszczalnej wartości z 50 do 40 dB(A) i z 45 do 40 dB(A), wymagało nakładów kapitałowych rzędu odpowiednio 10 000 – 50 000 euro [201, Ingemansson Technology AB 2005]. Wyższa wartość odnosi się do całkowicie nowego działu obróbki drewna. Szczegółowe dane dotyczące kosztów ograniczania hałasu należy interpretować bardzo ostrożnie, biorąc pod uwagę to, że poziom kosztów zależy od rodzaju źródeł hałasu, który należy wyciszyć, ich liczby i odległości miejsca, w którym oczekiwane są rezultaty wdrażanych środków od zakładu. Przyczyną uciążliwości związanych z hałasem może być zarówno jedno główne źródło jak i nawet do około 100 różnych miejsc, w których generowany jest hałas.

W tym drugim przypadku, obniżenie poziomu hałasu pochodzącego z wielu źródeł o 1 dB(A) może kosztować 1 mln euro (zakład UPM).

W zakładzie Stora Enso Heinola inwestycja 200 000 euro pozwoliła na zmniejszenie poziomu hałasu 300 metrów od zakładu o 1 dB(A) (z 55 dB(A) do 54 dB(A)). Dodatkowe środki ograniczania hałasu nie były wymagane przez właściwe organy ze względu na nieracjonalnie wysokie koszty i ze względu na fakt, że w pobliżu terenów mieszkalnych występują także inne źródła hałasu.

### Motywacja do wdrożenia

Wymogi prawne ze strony właściwych organów, a w pewnych przypadkach także przepisy krajowe. W tabeli 2.36 wskazano kilka przykładów docelowych poziomów hałasu.

Tabela 2.36 Docelowe poziomy hałasu w kilku krajach w Europie

Kraj	Docelowy poziom hałasu lub wartość graniczna
Finlandia	W obecnie wydawanych pozwoleniach wartość graniczną lub zalecaną w ciągu dnia (07:00 – 22:00) określono na poziomie 55 dB(A), natomiast w porze nocnej (22:00 – 07:00) na poziomie 50 dB(A). Na terenach rekreacyjnych mogą obowiązywać wartości graniczne na poziomie 45 dB(A) w dzień i 40 dB(A) w porze nocnej.
Szwecja	Wszystkie zakłady muszą przestrzegać wartości granicznych wynoszących 45 – 50 dB(A) w porze nocnej.
Niemcy	Zależnie od klasyfikacji obszaru (sposobu użytkowania). Większość zakładów należy do kategorii C, tj. połączenia terenów mieszkalnych z terenami, na których prowadzona jest działalność gospodarcza, a co za tym idzie muszą one przestrzegać wartości granicznej <60 dB(A) w ciągu dnia i 45 dB(A) w porze nocnej przy najbliższym budynku mieszkalnym. W przypadku nowych instalacji obowiązuje docelowy poziom hałasu <40
Austria	Podobnie jak w Niemczech.
Holandia/Belgia	W przypadku istniejących instalacji w odległości <500 metrów do najbliższego terenu mieszkalnego obowiązuje wartość graniczna równa 45 dB(A). W przypadku większej odległości lub gdy zakłada jest zlokalizowany na 'terenie przemysłowym' maksymalna wartość dopuszczalna wynosi 55 dB(A). W przypadku nowych instalacji obowiązuje limit 40 dB(A). Punkt pomiarowy jest zlokalizowany na wysokości 3 metrów nad ziemią.
Anglia	Przy określaniu wartości granicznych uwzględniany jest poziom hałasu w tle, co oznacza szeroki zakres stosowanych poziomów docelowych. W niektórych przypadkach poziom docelowy wynosi 60 dB(A) przy ogrodzeniu terenu zakładu (gdy najbliższy dom znajduje się po drugiej stronie ulicy) lub 38 – 41 dB(A) (w przypadku punktów pomiarowych w odległości 800 – 1 600 metrów od zakładu).
Europa Południowa	Nie stosuje się indywidualnie określanych wartości granicznych, lecz odniesienie do rozporządzenia w sprawie ogólnych poziomów hałasu, które określa wartość graniczną w porze nocnej na poziomie 55 dB(A) i 65 dB(A) w ciągu dnia dla zakładów przemysłowych zlokalizowanych w strefach mieszanych, tj. na terenach, na których zlokalizowane są biura i budynki mieszkalne.

### Instalacje referencyjne

Wiele zakładów celulozowo-papierniczych w Europie wdrożyło szereg środków ograniczania

emisji hałasu wymienionych powyżej.

**Bibliografia**

[ 201, Ingemansson Technology AB 2005 ]

## 2.9.14 Ograniczanie emisji zapachów złownonych

### Opis

Produkcja mas włóknistych i papieru jest często kojarzona przez ludzi z nieprzyjemnym zapachem. Zapach złownony jest w tym przypadku powodowany przez emisję gazów o nieprzyjemnym zapachu, takich jak merkaptany i inne zredukowane związki siarki uwalniane z celulozowni siarczanowych, które są szczególnie uciążliwe ze względu na ich odstraszący zapach i ich niski próg wyczuwalności węchowej. Zbieranie i przetwarzanie takich gazów złownonych zostało omówione w pkt 3.3.15 do 3.3.16.3.

Mimo, że większość związków złownonych stanowią zredukowane związki siarki (np.  $H_2S$ ), występują także związki złownone pochodzące z rozpadu i rozkładu materii organicznej i biologicznej. Rozkład występuje wtedy, gdy warunki stają się korzystne dla bakterii rozkładających i gnilnych.

W procesie roztwarzania siarczanowego (patrz pkt 3.2.2.6.4) zapach złownony jest emitowany głównie wraz z uwalnianymi związkami całkowitej siarki zredukowanej (TRS) ze źródeł takich jak kocioł odzysknicowy, piec wapienny i duża liczba rozproszonych źródeł gazów złownonych (emitowanych w sposób ciągły lub przerywany). W procesie roztwarzania siarczynowego i w procesie roztwarzania metodą obojętnego siarczynu występuje mniej emisji związków złownonych. Uciążliwości zapachowe mogą wynikać z emisji merkaptanów furfuralu, siarkowodoru lub dwutlenku siarki. Zostały one opisane bardziej szczegółowo w pkt 4.2.2.5 i 4.3.22.

Podstawowe i najczęściej występujące emisje zapachów złownonych związane z procesami prowadzonymi w zakładach celulozowo-papierniczych innymi niż roztwarzanie chemiczne to zapachy złownone pochodzące z następujących źródeł:

- Ekstrakty w drewna (terpeny, itp.) emitowane podczas obróbki drewna i roztwarzania mechanicznego.
- Lotne kwasy tłuszczowe z zamkniętych obiegów wody, głównie w papierniach wykorzystujących jako materiał włóknisty makulaturę. Skrobia zawarta w makulaturze i tekturze poddawanej recyklingowi, która ulega rozkładowi na związki złownone.
- Produkty rozkładu organicznego z różnych źródeł powstające podczas oczyszczania ścieków i przemieszczania osadów pościekowych.

- I. Zapachy złownone powstające podczas obróbki drewna i roztwarzania mechanicznego
- W trakcie mechanicznego przetwarzania kłód, drewna i zrębków drzewnych powstają lotne substancje ekstrakcyjne, które są emitowane do atmosfery. Tego rodzaju lotne związki organiczne są związkami złownonymi. Złownone lotne związki ekstrakcyjne są emitowane w instalacjach korowania i rozdrabniania oraz z magazynowanych zrębków drzewnych. Roztworzenie mechaniczne poprzez rafinację zrębków i rozcieranie kłód powoduje emisje lotnych związków organicznych. Metody kontroli emisji lotnych związków organicznych z roztwarzania mechanicznego, a tym samym emisji zapachów złownonych, obejmują różne metody destrukcji, np. utlenianie termiczne.

Jednak jeśli chodzi o Europę, nie ma informacji, by jakkolwiek zakład celulozowo-

papierniczy kontrolował zapachy złownone związane z emisjami lotnych związków organicznych. Poza Europą, np. w UPM-Kymmene, papierni Blandin Paper Mill i papierni New Page, Duluth Paper Mill, lotne związki organiczne z komina głównego ścieraka (zakład PGW) i wentylacji komory ścieraka są kontrolowane za pomocą regeneracyjnego utleniania termicznego (RTO) [ 188, Pöyry 2010 ].

## II. Zapachy złownone związane z wysokim stopniem zamknięcia układów wodnych

W papierniach z zamkniętymi układami wodnymi rozpuszczone cząstki gromadzą się w układach cyrkulującej wody podsitowej. Ich stężenie wzrasta zależnie od stopnia zamknięcia układu, aż do osiągnięcia ustabilizowanego poziomu. W niektórych zakładach produkujących papier na bazie RCF, charakteryzujących się wysokim stopniem zamknięcia układów wodnych, rozpuszczona substancja organiczna osiąga stężenia ChZT rzędu 40 000 mg/l. Dostępność takiego biodegradowalnego materiału organicznego w ciepłych warunkach beztlenowych przyczynia się do rozkładu (hydrolizy) materii organicznej przez bakterie kwaszące do lotnych kwasów organicznych. Węglowodany są przekształcane w lotne kwasy tłuszczowe, takie jak kwas masłowy, kwas mlekowy, kwas octowy i kwas propionowy, z których wszystkie są źródłem zapachów złownych.

Poniżej przedstawiono możliwe techniki zapobiegania lub zmniejszania emisji zapachów złownych z papierni posiadających zamknięte obiegi wody.

- Odpowiednie projektowanie procesów produkcji papieru z uwzględnieniem optymalnym wymiarów i urządzeń, aby uniknąć przedłużającego się czasu retencji, martwych stref i obszarów o niedostatecznym mieszaniu w obiegach wody i powiązanych jednostkach, w celu uniknięcia niekontrolowanego formowania się osadów w rurach i w kadziach.
- Wymagania konstrukcyjne i kryteria związane z procesami w zakładach z zamkniętymi obiegami wody i powiązane działaniami ‘wrażliwymi na działanie wody’ mają kluczowe znaczenie dla ograniczania uciążliwości zapachowych (choć odnosi się to nie tylko do problemów związanych z zapachami złownymi, ale także korozji, odkładania się kamienia i osadów, i ma wpływ na usprawnienie przebiegu procesów i ogólnej dostępności).
- Optymalne zarządzanie i funkcjonowanie układu wody podsitowej, włącznie z kontrolą i monitorowaniem wody wpływającej, prędkości przepływu oraz właściwości wody podsitowej. Obejmuje to także konserwację i czyszczenie urządzeń, a w niektórych przypadkach również wewnętrzne selektywne oczyszczanie wody procesowej.
- Stosowanie biocydów do kontroli rozwoju bakterii. Biocydy będą powstrzymywać rozwój bakterii w układach wodnych, lecz nie spowodują zmniejszenia stężeń rozpuszczonych substancji. Punkty aplikacji biocydów to kadź sitowa, kadź na braki, długi obieg, itp. Dozowanie biocydów jest w takich przypadkach stosowane z przerwami, i często zamiast ciągłego oczyszczania preferowane jest ‘dozowanie szokowe’, korzystniejsze ze względu na koszty i skuteczność.
- Stosowanie środków utleniających do kontroli zapachów złownych i rozwoju bakterii. Środki utleniające, takie jak nadtlenek wodoru mogą być stosowane w przypadku uciążliwości zapachowych o charakterze lokalnym. Niektóre papiernie stosują w swoich układach wodnych z dobrym skutkiem dezynfekcję katalityczną w celu zmniejszenia rozwoju mikroorganizmów [ 187, Busmann i wsp. 2008 ].
- W przypadku powstawania H<sub>2</sub>S stosowanie azotanu wapnia w kolumnach wody podsitowej i w kolumnie magazynowej masy włóknistej.
- Instalowanie wewnętrznych procesów oczyszczania (‘nerek’) w celu zmniejszenia stężeń substancji organicznych, a w rezultacie emisji zapachów złownych w układzie wody podsitowej. Wewnętrzne procesy mogą polegać na stosowaniu separacji membranowej lub oczyszczania biologicznego (metodą beztlenową/tlenową) lub połączeniu obu technik. Wewnętrzne oczyszczanie biologiczne połączone ze stosowaniem środków do kontroli

wytrącania wapnia jest skuteczną metodą obniżania stężenia ChZT w wodzie podsitowej. Wewnętrzne oczyszczanie biologiczne jest stosowane w niektórych zakładach papierniczych posiadających zamknięte obiegi wodne lub produkujących niewielkie ilości odcieku (RCF DE 6, VPK Oudegem, BE, i Papelera de la Aqueria, ES). Należy pamiętać, że całkowite zamknięcie obiegów wody może mieć negatywny wpływ na jakość wytwarzanego papieru, wiązać się z koniecznością eksploatacji dodatkowych urządzeń i stosowania dodatkowych substancji chemicznych. Może także zmniejszyć przerabialność maszyn papierniczych. W USA funkcjonują papiernie z zamkniętymi obiegami wody wykorzystujące technologię membranową połączoną z oczyszczaniem biologicznym (przedsiębiorstwo papiernicze McKinley, Nowy Meksyk, USA), patrz pkt 6.3.4.

- Otwarcie zamkniętych obiegów wody w celu usunięcia z nich zanieczyszczeń.

Jedynie ostatnie dwa rozwiązania zmniejszają ilość rozpuszczonej materii, a więc mają pozytywny wpływ na chemię części mokrej maszyny papierniczej, zużycie chemikaliów i ograniczenie korozji.

### III. Zapachy złownonne związane z oczyszczaniem ścieków i obróbką osadów

W procesie oczyszczania ścieków istnieje kilka etapów, w których mogą powstawać zapachy złownonne i kilka powodów, dla których tak się dzieje. Ogólnie ujmując możliwymi przyczynami takich zapachów są warunki anoksydacyjne lub beztlenowe w ściekach lub osadzie.

W odniesieniu do oczyszczania ścieków stwierdzono następujące źródła zapachów złownonnych:

- Emisje lotnych związków zawartych w ściekach, takich jak zredukowane związki siarki z systemów kanalizacyjnych i urządzeń do wstępnego oczyszczania. Ścieki przychodzące mają zazwyczaj wysoką temperaturę w związku z czym emisje lotnych związków złownonnych mogą wystąpić:
  - podczas mieszania strumieni ścieków w kanalizacji (różnice wartości pH lub temperatury)
  - gdy kanały lub otwory wentylacyjne kanalizacji są otwarte
  - w osadnikach wstępnych (otwarta przestrzeń i przelewy)
  - w chłodniach kominowych ścieków
  - w związku z napowietrzaniem powierzchniowych zbiorników wyrównawczych.
- Emisje związków złownonnych powstające w związku z rozkładem anoksydacyjnym materii organicznej i w warunkach redukcyjnych w procesach oczyszczania wtórnego oraz podczas obróbki osadu, w tym:
  - rozkład osadu w warunkach anoksydacyjnych w osadniku wstępnym
  - niewystarczający przepływ powietrza lub przeciążenie filtrów odsączających
  - niedostateczne napowietrzanie i/lub mieszanie w zbiorniku napowietrzającym
  - przedłużający się czas retencji osadu w osadniku wtórnym
  - otwory kadzi osadu nadmiernego
  - urządzenia odwadniające osady
  - zbiorniki przelewowe
  - emisje związków złownonnych z suszarni osadów.

Możliwe metody ograniczania emisji zapachów złownonnych związanych z oczyszczaniem ścieków i obróbką osadów obejmują:

- Stosowanie systemów kanalizacyjnych i pierwszy stopień oczyszczania:
  - Zapewnienie odpowiedniej konstrukcji systemów kanalizacyjnych (zamknięte z regulowanymi otworami wentylacyjnymi); to rozwiązanie może być problematyczne w starszych zakładach posiadających złożone, w niektórych przypadkach otwarte, systemy kanalizacyjne.
  - Stosowanie chemikaliów, aby zapobiec/ograniczyć powstawanie siarkowodoru w systemach kanalizacyjnych, lub do jego utleniania. Siarkowódor może powstawać na etapie wcześniejszych procesów lub na skutek warunków panujących w systemie kanalizacyjnym. Środek ten jest stosowany jedynie w kilku określonych problematycznych przypadkach. Sole żelaza (np.  $\text{FeCl}_2$ ), czysty tlen i mieszaniny azotanów okazały się być skuteczne w tym zastosowaniu, a także w kadziach z nadmiernym osadem i osadnikami wstępnych, w przypadku których występowały uciążliwości zapachowe.
  - W miarę możliwości unikanie chłodni kominowych w odniesieniu do nieoczyszczonych ścieków. Jednakże chłodzenie jest często wymagane przed oczyszczaniem biologicznym, a w niektórych przypadkach ze względu na ograniczone możliwości odbioru. Bezpośrednie chłodzenie nieoczyszczonych ścieków (po wstępnej klaryfikacji) w chłodniach kominowych jest metodą stosunkowo często stosowaną w Europie – zarówno w zakładach celulozowych jak i papierniczych. Alternatywą jest chłodzenie pośrednie z zastosowaniem wymienników ciepła i wykorzystywanie odzyskanego ciepła w innych procesach. Główne kwestie eksploatacyjne, które należy uwzględnić w projekcie są związane z niedrożnością/odkładaniem się kamienia i dostępnością. Przykładowe zakłady, w których do chłodzenia ścieków stosowane są wymienniki ciepła to Norske Skog, zakłady Follum (NO), Billerud AB, zakład Gruvön (SE), zakład Palm Eltmann (DE) i Stora Enso Oulu oraz zakład Veitsiluoto (FI).
  - Unikanie nadmiernego napowietrzania zbiorników wyrównawczych przy jednoczesnym zapewnieniu wystarczającego mieszania. Prawidłowy poziom mieszania można osiągnąć np. stosując mieszalniki zanurzeniowe. W przypadku niewystarczającej efektywności mieszania, w niektórych przypadkach na dnie zbiornika może się odkładać osad. Ponadto, nadmierne napowietrzanie zbiorników wyrównawczych jest źródłem zapachów złoonych, ponieważ ścieki na tym etapie nadal zawierają złoonne zredukowane związki siarki.
- Metody stosowane w procesie wtórnego oczyszczania:
  - Zapewnienie wystarczającej zdolności napowietrzania i mieszania. W zakładach papierniczych często występują zmiany w odniesieniu do tempa produkcji, ładunków poszczególnych zanieczyszczeń i/lub natężenia przepływów, co prowadzi stopniowo do nieoptymalnych warunków operacyjnych. W związku z tym zaleca się prowadzenie regularnej kontroli systemu napowietrzania w odniesieniu do tej kwestii. Systemy napowietrzania z aeratorami powierzchniowymi są szczególnie podatne na nieefektywne napowietrzanie i mieszanie.
  - Zagwarantowanie prawidłowego działania układu odbioru osadów z osadnika wtórnego i pompowania osadów powrotnych.
  - Ograniczenie czasu zatrzymywania osadu ściekowego w miejscach składowania osadów ściekowych poprzez ich ciągłe przesyłanie do jednostek odwadniających. Unikanie przechowywania osadów biologicznych w zbiornikach na wycieki lub zbiornikach zagęszczających dłużej niż 3 – 5 dni. W przypadku krótkiego wieku osadu lub gdy mieszane są z nim inne osady, może być konieczne dodatkowe ograniczenie tego czasu.
  - Unikanie przechowywania ścieków w zbiornikach na wycieki dłużej niż jest to potrzebne. Strumienie ścieków kierowane do zbiornika na wycieki mają



zazwyczaj niespecyficzny skład (wysokie stężenie ChZT, skrajne wartości pH, itp.). Strumienie te mogą zacząć względnie szybko zacząć emitować zapachy złowne, gdy znajdują się jeszcze w zbiorniku na wycieki. Ponadto, dodatkowe strumienie o niskiej wartości pH mogą generować emisje siarkowodoru ze zbiornika. Generalnie zbiornik na wycieki powinien być zawsze pusty i dostępny na wypadek przypadkowego wycieku.

- Stosowanie urządzeń do suszenia osadów:
  - Oczyszczanie gazów odlotowych z urządzenia do termicznego suszenia osadów poprzez przemywanie i/lub biofiltrację (stosowanie np. filtrów do kompostu). Gazy odlotowe z urządzenia do suszenia osadów (biologicznych) mają specyficzny, nieprzyjemny zapach. Ich przemywanie i/lub biofiltracja są potencjalnie skutecznymi metodami ich oczyszczania. Stosowanie termicznego suszenia osadów po odwodnieniu mechanicznym w przemyśle celulozowo-papierniczym nie jest powszechne. Metoda ta jest stosowana przez kilka zakładów. Na przykład w Norske Skog, w zakładach Follum (NO), nadmierny osad biologiczny i chemiczny jest odwadniany mechanicznie, a następnie poddawany suszeniu termicznemu. Gazy odlotowe są oczyszczane w płuczce i za pomocą filtra do kompostu. Kolejnym przykładem są zakłady Botnia/UPM-Kymmene Rauma (FI).

### **Główne korzyści środowiskowe**

Zmniejszenie emisji zapachów złownych zmniejsza potencjalne niedogodności w sąsiedztwie zakładów. Różne osoby różnie reagują na tego rodzaju zapachy. Stopień ich uciążliwości może zależeć od częstotliwości i czasu trwania emisji oraz czasu ekspozycji, a także charakteru, intensywności i lokalizacji.

### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Pewne informacje w tym zakresie można znaleźć pod nagłówkiem 'Opis' w tej sekcji.

W związku z tym, że zgłaszane skargi są istotnym bodźcem do działania w kierunku ograniczenia emisji zapachów złownych, system rejestracji i obsługi zażaleń może być przydatnym narzędziem do kontroli bieżącej sytuacji, osiągnięcia poprawy w związku ze stosowanymi środkami i udokumentowania lub dowiedzenia efektywnej pracy zakładu.

### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Brak istotnych doniesień.

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Środki/techniki ograniczania emisji zapachów złownych mogą być stosowane w nowych jak i w istniejących zakładach.

### **Aspekty ekonomiczne**

Nie dostarczono informacji.

### **Motywacja do wdrożenia**

W większości przypadków motywacją do wdrożenia omawianych środków są skargi zgłaszane w związku z nieprzyjemnym zapachem przez społeczność mieszkającą w pobliżu zakładów celulozowo-papierniczych. Kwestie bezpieczeństwa i higieny pracy oraz przepisy krajowe mogą

być kolejnym powodem do ograniczenia emisji zapachów złowonnych, np. w Niemczech, Wytyczne w zakresie zapachów złowonnych w powietrzu atmosferycznym (niem. Geruchsimmissionsrichtlinie, [ 192, GIRL 2008 ] stanowią, że ocena stężenia nieprzyjemnych zapachów w powietrzu atmosferycznym oraz wynikające z niej wymogi odnoszące się do instalacji emitujących takie zapachy winny być realizowane w jednolity sposób (określenie pomiarów zapachów złowonnych, częstotliwości ich występowania, czasu trwania, charakteru i intensywności, maksymalnych tolerowanych uciążliwości zapachowych).

Emisje H<sub>2</sub>S nie są problemem jedynie w związku z uciążliwością zapachową, ale także powodowanymi przez nie skutkami zdrowotnymi, które wymagają podjęcia stosownych działań w celu ochrony pracowników (patrz dyrektywa Rady 98/24/WE).

### **Instalacje referencyjne**

Wiele zakładów celulozowo-papierniczych w Europie wdrożyło szereg środków w celu zapobiegania, kontroli i ograniczania uciążliwości zapachowych w sąsiedztwie zakładów. Jednak zapachy złowonne są wciąż przyczyną skarg zgłaszanych przez lokalną społeczność. Przykładowe zakłady stosujące niektóre z omawianych środków zostały wskazane w pozycji ‘Opis’ powyżej.

### **Bibliografia**

[ 88, CEN 2003 ], [ 187, Busmann i wsp. 2008 ], [ 188, Pöyry 2010 ], [ 192, GIRL 2008 ].

## 2.10 Ogólne tendencje występujące w sektorze celulozowo-papierniczym

Zazwyczaj większość nowych technik stanowi nieznaczne udoskonalenie istniejących procesów (ich dostosowanie) lub stopniowe ulepszenia w zakresie prowadzenia działalności gospodarczej. Jednocześnie podejmowane są też pewne działania na większą skalę i można wskazać przykłady podmiotów szukających nowych podejść i kwestionujących obowiązujące ramy działania (np. program transformacji energetycznej dla łańcucha produkcji papieru, prowadzony przez holenderskie stowarzyszenie papierników VNP).

W związku z jednoczesnym działaniem różnych bodźców motywujących wiele sektorów przemysłowych, w tym także sektor celulozowo-papierniczy znajduje się w fazie przejściowej. Możliwych jest wiele kierunków, lecz wynik podjętego wyboru jest niepewny. Koncepcja ‘biogospodarki opartej na wiedzy’ jest obecnie bardzo popularna w kontekście dążenia do wprowadzania zmian. ‘Biorafinerie’ i ‘biopaliwa’ są przykładami nowych koncepcji technologicznych obejmujących wiele technik.

Techniki wschodzące powiązane z szerzej występującymi ogólnymi trendami w sektorze celulozowo-papierniczym mogą być przypisane do trzech głównych kategorii, w ramach których istnieją różne możliwości rozwoju:

- (i) ‘Bio-boom’, który obejmuje techniki ukierunkowane na ograniczanie zużycia paliw kopalnych/wykorzystywania paliw bardziej neutralnych w odniesieniu do CO<sub>2</sub>, lub nowych surowców, substancji chemicznych, powłok i enzymów opartych na składnikach biologicznych. Poprzez wprowadzanie procesów biorafinacji do procesów produkcji mas włóknistych i papieru, sektor celulozowo-papierniczy może produkować, oprócz papieru, szeroki wybór materiałów w z wykorzystaniem biomasy – od substancji chemicznych po paliwa.
- (ii) Zintegrowana efektywność wykorzystania zasobów (energii, wody, surowców włóknistych, powłok i wypełniaczy).
- (iii) Uproszczenie procesów prowadzonych z wykorzystaniem urządzeń na linii wielofunkcyjnej.

Niektóre z tych trendów technologicznych, oraz kilka innych, omówiono w rozdziałach 3 – 7 w częściach odnoszących się do ‘technik wschodzących’.

### 3 PROCES ROZTWARZANIA METODĄ SIARCZANOWĄ

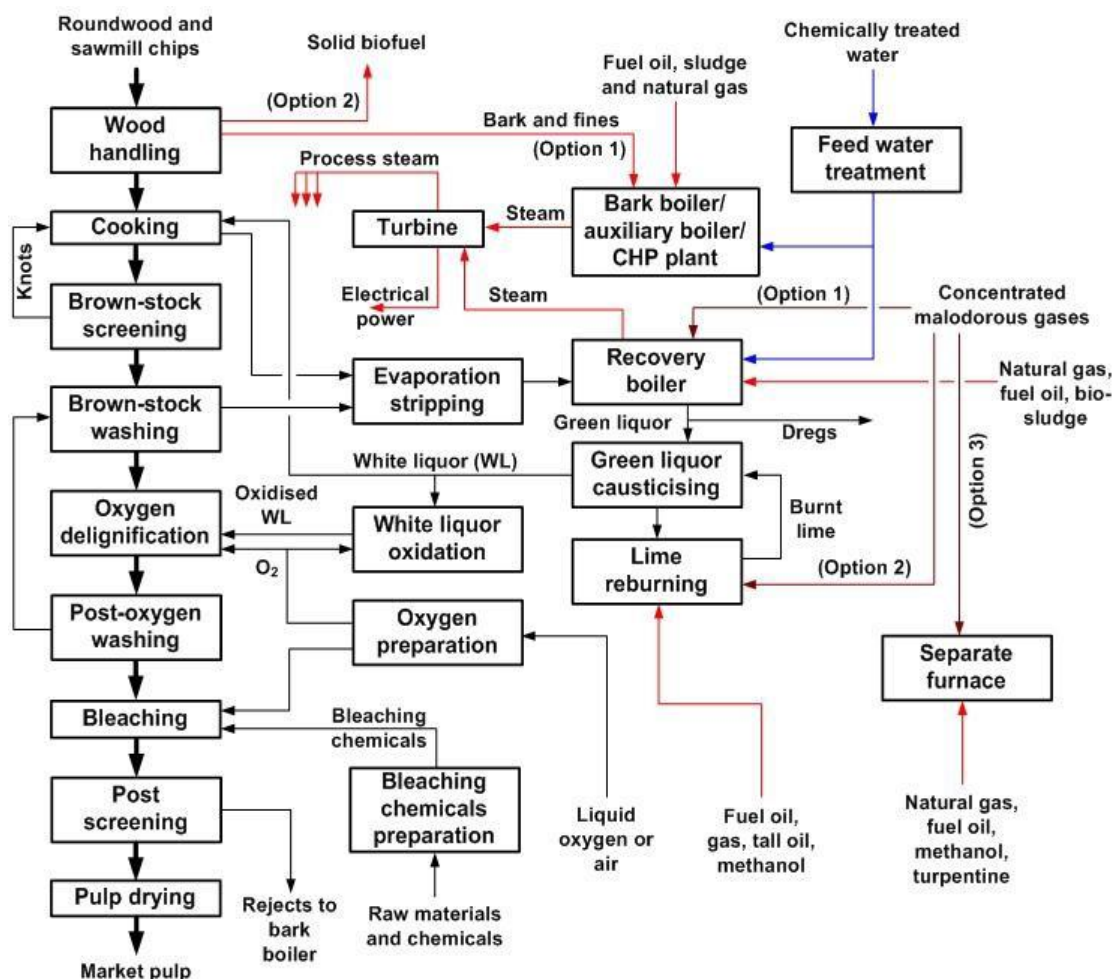
Proces siarczanowy lub kraft szacowany na ok. 80% światowej produkcji mas włóknistych jest najczęściej stosowaną metodą spośród procesów wytwarzania mas włóknistych metodami chemicznymi. Znaczenie procesu siarczynowego w ciągu ostatnich lat ulegało ciągłemu zmniejszeniu. Obecnie tylko 10% światowej produkcji mas jest otrzymywanych tą metodą. Termin „siarczanowa” pochodzi od siarczanu sodowego stosowanego jako chemikalia uzupełniające, który jest dodawany w cyklu regeneracji w celu skompensowania strat chemikaliów. W procesie roztwarzania chemicznego włókna są uwalniane z matrycy drzewnej, podczas gdy lignina jest usuwana przez rozpuszczenie w roztworze chemikaliów warzelnych w wysokiej temperaturze. Podczas roztwarzania rozpuszczana jest również część hemicelulozy. W procesie siarczanowym aktywnymi chemikaliami warzelnymi (ług biały) są: wodorotlenek sodowy (NaOH) i siarczek sodowy (Na<sub>2</sub>S). W wyniku zastosowania dużych ilości wodorotlenku sodowego, wartość pH na początku roztwarzania zawiera się pomiędzy 13 i 14 (proces roztwarzania alkalicznego). W trakcie roztwarzania ulega ona stopniowemu, ciągłemu obniżaniu, ponieważ w wyniku zachodzących reakcji powstają kwasy organiczne.

Obecnie metoda siarczanowa jest dominującym w skali światowej procesem roztwarzania chemicznego. Wpłynęły na to przewaga własności wytrzymałościowych masy w porównaniu z procesem siarczynowym, przydatność dla wszystkich gatunków drewna, jak również opracowane i wdrożone skuteczne systemy regeneracji chemikaliów. Z drugiej strony chemia procesu siarczanowego jest odpowiedzialna za potencjalny problem związków złoonych. Jednak nowoczesne zakłady posiadające zoptymalizowane systemy wyłapywania gazów mogą za ich pomocą ograniczyć rozprzestrzenianie się nieprzyjemnych zapachów po okolicy.

W wyniku reakcji chemicznych, w stopniu roztwarzania tworzą się grupy chromoforowe resztkowej ligniny powodując, że masa staje się ciemniejsza pod względem barwy niż pierwotne drewno. Ze względu na wyższe pH, proces roztwarzania siarczanowego indukuje więcej grup chromoforowych niż roztwarzanie siarczynowe, a niebielona masa siarczanowa ma znacząco niższą początkową białość niż niebielona masa siarczynowa.

### 3.1 Stosowane procesy i techniki

Rysunek 3.1 przedstawia przegląd procesów celulozowni siarczanowej.



Rysunek 3. 1 Przegląd procesów celulozowni siarczanowej

Roundwood and sawmill chips	Okrągłaki i zrębki tartaczne
Wood handling	Plac drzewny
Cooking	Warzelnia
Knots	Sęki
Brown-stock screening	Sortowanie masy niebielonej
Brown-stock washing	Mycie masy niebielonej
Oxygen delignification	Delignifikacja tlenowa
Post-oxygen washing	Mycie po stopniu tlenowym
Bleaching	Bielenie
Post screening	Etap po sortowaniu
Pulp drying	Suszenie masy
Market pulp	Masa towarowa
Solid biofuel	Biopaliwo stałe
(Option 2)	(Opcja 2)
Process steam	Para technologiczna
Turbine	Turbina
Electrical power	Energia elektryczna
Bark and fines	Kora i drobne cząstki
Fuel oil, sludge and natural gas	Olej opałowy, osady ściegowe i gaz ziemny

Chemically treated water	Chemicznie uzdatniona woda
Feed water treatment	Uzdatnianie wody zasilającej
Bark boiler/ auxiliary boiler/ CHP plant	Kocioł korowy/ kocioł pomocniczy/ elektrociepłownia
Steam	Para
Steam	Para
(Option 1)	(Opcja 1)
Recovery boiler	Kocioł regeneracyjny
Evaporation stripping	Odprowadzanie odparowania
White liquor (WL)	Ług biały
Oxidised	Utleniony
WL	ŁB
White liquor oxidation	Utlenianie ługu białego
Oxygen preparation	Przygotowanie tlenu
Bleaching chemicals	Chemikalia bielące
Bleaching chemicals preparation	Przygotowanie chemikaliów do bielenia
Rejects to bark boiler	Odrzuty do kotła korowego
Raw materials and chemicals	Surowce i chemikalia
Liquid oxygen or air	Ciekły tlen lub powietrze
Green liquor	Ług zielony
Green liquor causticising	Kaustyzacja ługu zielonego
Lime reburning	Wypalanie wapna
Fuel oil, gas, tall oil, methanol	Olej opałowy, gaz, olej talowy, metanol
Concentrated malodorous gases	Stężony gazy złowonne
Natural gas, fuel oil, bio-sludge	Gaz ziemny, olej opałowy, osad biologiczny
(Option 3)	(Opcja 3)
Dregs	Osady
Burnt lime	Wypalone wapno
(Option 2)	(Opcja 2)
Separate furnace	Oddzielny piec
Natural gas, fuel oil, methanol, turpentine	Gaz ziemny, olej opałowy, metanol, terpentyna

Celulozownię siarczanową można podzielić na cztery główne części: przygotowanie surowca, chemiczne rozwłóknianie (delignifikacja) z prawie całkowicie zamkniętym systemem regeneracji chemikaliów i energii, bielenie z otwartym układem wodnym oraz zewnętrzny system oczyszczania ścieków poprodukcyjnych (procesowych). Innym, bardziej konwencjonalnym podziałem jest podział na linię włókien, system regeneracji, cykl wapienny i zewnętrzny system oczyszczania ścieków. Z głównymi oddziałami celulozowni związane są pewne pomocnicze układy, jak usuwanie odrzutów, wytwarzanie chemikaliów bielących i generowanie pomocniczej energii elektrycznej. Bardziej szczegółowe wyjaśnienie głównych procesów związanych z roztrzaniem siarczanowym, które w uproszczeniu pokazano na rysunku 3.1, przedstawiono w pkt 3.1.1 do 3.1.12.

Masę siarczanową do przerobu chemicznego produkuje się również w UE-27, chociaż tylko na małą skalę (w 2013 roku, jedna celulozownia w UE-27 przeznaczyła jedną trzecią mocy produkcyjnych na produkcję masy siarczanowej do przerobu chemicznego, a pozostałe dwie trzecie na produkcję masy siarczanowej). Ten rodzaj masy powstaje w długotrwałym procesie w komorze fermentacyjnej i instalacji bielenia w celu wyeliminowania całej hemicelulozy. Skutkuje to wydajnością niższą o 35% w porównaniu do procesu masy siarczanowej i wyższymi emisjami (wstępne szacunki wskazują na emisje wyższe o 35%).

### 3.1.1 Przyjęcie i magazynowanie drewna

Drewno może być odbierane jako kłody bezpośrednio z lasu lub jako produkt uboczny w postaci zrębków z niektórych innych zakładów przemysłu drzewnego, jak tartaki i wytwórnie sklejki. Kłody są najczęściej dostarczane z korą i muszą być okorowane przed dalszym przerobem. Zrębki są na ogół pozbawione kory i mogą być użyte po przesortowaniu i ewentualnie myciu. Drewno transportuje się do celulozowni statkami, ciężarówkami lub koleją, ale również w pewnym ograniczonym zakresie poprzez spływ kłód bezpośrednio na miejsce do celulozowni. W tym ostatnim przypadku wystąpi pewne wypłukanie kwasów żywicznych i pożywek w czasie, gdy drewno ma kontakt z wodą. Techniki wytwarzania mas mechanicznych mogą wykorzystywać zarówno kłody jak i zrębki, natomiast techniki roztwarzania chemicznego zawsze wykorzystują zrębki.

### 3.1.2 Korowanie

Najbardziej powszechną metodą korowania jest korowanie bębnowe. Kora jest usuwana, gdy kłody ocierają się o siebie w wyniku wzajemnego ruchu nadanego im przez ruch obrotowy bębna korującego. Luźna kora i kawałki drewna spadają z bębna przez specjalne rynny. Odkorowane kłody są natryskiwane wodą przed ich dostarczeniem do celulozowni. Kora z urządzenia korującego jest zwykle dostarczana do rozdrabniacza kory i jeżeli jest wilgotna, jest odciskana przed spalaniem. Istnieje kilka alternatywnych możliwości wykorzystania kory. W pewnych przypadkach jest ona sprzedawana jako paliwo po osuszeniu ciepłem wtórnym w celulozowni.

Powszechną praktyką jest korowanie drewna z dojrzałych drzew eukaliptusowych na miejscu zbioru. Jest to uzasadnione ze względów ekonomicznych lub gdy nie ma możliwości uzyskania energii z biomasy.

### 3.1.3 Rozdrabnianie drewna na zrębki i sortowanie

Do procesów chemicznego roztwarzania kłody są rozdrabniane do zrębków w rębaku. Celem rozdrabniania jest uzyskanie zrębków o jednolitych rozmiarach, co zapewnia lepszą jakość produkowanej masy. Dostarczenie jednolitych pod względem rozmiaru zrębków jest konieczne dla skuteczności procesów i ze względu na jakość masy. Im bardziej jednolite są zrębki po rębaku, tym niższe jest zużycie surowca. Po stacji rębaka zrębki są sortowane w celu usunięcia ponadwymiarowych zrębków i trocin. Trociny mogą być gotowane razem ze zrębkami lub oddzielnie w specjalnym warniku do trocin, lub mogą być one spalane albo użyte do innych celów. Zrębki nie zawsze są sortowane. Zależy to od wymaganej jakości masy, np. sortowanie nie jest konieczne do wytwarzania niebielonej masy siarczanowej do papieru pakowego. Ponadwymiarowe zrębki mogą być ponownie rozdrobnione w kruszarce lub wtórnym rębaku. Zrębki są sortowane według grubości, ponieważ jest to krytyczny parametr zarówno przy wytwarzaniu mas chemicznych, jak i mechanicznych. Często osiąga się ogólne optimum poprzez poświęcenie pewnej ilości surowca dla zapewnienia stabilnych warunków przerobu, które z kolei przyczyniają się do lepszej jakości masy i mniejszego zanieczyszczenia. Materiał usunięty w procesie sortowania może być sprzedany do innych celów lub spalony w kotle na paliwo stałe z odzyskiem ciepła razem z korą i osadem z oczyszczania ścieków.

### 3.1.4 Roztwarzanie i delignifikacja

Głównymi składnikami chemicznymi drewna są celuloza, lignina i hemiceluloza. Drewno zawiera również niewielkie ilości substancji ekstrakcyjnych. W procesie siarczanowym włókna są uwalniane w instalacji warzelni poprzez rozpuszczenie ligniny i części hemicelulozy w roztworze chemikaliów warzelnych (ług biały), który zawiera wodorotlenek sodowy (NaOH) i siarczek sodowy (Na<sub>2</sub>S) jako chemikalia aktywne. W przypadku gdy końcowym produktem jest masa niebielona, warzelnia jest jedynym etapem delignifikacji.

Proces roztwarzania chemicznego ma na celu usunięcie ligniny nie tylko ze ścian włókien, ale również ze środkowej blaszki, tak, aby można było oddzielić włókna drzewne. Najlepiej, gdy każde z włókien zostanie poddane obróbce chemicznej przez taki sam okres i w tej samej temperaturze. Oznacza to, że

związki chemiczne i energię należy dostarczyć równomiernie dla każdego zrębka na miejscu przeprowadzania reakcji.

Jednak ubytki wewnątrz świeżych zrębków są częściowo wypełnione cieczą, a częściowo powietrzem. Powietrze musi zostać usunięte ze zrębków, zanim ług zostanie do nich wprowadzony. Zwykle dokonuje się tego przez podgrzewanie parą. Zrębki są ogrzewane za pomocą pary wodnej, która zmniejsza zawartość powietrza w zrębkach. Zrębki łatwiej wtedy absorbują płyn pod zwiększonym ciśnieniem.

Reakcje ligniny w procesie roztwarzania siarczanowego przeprowadza się w fazie impregnacji (wstępnej delignifikacji) oraz w fazie gotowania, w podwyższonej temperaturze, gdy większość ligniny jest usuwana (delignifikacja całościowa). Wstępna delignifikacja zachodzi zwykle w niższych temperaturach, niż podczas gotowania. W tym procesie rozpuszcza się niewiele ligniny (20–25% całości). Impregnacja usprawnia przenikanie ługu do zrębków podczas fazy gotowania.

Proces gotowania może być prowadzony zarówno w wurnikach okresowych, jak i w wurniku ciągłym. Kiedy stosuje się procesy okresowe, to na etapie gotowania zrębki drzewne i ługi wprowadza się do wurnika okresowego, gdzie przebiega gotowanie w podwyższonej temperaturze i pod ciśnieniem. Gdy zostanie osiągnięta wymagana zawartość resztkowej ligniny w masie (mierzona jako liczba kappa), zawartość wurnika jest przenoszona do zbiornika wydmuchowego, a cykl gotowania jest powtarzany.

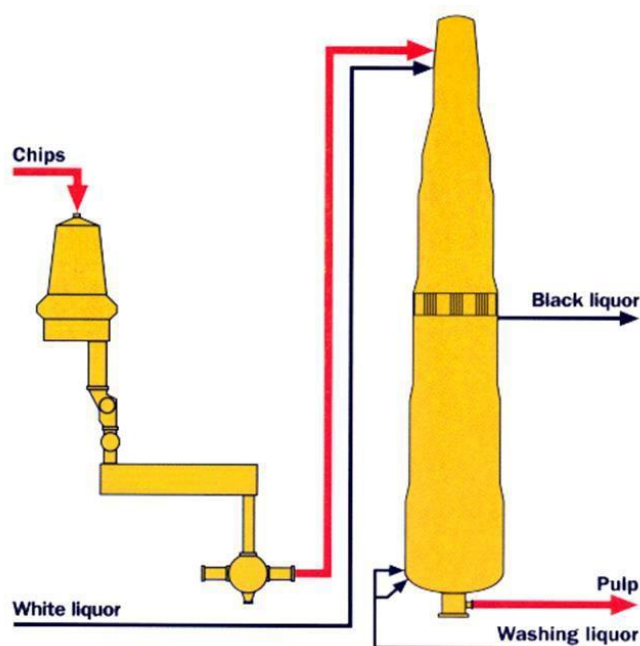
W końcu lat 80. wprowadzono zmodyfikowany proces gotowania, który zaczęły stosować wszystkie nowe linie w zakładach celulozowych. Pogłębiona delignifikacja polegająca na zmodyfikowanej obróbce cieplnej wykorzystuje zasadę profilowania stężenia związków alkalicznych, tj. stężenie związków alkalicznych na początku procesu gotowania (w fazie impregnacji) jest mniejsze i zwiększa się w miarę procesu gotowania. Umożliwia to gotowanie w celu obniżenia resztkowej zawartości ligniny bez nadmiernego rozkładu węglowodanów lub nadmiernych strat wytrzymałości masy włóknistej, przez co zmniejsza się zapotrzebowanie na delignifikację w instalacji bielenia i jej wpływ na środowisko. Dla wurników okresowych, pogłębiona delignifikacja poprzez zmodyfikowaną obróbkę cieplną jest określana jako „okresowe procesy waporowe”, a jej warianty obejmują „szybkie ogrzewanie waporowe”, „gotowanie w trybie nieciągłym” i „impregnowanie ługiem białym”.

We wszystkich tych zmodyfikowanych metodach obróbki cieplnej, zrębki są impregnowane w wurniku przed procesem delignifikacji, z profilem stężenia związków alkalicznych. W waporowym warzeniu okresowym, ciepło ze zużytego ługu warzelnego jest odzyskiwane przez przemieszczenie go z wurnika z roztworem myjącym i wykorzystanie go do wstępnego ogrzewania zrębków dla kolejnego warzenia okresowego (impregnacji).

Roztwarzanie może również przebiegać w wurniku ciągłym (patrz Rysunek 3.2), gdzie końcowa zawartość ligniny jest określona za pomocą wsadu drewno/chemikalia i czasu zatrzymania, jak i temperatury w strefie gotowania. Zrębki są wstępnie ogrzewane za pomocą pary przed wejściem do wurnika ciągłego w celu usunięcia powietrza, które przeszkadza przy impregnacji. Po załadowaniu wurnika zrębki są impregnowane ługiem warzelnym w zbiorniku impregnującym. Następnie temperatura jest podnoszona do 155–175 °C. Czas gotowania w maksymalnej temperaturze wynosi 1-2 godzin. W przypadku roztwarzania ciągłego, zmodyfikowane metody warzenia obejmują warzenie ciągłe, zmodyfikowane rozszerzone warzenie ciągłe, warzenie izotermiczne i warzenie dla niskiej zawartości substancji stałych. Wszystkie te zmodyfikowane sposoby roztwarzania, niezależnie od tego czy są stosowane jako ciągłe procesy, czy jako waporowe zastosowania okresowe, są odmianami tego samego rodzaju i opierają się na zasadzie profilowania stężenia związków alkalicznych.

W roztwarzaniu konwencjonalnym, delignifikacja drewna iglastego (świerk lub sosna) może być prowadzona do liczby kappa 28–35 przy zachowaniu możliwych do przyjęcia własności wytrzymałościowych masy. Dla drewna liściastego (osika, brzoza i eukaliptus) liczba kappa może być obniżona do 14–22 [14, CEPI 1997].





Rysunek 3. 2 Warnik ciągłego działania

Chips	Zrębki
Black liquor	Ług czarny
White liquor	Ług biały
Washing liquor	Roztwór myjący
Pulp	Masa

Modyfikacje procesu gotowania zostały opracowane w celu usunięcia większych ilości ligniny z drewna podczas gotowania bez obniżania wydajności i znacznej degradacji celulozy, zmniejszając w ten sposób ładunek organiczny powstający w wyniku bielenia masy. Liczba kappa po roztworzeniu drewna iglastego może być obniżona do poziomu 15–25 za pomocą pogłębionej delignifikacji [1, Finnish BAT report, 1997], podczas gdy wydajność i własności wytrzymałościowe są wciąż zachowane. To oznacza, że w masie pozostaje o 25–50% mniej ligniny w porównaniu z masą, której kappa wynosi 32. Zredukowane są zatem wymagania dotyczące chemikaliów do późniejszego bielenia i jednocześnie zrzuty ścieków z instalacji bielenia ulegają obniżeniu. Przy roztworzeniu drewna liściastego można uzyskać porównywalne redukcje liczby kappa (zobacz również 3.1.6).

### 3.1.5 Mycie i sortowanie

Masa wychodząca z warku zawiera włókna i ług powarzelnny (ług czarny). Około połowa masy drewna jest rozpuszczana podczas roztwarzania. Wskutek tego ług czarny zawiera chemikalia nieorganiczne i duże ilości substancji organicznych. Ług czarny jest usuwany z masy w następnym w kolejności procesie mycia i kierowany do systemu regeneracji chemikaliów, gdzie następuje odzysk chemikaliów i energii.

Rozpuszczone substancje organiczne razem ze zużytymi chemikaliami warzelnymi są wymywane z włókien celulozowych w procesie mycia masy niebielonej. Nowoczesne systemy zazwyczaj pozwalają na odzysk co najmniej 99% chemikaliów wprowadzonych do warku, przy zastosowaniu minimum wody rozcieńczającej, a jednocześnie osiągając najwyższy możliwy stopień oczyszczenia masy. Mycie masy pochodzącej z konwencjonalnej instalacji wyposażonej w warku okresowe jest zazwyczaj prowadzone na filtrach bębnowych, podczas gdy w instalacji warku ciągłego mycie odbywa się w warku w strefie mycia oraz dodatkowo na filtrach bębnowych lub w dyfuzorach. W dzisiejszych liniach produkcyjnych mas włóknistych, zarówno okresowych, jak i ciągłych, mycie rozpoczyna się już w warku poprzez wypieranie gorącego ługu czarnego za pomocą zimnego roztworu myjącego. Dalsze mycie odbywa się w różnych typach urządzeń myjących, np. filtrach próżniowych bębnowych, prasach myjących, dyfuzorach

lub filtrach myjących typu sitowego.

Skuteczne mycie przynosi szereg korzyści: zmniejsza przenoszenie ługu czarnego z masą do instalacji bielenia, dając w rezultacie obniżone zużycie chemikaliów w bieleniu i zmniejszone zrzuty z instalacji bielenia; zmniejsza zakłócenia w sortowaniu spowodowane spienieniem; zmniejsza całkowite zużycie chemikaliów warzelnych (straty chemikaliów) i zużycie chemikaliów na etapie delignifikacji tlenowej.

Wynik mycia jest w znacznym stopniu zależny od skuteczności zastosowanych urządzeń, stężenia masy na odpływie oraz temperatury i ilości zastosowanej wody myjącej. Jednak, jeżeli mycie jest usprawniane przez zwiększanie ilości wody myjącej, to należy się liczyć z tym, że w następnym etapie odparowywania i zagęszczania ługu czarnego wzrośnie zapotrzebowanie na parę energetyczną.

Prasy myjące i dyfuzory są szczególnie efektywne w usuwaniu rozpuszczonych substancji organicznych i jest to jedną z przyczyn, dlatego prasy myjące stają się coraz bardziej powszechne, szczególnie jako końcowy etap mycia przed bieleniem. Dodanie dwutlenku węgla do wody myjącej lub bezpośrednio do masy może poprawić efekty mycia.

Przed dalszym przerobem masa jest sortowana za pomocą sortowników ciśnieniowych i odśrodkowych (do produkcji masy niebielonej). Celem sortowania jest oddzielenie sęków i pęczków włókien z głównego strumienia masy za pomocą serii urządzeń wibracyjnych, filtracji przez sortowniki ciśnieniowe oraz odśrodkowego rozdziału włókien i innych cząstek o różnych ciężarach właściwych. Odrzuty z procesu sortowania są usuwane z procesu, mechanicznie przerabiane i zwracane do sortowania, lub są bezpośrednio wprowadzane do warników.

### 3.1.6 Delignifikacja tlenowa

Po procesie gotowania delignifikacja może być kontynuowana w jednym lub dwu stopniach tlenowych z lub bez mycia między stopniami. Delignifikacja tlenowa może być realizowana po procesie roztwarzania konwencjonalnego i pogłębionego.

Delignifikacja tlenowa przebiega w środowisku alkalicznym. W celu utrzymania bilansu sodu w obiegu chemikaliów celulozowni, w stopniu tlenowym zwykle stosuje się utleniony ług biały, w którym wodorotlenek sodowy jest głównym związkem alkalicznym, a siarczek sodowy ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) został utleniony do tiosiarcznanu ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ). Z powodu stosunkowo niskiej rozpuszczalności tlenu w roztworze alkalicznym, reaktor, w którym zachodzi delignifikacja znajduje się pod ciśnieniem i temperatura jest podnoszona do około  $100\text{ }^\circ\text{C}$ . W celu zachowania wytrzymałości masy dodaje się sole magnezu ( $\text{MgSO}_4$ ). Tlen jest w większości przypadków nabywany, ale również stosuje się jego wytwarzanie na miejscu w specjalnej instalacji. Ze względu na lepszą selektywność i niższe koszty inwestycyjne, w ciągu ostatnich dziesięciu lat, system średniego stężenia masy (MC, 10–15%) zdominował instalacje celulozowni, ale stosowane są również instalacje wysoko-stężeniowe (HC, 25–30%).

Delignifikacji tlenowej stanowi zwykle pośredni stopień w procesie mycia masy. Woda myjąca jest dodawana w ostatnim etapie mycia po delignifikacji tlenowej i kierowana w przeciwnym kierunku przepływu masy. Mycie po delignifikacji tlenowej jest zwykle prowadzone w dwóch stopniach myjących. Materiał organiczny, rozpuszczony podczas delignifikacji tlenowej, może być odzyskany i skierowany do systemu regeneracji chemikaliów bez większych zmian w procesie. Regeneracja zmniejsza ilość materiału organicznego odprowadzanego do ścieków i ilość potrzebnych chemikaliów.

Liczba kappa po roztwarzaniu konwencjonalnym i delignifikacji tlenowej wynosi zwykle 18–22 dla drewna iglastego i 13–15 dla drewna liściastego bez pogłębionej delignifikacji [CEPI, 1996]. Liczby kappa dla celulozowni siarczanowych produkujących niebielony papier workowy wynoszą 40–55. Zależnie od gatunku drewna, stosując delignifikację tlenową po pogłębionym roztwarzaniu, można osiągnąć zmniejszenie liczby kappa do ok. 8–12 dla drzewa iglastego i 8–10 dla drzewa liściastego. Ogólna wydajność masy może zmniejszyć się o 1,5–2,5% i nadal w masie pozostaje pewna ilość ligniny, która musi zostać usunięta innymi sposobami, gdy wymagana jest

wysoka białość masy.

Obniżenie liczby kappa masy niebielonej, czy jest to osiągane za pomocą pogłębionej delignifikacji w warniku, delignifikacji tlenowej, czy jakąś inną metodą, będzie zmniejszać ładunek zanieczyszczeń z instalacji bielenia odprowadzany do systemu oczyszczania ścieków.

Dzieje się tak, ponieważ substancje rozpuszczone są przesyłane do układu regeneracji, a następnie spalane w kotle regeneracyjnym.

### 3.1.7 Bielenie

Celem bielenia masy chemicznej jest otrzymanie określonych parametrów jakościowych pod względem białości, trwałości białości, czystości i wytrzymałości. Białość niebielonej masy siarczanowej jest raczej niska, poniżej 30% ISO, podczas gdy w pełni bielona masa ma białość 88% ISO lub wyżej. Roztwarzanie i delignifikacja tlenowa nie mogą usunąć całej ligniny, więc dla osiągnięcia takiej białości konieczne jest usunięcie lub utlenienie pozostałej ligniny i zanieczyszczeń w masie. W wyniku bielenia liczba kappa spada poniżej 1 jednostkę [14, CEPI, 1997].

Wprowadzenie pogłębionego roztwarzania (zobacz paragraf 3.1.4) i delignifikacji tlenowej (zobacz paragraf 3.1.6) powoduje bardziej efektywne odzyskiwanie substancji organicznych, a także pozwala na zastosowanie innych środków chemicznych w wybielaniu i minimalizację użycia chlorowych środków chemicznych. W konsekwencji, całkowity zrzut organicznych i chlorowanych związków organicznych z instalacji bielenia został znacznie ograniczony w porównaniu z latami 80. i 90. Podczas gdy procesy delignifikacji mogą przebiegać w zamkniętych układach wodnych, instalacje bielenia przyczyniają się do zrzutu ścieków do oczyszczalni.

Odcieki z instalacji bielenia nie mogą w łatwy sposób być recykulowane do regeneracji chemikaliów głównie ze względu na fakt, że powodowałyby one gromadzenie się chlorków i innych niepożądanych pierwiastków w układzie regeneracji chemikaliów, co może powodować korozję, inkrustację i inne problemy.

Bielenie masy siarczanowej przebiega w kilku, zazwyczaj czterech lub pięciu, etapach. Ostatnio coraz bardziej powszechne stają się trzyetapowe instalacje bielenia. Najbardziej powszechnie stosowane chemikalia, to dwutlenek chloru ( $\text{ClO}_2$ ), tlen ( $\text{O}_2$ ), nadtlenek wodoru ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), wodorotlenek sodu ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), i czasem ozon ( $\text{O}_3$ ). Ostatnio kwas nadoctowy ( $\text{CH}_3\text{CO}_3\text{H}$ ) jest dostępny w handlu jako substancja chemiczna wykorzystywana do bielenia. Natomiast chlor ( $\text{Cl}_2$ ) i podchloryn (np.  $\text{NaOCl}$ ) w ostatnich latach zostały, w znacznym stopniu, wycofane jako główne substancje chemiczne służące do bielenia (zgodnie z decyzją PARCOM w sprawie zakazu stosowania chloru cząsteczkowego ( $\text{Cl}_2$ ) w bieleniu mas siarczanowych i siarczynowych). Niewielkie ilości chloru tworzą się jako produkt uboczny w większości stosowanych systemów wytwarzania dwutlenku chloru i część tego chloru będzie obecna w procesie bielenia za pomocą dwutlenku chloru. Dwutlenek chloru i ozon muszą być produkowane na miejscu (zobacz paragraf 2.1.11). W niektórych celulozowniach, tlen jest także wytwarzany na miejscu poprzez oddzielenie tlenu z powietrza. Nadtlenek, tlen i alkalia mogą być dostarczane do celulozowni jako gotowe produkty.

Ozon jest bardzo reaktywnym czynnikiem bielącym, podczas gdy dwutlenek chloru, tlen i nadtlenek wodoru są mniej reaktywne. Ze względu na różne mechanizmy reakcji w sekwencji bielenia stosowane są różne rodzaje chemikaliów bielących. Stopnie kwaśne i alkaliczne są stosowane przemiennie, wzajemnie się uzupełniając.

Bielenie nadtlenkiem jest stosunkowo powolne i wymaga długiego czasu reakcji, a zatem dużych objętości reaktora lub zwiększonego stężenia masy. Zwiększenie ciśnienia umożliwia wyższe temperatury reakcji dając skrócenie czasu reakcji lub poprawę rezultatów bielenia. Dla uniknięcia rozkładu nadtlenku wodoru konieczne jest usunięcie jonów metali za pomocą środków

chelatujących (np. EDTA lub DTPA) lub kwaśnego mycia. Zaletą nadtlenu w porównaniu z innymi tlenowymi chemikaliami bielącymi jest to, że bielenie nadtlakiem w optymalnych warunkach rozjaśnia resztkową ligninę.

W niektórych instalacjach w Stanach Zjednoczonych od 1991 roku stosuje się działanie enzymami przed właściwym bieleniem. Proces ten może być połączony z różnymi sekwencjami bielenia w celu zwiększenia efektywności stosowanych chemikaliów, ale na ogół powoduje niewielkie straty wydajności.

Instalacja bielenia składa się z sekwencji oddzielnych etapów bielenia z dodawanymi różnymi chemikaliami. Każdy etap bielenia składa się z:

- urządzeń do mieszania chemikaliów i masy;
- reaktora do bielenia (wieże z górnym lub dolnym przepływem), zaprojektowane z odpowiednim czasem zatrzymania dla przebiegu reakcji chemicznych;
- urządzeń do mycia dla oddzielenia z masy stosowanych chemikaliów, usuniętej ligniny i innych rozpuszczonych materiałów (filtr bębnowy prasa myjąca lub dyfuzor).

Etapy bielenia oznacza się stosując symboliczną stenografię według stosowanego środka bielącego:

- |     |  |
|-----|--|
| A   | Etap kwasowy usuwania kwasu heksenouronowego (HexA) w procesie łagodnej hydrolizy kwasowej.                        |
| Q   | Etap kwasowy, w którym stosuje się środek chelatujący EDTA lub DTPA do usuwania metali.                            |
| Z   | Etap ozonowy wykorzystujący gazowy ozon (O <sub>3</sub> ).   |
| P   | Etap alkaliczny z ciekłym nadtlakiem wodoru (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) jako roztworem.                       |
| D   | Etap dwutlenku chloru, w którym stosuje się wodny roztwór dwutlenku chloru   |
| E   | Etap ekstrakcji stosujący wodorotlenek sodowy (NaOH).  |
| E/O | Etap ekstrakcji stosujący wodorotlenek sodowy z późniejszym dodawaniem gazowego tlenu jako środka wspomagającego.  |
| P/O | Etap alkaliczny z nadtlakiem wodoru jako roztworem z małym wsadem tlenu.   |
| E/P | Etap ekstrakcji stosujący wodorotlenek sodowy z późniejszym dodawaniem nadtlenu wodoru jako środka wspomagającego. |

Ostatnio delignifikacja tlenowa staje się coraz bardziej powszechnym etapem delignifikacji, po którym następuje sekwencja bielenia D-EOP-D lub D-EO-D, D-E-D-E-D, D-E-D-D, D-EOP-D-E-D, QP-DQ-PO, D-EOP-D-D lub Z-E/O-D-P/O.

Dwa główne rodzaje stosowanych metod bielenia, to metoda ECF (Elemental Chlorine Free, tzn., kiedy ani cząsteczkowy, ani gazowy chlor nie jest dozowany do bielenia) i metoda TCF (Totally Chlorine Free – bielenie bez udziału związków chloru). Celulozownie ECF stosują dwutlenek chloru w sekwencji bielenia, a w kilku przypadkach także ozon, związki alkaliczne do ekstrakcji rozpuszczonej ligniny, i nadtlak i tlen do wzmocnienia etapów ekstrakcji. Bielenie TCF stosuje tlen, ozon i kwas nadoctowy oraz nadtlak ze związkami alkalicznymi do ekstrakcji ligniny. Z punktu widzenia ogólnej wydajności i jakości masy ważna jest selektywność, gdyż wysoka selektywność oznacza, że chemikalia bielące przede wszystkim reagują z ligniną.

Niektóre celulozownie odpowiadają na wymagania rynku odnoszące się do mas całkowicie wolnych od chloru (TCF) poprzez modyfikowanie sekwencji bielenia. Obecnie bielenie TCF jest uznaną technologią. Liczne celulozownie mają możliwość produkowania mas ECF lub TCF zależnie od sytuacji rynkowej. Są stosowane i znajdują się w trakcie rozwoju nowe sekwencje

bielenia polegające na połączenie etapu chelatującego (Q), etapu nadtlenu (P) i ozonu (Z), takie jak: Q-E/P-E-P, Q-Z-P-E-P, OP-ZQ-PO, Q- OP-Q-PO, OOQPoP [ CTP, 2010] lub Q-OP-(Q+Paa)-PO, Q-OP-Q/Paa-PO [ 257, Soedra 2009].

Przynajmniej jedna celulozownia zrezygnowała z produkcji masy TCF: celulozownia Metsä Botnia Rauma zmieniła metodę bielenia z TCF na ECF latem 2007 r. ze względu na jakość, względy energetyczne i kosztowe.

Większą jasność masy dla tej samej liczby kappa i tego samego poziomu lepkości można osiągnąć po delignifikacji tlenowej, gdy proces gotowania kończy się przy wyższych liczbach kappa. Dla sekwencji TCF na bazie nadtlenu jest to istotna zaleta, ponieważ podatność na bielenie zależy raczej od jasności niż liczby kappa w chwili wejścia do instalacji wybielania. Z ekonomicznego punktu widzenia jest to korzystne, ponieważ selektywność jest lepsza podczas delignifikacji tlenowej niż podczas gotowania. W przypadku sekwencji TCF należy jednak pamiętać, że tendencja do żółknięcia (wywołanego ciepłem) całkowicie wybielonej masy celulozowej zwiększa się wraz ze wzrostem liczby kappa po gotowaniu, prawdopodobnie ze względu na dużą zawartość kwasu heksenouronowego (HexA) w masie [ 257, Soedra 2009 ].

### Dyskusja dotycząca bielenia metodami ECF i TCF

W latach 80. i 90. trwała intensywna dyskusja i prowadzono badania nad korzyściami dla środowiska wynikającymi z technologii TCF w porównaniu do ECF. Ocena wyników badań i syntez opartych na dużej ilości testów laboratoryjnych, i modelowania ekosystemów, jak również badań w skali przemysłowej na ściekach poprodukcyjnych z celulozowni bielonych mas siarczanowych (BKME) może być podsumowana w sposób następujący:

- Skład chemiczny ścieków z nowoczesnych celulozowni siarczanowych stosujących bielenie ECF lub TCF mas o niskiej liczbie kappa poddanych delignifikacji tlenowej uległ znacznym zmianom w porównaniu z sytuacją w latach 70. i 80., nawet jeżeli normą działania konkretnej fabryki jest przykładanie największej wagi do ilości i jakości emisji [ 129, SEPA report 1997 ].
- Nowoczesne celulozownie stosujące bielenie ECF mas dają bardzo niskie emisje chlorowanych substancji organicznych, a wysoko chlorowane związki fenolowe najczęściej nie są wykrywane w ściekach. [ ibid. ]
- Porównanie toksycznych oddziaływań instalacji bielenia i ogólnych ścieków produkcyjnych z celulozowni stosujących różne schematy bielenia bezchlorowego, to jest bielenie ECF wobec bielenia TCF, pokazuje, że żadne rozwiązanie techniczne nie przyczynia się do trwałego obniżenia potencjału toksycznego ścieków [ 47, FEI 1996 ]. Nie znaleziono wyraźnych różnic w charakterze i intensywności oddziaływań pomiędzy ściekami z celulozowni stosujących bielenie ECF (zredukowane chlorany) i TCF.
- Wtórne oczyszczanie ścieków zazwyczaj powoduje obniżenie toksyczności ścieków, a zgodnie z badaniami modelowymi ekosystemu, po takim oczyszczeniu, oddziaływania ścieków na ekosystem są złagodzone. [ ibid. ]
- Pytanie która z nowoczesnych metod bielenia, ECF czy TCF, jest lepsza wydaje się być zbyt wąskie z punktu widzenia ochrony środowiska; cała działalność celulozowni, w tym systemów oczyszczania ścieków, unikanie zakłóceń i przypadkowych zrzutów, również stanowią kluczowe aspekty, które należy wziąć pod uwagę. Np. ilości kwasów tłuszczowych, kwasów żywiczych i steroli w ściekach z nowoczesnej celulozowni są raczej bardziej zależne od surowca włóknistego lub zrzutów z niebielonej części wytwórni niż od procesu bielenia.
- Sekwencja bielenia TCF jest korzystniejszą alternatywą ze względu na dalsze zamknięcie systemu wodnego. Jednak trudności techniczne dotyczące wzbogacenia elementów niebędących częścią procesu w obiegach wodnych i niepożądana inkrustacja, zwłaszcza szczawianów, pozostaje nierozwiązanym problemem w odniesieniu do dalszego zamknięcia ścieków z instalacji bielenia. [ 233, Hamm et al. 2003 ].

#### 3.1.8 Sortowanie masy bielonej

Po bieleniu na ogół następuje końcowe sortowanie masy. Wtórne sortowanie ma miejsce w urządzeniach tego samego typu, co sortowanie masy niebielonej (zob. paragraf 3.1.5).

#### 3.1.9 Suszenie

W zintegrowanych celulozowni i papierni, zawieszinę masy przesyła się do wytwórni papieru w stanie wilgotnym (przy stężeniu ok. 4%), a towarzysząca jej woda stanowi część ogólnego bilansu wody w zakładzie. W celulozowni niezintegrowanej, gdzie masa nie jest używana bezpośrednio do wytwarzania papieru na miejscu w tym samym zakładzie, masa celulozowa jest najpierw odciskana, a następnie suszona w celu jej transportu. Maszyna susząca składa się z części sitowej, służącej do wstępnego odwodnienia masy, podobnej, lecz prostszej od części sitowej maszyny papierniczej, oraz z sekcji dociskającej i suszącej. Po etapie odwodnienia masa jest suszona za pomocą pary w wielostopniowej suszącej części maszyny. Po pocięciu na arkusze, formowane są bele gotowe do wysyłki.

### 3.1.10 Produkty uboczne procesu roztwarzania siarczanowego

**Mydło oleju talowego** (TOS) powstaje z substancji ekstrakcyjnych papierówki, głównie z żywicy i kwasów tłuszczowych. W procesie roztwarzania siarczanowego kwasy są zmydlane w warunkach alkalicznych w warniku i tworzą mydliny sodowe (surowe mydło oleju talowego), które rozpuszczają się w ługu czarnym. W procesie chemicznego odzyskiwania, mydło oddziela się od fazy wodnej i tworzy warstwę na powierzchni ługu gdy ług czarny tężeje, a rozpuszczalność mydła zmniejsza się. Ze względów technologicznych większość mydła musi zostać usunięta z ługu czarnego, w celu uniknięcia pienienia się w wyparkach i utrzymania stabilnego spalania w kotle regeneracyjnym.

**Surowy olej talowy** (CTO) powstaje w wyniku zakwaszenia mydła oleju talowego w procesie okresowym lub ciągłym. Stosowany jest zwykle kwas siarkowy lub kwas odpadowy generatora (GWA) z produkcji dwutlenku chloru. Różne gatunki drewna sosnowego mają najwyższą zawartość żywicy i dostarczają najwięcej oleju talowego. Świerk i brzoza mają znacznie niższą wydajność, a także dają olej talowy niższej jakości. Surowy olej talowy jest ciemnobrązową cieczą przypominającą smołę, o wysokiej lepkości i nieprzyjemnym zapachu związków siarki z procesu roztwarzania. Typowa ilość surowego oleju talowego uzyskanego z mydła oleju talowego to około 10–75 kg na tonę masy. Surowy olej talowy jest zwykle sprzedawany do przemysłu chemicznego, a paliwa talowe, powstające podczas destylacji surowego oleju talowego stosowane są jako biopaliwo w celulozowniach. Niektóre celulozownie spalają surowy olej talowy bezpośrednio w celu uzyskania bioenergii.

Celulozownia Zellstoff Stendal w Niemczech produkuje około 13 450 ton oleju talowego w procesie dekantacji mydła oleju talowego z ługu czarnego przed odparowaniem. Olej talowy jest częściowo sprzedawany na rynku, a częściowo wykorzystywany jako paliwo w piecu wapiennym. Podczas przerobu oleju talowego może wystąpić rozcieńczenie niekondensujących gazów. W celulozowni Stendal gazy odlotowe są oczyszczane w skruberze, a pozostałe emisje są oczyszczane w układzie oczyszczania rozcieńczonych gazów NCG.

**Surowy siarczan terpentyny** (CST) powstaje z lotnych związków organicznych w papierówce (iglastej). W procesach roztwarzania, zrębki drewniane są ogrzewane, a terpeny się ulatniają. Terpentynę można odzyskać z par bogatych w terpeny. Skład różni się w zależności od gatunku drewna.  $\alpha$ -Pinen jest głównym składnikiem surowego siarczanu terpentyny. Najwięcej terpenów znajduje się w świeżym drewnie sosnowym. W świerku ich zawartość jest znacznie niższa. Surowy siarczan terpentyny zawiera znaczne ilości związków siarki o nieprzyjemnym zapachu i ma przez to bardzo nieprzyjemny zapach oraz ciemną barwę. Wydajność zmienia się w zakresie od 0,5–15 kg na tonę masy.

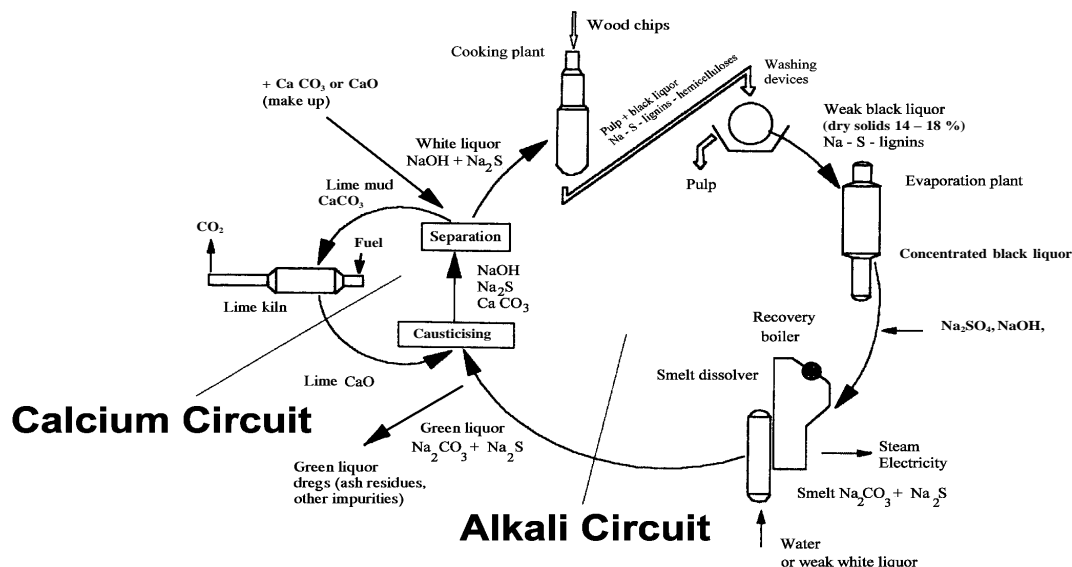
### 3.1.11 System regeneracji chemikaliów i energii

System regeneracji w celulozowni siarczanowej pełni cztery funkcje:

- regeneracja (odzysk) nieorganicznych chemikaliów warzelnych;
- rozkład rozpuszczonego materiału organicznego i odzysk energii w postaci pary technologicznej i mocy elektrycznej;
- odzysk wartościowych organicznych produktów ubocznych (np. oleju talowego);
- zapobieganie i kontrola zanieczyszczeń: znaczne zmniejszenie ładunku zanieczyszczeń w ściekach odprowadzanych do biologicznej oczyszczalni ścieków oraz znaczna redukcja emisji zanieczyszczeń do powietrza.

Wartość opałowa regenerowanego ługu czarnego jest zazwyczaj większa niż potrzeby celulozowni siarczanowej w zakresie ciepła i energii elektrycznej. Organiczne produkty uboczne, takie jak metanol, terpentyna czy olej talowy, odgrywają ograniczoną rolę ekonomiczną w większości celulozowni siarczanowych.

Głównymi jednostkami procesowymi w systemie regeneracji chemikaliów są: zagęszczanie ługu czarnego (ług warzelny i roztwór myjący z przeciw-prądowego mycia masy), spalanie zagęszczonych ługów w kotle regeneracyjnym i kaustyzacja obejmująca regenerację wapna. Przegląd obiegu chemikaliów ilustrujący główne etapy procesu i ich funkcje zaprezentowano na rysunku 3.3.



Źródło: [ 6, BMU Austria 1995 ]

Rysunek 3. 3 Obiegi regeneracji chemikaliów dla celulozowni siarczanowej

+ Ca CO <sub>3</sub> or CaO (make up)	+ Ca CO <sub>3</sub> lub CaO (uzupełnienie)
Cooking plant	Warzelnia
Wood chips	Zrębki drzewne
White liquor	Ług biały
Lime mud CaCO <sub>3</sub>	Szlam wapienny CaCO <sub>3</sub>
Lime kiln	Piec wapienny
Lime CaO	Wapno CaO
Green liquor dregs (ash residues, other impurities)	Osady z ługu zielonego (resztki popiołu, inne zanieczyszczenia)
Green liquor	Ług zielony
Causticising	Kaustyzacja
Separation	Oddzielanie
Washing devices	Urządzenia myjące
Weak black liquor (dry solids 14 - 18 %) Na - S - lignins	Ług czarny cienki (zawartość s.s.14–18%) Na-S-ligniny
Evaporation plant	Wyparki
Concentrated black liquor (dry solids 65 - 80 %)	Stężony ług czarny (zawartość s.s. 65–80%)
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , NaOH, solid S (make up)	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , NaOH, stała S (uzupełnienie)
Steam	Para
Electricity	Elektryczność
Smelt Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> + Na <sub>2</sub> S	Stop Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> + Na <sub>2</sub> S
Water or weak white liquor	Woda lub biały ług słaby
Smelt dissolver	Rozpuszczalnik stopu



<b>Recovery boiler</b>	<b>Kocioł regeneracyjny</b>
<b>Calcium Circuit</b>	<b>Obieg wapna</b>
<b>Alkali Circuit</b>	<b>Obieg alkaliów</b>
Pulp	Masa
Source: [ 6, BMU Austria 1995 ]	Źródło: [ 6, BMU Austria 1995 ]

Zawartość rozpuszczonych substancji stałych w ługu czarnym z mycia masy wynosi zwykle 14–18% i musi być znacznie zwiększona, by ług ten mógł być spalony. Ług jest zatężany w wyparce wielostopniowej do zawartości suchej substancji 70–85%. Pod ciśnieniem atmosferycznym górna granica wynosi ok. 72–74% s.s. W nowo zmodernizowanych instalacjach, ług zatęża się do 85% suchej substancji poprzez ciśnieniowanie w ługu tak, że mogą być stosowane wyższe temperatury, co powoduje zmniejszenie lepkości. Zawartość substancji suchej w ługu czarnym z masy eukaliptusowej nie osiąga tak wysokiego poziomu; maksymalna zawartość s. s. to około 72–75%. Na etapie odparowywania, niektóre z materiałów palnych oddzielane są jako gazy niekondensujące (NCG), które zawierają związki złownonne, często wyrażone jako związki siarki zredukowanej (TRS). Gazy te są gromadzone i spalane razem z innymi gazami złownonnymi.

Kondensaty z wyparki ługu czarnego i z instalacji roztwarzania będą różnić się stopniem zanieczyszczenia w zależności od ich pochodzenia, ale zazwyczaj będą zawierać związki TRS, metanol i kilka innych lotnych związków organicznych. Są one oczyszczane w kolumnie odpędowej, która zwykle jest zintegrowana z wyparką ługu czarnego poprzez zastosowanie wtórnej (lub pierwotnej) pary wodnej. Odpędzanie kondensatów umożliwia ponowne ich użycie w procesie mycia masy niebielonej i w instalacji kaustyzacji.

Zatężony ług czarny jest spalany w kotle regeneracyjnym w celu odzysku zawartych w nim sodu i siarki, w postaci właściwej do odtworzenia chemikaliów warzelnych oraz w celu odzysku energii z gazów odlotowych.

Wzrost zawartości suchej substancji ługu czarnego od 65–70% do 80–85% zmienia bilanse materiałowy i energetyczny oraz warunki spalania w kotle regeneracyjnym. Niższe doprowadzenie wody z ługiem do kotła powoduje, że maleje przepływ gazów spalinowych. Za pomocą zwiększenia zawartości suchej substancji do ponad 80% można uzyskać możliwość wzrostu produkcji lub pogłębionej delignifikacji z bardziej skuteczną regeneracją ługu czarnego w celulozowni, w której kocioł regeneracyjny stanowi wąskie gardło wydajności produkcji. Na ogół wyróżnia się dwa tryby pracy kotłów regeneracyjnych; jeden jest skoncentrowany na efektywności energetycznej, drugi na niskiej emisji NO<sub>x</sub>.

Przerób ługu czarnego o bardzo wysokiej zawartości suchej masy (> 80%) skutkuje poprawą efektywności energetycznej, co pozwala celulozowniom i papierniom na uzyskanie samowystarczalności pod względem energetycznym lub

nawet wytwarzanie nadwyżek energii, a jednocześnie na obniżenie emisji siarki i tlenku węgla i zmniejszenia zanieczyszczenia. Rozwój technologii materiałowej pozwolił na zwiększenie temperatur i ciśnienia w kotłach regeneracyjnych, co pozwala na zmaksymalizowanie wytwarzania energii elektrycznej. Przy wyższych temperaturach spalania, ilość sodu (Na) odparowywanego jest wyższa, a tym samym można związać więcej SO<sub>2</sub> i utworzyć Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Dlatego energooszczędne kotły są również skuteczne w odzyskiwaniu chemicznym i mają niskie emisje SO<sub>2</sub>. Jednak wyższe temperatury prowadzą do zwiększenia emisji NO<sub>x</sub>.

Gdy priorytetem są niskie emisje NO<sub>x</sub>, zawartość DS ługu czarnego musi zostać ograniczona do niższego poziomu, obniżając tym samym temperaturę w kotle regeneracyjnym. W tym przypadku, emisje NO<sub>x</sub> są mniejsze, ale mniejsze są także możliwości odzyskania energii (mniejsza wydajność energetyczna). Emisje siarki i CO są wyższe w porównaniu do spalania wysokiej zawartości suchej masy. Wysoki poziom emisji CO oznacza dużą ilość substancji niepalnych, dlatego emisje LZO i PAH (poliaromatycznych węglowodorów) mogą być również wyższe.

Rozwój technologii kotłów regeneracyjnych w ciągu ostatnich 20 lat odbywał się w kierunku energooszczędnej pracy i większej zawartości suchej masy ługu czarnego (ponad 80%).

Stop sodowy z kotła regeneracyjnego jest rozpuszczany w wodzie lub słabym ługu białym tworząc „ług zielony”, który składa się głównie z siarczku sodu (Na<sub>2</sub>S) i węglanu sodowego (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>). Ług zielony jest klarowany lub filtrowany (nowoczesna metoda) i poddawany kaustyzacji za pomocą wapna. W tym procesie węglan sodu przechodzi w wodorotlenek sodu, w celu produkcji ługu białego do roztwarzania. Pozostałości popiołu i inne zanieczyszczenia są usuwane z procesu jako szlam z ługu zielonego. Szlam pokaustyzacyjny, składający się głównie z węglanu wapnia, jest oddzielany od ługu białego, myty i poddawany kalcynacji w celu regeneracji wapna w piecu wapiennym. Piec jest nieco podobny do standardowego, obrotowego pieca cementowego. Proces kalcynacji jest wysokotemperaturową, endotermiczną reakcją, wymagającą zewnętrznego paliwa.

Procesy przerobu i spalania ługu czarnego z wysoką zawartością siarki powodują uwalnianie siarki do powietrza jako dwutlenku siarki i gazów złownych zawierających zredukowane związki siarki, takie jak siarkowodór (H<sub>2</sub>S), merkaptan metylu (CH<sub>3</sub>SSCH<sub>3</sub>), siarczek dimetylu (CH<sub>3</sub>SCH<sub>3</sub>) i disiarczek dimetylu (CH<sub>3</sub>SSCH<sub>3</sub>). Przy użyciu odpowiednich technik (patrz paragrafy 3.3.16.1 do 3.3.16.3) emisjom tym można w większości przypadków zapobiec.

Stężone gazy złowne są odbierane i spalane w kotle regeneracyjnym, oddzielnym palniku lub w piecu wapiennym. Spalanie gazów zapachowych w kotle regeneracyjnym jest powszechnie stosowane w europejskich celulozowniach i jest preferowaną opcją w obecnej chwili (2013). Dla tej opcji stosuje się wszystkie środki bezpieczeństwa ze szczególną dbałością o konstrukcję palnika i dystrybucję powietrza, aby uniknąć warunków wybuchowych. Oddzielne palniki są również często używane do spalania stężonych gazów. Gazy spalinowe z oddzielnych palników są w większości przypadków oczyszczane w skruberze (np. utlenionym ługiem białym) w celu odzyskania ciepła i usunięcia dwutlenku siarki. Woda ze skrubera jest kierowana z powrotem do systemu odzyskiwania chemikaliów. Gazy z oddzielnego pieca mogą być wykorzystane do wytworzenia wodorosiarczanu sodu (NaHSO<sub>4</sub>), który może być stosowany wewnątrz w wybielaniu w celu unieszkodliwienia pozostałości dwutlenku chloru, zastępując w ten sposób zewnętrzny dwutlenek siarki (SO<sub>2</sub>) w myciu gazów wylotowych instalacji bielenia. Spalanie gazów złownych w piecu wapiennym jest mniej korzystne ponieważ może zakłócić pracę pieca wapiennego. Spalanie stężonych gazów w piecu wapiennym może również wytwarzać tyle SO<sub>2</sub>, że zwiększy emisje SO<sub>2</sub>.

Wiele celulozowni w różnym stopniu ujmuje również rozcieńczone gazy złowne. Gazy rozcieńczone są emitowane z procesu wstępnego parowania zrębków, sortowania, mycia masy, rozpuszczalnika stopu, odpowietrzeń zbiorników itd. Niektóre celulozownie ujmują i przetwarzają rozcieńczone gazy złowne niemal w całości.

### 3.1.12 Przygotowanie na miejscu chemikaliów do bielenia

Najbardziej powszechnie stosowane chemikalia do bielenia mas chemicznych, to: dwutlenek chloru, tlen, ozon i nadtlenek wodoru. Dwutlenek chloru i ozon są produkowane na miejscu w celulozowni. Tlen jest także wytwarzane na miejscu, w niektórych przypadkach, jest oddzielany z powietrza. Nadtlenek, tlen i alkalia mogą być dostarczane do celulozowni.

#### 3.1.12.1 Dwutlenek chloru

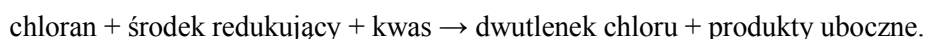
Dwutlenek chloru jest termodynamicznie niestabilny i na ogół jest wytwarzany na miejscu zastosowania, z wyjątkiem bardzo małych ilości. Gaz jest stabilny i bezpieczny w temperaturze do 80°C, o ile cząstkowe ciśnienie dwutlenku chloru jest utrzymywane poniżej 12 kPa. Jeśli stabilne warunki nie są spełnione (np. zbyt wysokie stężenie gazu), gaz może bardziej lub mniej samoczynnie ulec rozkładowi wg reakcji  $2\text{ClO}_2 \rightarrow 2\text{Cl}_2 + \text{O}_2$ . Zazwyczaj niezamierzone zrzuty są bardzo małe, a ponieważ gaz jest rozcieńczony, prawdopodobieństwo wybuchu jest bliskie zeru.

Aby zapobiec rozkładowi, dwutlenek chloru jest przechowywany w postaci wodnego roztworu o maksymalnym stężeniu około 1%  $\text{ClO}_2$  (około 10g  $\text{ClO}_2$  na litr roztworu). W roztworze wodnym, stabilność jest dobra, a roztwór może być przechowywany przez kilka miesięcy w chłodnym i ciemnym miejscu.

Proces przygotowania  $\text{ClO}_2$  spełnia wszystkie wymogi bezpieczeństwa i unika niezamierzonego uwolnienia gazu chlorowego; opis znajduje się poniżej.

- $\text{ClO}_2$  rozpuszcza się w wodzie w celu uniknięcia rozkładu, ponieważ reakcja wspomniana powyżej jest reakcją gazową.
- Stężenie wodnego roztworu jest utrzymywane na niskim poziomie, aby nie utworzyć stężenia gazu równowagowego nad płynem, które jest na tyle wysokie, że może spowodować rozkład podobny do wybuchu.
- Wszystkie układy są klasyfikowane pod kątem utrzymania siły rozkładu i są wyposażone w punktach krytycznych w zawory odciążające.
- Instalacja produkująca  $\text{ClO}_2$  jest obsługiwana przez specjalnie przeszkolony personel, który przestrzega przyjętych norm bezpieczeństwa.

W celulozowniach, dwutlenek chloru wytwarza się z chloranu ( $\text{ClO}^-$ ) dostarczanego w postaci soli sodowej. Do redukcji chloranu używa się szeregu środków redukujących (patrz równanie poniżej): metanol (wymagane dodatkowe środki bezpieczeństwa), nadtlenek wodoru, dwutlenek siarki (wymagane dodatkowe środki bezpieczeństwa) i jony chlorkowe. Kwas siarkowy jest stosowany jako kwas. Istnieje szereg dostępnych technik do przeprowadzenia następujących reakcji w efektywny kosztowo sposób:



Skuteczne metody wytwarzania  $\text{ClO}_2$  maksymalizują wydajność chemiczną dwutlenku chloru z chloranu, minimalizują tworzenie się produktów ubocznych i zapewniają stabilny i bezproblemowy przebieg procesu.

Osiąga się to zazwyczaj przez działanie pod-stechiometrycznym nadmiarem kwasu i środków redukujących (patrz tabela 3.1).

Przez działanie w warzelnych warunkach próżniowych, zużycie kwasu można zmniejszyć, ponieważ jedyne emisje lub odpady z reaktora to gaz  $\text{ClO}_2$ , który jest absorbowany do wody w wieży absorpcyjnej, oraz stały produkt uboczny (sól sodowa), który powstaje, gdy granica rozpuszczalności zostaje przekroczona, i który jest oddzielany na filtrze (siarczan sodu techniczny).

W przypadku pracy w warunkach atmosferycznych, sole z produktów ubocznych miesza się z nadmiarem kwasu i stają się one „zużyтым kwasem”.

Cząstkowe ciśnienie dwutlenku chloru utrzymuje się poniżej granicy stabilności dzięki niskiemu ciśnieniu całkowitemu (procesy próżniowe), albo przez rozcieńczenie powietrzem (procesy atmosferyczne). Tabela 3.1 przedstawia najważniejsze techniki dla produkcji na miejscu dwutlenku chloru w czasie opracowania niniejszego raportu (2013).

Tabela 3.1 Techniki produkcji dwutlenku chloru na dużą skalę

Środek redukuj	Produkty uboczne w produkcji	Produkty uboczne	Technologie procesowe		Potencjalne kwestie środowiskowe
			Próżniowe	Atmosferyczne	
Metanol	Kwas mrówkowy	Siarczan sodu <sup>(1)</sup>	SVP-LITE, SVP-SCW, R8, R10	(Solvay)	Brak
Nadtlenek wodoru	(Tlen)	Siarczan sodu <sup>(1)</sup>	SVP-HP, SVP-Pure, R11	HP-A	Brak
Dwutlenek	NA	Siarczan sodu <sup>(1)</sup>	Brak	Mathieson	Przerób SO <sub>2</sub>
Jony chlorkowe	Chlor pierwiastkowy	(Siarczan sodu <sup>(1)</sup> ) Chlorek sodu	(SVP-Classic), (R3), R6, (R7), SVP-Total HCl, Lurgi, Chemetics	(Day-Kesting), (R2), (R3)	ClO <sub>2</sub> woda nasycona Cl <sub>2</sub>

Uwagi: Procesy, o których mowa w nawiasach nie są już stosowane w nowych instalacjach; niektóre jednostki nadal pracują.

(1) Wytworzona sól może być stosowana jako chemikalia uzupełniające w kotle regeneracyjnym lub do regulacji pH.

(2) Dwutlenek chloru nie jest sprzedawany jako taki. Natomiast różne procesy na dużą skalę są przedmiotem działalności handlowej.

- SVP-SCW, SVP-LITE, HP-A, SVP-HP, SVP-PURE, SVP-Classic i SVP Total HCl są znakami towarowymi Akzo Nobel.
- ERCO R3, R3H, R5, R6, R7, R8, R10, R11, R12 i R13 są znakami towarowymi ERCO Worldwide.
- Innymi nazwami zwyczajowymi są procesy Mathieson i Solvay.

Źródło: [ 213, Pelin 2009 ]

Powstawanie produktów ubocznych ma kluczowe znaczenie dla opłacalności procesu i jakości wytwarzanego ClO<sub>2</sub>. Tabela 3.2 pokazuje zużycie surowców i powstawanie produktów ubocznych dla niektórych ważnych z handlowego punktu widzenia metod produkcji dwutlenku chloru (w t/t ClO<sub>2</sub>). Tabela pokazuje też, że najważniejszymi technikami, dzięki którym produkuje się minimalne ilości ubocznego chloru są proces Mathieson, wyższe procesy R-Series ClO<sub>2</sub> (np. R8, R10, R11) oraz procesy HP-A i SVP.

**Tabela 3.2 Zużycie surowców i powstawanie produktów ubocznych dla niektórych ważnych z handlowego punktu widzenia metod produkcji dwutlenku chloru**

Technika	Mathieson ( <sup>1</sup> )	HP-A	SVP-LITE, R8	SVP-SCW, R10	SVP-HP, R11 ( <sup>2</sup> )	Zintegrowane SVP Całkowity
<b>Surowce (t/t ClO<sub>2</sub>)</b>						
Chloran sodu	1.8	1.65	1.65	1.64	1.65	Brak
Kwas siarkowy	1.40	2.10	1	0.8	0.78–1.03 ( <sup>2</sup> )	Brak
Dwutlenek siarki	0.8	Brak	Brak	Brak	Brak	Brak
Metanol	Brak	Brak	0.17	0.17	Brak	Brak
Nadtlenek wodoru	Brak	0.29	Brak	Brak	0.29–0.32	Brak
Chlor pierwiastkowy	Brak	Brak	Brak	Brak	Brak	0.73
Para	Brak	Brak	4.2	5.5	5.5	8
Energia elektryczna	80	80	130	160	130	8900
<b>Produkty uboczne (t/t ClO<sub>2</sub>)</b>						
Chlor w ClO <sub>2</sub> (aq)	0	0	0	0	0	0.24
Na <sub>3</sub> H(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	Brak	Brak	1.35	Brak	1.35 ( <sup>2</sup> )	Brak
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1.20	1.10	Brak	1.1	1.1 ( <sup>2</sup> )	Brak
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1.5	1.30	Brak	Brak	Brak	Brak
O <sub>2</sub>	Brak	0.26	Brak	Brak	0.26	Brak
Uwagi: (1) Bez dodatku soli. (2) Ilość kwasu zużywanego w procesach próżniowych opartych na nadtlenku wodoru zależy od warunków procesu. Warunki te określają również, czy tworzą się Na <sub>3</sub> H(SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> lub Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> . Źródło: [ 213, Pelin 2009 ]						

W większości celulozowni siarczan sodowy jako produkt uboczny jest użyteczną solą. Może być dodawany do stężonego ługu czarnego przed wejściem do kotła regeneracyjnego i może być odzyskiwany w postaci chemikaliów warzelnych. Siarczan z procesów Mathieson i HP-A zawiera również znaczne ilości kwasu siarkowego (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Może on być użyty do regulacji pH albo zakwaszania mydła w procesie oleju talowego. Jeśli produktem ubocznym jest chlorek sodu, może on być stosowany do wytwarzania chloranu. W idealnych warunkach, zawierające sól i siarkę produkty uboczne z wytwarzania dwutlenku chloru mogłyby być zużywane jako chemikalia uzupełniające, i wtedy byłoby bardzo mało ścieków lub nie byłoby ich wcale. Jednak, jeśli sól lub siarki są produkowane w nadmiarze, muszą być usunięte z procesu.

Jedynie procesy produkcji dwutlenku chloru bez wytworzenia chloru pierwiastkowego to procesy próżniowe oparte na metanolu (SVP-LITE, SVP-SCW, R8, R10), procesy na bazie nadtlenku wodoru (próżniowe: SVP-HP, R11, atmosferyczne HP-A), oraz atmosferyczny proces Mathieson oparty na dwutlenku siarki.

Potencjalnym problemem przy stosowaniu ClO<sub>2</sub> jest tworzenie się chloranu. Około 10% ClO<sub>2</sub> jako aktywnego chloru przechodzi w chloran. Oznacza to, że podczas bielenia ECF masy o liczbie kappa 18 tworzy się około 4–6 kg chloranu na tonę masy Chloran jest toksyczny dla bakterii i planktonu w stężeniu 3–4 mg/l. Dodatkowo hamuje wzrost brunatnic, np. Morszczyzna pęcherzykowatego, w stężeniu od około 20 mikrogramów/litr. Przyczyna tego może być wyjaśniona następująco: gdy azot (N) jest parametrem limitującym wzrost, wodorosty zamiast NO<sub>3</sub> - pobierają chloran, który jest znanym herbicydem. Jednak,

chlorań może zostać zagospodarowany w celulozowniach za pomocą prawidłowo zaprojektowanych i prowadzonych oczyszczalni ścieków. Na przykład, nowoczesna celulozownia Fray Bentos (UPM) w Urugwaju zmniejsza zawartość chlorań w odprowadzanych ściekach o > 99% w ostatnim ścieku w porównaniu do ścieków przychodzących z instalacji bielenia. Pomiary w szwedzkich celulozowniach (*Źródło*: szwedzkie dane statystyczne, 2008) podają emisje chlorań między 0,05 i 1,5 kg chlorań na tonę masy siarczanowej ECF, ze średnią 0,22 kg chlorań/t masy siarczanowej ECF.

W celulozowniach bielonej masy siarczanowej stosujących dwutlenek chloru jako chemikalia bielące do atmosfery uwalniane są związki chloru z instalacji bielenia i produkcji ClO<sub>2</sub>. Zarówno w procesach próżniowych jak i atmosferycznych, w wieży absorpcyjnej powstaje woda z dwutlenkiem chloru. Stamtąd woda z dwutlenkiem chloru jest pompowana do zbiornika magazynowego instalacji bielenia. Gaz resztkowy jest dodatkowo czyszczony w celu uniknięcia emisji Cl<sub>2</sub>. Jednak niskie stężenia Cl<sub>2</sub> są mierzone po skruberze, np. w wentylacji instalacji bielenia (patrz również punkt 3.2.2.2).

### 3.1.12.2 Ozon

Ozon jest produkowany z suchego powietrza lub tlenu poprzez zastosowanie wysokiego napięcia (10–20 kV) między dwoma elektrodami oddzielonymi gazem reakcyjnym. Ozon nie jest zbyt trwały i wydajność jego generowania jest dość niska w porównaniu z wysokim poziomem nieprzereagowanego tlenu w produkcji gazowym. Ozon jest bardzo niebezpieczny i obowiązują ściśle limity jego uwalniania do atmosfery w zakresie bezpieczeństwa i higieny pracy. Większość celulozowni produkuje ozon na miejscu, ale w niektórych przypadkach jest on dostarczany z zewnątrz.

Pierwsze linie produkcyjne mas włóknistych bielonych ozonem pojawiły się w latach 90. wraz z opracowaniem metody bielenia bez udziału chloru (TCF). Obecnie, 28 celulozowni w różnych częściach świata produkujących masę bieloną z drzewa liściastego i iglastego wykorzystuje ozon w procesie bielenia; osiągają one dobre wyniki w odniesieniu do jakości produktu, ochrony środowiska i wydajności procesów. W ostatnich latach osiągnięto znaczny postęp w wykorzystaniu ozonu, sprzyjający produkcji chemicznej na miejscu, w tym pełnym wykorzystaniu produktów ubocznych, oraz zmniejszeniu kosztów operacyjnych. Jeśli chodzi o optymalizację produkcji chemicznej na miejscu, ogólna koncepcja opiera się dziś na 100% recyklingu tlenu, ponieważ każda cząsteczka tlenu jest wykorzystywana dwa razy: najpierw do produkcji ozonu, a następnie do innych zastosowań, takich jak delignifikacja tlenu, utlenianie ługu białego i oczyszczanie ścieków.

W niektórych przypadkach, ozon jest stosowany w celu zmniejszenia kosztu chemicznego i w celu poprawy oddziaływania na środowisko. Na ogół jest stosowany po delignifikacji tlenowej aby dokończyć usuwanie ligniny przed końcowymi etapami bielenia. Utrzymując niski chemiczny koszt bielenia, głęboka delignifikacja ozonem pozwala na zredukowanie odcieku przeznaczanego do oczyszczenia, ponieważ filtrat z etapu ozonowego (Z) i dalszych etapów alkalicznych może zostać zawrócony do kotła regeneracyjnego. Wreszcie, zarówno w przypadku celulozowni budowanych od podstaw, projektów zwiększenia zdolności produkcyjnych, jak i rozwiązań modernizacyjnych, ozon jest często brany pod uwagę w początkowej fazie projektu, umożliwiając zastosowanie skutecznego procesu wybielania, jak np. w najnowszych instalacjach referencyjnych w Portugalii (Celtejo), Australii i Indiach.

Ładunek ozonu do bielenia masy celulozowej wynosi zwykle 4–8 kg na tonę masy. W zależności od oczekiwań i dostawcy sprzętu, etap ozonowy może być dostarczony dla wysokiego (HC) lub średniego (MC) stężenia masy. Korzyści z wdrożenia tej technologii są następujące:

- Minimalizacja zużycia wody z zamknięciem pętli wody, zmniejszenie oddziaływania na środowisko (niski AOX lub brak AOX, ograniczony COD i emisja kolorów) przy użyciu lekkiego bielenia ECF lub TCF.
- Preferowana produkcja chemiczna na miejscu, w tym częściowe lub całkowite ponowne wykorzystanie produktów ubocznych (uniknięcie transportu, dostawy i przechowywanie niebezpiecznych chemicznych prekursorów).

- Zagwarantowanie jakości masy co najmniej równoważnej wspólnym standardom (ECF) oraz zapewnienie możliwości rozwoju nowych gatunków masy celulozowej i papieru (np. mających kontakt z żywnością).

Niska liczba kappa uzyskana po etapie Z wraz z recykulacją filtratu Z pozwala na zminimalizowanie oddziaływania instalacji bielenia. W przypadku bielenia ECF, odpowiednia równowaga między wsadem ozonu, dwutlenku chloru i nadtlenu pozwala na zoptymalizowanie kosztów zmiennych. Potencjalne oszczędności mogą być jeszcze większe dzięki recyklingowi gazów odlotowych.

Kompletny, nowo zaprojektowany system recyklingu tlenu został zainstalowany w Celtejo, w Portugalii. Ze względu na nowy projekt, gazy odlotowe z etapu Z zawierają ponad 85% tlenu. Gaz jest zawracany za pomocą dwustopniowego układu sprężarek z pierścieniem cieczy. Kilka systemów kontrolnych i obejściowych gwarantuje niezależną optymalizację każdego etapu. Ciekły tlen jest używany jako rezerwa. Odzyskany tlen doprowadza się do dwóch niezależnych odbiorników: do procesu Całkowitego Utlenionego Ługu Białego (TOWL) i do etapu delignifikacji tlenowej. Niezużyta część jest przerabiana w systemie niszczenia ozonu katalitycznego, który jest rezerwowym systemem bezpieczeństwa.

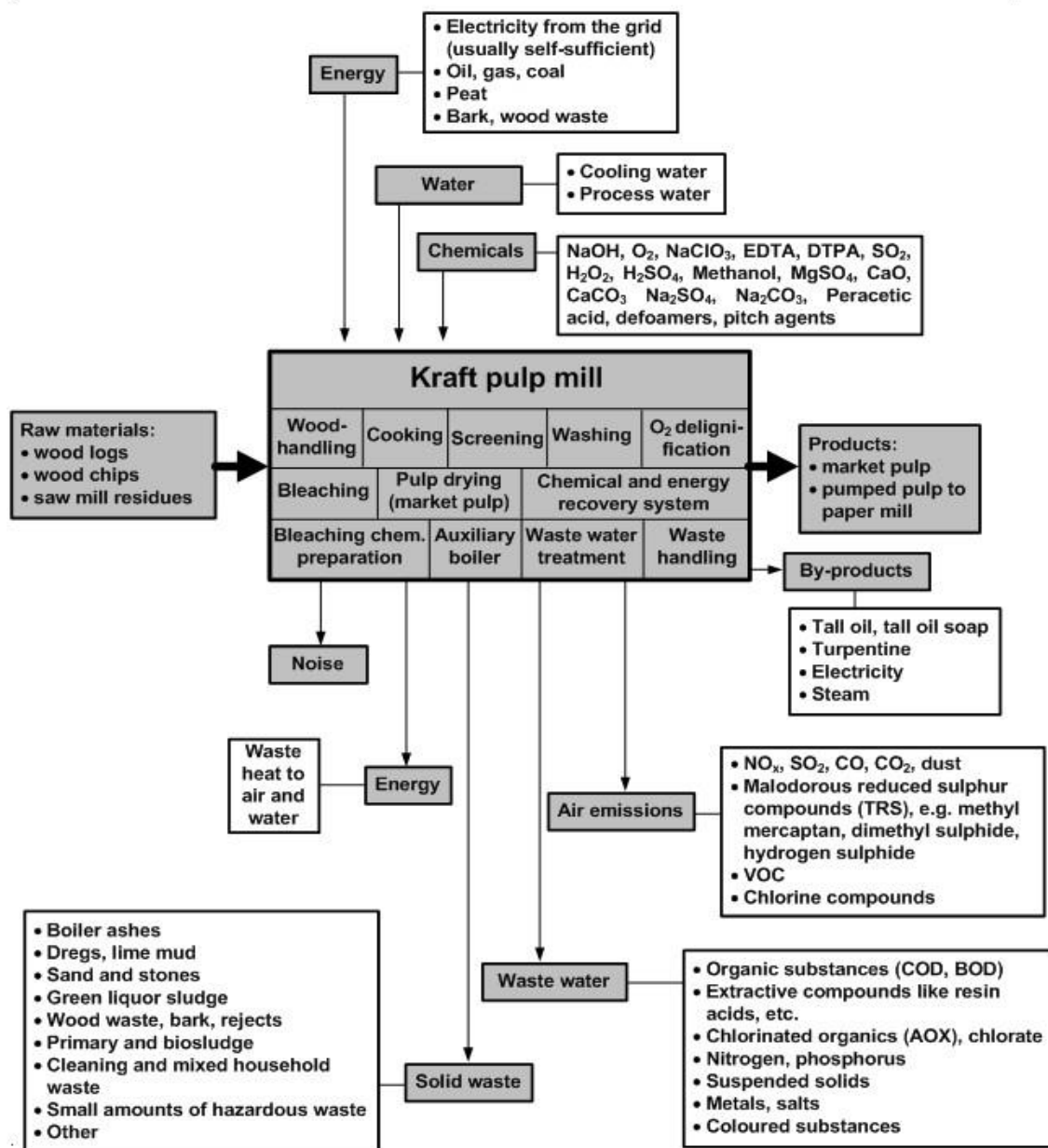
### 3.1.12.3 Inne chemikalia bielące

Inne chemikalia bielące są kupowane w postaci gotowej do użycia – nadtlenuk wodoru jako roztwór; ditionit w stanie stałym, roztwory zawierające enzymy (w niektórych celulozowniach; itp. Tlen jest przeważnie nabywany, ale w kilku celulozowniach w Europie wytwarza się tlen na miejscu (oddzielając z powietrza). W kilku celulozowniach w sekwencjach bielenia TCF stosowany jest kwas nadoctowy jako chemikalia do bielenia. Kwas nadoctowy może być również wykorzystywany w bieleniu ECF. Do produkcji kwasu nadoctowego potrzeba około 3 kWh energii elektrycznej/kg produktu

## 3.2 Obecne poziomy zużycia i emisji

### 3.2.1 Przegląd wejście / wyjście dla produkcji masy celulozowej

Na rysunku 3.4 zaprezentowano przegląd wprowadzanych do produkcji w celulozowni siarczanowej surowców i energii, jak również wyjściowych produktów, produktów ubocznych i głównych odpływów (emisje, odpady itd.).



Rysunek 3. 4 Przegląd strumieni masowych w celulozowni masy siarczanowej.

Energy	Energia
Electricity from the grid (usually self-sufficient) Oil, gas, coal	Elektryczność z sieci (zwykle samowystarczalna) Olej, gaz, węgiel
Peat	Torf
Bark, wood waste	Kora, odpady drzewne
Water	Woda
Cooling water Process water	Woda chłodząca Woda technologiczna
Chemicals	Chemikalia



<b>NaOH, O<sub>2</sub>, NaClO<sub>3</sub>, EDTA, DTPA, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, Methanol, MgSO<sub>4</sub>, CaO, CaCO<sub>3</sub> Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, Peracetic acid, defoamers, pitch agents</b>	<b>NaOH, O<sub>2</sub>, NaClO<sub>3</sub>, EDTA, DTPA, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, Metanol, MgSO<sub>4</sub>, CaO, CaCO<sub>3</sub> Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, Kwas nadoctowy, środki przeciwpieniące, substancje przeciwżywicze</b>
Raw materials:	Surowce
• wood logs	• kłody drewna
wood chips	zrębki drzewne
• saw mill residues	• odpady potartaczne
Kraft pulp mill	Celulozownia siarczanowa
Wood	Drewno
handling	przygotowanie
Cooking	Roztworzenie
Screening	Sortowanie
Washing	Mycie
O <sub>2</sub> delignification	Delignifikacja O <sub>2</sub>
Bleaching	Bielenie
Pulp drying (market pulp)	Suszenie masy (masa towarowa)
Chemical and energy recovery system	Układ regeneracji chemikaliów i energii
Waste	Odpady
handling	przygotowanie
Waste water treatment	Oczyszczanie ścieków
Auxiliary	Pomocniczy
boiler	kocioł
Bleaching chem. preparation	Przygotowanie chemikaliów bielących
Products:	Produkty:
• market pulp	• masa towarowa
• pumped pulp to paper mill	• masa przemysłowa do papierni
By-products	Produkty uboczne
<b>Tall oil, tall oil soap Turpentine Electricity Steam</b>	<b>Olej talowy, mydło siarczanowe Terpentyna Elektryczność Para</b>
<b>NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, dust</b>	<b>NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, pyły</b>
<b>•Malodorous reduced sulphur compounds (TRS), e.g. methyl mercaptan, dimethyl sulphide, hydrogen sulphide</b>	<b>•Złotonne związki siarki zredukowanej (TRS), np. merkaptan metylu, siarczek dimetylu, siarkowodór</b>
<b>VOC</b>	<b>LZO</b>
<b>•Chlorine compounds</b>	<b>•Związki chloru</b>
Air emissions	Emisje do powietrza
Energy	Energia
Noise	Hałas
<b>Waste heat to air and water</b>	<b>Ciepło odpadowe do powietrza i wody</b>
<b>•Boiler ashes</b>	<b>•Popioły z kotłów</b>
<b>•Dregs, lime mud</b>	<b>•Osady, szlam wapienny</b>
<b>•Sand and stones</b>	<b>•Piasek i kamienie</b>
<b>•Green liquor sludge</b>	<b>•Szlam z ługu zielonego</b>
<b>•Wood waste, bark, rejects</b>	<b>•Odpady drzewne, kora, odrzuty</b>
<b>•Primary and biosludge</b>	<b>•Osady pierwotny i biologiczny</b>
<b>•Cleaning and mixed household</b>	<b>•Odpady typu bytowego</b>

waste	
• <b>Small amounts of hazardous waste</b> ■ <b>Other</b>	• <b>Niewielkie ilości odpadów niebezpiecznych</b> ■ <b>Inne</b>
• <b>Organic substances (COD, BOO)</b>	• <b>Związki organiczne (ChZT, BZT)</b>
• <b>Extractive compounds like resin acids, etc.</b>	• <b>Związki ekstrakcyjne jako kwasy żywiczne, itd.</b>
• <b>Chlorinated organics (AOX), chlorate</b>	• <b>chlorowane związki organiczne (AOX), chloran</b>
• <b>Nitrogen, phosphorus</b>	• <b>Azot, fosfor</b>
• <b>Suspended solids</b>	• <b>Zawiesiny</b>
• <b>Metals, salts</b>	• <b>Metale, sole</b>
• <b>Coloured substances</b>	• <b>Substancje barwne</b>
Waste water	Ścieki
Solid waste	Odpady stałe

Stosowanie niektórych substancji chemicznych zależy od rodzaju delignifikacji i bielenia. To czy są one uwalniane do środowiska zależy od procesu projektowania i eksploatacji (system regeneracji, recykulacja itp.) oraz oczyszczalni ścieków.

Kolejne rozdziały przedstawiają konkretne dane dotyczące zużycia, a także dane dotyczące poszczególnych emisji, dla jednostek operacyjnych związanych produkcją siarczanowej masy celulozowej.

### 3.2.2 Poziomy zużycia i emisji pochodzące z jednostek procesowych

W roztwarzaniu siarczanowym, w centrum zainteresowania znajdują się ścieki i emisje do powietrza, w tym gazy złowne. W ostatnich latach odpady stały się ważnym problemem z punktu widzenia ochrony środowiska. Koncepcje gospodarki odpadami uwzględniają kompleksową i najlepszą możliwą materiałową lub termiczną utylizację wszystkich odpadów, szczególnie pozostałości o wysokiej zawartości materii organicznej. Celem jest zmniejszenie ilości odpadów, które muszą być utylizowane na wysypiskach.

Poniżej przedyskutowano najbardziej istotne parametry zużycia surowców i emisji do wody, powietrza i gleby (odpady), jak również aspekty energetyczne obejmujące następujące zagadnienia:

- zużycie drewna;
- zużycie wody i emisje ścieków z różnych etapów procesu:
  - przygotowanie drewna
  - kondensaty z wyparki
  - przelewy
  - straty mycia
  - bielenie
  - zrzuty pożywek
  - zrzuty metali
- emisje do atmosfery:
  - z kotła regeneracyjnego
  - z pieca wapiennego
  - z kotłów pomocniczych
  - gazy złowne
  - związki chloru z bielenia i przygotowania chemikaliów bielących
- wytwarzanie odpadów stałych;
- zużycie chemikaliów;
- użycie energii;
- hałas.

Tam gdzie dane są dostępne, emisje odpadów do wody, powietrza i gleby podano przed i po zewnętrznym oczyszczaniu.

#### 3.2.2.1 Zużycie drewna

Wszystkie gatunki drewna mogą być zastosowane jako surowce w procesie siarczanowym. Dzięki temu procesowi na masę celulozową można przerabiać drewno z wyrębu, jak również odpady z tartaku. Zużycie drewna i wydajność przy produkcji masy bielonej zależy od selektywności delignifikacji i bielenia. Ilość drewna potrzebna do wytworzenia 1 tony chemicznej masy celulozowej wynosi zwykle pomiędzy 3 i 6 m<sup>3</sup>. Ilość kory wynosi na ogół około 12–15% wagowych. Wydajność i ilość kory zależy od rodzaju drewna (patrz także paragraf 3.3.1).

#### 3.2.2.2 Zużycie chemikaliów

Zużycie chemikaliów waha się pomiędzy zakładami i do pewnego stopnia informacje o zużyciu są uważane za poufne. Jednak dane dotyczące typowego zużycia głównych chemikaliów przedstawiono w tabeli 3.3.

Tabela 3.3 Zużycie głównych chemikaliów przy produkcji masy celulozowej siarczanowej bielonej i niebielonej

Substancja	Zużycie dla niebielonej masy siarczanowej (kg/ADt)	Zużycie dla bielonej masy siarczanowej (kg/ADt)
NaOH	10 – 20	25 – 50
O <sub>2</sub>	-	5 – 25
NaClO <sub>3</sub>	-	15 – 50
EDTA	-	0 – 4
SO <sub>2</sub>	-	2 – 10
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	-	2 – 30
O <sub>3</sub>	-	0 – 5
MgSO <sub>4</sub>	-	0 – 3
CaO	5 – 10	5 – 10
Uwaga: Wszystkie wartości zużycia chemikaliów są wyrażone w 100% aktywnych substancji chemicznych, a nie jako roztwory użytkowe zawierających różne ilości wody. Źródło: [ 14, CEPI 1997 ].		

Główne zadania wymienionych wyżej chemikaliów, to:

- siarczan magnezu jest dodawany w ilości 0–2 kg MgSO<sub>4</sub>/ADt dla masy z drewna liściastego lub 2–3 kg MgSO<sub>4</sub>/ADt dla iglastego w celu ochrony wytrzymałości masy przy delignifikacji tlenowej.
- zużycie tlenu do delignifikacji wynosi 12–15 kg/ADt dla masy z drewna liściastego i 20–25 kg/ADt dla masy iglastej.
- zużycie alkaliów wynosi 12–15 kg NaOH/ADt dla masy liściastej i 20–25 kg NaOH/ADt dla iglastej [ 1, Finnish BAT Report 1997 – fiński raport nt. BAT, 1997].
- środki chelatujące, jak EDTA i DTPA, są używane do usuwania metali w sekwencjach bielenia z nadtlaniem wodoru po to, by zapobiec rozkładowi nadtlenu. Emisje środków chelatujących mogą powodować rozdział metali w odbiornikach wodnych i w organizmach tam żyjących. Ponadto użycie środków chelatujących powoduje emisję azotu w ilości zależnej od ilości użytych środków.

W ustalonych warunkach przebiegu procesów podstawą jest, aby każda substancja wchodząca do procesu również go opuściła. W celulozowniach siarczanowych stosujących NaOH i Na<sub>2</sub>S, jako główne chemikalia warzelne, należy sterować i bilansować wejście i wyjście sodu i siarki. Wymaganie obniżenia emisji dwutlenku siarki z celulozowni nasuwa wniosek, że mniej siarki powinno wchodzić do procesu lub, że siarka musi być odprowadzana w postaci mniej szkodliwej substancji (np. jako siarczan). Główne źródła siarki są wyszczególnione w tabeli 3.4.

Tabela 3.4 Typowy pobór siarki w celulozowni masy siarczanowej bielonej

Źródło	Ilość siarki [kg S/ADt]
Drewno, woda, chemikalia	0.3 – 0.5
Olej opałowy do pieca wapiennego i kotła	1.0 – 2.0
Produkcja oleju talowego	2.0 – 3.0 <sup>(1)</sup>
Wytwarzanie dwutlenku chloru	0 – 15 <sup>(2)</sup>
Siarczan magnezu do stopnia tlenowego	0 – 0.8
Ogółem	3.5 – 25.5
(1) Często używany jest kwas odpadowy z produkcji dwutlenku chloru.	
(2) Zależnie od typu procesu i dotyczy celulozowni stosującej do 40 kg/ADt dwutlenku chloru, wyrażone jako aktywny chlor	
Źródło: [ 127, SEPA report 1992 ]	

Emisje siarki do powietrza z punktowych i niepunktowych źródeł procesowych w celulozowniach siarczanowych można określić przybliżeniu na 0,2–0,4 kg S/ADt. Straty siarki w ściekach wodnych można oszacować jako odpowiadające 2 kg S/ADt [127, Raport SEPA, 1992]. Zatem ogólne straty siarki z celulozowni wynosiłyby około 2,3 kg S/ADt. Porównanie z poborem siarki, gdy operuje się wysokim udziałem dwutlenku chloru w bieleniu, jest dowodem, że znaczne ilości siarki musiałyby być odprowadzane lub zagospodarowywane jako obojętne sole (np.  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ). Jednakże spowodowałyby to jednocześnie straty sodu, które wymagałyby kompensacji przez droższe, sodowe chemikalia uzupełniające wolne od siarki. Dla określenia prawidłowych liczb bilansu chemikaliów muszą być opracowywane indywidualnie, dla każdego przypadku celulozowni i każdego procesu.

### 3.2.2.3 Zużycie energii

Główna część energii cieplnej jest zużywana na ogrzewanie różnych płynów i odparowanie wody. Energia cieplna jest również zużywana w celu przyspieszenia lub regulacji reakcji chemicznych. Energia elektryczna jest głównie wykorzystywana do transportu materiałów (pompowanie) i do tego, aby działały maszyny papiernicze (tylko w zintegrowanych zakładach).

Wytwarzanie bielonej masy siarczanowej zużywa około 10–14 GJ/ADt energii cieplnej (nie wliczając pary do produkcji energii elektrycznej). Zużycie energii elektrycznej wynosi 600–800 kWh/ADt włączając suszenie masy. Zużycie energii na suszenie masy wynosi ok. 25% całej energii cieplnej i 15–20% energii elektrycznej. Na pompowanie jest zużywane ponad 50% całkowitej ilości energii elektrycznej.

Obecnie jest tendencja, aby zmniejszyć zużycie energii i zwiększać produkcję energii, a instalacje energetyczne przemysłu papierniczego są wyposażane w małą stopkę skraplającą do turbiny przeciwprężnej. W szczególności nowoczesne zakłady celulozowe są więcej niż samowystarczalne, a nadwyżki mocy są sprzedawane z zyskiem ze względu na wzrost cen energii.

Tabela 3.5 przedstawia bilans ciepła i energii dla typowej nowoczesnej celulozowni siarczanowej oraz celulozowni zintegrowanej z papiernią.

**Tabela 3.5 Bilans ciepła i energii dla typowej nowoczesnej celulozowni siarczanowej oraz celulozowni zintegrowanej z papiernią.**

Rodzaj celulozowni	Jednostki	Niezintegrowana celulozownia	Zintegrowane celulozownia i papiernia
<b>Wytwarzanie ciepła</b>			
Ług czarny	GJ/t	18.0	18.0
Kora i odpady drzewne	masy	4.2	4.2
<b>Zużycie ciepła</b>			
Proces celulozowni	GJ/t masy	11.0	8.5
Proces papierni Moc przeciwprężna	GJ/t papieru	-	6.0
Moc kondensująca	GJ/t masy	3.0	4.0
		8.2	3.5
<b>Wytwarzanie mocy</b>			
Moc przeciwprężna	kWh/t	820	1150
Moc kondensująca	masy	800	340
Ogółem	kWh/t	1620	1490
<b>Zużycie mocy do sieci</b>			
Proces celulozowni	kWh/t masy	700	550
Proces papierni Moc do sieci	kWh/t papieru	-	650
		920	290

Źródło: J.Suutela, Pöyry Finland Oy

Tabela 3.5 pokazuje, jak celulozownia siarczanowa i zintegrowana celulozownia i papiernia mogą generować duże ilości energii elektrycznej dla innych odbiorców spoza sektora przemysłu papierniczego. Tak jest w przypadku, gdy zakład potrzebuje energii w postaci ciepła, a nie energii elektrycznej.

Wytwórnice chemicznej masy celulozowej są instalacjami energochłonnymi, zużywającymi znaczne ilości energii, ale jednocześnie produkującymi parę i energię elektryczną na miejscu poprzez wykorzystanie paliw odnawialnych (zob. Tabela 3.5). Nowoczesne niezintegrowane celulozownie siarczanowe są energetycznie samowystarczalne, głównie dzięki skutecznemu odzyskowi energii poprzez spalanie 50% masy wchodzącego do procesu surowca drzewnego w kotle regeneracyjnym (stężony ług czarny) i wykorzystanie kory jako paliwa. Ponadto może być odzyskiwana wtórna energia jako ciepła i gorąca woda (40–80 °C) z różnych etapów procesu. Paliwa kopalne są głównie stosowane jako paliwo wspomagające w piecu wapiennym i w oczyszczaniu gazów złonowych. Niektóre zakłady zmniejszają zapotrzebowanie na paliwa kopalne do pieców wapiennych używając paliw z biomasy, takich jak sproszkowana kora, gazu z gazyfikacji kory, metanol lub olej talowy do dopalania wapna.

Konwencjonalna konfiguracja instalacji energetycznej w niezintegrowanej celulozowni siarczanowej obejmuje kocioł regeneracyjny i kocioł korowy zasilający turbinę parową przeciwpięzną z bezpośrednim upustem pary, i ewentualnie skraplaniem. Kocioł regeneracyjny pełni rolę stanowiska energetycznego, w którym spalany jest stężony ług czarny, a generowane ciepło jest używane do wytwarzania wysokociśnieniowej, przegrzanej pary. Część energii zawartej w wysokociśnieniowej parze zużywa się do wytworzenia elektryczności w przeciwpięznej turbinie. Średnociśnieniowa para wydobyta z turbiny i niskociśnieniowa para wyjściowa są używane na pokrycie zapotrzebowania na energię cieplną w procesie siarczanowym.

Gazy złonowe są odbierane i spalane. Spalanie rozcieńczonych nieskrapających się gazów (NCG) nie generuje energii netto lub generuje jej mało, a gazy są głównie spalane ze względów ochrony środowiska oraz w celu uniknięcia nieprzyjemnych zapachów w okolicy i miejscu pracy. Stężone NCG (CNCG) mają zawartość ciepła 50–200 MJ/ADt i mogą zastąpić do 15–20% oleju napędowego wykorzystywanego w piecu do dopalania wapna.

W zintegrowanej wytwórni mas celulozowych i papieru, nadmiar ciepła produkowany przez celulozownię nie jest wystarczający do pokrycia zużycia energii do produkcji papieru. Dodatkowa potrzebna energia cieplna musi być wyprodukowana w kotłach opalanych drewnem/korą i kotłach pomocniczych. W kotłach korowych i spalających osady jako paliwo wspomagające, jak również jako główne paliwo w kotłach pomocniczych, stosuje się paliwa kopalne.

Zwiększone zużycie energii w okresach szczytowych jest często zaspokajane przez stosowanie małych kotłów na paliwo kopalne. Bardzo skuteczne są kombinowane instalacje energetyczne (CHP) oparte na turbinie gazowej w połączeniu z kotłem parowym i turbiną parową, kilka takich instalacji wykonano w Europie.

Poniżej zestawiono kilka dodatkowych liczb dotyczących zużycia energii w pojedynczych etapach procesu w celulozowni:

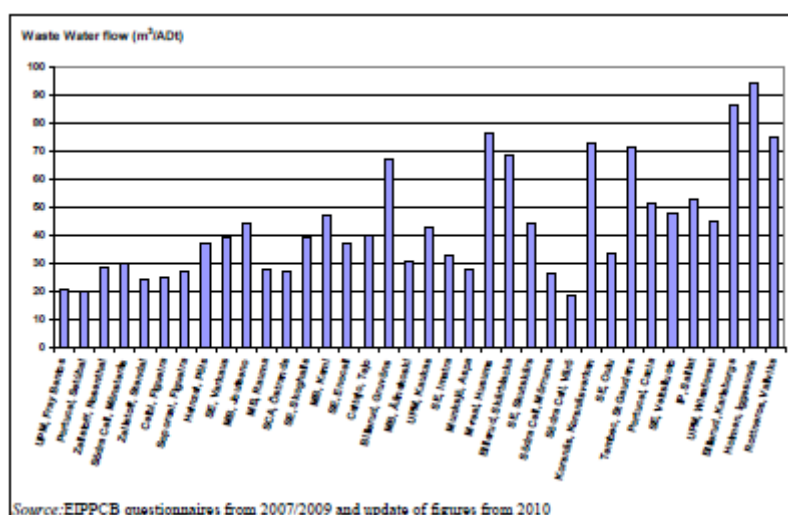
- odladzanie zużywa około 30 MJ ciepła w postaci gorącej wody lub pary na 1 m<sup>3</sup> przerabianego drewna,
- ogólne zużycie energii na korowanie wynosi 7–10 kWh/m<sup>3</sup> drewna [1, Finnish BAT Report 1997 – fiński raport nt. BAT, 1997],
- zużycie energii w odciskaniu kory wynosi około 5 kWh/ADt dla kory o początkowej suchości około 35%, a wzrost produkcji ciepła wynosi około 2 GJ/ADt lub 45%, jeśli suchość wzrasta z około 35% do 45%,
- energia na suszenie masy (tylko masa towarowa) może być rzędu 3 GJ/ADt masy lub około 25% ogólnego zapotrzebowania na energię cieplną dla celulozowni siarczanowej oraz 15–20% energii elektrycznej,
- przeciętne zużycie energii elektrycznej przy wytwarzaniu chemikaliów do bielienia zaprezentowano w Tabeli 3.6.

Tabela 3. 6 Przeciętne zużycie energii elektrycznej przy wytwarzaniu chemikaliów do bielenia

Chemikalia (symbol stopnia)	Zużycie energii elektrycznej [kWh/kg środka]
Dwutlenek chloru (D)	10
Tlen (O)	0.4
Ozon (Z)	10
Nadtlenek (P)	3.5
Alkalia (E)	1.6
Źródło: [ 1, Finnish BAT Report 1997 ]	

### 3.2.2.4 Zużycie wody i przepływ ścieków

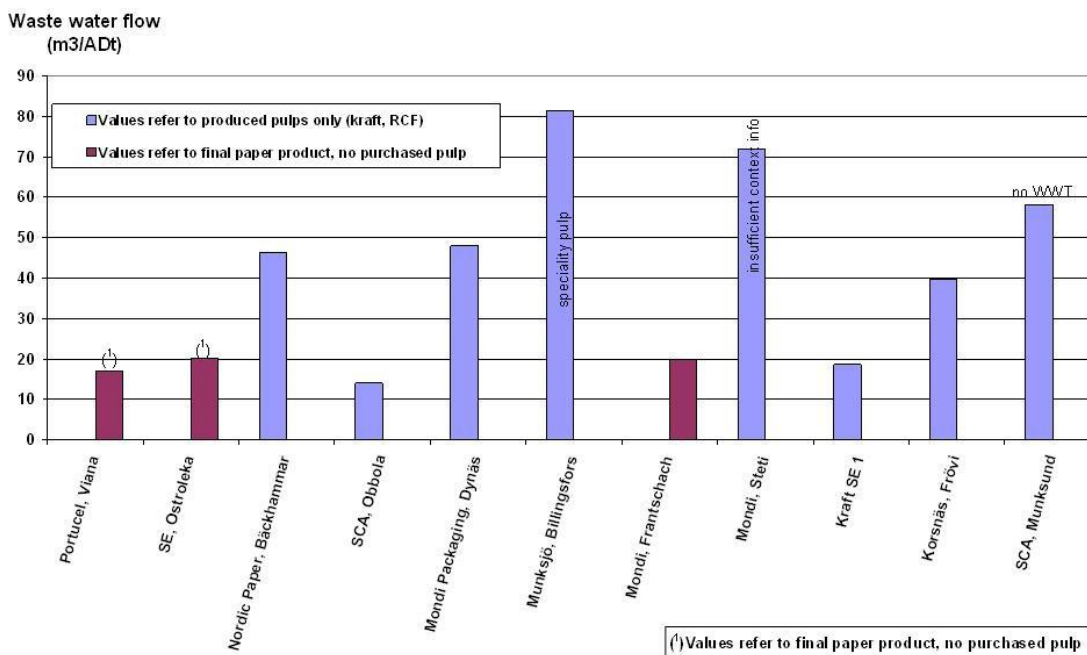
Przepływ ścieków w celulozowniach masy siarczanowej bielonej wynosi od 20 do 90 m<sup>3</sup>/ADt, jak pokazano na rysunku 3.5, a dla celulozowni masy siarczanowej niebielonej wynosi między 14 a 80 m<sup>3</sup>/ADt, jak pokazano na rysunku 3.6.



Źródło: Kwestionariusze EIPPCB z lat 2007/2009 i aktualizacja danych z 2010 r.

Rysunek 3. 5 Właściwy przepływ ścieków w celulozowni masy siarczanowej bielonej

Waste Water flow (m <sup>3</sup> /ADt)	Przepływ ścieków (m <sup>3</sup> /ADt)
Source: EIPPCB questionnaires from 2007/2009 and update of figures from 2010	Źródło: kwestionariusze EIPPCB z lat 2007/2009 i aktualizacja danych z 2010 r.



Źródło: kwestionariusze EIPPCB z lat 2007/2009 i aktualizacja danych z 2010 r.

Rysunek 3. 6 Właściwy przepływ ścieków w celulozowni masy siarczanowej niebielonej

Waste water flow (m <sup>3</sup> /ADt)	Przepływ ścieków (m <sup>3</sup> /ADt)
Values refer to produced pulps only (kraft, RCF) Values refer to final paper product, no purchased pulp	<b>Dane dotyczą tylko produkowanej masy (siarczanowej, RCF) Dane dotyczą końcowych produktów papierniczych, a nie zakupionej masy</b>
speciality pulp	specjalna masa
insufficient context info	niewystarczające informacje kontekstowe
Values refer to final paper product, no purchased pulp	<b>Dane dotyczą końcowego produktu papierowego, a nie zakupionej masy</b>
Source.EIPPCB questionnaires from 2007/2009 and update of figures from 2010	Źródło: kwestionariusze EIPPCB z lat 2007/2009 i aktualizacja danych z 2010 r.

Zużycie wody w wytwórni celulozy i papieru można obniżyć poprzez zwiększenie recyrkulacji wewnętrznych wód procesowych. W celulozowni siarczanowej można to realizować, np. poprzez przejście z mokrego korowania na korowanie suche, wymianę urządzeń do mycia masy, zwracanie alkalicznych filtratów z bielienia lub filtratów z bielienia ozonem, wykorzystanie w produkcji kondensatów z wyparki i zamknięcie sortowni z uwagi na wodę.

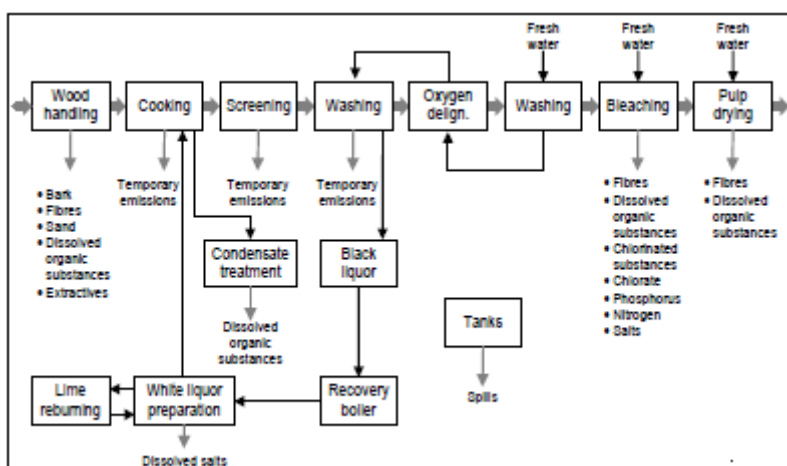
Występuje różnica w gospodarowaniu wodą pomiędzy wytwórniami zintegrowanymi i niezintegrowanymi. W celulozowni zintegrowanej, masa przechodzi z celulozowni do procesu wytwarzania papieru. Konsystencja masy zależy od urządzenia odwadniającego stosowanego pomiędzy celulozownią i papiernią. Ścieki z celulozowni i papierni są z reguły oczyszczane w jednej wspólnej oczyszczalni. Jednak w zintegrowanych zakładach stosuje się także oddzielne instalacje oczyszczające. W celulozowniach niezintegrowanych masa towarowa musi być odwadniana i suszona.

Objętość stosowanej wody jest ściśle związana z ładunkiem ścieków odprowadzanym z celulozowni. Zanieczyszczenie zależy głównie od schematu i przebiegu procesów, które powodują główną część zrzutów i od stopnia zamknięcia celulozowni. Poniżej opisano główne źródła ścieków i odpowiadające im ładunki zanieczyszczeń.



### 3.2.2.5 Emisje do wody

Jak pokazano na rysunku 3.7, emisje do wody z celulozowni masy siarczanowej pochodzą z różnych etapów procesu. Obejmują one również przypadkowe przelewy.



Rysunek 3. 7 Emisje do wody z celulozowni siarczanowej

Wood handling	Przygotowanie drewna
Cooking	Warzelnia
Screening	Sortowanie
Washing	Mycie
Oxygen delign.	Delignif. tlenem
Washing	Mycie
Bleaching	Bielenie
Pulp drying	Suszenie masy
Fresh water	Woda surowa
•Bark	•Kora
•Fibres	•Włókna
•Sand	•Piasek
•Dissolved organic substances	•Rozpuszczone substancje organiczne
•Extractives	•Substancje ekstrakcyjne
Temporary emissions	Emisje chwilowe
Condensate treatment	Oczyszczanie kondensatów
Dissolved organic substances	Rozpuszczone substancje organiczne
Black liquor	Ług czarny
Recovery boiler	Kocioł regeneracyjny
White liquor preparation	Przygotowanie ługu białego
Lime reburning	Wypalanie wapna
Dissolved salts	Rozpuszczone sole
Tanks	Zbiorniki
Spills	Przelewy
•Fibres	•Włókna
•Dissolved organic substances	•Rozpuszczone substancje organiczne
•Chlorinated substances	•Substancje chlorowe
•Chlorate	•Chloran
•Phosphorus	•Fosfor
•Nitrogen	•Azot
•Salts	•Sole

Emisje do wody składają się głównie z substancji organicznych zużywających tlen, które są mierzone jako ChZT i BZT lub CWO. Odciek z instalacji bielenia, w której stosowane są chemikalia chlorowe, zawiera organicznie związany chlor mierzony jako AOX, oraz chloran. Niektóre związki odprowadzane do ścieków wykazują oddziaływanie toksyczne na organizmy wodne. Emisje substancji barwnych mogą negatywnie wpływać na gatunki żyjące w odbiorniku,

gdyż obniżają przezroczystość wody. Z powodu eutrofizacji emisje pożywek (azot i fosfor) mają negatywny wpływ na środowisko. W ściekach można również stwierdzić obecność metali o niskich stężeniach wyekstrahowanych z drewna.

### 3.2.2.5.1 Ścieki z różnych etapów procesu

#### Ścieki z przygotowania drewna

Głównym źródłem zanieczyszczeń w procesie przygotowania drewna jest korowalnia. Wody deszczowe odpływające z placu drzewnego mogą być zanieczyszczone. Korowalnia zużywa wodę i wytwarza ścieki zawierające pożywki, włókna i związki organiczne zużywające tlen, takie jak kwasy żywiczne, kwasy tłuszczowe, itd., które są toksyczne dla organizmów wodnych, o ile ścieki nie są oczyszczane. Oczyszczanie biologiczne okazało się być bardzo skuteczne w eliminowaniu toksyczności. Po przejściu z korowania mokrego na suche zużycie wody i zrzuty zanieczyszczeń ulegają zmniejszeniu (zob. Tabela 3.7). Ilość wody stosowanej w mokrym korowaniu wynosi 0,6 do 2 m<sup>3</sup> na 1 m<sup>3</sup> drewna.

Suche korowanie zużywa 0,1 do 0,5 m<sup>3</sup> wody na 1m<sup>3</sup> drewna do mycia kłód i również rozpuszczane są pewne ilości związków organicznych, ale w mniejszym zakresie w porównaniu z korowaniem mokrym. Przedziały ładunku zanieczyszczeń w ściekach z korowania podano w tabeli 3.7 poniżej.

Tabela 3. 7 Ładunek zanieczyszczeń w ściekach z korowania przed oczyszczeniem biologicznym

Technika korowania	Objętość ścieków m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup>	BZT <sub>5</sub> kg/m <sup>3</sup> drewna	ChZT kg/m <sup>3</sup> drewna	Fosfor ogólny kg/m <sup>3</sup>
Korowanie mokre i prasa	0.6 – 2	0.9 – 2.6	4 – 6	5 – 7
Korowanie suche i prasa	0.1 – 0.5	0.1 – 0.4	0.2 – 2	2 – 4

Uwaga: BZT<sub>7</sub> został przekształcony na BZT<sub>5</sub> przy użyciu wzoru BZT<sub>7</sub> /1.16 = BZT<sub>5</sub> przedstawionego w tym samym sprawozdaniu.  
Źródło: [ 1, Finnish BAT Report 1997 ]

Kora na drzewie ma zwykle zawartość suchej substancji 35–45%. Po procesie korowania mokrego lub suchego suchość kory wynosi 30–35%. Suchość usuniętej kory tylko w niewielkim stopniu wynika z zastosowanej techniki korowania. Przyczyną tego jest fakt, iż suche korowanie oznacza recyrkulację wody, a nie, że woda nie jest stosowana. Suchość kory może być zwiększona do 40–45% za pomocą prasy, ale wówczas pojawia się dodatkowy odciek z prasy, który należy zagospodarować. Odciek z prasy korowej jest toksyczny i o wysokiej zawartości ChZT (20–60 kg/m<sup>3</sup>). W celulozowni masy chemicznej odciek ten mógłby być wprowadzany do warkana wraz ze zrębkami, a następnie i spalany w kotle regeneracyjnym. Zastosowanie prasy zwiększa wytwarzanie ciepła. Niektóre celulozownie stosują suszenie kory i szlamu, które dodatkowo zwiększa wartość grzewczą.

W porze zimowej, w północnych krajach, zamrożone kłody i śnieg muszą być odtajane przed korowaniem. Można to przeprowadzać w bębnie korującym za pomocą gorącej wody lub pary lub na specjalnych przenośnikach do odladzania przed bębniem korującym. W każdej instalacji zużycie wody i zrzuty z suchego korowania wzrosną i będą wynosić od środkowej do górnej wartości zakresów podanych w powyższej tabeli.

#### Kondensaty z roztwarzania i odparowywania

Kondensaty pochodzą z oparów procesowych, z warkana i wyparki. Ilość powstających kondensatów wynosi około 8–10 m<sup>3</sup>/powierzchnię suchej tony masy (ADt) z ładunkiem ChZT około 20–30 kg/t i ładunkiem BZT<sub>5</sub> około 7–10 kg/ADt. Ładunek ChZT tworzą głównie metanol (5–10 kg/ADt) z niewielką ilością etanolu oraz pewna liczba organicznych związków siarki (1–2 kg TRS/ADt), 1–2 kg terpentyny i nieorganiczne związki azotowe. Brudne kondensaty zawierają ponadto ketony, terpeny, związki fenolowe, kwasy żywiczne i tłuszczowe oraz różne rozpuszczone gazy. W kondensatach

jest zawarta duża część azotu zrzucanego z celulozowni siarczanowej.

Około 1 m<sup>3</sup> kondensatów na tonę masy charakteryzuje się stężeniem ChZT wynoszącym 10–20 kg/m<sup>3</sup>. Poziom ten jest wyższy w kondensatach z masy liściastej niż z iglastej. Te silnie zanieczyszczone kondensaty są zwykle oczyszczane w kolumnie odpędowej, w której skuteczność usuwania większości związków wynosi powyżej 90% i jest zależna od pH. Systemy z kolumną odpędową zazwyczaj usuwają jednocześnie gazy złowonne (TRS) i substancje składające się na ładunek ChZT. Odpędzone kondensaty po oczyszczeniu mogą zawierać 1–1,5 kg ChZT/m<sup>3</sup> kondensatu. Do kolumny odpędowej doprowadza się zazwyczaj około 0,2 ton pary/tonę kondensatów. Techniki oszczędzania energii umożliwiają obniżenie zużycia pary z 0,2 t/t kondensatów do 0,02–0,04 t/t kondensatów. Gazy z odpędzania kondensatów są spalane w oddzielnym palniku wyposażonym w absorber do usuwania SO<sub>2</sub> lub spalane w piecu wapiennym.

Powstaje około 7–9 m<sup>3</sup> mniej zanieczyszczonych kondensatów o stężeniu ChZT w zakresie od 0,5 do 2 kg/m<sup>3</sup>, co odpowiada zawartości całkowitej około 8–12 kg ChZT/tonę masy. Kondensaty te nie zawierają metali, a zatem są użyteczne w szczególności do mycia masy w instalacji bielarni, gdy zmierza się do zamknięcia tej części procesu. Mogą być również użyte jako roztwór natryskowy w instalacji pieca wapiennego lub uzupełnienie wody do ługu białego. Oznacza to, że niektóre kondensaty będą użyte w zamkniętej części procesu, a nie zrucane do ścieków. Inne kondensaty można zagospodarować w otwartych częściach procesu, np. w instalacji bielania i wtedy trafią do ścieków razem z tymi kondensatami, które nie są ponownie używane, lecz bezpośrednio zrucane do ścieków. Mierzone jako ChZT całkowite zrzuty kondensatów do ścieków wynoszą zazwyczaj około 4–8 kg ChZT/t masy, ale są one w większości łatwo biodegradowalne.

Alternatywnie, umiarkowanie zanieczyszczone kondensaty mogą być poddane odpędzaniu w układzie przyłączonym do instalacji wyparnej, w taki sposób, że oczyszczanie odbywa się bez istotnego, dodatkowego zużycia energii. W ten sposób całkowity ładunek ChZT, przed ponownym użyciem tych kondensatów, obniża się do około 5 kg/t, oznacza to redukcję o około 50% w porównaniu z sytuacją, gdy oczyszczane są tylko najbardziej zanieczyszczone kondensaty.

### **Przelewy z różnych etapów procesu**

Przelewy włókien i ługu czarnego występują w oddziale warzelni, sortowni i podczas mycia. Źródłami przelewów są też instalacja wyparki i zbiorniki. Przelewy ługu białego, ługu białego słabego, wapna, itp. zachodzą podczas kaustykacji. Większość przelewów może być gromadzona i zawracana, jeżeli dysponuje się odpowiednimi objętościami buforowymi oraz odpowiednimi procedurami postępowania. Przecieki z urządzeń mechanicznych, takich jak pompy, można ograniczać, np. poprzez dobór odpowiednich uszczelnień.

W celu wyboru, które strumienie ciekłe skierować do zawrócenia do procesu, a które do ścieków, zwykle stosuje się kontrolę przewodnictwa lub zawartości włókien w poszczególnych odciekach. Jeżeli czyste wody, takie jak wody pochłonicze i uszczelniające, są przesyłane oddzielnymi rurociągami, to możliwe jest lepsze zagospodarowanie przelewów. Pozostałe przelewy mogą wtedy być łatwo zawracane do odpowiednich miejsc procesu.

Mierzone jako ChZT zrzuty materiału organicznego w przelewach wynoszą zwykle pomiędzy 2 i 10 kg/t masy. Niższa liczba jest osiągnięta przy zastosowaniu odpowiednio dużych objętości buforowych i właściwych procedur nadzoru. Zasadniczo powinno być możliwe zredukowanie zrzutów związanych z przelewami do zera, jeżeli czyste wody pochłonicze i uszczelniające są przesyłane oddzielnie, na miejscu znajdują się odpowiednie objętości buforowe oraz praktykowane jest dobre gospodarowanie. Usprawnione gromadzenie przelewów obniża nie tylko zrzuty zanieczyszczeń do wód, ale również zużycie wartościowych zasobów jak chemikalia, włókna i energia.

### **Pozostałości lugu czarnego (straty mycia) z obróbki masy niebielonej**

Skuteczność mycia masy w roztwarzaniu chemicznym odnosi się do odzyskiwania możliwie jak największej części chemikaliów warzelnych i rozpuszczonych substancji organicznych. Mycie na prasie w ostatnim etapie może zredukować ilość wody pozostałej w masie z 6–10 m<sup>3</sup>/t masy do 2–3 m<sup>3</sup>/t zwiększając tym samym ilość chemikaliów spalanych w kotle regeneracyjnym. Zmniejszenie zanieczyszczeń w masie jest jednakże mniejsze niż wskazuje redukcja przepływu. Mycie nie jest w 100% skuteczne, więc pewne ilości chemikaliów i zanieczyszczeń są transportowane z masą do etapu bielenia, gdzie są zużywane chemikalia bielące, a następnie pozostałości są odprowadzane do ścieków.

Istnieją znormalizowane metody pomiaru tego unosu (przenoszenia) chemikaliów, który jest często określany jako „straty mycia” i był pierwotnie mierzony jako kg siarczanu sodu na tonę masy. W 2013 r. straty mycia były zwykle mierzone jako ChZT. Typowe zakresy strat mycia wynoszą aktualnie 5–10 kg ChZT/t dla masy z drewna iglastego i 7–12 kg ChZT/t dla masy liściastej.

### **Zrzuty z instalacji bielenia**

Instalacja bielenia jest najpoważniejszym punktem zrzutu zanieczyszczeń do wód w celulozowni. Gdyby bielarnia mogła być całkowicie lub częściowo zamknięta, dałoby to zasadnicze dalsze zmniejszenie zrzutów substancji organicznych, pożywek i metali do wody. Typowe liczby dotyczące ilości ścieków z bielarni to ok. 25 m<sup>3</sup> na tonę masy. Wiele celulozowni próbuje zwiększyć stopień zamknięcia instalacji bielenia poprzez zmniejszenie objętości wody. Częściowe zamknięcie obiegów bielarni jest aktualnie osiągnięte w instalacjach pracujących wg metody ECF i TCF. W porównaniu do otwartych układów bielarni redukcja ładunku ChZT wynosi 25–50%, a redukcja przepływu jest nawet większa czyli obniża się do ok. 12 m<sup>3</sup>/t masy w porównaniu do wartości typowej 25 m<sup>3</sup>/t masy.

Emisje z instalacji bielenia zależą od wielu parametrów: stopnia delignifikacji uzyskanego przed wejściem masy do bielarni, strat mycia, wybranej sekwencji bielenia i stosowanych chemikaliów bielących, rodzaju drewna, końcowej białości masy bielonej, jaka ma być osiągnięta i stopnia zamknięcia instalacji bielenia.

W tabeli 3.8 zestawiono przykłady współzależności pomiędzy rodzajem drewna, metodami i stopniem delignifikacji przed bieleniem oraz ładunkiem ChZT generowanym podczas bielenia. Liczby kappa są oparte na wartościach aktualnie osiągniętych, na skalę przemysłową przy zastosowaniu różnych technik delignifikacji. Obliczenia zrzutu reszkowej ligniny, wyrażonego w kg ChZT/t masy, zakładają zrzut w przybliżeniu 2 kg ChZT na jednostkę liczby kappa oraz, że masa jest bielona do pełnej białości. Natomiast, gdy liczba kappa jest niższa od 10, zrzut ChZT jest bliższy 1,5 kg na jednostkę liczby kappa

Tabela 3. 8 Przykłady współzależności pomiędzy rodzajem drewna, metodami i stopniem delignifikacji przed bielaniem oraz ładunkiem ChZT generowanym podczas bielania

Metoda roztwarzania	O <sub>2</sub> delignifikacja/ bielenie ozonem	Masa liściasta		Masa iglasta	
		Liczba Kappa w instalacji bielenia	ChZT [kg/ADt]	Liczba Kappa w instalacji bielenia	ChZT [kg/Ant]
Konwencjonalne roztwarzanie	-	18	38	30	63
Konwencjonalne roztwarzanie	O <sub>2</sub> delignifikacja	13	27	15	32
Zmodyfikowane roztwarzanie	-	16	34	20	42
Zmodyfikowane roztwarzanie	O <sub>2</sub> delignifikacja	10	15	12	25
Dalsze modyfikacje roztwarzania	-	13	26	15	30
Dalsze modyfikacje roztwarzania	O <sub>2</sub> delignifikacja	10	15	10	15

Źródło: [ 109, PARCOM 1994]

Na etapie delignifikacji, gdzie jest możliwa recykulacja filtratu do etapu mycia masy niebielonej (delignifikacja O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, kwaśne fazy), liczbą kappa, którą należy rozważyć jest liczba kappa uzyskana po tym etapie, przy zastosowaniu tego samego stosunku ChZT/kappa, o którym wspomniano wcześniej.

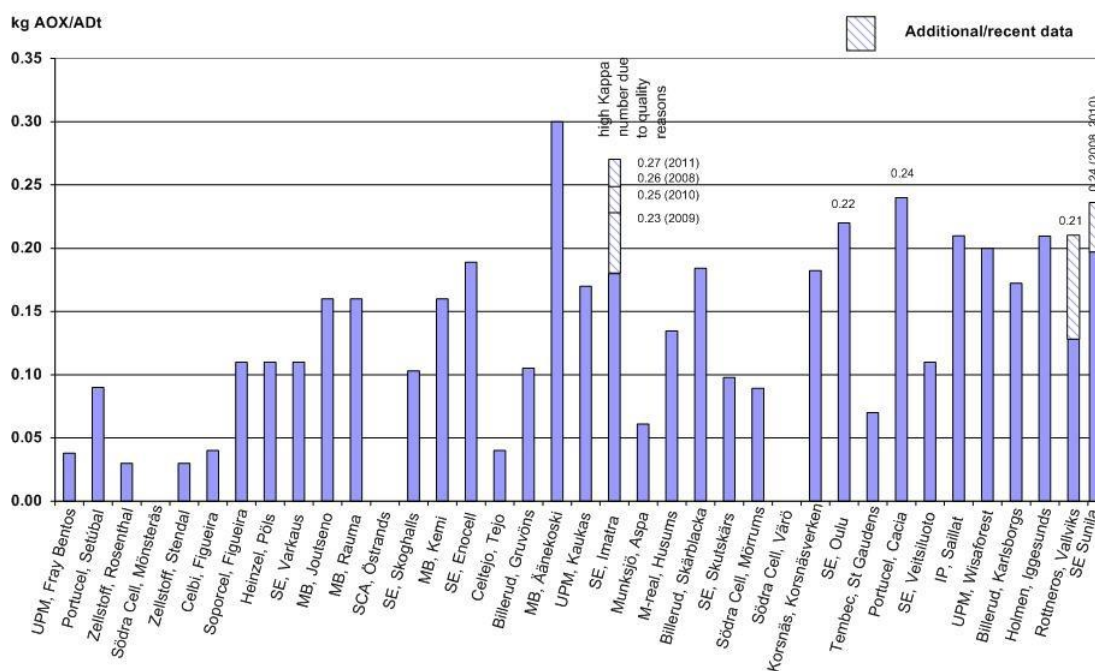
Jeśli wykonana zostanie tylko częściowa recykulacja filtratu w etapie delignifikacji lub średnim etapie bielania, zawartość ChZT musi być oceniana osobno dla każdego przypadku, ponieważ w dużym stopniu zależy od prawidłowej recykulacji przepływów i ładunku ChZT w rozpatrywanym etapie.

### 3.2.2.5.2 Główne parametry i poziomy emisji

#### Chlorowane substancje organiczne (AOX)

Celulozownie w Europie zmieniły przestały stosować cząsteczkowy chlor do bielania masy i obecnie (2013 r.) większość masy jest bielona w sekwencjach wybielających dwutlenkiem chloru. Nadążając za wymaganiami rynku, niektóre celulozownie całkowicie wyeliminowały użycie chemikaliów bielących zawierających chlor, zastępując je kombinacjami delignifikacji tlenowej ze stopniem ozonowym i/lub stopniami nadtlenkowymi (masa TCF). W bielaniu TCF może być także stosowany kwas nadoctowy (Paa) (zob. punkt 3.3.7).

Zrzuty chlorowanych substancji organicznych mierzonych jako AOX. zależą od liczby kappa osiągniętej przed wejściem masy do instalacji bielania, ładunku dwutlenku chloru zastosowanego podczas bielania, sekwencji bielania, w tym mycia i recykulacji wody, oraz oczyszczania ścieków. Masy wchodzące do instalacji bielania z niską liczbą kappa wymagają mniej chemikaliów do bielania, tj. w procesie bielania ECF, mniejszy wsad ClO<sub>2</sub> powoduje mniejsze emisje AOX. Rysunek 3.8 przedstawia średni roczny poziom emisji AOX z celulozowni siarczanowych w punkcie zrzutu, tj. po oczyszczeniu ścieków. Wartości występują w zakresie od niewykrywalnych do 0,3 kg AOX/ADt masy celulozowej bielonej.

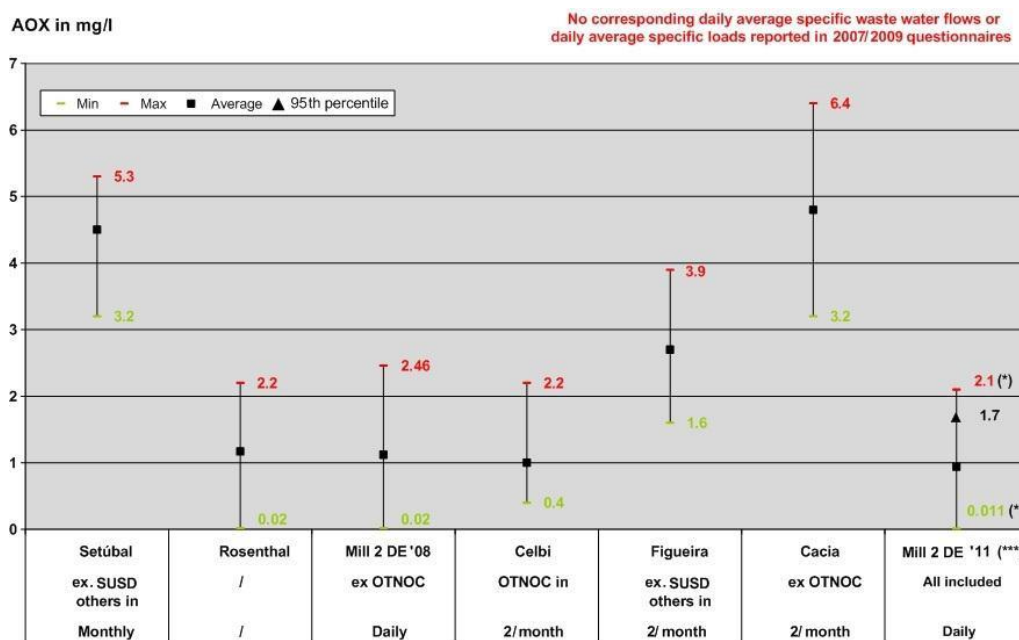


Źródło: Kwestionariusz EIPPCB z lat 2007/2009

Rysunek 3.8 Emisje AOX z celulozowni masy siarczanowej bielonej

kg AOX/ADt	kg AOX/ADt
Additional/recent data	Dodatkowe/najnowsze dane
high Kappa number due to quality reasons	wysoka liczba Kappa ze względów jakościowych
Source: EIPPCB questionnaires from 2007/2009	Źródło: Kwestionariusz EIPPCB z lat 2007/2009

Wartości krótkoterminowe emisji AOX dla masy bielonej i niebielonej pokazano na rysunku 3.9.



(\*) Corresponding specific waste water flow (daily average): 25.3 m<sup>3</sup>/t

(\*\*) No corresponding specific waste water flow (daily average) given, as data refer to very low production rate

(\*\*\*) Reported minimum and maximum daily average specific loads: 0.00034 kg/t and 0.115 kg/t, respectively

Źródło: Kwestionariusz EIPPCB z lat 2007/2009 i komentarze Niemiec z lipca 2012 r.

Rysunek 3.9 Wartości krótkoterminowe emisji AOX dla masy bielonej i niebielonej

Tot-P in mg/l	P-og w mg/l
No corresponding daily average specific waste water flows or daily average specific loads reported in 2007/2009 questionnaires	Brak odpowiednich średnich dziennych właściwych przepływów ścieków i średnich dobowych ładunków podanych w kwestionariuszach z lat 2007/2009
Min.	Min
Max	Maks.
Average	Średnio
95th percentile	95 percentyl
Viana ex. low prod, ex OTNOC; Weekly	Viana ex. niska prod, ex OTNOC; Tygodniowo
Ostroleka ex. SUSD others in; Weekly	Ostrołęka ex. SUSD inne w; Tygodniowo
Setubal ex. SUSD others in; Monthly	Setubal ex. SUSD inne w; Tygodniowo
Mill 2 DE '08 ex OTNOC; Daily	Mill 2 DE '08 ex OTNOC; Dziennie
Celbi OTNOC in; 2/ month	Celbi OTNOC w; 2/miesiąc
Figueira ex. SUSD others in; 2/Monthly	Figueira ex. SUSD inne w; 2/miesiąc
Cacia ex OTNOC; 2/Month	Cacia ex OTNOC; 2/miesiąc
Mill 2 DE'11 All included; Daily	Mill 2 DE'11 Wszystko; Dziennie
unbleached	niebielona
bleached	bielona
(*) Corresponding specific waste water flow (daily average): 25,3 m <sup>3</sup> /t	(*) Odpowiedni przepływ ścieków (średnia dobowo): 25.3 m <sup>3</sup> /t
(**) No corresponding specific waste water flow (daily average) given, as data refer to very low production rate	(**) Brak odpowiednich właściwych przepływów ścieków (średnich dobowych); dane dotyczą bardzo niskiego współczynnika produkcji
Source: EIPPCB questionnaires from 2007/2009 and comments from Germany in July 2012	Źródło: Kwestionariusz EIPPCB z lat 2007/2009 i komentarze Niemiec z lipca 2012 r.

### Środki chelatujące (EDTA/DTPA)

Nowoczesne sekwencje bielenia często obejmują etapy bielenia nadtlaniem, które wymagają usunięcia metali (takich jak jony manganu, żelaza, miedzi) z masy, ze względu na to że rozkładają one nadtlenek. Metale usuwa się zwykle za pomocą czyszczenia środkami chelatującymi lub kwaśnego mycia masy. Środki chelatujące, takie jak EDTA lub DTPA, są słabo biodegradowalne w normalnych warunkach. Niektóre celulozownie zauważyły, że środki chelatujące są częściowo eliminowane z ich biologicznych oczyszczalni. Istnieje również możliwość, aby część środka chelatującego dostarczyć do zamkniętej części instalacji, a tym samym obniżyć emisję z instalacji bielenia. Dostępne są nieliczne pomiary w tym zakresie. Stężenie EDTA w ściekach ścieków z jednej nowoczesnej celulozowni ECF przed biologicznym oczyszczaniem ścieków wynosiło średnio 50 mg/l podczas 12 pomiarów (24-godzinna próbka złożona) przeprowadzonych w ciągu roku (od 34 mg/l do 63 mg/l).

### Związki organiczne (ChZT lub CWO)

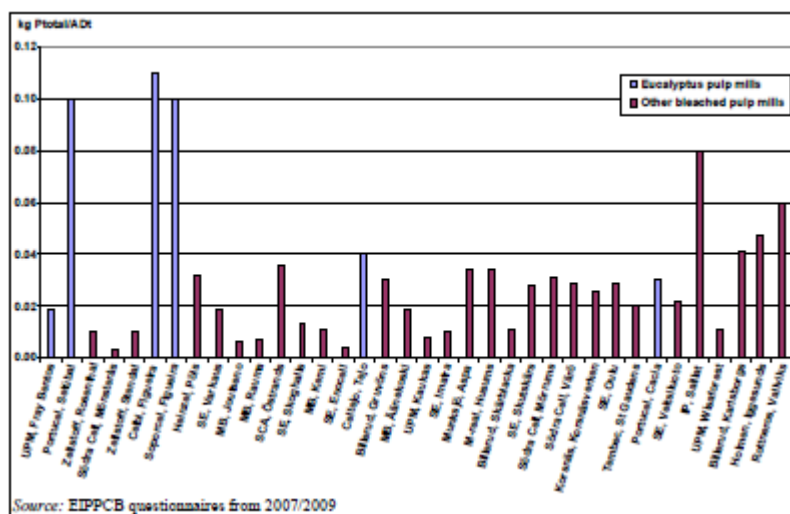
Poziom emisji substancji organicznych z drewna iglastego i liściastego jest podobny; tylko celulozownie eukaliptusowe mają niższe emisje. Główne procesy i zdarzenia, które przyczyniają się do zrzutów organicznych z celulozowni dotyczą przerobu drewna, kondensatów, przelewów, strat mycia i instalacji bielenia, która jest głównym czynnikiem. Najmniejsze całkowite zrzuty w celulozowniach siarczanowych masy bielonej przed oczyszczaniem biologicznym wynoszą około 25–30 kg ChZT/ADt dla drewna iglastego i 17–20 kg ChZT/ADt dla bielonej masy siarczanowej z eukaliptusa. Emisje ChZT po zakończeniu oczyszczania biologicznego podano w Sekcji 3.2.2.5.3.

### Zrzuty pożywek (azot i fosfor)

Pożywki pochodzą głównie z samego drewna, chociaż oczyszczanie biologiczne ścieków może wymagać dodatku pożywek, gdy występuje ich niedobór. Badania w celulozowniach

siarczanowych wykazały, że związki azotu w ściekach pochodzą zasadniczo z niebielonej części procesu, podczas gdy związki fosforu pochodzą z bielarni.

Perspektywy obniżenia zrzutów pożywek z procesu są głównie zależne od możliwości dalszego przerobu kondensatów i dalszego delignifikowania masy w zamkniętej części procesu. Rysunek 3.8 przedstawia średni roczny poziom emisji fosforu ogólnego (P-og) z celulozowni masy siarczanowej bielonej po biologicznym oczyszczeniu ścieków. Emisje wynoszą od 0,003 do 0,08 kg P-og/ADt, a większość zakładów osiąga wartości poniżej lub znacznie poniżej 0,04 kg P-og/ADt; kilka celulozowni eukaliptusowych ma emisje fosforu na poziomie do 0,12 kg P-og/ADt. Drewno z iberyjskich eukaliptusów zawiera więcej fosforu w porównaniu do innych gatunków wykorzystywanych do produkcji masy celulozowej w Europie i poza nią. Nawet jeśli fosforu nie dodaje się jako pożywki w biologicznej oczyszczalni ścieków, poziom w ściekach jest znacznie wyższy w porównaniu do innych zakładów produkcyjnych wykorzystujących gatunki inne niż eukaliptus. Sytuacja taka ma miejsce przy założeniu, że nie dodaje się flokulantów do usuwania fosforu. Dla celulozowni eukaliptusowych wykorzystujących drzewo z regionów o wyższym poziomie fosforu, średni poziom zrzutów w ściekach wynosi do 0,12 kg P-og/ADt.

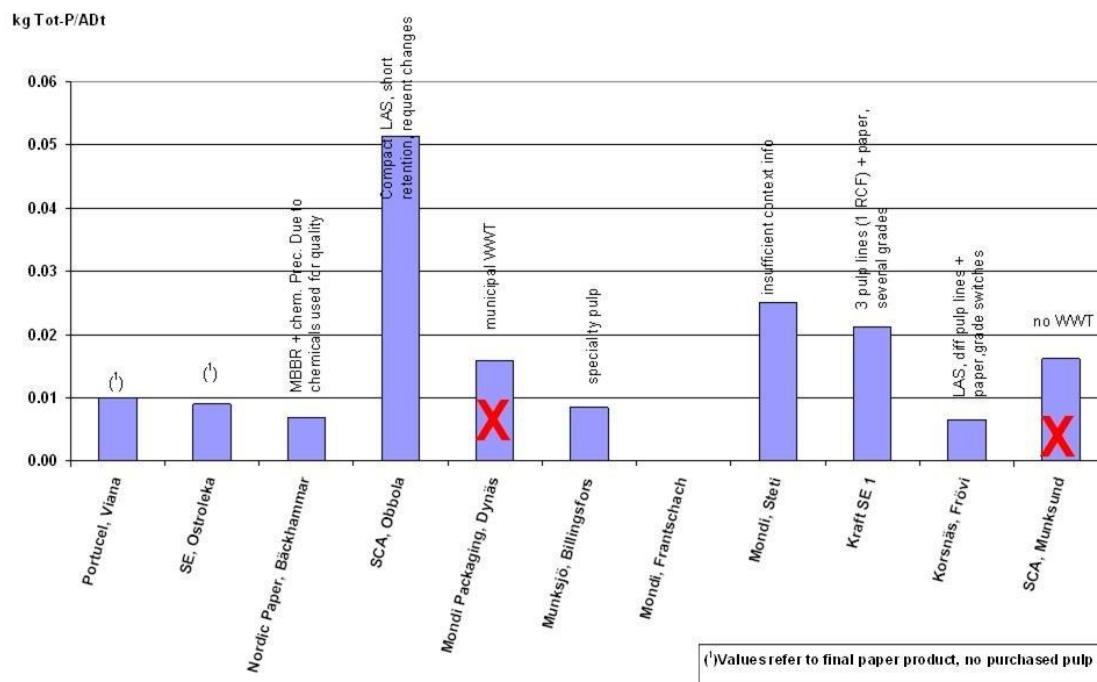


Rysunek 3.10 Emisje fosforu ogólnego w celulozowniach masy siarczanowej bielonej

kg Ptotal/ADt	kg P-og/ADt
Eucalyptus pulp mills	Celulozownie eukaliptusowe
Other bleached pulp mills	Inne celulozownie masy bielonej
Source: EIPPCB questionnaires from 2007/2009	Źródło: Kwestionariusz EIPPCB z 2007/2009

Średnioroczne emisje fosforu ogólnego (P-og) z celulozowni masy siarczanowej niebielonej po biologicznym oczyszczeniu ścieków pokazano na rys. 3.11.





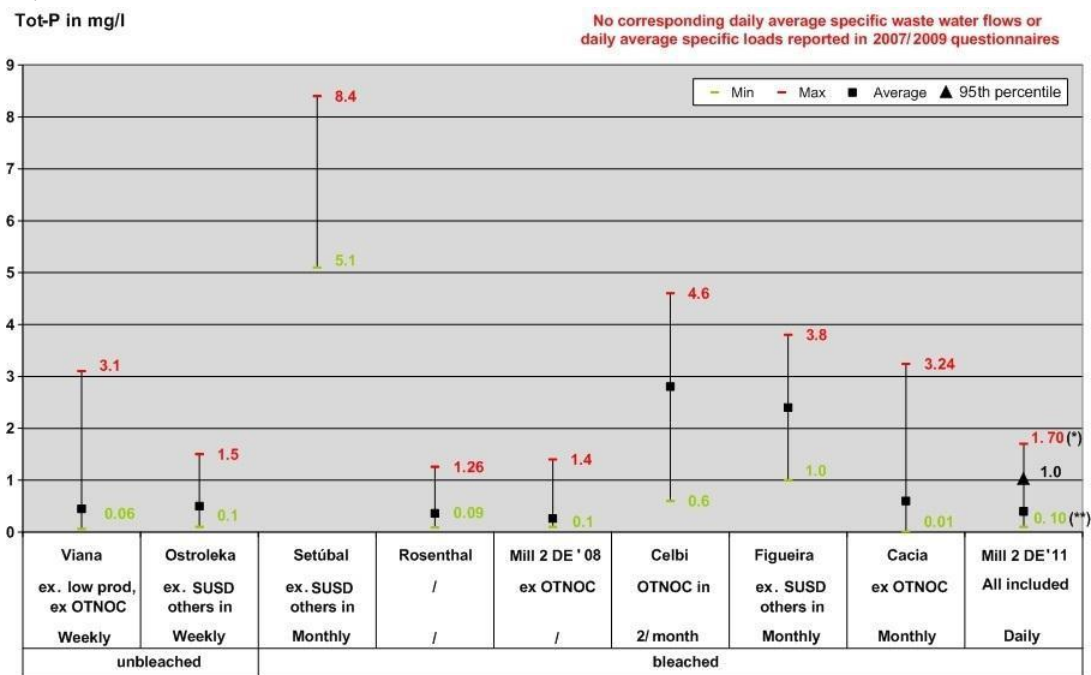
Źródło: Kwestionariusz EIPPCB z 2007/2009

Rysunek 3. 11 Emisje fosforu ogólnego w celulozowniach masy siarczanowej niebielonej

kg Tot-P/ADt	kg P-og/ADt
MBBR+chem. Prec Due 1o chemical used for quality	MBBR+chem. ze względu na chemikalia użyte dla zapewnienia jakości
Compact LAS, short retention, frequent changes	kompaktowa LAS, krótkie zatrzymanie, częste zmiany
Municipal WWT	Miejskie oczyszczanie ścieków
Speciality pulp	Specjalna masa
Insufficient context info	niewystarczające informacje kontekstowe
3 pulp lines (1 RCF) + paper several grades	3 linie produkcyjne mas (1 RCF) + papieru kilka klas
LAS, diff pulp line + paper, grade switches	LAS, oddzielne linie produkcyjne mas + papier, zmiany między rodzajami
No WWT	Brak oczyszczania
Values refer to final paper product, no purchase pulp	Dane dotyczą końcowego produktu papierowego, a nie zakupionej masy
Source: EIPPCB questionnaires from 2007/2009	Źródło: Kwestionariusz EIPPCB z 2007/2009

Emisje fosforu z produkcji niebielonej masy celulozowej są na ogół niższe niż z celulozowni masy bielonej i wynoszą od blisko zera do 0,025 kg P-og/ADt, z jednym wyjątkiem, gdy emisje fosforu wyniosły 0,05 kg P-og/ADT.

Wartości krótkoterminowe emisji P-og dla masy bielonej i niebielonej pokazano na rysunku 3.12.



(\*) No corresponding specific waste water flow (daily average) given, as data refer to very low production rate

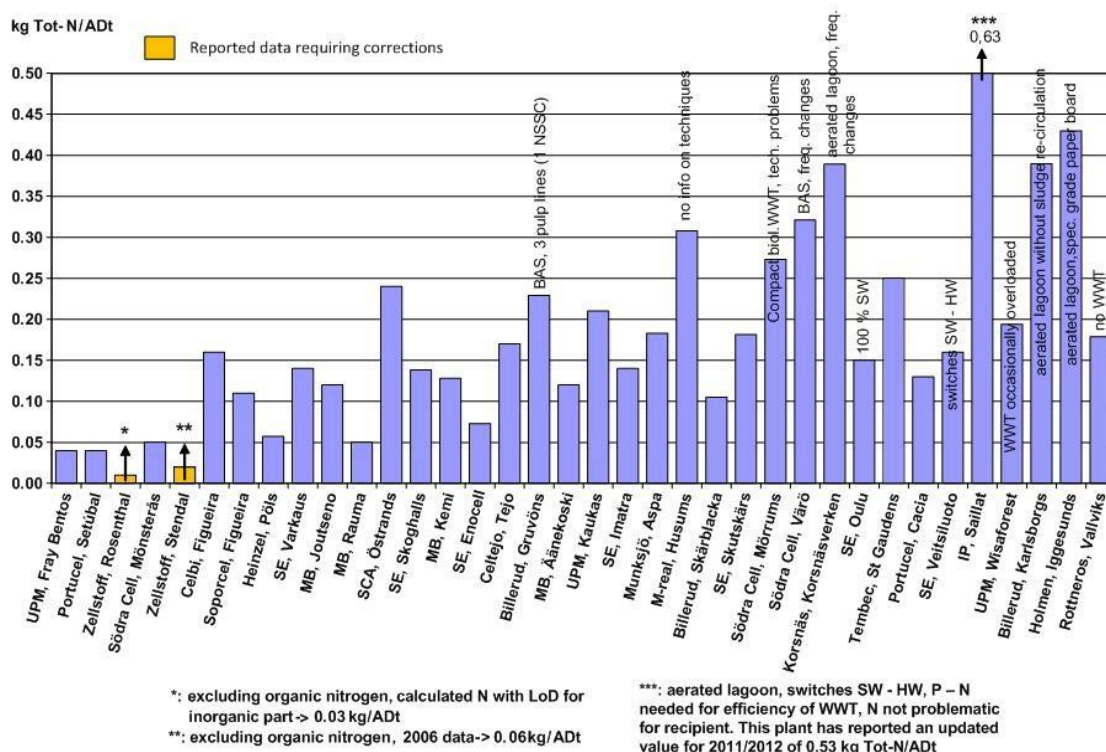
(\*\*) Corresponding specific waste water flow (daily average): 20.1 m<sup>3</sup>/t

Źródło: Kwestionariusz EIPPCB z lat 2007/2009 i komentarze Niemiec z lipca 2012 r.

Rysunek 3. 12 Wartości krótkoterminowe emisji P-og dla celulozowni masy siarczanowej bielonej i niebielonej

Tot-P in mg/l	P-og w mg/l
No corresponding daily average specific waste water flows or daily average specific loads reported in 2007/2009 questionnaires	Brak odpowiednich średnich dziennych właściwych przepływów ścieków i średnich dobowych ładunków podanych w kwestionariuszach z lat 2007/2009
Min	Min
Max	Maks.
Average	Średnio
95th percentile	95 percentyl
Viana ex. low prod, ex OTNOC; Weekly	Viana ex. niska prod, ex OTNOC; Tygodniowo
Ostroleka ex. SUSD others in; Weekly	Ostroleka ex. SUSD inne w; Tygodniowo
Setubal ex. SUSD others in; Monthly	Setubal ex. SUSD inne w; Miesięcznie
Mill 2 DE '08 ex OTNOC	Mill 2 DE '08 ex OTNOC
Celbi OTNOC in; 2/ month	Celbi OTNOC w; 2/miesiąc
Figueira ex. SUSD others in; Monthly	Figueira ex. SUSD inne w; Miesięcznie
Cacia ex OTNOC; Monthly	Cacia ex OTNOC; Miesięcznie
Mill 2 DE'11 All included; Daily	Mill 2 DE'11 Wszystko; Dziennie
unbleached	niebielona
bleached	bielona
(*) No corresponding specific waste water flow (daily average) given, as data refer to very low production rate	(*) Brak odpowiednich właściwych przepływów ścieków (średnich dobowych); dane dotyczą bardzo niskiego współczynnika produkcji
(**) Corresponding specific waste water flow (daily average): 20.1 m <sup>3</sup> /t	(**) Odpowiedni przepływ ścieków (średnia dobowy): 20.1 m <sup>3</sup> /t
Source: EIPPCB questionnaires from 2007/2009 and comments from Germany in July 2012	Źródło: Kwestionariusz EIPPCB z lat 2007/2009 i komentarze Niemiec z lipca 2012 r.

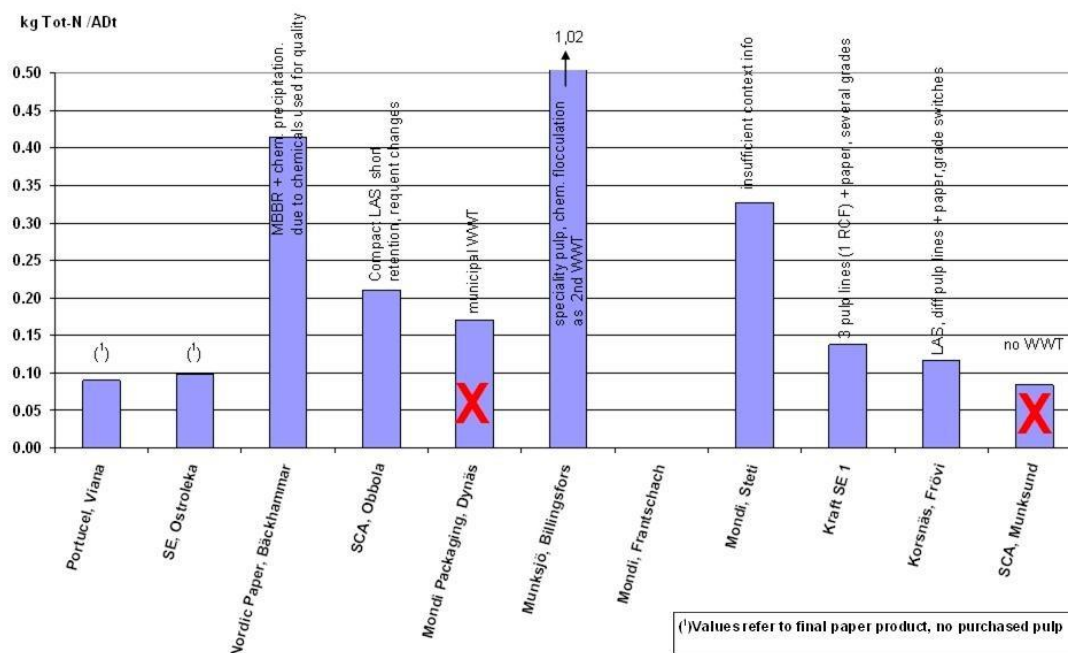
Średnioroczne emisje azotu ogólnego (TN<sub>b</sub>) z celulozowni masy siarczanowej bielonej i niebielonej po biologicznym oczyszczeniu ścieków pokazano na rys. 3.11 i 3.14.



Źródło: Kwestionariusz EIPPCB z 2007/2009

Rysunek 3. 13 Emisje azotu ogólnego w celulozowniach masy siarczanowej białej

kg Tot-N/ADt	kg N-og/ADt
Reported data requiring corrections	Dane wymagające poprawek
BAS, 3 pulp lines (1 NSSC)	BAS, 3 linie produkcyjne masy (1 NSSC)
no info on techniques	brak informacji na temat technik
Compact biol. WWT, tech problems	Kompaktowe biologiczne oczyszczanie, problemy tech
BAS. freq. changes	BAS. częste zmiany
aerated lagoon, freq. changes	napowietrzane stawy, częste zmiany
switches SW- HW	zmiany między SW- HW
WWT occasionally overloaded	czasami przeciążenie instalacji oczyszczania
aerated lagoon without sludge re-circulation	napowietrzane stawy bez recyrkulacji szlamu
aerated lagoon,spec. grade paper board	napowietrzane stawy,spec. rodzaj papieru tektury
no WWT	Brak oczyszczania
*: excluding organic nitrogen, calculated N with LoD for inorganic part-> 0.03kg/ADt **: excluding organic nitrogen, 2006 data-> 0.06kg/ADt	*: wyłączając azot organiczny, obliczony N z LoD dla części nieorganicznej -> 0.03kg/ADt **: wyłączając azot organiczny, 2006 dane-> 0.06kg/ADt
***: aerated lagoon, switches SW - HW, P - N needed for efficiency of WWT, N not problematic for recipient. This plant has reported an updated value for 2011/2012 of 0.53 kg Tot-N/ADt	***: napowietrzane stawy, zmiany między SW - HW, P - N potrzebne do skutecznego oczyszczania, N nie sprawia problemów odbiorcy. Zakład zaktualizował dane za lata 2011/2012 do 0.53 kg N-og/ADt
Source: EIPPCB questionnaires from 2007/2009	Źródło: Kwestionariusz EIPPCB z 2007/2009



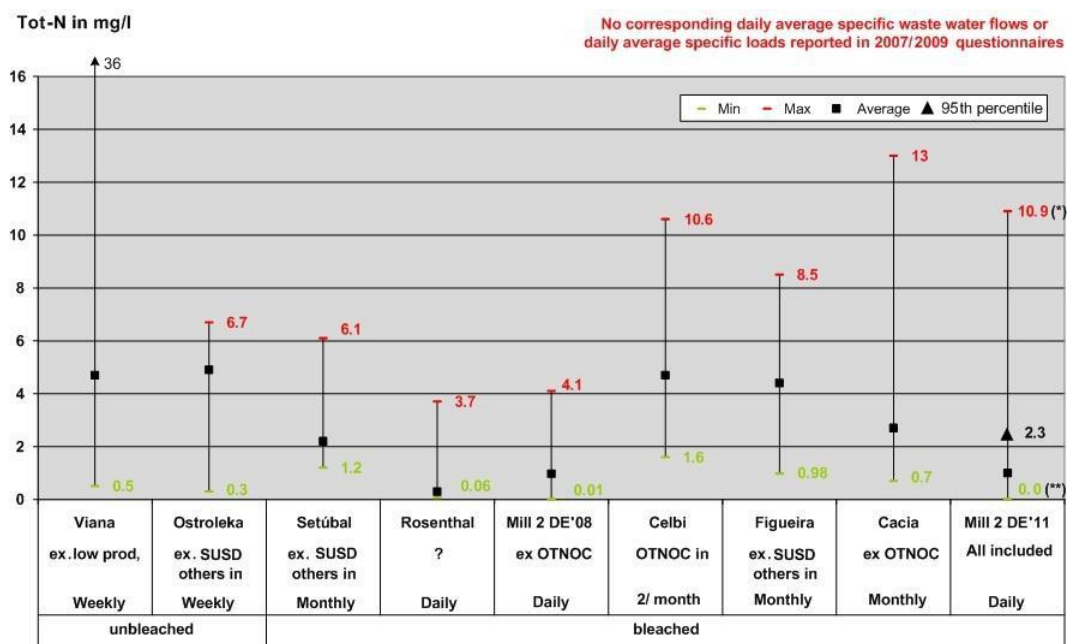
Źródło: Kwestionariusz EIPPCB z 2007/2009

Rysunek 3.14 Emisje azotu ogólnego w celulozowniach masy siarczanowej niebielonej

kg Tot-N/ADt	kg N-og/ADt
MBBR + chem. precipitation. due to chemicals used for quality	MBBR + strącanie chem. ze względu na chemikalia użyte dla zapewnienia jakości
Compact LAS short retention, frequent changes	Kompaktowa LAS, krótkie zatrzymanie, częste zmiany
municipal WWT	miejskie oczyszczanie ścieków
speciality pulp, chem. flocculation as 2nd WWT	specjalna masa, flokulacja chem. jako 2 stopień oczyszczania
insufficient context info	niewystarczające informacje kontekstowe
3 pulp lines (1 RCF) + paper, several grades	3 linie produkcyjne mas (1 RCF) + papieru, kilka klas
LAS, diff pulp lines + paper, grade switches	LAS, oddzielne linie produkcyjne mas + papier, zmiany rodzaju
no WWT	brak oczyszczania
Values refer to final paper product, no purchased pulp	Dane dotyczą końcowego produktu papierowego, a nie zakupionej masy
Source: EIPPCB questionnaires from 2007/2009	Źródło: Kwestionariusz EIPPCB z 2007/2009

Jak pokazano na rysunku, zrzuć azotu wahają się w przedziale od 0,01 kg N/ADt do 0,4 kg N/ADt z jedną wartością emisji wynoszącą 0,63 kg N/ADt. Celulozownie masy bielonej i niebielonej osiągają podobne wartości emisji azotu (z wyjątkiem jednego zakładu, który osiąga emisję azotu ogólnego na poziomie 1 kg N/ADT). Analiza danych dotyczących emisji dla składników odżywczych i substancji organicznych potwierdziła, że zmniejszenie ChZT i substancji odżywczych można osiągnąć jednocześnie.

Wartości krótkoterminowe emisji N-og dla masy bielonej i niebielonej pokazano na rysunku 3.15.



(\*) No corresponding specific waste water flow (daily average) given, as data refer to very low production rate

(\*\*) Corresponding specific waste water flow (daily average): 22.4 m<sup>3</sup>/t

Note: Mills from Germany reported as total nitrogen values that were determined as inorganic nitrogen

Uwagi: ? = Brak informacji o rodzaju monitoringu

Źródło: Kwestionariusz EIPPCB z lat 2007/2009 i komentarze Niemiec z lipca 2012 r.

Rysunek 3.15 Wartości krótkoterminowe emisji N-og dla celulozowni masy siarczanowej bielonej i niebielonej

Tot-N in mg/l	N-og w mg/l
No corresponding daily average specific waste water flows or daily average specific loads reported in 2007/2009 questionnaires	Brak odpowiednich średnich dziennych właściwych przepływów ścieków i średnich dobowych ładunków podanych w kwestionariuszach z lat 2007/2009
Min	Min
Max	Maks.
Average	Średnio
95th percentile	95 percentyl
Viana ex. low prod, Weekly	Viana ex. niska prod, Tygodniowo
Ostroleka ex. SUSD others in; Weekly	Ostroleka ex. SUSD inne w; Tygodniowo
ex. SUSD others in; Monthly	ex. SUSD inne w; Miesięcznie
Rosenthal ?; Daily	Rosenthal ?; Dziennie
Mill 2 DE'08 ex OTNOC; Daily	Mill 2 DE'08 ex OTNOC; Dziennie
Celbi OTNOC in; 2/ month	Celbi OTNOC w; 2/miesiąc
Figueira ex. SUSD others in Monthly	Figueira ex. SUSD inne w Miesięcznie
Cacia ex OTNOC; Monthly	Cacia ex OTNOC; Miesięcznie
Mill 2 DE'11 All included; Daily	Mill 2 DE'11 Wszystko; Dziennie
unbleached	niebielona
bleached	bielona
(*) No corresponding specific waste water flow (daily average) given, as data refer to very low production rate	(*) Brak odpowiednich właściwych przepływów ścieków (średnich dobowych); dane dotyczą bardzo niskiego współczynnika produkcji
(**) Corresponding specific waste water flow (daily average): 22.4 m <sup>3</sup> /t	(**) Odpowiedni przepływ ścieków (średnia dobowo): 22.4 m <sup>3</sup> /t
Uwaga: Mills from Germany reported as total nitrogen values that were	Uwaga: Zakłady z Niemiec podały dane jako wartości azotu ogólnego, które zostały

determined as inorganic nitrogen	określone jako nieorganiczny azot
NB: ? = No information on type of monitoring	Uwagi: ? = Brak informacji o rodzaju monitoringu
Source: EIPPCB questionnaires from 2007/2009 and comments from Germany in July 2012	Źródło: Kwestionariusz EIPPCB z lat 2007/2009 i komentarze Niemiec z lipca 2012 r.

### Zrzuty metali

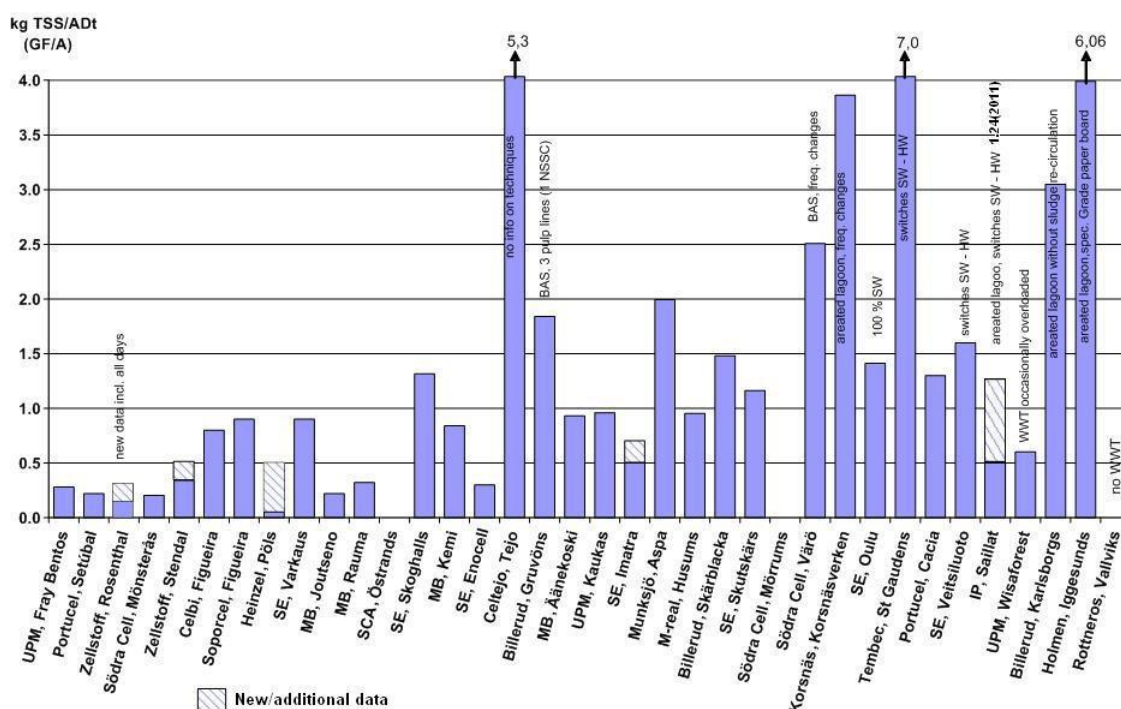
Stosowane drewno zawiera metale, które są odprowadzane ze ściekami. Tabela 3.9 przedstawia typowe zrzuty metali z celulozowni siarczanowych. Podobnie jak w przypadku fosforu, obniżenie zrzutów metali jest prawdopodobnie możliwe poprzez zwiększenie stopnia zamknięcia procesu. Opcje zewnętrznego oczyszczania ścieków w celu redukcji metali są bardzo ograniczone

Tabela 3. 9 Typowe zrzuty metali z celulozowni siarczanowych w g/ADt.

Proces	Cd	Pb	Cu	Cr	Ni	Zn
Masa niebielona	0.03	0.3	0.5	0.2	0.4	5
Masa bielona	0.1	0.4	1	0.7	0.9	15
Źródło: [ 109, PARCOM 1994 ]						

### Zawiesiny

Średnioroczne emisje zawiesin po oczyszczeniu biologicznym i usunięciu biomasy z wykorzystaniem technik sedymentacyjnych i porównywalnych technik pokazano na rysunku 3.16 dla celulozowni masy siarczanowej bielonej. Zawiesiny były w większości przypadków analizowane przy zastosowaniu filtra z włókna szklanego typu A.



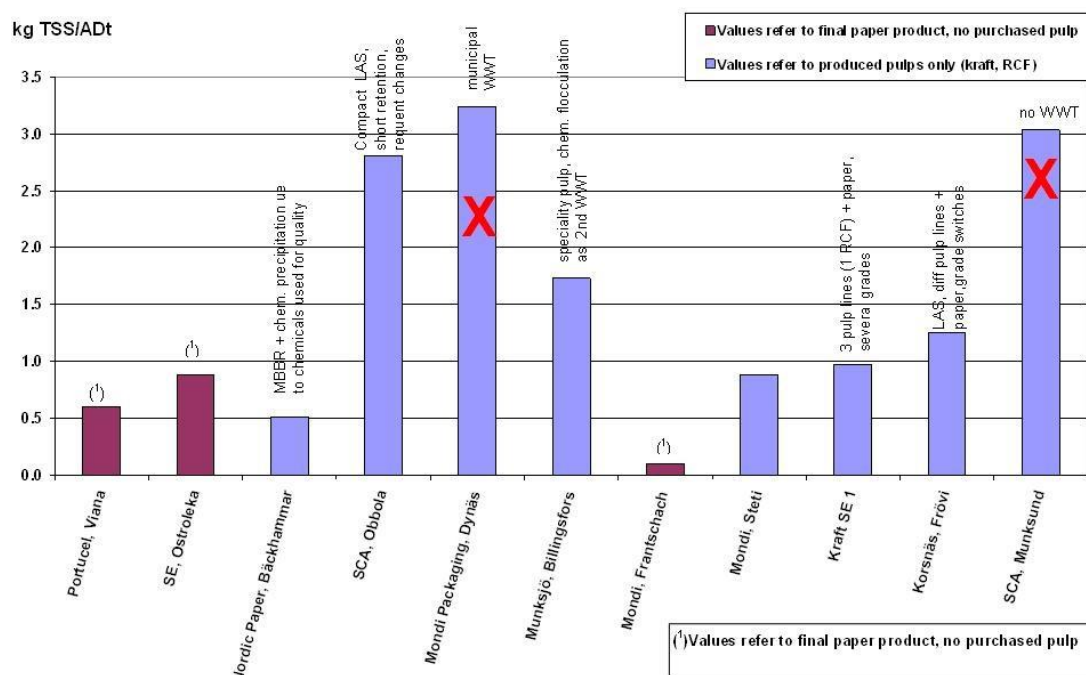
Źródło: Kwestionariusz EIPPCB z 2007/2009

Rysunek 3.16 Poziom emisji zawiesiny ogólnej z celulozowni masy siarczanowej bielonej po biologicznym oczyszczeniu i usunięciu biomasy

kg TSS/ADt (GF/A)	kg TSS/ADt (GF/A)
new data incl. all days	nowe dane obejmujące wszystkie dni
BAS. 3 pulp lines (1 NSSC)	BAS. 3 linie produkcyjne masy (1 NSSC)
BAS. freq. changes	BAS. częste zmiany
100 % SW	100 % SW
switches SW-HW	zmiany między SW-HW
switches SW - HW	zmiany między SW - HW
areated lagoon, switches SW-HW 1.24(2011)	napowietrzane stawy, zmiany między SW-HW 1.24(2011)
WWT occasionally overloaded	czasami przeciążenie instalacji oczyszczania
areated lagoon without sludge re-circulation	napowietrzane stawy bez recyrkulacji szlamu
areated lagoon, spec Grade paper board	napowietrzane stawy, spec. rodzaj papieru tektury
no WWT	brak oczyszczania
New /additional data	Nowe /dodatkowe dane
Source: EIPPCB questionnaires from 2007/2009	Źródło: Kwestionariusz EIPPCB z 2007/2009

Rysunek pokazuje, że wartości emisji TSS wahają się od 0,02 kg TSS/ADt do 2,0 kg TSS/ADt; większość zakładów osiąga emisje TSS poniżej 1 kg TSS/ADt, a 6 celulozowni odprowadza znacznie większe ładunki, jedna nawet do 7 kg/ADt. Wyższe wartości są oczywiście powiązane z przeciążonymi osadnikami lub zakłóceniami aktywnej biomasy.

Średnioroczne emisje TSS z celulozowni masy siarczanowej niebielonej są podane na rysunku 3.17 i pokazują podobny obraz: większość zakładów osiąga emisje TSS poniżej 1.0 kg TSS/ADt, a niektóre mają większe emisje, do 3 kg TSS/ADt.



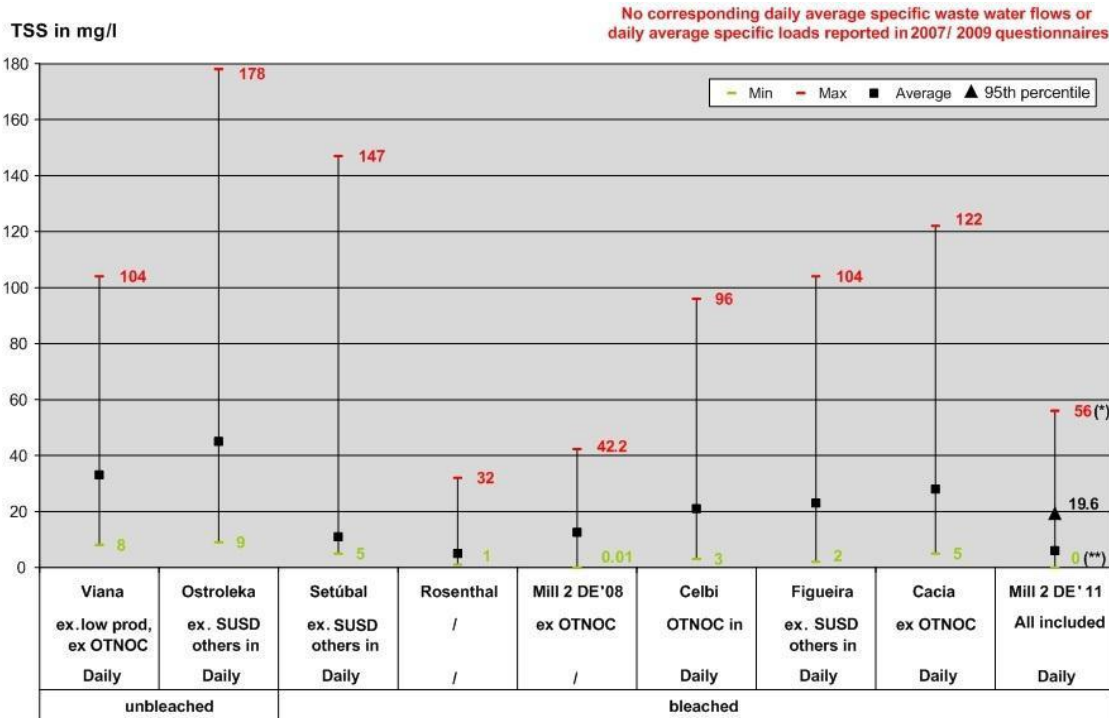
Źródło: Kwestionariusze EIPPCB z 2007/2009

Rysunek 3.17 Poziom emisji zawiesin z celulozowni masy siarczanowej niebielonej po biologicznym oczyszczeniu i usunięciu biomasy

kg TSS/ADt	kg TSS/ADt
MBBR+chem. precipitation ue to chemicals used for quality	MBBR+strącanie chem. ze względu na chemikalia użyte dla zagwarantowania jakości
Compact LAS, short retention, frequent changes	Kompaktowa LAS, krótkie zatrzymanie, częste zmiany
municipal	miejskie
WWT	oczyszczanie
speciality pulp, chem. flocculation as 2nd WWT	specjalna masa, chem. flokulacja jako 2 stopień oczyszczania
Values refer to final paper product, no purchased pulp Values refer to produced pulps only (kraft, RCF)	Wartości dotyczą końcowego produktu papierowego, nie zakupionej masy Wartości dotyczą tylko wyprodukowanej masy (siarczanowej, RCF)
3 pulp lines (1 RCF) + paper, severa grades	3 linie produkcyjne masy (1 RCF) + papier, kilka rodzajów
LAS, diff pulp lines + paper, grade switches	LAS, oddzielne linie produkcyjne masy + papier, zmiany między rodzajami
no WWT	brak oczyszczania
Values refer to final paper product, no purchased pulp	Wartości dotyczą końcowego produktu papierowego, nie zakupionej masy
Source: EIPPCB questionnaires from 2007/2009	Źródło: Kwestionariusze EIPPCB z 2007/2009

Wartości krótkoterminowe wykazane w odniesieniu do emisji TSS, zarówno dla masy celulozowej bielonej jak i niebielonej, pokazano na rysunku 3.18.





Źródło: Kwestionariusze EIPPCB z 2007/2009 i komentarze Niemiec z lipca 2012 r.

Rysunek 3. 18 Wartości krótkoterminowe emisji TSS dla celulozowni masy siarczanowej białej i niebiałej

TSS in mg/l	TSS w mg/l
No corresponding daily average specific waste water flows or daily average specific loads reported in 2007/ 2009 questionnaires	Brak odpowiednich średnich dziennych właściwych przepływów ścieków i średnich dobowych ładunków podanych w kwestionariuszach z lat 2007/2009
Min	Min
Max	Maks.
Average	Średnio
95th percentile	95 percentyl
Viana ex. low prod, ex OTNOC; Daily	Viana ex. low prod, ex OTNOC; Dziennie
Ostroleka ex. SUSD others in; Daily	Ostroleka ex. SUSD inne w; Dziennie
ex. SUSD others in; Daily	ex. SUSD inne w; Dziennie
Rosenthal	Rosenthal
Mill 2 DE'08 ex OTNOC	Mill 2 DE'08 ex OTNOC
Celbi OTNOC in; Daily	Celbi OTNOC w; Dziennie
Figueira ex. SUSD others in; Daily	Figueira ex. SUSD inne w; Dziennie
Cacia ex OTNOC; Daily	Cacia ex OTNOC; Dziennie
Mill 2 DE'11 All included; Daily	Mill 2 DE'11 Wszystko; Dziennie
unbleached	niebiałona
bleached	białona
(*) No corresponding specific waste water flow (daily average) given, as data refer to very low production rate	(*) Brak odpowiednich właściwych przepływów ścieków (średnich dobowych); dane dotyczą bardzo niskiego współczynnika produkcji
(**) Corresponding specific waste water flow (daily average): 21.1 m <sup>3</sup> /t	(**) Odpowiedni przepływ ścieków (średnia dobową): 21.1 m <sup>3</sup> /t
Source: EIPPCB questionnaires from 2007/2009 and comments from Germany in July 2012	Źródło: Kwestionariusze EIPPCB z 2007/2009 i komentarze Niemiec z lipca 2012 r.

### 3.2.2.5.3 Całkowite zrzuty ścieków po oczyszczeniu biologicznym

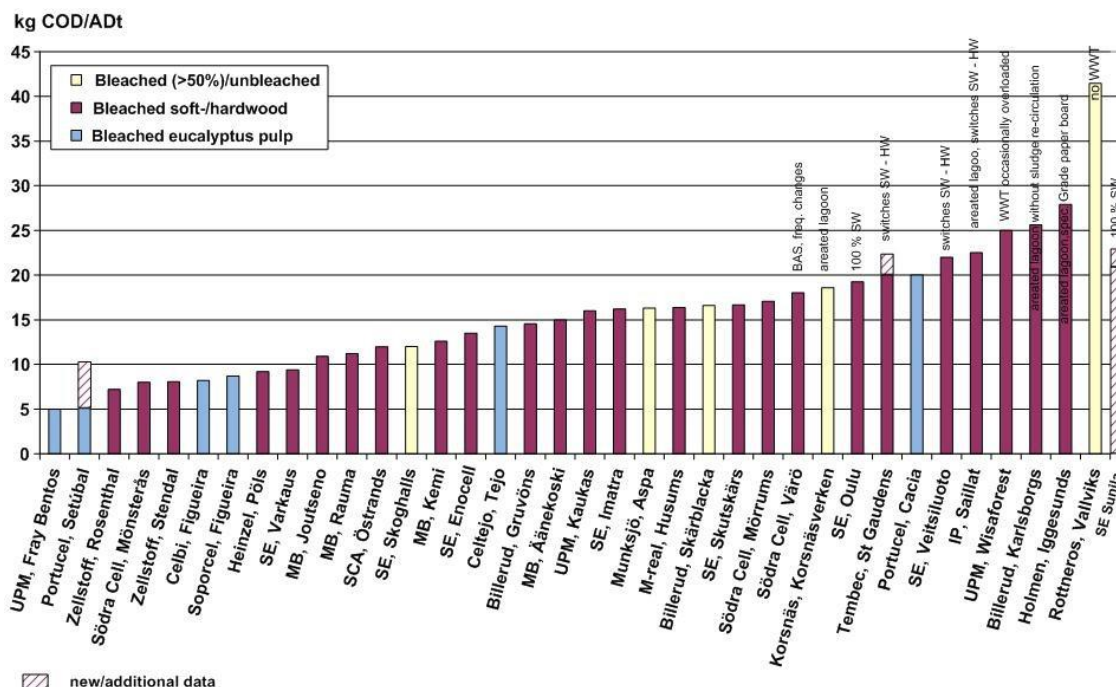
Oczyszczanie ścieków na miejscu polega na usunięciu grubych cząstek stałych na mechanicznym sicie oraz ciał stałych tworzących zawiesiny na odstojnikach podstawowych. Ciecz nadosadowa z podstawowego odstojnika kierowana jest do basenów wyrównawczych w celu wyrównania przychodzących ładunków i przepływów. Oczyszczanie biologiczne odbywa się w napowietrzanych basenach, głównie zbiornikach osadu czynnego z długimi czasami retencji. Alternatywy dla procesu osadu czynnego są coraz bardziej powszechne, np. reaktory biologiczne ze złożem ruchomym (MBBR) wykorzystujące materiały nośnikowe dla biomasy. Mają one równoważne lub lepsze wskaźniki redukcji niż te z procesu osadu czynnego. Napowietrzane stawy również stosuje się w kilku przypadkach. Tabela 3.10 pokazuje różnice w ogólnych efektach oczyszczania dla sedimentacji i biologicznego oczyszczania ścieków z celulozowni masy siarczanowej jako procentowe redukcje. Nowsze instalacje osiągają wartości redukcji w górnej części podanych zakresów.

Tabela 3.10 Procentowa redukcja w oczyszczalniach ścieków w celulozowniach masy chemicznej

Rodzaj oczyszczania	BZT <sub>5</sub> (%)	ChZT (%)	AOX (%)	P (%)	N (%)
Napowietrzany staw	40 – 85	30 – 60	20 – 45	0 – 15	0
Aktywny osad	85 – 98	50 – 70	40 – 65	40 – 85	20 – 50

Źródło: [ 109, PARCOM 1994 ], [ 1, Finnish BAT Report 1997 ].

Szczegółowe średnioroczne emisje ChZT z celulozowni masy siarczanowej bielonej przedstawiono na rysunku 3.19. Wprowadzono rozróżnienie między celulozowniami masy eukaliptusowej, celulozowniami, które produkują głównie masy siarczanową bieloną (> 50%) i wszystkimi innymi celulozowniami masy siarczanowej bielonej. Dane wskazują, że wartości emisji ChZT z masy eukaliptusowej wahają się między 5 i 20 kg ChZT/ADt, emisje z produkcji masy siarczanowej bielonej z innego drewna iglastego i liściastego wahają się między 7,5 i 28 kg ChZT/ADt.



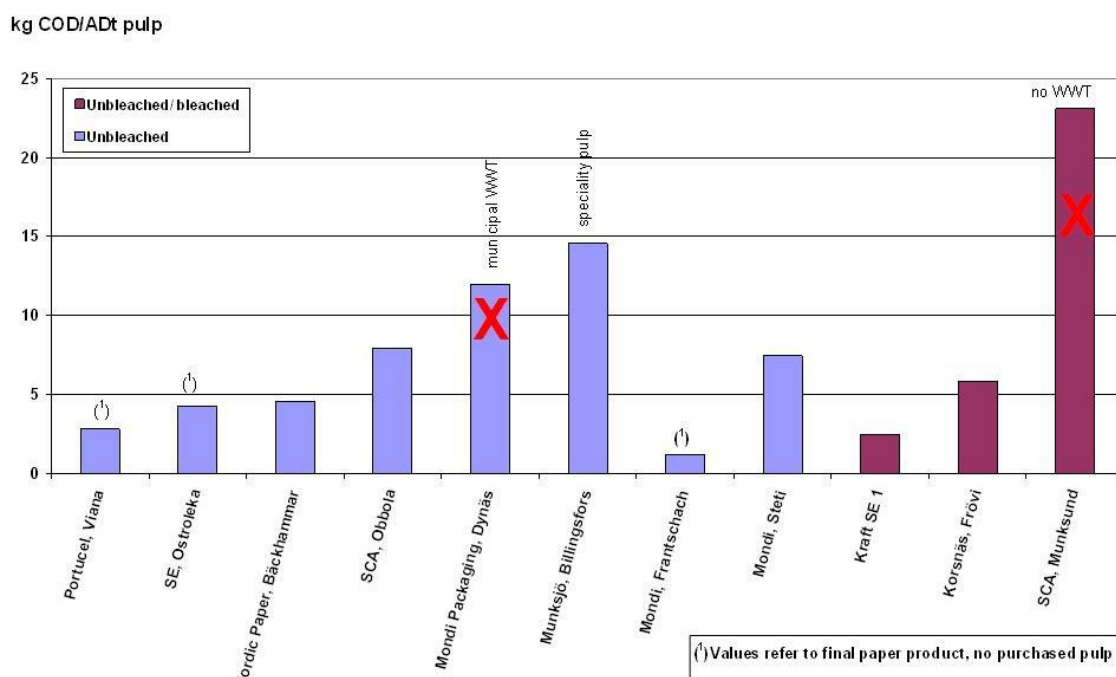
Źródło: Kwestionariusz EIPPCB z 2007/2009

Rysunek 3.19 Emisje ChZT z celulozowni masy siarczanowej bielonej po oczyszczeniu biologicznym

Bleached (>50%/unbleached)	Masa bielona (>50%/niebielona
Bleached soft-/hardwood	Bielone masa drzewa iglastego/liściastego
Bleached eucalyptus pulp	Bielona masa eukaliptusowa
BAS. freq. changes	BAS. częste zmiany

areated lagoon	napowietrzany staw
100 % SW	100 % SW
switches SW - HW	zmiany między SW - HW
switches SW - HW	zmiany między SW - HW
areated lagoo. switches SW - HW	napowietrzane stawy, zmiany między SW - HW
WWT occasionally overloaded	czasami przeciążenie instalacji oczyszczania
areated lagoon without sludge re-circulation	napowietrzane stawy bez recyrkulacji szlamu
areated lagoon spec. Grade paper board	napowietrzane stawy, spec. rodzaj papieru tektury
no WWT	brak oczyszczania
100 % SW	100 % SW
new/additional data	nowe/dodatkowe dane
Source: EIPPCB questionnaires from 2007/2009	Źródło: Kwestionariusz EIPPCB z 2007/2009

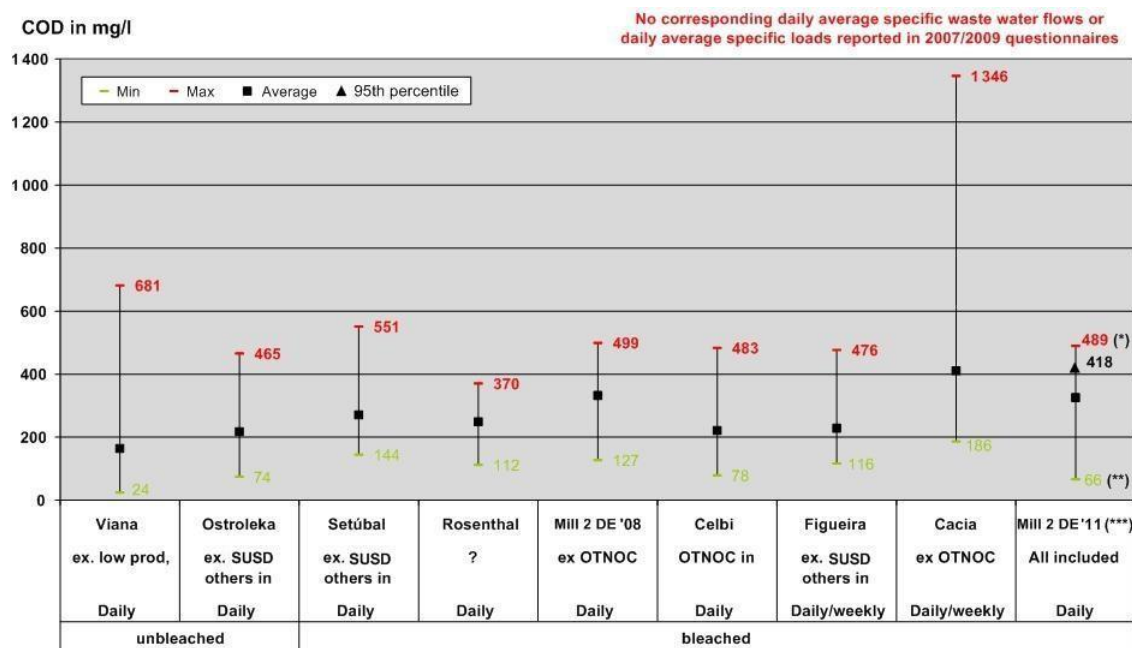
Średnioroczne emisje ChZT z celulozowni masy siarczanowej niebielonej po oczyszczeniu biologicznym przedstawiono na rysunku 3.20. Emisje wahają się od 1,2 kg ChZT/ADt do 23 kg ChZT/ADt.



Rysunek 3. 20 Emisje ChZT z celulozowni masy siarczanowej niebielonej po oczyszczeniu biologicznym

kg COD/ADt pulp	kg ChZT/ADt masy
Unbleached bleached	Niebielona bielona
Unbleached	Niebielona
municipal WWT	miejskie oczyszczanie ścieków
speciality pulp	specjalna masa
no WWT	brak oczyszczania
Values refer to final paper product, no purchased pulp	Dane dotyczą końcowego produktu papierowego, a nie zakupionej masy

Jak pokazano na rys. 3.21, wartości krótkoterminowe określono również dla emisji ChZT dla masy bielonej i niebielonej.



(\*) Corresponding specific waste water flow (daily average): 19.9 and 23.8 m<sup>3</sup>/t

(\*\*) No corresponding specific waste water flow (daily average) given, as data refer to very low production rate

(\*\*\*) Reported minimum and maximum daily average specific loads: 3.44 kg/t and 24.84 kg/t, respectively

Uwagi: ? = Brak informacji o rodzaju monitoringu

Źródło: Kwestionariusze EIPPCB z 2007/2009 i komentarze Niemiec z lipca 2012 r.

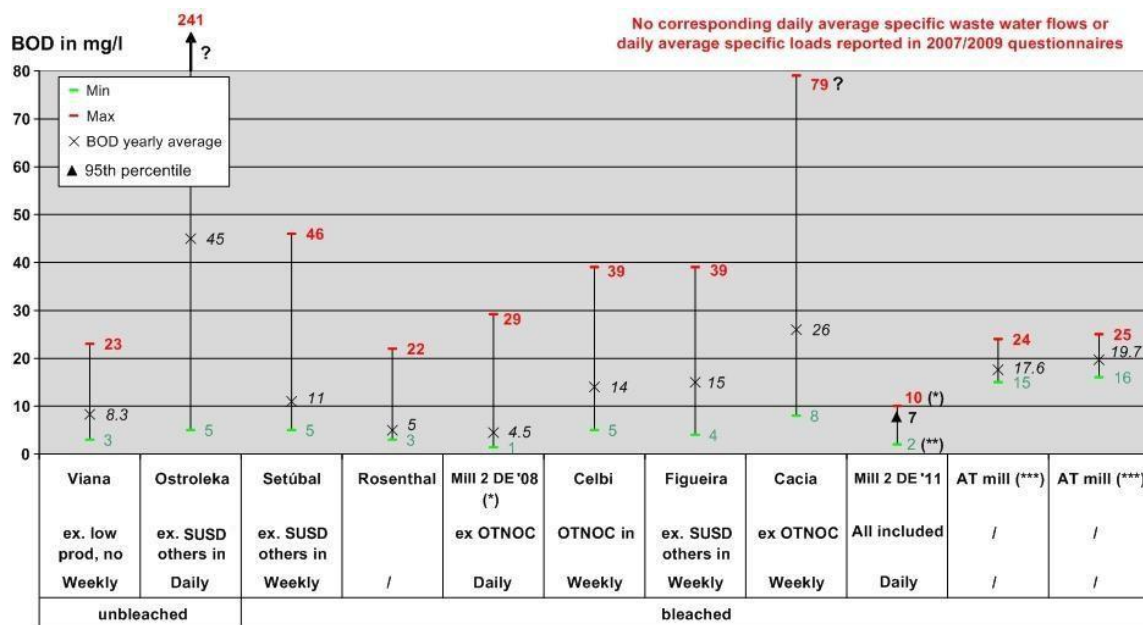
Rysunek 3. 21 Wartości krótkoterminowe emisji ChZT dla celulozowni masy siarczanowej białej i niebielonej

COD in mg/l	COD w mg/l
No corresponding daily average specific waste water flows or daily average specific loads reported in 2007/2009 questionnaires	Brak odpowiednich średnich dziennych właściwych przepływów ścieków i średnich dobowych ładunków podanych w kwestionariuszach z lat 2007/2009
Min	Min
Max	Maks.
Average	Średnio
95th percentile	95 percentyl
Viana ex. low prod, Daily	Viana ex. niska prod, Dziennie
Ostroleka ex. SUSD others in; Daily	Ostroleka ex. SUSD inne w; Dziennie
ex. SUSD others in; Daily	ex. SUSD inne w; Dziennie
Rosenthal ?; Daily	Rosenthal ?; Dziennie
Mill 2 DE '08 ex OTNOC; Daily	Mill 2 DE '08 ex OTNOC; Dziennie
Celbi OTNOC in; Daily	Celbi OTNOC w; Dziennie
Figueira ex. SUSD others in; Daily/weekly	Figueira ex. SUSD inne w; Dziennie/tygodniowo
Cacia ex OTNOC; Daily/weekly	Cacia ex OTNOC; Dziennie/tygodniowo
Mill 2 DE '11 (***) All included; Daily	Mill 2 DE '11 (***) Wszystko; Dziennie
unbleached	niebielona
bleached	bielona
(*) Corresponding specific waste water flow (daily average): 19.9 and 23.8 m <sup>3</sup> /t	(*) Odpowiedni przepływ właściwych ścieków (średnia dobowo): 19.9 i 23.8 m <sup>3</sup> /t
(**) No corresponding specific waste water flow (daily average) given, as data refer to very low production rate	(**) Brak odpowiednich właściwych przepływów ścieków (średnich dobowych); dane dotyczą bardzo niskiego współczynnika produkcji
(***) Reported minimum and maximum daily average specific loads: 3.44 kg/t and 24.84 kg/t, respectively	(***) Minimalne i maksymalne średnie dobowe ładunków: odpowiednio 3.44 kg/t i 24.84 kg/t
NB: ? = No information on type of monitoring	Uwagi: ? = Brak informacji o rodzaju monitoringu

Source: EIPPCB questionnaires from 2007/2009 and comments from Germany in July 2012

Źródło: Kwestionariusze EIPPCB z 2007/2009 i komentarze Niemiec z lipca 2012 r.

W odniesieniu do emisji BZT, wskazane wartości krótkoterminowe (Źródło: kwestionariusze EIPPCB z 2007/2009) przedstawiono na Rysunku 3.22.



(\*) No corresponding specific waste water flow (daily average) given, as data refer to very low production rate

(\*\*) Corresponding specific waste water flow (daily average): 23.5 m<sup>3</sup>/t

(\*\*\*) Data provided during final meeting, values for January and February 2009 (average is monthly average)

Źródło: Kwestionariusze EIPPCB z 2007/2009 i komentarze Niemiec z lipca 2012 r.

Rysunek 3.22 Wartości krótkoterminowe emisji BZT dla celulozowni masy siarczanowej białej i niebiałej

BOD in mg/l	BZT w mg/l
No corresponding daily average specific waste water flows or daily average specific loads reported in 2007/2009 questionnaires	Brak odpowiednich średnich dziennych właściwych przepływów ścieków i średnich dobowych ładunków podanych w kwestionariuszach z lat 2007/2009
Min	Min
Max	Maks.
BOD yearly average 95th percentile	BZT średnia roczna 95 percentyl
Viana ex. low prod, no Weekly	Viana ex. niska prod, brak Tygodniowo
Ostrołęka ex. SUSD others in Daily	Ostrołęka ex. SUSD inne w Dziennie
ex. SUSD others in Weekly	ex. SUSD inne w Tygodniowo
Rosenthal	Rosenthal
Mill 2 DE'08 (*) ex OTNOC Daily	Mill 2 DE'08 (*) ex OTNOC Dziennie
Celbi OTNOC in; Weekly	Celbi OTNOC w; Tygodniowo
Figueira ex. SUSD others in; Weekly	Figueira ex. SUSD inne w; Tygodniowo
Cacia ex OTNOC Weekly	Cacia ex OTNOC Tygodniowo
Mill 2 DE '11 All included; Daily	Mill 2 DE '11 Wszystko; Dziennie
AT mill (***)	AT mill (***)
AT mill (***)	AT mill (***)
(*) No corresponding specific waste	(*) Brak odpowiednich właściwych

water flow (daily average) given, as data refer to very low production rate (**) Corresponding specific waste water flow (daily average): 23.5 m <sup>3</sup> /t	przepływów ścieków (średnich dobowych); dane dotyczą bardzo niskiego współczynnika produkcji (**) Odpowiednie przepływy ścieków (średnia dobowo): 23.5 m <sup>3</sup> /t
(***) Data provided during final meeting , values for January and February 2009 (average is monthly average)	(***) Dane przedstawione podczas ostatniego spotkania, wartości za styczeń i luty 2009 r. (średnia to średnia miesięczna)
Source: EIPPCB questionnaires from 2007/2009 and comments from Germany in July 2012	Źródło: Kwestionariusze EIPPCB z 2007/2009 i komentarze Niemiec z lipca 2012 r.

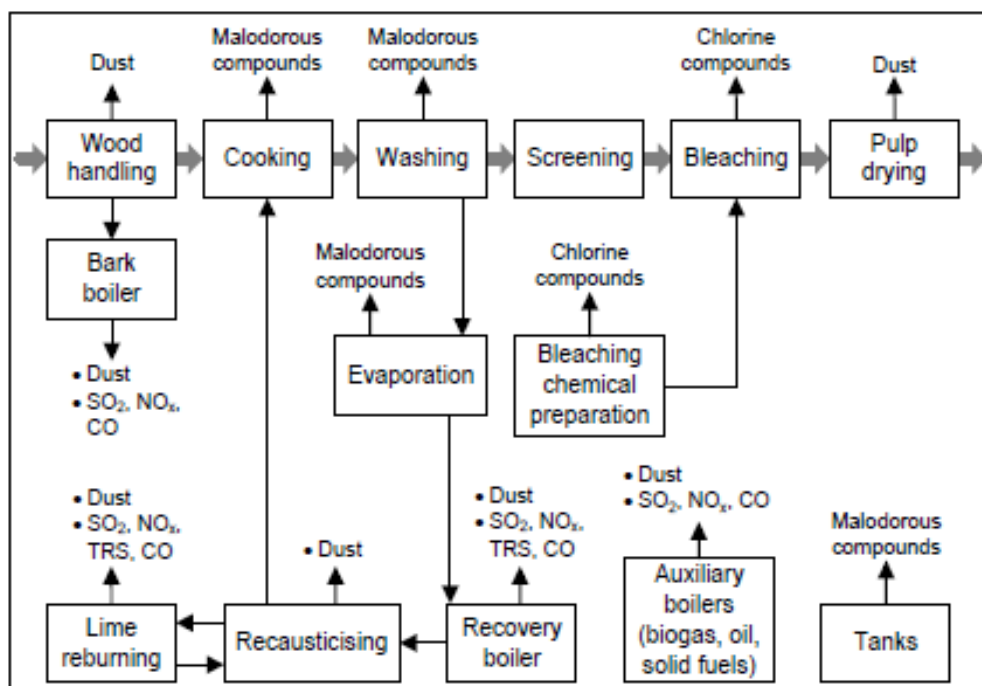
Średnioroczne emisje do wody po oczyszczeniu biologicznym na podstawie dostarczonych danych z celulozowni siarczanowych w UE przedstawiono w tabeli 3.11.

Tabela 3. 11 Średnie roczne zrzuty z celulozowni masy siarczanowej w UE

Proces	Przepływ yw (m <sup>3</sup> /ADt)	ChZT (kg/ADt)	AOX (kg/ADt)	TSS (kg/ADt)	N-og (kg/ADt)	P-og (g/ADt)
niebielona	14 – 82	1.2 – 23	Brak	0.1 – 3.25	0 – 1.02	3 – 50
bielona	18.5 – 94	5 – 42	0 – 0.3	0.015 – 7	0.01 – 0.63	3 – 110
Uwagi: Brak Źródło: Kwestionariusz EIPPCB z 2007/2009						

### 3.2.2.6 Emisje do atmosfery

Przeгляд emisji do atmosfery z celulozowni siarczanowej pokazano na rysunku 3.23.



Rysunek 3. 23 Emisje do wody z celulozowni siarczanowych

Dust	Pyły
Malodorous compounds	Związki złownone
Chlorine compounds	Związki chloru
Dust	Pyły
Wood handling	Obróbka drewna
Cooking	Warzelnia
Washing	Mycie
Screening	Sortowanie
Bleaching	Bielenie
Pulp drying	Suszenie masy
Bark boiler	Kocioł korowy
Malodorous compounds	Związki złownone
Chlorine compounds	Związki chloru
Dust	Pyły
Evaporation	Wyparki
Bleaching chemical preparation	Przygotowanie chemikaliów bielących
Lime reburning	Wypalanie wapna
Recausticising	Kaustyzacja
Recovery boiler	Kocioł regeneracyjny
Auxiliary boilers (biogas, oil, solid fuels)	Kotły pomocnicze (biogaz, olej, paliwa stałe)
Tanks	Zbiorniki
Malodorous compounds	Związki złownone

Emisje do atmosfery z celulozowni siarczanowej pochodzą z zasobnika zrębków, warnika, mycia masy, instalacji bielenia, wytwarzania chemikaliów bielących, regeneracji chemikaliów, wyparki, kotła korowego lub kotłów pomocniczych, kotła regeneracyjnego, przygotowywania ługu białego, pieca wapiennego, zbiorników i procesu suszenia masy (dotyczy tylko masy towarowej). Składają się głównie ze związków zawierających siarkę, takich jak dwutlenek siarki oraz ze złownonych związków siarki zredukowanej, jak merkaptan metylowy, siarczki dimetylu i siarkowodór. Te ostatnie związki są powszechnie określane jako całkowita siarka zredukowana

(TRS). Z kotłów (pieców) są również emitowane tlenki azotu, pył i tlenek węgla. Z instalacji bielienia i instalacji produkcji chemikaliów bielących mogą ulatniać się do atmosfery związki chloru. Lotne związki organiczne (VOC), głównie terpeny, są emitowane do atmosfery ze zrębków drzewnych magazynowanych w hałdach na otwartym terenie. Emisje LZO ze stosów zrębków zmieniają się w zależności, m.in. od czasu magazynowania zrębków, temperatury i gatunków drewna. W kolejnych paragrafach przedyskutowano bardziej szczegółowo główne źródła emisji do powietrza.

#### **3.2.2.6.1 Emisje do powietrza z kotła regeneracyjnego**

Kocioł regeneracyjny jest głównym źródłem emisji do atmosfery w celulozowni siarczanowej. Emisje te są głównie reprezentowane przez tlenki azotu, pył (głównie siarczan sodu i węglan sodu), tlenek węgla, dwutlenek siarki i niewielkie stężenia związków złoonych (siarkowodór).

Kocioł regeneracyjny jest zasilany zagęszczonym ługiem czarnym, produktem ubocznym procesu roztwarzania siarczanowego, który zawiera wartościowe chemikalia warzelne (Na i S). Tabela 3.12 przedstawia analizę elementarną ługu czarnego w dwóch przykładowych celulozowniach [212 T.Tamminen, et al. 2002].



Tabela 3. 12 Analiza elementarna ługów czarnych drewna iglastego z dwóch fińskich celulozowni siarczanowych

Parametr	Kocioł A	Kocioł B
Sucha masa %	71.0	79.0
<b>Analiza elementarna suchej masy</b>		
C %	31.8	31.0
H %	3.3	3.1
N %	0.067	0.056
Na %	20.8	20.6
K %	2.4	2.8
S %	6.1	6.3
Cl %	0.4	0.2
Kalorymetryczne HHV	12.65	12.67

Głównym zadaniem kotła regeneracyjnego jest odzyskanie cennych chemikaliów powarzelnych i wyprodukowanie energii z pozostałości organicznych w ługu czarnym. Zużyte chemikalia warzelne są odzyskiwane w postaci nieorganicznego stopu. Obecnie (2013), w wielu celulozowniach siarczanowych zawartość chemikaliów nieorganicznych w suchej substancji ługu czarnego wynosi 45–50%. Około jedna trzecia suchej substancji ługu czarnego składa się z rozpuszczonych substancji organicznych. Po odparowaniu, ług czarny (stężony ług) ma zawartość suchych substancji stałych około 70–85% (70–75% dla masy celulozowej z eukaliptusa). Celem odparowania jest osiągnięcie wysokiej zawartości suchej substancji (SS) w stężonym ługu czarnym dostarczonym do kotła regeneracyjnego w celu wytworzenia większej ilości pary.

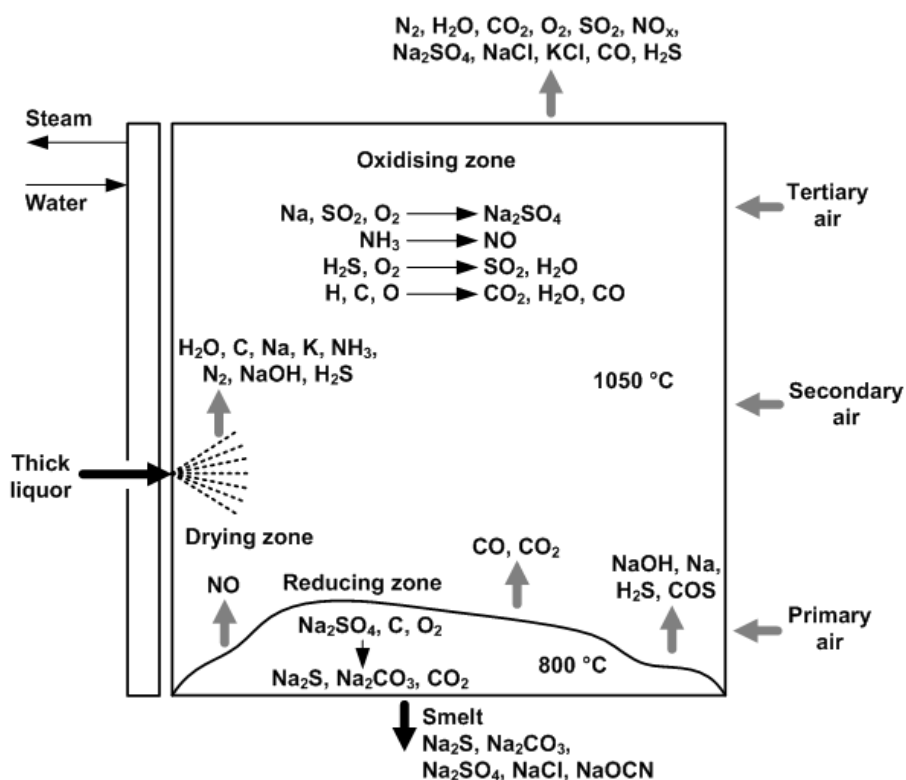
Typowe emisje do powietrza z kotłów regeneracyjnych podano w tabeli 3.13. W zależności od nadmiaru tlenu/powietrza i rozpuszczonej SS/ADt, przepływ gazu wynosi zwykle około 6 000–9 000 m<sup>3</sup> suchych gazów w warunkach normalnych na t masy, podczas gdy produkcja pary zawiera się pomiędzy 13 a 18 GJ/t masy.

Tabela 3. 13 Średni roczny zakres emisji z kotłów regeneracyjnych i zakres wartości stężeń emisji

<b>Dwutlenek siarki (jako S)</b>		
Zmienna zawartość s.s. w ługu czarnym, ze skruberm i bez skrubera	1 – 100 <0.002 – 0.65	mg/Nm <sup>3</sup> kg/ADt
<b>Siarkowódor lub całkowita siarka zredukowana (TRS jako S)</b>		
Średnia roczna (TRS jako S)	0 – 50	mg/Nm <sup>3</sup>
Średnia roczna (TRS jako S)	0.0007 – 0.4	kg/ADt
Chwilowo	Wyższe	
<b>Tlenki azotu (jako NO<sub>2</sub>)</b>		
Tylko podstawowe środki	120 – 250 0.73 – 2.0	mg/Nm <sup>3</sup> kg/ADt
<b>Cząstki stałe</b>		
Po elektrofiltrze	5 – 190 0.02 – 1.6	mg/Nm <sup>3</sup> kg/ADt
Źródło: Kwestionariusz EIPPCB z lutego 2011 r. [ 33, COM 2011 ]; dla poziomów stężenia: standartowa referencyjna zawartości O <sub>2</sub> – 6%.		

W celu wyjaśnienia złożoności problemów związanych z zapobieganiem zanieczyszczeniu z tej instalacji dalej omawiane są główne zasady i zmienne procesowe wpływające na emisje z kotła regeneracyjnego.

Rysunek 3.24 poniżej pokazuje niektóre zasadnicze reakcje nieorganiczne w kotle regeneracyjnym oraz, w którym miejscu kotła reakcje te zachodzą. W konwencjonalnym kotle regeneracyjnym znajduje się strefa utleniająca w górnej części i strefa redukująca w części dolnej. Stężony ług czarny jest wprowadzany poprzez jedną lub kilka dysz do strefy redukcyjnej. Powietrze do spalania jest najczęściej dostarczane na trzy różne poziomy – jako powietrze pierwsze, drugie i trzecie (licząc od dołu). Nowoczesne kotły mają więcej niż trzy poziomy (powietrze czwarte). Wskazują również właściwą temperaturę.



Źródło: [ 127, Sprawozdanie SEPA 1992, zmienione przez EIPPCB ]

Rysunek 3. 24 Podstawowe reakcje chemiczne w kotle regeneracyjnym

Steam	Para
Water	Woda
Oxidising zone	Strefa utleniająca
Tertiary air	Powietrze trzeciorzędowe
Thick liquor	Ług gęsty
Secondary air	Powietrze wtórne
Drying zone	Strefa suszenia
NO	NO
Reducing zone	Strefa redukcyjna
Primary air	Powietrze pierwotne
Smelt	Stop
Source: [ 127, SEPA report 1992, changed by EIPPCB ]	Źródło: [ 127, Sprawozdanie SEPA 1992, zmienione przez EIPPCB ]

Większość pyłu (90–95%) w spalinach powstaje z kropli ługu czarnego z rozpylaczy i tylko 5% jest uwalniane z powierzchni złoża karbonizatu [ 212, T.Tamminen, et al. 2002 ]. W dolnej części kotła formuje się stop zawierający głównie siarczek sodu ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) i węgiel sodu ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). Kiedy związki siarki zawarte w stopie redukują się do siarczku, powstają również pewne ilości siarkowodoru. Jeżeli doprowadzenie powietrza do kotła jest niewystarczające lub mieszanie powietrza wewnątrz kotła jest niekompletne, to niewielkie ilości siarkowodoru mogą ulatywać z gazami spalinowymi. Konsekwencją zakłóceń spowodowanych spadaniem do stopu osadów suchej substancji ze ścian kotła mogą być chwilowe wysokie emisje siarkowodoru ze stopu. W strefie utleniającej kotła siarka jest utleniana do dwutlenku siarki, a sód w fazie gazowej reaguje z dwutlenkiem siarki tworząc siarczan sodowy. Wyższa zawartość suchej substancji prowadzi do wysokiej temperatury w kotle, a zatem niższej emisji siarkowodoru i wyższej emisji sodu. Wyższa emisja sodu oznacza, że więcej siarki jest związanej jako siarczan sodu i w ten sposób emisja dwutlenku siarki ulega obniżeniu.

### Emisje $\text{SO}_2$

Emisje  $\text{SO}_2$  powstają głównie przez utlenianie  $\text{H}_2\text{S}$  i siarczku karbonyłu ( $\text{COS}$ ) w dolnej części

pieca. Źródłem gazowych związków siarki jest paliwo, czyli węgiel czarny (zob. Tabela 3.12) i siarka z dodatkowych spalanych strumieni takich jak NCG i olej. Na ogół, na emisję siarki z kotła regeneracyjnego wpływ ma temperatura w różnych strefach, na którą z kolei ma wpływ zawartość substancji stałych (wartość opałowa) stężonego węgla czarnego, stosunek siarki do sodu ( $S/Na_2$ ) w węglu, dopływ (ilość nadmiaru powietrza i temperatura powietrza pierwotnego) i dystrybucja powietrza do spalania, dystrybucja węgla czarnego w strefie kotła i ładunek w piecu.

W celu obniżenia emisji  $SO_2$  z kotła regeneracyjnego, niektóre instalacje zostały wyposażone w skrubler gazów odlotowych pracujący przy pH 6-7. Regulacja pH następuje przez dodanie wodorotlenku sodu (NaOH), węgla słabego lub utlenionego węgla białego do roztworu myjącego skrubera. Przy wyższym pH następowałoby usuwanie siarkowodoru, ale jednocześnie absorbowałby się dwutlenek węgla, który szybko neutralizowałby alkalia. Nadmiar roztworu ze skrubera jest zwracany do procesu, zazwyczaj do przygotowania węgla białego.

### Emisje całkowitej siarki zredukowanej (TRS)

Na emisje całkowitej siarki zredukowanej (TRS) z kotła regeneracyjnego mają wpływ zawartość suchej substancji, obciążenie w piecu i związana z tym temperatura pieca, oraz rozkład powietrza, który wpływa na właściwości chemiczne siarki.

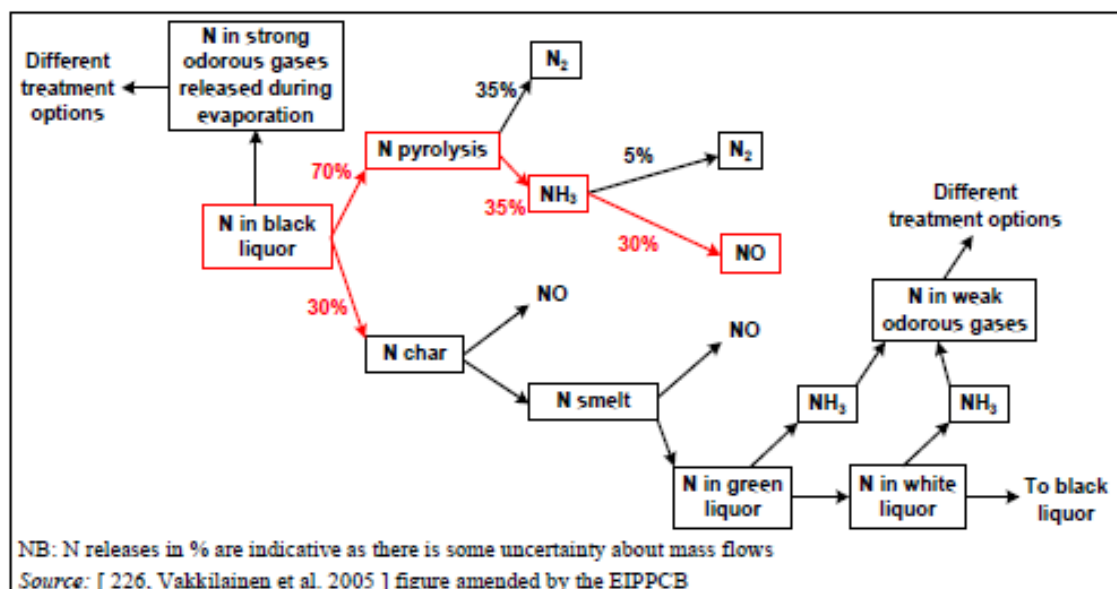
Emisje TRS z kotłów regeneracyjnych są bardzo niskie lub nie występują w ogóle (w przypadku kotłów o bardzo wysokiej zawartości suchej masy), gdy kocioł pracuje w stanie ustalonym. Jednak zwykle w ciągu roku występują okresy wzrostu emisji.

### Powstawanie $NO_x$ i emisje $NO_x$

Emisje tlenków azotu ( $NO_x$ ) z celulozowni zawierają głównie tlenek azotu (NO). W powietrzu, NO reaguje tworząc dwutlenek azotu ( $NO_2$ ). Emisje  $NO_x$  z kotła regeneracyjnego odpowiadają 65–85% całkowitych emisji z celulozowni siarczanowych. Na ogół, między instalacjami widać duże różnice w emisjach  $NO_x$  ( $\Delta \sim 1,0 \text{ kgNO}_2/\text{ADt}$ ), patrz także rysunek 3.60 i rysunek 3.61.

Główną przyczyną emisji  $NO_x$  jest azot w węglu czarnym i warunki spalania, które odpowiadają za różnice w obserwowanych emisjach. Drewno zawiera 0,05–0,15% mas. azotu [ 226, Vakkilainen et al. 2005 ]. Niektóre z podstawowych form azotu w węglu czarnym to pyrole, pirydyny i aminokwasy. Różne gatunki drewna zawierają azot w różnych postaciach. Podczas roztwarzania siarczanowego większość azotu przechodzi do węgla czarnego. Wydaje się, że rozpad związków zawierających azot zachodzi z łatwością podczas pierwszych etapów roztwarzania. Bardzo mało azotu wychodzi wraz z masą celulozową. Amoniak i inne lotne produkty kondensacji w węglu czarnym w znacznym stopniu odparowują w czasie odparowywania, i przechodzą w metanol i gazy niekondensujące (NCG).

Rysunek 3.25 pokazuje ścieżki reakcji azotu z węglu czarnego, kiedy wchodzi do kotła regeneracyjnego. Jak pokazano, około dwóch trzecich azotu z węgla czarnego jest uwalnianych do atmosfery i tworzy pośredni amoniak lub  $N_2$ . Reszta opuszcza piec regeneracyjny ze stopem, prawdopodobnie jako cyjanku sodu (NaOCN).



Rysunek 3. 25 Uprozczone ścieżki reakcji azotu z ługu czarnego

Different treatment options	Różne możliwości oczyszczania
N in strong odorous gases released during evaporation	N w silnych gazach złownych uwalnianych podczas odparowywania
N in black liquor	N w ługu czarnym
N pyrolysis	piroliza N
Different treatment options	Różne możliwości oczyszczania
N in weak odorous gases	N w słabych gazach złownych
N char	N karbonizatu
N smelt	N w stopie
N in green liquor	N w ługu zielonym
NO	NO
N in white liquor	N w ługu białym
To black liquor	Do ługu czarnego
NB: N releases in % are indicative as there is some uncertainty about mass flows	Uwagi: N w % podany orientacyjne, ponieważ nie ma pewności co do przepływów masowych
Source: [ 226, Vakkilainen et al. 2005 ] figure amended by the EIPPCB	Źródło: [ 226, Vakkilainen et al. 2005 ] dane zaktualizowane przez EIPPCB

Poprawione wartości konwersji zostały zmierzone w warunkach laboratoryjnych. Wartość N przekształconego w NO wahała się między 15% i 30% dla łuğu czarnego (mniej niż w porównaniu do proporcji przedstawionych na rysunku 3.25; przykład ilustruje górny koniec zakresu, gdzie około 30% azotu w łuğu czarnym utlenia się do NO<sub>x</sub>) z różnych gatunków drewna, rodzaju warzenia i stężeń substancji stałych. Od 50% do 70% zostało przekształconych w N<sub>2</sub>, a około 20% przeszło do stopu. Tak więc większość NO tworzy się podczas pirolizy kropel łuğu rozpylanych w piecu za pomocą dysz.

Tworzenie się NO w karbonizacie jest mniej istotne, a ta część azotu zazwyczaj przechodzi do stopu (N stopu). Azot cyjanianu w stopie przechodzi do łuğu zielonego przez zbiornik do rozpuszczania wraz z innymi solami stopu. W łuğu zielonym, hydroliza alkaliczna stopniowo przekształca azot cyjanianowy w amoniak [ 225, Hupa 2005 ]. Amoniak z zielonego łuğu i białego łuğu częściowo odparowuje w rozcieńczone gazy złowonne. Część amoniaku jest zawracana jako część białego łuğu z powrotem do łuğu warzelnego, z którego jest oddzielana w wyparce. Stamtąd przechodzi w stężone gazy złowonne i w metanol.

Całkowite emisje związków azotu z celulozowni zależą zatem od kontroli emisji NO<sub>x</sub> z kotła regeneracyjnego, a także od tego jak przepływy amoniaku powstające w cyklu odzyskiwania chemikaliów w stopie są oczyszczane (zbieranie i oczyszczanie silnych i słabych gazów złowonnych oraz metanolu).

Azot wprowadzany jest do instalacji przede wszystkim z wiórami drzewnymi. Innymi źródłami azotu są środki przeciwpieniące, środki przeciw tworzeniu kamienia kotłowego, środki chelatujące, itp. Gdy zawartość azotu w łuğu czarnym ma istotny wpływ na powstawanie NO<sub>2</sub>, dostawcy dają gwarancję na działanie kotła regeneracyjnego w zależności od zawartości N w łuğu czarnym. Poniższy przykład obrazuje taką sytuację. Szwedzka instalacja bielonej towarowej masy celulozowej z drewna iglastego uruchomiła nowy kocioł regeneracyjny z pionowym układem doprowadzania powietrza w 2006 roku. Dostawca podał następujące wartości gwarantowane NO<sub>x</sub>, które odnoszą się do 3% zawartości O<sub>2</sub> w zależności od zawartości N w łuğu czarnym:

- 0,07% azotu w łuğu czarnym: 50 ppm lub 105 mg NO<sub>2</sub>/Nm<sup>3</sup>
- 0,11% azotu w łuğu czarnym: 85 ppm lub 178 mg NO<sub>2</sub>/Nm<sup>3</sup>.

Aby kompleksowo ocenić całkowitą emisję NO<sub>x</sub> z instalacji, należy wziąć pod uwagę zawartość N w różnych paliwach (łuğu czarny, silne i słabe gazy złowonne, metanol, terpentyna, mydło), ponieważ część azotu w łuğu czarnym jest przenoszona podczas przerobu do tych strumieni, a następnie, w niektórych przypadkach, może być zawracana do kotła regeneracyjnego albo spalana w piecu wapiennym lub oddzielnym piecu do spalania silnych gazów.

Należy jednak mieć na uwadze, że różnice między zawartością azotu w drewnie surowcowym stanowią około 90% całkowitego wsadu azotu w procesach spalania w celulozowni siarczanowej, a wpływ różnic między instalacjami w odniesieniu do wewnętrznego obiegu gazów złowonnych (lub metanolu) stanowi tylko około 10% wszystkich związków azotowych prowadzonych do głównych jednostek procesowych (kotłów regeneracyjnych, pieców wapiennych, palników TRS). Dostarczone dane świadczą o tym, że zasadniczo można uniknąć wzrostu NO z kotła regeneracyjnego, jeżeli gazy złowonne wtryskuje się w prawidłowy sposób i we właściwym miejscu w piecu kotła [ 225, Hupa 2005 ].

Znaczenie ma także to, ile materiału organicznego zawierającego N jest spalane w kotle regeneracyjnym na tonę masy. Niebielona masa i gatunki drzewa, które mogą być roztwarzane i bielone z nieco większą wydajnością (np. masa eukaliptusowa) generują mniej materiałów organicznych do spalania w kotle regeneracyjnym i w związku z tym mogą osiągać niższe wartości NO<sub>x</sub>. Te aspekty należy wziąć pod uwagę przy porównywaniu konkretnych wartości emisji NO<sub>x</sub> między instalacjami.

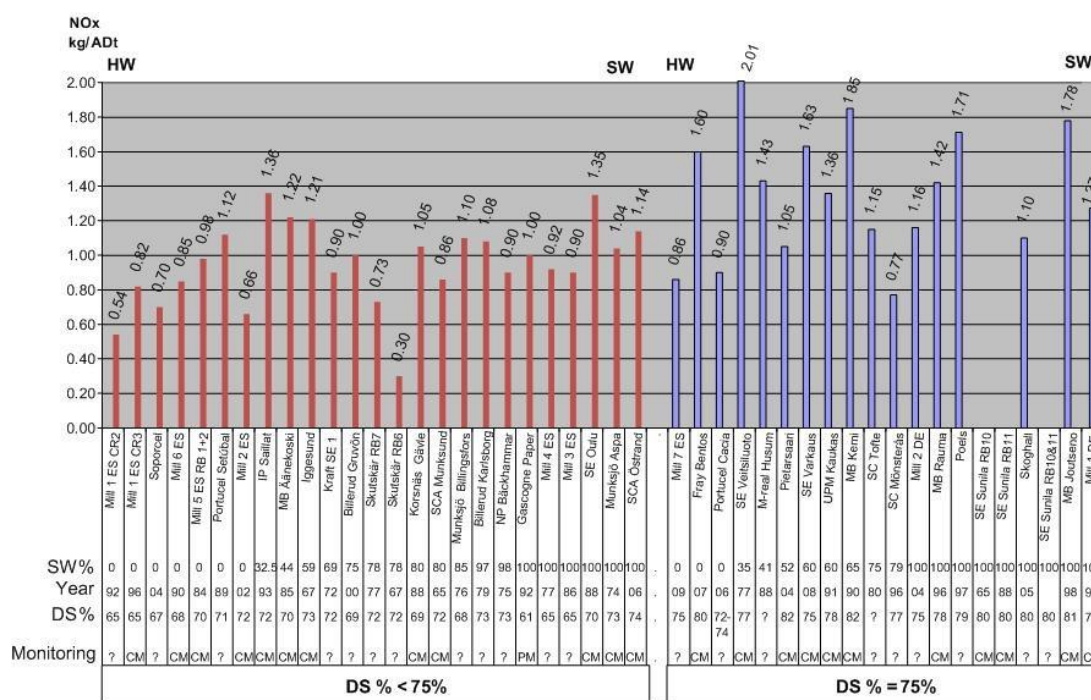
Badania wykazały [ 207, T.Tamminen, et al. 2002 ] zależność liniową między powstawaniem emisji NO<sub>x</sub> i wsadem azotu w suchej masie łuğu czarnego (BLS).

Tak więc obciążenie kotła ma również wpływ na poziom emisji NO<sub>x</sub>. Konwersja azotu z czarnego ługu do NO<sub>x</sub> w spalinach wynosi 25–30% całkowitej zawartości azotu w BLS. Wynik ten jest zgodny z innym ustaleniem, że całkowita ilość powstającego NO odpowiada około jednej trzeciej azotu z czarnego ługu (reguła).

NO<sub>x</sub> termiczny stanowi niewielką część emisji NO<sub>x</sub> generowanych w kotle regeneracyjnym, ponieważ temperatury w piecu regeneracyjnym są zbyt niskie, żeby powstała znaczna ilość termicznego NO<sub>x</sub>. Powstawanie NO<sub>x</sub> na MJ wsadu ługu czarnego jest na ogół niskie ze względu na stosunkowo niskie stężenie tlenu potrzebne do efektywnego odzyskiwania chemikaliów.

Redukcję NO<sub>x</sub> można normalnie osiągnąć przez modyfikację układu zasilania powietrzem i optymalizację warunków spalania (dystrybucje powietrza, nadmiar O<sub>2</sub>, dodatkowe czujniki powietrza, patrz pkt 3.3.18).

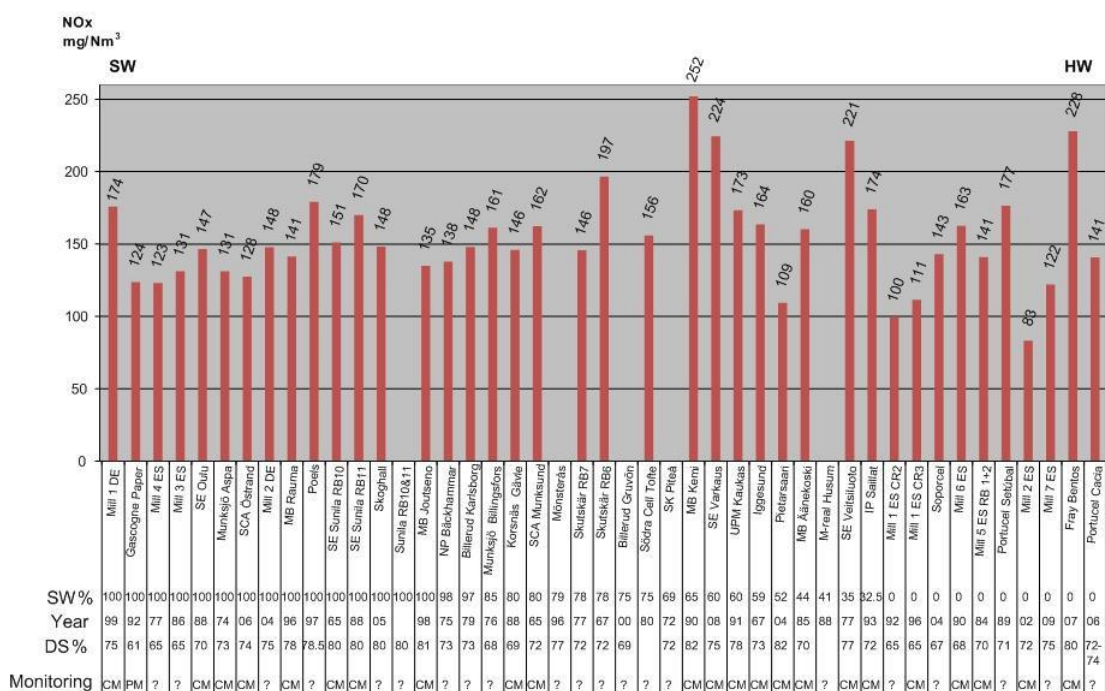
Średnioroczne emisje (ładunki i stężenia) przedstawiono na rysunku 3.26 i rysunku 3.27.



Uwagi: CM = ciągły monitoring; PM = okresowy monitoring; ? = Brak informacji o rodzaju monitoringu

Rysunek 3. 26 Ładunki NOX z kotłów regeneracyjnych celulozowni siarczanowych

NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>
kg/ADt	kg/ADt
HW	HW
SW	SW
sw%	% masy
Year	Rok
DS%	DS%
Monitoring	Monitoring
CM	CM
PM	PM
DS % <75%	DS % <75%
DS % =75%	DS % =75%
NB: CM = Continuous monitoring;	Uwagi: CM = stały monitoring;
PM = Periodic monitoring;	PM = okresowy monitoring;
? = No information on type of monitoring	? = Brak informacji o rodzaju monitoringu



Uwagi: CM = ciągły monitoring; PM = okresowy monitoring; ? = Brak informacji o rodzaju monitoringu

Rysunek 3. 27 Stężenia NOx z kotłów regeneracyjnych w celulozowniach siarczanowych

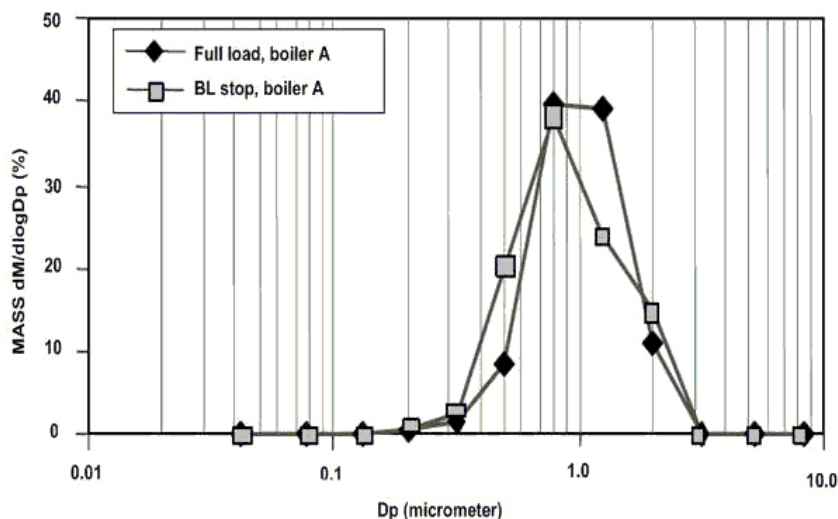
NOx	NOx
mg/Nm <sup>3</sup>	mg/Nm <sup>3</sup>
SW	SW
HW	HW
sw%	% masy
Year	Rok
DS%	DS%
Monitoring	Monitoring
CM	CM
PM	PM
NB: CM = Continuous monitoring;	Uwagi: CM = stały monitoring;
PM = Periodic monitoring;	PM = okresowy monitoring;
? = No information on type of monitoring	? = Brak informacji o rodzaju monitoringu

### Emisje pyłu

Pyły powstają głównie podczas spalania kropli łągu czarnego, które są wtryskiwane do pieca. Tylko niewielka część oparów (około 5 - 10%) ulatnia się z powierzchni złoża karbonizatu. Im więcej kropli łągu jest wprowadzanych do pieca, tym więcej pyłu powstaje. Przy pełnym obciążeniu, ilość oparów w spalinach może wynieść 6–8% ładunku suchej substancji łągu czarnego (czyli 60–80 g pyłu/kg BLS). Pył przed wejściem spalin do elektrofiltrów stanowią głównie submikronowe opary [ 212, T.Tamminen, et al. 2002 ].

Wyniki analizy składu pyłu wytwarzanego podczas wypalania dwóch łągów czarnych z masy iglastej opisane w tabeli 3.12 pokazują, że około 6–9% wsadu sodowego (Na) i 11–15% wsadu potasowego (K) jest uwalniane w pyłe. Pył składa się głównie z siarczanu sodu (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Stężenie węglanów w pyłe jest zwykle nieznaczne lub poniżej 10% masy. Występują również niskie stężenie potasu i chlorków, które mogą tworzyć chlorek potasu (KCl).

Rysunek 3.28 poniżej pokazuje, że większość pyłu przed ESP to drobny pył, czyli <2.5 µm. „Dp” oznacza średnica cząstek rzędu mikrometrów. Wykres pokazuje również, że wielkość cząstek nie zmienia się gdy zmniejszone zostaje obciążenie kotła. Wskazuje na to wykres „BL stop, Kocioł A”, który pokazuje rozkład wielkości cząstek podczas całkowitego przerwania przepływu łągu czarnego w kotle A. Wykres „pełne obciążenie” przedstawia rozkład wielkości cząstek przy pełnym obciążeniu.



Źródło: [ 210, T.Tamminen, et al. 2002 ]

Rysunek 3. 28 Przykładowy rozkład wielkości cząstek pyłu z kotłów regeneracyjnych mierzony przed elektrofiltrami

MASS dM/dlogDp (%)	MASS dM/dlogDp (%)
Full load, boiler A	Pełne obciążenie, kocioł A
BL stop, boiler A	BL stop, kocioł A
Dp (micrometer)	Dp (mikrometry)
Source: [ 210, T.Tamminen. et al. 2002 ]	Źródło: [ 210, T.Tamminen. et al. 2002 ]

[ 85, P.Mikkanen 2000 ] stwierdził, że 66% cząstek na wyjściu z kotła regeneracyjnego (przed ESP) było mniejszych niż 3 mikrometry, a 34% było większych niż 3  $\mu\text{m}$ . [ 84, T.Lind et al. 2006 ] zmierzył cząstki w dwóch kotłach, gdzie 0–32% pyłu na wylocie ESP było większych niż 4  $\mu\text{m}$ .

Wszystkie kotły regeneracyjne są wyposażone w elektrofiltr usuwający duże ilości pyłu (głównie  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) z gazów spalinowych. Pył zawraca się do pieca przez zmieszanie go z ługiem czarnym. Ponadto, kotły regeneracyjne są często wyposażone w skruber w celu odzyskania siarki i/lub energii cieplnej. Średnia roczna emisja pyłów z kotłów regeneracyjnych waha się od 5 mg pyłu/ $\text{Nm}^3$  do 190 mg pyłu/ $\text{Nm}^3$  (przy 6%  $\text{O}_2$ ). Emisje cząstek można zredukować poprzez zainstalowanie elektrofiltrów, które są zwymiarowane tak, aby uzyskać niski poziom pyłu, przez odpowiednią kontrolę procesu i konserwację elektrofiltrów lub dodatkowe zastosowanie skrubarów.

### Emisje CO

Emisje tlenku węgla (CO) zazwyczaj są spowodowane przez wsad składników organicznych w ługu czarnym. Podczas spalania, są one przekształcane w  $\text{CO}_2$  i w małym stopniu w CO. Emisje CO mogą wynikać z nieodpowiedniego spalania i nieodpowiednich warunków spalania. Stężenie CO i organicznie związanego węgla w gazach wylotowych jest miarą szybkości wypalania paliw. W kotłach regeneracyjnych, stężenia CO wahają się między 10 mg CO/ $\text{Nm}^3$  i 100 mg CO/ $\text{Nm}^3$  jako średnie wartości roczne, a kilka instalacji odnotowało wyższe wartości. Wiele instalacji pracy kotła odzyskiwania z od 3% do 6% zawartości tlenu.

Wyższe wartości CO obserwowano gdy poziom tlenu do spalania utrzymywano na niskim poziomie (na przykład 1,5%  $\text{O}_2$ ), w celu dalszej redukcji emisji  $\text{NO}_x$ . Niski poziom tlenu zazwyczaj zbiega się z lekkim spadkiem emisji  $\text{NO}_x$  i wzrostem emisji CO. Jednak wysoki poziom CO może stanowić zagrożenie i może również powodować korozję ścian pieca. Konieczne jest precyzyjne kierowanie procesem, aby osiągnąć optymalny bilans emisji CO i  $\text{NO}_x$ .

### Inne parametry

Oprócz głównych emisji, inne parametry również mogą nas interesować. Jednak pomiary



wykazały, że emisje metali do atmosfery są bardzo niskie. HCl i HF również są bardzo niskie lub ich brak. Jedynym problemem może być poziom CWO (całkowity węgiel organiczny). Gazy odlotowe z kotła regeneracyjnego często zawierają związki organiczne [226, Vakkilainen et al. 2005]. Emisje CWO wynoszą około  $\sim 20 \text{ mg/Nm}^3$ .

### 3.2.2.6.2 Emisje do powietrza z pieca wapiennego

W procesie wypalania wapna węgiel wapnia powstały podczas procesu kaustykacji (patrz rysunek 3.3) jest termicznie przetwarzany w tlenek wapnia zgodnie z równaniem reakcji  $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ . Reakcja zachodzi w piecu obrotowym, gdzie mokry szlam wapienny jest suszony, ogrzewany do temperatury reakcji, kalcynowany i ponownie chłodzony. Reakcja kalcynacji rozpoczyna się przy  $800 \text{ }^\circ\text{C}$ , a dla jej zakończenia wymagane są temperatury do  $1000\text{--}1100 \text{ }^\circ\text{C}$  w gorącym końcu pieca. Chłodzenie następuje za pomocą powietrza w wymiennikach ciepła. Przepływ gazów w piecu wapiennym wynosi około  $1000 \text{ Nm}^3/\text{t}$  masy (suchy gaz), a zużyta energia około  $1,5\text{--}1,8 \text{ GJ/t}$  masy, jeżeli w tej liczbie uwzględniono zakupione wapno palone.

Najważniejsze emisje z pieca wapiennego do powietrza, to dwutlenek siarki, tlenki azotu, związki siarki zredukowanej (TRS), tlenek węgla (CO) i cząstki stałe. Emisję lotnych związków organicznych (VOC) również mają znaczenie w niektórych miejscach. Poszczególne emisje i stężenia (przy  $6\% \text{ O}_2$ ) dla dwutlenku siarki, całkowitej siarki zredukowanej, tlenków azotu (jako  $\text{NO}_2$ ) i pyłu, przedstawiono na rys. 3.72 i 3.73 (dla  $\text{SO}_2$  i TRS), rys. 3.76 i rys. 3.77 (dla  $\text{NO}_x$  jako  $\text{NO}_2$ ), rys. 3.80 i rys. 3.81 (dla pyłu).

### Emisje $\text{SO}_2$

$\text{SO}_2$  powstaje podczas spalania paliwa w piecu gdy paliwo zawiera związki siarki. Rola siarki wchodzącej do pieca wapiennego ze szlamem wapiennym jest w tym względzie marginalna.

Emisje  $\text{SO}_2$  są znacznie wyższe, gdy gazy niekondensujące i/lub metanol są spalane w piecu bez skrubera.

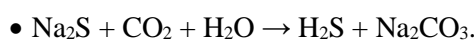
Dla minimalizacji tworzenia się  $\text{SO}_2$  można obniżyć zawartość siarki w paliwie lub, jeżeli złowonne, niekondensujące gazy (NCG) mają być spalane w piecu wapiennym, można usuwać z nich związki siarki przed wprowadzeniem do pieca za pomocą natryskiwania w skruberze. Typowe całkowite emisje S z pieca wapiennego wynoszą od dziesięciu do kilkuset  $\text{mg/Nm}^3$  jeżeli gazy NCG są spalane i  $10\text{--}30$  jeżeli nie są spalane.

Skruber alkaliczny w jednym lub dwóch etapach mycia może usunąć  $\text{SO}_2$  z gazów spalinowych pieców wapiennych. Poziom przychodzącego  $\text{SO}_2$  określa liczbę dysz zraszających w skruberze oraz wsad alkaliczny.

### Emisje całkowitej siarki zredukowanej (TRS)

Gazy spalinowe z pieców wapiennych mogą zawierać niewielkie ilości siarkowodoru ze względu na niekompletne mycie szlamu wapiennego. Niektóre celulozownie spalają w piecach wapiennych także zgromadzone gazy złowonne. Jeżeli palnik został prawidłowo zaprojektowany i spalanie jest prawidłowo kontrolowane, to nie zwiększa to emisji TRS z pieca. Emisje TRS z pieca wapiennego zawierają głównie siarkowodor. Obserwowane stężenia  $\text{H}_2\text{S}$  wynoszą zwykle od 0 do  $40 \text{ mg/Nm}^3$ .

Emisje TRS powstają w dwóch źródłach: gdy paliwo zawiera siarkę i nie ma wystarczająco dużo powietrza potrzebnego do całkowitego spalania, powstają tlenek węgla i siarczek wodoru, które przechodzą do gazów spalinowych. Głównym źródłem  $\text{H}_2\text{S}$  jest siarczek sodu ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) pozostały w szlamie wapiennym i doprowadzony do pieca. Jeżeli  $\text{Na}_2\text{S}$  zostanie wprowadzony do zimnej strefy suszenia i podgrzewania pieca, to w obecności  $\text{CO}_2$  i wody tworzy się  $\text{H}_2\text{S}$  zgodnie z równaniem reakcji:



Powstawanie  $\text{H}_2\text{S}$  w piecu wapiennym można kontrolować dostosowując poziom tlenu i ilość siarczku sodu w szlamie spalonym w piecu. Obecność wystarczającego nadmiaru powietrza można zapewnić przez układ sterowania tlenu resztkowego. Zawartość siarczku sodu może być kontrolowana przez właściwą obsługę mycia wapno i filtrowania szlamu, tak aby siarczek sodu ( $\text{Na}_2\text{S}$ ) nie dostawał się do pieca wapiennego.

Przy właściwej pojemności filtra szlamu niewielkie ilości powietrza są zasysane przez warstwę osadu na bębnie i resztkowy  $\text{Na}_2\text{S}$  pozostały na powierzchni cząstek szlamu jest wtedy utleniany do tiosiarczanu sodu, który nie powoduje powstawania  $\text{H}_2\text{S}$  w piecu. Gdy pojawia się problem z  $\text{H}_2\text{S}$  w wielu przypadkach jego przyczyną jest zła jakość szlamu wapiennego pod względem zawartości suchej substancji (zwykle powyżej 80%) i czystości (wymagane jest niskie stężenie wolnych alkaliów). Rozwiązaniami technicznymi są poprawa klarowania ługu zielonego i mycia szlamu pokaustyzacyjnego lub zastąpienie części szlamu uzupełniającym wapnem obcym.

### Emisje pyłu

Cząstki stałe składają się z pyłu wapiennego oraz sodu wytrąconych z fazy gazowej. Emisje mogą być ograniczane za pomocą środków wewnętrznych poprzez właściwą konstrukcję i prowadzenie pieca oraz środkami zewnętrznymi poprzez instalację elektrofiltru lub skrubera. Elektrofiltr ma zdolność redukcji stężenia cząstek stałych do około  $< 20\text{--}50 \text{ mg/Nm}^3$ , ale niektóre celulozownie mają większe emisje. Rzeczywiste emisje cząstek zależą od konstrukcji, eksploatacji i konserwacji ESP. Suchy pył z ESP wraca do pieca na zamkniętych przenośnikach.

Elektrofiltry są skuteczne w usuwaniu cząstek pyłu. Zaletą elektrofiltrów w porównaniu do skrubarów jest to, że usuwają pył w stanie suchym, bez pomp, zaworów i dodatkowego sprzętu. Wadą jest to, że ESP nie zmniejszają emisji całkowitej siarki zredukowanej (TRS) lub  $\text{SO}_2$ . Skrubery są używane do oddzielenia pyłu i absorpcji gazu. Skrubier typu *venturi* wykorzystujący roztwór zasadowy jest stosowany najczęściej.

### Emisje $\text{NO}_x$

Emisje  $\text{NO}_x$  są związane przede wszystkim z konstrukcją palnika, zawartością azotu w paliwie i temperaturą spalania. Zastosowanie stężonych gazów niekondensujących, metanolu i terpentyny, zwiększa emisje  $\text{NO}_x$  z pieca wapiennego, a zastosowanie oleju talowego jako paliwa obniża emisje  $\text{NO}_x$ .

Emisje  $\text{NO}_x$  wynoszą  $150\text{--}500 \text{ mg/Nm}^3$  w zależności od stosowanego paliwa i zastosowanych środków kontroli emisji. Pozostają one na tym samym poziomie dla ropy naftowej i gazu przy prawidłowym ukształtowaniu płomienia. Podczas spalania NCG, emisje  $\text{NO}_x$  są nieco wyższe.

Emisje tlenków azotu można kontrolować dokonując korekty rozkładu temperatury w piecu wapiennym (regulacja dystrybucji powietrza pierwotnego, podział powietrza do spalania na pierwsze, drugie i trzecie) bez specjalnych zewnętrznych urządzeń oczyszczających gazy. Profil temperaturowy pieca wpływa na tworzenie  $\text{NO}_x$ . Kształtowanie i regulacja płomienia (długi i krótki płomień) również wpływają na temperaturę spalania i powstawanie  $\text{NO}_x$ .

Dla wyższych poziomów  $\text{NO}_x$  z pieca wapiennego, można rozważyć stosowanie redukcji selektywnej niekatalitycznej (SNCR). Jednak SNCR nadal nie znajduje zastosowania do wypalania pieca wapiennego.

#### 3.2.2.6.3 Emisje do powietrza z kotłów parowych lub elektrociepłowni

##### Kotły korowe i wielopaliwowe

W celulozowniach kora jest w znacznej mierze używana w kotłach parowych. Oprócz kory, w kotłach korowych i wielopaliwowych może być spalana biomasa ze źródeł zewnętrznych (zakupiona biomasa) i inne paliwa. Dane dotyczących emisji do powietrza z tych kotłów znajdują się w pkt 2.6.2.

Energooszczędne niezintegrowane celulozownie masy siarczanowej bielonej są eksporterami netto biopaliw i energii elektrycznej. Nie potrzebują one kory do produkcji pary i mogą ją sprzedać.

##### Inne kotły parowe

W zintegrowanych wytwórniach mas celulozowych i papieru nadmiar energii cieplnej produkowanej przez celulozownię często nie jest wystarczający do pokrycia zużycia energii przez produkcję masy i papieru. Dodatkowa potrzebna energia cieplna musi być produkowana w kotłach parowych. Emisje z kotłów zależą od paliwa, mieszaniny paliw, zawartości zanieczyszczeń i zastosowanych środków redukcji emisji.

Większość kotłów dla paliw stałych, to kotły fluidalne, szczególnie, gdy spalane są paliwa trudno mieszalne o zmiennych właściwościach (zob. pkt 2.6.1.2.3). Aktualne dane dotyczące emisji dla różnych typów kotłów pomocniczych podano w pkt 2.6.2.

#### 3.2.2.6.4 Gazy złownone

Zapach z celulozowni siarczanowych pochodzący z siarczku z ługu białego, wodnego roztworu wodorotlenku sodu (NaOH) i siarczku sodu (Na<sub>2</sub>S) w procesie roztwarzania od dawna stanowi problem środowiskowy i wizerunkowy dla przemysłu celulozowo-papierniczego. Problem stanowią przede wszystkim złownone związki zredukowanej siarki powstające w procesie roztwarzania siarczanowego, oraz całkowita siarka zredukowana (TRS) obejmująca merkaptan metylu (MM), siarczek dimetylu (DMS), disiarczek dimetylu (DMDS) i siarkowodór (H<sub>2</sub>S). MM, DMS i DMDS są głównymi lotnymi związkami organicznymi siarki powstającymi w procesie roztwarzania, natomiast siarkowodór powstaje w dalszych procesach, gdzie pH strumieni instalacji zostaje zredukowane poniżej 10. Mimo że przemysł celulozowo-papierniczy w znacznym stopniu zredukował emisje TRS w latach 2000–2010, stosując zaawansowane metody gromadzenia i redukcji zapachów, subiektywna uciążliwość zapachowa w bardzo niskich stężeniach nadal stanowi problem dla społeczności mieszkających w pobliżu instalacji. Ponadto, ze względu na zwiększoną wrażliwość ludzkiego nosa na związki siarki i ze względu na zmienność emisji związków złownonych, emisje TRS zawsze będą drażliwym tematem w kontaktach mieszkańcami i okolicznymi gminami.

Strumiennie gazów złownonych można ogólnie podzielić na silne (stężone) i słabe (rozcieńczone). Te ostatnie zwykle odnosi się do stężenia siarki <0,5 g/Nm<sup>3</sup>, a bardziej skoncentrowane lub silne gazy osiągają wartości powyżej 5 g/Nm<sup>3</sup>.

W celulozowniach realizowane są dwa ogólne podejścia dla zmniejszenia emisji zapachów: utlenianie termiczne i absorpcja przy użyciu technologii skruberów. Utlenianie termiczne TRS następuje w dwóch etapach: zbieranie gazów niekondensujących (NCG) w różnych upustach emisji i eliminowanie związków złownonych w NCG poprzez spalanie w celu przekształcenia ich w związki niemające nieprzyjemnej woni. Absorpcja jest wykonywana głównie w celu zniszczenia H<sub>2</sub>S i MM w rozcieńczonych NCG przez płukanie przy użyciu wieży natryskowej lub kolumny z wypełnieniem.

Stężone gazy są ujmowane i spalane w piecu wapiennym, kotle regeneracyjnym lub w oddzielnym palniku. Jeżeli stosuje się wydzielony palnik, zazwyczaj dodaje się skrubier w celu ograniczenia emisji tworzącego się SO<sub>2</sub>.

Energia cieplna takiego palnika może być wykorzystana, ale powstają znaczne ilości NO<sub>x</sub>. Emisje NO<sub>x</sub> można obniżyć o około 70% poprzez optymalizację warunków spalania.

Zaletą spalania złownonych gazów w piecu wapiennym jest fakt, że nie jest potrzebny dodatkowy piec. W dodatku siarka z gazów może ulegać absorpcji, co redukuje emisję dwutlenku siarki. Jednakże, zawartość siarki w gazach złownonych zwykle przekracza pojemność absorpcyjną pieca wapiennego i prowadzi do zwiększenia emisji SO<sub>2</sub>.

Przeciętnie 15% paliwa stosowanego w piecu wapiennym może być zastąpione przez gazy złownone. Jednakże zmienność wartości energetycznej gazu może utrudniać wytwarzanie jakościowo dobrego i jednorodnego wapna. Oddzielanie metanolu z gazów minimalizuje problem wahań ich jakości. Oddzielony metanol może potem być doprowadzany w postaci ciekłej jako paliwo do pieca wapiennego lub wydzielonego palnika gazów złownonych.

Gazy rozcieńczone w niektórych celulozowniach są kolektywizowane i spalane w kotle regeneracyjnym, w piecu wapiennym lub oczyszczane w skruberze. Skrubier jest skuteczny głównie dla H<sub>2</sub>S. Spalanie rozcieńczonych gazów w kotle regeneracyjnym może wpływać na działanie kotła i wymagałoby jego modyfikacji. W niektórych celulozowniach oba strumienie gazów rozcieńczone i stężone są spalane w kotle regeneracyjnym.

Podczas roztwarzania i odparowania część związków złowonnych jest przenoszona do kondensatów. Oprócz związków siarki zredukowanej kondensaty zawierają metanol i pewną ilość innych zużywających tlen związków (ładunek BZT). Brudne kondensaty są zbierane i oczyszczane oddzielnie jak opisano powyżej (zobacz punkt 3.2.2.4).

Gazy złowonne zawierające siarkę zostały pokrótce opisane niżej.

### Stężone gazy złowonne (CNCG)

Gazy złowonne – często określane jako gazy niekondensujące (NCG) – zawierają gazy uwalniane w trakcie produkcji masy siarczanowej i lotne związki wchodzące w drewno. Gazy uwalniane podczas roztwarzania, przerobu ługu czarnego i kaustyzacji, czyli siarkowodór, merkaptan metylu, siarczek dimetylu i dwusiarczek dimetylu, są silnymi związkami złowonnymi, które nadają gazom ich charakterystyczny nieprzyjemny zapach. Lotne związki wchodzące z surowcem drzewnym, tj. terpentyna i metanol, nie są złowonne w stanie czystym, jednak w celulozowniach zawierają zanieczyszczenia w postaci składników złowonnych.

Skoncentrowane gazy niekondensujące pochodzą głównie z instalacji roztwarzania, wyparki lub z odpędzania brudnych kondensatów. Całkowita ilość siarki w stężonych gazach niekondensujących w nowoczesnych celulozowniach chemicznych wynosi od 2–5 kg S/ADt i jest zazwyczaj wyższa w masie z drewna liściastego niż w masie z drzewa iglastego ze względu na różną strukturę ligniny. Ze względów technologicznych, ilość stężonych gazów niekondensujących może się znacznie różnić. Typowe ilości CNCG z różnych źródeł w celulozowni chemicznej przedstawiono w tabeli 3.14.

**Tabela 3. 14 Ilości stężonych gazów niekondensujących pochodzących z różnych źródeł**

Źródło	kg S/ADt	Nm <sup>3</sup> /ADt
Wydmuchiwanie w okresowym	0.4 – 0.8	5 – 15
Gazowanie w okresowym	0.1 – 0.2	1.0 – 3.0
Roztworzenie ciągłe	0.1 – 0.4	1.0 – 4.5
Instalacja odpędowa	0.5 – 1.0	15 – 25
Wyparki	0.4 – 0.8	1 – 10
Przerób metanolu	0.5 – 2.0	1.0 – 2.0
Podgrzewanie ługu czarnego	2 – 3	1.5 – 3.0
Super koncentrator	2 – 5	1.5 – 6.0
Ogółem	2 – 5	3 – 40

Źródło: Sanna Hämäläinen, Botnia (Rauma), 2009.

### Rozcieńczone gazy niekondensujące (DNCG)

Gazy te są głównymi czynnikami przyczyniającymi się do emisji rozproszonych z celulozowni siarczanowych. Mimo że rozcieńczone gazy złowonne są mniej stężone, ich emisje są istotne i mogą stanowić znaczną część całkowitej emisji z procesu roztwarzania. Rozcieńczone gazy niekondensujące są zbierane ze zbiorników i urządzeń na linii produkcyjnej masy włóknistej (wstępne parowanie zrębków, sortowanie, mycia masy celulozowej, wentylacja różnych zbiorników zawierających ług czarny), wyparki, instalacji do gotowania oleju talowego i instalacji do kaustyzacji (np. rozpuszczania stopu). Gazy niekondensujące ze zbiorników ciśnieniowych ługu powinny być traktowane jako stężone gazy niekondensujące. Rozcieńczone gazy niekondensujące zawierają te same składniki co stężone gazy niekondensujące, ale rozcieńczone znaczną ilością powietrza.

Tabela 3.15 prezentuje ilości rozcieńczonych gazów niekondensujących pobranych z różnych źródeł celulozowni siarczanowej w temperaturze 40 °C.

Tabela 3. 15 Ilości rozcieńczonych gazów niekondensujących pochodzące z różnych źródeł w temperaturze 40 °C

Źródło w celulozowni siarczanowej	kg S/ADt	Nm <sup>3</sup> /ADt
Gazy odlotowe z roztwarzania ciągłego	0.1 – 0.5	100 – 400
Gazy odlotowe z roztwarzania Superbatch (powietrze odlotowe, wywiewy ze zbiorników)	0.1 – 0.5	150 – 300
Gazy z instalacji mycia masy celulozowej	0.05 – 0.1	100 – 200
Gazy z instalacji gotowania oleju talowego	0.05 – 0.2	2 – 3
Gazy wylotowe ze zbiorników, wyparek (zbiorniki ciśnieniowe)	0.1 – 0.4	20 – 30
Strefa pieca wapiennego w instalacji kaustyzacji	0.01 – 0.1	5 – 10
Ogółem	0.1 – 0.5	300 – 400
Źródło: Sanna Hämäläinen, Botnia (Rauma), 2009		

### Strumienie nieujęte w gazach niekondensujących

Istnieje wiele strumieni z celulozowni zawierających parę wodną i powietrze. Przykłady strumieni, które nie są uważane za możliwe do gromadzenia z powodu nieznacznej zawartości siarki są następujące:

- powietrze wentylacyjne z budynków
- wilgotna para wodna z maszyn do masy i papieru
- wilgotne powietrze z wież chłodniczych
- para wodna z powierzchni stawów do oczyszczania ścieków
- powietrze wentylacyjne z kanalizacji
- opary z pomp próżniowych.

#### 3.2.2.6.5 Emisje LZO

Emisje lotnych związków organicznych (LZO = VOC) z procesu są raportowane na poziomie około 0,4 kg/t masy siarczanowej iglastej i poniżej 0,1 kg/t masy siarczanowej liściastej. Występują również pewne emisje LZO z hałd zrębków. Jako przykład można podać emisje LZO ze zrębków na poziomie 0,2–0,3 kg/m<sup>3</sup> drewna przy roztwarzaniu siarczanowym.

#### 3.2.2.6.6 Związki chloru z bielenia i przygotowania chemikaliów bielących

W celulozowniach bielonej masy siarczanowej stosujących dwutlenek chloru jako chemikalia bielące do atmosfery uwalniane są związki chloru z instalacji bielenia i produkcji ClO<sub>2</sub>. W tabeli 3.16 zaprezentowano kilka przykładów emisji chloru od powietrza w Szwedzkich celulozowniach i papierniach.

Tabela 3. 16 Przykłady dozwolonych i zmierzonych wartości emisji chloru do powietrza z instalacji bielenia i produkcji ClO<sub>2</sub> z kilku szwedzkich celulozowni

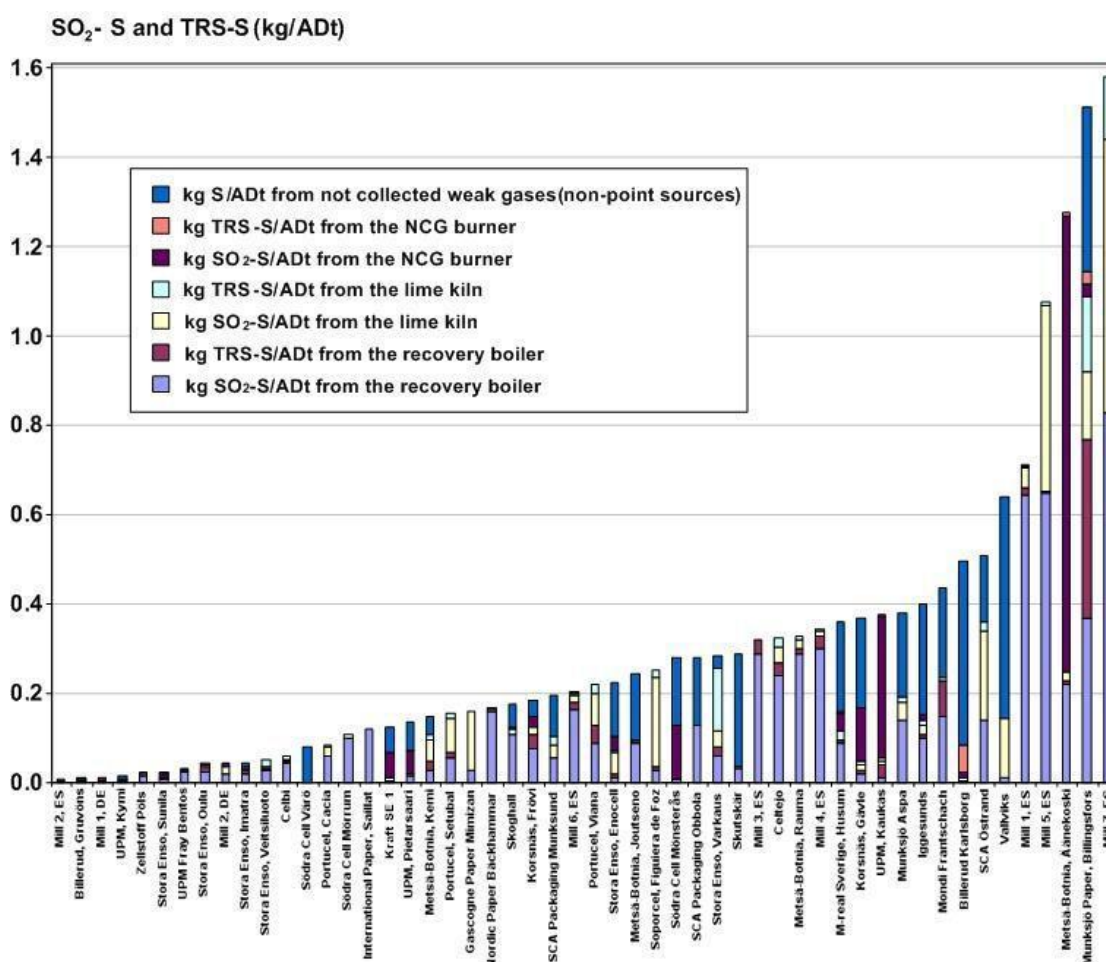
Nazwa celulozowni	Warunki pozwolenia (kg aktywnego chloru/t masy bielonej)	Wartości zmierzone w 2008 (kg chloru/t masy bielonej)	Uwagi
M-real, Husum	0.1 jako średnia roczna	0.01	6400 kg/rok
Billerud, Skärblacka	0.25	0.15	
Billerud, Gruvön	100 kg/dzień (ok. 0.1 kg/t bielonej masy)	5 kg/dzień (ok. 0.005 kg/t bielonej masy)	
Korsnäs	0.18	0 – 0.4	4 razy/rok po skruberze, 146 t/rok
Skoghall	50 kg/dzień rocznie (ok. 0.11 kg/t bielonej masy)	3000 kg/rok, 8.5 kg/dzień (ok. 0.02 kg/t bielonej masy)	
Źródło: Swedish EPA, 2008			

Dane podane w Tabeli 3.16 pochodzą z obowiązkowych sprawozdań rocznych i zezwoleń dla celulozowni. Dane obejmują wszystkie emisje z instalacji, zazwyczaj mierzone w kanałach wentylacyjnych instalacji bielenia i w instalacji produkcji dwutlenku chloru po etapie skruberów. Związki chloru ( $Cl_2$ ,  $ClO_2$ ), które można wykryć w strefie przygotowania chemikaliów bielących i w oparach wentylacyjnych instalacji bielenia są mierzone okresowo.

### 3.2.2.6.7 Całkowite emisje z procesu

#### 3.2.2.6.7.1 Całkowite emisje siarkowe z procesu

Rysunek 3.29 przedstawia całkowite emisje siarkowe ( $SO_2$ -S i TRS-S) z wszystkich procesów dla wszystkich europejskich celulozowni, które uczestniczyły w zbieraniu danych prowadzonym przez EIPPCB. Źródła punktowe obejmują kocioł odzyskiwania, piec wapienny i dedykowany palnik NCG. Łączne emisje procesowe nie obejmują emisji z kotłów pomocniczych lub innych instalacji parowych i energetycznych. Dane dotyczące emisji przedstawione na rysunku 3.29 obejmują wszystkie instalacje, które wypełniły kwestionariusz opracowany przez EIPPCB w lutym 2011 roku.



Źródło: [33, COM 2011]

Rysunek 3. 29 Łączny ładunek emisji S (w kg S/ADt) z głównych procesów (kocioł regeneracyjny, piec wapienny, palnik NCG), w tym niezgromadzone lub nieoczyszczone gazy słabe

SO <sub>2</sub> - S and TRS-S(kg/ADt)	SO <sub>2</sub> - S i TRS-S(kg/ADt)
kg S/ADt from not collected weak gases(non-point sources)	kg S/ADt z niezbranych gazów słabych (źródła niepunktowe)
kg TRS -S/ADt from the NCG burner	kg TRS-S/ADt z palnika NCG
kg SO <sub>2</sub> -S/ADt from the NCG burner	kg SO <sub>2</sub> -S/ADt z palnika NCG
kg TRS-S/ADt from the lime kiln	kg TRS-S/ADt z pieca wapiennego

kg SO <sub>2</sub> -S/ADt from the lime kiln	kg SO <sub>2</sub> -S/ADt z pieca wapiennego
kg TRS-S/ADt from the recovery boiler	kg TRS-S/ADt z kotła regeneracyjnego
kg SO <sub>2</sub> -S/ADt from the recovery boiler	kg SO <sub>2</sub> -S/ADt z kotła regeneracyjnego
Source: [ 33, COM 2011 ]	Źródło: [ 33, COM 2011 ]

Oczywiste jest, że instalacje o najlepszej wydajności mają niskie emisje siarkowe z wszystkich potencjalnych źródeł emisji, w tym ze źródeł niepunktowych. Instalacje te wprowadziły rozwiązania utrzymujące niski ogólny poziom emisji S bez przesuwania emisji z jednego źródła do drugiego.

Różnice występują między instalacjami i krajami w Europie w odniesieniu do raportowania emisji niezebranych i/lub nieoczyszczonych gazów niekondensujących (NCG). Zgłoszone emisje mogą uwzględniać niezebrane gazy słabe (szwedzkie instalacje) lub zebrane, ale nieoczyszczone gazy słabe, które jednak są pomijane w przypadku awarii systemu oczyszczania gazów i rejestrowane oddzielnie (fińskie instalacje).

W nowoczesnych zakładach, które stosują efektywne systemy zbierania gazów, emisje rozproszone z niemal wszystkich źródeł procesowych są zbierane i spalane i w praktyce nie występują znaczne ilości emisji rozproszonych. Wyjątkiem są te strumienie, które nie są uznawane za warte zbierania ze względu na znikomą zawartość siarki, oraz strumienie wynikające z chwilowych usterek systemu oczyszczania gazów, podczas których system niszczenia gazu jest pomijany, a pobrane nieoczyszczone NCG wydostają się przez komin.

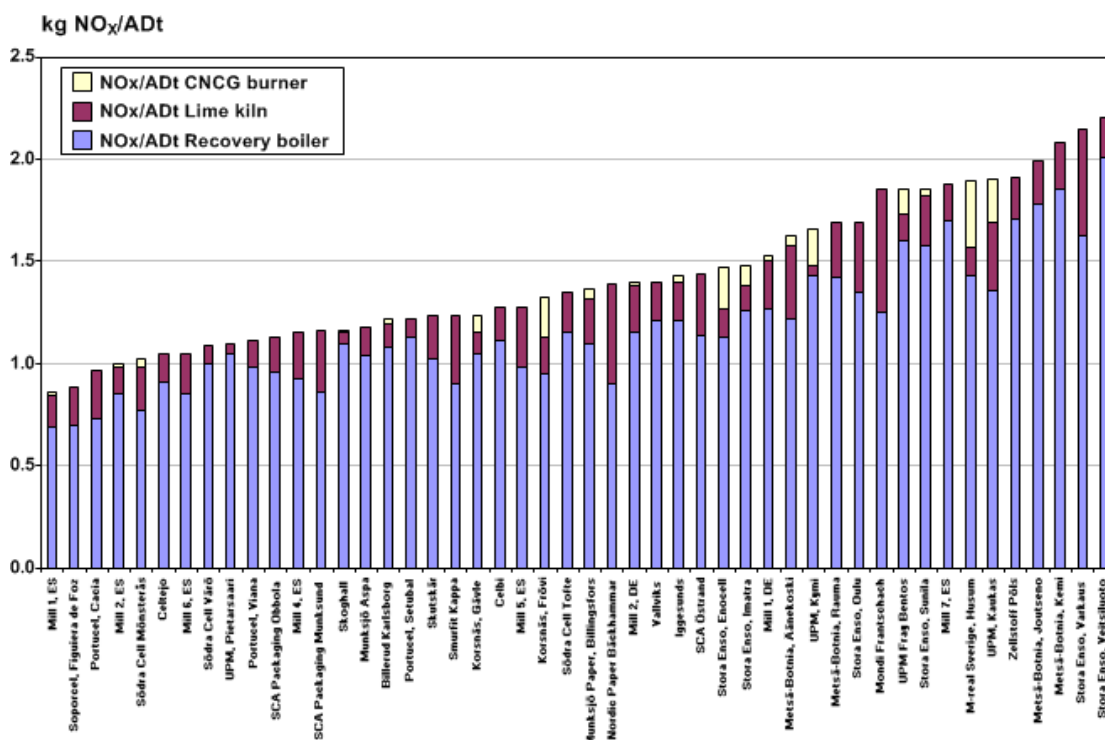
Istnieją inne celulozownie w Europie, których systemy zbierania i spalania słabych gazów są nadal niewystarczające, co powoduje wyższe rozproszone emisje siarkowe z obszaru instalacji nawet w normalnych warunkach pracy. Typowymi źródłami są zbiorniki w instalacjach ustawione w taki sposób, że technologicznie i ekonomicznie opłacalne zastosowania są trudniejsze do praktycznego wdrożenia.

Rysunek 3.29 pokazuje, że źródła punktowe z głównych procesów (kotłów regeneracyjnych, pieców wapiennych, dedykowanego palnika do spalania gazów złowonnych) mogą uwalniać niższe emisje siarkowe niż źródła rozproszone. Niezebrane, przeważnie słabe gazy NCG i emisje z pominięciem systemu niszczenia gazów złowonnych w przypadku awarii, mogą przyczynić się wysokiej całkowitej emisji siarki z instalacji z powodu niskiej emisji siarki ze źródeł punktowych w okresach normalnej pracy.

Zazwyczaj, niezebrane emisje S nie mogą zostać dokładnie zmierzone, ale są określane w przybliżeniu za pomocą różnych metod, patrz pkt 2.2.2.2.6.

#### 3.2.2.6.7.2 Emisje NO<sub>x</sub> z głównych procesów

Rysunek 3.30 przedstawia całkowite emisje NO<sub>x</sub> z wszystkich procesów w europejskich celulozowniach, które uczestniczyły w zbieraniu danych prowadzonym przez EIPPCB w lutym 2011 r. Źródła punktowe obejmują kocioł odzyskiwania, piec wapienny i dedykowany palnik NCG. Łączne emisje procesowe nie obejmują emisji z kotłów pomocniczych lub innych instalacji parowych i energetycznych.



Źródło: [ 33, COM 2011 ]

Rysunek 3. 30 Całkowite emisje NO<sub>x</sub> (jako NO<sub>2</sub>/ADt) z głównych procesów (kocioł regeneracyjny, piec wapienny, palnik NCG)

kg NO <sub>x</sub> /ADt	kg NO <sub>x</sub> /ADt
NO <sub>x</sub> /ADt CNCG burner	NO <sub>x</sub> /ADt palnik CNCG
NO <sub>x</sub> /ADt Lime kiln	NO <sub>x</sub> /ADt piec wapienny
NO <sub>x</sub> /ADt Recovery boiler	NO <sub>x</sub> /ADt kocioł regeneracyjny
Source: [ 33, COM 2011 ]	Źródło: [ 33, COM 2011 ]

### Poziomy emisji jako ładunek NO<sub>2</sub> w kg/ADt

W przypadku wyrażania wartości emisji dla masy celulozowej produkowanej z różnych gatunków drewna, należy zauważyć, że przy tej samej ilości drewna, niektóre instalacje wytwarzają więcej masy niż inne (większa wydajność). Powoduje to różnice w emisji NO<sub>x</sub> między instalacjami. Badanie [ 226, Vakkilainen et al. 2005 ] wykazało, że duże nowoczesne zakłady celulozowe, które używają tych samych technologii, ale różnych gatunków drewna w procesie roztwarzania (eukaliptus i mieszanka drzew skandynawskich), mają różne emisje NO<sub>x</sub>. W praktyce, najlepsze celulozownie eukaliptusowe produkują ładunki NO<sub>x</sub> o około 0,2 kg NO<sub>2</sub>/ADt niższe niż najlepsze porównywalne zakłady skandynawskie, ponieważ wydajność masy celulozowej z eukaliptusa jest większa niż w przypadku skandynawskiego drewna. Należy to mieć na uwadze przy porównywaniu BAT-AEL wyrażonych jako ładunki (w kg zanieczyszczeń/ADt).

To samo dotyczy niebielonej masy celulozowej siarczanowej. Dla masy niebielonej wydajność jest wyższa niż w przypadku masy bielonej, ilość wytwarzanego łągu czarnego i odpowiadający jej przepływ spalin są mniejsze, a tym samym niższej emisji z poszczególnych produktów na tonę masy są niższe niż w przypadku masy celulozowej bielonej.

#### 3.2.2.7 Odpady stałe

Produkcja masy celulozowej siarczanowej generuje różne frakcje odpadów stałych: nieorganiczne osady (osady, osady łągu zielonego i szlam wapienny) z odzyskiwania chemikaliów; pozostałości kory i drewna z przerobu drewna; osady z oczyszczania ścieków (materiał nieorganiczny, włókna i osad biologiczny); pył z kotłów i pieców; odrzuty (głównie piasek) z przerobu drewna; oraz popioły i materiały różne (np. materiały budowlane). Wiele



substancji organicznych, które mogą być uznane za odpady, jest spalanych w celu odzyskania energii. Zwykle obejmują one pozostałości kory i drewna, a także mogą obejmować osad z oczyszczania ścieków.

Osady i szlam wapienny są oddzielane od cyklu odzyskiwania chemikaliów, aby utrzymać ilość materiału obojętnego i innych chemikaliów pozaprocesowych w cyklu na akceptowalnym poziomie, a tym samym zapewnić szybkość reakcji w układzie odzyskiwania substancji chemicznych.

Pozostałości kory i drewna z przerobu drewna są zwykle spalane w celu odzyskania energii. Popiół drzewny z kotłów korowych zawiera składniki odżywcze zabrane z lasów wraz z surowcem drzewnym; popiół ten może być stosowany jako nawóz, o ile nie jest zanieczyszczony, np. przez metale: Hg, Cd i Pb, chociaż znajdują się one w drewnie. Ługowanie metali ciężkich z recyklingowanych popiołów, które rozprzestrzeniły się na lasy i grunty rolne, może być niedogodnością przy stosowaniu tych metod.

Osady z oczyszczalni ścieków stanowią jedną z głównych grup pozostałości. Duża ilość osadu jest generowana w oczyszczaniu pierwotnym i oczyszczaniu biologicznym metodą osadu czynnego. Napowietrzane stawy produkują tylko niewielkie ilości nadmiarowego osadu. W procesie flokulacji chemicznej wytwarzają się znaczne ilości osadu. Osady biologiczne i chemiczne mają słabe właściwości odwadniające.

Szlam jest zwykle zagęszczany przed odwodnieniem w prasie filtracyjnej, prasie ślimakowej lub w filtrze próżniowym. Często nadmiar osadów z biologicznego oczyszczania ścieków jest mieszany ze szlamiem pierwotnym i szlamiem korowym przed odwodnieniem. Chemikalia nieorganiczne i/lub organiczne są stosowane w celu usprawnienia odwadniania osadu, poprzez tworzenie większych kłaczków. Mieszany szlam może być odwodniony do poziomu 25–35% suchej masy za pomocą pras filtracyjnych i do poziomu 40–50% przy użyciu prasy ślimakowej z użyciem pary w etapie obróbki wstępnej.

Przy spalaniu osadu, produkcja energii netto wynosi około zero lub jest ujemna, gdy zawartość suchej masy w osadzie wynosi poniżej 40%, oraz gdy osad zawiera dużą ilość materiału nieorganicznego. Wykorzystanie paliwa pomocniczego jest konieczne, żeby utrzymać dobre warunki spalania, chyba że szlam miesza się z korą i innym materiałem odpadowym z drewna. Spalanie zmniejsza objętość odpadów, a nieorganiczna zawartość pozostaje w popiele, który zwykle jest transportowany na składowisko odpadów.

Szlam ze strącania chemikaliów nie może być spalany bez użycia paliwa pomocniczego, ze względu na wysoką zawartość substancji nieorganicznych i wody. Osad jest więc często transportowany na składowisko odpadów. Osad z flokulacji wyłącznie z syntetycznymi polielektrolitami organicznymi nadaje się do spalania.

Dostęp do adekwatnych i porównywalnych danych na temat wytwarzania odpadów jest ograniczony. Tabela 3.17 przedstawia dostępne dane dla różnych rodzajów odpadów powstających w celulozowniach siarczanowych.

**Tabela 3. 17 Średnia ilość wytwarzanych odpadów w celulozowniach siarczanowych w kg suchej masy/ADt**

Rodzaj odpadów	kg suchej masy/ADt masy
Szlam z oczyszczania ścieków	10
Popiół drzewny	9 (*)
Inne popioły	14 (*)
Włókna	5
Odpady drzewne	6
Osady zwykłe i osady ługu zielonego	10 – 20
Wapno wzbogacone elementami	10 – 20
Odpady niebezpieczne	0.2
<b>Ogółem</b>	<b>60 – 80</b>

**Uwagi:**

Popiół drzewny składa się z popiołu lotnego i pyłu ze spalania materiału drzewnego (np. z kotła korowego). Inne popioły obejmują popioły z paliw wykorzystywanych do produkcji energii, innych niż drewno i ług czarny.

(\*) Wartości dla popiołu/ADt są wyższe, jeśli jako paliwo uzupełniające wykorzystywana jest dodatkowa biomasa ze źródeł zewnętrznych. Odpady drzewne obejmują korę, wióry, trociny, opakowania drewniane, itp.

Źródło: [ Finnish BAT Report, 1996 ], ze zmianami zaproponowanymi przez ekspertów z TWG.

Dane dotyczące odpadów stałych w szwedzkich celulozowniach (wyrażone jako substancje stałe – DS) podano poniżej.

**Osady ługu zielonego, inne osady i szlam wapienny**

Odpady te są często wymieszane i jest bardzo trudno podać odrębne dane na ich temat. W sumie, ich ilość waha się od między 10 a 60 kg/t masy, a średnio wynosi około 30 kg/t masy (SEPA 4 869). Skład takiej mieszanki również się zmienia. Raportie 4 projektu „Miljö 95/96” podaje dane dla szeregu pobranych próbek. Poniższe uśrednione dane zostały obliczone dla osadu ługu zielonego osadu z różnymi ilościami szlamu wapiennego.

**Tabela 3. 18 Skład osadu ługu zielonego z różnymi ilościami szlamu wapiennego**

Szlam wapie	Sucha masa	Popiół	Zawartość substancji	N-og g/kg DS	P-og g/kg DS	S-og g/kg DS
<2	45	62	20	0.4	0.6	23
75	59	62	6.5	<0.4	2.8	6.3

Dane zostały podzielone na dwie grupy: w jednej szlam wapienny prawie nie występował (<2%), a w drugiej było go bardzo dużo (średnio około 75%).

Stężenia metali również zostały podane dla tych samych próbek. Tabela 3.19 przedstawia ich uśrednione wartości.

**Tabela 3. 19 Średnie stężenia metali w osadzie ługu zielonego z różnymi ilościami szlamu wapiennego**

Szlam wapienny	Ba	Cd	Co	Cr	Cu	Hg	Ni	Pb	Sr	Zn
<2	430	16	9.2	75	90	0.07	60	18	330	2 300
75	310	11	5.3	85	96	<0.10	29	11	290	1 000

Uwagi: Wszystkie wartości wyrażone w mg/kg suchej substancji.

W Szwecji, osady ługu zielonego są zwykle suszone na filtrach bębnowych z powłoką szlamu wapiennego przy DS 30–70%. Jeśli stosowane są wirówki, DS wynosi około 8–20% (patrz Raport 4 z Miljö 95/96). Osad jest zwykle transportowany na składowisko odpadów.

**Popioły, żużle, cząstki stałe (np. z elektrofiltrów)**

Według SEPA 4 869, ilości w celulozowniach siarczanowych wynoszą między 5 a 45 kg/t masy.

**Odpady z placu drzewnego na składowisko odpadów**

Ilości wahają się od 1 do 20 kg/t masy. Odpady te obejmują głównie korę, piasek i kamienie (SEPA 4 869).

**Odrzuty z sortowania/odrzuty masy włóknistej**

Ograniczone dane SEPA 4 869 wskazują na ilości od około 2 do 20 kg/t masy.

**Osad z oczyszczania biologicznego**

W celulozowniach siarczanowych ze stawami napowietrzanymi, ilość osadu jest bardzo mała, zwykle <1 kg DS/t masy celulozowej (wg Raportu 4). Oczyszczanie biologiczne w instalacjach osadu czynnego powoduje powstanie większej ilości osadów.

### 3.2.2.8 Hałas

Instalacja korowania generuje hałas, który można ograniczyć za pomocą odizolowania budynku korowalni. Występuje również kilka innych źródeł hałasu, jak rozdrabnianie drewna na zrębki, wentylatory, silniki, kominy i upusty pary.

Ciężarówki i inne pojazdy stosowane w zakładzie mogą powodować hałas w sąsiedztwie zakładu. Więcej informacji na temat hałasu znajduje się w pkt 2.9.13.

### 3.2.2.9 Emisje do gleby i wód gruntowych

Jeżeli na miejscu znajdują się środki zapobiegawczo kontrolne odnoszące się do magazynowania i stosowania chemikaliów, dobrze prowadzone i kontrolowane operacje w celulozowniach i papierniach zasadniczo nie powinny wywoływać niebezpiecznych emisji do gleby i wód gruntowych.

Środki stosowane w celu uniemożliwienia przedostania się niebezpiecznych substancji do gleby i wód gruntowych podczas składowania i postępowania z chemikaliami lub po zakończeniu działalności, przedstawiono w pkt 2.9.2.3 „Bezpieczne magazynowanie i postępowanie z podstawowymi chemikaliami i dodatkami chemicznymi” oraz pkt 8.1.10 „Zapobieganie zanieczyszczeniom podczas likwidacji działalności”.

### 3.3 Techniki, które należy wziąć pod uwagę przy określaniu najlepszych dostępnych technik BAT

W niniejszej części opisano techniki (lub ich połączenia) oraz sposoby ich monitorowania, które mogą przyczynić się znacznie do osiągnięcia wysokiego poziomu ochrony środowiska w ramach działań objętych zakresem niniejszego dokumentu. Opisane techniki będą obejmować zarówno stosowaną technologię, jak i sposób, w jaki instalacje są projektowane, budowane, utrzymywane, eksploatowane i wycofywane z eksploatacji.

Opisano tu systemy zarządzania środowiskowego, techniki zintegrowane z procesem i tzw. technologie końca rury. Rozpatrywane są także technologie zapobiegania powstawaniu odpadów i zarządzania odpadami, w tym procedury minimalizacji odpadów i recyklingu, a także techniki, które zmniejszają zużycie surowców, wody i energii, poprzez optymalizację ich wykorzystania i ponownego wykorzystania. Opisane techniki obejmują również środki stosowane w celu ograniczenia wpływu wypadków na środowisko, lub w celu zapobiegania takiemu wpływowi, a także środki rekultywacji terenu. Uwzględniają one także środki podjęte w celu zapobiegania lub zmniejszania emisji w innych niż normalne warunki pracy (np. rozruch i wyłączenie, nieszczelności, chwilowe przestoje i ostateczne zaprzestanie eksploatacji).

W załączniku III do dyrektywy wymienia się szereg kryteriów określania BAT, a informacje w tym rozdziale nawiązują do tych kwestii. W miarę możliwości, zastosowano standardową strukturę tabeli 3.20 w celu przedstawienia informacji na temat poszczególnych technik, aby umożliwić ich porównanie i ocenę w odniesieniu do definicji BAT z dyrektywy w sprawie emisji przemysłowych.

Niniejsza część nie podaje wyczerpującej listy technik możliwych do zastosowania w branży. Możliwe że istnieją, lub są rozwijane, inne techniki, które można uwzględnić przy ustalaniu BAT dla konkretnych instalacji.

**Tabela 3. 20** Informacje dla każdej z technik opisanych w tym rozdziale

Nagłówki w poszczególnych częściach
Opis
Opis techniczny
Główne korzyści środowiskowe
Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne
Oddziaływanie na procesy i środowisko
Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania
Aspekty ekonomiczne
Motywacja do wdrożenia techniki
Instalacje referencyjne
Bibliografia

#### 3.3.1 Znaczenie gatunków drewna przy określaniu BAT dla celulozowni siarczanowych

W Europie, drewno do roztwarzania siarczanowego można podzielić na drewno iglaste, drewno liściaste oraz jako podkategorię tego ostatniego, drewno eukaliptusowe. Do pewnego stopnia, rodzaj drewna stosowany w roztwarzaniu może wpływać na wydajność, stosowane procesy i techniki, efektywność procesu i poziomy emisji związane z BAT.

Istnieją celulozownie, które stosują tylko drewno iglaste lub tylko drewno liściaste; inne stosują je zamiennie na tych samych liniach produkcyjnych.

Konstrukcja linii procesowej i linii odzyskiwania została dostosowana do takich sytuacji i może wpływać na wydajność różnych procesów (przynajmniej w czasie dokonywania zmian).

### 3.3.1.1 **Kwestie ochrony środowiska w odniesieniu do procesu produkcji masy siarczanowej z drewna eukaliptusowego**

Wykorzystanie drewna eukaliptusowego jest szczególnie ważne w produkcji białej masy papierowej. Sześć celulozowni w Hiszpanii produkuje 1,5 mln ADt/rok białej masy celulozowej z eukaliptusa, a kolejne sześć w Portugalii produkuje 1.83 mln ADt/rok, co łącznie daje 12% całkowitej produkcji masy siarczanowej w krajach CEPI.

#### **Emisje do wody**

Najistotniejszymi czynnikami w odniesieniu do emisji celulozowni masy białej do wody są stopień delignifikacji osiągnięty przed wejściem masy do instalacji wybielania (liczba kappa), efektywne mycie masy mające na celu zmniejszenie przenoszenia ługu czarnego z masą, sekwencje wybielania, zastosowane chemikalia bielące, oraz stopień (częściowego) zamknięcia obiegu wody w instalacji bielenia. Chociaż w przypadku tych technik nie występują istotne różnice przy wykorzystaniu masy eukaliptusowej, masy z drzewa liściastego i masy z drzewa iglastego, to niższy poziom emisji mają celulozownie wykorzystujące drewno eukaliptusowe. Na przykład, najlepsze celulozownie eukaliptusowe osiągają emisje ChZT wynoszące około 5 kg ChZT/ADt, co nie udaje się najlepszym celulozowniom wykorzystującym drewno iglaste; ich emisje wynoszą około 7,5 kg ChZT/ADt (wyższe o 50%). Zastosowanie pogłębionego zmodyfikowanego roztwarzania i delignifikacji tlenowej drewna eukaliptusowego daje liczbę kappa w zakresie od 10 do 13, zanim masa wejdzie do instalacji bielenia; jest to wartość podobna do wartości uzyskiwanych dla innych rodzajów drewna.

Konwencjonalną sekwencją bielenia jest D-EOP-D, po której może następować dodatkowy etap nadtlenu wodoru (np. UPM Fray Bentos: AD-EOP-D-P) lub etap dwutlenku chloru (np. Aracruz: AD-EOP-D-D). „A” oznacza hydrolizę kwasów heksenouronowych, a „D” etap bielenia dwutlenkiem chloru. Wiele celulozowni wykorzystuje ozon („Z”) w sekwencji bielenia masy eukaliptusowej, zmniejszając ładunek ClO<sub>2</sub>, wartości OX (organicznie związanych halogenów) w masie i wartości AOX w ściekach.

Możliwe do osiągnięcia ładunki organiczne w ściekach odprowadzanych z celulozowni masy eukaliptusowej przed oczyszczaniem biologicznym są mniejsze niż zrzuty z zakładów wykorzystujących drewno iglaste. Najlepsze celulozownie eukaliptusowe osiągają wartości 15–20 kg ChZT/ADt, a najlepsze celulozownie drewna iglastego osiągają wartości około 30 kg ChZT/ADt przed oczyszczeniem. Można to tłumaczyć faktem, że eukaliptus łatwiej wybielić i ma on większą wydajność niż gatunki drzew ze środkowej i północnej Europy. *Eucalyptus globulus* jest o około 51–54% wydajniejszy niż skandynawskie gatunki iglaste (44–46%) i liściaste (47–49%). Większa wydajność powoduje obniżenie emisji (np. kg ChZT/ADt masy), nawet jeżeli stosowane są takie same techniki.

Zawartość fosforu w wodach odpadowych z niektórych celulozowni wykorzystujących drewno iberyjskiego eukaliptusa jest wyższa niż w przypadku ścieków z celulozowni wykorzystujących inne rodzaje drewna. Nawet jeśli fosfor nie jest dodawany jako pożywka w biologicznej oczyszczalni ścieków, poziom P w ściekach jest znacznie wyższy w porównaniu do innych zakładów produkcyjnych wykorzystujących gatunki inne niż eukaliptus. Stwierdzenie to jest prawdziwe przy założeniu, że nie dodaje się flokulantów do usuwania fosforu. Dla celulozowni eukaliptusowych wykorzystujących drewno z regionów o wyższym poziomie fosforu, średni poziom zrzutów w ściekach wynosi 0,12 kg P-og/ADt po oczyszczeniu biologicznym.

#### **Emisje do atmosfery**

Emisje do atmosfery z kotłów regeneracyjnych i pieców wapiennych nie różnią w zależności od rodzaju drewna. Należy jednak zmierzyć zawartość azotu (% N) w ługu czarnym w porównaniu do emisji z innych kotłów regeneracyjnych.

Podając ładunki emisji (kg zanieczyszczeń/ADt) dla masy wytwarzanej z gatunków eukaliptusa, należy wziąć pod uwagę, że celulozownie roztwarzające drewno eukaliptusowe są bardziej wydajne niż np. celulozownie roztwarzające mieszane drewno skandynawskie. Nawet jeśli poziom technologii jest taki sam, celulozownie eukaliptusowe generują emisje, które są przeważnie niższe niż emisje z celulozowni wykorzystujących skandynawskie drewno iglaste. Należy to mieć na uwadze przy porównywaniu BAT-AEL wyrażonych jako ładunki (w kg zanieczyszczeń/ADt).

### Energia

Osiągnięcie stężeń zawartości suchej masy powyżej 72% w ługu czarnym dla drewna eukaliptusowego jest trudne. Jednak kocioł regeneracyjny celulozowni eukaliptusowej we Fray Bentos, w Urugwaju, działa przy stężeniu 79% suchej masy.

Zawartość celulozy w *Eucalyptus globulus* wynosi 52–58%, a zatem zużycie drewna jest niskie, od 2,7 do 3,6 m<sup>3</sup>/ADt masy. Czynniki te powodują, że wytwarzanie ciepła podczas spalania ługu czarnego jest mniejsze niż podczas spalania innych rodzajów drewna. Ciepło w postaci pary pod wysokim ciśnieniem mierzone na wyjściu z kotła, nie licząc nawiewu powietrza, wynosi 12–13 GJ/ADt, w porównaniu do 15–16 GJ/ADt z celulozowni wykorzystujących drewno iglaste. Z tego 2,0–2,5 GJ/ADt wykorzystywane jest do produkcji energii elektrycznej w turbinie parowej. Nowa celulozownia eukaliptusowa we Fray Bentos odnotowała jednak wyższe wartości – około 3,5 GJ/ADt.

### Bibliografia

[ 70, González 2011 ], [ 73, ASPAPEL/CELPA 2010 ], [ 77, Costa et al. 2009 ], [ 78, Hostachy 2010 ].

### 3.3.2 Suche korowanie

Zob. pkt 2.9.11.2.1.

### 3.3.3 Modyfikowane roztwarzanie przed bieleniem

#### Opis

Delignifikacja przed bieleniem jest prowadzona w warnikach, a w wielu zakładach również przez zastosowanie delignifikacji tlenowej. Zatem techniki „Pogłębione modyfikowane roztwarzanie” i „delignifikacja tlenowa” (zob. pkt 3.3.5) powinny być rozważane jako jedna całość, ponieważ z punktu widzenia środowiska istotny jest ogólny stopień delignifikacji osiągnięty we wszystkich etapach przed wejściem masy do instalacji bielenia. Powinna występować równowaga pomiędzy redukcją kappa w roztwarzaniu i delignifikacji tlenowej, ponieważ selektywność jest dużo wyższa w tym ostatnim procesie (zobacz pkt 3.3.5). Dla celulozowni ważna jest regulacja różnych procesów tak, by wydajność i charakterystyki wytrzymałościowe były optymalne dla danej zawartości ligniny.

W celu obniżenia zawartości ligniny (niższe liczby kappa) w masie wchodzącej do instalacji bielenia, i w celu obniżenia wsadu chemikaliów bielących w bieleniu (zob. pkt 3.3.6 i 3.3.7), opracowano i zastosowano komercyjnie kilka zmodyfikowanych procesów siarczanowych w systemach ciągłych i okresowych.

Różne zmodyfikowane procesy roztwarzania oparte są na tych samych zasadach [ 19, G.Sousa 2011 ]. Zasady te obejmują szereg procesów chemicznych i fizycznych, które mają na celu poprawę selektywności roztwarzania (wydajność i lepkość).

- **Niskie i jednolity profil stężenia alkaliów (wzdłużny i promieniowy):** Wysokiego stężenia alkaliów należy unikać w początkowej fazie roztwarzania, żeby zapobiec nadmiernemu rozpadowi węglowodanów. Jednak na ogół, należy zapewnić stosunkowo wysokie stężenie alkaliów, żeby przyspieszyć delignifikację i zapobiec kondensacji ligniny.

- **Wysokie stężenie siarczków na etapie roztwarzania okresowego:** Stężenie siarczków ma wpływ na etapie delignifikacji okresowej. Obecność tego jonu jest konieczna do przyspieszenia delignifikacji.

Parametr ten można kontrolować przez dodanie siarczku w górnej części obiegu lub impregnację drewna za pomocą ługu czarnego.

- **Niskie stężenie rozpuszczonej ligniny i niska siła jonowa.**
- **Niska temperatura roztwarzania:** Jest to szczególnie istotne w etapach wstępnych i resztkowych roztwarzania.
- **Dłuższy czas roztwarzania:** Wiadomo, że dłuższe roztwarzanie umożliwia zmniejszenie wsadu alkalicznego i/lub temperatury roztwarzania. Dłuższy czas roztwarzania powoduje większą selektywność roztwarzania, w porównaniu z efektem zmniejszenia ilości alkaliów lub zmniejszenia temperatury. Nowe instalacje roztwarzania, o większej pojemności, pozwalają na osiągnięcie dłuższych czasów przebywania, które ostatecznie zwiększają selektywność roztwarzania.

Przykłady takiego zmodyfikowanego procesu roztwarzania zaprezentowano poniżej.

#### a) **Roztwarzanie ciągle**

Najnowsze techniki roztwarzania ciągłego (np. Lo-Solids i Compact Cooking) wykorzystują niektóre z wyżej wymienionych zasad.

Metoda Compact Cooking polega na poprawie selektywności delignifikacji poprzez utrzymywanie stężenia jonów wodorotlenowych i siarkowodoru we wstępnej i masowej fazie na najwyższym możliwym poziomie. W związku z tym, reakcja w fazie resztkowej przebiega wolniej z ligniną resztkową, a tym samym można oczekiwać większej wydajności masy celulozowej. Poprzez impregnację ługiem czarnym, w procesie Compact Cooking zwiększona zostaje elastyczność roztwarzania. Impregnacji ługiem czarnym dokonuje się przez zawracanie końcowej cieczy warzelnej zawierającej odpowiednie stężenie alkaliów i siarczków. Potencjalne korzyści dla środowiska z tej metody roztwarzania obejmują: szybszy proces delignifikacji, zachowanie wydajności, mniej odrzutów, większą podatność na bielenie, niższe temperatury warku, mniejsze zużycie chemikaliów w roztwarzaniu i bieleniu.

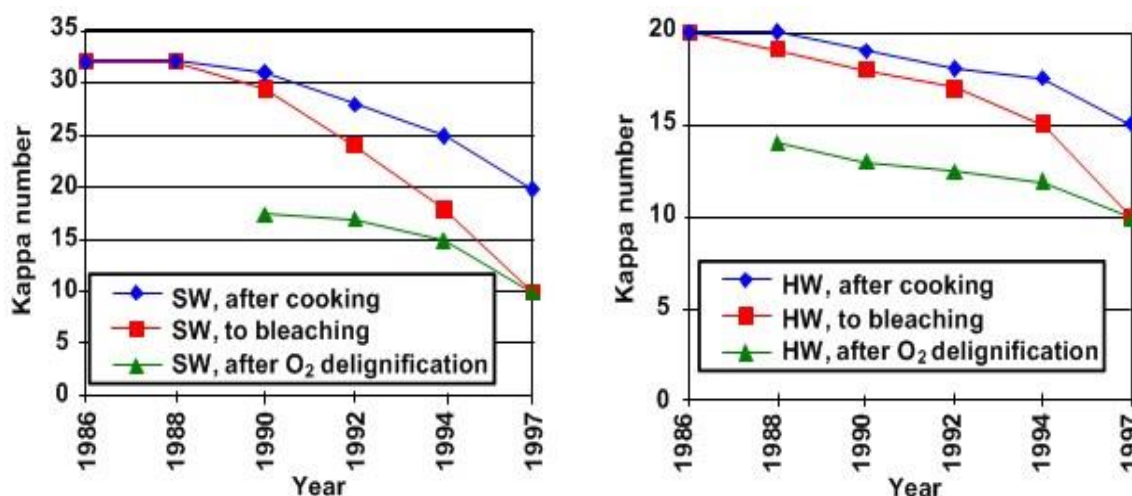
Dla metody Lo-Solids, ilości i stężenia substancji stałych z drewna w fazie maso i resztkowej są utrzymywane na minimalnym poziomie, przy zachowaniu jednolitego rozmieszczenia promieniowego temperatury i chemikaliów roztwarzających, jednolitego profilu wzdłuż wysokości naczynia do roztwarzania, minimalnego stężenia rozpuszczonej ligniny na końcu procesu roztwarzania i minimalnych temperatur roztwarzania. Uzyskuje się to przez ekstrakcję ługu warzelnego z wielu miejsc warku i uzupełnianie go świeżym ługiem w celu utrzymania koniecznego profilu alkalicznego i osiągnięcia żądanych parametrów hydraulicznych. Potencjalne korzyści dla środowiska wynikające z tej metody roztwarzania to marginalne przyspieszenie delignifikacji, niższa temperatura warku i mniejsze zużycie chemikaliów roztwarzających i bielących.

#### b) **Roztwarzanie okresowe**

W systemach roztwarzania okresowego, procesy oparte są na technikach przemieszczenia ługu warzelnego (np. szybkie ogrzewanie waporowe (RDH) i technika superbatches). Systemy te uwzględniają etap impregnacji ługiem czarnym, żeby zmniejszyć zużycie energii cieplnej i początkowe stężenie siarczku, a także zredukować ładunek alkaliczny. Te okresowe systemy ewoluowały i obecnie łączą najnowsze technologie w ramach jednej metody roztwarzania. DualC i Continuous Batch Cooking (CBC) to najnowsze technologie roztwarzania. Ich podstawowa koncepcja polega na przygotowaniu wszystkich ługów procesowych w oddzielnych zbiornikach. W czasie obiegu, wymagane warunki, takie jak temperatura i stężenie alkaliów, są regulowane przez ciągle dodawanie chemikaliów roztwarzających i pary. Warku jest wypełniony ługiem czarnym, a następnie impregnowany ciśnieniowo profilowaniem alkalicznym. Po impregnacji, realizowane są etapy przemieszczenia gorącego ługu z profilowaniem alkalicznym w temperaturze roztwarzania w celu rozgrzania warków i przystąpienia do roztwarzania. Po roztwarzaniu, warku jest przemieszczany ze schłodzonym filtrem myjącym i opróżniany.

Potencjalną korzyścią dla środowiska wynikającą z zastosowania tej metody jest poprawa podatności masy na bielenie.

Zawartość ligniny mierzy się zazwyczaj jako liczbę kappa z użyciem znormalizowanych metod. Roztworzenie konwencjonalne ma swoje ograniczenia odnoszące się do tego, jak bardzo można obniżyć liczbę kappa bez pogorszenia jakości masy (dla masy iglastej liczba ta wynosi 30–32, a dla masy liściastej 18–20). W wyniku zastosowania niektórych modyfikacji roztwarzania, kappa z roztwarzania drewna iglastego może być obniżona do poziomu 18–22, a dla liściastego 14–16, przy zachowaniu wydajności i własności wytrzymałościowych na niezmiennym poziomie. Obniżenie liczby kappa zależy, między innymi, od technologii zmodyfikowanego roztwarzania i tego czy stosuje się zmodernizowaną, czy nową instalację. Trendy liczby kappa w fińskich celulozowniach masy siarczanowej do roku 1997 pokazano na rysunku 3.31. Trend pokazany na rys. 3.31 był aktualny w czasie pisania niniejszej publikacji (2013).



Źródło: [ 1, Raport Finnish BAT 1997 ]

Rysunek 3.31 Trendy liczby kappa w fińskich celulozowniach masy siarczanowej

Kappa number	Liczba Kappa
SW, after cooking	DL, po roztworzeniu
SW, to bleaching	DL, do bielenia
SW, after O <sub>2</sub> delignification	DL, po delignifikacji O <sub>2</sub>
Year	Rok
Source: [ 1, Finnish BAT Report 1997 ]	Źródło: [ 1, Raport Finnish BAT 1997 ]

Od końca lat 90. roztwarzanie siarczanowe rozwijało się w kierunku otrzymania większych liczb kappa po roztwarzaniu, ponieważ mała liczba kappa po roztwarzaniu łączona była ze zmniejszoną wydajnością drewna i tym samym wyższymi kosztami. Wyższa liczba kappa po roztwarzaniu jest równoważona przez zastosowanie innych procesów delignifikacji z wykorzystaniem O<sub>2</sub> w celu zmniejszenia liczby kappa, która przechodzi do procesu bielenia. Zwiększona delignifikacja po roztwarzaniu przyczynia się do obniżenia emisji z instalacji bielenia.

### Główne korzyści środowiskowe

Zmniejszenie zawartości ligniny przed instalacją bielenia zmniejsza zanieczyszczenia, a jednocześnie zwiększa ilość substancji organicznych przechodzących do kotła regeneracyjnego. Niższa zawartość ligniny przed wybielaniem oznacza mniejsze zrzuty z instalacji wybielania, nie tylko substancji organicznych, ale także np. składników odżywczych. W przypadku drewna iglastego, jedna jednostka kappa odpowiada w przybliżeniu 0,15% ligniny w masie. Jeśli liczba kappa masy celulozowej z roztwarzania lub delignifikacji tlenowej (patrz pkt 3.1.6) może zostać obniżona o jednostkę, to wartość ChZT uwalniana z instalacji bielenia mogłaby zostać zredukowana o około 2 kg/ADt (ChZT z bielenia TCF może wynieść nawet około 3 kg ChZT/liczbę kappa). Jednak, aby uzyskać liczbę dla całkowitego zrzutu z instalacji bielenia



należy dodać ChZT przeniesione z zamkniętej części procesu (patrz pkt 3.3.10).

#### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Redukcja liczba kappa o 6–7 jednostek dla drewna iglastego i o 4–5 jednostek dla drewna liściastego zostały osiągnięte bez utraty właściwości wytrzymałościowych.

#### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Pogłębione roztwarzanie wpływa na kilka elementów procesie siarczanowego:

- zużycie aktywnych alkaliów ( $\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{S}$ ) może nieco wzrosnąć;
- w modyfikowanym roztwarzaniu okresowym, zużycie energii i ilość pary ulegają zmniejszeniu w roztwarzaniu, ale zużycie pary w odparowywaniu ługu czarnego może wzrosnąć.

Z punktu widzenia ochrony środowiska, pogłębione zmodyfikowane roztwarzanie należy oceniać łącznie z etapami delignifikacji  $\text{O}_2$ , ponieważ oba procesy wspólnie determinują zawartości ligniny do usunięcia w instalacji bielienia, a tym samym ładunek emisji.

#### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Środek ten może być stosowany w nowych i istniejących celulozowniach siarczanowych. Jednak możliwość wdrożenia technik zmodyfikowanego roztwarzania należy oceniać w każdym indywidualnym przypadku.

W systemach ciągłego roztwarzania, wydajność instalacji może się zmniejszyć jeśli stosowane jest pogłębione roztwarzanie.

W przypadku roztwarzania okresowego, proces zmodyfikowanego roztwarzania w konwencjonalnych instalacjach można zmodernizować, jeżeli pojemność wurnika jest wystarczająco duża. Modyfikacje istniejącego systemu roztwarzania okresowego można przeprowadzić przy użyciu dodatkowych wurników i dzięki dodatkowym inwestycjom, bez zmniejszenia wydajności instalacji roztwarzania.

#### **Aspekty ekonomiczne**

Brak informacji.

#### **Motywacja do wdrożenia techniki**

Znaczne oszczędności energii, poprawa jakości masy, redukcja emisji do wody i zmniejszone zużycie chemikaliów bielących przemawiają za wdrożeniem tej techniki. Jednak, ponieważ najdroższym składnikiem w procesie roztwarzania jest drewno, wzrost lub utrzymanie wydajności jest również ważnym celem przy stosowaniu zmodyfikowanego roztwarzania.

#### **Instalacje referencyjne**

Liczba wurników zmodernizowanych lub przebudowanych w celu zastosowania zmodyfikowanych technik roztwarzania.

#### **Bibliografia**

[ 1, Finnish BAT Report 1997 ], [ 14, CEPI 1997 ], [ 19, G.Sousa 2011 ].

### **3.3.4 Zamknięty proces sortowania**

#### **Opis**

Układ wodny w sortowni masy niebielonej może być całkowicie zamknięty, co ma miejsce w większości europejskich celulozowni. W nowoczesnych układach przygotowania drewna i roztwarzania, w masie po roztwarzaniu zostaje mniej niż 0,5% sęków i drzazg. Zamknięcie obiegu daje redukcję związków organicznych w odciekach i związki te są następnie włączone do regeneracji, a na końcu spalane w kotle regeneracyjnym. Idea polega na wprowadzeniu czyszczenia przeciwpądowo wzdłuż całej linii masy włóknistej, co stopniowo zwiększa zawartość suchej substancji w ługu.

**Główne korzyści środowiskowe**

Zamknięcie obiegów przyczynia się do znaczącej redukcji związków organicznych w odciekach. Instalacja sortowania nie ma zrzutów do wody.

**Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Zamknięty proces sortowania i mycie masy niebielonej przeprowadzane są w prawie każdej celulozowni.

**Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Wzrasta zużycie energii z powodu zwiększonego zapotrzebowania na odparowanie.

**Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Środek ten może być stosowany w nowych i istniejących celulozowniach siarczanowych. Możliwe, że w kilku istniejących celulozowniach, pojemność instalacji odparowania i kotła regeneracyjnego będzie musiała zostać zwiększona, żeby poradzić sobie z lepszym zamknięciem etapów mycia i sortowania.

**Aspekty ekonomiczne**

Zamknięcie etapu sortowania kosztuje zwykle 4–6 milionów euro w nowych celulozowniach i 6–8 milionów euro w istniejących zakładach. Koszty operacyjne wynoszą 0,3–0,5 mln euro rocznie dla wydajności 1 500 ADt/d.

W zakresie sortowania nastąpił ważny przełom; obecnie można sortować przy wyższych stężeniach masy niż wcześniej. Korzyści z tego to zmniejszenie inwestycji i mniejsze zużycie energii elektrycznej.

**Motywacja do wdrożenia techniki**

Ograniczenie emisji do wody jest głównym powodem wdrożenia tej techniki.

**Instalacje referencyjne**

Większość instalacji w Europie.

**Bibliografia**

[ 14, CEPI 1997 ].

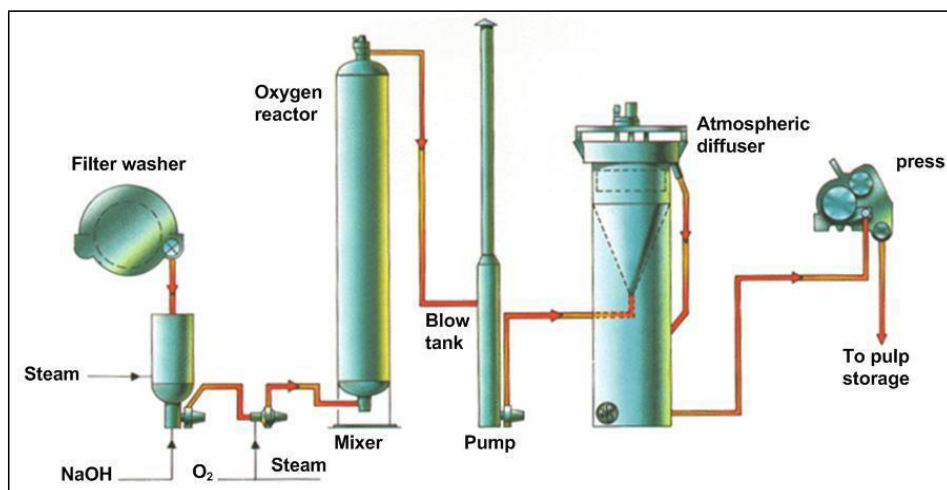
**3.3.5 Delignifikacja tlenowa przed bieleniem****Opis**

Po roztwarzaniu włókna zawierają jeszcze trochę ligniny, która musi być usunięta przed końcowym bieleniem. W celu ochrony wytrzymałości masy, lignina musi być usuwana w sposób selektywny z minimum naruszenia włókien celulozowych i minimalnymi stratami wydajności. Około połowy ligniny pozostałej w masie niebielonej można usunąć i zregenerować poprzez dodanie tlenu do alkalicznej zawiesiny włókien.

W procesie delignifikacji tlenowej, tlen, utleniony ług biały i siarczan magnezu mieszają się w reaktorze z masą przy wysokim stężeniu masy (25–30%) lub średnim stężeniu (10–15%). Stopień delignifikacji tlenowej bywa również nazywany bieleniem tlenem (stopnie tlenowe są obecnie stosowane również w instalacji bielenia, ale w tym raporcie delignifikacja tlenowa jest stosowana do przerobu masy niebielonej). W celu utrzymania bilansu sodu, w obiegu chemikaliów celulozowni, w stopniu tlenowym zwykle stosuje się utleniony ług warzelny, w którym głównym alkalicznym środkiem chemicznym jest wodorotlenek sodu, a siarczek sodu jest utleniony do tiosiarczanu. Reaktor, w którym przebiega delignifikacja jest pod zwiększonym ciśnieniem, a temperatura jest podwyższana do około 100 °C.

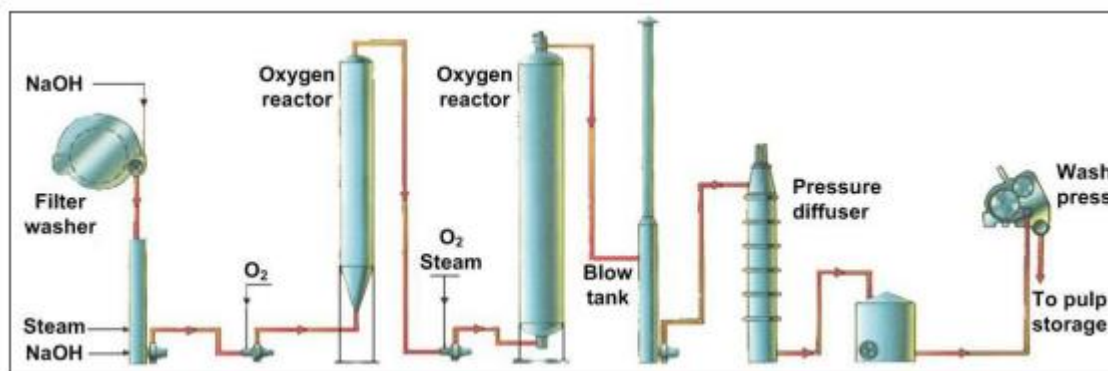
Delignifikacja tlenowa przebiega w jednym lub dwu stopniach po roztwarzaniu i przed bieleniem, i może osiągnąć skuteczność delignifikacji od 40 do 70%. Skuteczność powyżej 40% zazwyczaj wymaga instalacji dwu-stopniowej [ 1, Raport Finnish BAT 1997 ].

Odpadowy ług jest przeciwprądowo przesyłany do systemu regeneracji chemikaliów. Na rysunkach 3.32 i 3.33 podano przykłady schematów nowoczesnego, jedno i dwu stopniowego procesu delignifikacji tlenowej.



Rysunek 3. 32 Jedno-stopniowa delignifikacja tlenem

Filter washer	Filtr myjący
Oxygen reactor	Reaktor tlenowy
Steam	Para
Blow tank	Zbiornik wydmuchowy
NaOH	NaOH
O <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>
Mixer	Mieszalnik
Pump	Pompa
Atmospheric diffuser	Dyfuzor atmosferyczny
press	prasa
To pulp storage	Do magazynu masy



Rysunek 3. 33 Dwu-stopniowa delignifikacja tlenem

NaOH	NaOH
Filter washer	Filtr myjący
Steam	Para
O <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>
Oxygen reactor	Reaktor tlenowy
o <sub>2</sub> Steam	o <sub>2</sub> Para
Oxygen reactor	Reaktor tlenowy
Blow tank	Zbiornik wydmuchowy
Pressure diffuser	Dyfuzor ciśnieniowy
Wash press	Prasa myjąca
To pulp storage	Do magazynu masy

### **Główne korzyści środowiskowe**

Główne zalety delignifikacji tlenowej, to zmniejszenie ilości chemikaliów w końcowym bieleniu i ogólnych kosztów chemikaliów bielących oraz obniżenie ładunku zanieczyszczeń z instalacji bielenia (ChZT i chlorowanych związków organicznych z końcowego bielenia w przypadku bielenia ECF).

### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Nowoczesne celulozownie są projektowane z myślą o połączeniu technik zmodyfikowanego roztwarzania i delignifikacji tlenowej; obie techniki muszą być rozpatrywane łącznie w odniesieniu do wpływu instalacji na środowisko (zrzuty ChZT i AOX).

Redukcja liczby kappa i substancji organicznych, oraz zużycie chemikaliów podczas delignifikacji tlenowej, są ściśle związane z wydajnością urządzeń myjących między etapami tlenowymi. Korzyści środowiskowe nie mogą zostać osiągnięte jeśli mycie nie będzie skuteczne (patrz pkt 3.3.10).

Właściwości wytrzymałościowe masy celulozowej bielonej tlenem i masy włóknistej bielonej konwencjonalnie są bardzo podobne, chociaż masa bielona tlenem ma mniejszą średnią lepkość. Nie stwierdzono istotnych różnic we współczynniku pęknięcia i współczynniku przerywania dla danych długości łamania.

Wg niektórych celulozowni, umieszczenie etapu tlenowego przed sekwencją bielenia drewna iglastego skutkuje większą liczbą cząstek i drzazg.

### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

W kwestii zużycia energii rozwiązanie to oznacza nieco większy odzysk energii z rozpuszczonych substancji organicznych, ale również obniżoną wartość opałową łuğu czarnego w związku z zawartością związków nieorganicznych.

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Środek ten może być stosowany w nowych i istniejących celulozowniach siarczanowych.

Instalacja etapu delignifikacji tlenowej w istniejących celulozowniach siarczanowych może doprowadzić do zmniejszenia produkcji na linii masy włóknistej, jeżeli cały system regeneracji ma niewystarczającą wydajność.

Dodatkowe wymagania dla wyparek wynoszą 0–4% dla systemu wysokich stężeń i 4–10% dla systemu średnich stężeń. Całkowite dodatkowe ładunki substancji stałych wysyłane do kotłów regeneracyjnych wynoszą około 70 kg/t dla drewna iglastego i 45 kg/t dla drewna liściastego.

### **Aspekty ekonomiczne**

Typowy koszt inwestycyjny systemu delignifikacji tlenowej dla produkcji 1500 ADt/d masy bielonej wynosi 35–40 mln euro. Koszty operacyjne wynoszą 2,5–3,0 mln euro/rok. Jednakże delignifikacja tlenem będzie obniżać zużycie chemikaliów do bielenia. Delignifikacja tlenowa jest typowym środkiem optymalizacyjnym mającym na celu zmniejszenie ilości chemikaliów bielących poprzez redukcję liczby kappa. Efektem netto jest oszczędność kosztów, która zależy od gatunku drewna.

Zastosowanie delignifikacji tlenowej ma znaczenie dla kotła regeneracyjnego i pieca wapiennego. W istniejących zakładach, dodatkowe ładunki suchej substancji do kotła regeneracyjnego wynoszą do 10%, najczęściej co najmniej 4–6%; dodatkowo konieczne jest zwiększenie wydajności o 4–6% w etapie kaustyzacji i pieca wapiennego. Jeśli zwiększenie wydajności nie jest możliwe, zwykle powoduje to utratę zdolności produkcyjnych całego zakładu.

### **Motywacja do wdrożenia techniki**

Głównym powodem wdrożenia tej metody jest ograniczenie emisji do wody (oczyszczalnia ścieków i odbiorca).

**Instalacje referencyjne**

Liczne instalacje w Europie i Ameryce.

**Bibliografia**

[ 1, Finnish BAT Report 1997 ], [ 14, CEPI 1997 ].

**3.3.6 Nowoczesne bielenie ECF****Opis**

Celem bielenia jest wysoka i stabilna jasność masy. Bielenie ECF (wolne od chloru pierwiastkowego) jest sekwencją bielenia bez zastosowania pierwiastkowego chloru (chlor gazowy, Cl<sub>2</sub>). W bieleniu ECF głównym środkiem bielącym jest zwykle dwutlenek chloru (ClO<sub>2</sub>). Usuwanie ligniny w procesie bielenia zachodzi w kilku stopniach, w pierwszych dwóch stopniach wstępnie uwalniających i ekstrahujących ligninę, i kolejnych stopniach usuwania pozostałości ligniny, i końcowej obróbki produktu. Instalacja bielenia składa się z sekwencji oddzielnych stopni bielenia z różnymi chemikaliami lub kombinacją dodawanych chemikaliów (zob. Tabela 3.21).

Alternatywne etapy bielące stosowane w celu minimalizacji zużycia dwutlenku chloru w nowoczesnym bieleniu ECF obejmują jeden lub kilka z następujących etapów bielenia: etap tlenowy, hydroliza kwasu gorącego (A<sub>hot</sub>), etapy ozonu (Z) przy średnich i wysokich stężeniach, etapy atmosferycznego nadtlenku wodoru (P) i nadtlenku wodoru pod ciśnieniem (PO) lub etap gorącego dwutlenku chloru (D<sub>hot</sub>). Ostateczny projekt instalacji bielenia zależy od priorytetów w odniesieniu do kosztów produktów chemicznych, kosztów eksploatacji, wydajności procesu bielenia, elastyczność pracy i ograniczeń procesowych.

Włączenie etapów takich jak hydroliza kwasowa, nadtlenek pod ciśnieniem, kwas nadoctowy i/lub ozon do sekwencji bielenia ma na celu zmniejszenie wpływu na środowisko (niski poziom wsadu ClO<sub>2</sub>, małą objętość ścieków, niskie emisje ChZT z instalacji bielenia) i pozwala na częściowe zamknięcie obiegu ścieków z instalacji bielenia (patrz pkt 3.3.8). Sekwencje bielenia spełniają wymagania w zakresie jakości masy i oszczędności w instalacji bielenia i powodują, że proces bielenia ma mały wpływ na środowisko.

Bielenie ECF prowadzone jest inaczej dla drewna iglastego i inaczej dla drewna liściastego. Ogólnie rzecz biorąc, żeby osiągnąć określoną jasność, drewno liściaste wymaga mniejszej ilości chemikaliów niż drzewo iglaste, co zazwyczaj oznacza mniej etapów bielenia.

Przykłady nowoczesnych sekwencji bielenia przedstawiono w Tabeli 3.21. Lista przykładów nie jest wyczerpująca; inne sekwencje bielenia mogą być stosowane lub opracowywane. Wszystkie są kombinacjami etapów i procesów, które mają na celu optymalizację procesu bielenia i produkcję najwyższej jakości masy (w zależności od gatunku i przeznaczenia) oraz optymalizację wpływu wywieranego przez proces poprzez zmniejszenie zużycia energii i wody oraz wpływu ścieków.

**Tabela 3. 21 Nowoczesne sekwencje bielenia masy celulozowej**

Nowoczesne sekwencje bielenia			
O/OEDDP	O/OADED	O(OPDQ(PO))	OmPZPZP
O/ODED	O/OZEDD	OQ(PO)(DQ)(PO)	O/O(Q)OP(Paa/Q)
O/OEDDD	O/OADPZP	OQXOP/ODEPDP	
O/OADED	O/OZDP	O/O(Q)OPDPO	

Uwagi: Zastosowane skróty:

A = mycie kwaśne w celu usunięcia metali z masy

D = Dwutlenek chloru

E = Ekstrakcja alkaliów

EO = Ekstrakcja alkaliów wzmocniona tlenem

EP = Ekstrakcja alkaliów wzmocniona nadtlaniem wodoru

EOP = Ekstrakcja alkaliów wzmocniona tlenem i nadtlaniem wodoru mP

= Zmodyfikowany nadtlaniek

O = Tlen

P = Nadtlaniek wodoru (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)

Paa = Kwas nadoctowy

Q = Środki

chaletujące X =

Ksylanaza

Z = Ozon

ZD = Ozon i dwutlenek chloru dodane kolejno na tym samym etapie.

Etapy alkaliczne (E) mogą być wzmocniane tlenem lub nadtlaniem albo jednocześnie tlenem i nadtlaniem. Etap tlenowy (O) przebiega zwykle w jednym etapie lub w dwóch etapach. Etap D może być również realizowany zamiast etapu Paa/Q.

Sekwencje bielenia realizowane w nowoczesnych celulozowniach eukaliptusowych przedstawiono w Tabeli 3.22.

**Tabela 3. 22 Nowoczesne sekwencje bielenia w celulozowniach eukaliptusowych**

Celulozownie eukaliptusowe	Sekwencja bielenia
Veracel	AD <sub>0</sub> EOP D <sub>1</sub> P
Aracruz C	AD <sub>0</sub> EOP D <sub>1</sub> D <sub>2</sub>
Ripasa	D <sub>hot</sub> PO D <sub>1</sub>
UPM Fray Bentos	AD EOP D P
Ence-Navia	D <sub>0</sub> EOP D <sub>1</sub>
Valdivia Arauco	D <sub>0</sub> EOP D <sub>1</sub> D <sub>2</sub>
Nueva Aldea	D <sub>hot</sub> EOP D <sub>1</sub> D <sub>2</sub>
Santa Fe CMPC	AD <sub>0</sub> EOP D <sub>1</sub> D <sub>2</sub>

Źródło: [ 73, ASPAPEL/CELPA 2010 ]

### **Etap kwaśny (A)**

Wszystkie masy zawierają kwasy heksenouronowe (HexA), które tworzą się w procesie roztwarzania z ksylanazy. Zawartość HexA w masie z drewna iglastego i liściastego wynosi odpowiednio 20–30 mmol/kg i 40–70 mmol/kg, a w niektórych masach eukaliptusowych nawet do 85 mmol/kg. HexA zużywają chemikalia bielące, takie jak dwutlenek chloru, ozon i kwas nadoctowy.

Około 10 mmol/kg HexA odpowiada jednej liczbie kappa. HexA można usunąć za pomocą łagodnej hydrolizy kwasowej (pH 3–3,5, temperatura 85–95 °C, czas 120–180 minut), dzięki której oszczędza się chemikalia bielące. Skala oszczędności i rentowności ekonomicznej tego procesu (nowa wieża i nowy etap mycia) zależy od zawartości HexA w masie celulozowej i ich redukcji chemikaliami bez strat wydajności i pogorszenia jakości masy [24, Furtado 2001]. Po raz pierwszy cała sekwencja bielenia, w której etap A połączono z bieleniem, została zastosowana w celulozowni Aracruz w 2002 r. (Brazylia), a później także w innych południowoamerykańskich celulozowniach wykorzystujących masy eukaliptusowe o wysokiej zawartości HexA. Etap A jest stosowany bez mycia między stopniami przed fazą dwutlenku chloru (D<sub>0</sub>), lub początkowym etapem ozonowym (Z), ale w tej ostatniej konfiguracji z myciem między stopniami.

**Dwutlenek chloru** ma najwyższą selektywność spośród technicznych chemikaliów bielących. Bielenie tylko dwutlenkiem chloru w pierwszym etapie bielenia oznacza, że całkowity ładunek efektywnego chloru musi zostać zwiększony, a tlen i nadtlaniek wodoru są szerzej stosowane w etapach ekstrakcji.

Od niedawna stosowany jest etap dwutlenku chloru w wysokiej temperaturze (zwykle powyżej 90 °C) z długim czasem przetrzymania (D<sub>hot</sub>), co powoduje szybszą delignifikację. Na tym etapie, dwutlenek chloru pierwszy szybko reaguje z ligniną w masie, a następnie masa jest umieszczana w

kwaśnych warunkach hydrolizy, które powodują usunięcie HexA, tj. przez długi czas (około 2 godziny) w temperaturze powyżej 90 °C i przy niskim pH [20, Pikka 2007].

**Nadtlenek wodoru** może być stosowany w różnych pozycjach, zarówno w ECF, jak i TCF, oraz w sekwencjach bielenia (patrz pkt 3.3.7). Optymalizacja procesu bielenia prowadzona jest w celu uzyskania najlepszej wydajności, zarówno pod względem jakości masy, jak i kosztów bielenia.

**Bielenie ozonem** jest również stosowane podczas bielenia mas ECF i TCF (zob. punkt 3.1.12.2).

Enzymy (np. ksylanazy) są stosowane na skalę przemysłową w celu zwiększenia skuteczności bielenia co najmniej w trzech celulozowniach w Kanadzie. [ 211, Technical University of Denmark and *Novozymes* 2007 ]

### **Główne korzyści środowiskowe**

Bielenie ECF może zredukować 2,3,7,8-TCDD i 2,3,7,8-TCDF do niewykrywalnego poziomu. Jednak całkowite wyeliminowanie dioksyn w ściekach z bielenia ECF zależy od liczby kappa i czystości ClO<sub>2</sub>. Przy wysokiej liczbie kappa i zanieczyszczonym ClO<sub>2</sub> (tj. wysokim stężeniu Cl<sub>2</sub>), prawdopodobieństwo tworzenia się dioksyn wzrasta. Nowoczesne bielenie ECF może także zapobiegać tworzeniu się chlorofenoli i chloroformu i zmniejszać ilość powstających chlorowanych związków organicznych (AOX). Patrz także pkt 3.1.7 „Omówienie nowoczesnego bielenia ECF i bielenia TCF”.

### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Masa celulozowa ECF jest powszechnie produkowana w zakładach w całej Europie. Celulozownie łączą poszczególne etapy i procesy aby zoptymalizować proces bielenia i wyprodukować masę o najlepszej jakości i wydajności (zależy od gatunku i przeznaczenia). Jednak ogólny wpływ procesu bielenia można zmniejszyć dzięki zmniejszeniu zużycia energii i wody oraz wpływu ścieków. Patrz pkt 3.3.8.

Celulozownie ECF, które osiągają niską liczbę kappa, gdy masa wchodzi do instalacji bielenia, i które stosują jeden lub dwa etapy ClO<sub>2</sub> w połączeniu z innymi etapami środków bielących, osiągają poziom chlorowanych substancji <0,2 kg AOX/ADt. Niektóre z tych celulozowni stosują małe wsady dwutlenku chloru i używają terminu „ECF-light” w celu opisanie charakterystyki zakładu, choć termin ten nie został dobrze zdefiniowany w branży.

Więcej danych na temat końcowych ścieków po oczyszczeniu biologicznym przedstawiono w pkt 3.3.13.

### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Brak znaczącego oddziaływania.

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Powszechnie stosowane. W istniejących celulozowniach, ulepszenia strategii bielenia muszą zostać dopasowane do urządzeń procesowych, które nadal będą w użyciu, zostaną przeniesione lub uzupełnione nowymi urządzeniami procesowymi.

### **Aspekty ekonomiczne**

Tabela 3.23 przedstawia koszty operacyjne związane z użyciem najważniejszych chemikaliów bielących dla masy eukaliptusowej (dodatkowe koszty nie są uwzględniane) w ramach szeregu alternatywnych sekwencji bielenia ocenianych dla różnych poziomów jasności masy. Wszystkie wartości kosztów obliczono dla zużycia oszacowanego na podstawie wyników testów laboratoryjnych. Poniższe wartości chemikaliów bielących stanowiły podstawę do obliczenia kosztów operacyjnych: USD 0.342/kg NaOH; USD 0.8/kg ClO<sub>2</sub>, USD 0.08/kg H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; USD 0.75/kg H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; USD 0.1/kg O<sub>2</sub>; USD 1.5/kg O<sub>3</sub>; USD 0.23/kg MgSO<sub>4</sub>.

Tabela 3. 23 Koszty operacyjne związane z użyciem najważniejszych chemikaliów bielących w ramach szeregu alternatywnych sekwencji bielenia ocenianych dla różnych poziomów jasności masy

Alternatywne sekwencje	Koszt chemikaliów bielących, USD/tonę suchej masy z				
	91	92	93	93.5	94
Jasność w suchym powietrzu,					
D(EOP)DP (wartość odniesienia)	26.01	27.15	28.97		
D(EOP)DP (nadmierne mycie)	25.41	25.99	28.06		
D(EOP)D(PO)	20.51	22.49			
Dhot(EOP)DP		19.72	22.16	25.04	
Dhot(EOP)D(PO)		19.01	20.41	20.92	
AhotD(EOP)DP	19.25	19.78	20.95	21.48	
Ahot(ZhcD)(EOP)DP			25.25	26.05	26.61
Ahot(EOP)(ZhcD)P	23.30	26.86	28.19		
AhotZhcDP	17.63	23.80			
(ZmcD)(EOP)DP			24.50	26.40	27.05
ZmcD(EOP)DP			25.16	25.42	26.30
D(EOP)ZhcP	27.17				
D(EOP)(ZhcD)P		21.50	23.40		
Uwagi: Zastosowane skróty: A = mycie kwaśne w celu usunięcia metali z masy D = Dwutlenek chloru EOP = Ekstrakcja alkaliów wzmocniona tlenem i nadtlenkiem wodoru PO = Bielenie nadtlenkiem pod ciśnieniem Q = Środki chelatujące Z = Ozon ZD = Ozon i dwutlenek chloru dodane kolejno na tym samym etapie. hc = wysokie stężenie; mc = średnie stężenie. Źródło: [ 77, Costa et al. 2009 ]					

### Motywacja do wdrożenia techniki

Głównym powodem wdrożenia tej metody jest ograniczenie emisji adsorbowalnych organicznie związanych halogenów do wody (oczyszczalnia ścieków i odbiorca).

### Instalacje referencyjne

Większość instalacji w Europie i na świecie stosuje bielenie ECF. Wiele zakładów zainwestowało w ekologiczne sekwencje bielenia ECF w ciągu ostatniej dekady. [ 78, Hostachy 2010 ] wymienia 21 celulozowni na świecie, które stosują bielenie ozonem np. na liniach produkcyjnych masy włóknistej.

### Bibliografia

[ 20, Pikka 2007 ], [ 24, Furtado 2001 ], [ 72, R.Campo et al. 2009 ], [ 77, Costa et al. 2009 ], [ 78, Hostachy 2010 ], [ 211, Technical University of Denmark and Novozymes 2007 ].

## 3.3.7 Bielenie TCF

### Opis

Bielenie całkowicie wolne od chloru (TCF) jest procesem bielenia masy prowadzonym bez użycia chemikaliów zawierających chlor, dzięki czemu unika się powstawania organicznie związanego chloru w masie i ściekach. Chemikaliami najbardziej powszechnie stosowanymi w bieleniu TCF są nadtlenek wodoru (P) razem z ozonem (Z) lub kwasem nadoctowym (PA). Założywszy, że masa ma dostatecznie niską liczbę kappa po pogłębionym roztwarzaniu i delignifikacji tlenowej, tzn. przed wejściem masy do instalacji bielenia, oraz że metale przejściowe (np.  $Mn^{+2}$ ) zostaną usunięte w koniecznych stopniach chelatowych (stopnie Q), jest możliwe uzyskanie pełnej rynkowej białości masy przy użyciu nadtlenu jako jedynego środka bielącego. Jednakże krzywa przedstawiająca wpływ dawki za pomocą zależności białości w funkcji zużycia nadtlenu jest dość płaska przy górnej białości, co oznacza, że nawet małe



zakłócenia w wejściowej liczbie kappa mogą powodować wysokie koszty bielenia i spadek jakości masy z powodu niskiej białości. Jedną z możliwych opcji obniżenia zużycia nadtlenu wodoru jest wprowadzenie do sekwencji stopnia ozonowego w pozycji przed stopniem nadtlenu (ZQP). Ozon jest również używany podczas bielenia ECF (zob. punkt 3.3.6). Głównym celem stosowania ozonu jest dostarczenie większej siły delignifikującej. Ozon powoduje aktywację włókien na działanie nadtlenu, co skutkuje większą jasnością i mniejszym zużyciem nadtlenu. Ozon jest bardzo skuteczny dla zmniejszenia ilości potrzebnego nadtlenu do otrzymania nawet bardzo wysokich poziomów białości. Niekorzystnym efektem bielenia ozonem jest, że użyty w większych ilościach ma on tendencję do atakowania łańcuchów celulozy (włókien).

Ozon jest wytwarzany za pomocą cichego wyładowania elektrycznego w strumieniu gazowym tlenu. Wybielanie ozonem ( $O_3$ ) wymaga dużych inwestycji, ze względu na wysokie koszty generatorów ozonu i urządzeń pomocniczych do wytwarzania ozonu. Ponieważ stężenie ozonu w tlenie wynosi tylko około 12–16%, wymagane są stosunkowo duże ilości tlenu. Koszty operacyjne są zatem raczej wysokie ze względu na stosunkowo wysoki koszt tlenu (niezbędny do wytwarzania ozonu), a także wysokie zużycie energii. Z drugiej strony, wydajność ozonu jest znacznie większa niż innych chemikaliów bielących (np. ma około dwukrotnie większy potencjał utleniający niż dwutlenek chloru).

Kwasy nadtlenu stają się obecnie dostępne handlowo w postaci, np. kwasu nadoctowego (PA). Ten związek chemiczny do bielenia jest wartościowym uzupełnieniem w stopniu poprzedzającym nadtlenek wodoru, gdzie może on zastąpić ozon. Pozwala na uzyskanie pełnej białości masy nawet wtedy, gdy masa niebielona ma nieco wyższą liczbę kappa. Ujemną stroną stosowania kwasu nadoctowego jest jego ciągle jeszcze wysoka cena.

Przykłady różnych sekwencji bielenia TCF zestawiono w tabeli 3.24.

**Tabela 3. 24** Sekwencje bielenia metodą TCF dla mas celulozowych siarczanowych z drewna iglastego (SW) i liściastego (HW)

TCF/SW	TCF/HW
Q(EP)(EP)(EP)	QPZP
Q(OP)(ZQ)(PO)	Q(OP)(ZQ)(PO)
Q(EOP)Q(PO)	Q(EOP)Q(PO)
Q(OP)ZQ(PO)	Q(OP)ZQ(PO)
Q/OP/(Q+Paa)/PO	O/OZPZP
O/O(Q)OP(Paa/Q)PO	OmPZPZP
Uwagi: Zastosowane skróty: Q = Stopień kwasowy, w którym stosuje się środki chelatujące EDTA lub DTPA w celu usunięcia metali; EP = Stopień ekstrakcji z użyciem NaOH z następnym dodaniem roztworu $H_2O_2$ jako środka wspomagającego; EOP = stopień ekstrakcji alkalicznej za pomocą wodorotlenku sodu z następnym dodaniem tlenu i roztworu nadtlenu wodoru jako środków wspomagających bielenie; EO = Stopień ekstrakcji z użyciem NaOH z następnym dodaniem gazowego tlenu jako środka wspomagającego; P = Stopień alkaliczny z ciekłym $H_2O_2$ Z = bielenie ozonem z zastosowaniem gazowego $O_3$ . PO = ciśnieniowe	

Pierwsza sekwencja bielenia TCF była oparta na zastosowaniu nadtlenu w środowisku alkalicznym i szerokie użycie nadtlenu wodoru jest nadal główną cechą wszystkich sekwencji bielenia metodą TCF. Niektóre jony metali katalizują rozkład nadtlenu, muszą być one usunięte w stopniu kwasowym przed stopniem nadtlenu.

Nadtlenek wodoru może być stosowany w kilku pozycjach lub na kilka różnych sposobów:

- wzmocnienie łagodnego wstępnego stopnia tlenowego (niski lub umiarkowany ładunek): OP
- wzmocnienie stopni ekstrakcji alkalicznej (niski ładunek): EP
- końcowa regulacja białości w wysoko-stężeniowych wieżach magazynowych masy (niski ładunek): P
- samodzielny stopień delignifikacji/bielenia (wysoki ładunek): P
- samodzielny ciśnieniowy stopień delignifikacji/bielenia (wysoki ładunek): PO.

Wstępne działanie na masę odpowiednim środkiem elektrofilowym przed bieleniem nadtlenkowym może „aktywować” włókna i zwiększać ich podatność na działanie nadtlenu. Ozon może wpływać pozytywnie na ten rodzaj oddziaływań.

Ozon stał się najbardziej powszechnym dopełnieniem do nadtlenu w sekwencji bielenia TCF. Głównym celem stosowania ozonu jest dostarczenie większej siły delignifikującej. Ozon powoduje aktywację włókien na działanie nadtlenu wodoru, co daje w wyniku wyższą białość i nieco niższe zużycie nadtlenu wodoru. Z drugiej strony selektywność ozonu jest niska. Nadmierna dawka, zbyt wysoka temperatura lub inne niewłaściwe warunki procesu mogą prowadzić do daleko idącej degradacji celulozy. Zalecane jest stosowanie ozonu w środowisku kwaśnym ( $\text{pH} \approx 2-3$ ). Zbyt wysoka temperatura ( $>70\text{ }^\circ\text{C}$ ) obniża selektywność. Wysokie ciśnienie zwiększa rozpuszczalność ozonu w fazie ciekłej podczas bielenia (uważa się, że rozpuszczony ozon jest mniej agresywny dla węglowodanów niż ozon w fazie gazowej). Stężenie masy jest ważnym parametrem w bieleniu ozonem. Instalacje bielenia ozonem pracują w warunkach średniego stężenia (8–15%) lub wysokiego stężenia ( $>30\%$ ).

Jeżeli stosuje się ozon, niezbędna jest nowa instalacja wytwarzania chemikaliów na miejscu ze względu na szybki rozkład ozonu w transporcie lub magazynowaniu. Koszty operacyjne wytwarzania masy TCF są zazwyczaj nieco wyższe niż dla masy ECF.

### **Główne korzyści środowiskowe**

W bieleniu TCF nie tworzą się związki chloroorganiczne (adsorbowalne organiczne chlorowce AOX). W celulozowniach TCF, wykorzystanie ozonu i innych bezchlorowych chemikaliów bielących sprawia, że zamknięcie strumieni filtratu z etapów mycia jest mniej skomplikowane (patrz pkt 3.3.8). Oprócz usuwania szkodliwych dla środowiska strumieni ścieków, tam gdzie stosowana jest najnowsza technologia, technika ta pozwala również celulozowniom TCF na zmniejszenia zapotrzebowania na wodę świeżą z około  $25-50\text{ m}^3/\text{ADt}$  do  $10-20\text{ m}^3/\text{ADt}$ . Eliminując chlor z procesu bielenia, bielenie TCF również eliminuje ryzyko środowiskowe związane z magazynowaniem chloru i przygotowaniem dwutlenku chloru.

Nowoczesne celulozownie siarczanowe, z ekologicznego punktu widzenia, powinny skupiać się mniej na technikach ECF i TCF a bardziej na łączeniu i poprawie efektywności różnych technik, takich jak zoptymalizowane roztwarzanie, bielenie i mycie, efektywne oczyszczanie ścieków i ogólny wpływ celulozowni na środowisko (surowce, zużycie energii i wody, ścieki). Patrz także pkt 3.1.7 „Dyskusja dotycząca bielenia metodami ECF i TCF”

### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Bielenie TCF jest obecnie ugruntowaną technologią. Wiele celulozowni w Europie ma możliwości produkcji masy TCF w oddzielnych kampaniach, a nie w zależności od zapotrzebowania rynku na masę ECF. Kilka zakładów produkuje tylko masę TCF. Nieco wyższe koszty produkcji i brak poprawy jakości produktu ograniczyły popyt; udział mas TCF nie wzrósł.

Instalacje TCF nie odprowadzają praktycznie żadnych organicznych związków chloru (nie tworzą się podczas bielenia).

### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

W momencie publikacji (2013 r.), nie występowały znaczne różnice w zużyciu chemikaliów i energii między ECF i TCF. Nawet jeśli bielenie zużywa nieco więcej energii, całkowita wydajność energetyczna celulozowni TCF nie jest większa niż celulozowni ECF.

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Powszechnie stosowana w celulozowniach siarczanowych. Bielenie ozonem jest związane z produkcją mas TCF, a w kilku przypadkach jest również stosowane do bielenia ECF.

W istniejących zakładach, aby zmienić sekwencję bielenia ECF na TCF konieczny jest zazwyczaj etap środków chelatujących, nowy etap tlenowy i etap mycia. Jeśli stosuje się etapy nadtlenu wodoru lub ozonu, wykorzystywane są dwie nowe wieże bielące i przebudowane filtry wybielające.

Bielenie ozonem wymaga generatorów ozonu i reaktora.

Nowe zakłady budowane od podstaw wymagają mniej zmian i mniejszych inwestycji, ale koszty operacyjne mogą być tego samego rzędu wielkości.

#### **Aspekty ekonomiczne**

Koszt inwestycji wymaganej do bielenia nadtlakiem w nowych fabrykach o tempie produkcji 1 500 ADt/d to 7–8 mln euro, w istniejących celulozowniach koszty wynoszą 2–5 mln euro w zależności od użytych materiałów z istniejących urządzeń bielących. Jeśli materiały tolerują nadtlak wodoru, koszty wyniosą 2–3 mln euro. Koszty operacyjne związane z bieleniem nadtlakiem są znacznie wyższe niż w bieleniu ECF ze względu na większe koszty chemikaliów, 18–21 mln euro/rok.

Jeśli stosowane jest zarówno bielenie ozonem, jak i nadtlakiem, koszt inwestycji dodatkowo wzrasta. Koszt inwestycji dla systemu bielenia ozonem o wydajności 1 500 ADt/d to 12–15 mln euro. Odpowiednie koszty operacyjne wynoszą wtedy 1,8–2,1 mln euro/rok.

#### **Motywacja do wdrożenia techniki**

Emisje AOX do wody są mniejsze i nie tworzą się związki chloru organicznego podczas bielenia TCF. Od lat 80. wzrosła również społeczna świadomość skutków jakie organicznie związane związki chloru powodują dla środowiska i zdrowia, a działania legislacyjne w tej kwestii w wielu krajach były głównymi czynnikami przemawiającymi za wdrażaniem bielenia TCF. Dzięki wyeliminowaniu powstawania takich związków w procesie bielenia, bielenie TCF pozwala na przestrzeganie przepisów i jednocześnie odpowiada na popyt z rynków świadomych ekologicznie. Ponadto, przyjęcie ostrożnego podejścia do kwestii ochrony środowiska również było motywacją do wdrażania bielenia TCF.

#### **Instalacje referencyjne**

Kilka instalacji w Europie i innych częściach świata, np. SCA Östrands, instalacje Södra Cell w Münsterås, Mörrum i Varo.

#### **Bibliografia**

[ 1, Finnish BAT Report 1997 ], [ 14, CEPI 1997 ], [ 16, CEPI 1998 ], [ 131, SEPA report 1997 ], [ 257, Soedra 2009 ].

### **3.3.8 Częściowy recykling wody technologicznej w instalacji bielenia**

#### **Opis**

Niektóre celulozownie dostosowały swoje technologie bielenia do częściowo zamkniętych obiegów wodnych instalacji bielenia. Filtry z etapów bielenia, które nadają się do recyklingu wody są zawracane do procesu, gdzie woda i chemikalia mogą być użyteczne. Powrót filtratu i punkty recyklingu powinny być dokładnie sprawdzone, aby uniknąć inkrustacji w bieleniu, głównie węglanami i szczawianami.

Warunkiem częściowego zamknięcia instalacji bielenia, tj. recyklingu filtratów do odzysku chemicznego, jest zmniejszenie przepływu wody przez instalację bielenia. Można to osiągnąć prowadząc filtry z bielenia w przeciwnym kierunku z ostatniego etapu bielenia przez urządzenie myjące etapu tlenowego do etapu mycia masy niebielonej. Aby zwiększyć stopień zamknięcia zakładu bielenia konieczne jest zwiększenie pojemności dla wody wewnętrznej i przebudowa systemu dystrybucji wody oraz wydajny sprzęt do mycia masy.

W momencie publikacji (2013), problemy związane z podwyższonym stężeniem substancji organicznych i nieorganicznych (tak zwane elementy pozaprosesowe) w częściowo zamkniętych obiegach wody stanowią główną przeszkodę dla dalszego zmniejszenia zużycia wody w instalacji bielenia.

Problemy związane z zamykaniem obiegu wodnych – nie tylko w instalacji bielienia – są następujące [18, RAIZ 2011].

- Zwiększona zawartość Cl i K w popiele kotła regeneracyjnego powoduje zatykanie i korozję urządzenia. Wymywanie i odparowanie/kryształizacja popiołu kotła regeneracyjnego zostały wdrożone na skalę przemysłową.
- Zwiększona zawartość substancji obojętnej w obiegu wapiennym ze względu na nagromadzenie fosforu w tym obiegu.
- Zwiększone powstawanie osadów i kamienia kotłowego, głównie w urządzeniach do bielienia, ze względu na większe stężenie Ca, Ba, C<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, CO<sub>3</sub> i SO<sub>4</sub> na masach bielonych i filtratach.
- Zwiększone zużycie chemikaliów bielących w wyniku zwiększonego przenoszenia substancji organicznych na masy.
- Zmniejszenie selektywności niektórych czynników utleniających w wyniku podwyższenia stężenia metali przejściowych.
- Pogorszenie jakości masy w wyniku powstania osadów smołowych lub innych.

W masie obecny jest wapń i we wszystkich etapach bielienia tlenowego tworzą się znaczne ilości kwasu szczawowego. Gdy filtrat alkaliczny stosowany jest jako woda myjąca dla masy z etapu kwasowego lub gdy miesza się z kwaśnym filtratem, tam gdzie jest rozpuszczany wapń, istnieje ryzyko, że wytrąci się szczawian wapnia. Prawdopodobieństwo wytrącenia się szczawianu wapnia wzrasta wraz z większym stężeniem wapnia i szczawianu, tj. im bardziej obieg wodny jest zamknięty, lub im bardziej filtry są zawracane, tym większe ryzyko wytrącenia lub powstania kamienia kotłowego. Ten problem wciąż czeka na rozwiązanie. Jest prawie niemożliwe, aby zmniejszyć zrzuty z instalacji bielienia poniżej 10–15 m<sup>3</sup>/ADt.

Dalsze redukcje wody są uzależnione od istnienia skutecznych technologii typu „nerki”, wdrożonych na skalę przemysłową, służących oczyszczaniu obiegu z wapnia, szczawianów lub pierwiastków pozaprocesowych, takich jak K, Cl lub fosfor, które mogą negatywnie wpłynąć na proces bielienia, wyposażenie techniczne, cykl odzyskiwania chemikaliów lub jakość masy.

Następujące procesy funkcjonują jako selektywne technologie typu „nerki” w instalacji bielienia:

- wymiana jonowa na stałym podłożu żywicy;
- wyparowanie;
- filtracja membranowa;
- ługowanie wiórów.

Technologie typu „nerki” nie są jeszcze w pełni rozwinięte i wdrożone na pełną skalę. Nadal funkcjonują jedynie w laboratoriach lub w ramach programów pilotażowych, albo są realizowane jako projekty demonstracyjne. Żadna z dotychczasowych propozycji nie dostarczyła kompletnego i zintegrowanego rozwiązania tego problemu. Na przykład, filtracja membranowa prawie nie ma wpływu na jony, wymiana jonowa nie redukuje substancji organicznych, które są recykulowane w zamkniętych obiegach wody, itd.

Dlatego uważa się, że całkowicie zamknięta instalacja bielienia jest możliwa do realizacji. Jednak możliwe jest przeniesienie filtratów w dwóch strumieniach w przeciwnym kierunku, jednym kwaśnym, drugim zasadowym. Wody alkaliczne mogą być stosowane do mycia masy celulozowej w niebielonej części procesu. Będzie to powodować znaczne zmniejszenie przepływu i zrzutów z instalacji bielienia w porównaniu do konwencjonalnych systemów.

### **Główne korzyści środowiskowe**

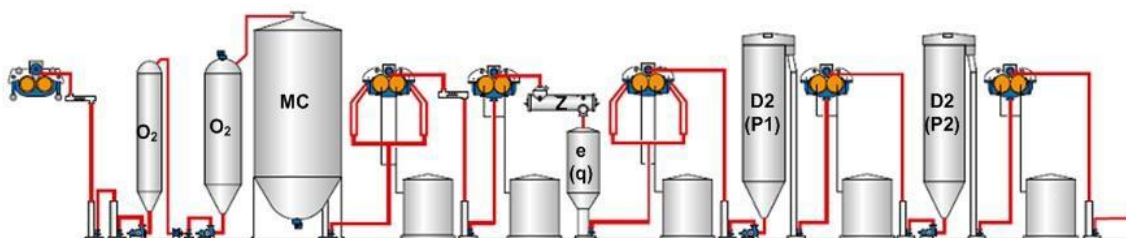
Środek powoduje redukcję ładunku i przepływów ChZT. Wydajność jest uzależniona od gatunku drewna, jakości wody, sekwencji bielienia, urządzeń do mycia i ogólnego projektu procesu.

### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Rysunek 3.34 przedstawia przykład niedawno zmodyfikowanej instalacji bielienia, który została zaprojektowana do przetwarzania bielonej masy celulozowej z drewna iglastego, lub bielonej

masy z drewna liściastego z niskim przepływem ścieków i małymi ładunkami. Chemikalia stosowane podczas delignifikacji tlenowej i etapów ozonowych i materiał usunięty z obszaru mycia masy niebielonej są kompatybilne z układem odzyskiwania ługu czarnego.

Zatem filtrat z prasy myjącej po etapie ozonowym wykorzystywany jest do mycia w przeciuprądzie za pomocą prasy myjącej po etapie tlenowym i za pomocą płuczek masy niebielonej, a następnie jest wysyłany do obszaru odzyskiwania, w celu odparowania i spalania w kotle regeneracyjnym.



Legend:  
 O<sub>2</sub> = Oxygen delignification  
 MC = Medium Consistency  
 Z = Ozone reactor  
 e = Alkaline extraction stage; alternatively (q)  
 (q) = Chelant stage as process alternative (for TCF bleaching)  
 D1 + D2 = Chlorine dioxide stages 1 and 2  
 (P1) + (P2) = Hydrogen peroxide stages 1 and 2 as alternatives  
 Letters in brackets refer to process alternatives to ECF: 'ECF-light' or TCF

Źródło: [ 72, R.Campo et al. 2009 ]

Rysunek 3. 34 Przykład koncepcji instalacji bielenia o małej objętości ścieków i małym ładunkiem ChZT

Legend:	Legenda:
O <sub>2</sub> = Oxygen delignification	O <sub>2</sub> = Delignifikacja tlenowa
MC = Medium Consistency	MC = Średnie stężenie
Z = Ozone reactor	Z = Reaktor ozonowy
e = Alkaline extraction stage; alternatively (q)	e = Etap ekstrakcji alkaliów; alternatywnie (q)
(q) = Chelant stage as process alternative (for TCF bleaching)	(q) = Etap środków chelatujących jako alternatywa dla procesu (w bieleniu TCF)
D1 + D2 = Chlorine dioxide stages 1 and 2	D1 + D2 = Etapy 1 i 2 dwutlenku chloru
(P1) + (P2) = Hydrogen peroxide stages 1 and 2 as alternatives	(P1) + (P2) = Etapy 1 i 2 nadtlenku wodoru jako alternatywy
Letters in brackets refer to process alternatives to ECF: 'ECF-light' or TCF	Litery w nawiasach odnoszą się do alternatyw procesu dla ECF: „ECF-light” lub TCF
Source: [ 72, R.Campo et al. 2009 ]	Źródło: [ 72, R.Campo et al. 2009 ]
MC	MC

W tym przykładzie, całkowita objętość ścieków z instalacji bielenia utrzymuje się na bardzo niskim poziomie, około 6–8 m<sup>3</sup>/ADt dla ECF i 4–6 m<sup>3</sup>/ADt dla TCF, z ładunkiem ChZT wynoszącym odpowiednio około 17 kg/ADt i 18 kg/ADt.

Przepływ ścieków w nowoczesnych instalacjach bielenia ECF z układem mycia w przeciuprądzie zwykle wynosi 15–20 m<sup>3</sup>/ADt. Dalsze zamknięcie filtratów instalacji bielenia powinny być oparte na równowadze pierwiastków pozaprocesowych (NPE), w tym chloru i potasu, bilansu Na/S i bilansu energetycznego instalacji.

Jedna celulozownia TCF w Szwecji osiągnęła przepływ ścieków rzędu 10 m<sup>3</sup>/ADt dla ciągłej produkcji z prasami wodnymi i nośnikiem fluidalngoo biołóża (FBBC) w oczyszczaniu wtórnym.

### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Rozpuszczone substancje organiczne ze ścieków instalacji bielienia są prowadzone przez wyparki do kotła regeneracyjnego. Wymaga to większej pojemności i większego zużycia energii w instalacji parowania. Z drugiej strony, można oszczędzić energię i miejsce przeznaczone na zewnętrzne oczyszczanie i powstaje mniej nadmiarowego osadu.

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Możliwe do zastosowania zarówno w nowych, jak i istniejących instalacjach. Stopień zamknięcia obiegów wodnych w instalacji bielienia zależy także od jakości źródła wody świeżej, rodzaju, liczby i pojemności elementów sprzętu myjącego, zaprojektowanej sekwencji bielienia, oraz, ze względu na oddziaływanie na procesy i środowisko w innych obszarach procesowych, także od pojemności kotła regeneracyjnego zdolnego poradzić sobie z ewentualnymi problemami (np. akumulacja K i Cl w kotle regeneracyjnym). Warunkiem częściowego zamknięcia instalacji bielienia jest wystarczająca wydajność wyparek i kotła regeneracyjnego. Należy zauważyć, że odparowanie ścieków z instalacji bielienia jest łatwiejsze do zastosowania w przypadku bielienia TCF. Ze względów bezpieczeństwa, w przypadku bielienia ECF występuje podwyższone ryzyko korozji chlorkowej w kotle regeneracyjnym na etapie rozbudowy.

### **Aspekty ekonomiczne**

Wymagana znaczna inwestycja. Konieczna przebudowa systemu dystrybucji wody w instalacji bielienia, w tym dodatkowe miejsce na wody wewnętrzne. W niektórych przypadkach konieczne będą inwestycje w zakresie modernizacji lub adaptacji sekwencji bielienia, kontroli i wydajności obiegu wody i instalacji płuczek. Decyzja o wybraniu najlepszej sekwencji do zamknięcia obiegu zależy od osiągniętych wyników bielienia i kosztów operacyjnych. Brak szczegółowych danych o kosztach.

### **Motywacja do wdrożenia techniki**

Wymagania środowiskowe właściwych organów.

### **Przykładowe instalacje**

Celulozownie Södra Cell w Mönsterås, Mörrum i Värö (SE), celulozownia Celtejo, (PT), celulozownie Mercer Stendal i Rosenthal (DE) i wiele innych.

### **Bibliografia**

[ 18, RAIZ 2011 ], [ 72, R.Campo et al. 2009 ], [ 193, Axegård et al. 2003 ].

## **3.3.9 Efektywne monitorowanie i gromadzenie przelewów z odpowiednim systemem odzysku**

Środek ten jest powiązany ze środkami opisanymi w pkt 3.3.12, „Zastosowanie odpowiednio dużych zbiorników buforowych”.

### **Opis i osiągnięte efekty środowiskowe**

Efektywne gromadzenie przelewów jest niezbędne zarówno w przypadku słabego ługu z mycia masy celulozowej niebielonej, jak i w przypadku stężonego ługu z instalacji odparowania, żeby uniknąć przypadkowego uwolnienia stężonych i czasem toksycznych ścieków. Te ługi procesowe mogą powodować szczytowe emisje i czasami zakłócenia w biologicznym oczyszczaniu ścieków.

Ług warzelny jest tracony z uszczelnień urządzeń do mycia masy niebielonej, pomp i zaworów urządzeń do przesyłu ługów, z wylawiaczy sęków i sortowników, w wyniku odprowadzanych do ścieków przerzutów podczas odparowania w wyparce, oraz w wyniku innych umyślnie skierowanych zrzutów podczas konserwacji, uruchamiania i odstawiania instalacji. Ług jest również tracony w przelewach powodowanych zakłóceniami procesu, przelewami ze

zbiorników, uszkodzeniami mechanicznymi, błędami operatora i czynnościami budowlanymi.

System kontroli i zapobiegania przelewowi powinien być projektowany według następujących koncepcji:

- monitorowanie przewodnictwa lub pH w strategicznych miejscach, w celu detekcji strat i przelewów (system kontroli przelewów, który umożliwia zapobieganie i monitorowanie);
- kolektywizacja (zbieranie) skierowanych lub przelanych strumieni łągu o możliwie najwyższym stężeniu suchej substancji;
- zwracanie zatrzymanego łągu i włókien do procesu we właściwe miejsca;
- utrzymywanie pod ścisłą kontrolą wyodrębnionych, krytycznych obszarów procesu (włączając olej talowy i terpentynę) w celu uniknięcia, by stężone lub szkodliwe strumienie dostały się do zewnętrznego oczyszczania ścieków lub zanieczyściły kanalizację czystych wód.

Ogólna koncepcja skutecznego odzysku wymaga również zaadaptowania kanalizacji dla zanieczyszczonych odcieków, tak by większość przelewów, zanieczyszczonych wód uszczelniających lub z mycia posadzek w kluczowych obszarach (warzelnia, mycie i sortowanie, rejon zbiorników łągów i wyparka, przygotowanie łągu warzelnego) była zbierana w studzienkach i pompowana bezpośrednio lub przez pośredni zbiornik do odpowiedniego zbiornika magazynowego łągu. Zastosowanie takiego systemu odzysku musi, ze względów czysto ekonomicznych, być ograniczone do rejonów, gdzie stężenie zmieszanych strumieni odcieków wynosi co najmniej 2–3% rozpuszczonej suchej substancji. Wody z mycia posadzek i uszczelniające rozcieńczają poddawane regeneracji strumienie, więc trzeba uważać, żeby zbyt mocno nie rozcieńczać łągów procesowych.

W pewnych rejonach procesu, takich jak instalacja oleju talowego i odzysk terpentyny, należy zwrócić szczególną uwagę, by uniknąć przelewów odprowadzanych do zewnętrznej oczyszczalni. Mydła i terpentyna zawierają substancje, które mogą powodować toksyczne oddziaływania w oczyszczaniu biologicznym.

Celulozownia siarczanowa z pojedynczym ciągiem włóknistym potrzebowałaby do pięciu studzienek wyposażonych w pompy do odzysku uruchamiane za pomocą miernika przewodnictwa (konduktometrycznego). Umiarkowanie rozbudowane celulozownie wymagałyby do 9, a bardziej skomplikowane do 12 studzienek.

### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Przelewy łągowe i zatrzymania nadmiernych przepływów w procesie, oraz ustanowienie odpowiedniej polityki zarządzania produkcją chemikaliów, okazały się korzystne i konieczne zarówno z ekonomicznego, jak i środowiskowego punktu widzenia. Problem ten został rozwiązany w wielu celulozowniach dzięki zastosowaniu dość prostych metod.

Ogólna analiza wykazała, że dzięki dobremu zarządzaniu procesami, odpowiednio zaprojektowanemu zatrzymaniu przelewów, systemowi odzyskiwania i wydajności instalacji parowania większej o 5–10%, możliwe jest zredukowanie ładunku ścieków o 3–8 kg ChZT/ADt, w porównaniu do celulozowni bez układu odzyskiwania przelewów i o słabej stabilności procesu. Przelewy mogą wynieść mniej niż 2 kg ChZT/ADt.

### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

W celu zagospodarowania zgromadzonych przelewów byłaby potrzebna wyższa o 5–10% pojemność wyparki. Zużycie pary w wyparce również wzrosłoby o 5–10%. Jednakże gromadzenie przelewów oznacza odzysk energii i chemikaliów, gdy są one spalane w kotle regeneracyjnym.

Dodatkowa wydajność i nadmiarowa energia potrzebne są tylko w przypadku zakłóceń w pracy celulozowni, a więc nie w trakcie długich okresów eksploatacji. Jeśli wymagane jest ciągłe nadmiarowe odparowywanie przelewów, wtedy potrzebne urządzenia mogą zostać dołączone do

instalacji odparowującej, bez dodatkowego zużycia pary (jak w celulozowni Kotka, w Finlandii).

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Możliwe do zastosowania zarówno w nowych, jak i istniejących instalacjach. Jednak skuteczny system kontroli przelewów jest łatwiejszy do realizacji w nowoprojektowanych i budowanych instalacjach, niż w modernizowanych celulozowniach.

W przypadku już istniejących instalacji, selektywne zbieranie i ponowne wprowadzanie do procesu jest czasem niemożliwe przy występującym rozmieszczeniu procesów. W takich przypadkach, środki takie jak końcowy przerób zebranych przelewów w oczyszczalni ścieków stanowią alternatywę.

### **Aspekty ekonomiczne**

Koszty inwestycyjne systemów zagospodarowania przelewów w celulozowni siarczanowej produkującej 1500 ADt/d wynoszą 0,8–1,5 mln euro. Jeżeli występuje potrzeba powiększenia pojemności instalacji wyparki o 0,8 m<sup>3</sup>/ADt, trzeba się liczyć z dodatkowym kosztem 4–6 mln euro.

Koszty operacyjne systemu szacuje się na 100 000–400 000 euro/rok, ale mogą one znacznie się różnić dla celulozowni istniejących i nowych.

W nowych celulozowniach z reguły występuje większy nadmiar ciepła i koszty operacyjne stanowią dolną część podanego zakresu.

### **Motywacja do wdrożenia tej techniki:**

Redukcja zrzutów ChZT i nieorganicznych chemikaliów procesowych.

### **Instalacje referencyjne**

Liczne instalacje na świecie.

### **Bibliografia**

[ 140, Protokół Tappi, 1996 ], [ 131, Raport SEPA, 1997 ].



### 3.3.10 Skuteczne mycie masy niebielonej

#### Opis

Żle umyta masa jest transportowana z częścią organicznego i nieorganicznego materiału rozpuszczonego w reakcjach poprzedniego etapu (przenoszenie).

Celem mycia masy niebielonej jest możliwie całkowite oddzielenie włókien masy celulozowej od rozpuszczonych organicznych i nieorganicznych chemikaliów zanim masa wejdzie do instalacji bielenia, w ten sposób odzyskanie możliwie jak największej chemikaliów warzelnych i rozpuszczonych substancji organicznych. W instalacji bielenia, skuteczne mycie jest niezbędne, aby skutecznie usunąć większość rozpuszczonego materiału między etapami bielenia, ponieważ materiał ten będzie zużywał chemikalia w celu jego neutralizacji.

Stopień mycia składa się z kombinacji następujących po sobie procesów rozcieńczania, zagęszczania i wypierania. W praktyce każda kombinacja urządzeń do mycia masy wykorzystuje te metody w różnych proporcjach. Wśród różnorodnych urządzeń do mycia masy najbardziej typowymi są filtry bębnowe próżniowe i ciśnieniowe, urządzenia do mycia typu poczwórnej odwadniarki, dyfuzory działające pod ciśnieniem atmosferycznym i ciśnieniowe oraz prasy myjące. Najlepszą wydajnością odwadniania charakteryzują się prasy myjące oraz ciśnieniowe filtry bębnowe lub ciśnieniowe dyfuzory. Ze wzrostem stężenia masy obniża się ilość zanieczyszczonej wody płynącej z masą do następnego etapu procesu. Mycie masy siarczanowej może być wspierane poprzez zastosowanie gazowego dwutlenku węgla.

Ponieważ mycie nigdy nie jest skuteczne w 100%, pewna ilość chemikaliów i zanieczyszczeń (strata wylotowa - przenoszenie) jest transportowana z masą do instalacji bielenia. Tam zużywa chemikalia bielące, co powoduje wzrost ich zużycia i wyższe emisje.

#### Główne korzyści środowiskowe

Zmniejszone zużycie chemikaliów bielących, zmniejszenie emisji do wody z instalacji bielenia.

#### Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

Straty mycia po konwencjonalnym układzie filtrów bębnowych lub prasach myjących mogą wynosić około 5–10 kg ChZT/ADt, w celu umożliwienia prawidłowego wykonania kolejnych kroków procesu. Pozostałe w masie substancje są zaadsorbowane na włóknach lub zamknięte wewnątrz nich. Porównując filtry i prasy, stężenie wychodzącej masy celulozowej wzrasta z około 10–15% przy użyciu filtrów do 25–35% przy użyciu pras myjących, a zawartość wody obniża się z 6–10 m<sup>3</sup>/ADt do 2–3 m<sup>3</sup>/ADt, podczas gdy zapotrzebowanie na ług myjący zmniejsza się z ok 9 m<sup>3</sup>/ADt do około 4 m<sup>3</sup>/ADt. Poziom przeniesienia ChZT jest bardziej związany z liczbą urządzeń do mycia i ich pracą niż z ich rodzajem (tj. filtr lub prasa). Układ kilku stopni mycia w serii może osiągnąć skuteczność odzysku ługu czarnego do 96–98%.

Gdy skuteczne mycie odbywa się w procesie mycia masy niebielonej, tj. przed stopniem delignifikacji tlenowej, wystąpi obniżenie zużycia tlenu.

Jeżeli skuteczny układ mycia poprzedza pierwszy stopień bielenia, spadnie przenoszenie materiału organicznego do bielenia dając w wyniku redukcję zrzutu AOX i ChZT do kanalizacji zakładowej. Zmniejszenie przenoszenia z etapu mycia między stopniami bielenia powoduje zmniejszenie zużycia chemikaliów w bieleniu.

Przenoszenie, często określane jako „straty mycia”, jest mierzone standaryzowanymi metodami. Straty mycia początkowo mierzone były jako zawartość siarczanu sodu w masie. Ponieważ straty chemikaliów uzupełniających stały się mniej istotne, straty mycia mierzone są zwykle jako ładunek ChZT usuwany w myciu za pomocą SCAN CM-45:00 [36, SCAN 2000] lub podobną metodą.

**Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Brak znaczącego negatywnego oddziaływania.

**Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Środek ten może być stosowany w nowych i istniejących celulozowniach siarczanowych.

Ze względów praktycznych, instalacja pełnego zestawu nowych urządzeń do mycia może być korzystniejsza od modyfikacji istniejącego układu myjącego.

Zamknięty układ mycia zwiększa wagę zbierania przelewów tymczasowych. Odprowadzana ciecz myjąca zawiera substancje organiczne i nieorganiczne. Wody myjące wycofane z procesu są usuwane za pomocą oczyszczania zewnętrznego.

**Aspekty ekonomiczne**

Typowe koszty inwestycyjne wynoszą 4–6 mln euro dla nowych celulozowni i około 2–4 mln euro dla istniejących. Nie potrzeba w tym wypadku zakładać poważniejszych dodatkowych kosztów operacyjnych.

**Motywacja do wdrożenia tej techniki:**

Główną przyczyną wdrożenia metody jest redukcja emisji do wody i redukcja stężenia zanieczyszczeń w masie.

**Instalacje referencyjne**

Liczne instalacje w Europie.

**Bibliografia**

[ 36, SCAN 2000 ], [ 75, Pöyry 1997 ], [ 76, Pöyry 1998 ].

**3.3.11 Odpędzanie zanieczyszczonych kondensatów i ponowne użycie kondensatów w procesie****Opis**

Kondensaty mogą być sklasyfikowane jako:

- kondensaty pierwotne: kondensaty z pary świeżej, które są zwykle wystarczająco czyste do ponownego użycia jako woda zasilająca do kotła (po podczyszczeniu).
- kondensaty wtórne: kondensaty z pary zanieczyszczonej, które zawierają przerzuty ługu czarnego, zawiesiny masy itd. Tylko najbardziej zanieczyszczona część kondensatu jest odpędzana.

Kondensaty pochodzą z oparów procesowych, z warkana i instalacji wyparnej. Ogółem powstaje około 8–10 m<sup>3</sup>/ADt kondensatów z ładunkiem ChZT około 20–30 kg/t i ładunkiem BZT<sub>5</sub> około 7–10 kg/ADt. Zwykle około 1 m<sup>3</sup>/ADt stanowią kondensaty bardzo zanieczyszczone, 4 m<sup>3</sup>/ADt średnio zanieczyszczone i 4 m<sup>3</sup>/ADt mało zanieczyszczone.

Ładunek ChZT tworzą głównie metanol (5–10 kg/ADt) z niewielką ilością etanolu oraz pewna liczba organicznych związków siarki (1–2 kg ADt TRS), 1–2 kg terpentyny i nieorganiczne związki azotawe. Brudne kondensaty zawierają ponadto ketony, terpeny, związki fenolowe, kwasy żywiczne i tłuszczowe oraz różne rozpuszczone gazy. Duża część azotu odprowadzanego z celulozowni siarczanowej jest zawarta w kondensatach.

Okolo 1 m<sup>3</sup> kondensatów na tonę masy ma stężenie ChZT wynoszące 10–20 kg ChZT/m<sup>3</sup>. Poziom ten jest wyższy w kondensatach z masy liściastej niż z iglastej. Te stężone kondensaty są zwykle oczyszczane w kolumnie odpędowej, gdzie skuteczność usuwania większości związków wynosi powyżej 90% zależnie od pH. Systemy odpędzania zwykle usuwają jednocześnie gazy złowne (TRS) i substancje składające się na ładunek ChZT. Odpędzone kondensaty po oczyszczeniu mogą mieć stężenie 1-1,5 kg ChZT/m<sup>3</sup> kondensatu.

Gazy z układu odpędzania mogą zostać doprowadzone do systemu oczyszczania CNCG i odpowiednio przetworzone tj. spalone w wydzielonym palniku, piecu regeneracyjnym lub w piecu wapiennym.

Powstaje około 7–9 m<sup>3</sup> cieńszych kondensatów (średnio i mało zanieczyszczonych) ze stężeniem ChZT w zakresie od 0,5 do 2 kg ChZT/m<sup>3</sup> zawierających ogółem około 8–12 kg ChZT/t masy.

Alternatywnie, umiarkowanie zanieczyszczone kondensaty można odpędzać w instalacji przyłączonej do instalacji wyparki, w ten sposób wykonując oczyszczanie bez istotnego, dodatkowego zużycia energii. Tym sposobem ogólny ładunek ChZT przed ponownym użyciem kondensatów jest zredukowany do około 5 kg/t. Oznacza to obniżenie do około 50% w porównaniu do sytuacji oczyszczania tylko najbardziej zanieczyszczonych kondensatów.

Kolumna odpędowa może być oddzielnym urządzeniem lub może być integralną częścią instalacji wyparki. Kondensaty są doprowadzane do kolumny od góry. Para lub odparowany kondensat przepływa od dołu kolumny w przeciwnym kierunku do brudnych kondensatów. Opary z górnej części kolumny są przesyłane do chłodnicy zwrotnej, gdzie są częściowo skraplane. Celem chłodnicy zwrotnej jest skroplić część wody z oparów i zwiększyć stężenie lotnych związków w gazach opuszczających chłodnicę. Niekondensujące gazy z chłodnicy zawierają większość lotnych związków odpędzonych w kolumnie odpędowej. Są one kierowane do spalania, gdzie związki organiczne i TRS ulegają rozkładowi poprzez utlenianie termiczne.

Oczyszczone kondensaty nie zawierają metali, a zatem są szczególnie użyteczne do mycia masy w instalacji bielenia, gdy planuje się zamknięcie tej części procesu. Mogą one również być ponownie użyte do mycia masy niebielonej w rejonie kaustyzacji (mycie i rozcieńczanie szlamu, natryski filtra szlamu) jako roztwór natryskowy do usuwania emisji TRS z pieców wapiennych lub jako woda uzupełniająca do przygotowania ługu białego. Oznacza to, że niektóre kondensaty będą użyte w zamkniętej części procesu i nie będą odprowadzane do odpadów (ścieków). Inne kondensaty będą zastosowane w otwartej części, np. instalacji bielenia, i zostaną odprowadzone do ścieków razem z tymi kondensatami, które nie są ponownie użyte, lecz odprowadzane bezpośrednio do ścieków.

#### **Główne korzyści środowiskowe**

Zmniejszenie zużycia wody świeżej, redukcja ładunku zanieczyszczeń organicznych do oczyszczalni ścieków, redukcja emisji związków zredukowanej siarki (TRS) i metanolu do atmosfery.

#### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Odpędzanie zanieczyszczonych kondensatów jest stosowane w większości celulozowni. Kiedy proces odpędzania jest prowadzony w kierunku uzyskania wysokiej skuteczności usuwania metanolu, to kondensaty z kolumny są stosunkowo czyste i mogą być wykorzystane w celulozowni do różnych celów, takich jak, np. mycie masy niebielonej (zob. Sekcja 3.3.10).

Podstawą projektowania powinna być minimalizacja ilości kondensatów kierowanych do układu odpędzania poprzez ich segregację w celu obniżenia kosztów inwestycyjnych. W instalacji wyparki kondensat z oparów ługu może być rozdzielony na dwie frakcje. Kondensator powierzchniowy może składać się z dwóch jednostek lub dwóch stopni kondensacji. Opary z wydmuchu warnika okresowego mogą również być skraplane w dwóch stopniach. Jako główne źródło pary do kolumny odpędowej może być stosowana para wtórna.

Najlepszym miejscem do ponownego wykorzystania kondensatów jest etap mycia masy, albo w ostatniej płuczce, albo w instalacji z zamkniętym obiegiem wody. Typowe zapotrzebowanie na wodę do mycia wynosi 10–13 m<sup>3</sup>/ADt. Ilość kondensatów z wyparki i warnika do ponownego wykorzystania może wynieść 6–9 m<sup>3</sup>/ADt, co odpowiada ilości potencjalnych oszczędności wody. W sumie, odpędzanie tylko silnie zanieczyszczonych kondensatów spowodowałoby powstanie ładunku 4–6 kg ChZT/ADt, podczas gdy odpędzanie umiarkowanie zanieczyszczonych kondensatów spowodowałoby powstanie ładunku 3–5 kg ChZT/ADt. Jednak, kondensaty odprowadzane do oczyszczania ścieków w większości łatwo ulegają biodegradacji. Usuwanie TRS z kondensatu jest na poziomie około 97%, a usuwanie metanolu na poziomie 92%.

### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Gdy stosuje się odpędzanie parą, niekondensujące gazy (NCG) muszą być spalane oddzielnie, aby zapobiec wydostaniu się stężonych gazów TRS do atmosfery. Zagadnienie to opisano bardziej szczegółowo w paragrafach 3.3.16.2 i 3.3.16.3.

Odpędzanie stężonych, zanieczyszczonych kondensatów powoduje obniżenie ładunku zanieczyszczeń odprowadzanych do oczyszczalni ścieków. Jeżeli występują trudności ze spełnieniem pozwolenia, to można w ten sposób uniknąć konieczności nowych inwestycji w oczyszczalni ścieków. Oznacza to również, że potrzeba mniej energii do napowietrzania ścieków i mniej energii, i chemikaliów do utylizacji osadu.

Gdy połączy się odzyskane czyste kondensaty i kondensaty oczyszczone przez odpędzanie, to zużycie świeżej wody może zostać zmniejszone do 6 m<sup>3</sup>/ADt. Ponieważ kondensaty są gorące, to można również odzyskać część energii zużytej w kolumnie odpędowej.

Za pomocą odpędzania kondensatów, który to proces usuwa związki TRS z brudnych kondensatów, można obniżyć emisje TRS z instalacji oczyszczania ścieków.

Ponieważ gazy uchodzące z kolumny odpędowej zawierają 8–12 kg/ADt metanolu, występuje potencjalna możliwość oszczędności oleju opałowego lub gazu, pod warunkiem, że gazy z instalacji odpędowej mogą zastąpić paliwo.

Proces odpędzania kondensatów redukuje emisje związków TRS powstające przy operowaniu zanieczyszczonymi kondensatami. Związki TRS obejmują siarkowodór, merkaptan metylu, siarczek dwumetylu i dwusiarczek dwumetylu. Emisje te są częściowo odpowiedzialne za przykry zapach celulozowni siarczanowych.

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki:**

Odpędzanie parą jest stosowaną w praktyce na miejscu w celulozowni siarczanowej metodą oczyszczania brudnych kondensatów w celu obniżenia ładunku ChZT i złowonności. Proces może być zastosowany zarówno w istniejących, jak i nowych celulozowniach siarczanowych. Kolumna odpędowa dla kondensatów może być wydzielona lub zintegrowana z instalacją wyparki. W pierwszym przypadku potrzebna byłaby świeża para, podczas gdy w drugim przypadku może być użyta para wtórna z korpusów (stopni) wyparki. Natomiast potrzebny jest układ do termicznego utleniania oparów z kolumny odpędowej. Do tego celu mogą być użyte piece wapienne, kotły energetyczne i wydzielone piece TRS.

### **Aspekty ekonomiczne**

Koszty inwestycyjne systemu kolumny odpędowej przy produkcji 1500 ADt/d masy celulozowej siarczanowej wynoszą około 2,0–2,5 mln euro. Mogą być potrzebne dodatkowe inwestycje dla zwiększenia wydajności wyparki, ale zależy to w dużym stopniu od istniejącej konfiguracji instalacji wyparnej. Koszty modernizacji mogą wahać się pomiędzy 1–4 mln euro.

Koszty operacyjne odpędzania kondensatów, to głównie koszty stosowanej do odpędzania pary i koszty konserwacji. Jeżeli urządzenie pracuje poza instalacją wyparki, koszty operacyjne są znacznie wyższe z powodu zużycia świeżej pary. Koszty wynoszą około 0,6–0,7 mln euro/rok.

Jeżeli kolumna odpędowa jest włączona pomiędzy stopnie wyparki, koszty operacyjne są niższe i wynoszą 0,3–0,4 mln euro/rok.

### **Motywacja do wdrożenia tej techniki:**

Większość celulozowni siarczanowych w Europie realizuje odpędzanie parą zanieczyszczonych kondensatów z instalacji roztwarzania i odparowania. Odpędzanie zanieczyszczonych kondensatów skutecznie usuwa składniki zapachowe. Odpędzone kondensaty mogą być ponownie wykorzystane w myciu masy celulozowej białej i niebiałej i w procesach kaustyzacji, zmniejszając w ten sposób zużycie wody.

### **Instalacje referencyjne**

Liczne instalacje w Europie.

## Bibliografia

[ 126, Sebbas 1988 ].

### 3.3.12 Zastosowanie wystarczająco dużych zbiorników buforowych do magazynowania stężonych lub gorących płynów procesowych

Ta metoda jest powiązana z metodą omawianą w Sekcji 3.3.9.

#### Opis

W celu zapobiegania niekoniecznym obciążeniom i przypadkowym zakłóceniom w zewnętrznym oczyszczaniu ścieków, procesy roztwarzania oraz regeneracji ługów i brudnych kondensatów powinny być wyposażone w zbiorniki magazynowe o pojemności przewyższającej normalne objętości operacyjne o co najmniej 30%. Dla uniknięcia rozcieńczania regenerowanych płynów procesowych strumienie czyste są przenoszone z obszarów potencjalnych przelewów.

Na sterowanie rozcieńczonymi i stężonymi ługami z produkcji mas siarczanowej lub siarczynowej, szczególnie podczas uruchamiania, zatrzymywania lub w warunkach zakłóceń decydujący wpływ mają objętości zbiorników magazynowych, które są używane. Podstawowe wymagania dotyczące objętości magazynowych są zależne od stężenia ługu mierzonych jako zawartość suchej substancji. Na przykład, w starych celulozowniach stężenie ługu czarnego cienkiego może wynosić 8%, a stężonego 60%, w porównaniu do 16% i 75% w nowoczesnej celulozowni. Oznacza to, że objętości magazynowe muszą być proporcjonalnie znacznie wyższe w celulozowniach o niskiej skuteczności mycia masy niebielonej lub ze standardową wyparką bez koncentratora ługu czarnego.

Wymagana dodatkowa wolna objętość, ponad niezbędną do prowadzenia procesów, musi być wystarczająca do zatrzymania szczytowych przepływów z kilku godzin związanych z zakłóceniami procesowymi. Zapasowa pojemność musi następnie zabezpieczać, by była zmagazynowana wystarczająca ilość ługu cienkiego do ciągłej normalnej pracy wyparki, pomimo krótkich przerw w procesach roztwarzania i mycia, a także, by część wielostopniowej lub jednostopniowej wyparki mogła być odstawiona w celu krótkiej konserwacji. Objętość magazynowa musi być również wystarczająco duża do zmagazynowania dostatecznej ilości ługu stężonego, takiej, by problemy lub krótkie przerwy w pracy kotła mogły być rozwiązywane bez obniżania obciążenia wyparki, lub by wyparka mogła być odstawiona w celu krótkiej konserwacji.

W istniejących celulozowniach, gdzie rozważane jest zastosowanie delignifikacji tlenowej, należy ocenić posiadany magazyn ługów rozcieńczonych i stężonych oraz wydajność wyparki, ponieważ zastosowanie tego rozwiązania najprawdopodobniej zwiększy ilość wody przechodzącej przez wyparkę (do odparowania w wyparce).

Ługi po kotle regeneracyjnym i przetworzone w dodatkowych etapach procesu (kaustyzacja) w ług warzelny nie zawierają substancji organicznych, ale mają bardzo wysoką wartość pH. Zbiorniki tych ługów również wymagają pojemności buforowej ze względu na krótkookresowe wzrosty przepływów lub na przykład przerwy w pracy powiązanych urządzeń procesowych, takich jak filtry ługu. Te ługi, jeżeli są zrzucane do kanalizacji i odprowadzane do oczyszczalni ścieków, powodują nagły wzrost (szok) pH, który, o ile nie ma kontroli i regulacji przed oczyszczaniem biologicznym, powoduje zakłócenia w pracy oczyszczalni.

#### Główne korzyści środowiskowe

Zmniejszenie zrzutów stężonych lub gorących strumieni procesowych w kierunku biologicznego oczyszczania ścieków zapobiega potencjalnym zakłóceniom w aktywnej biomacie i zakłóceniom w działaniu zakładu.

#### Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

Istnieje wiele sposobów rozwiązania problemu przelewów ługowych i zatrzymania nadmiernych przepływów w procesie. Ograniczenia w efektywnym wdrożeniu tych środków pochodzą ze specyficznych dla fabryki „wąskich gardeł” procesu, występujących typowo w myciu masy i sortowaniu lub przy odparowaniu.

Ryzyko zakłóceń w zewnętrznej oczyszczalni zostaje ograniczone, jeśli możliwe jest uniknięcie przypadkowego odprowadzenia strumienia wejściowego o wysokim i czasem toksycznym ładunku organicznym, lub nieustannie wysokim lub niskim pH. Wpływ na obciążenia hydrauliczne nie jest tak wyraźny, z wyjątkiem celulozowni, gdzie układy mycia i sortowania są otwarte.

Czujniki do badania przewodnictwa dostosowane są do wykrywania i oceny przelewów ługowych; w wielu przypadkach można ustalić stężenie korelację między przewodnictwem a stężeniem ługu dla danego strumienia. W strumieniach o niskiej koncentracji i różnym pH, standardowo używany jest czujnik pH on-line.

Gorące strumienie wymagające szczególnego monitorowania w kanalizacji mogą być łatwo monitorowane czujnikami temperatury on-line.

#### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Zmiany w zbiornikach ługów i gorących płynów oraz w sterowaniu systemem kontroli przelewów powodują, że często konieczne są zmiany lub usprawnienia w innym wyposażeniu, szczególnie w procesie mycia masy lub odparowania. Przerób gorących płynów wymaga zużycia 5–10% więcej energii w instalacji wyparnej.

#### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki:**

Optymalizacja koniecznej pojemności magazynowej dla gorących i stężonych strumieni ma zastosowanie w istniejących i nowych celulozowniach. Metody te nie tylko pomagają zatrzymać wartościowe chemikalia procesowe w układzie produkcyjnym i poprawiają aspekty ekonomiczne procesu, ale w znaczący sposób wpływają na wyniki środowiskowe celulozowni. W istniejących celulozowniach rozwiązanie zmierzające do skutecznego zatrzymania strumieni procesowych zależy również od kluczowego wyposażenia. Zatem budowanie buforowych zbiorników magazynowych i systemu zatrzymywania przelewów powinno być robione w powiązaniu z oszacowaniem innych efektywnych kosztowo usprawnień, szczególnie w odniesieniu do mycia i sortowania masy, odparowania i filtrowania ługu.

#### **Aspekty ekonomiczne**

Koszty inwestycyjne przy produkcji masy 1500 ADt/d wynoszą około 0,8–1,0 mln euro za dwa zbiorniki magazynowe 3000 m<sup>3</sup>, włączając w to konieczne rurociągi, izolację i pompy z oprzyrządowaniem elektrycznym służące do kontroli procesu.

Odzyskiwanie stężonych ługów procesowych pozwala na odzyskiwanie paliwa (np. ług czarny) lub chemikaliów wielokrotnego użytku, które mogą znajdować się w tych strumieniach.

#### **Motywacja do wdrożenia tej techniki:**

Rozwiązania te są promowane w związku z zapewnieniem bezpieczeństwa środowiska i procesu.

#### **Instalacje referencyjne**

Liczne instalacje na całym świecie.

#### **Bibliografia**

Brak.

### **3.3.13 Biologiczne oczyszczanie ścieków metodą aerobową**

#### **Opis**

Zob. Sekcja 2.9.11.2.1.

W większości przypadków, ścieki z celulozowni masy siarczanowej i z papierni są oczyszczane metodami aerobowymi. Najczęściej stosowany jest proces osadu czynnego. Niektóre celulozownie stosują ruchome reaktory z łóżem z biofilmem (MBBRs) jako samodzielną technikę lub w połączeniu z instalacjami aktywnego osadu. W kilku przypadkach stosuje się również napowietrzane stawy.

#### **Główne korzyści środowiskowe**

Redukcja emisji substancji organicznych (ChZT, BZT), AOX, fosfor, azot i środki chelatujące do wody.

#### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

W celu ograniczenia emisji, wiele celulozowni siarczanowych opracowuje coraz bardziej zamknięte procesy, w których większość ługów, przelewów i wody myjącej jest odzyskiwana i zwracana do instalacji odzyskiwania, zapobiegając w ten sposób odprowadzaniu substancji chemicznych i stężonych substancji organicznych z wodą technologiczną.

Instalacje osadu czynnego w celulozowniach siarczanowych mają czas retencji wynoszący około 15–48 godzin.

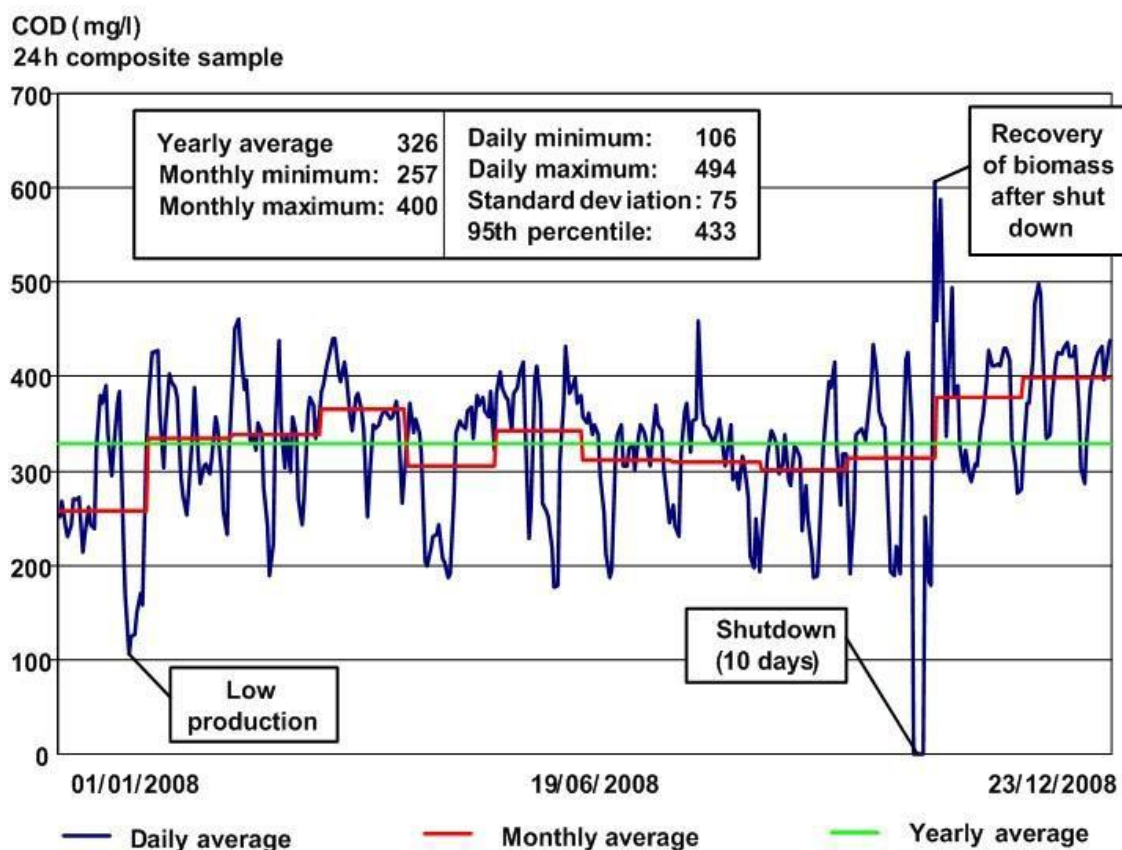
Efektywności oczyszczania są różne i zależą od rodzaju ścieków, zaprojektowanej instalacji i warunków pracy. Typowe wartości mieszczą się w zakresach 85–98% dla usuwania BZT<sub>5</sub> i 65–75% dla usuwania ChZT. Redukcja AOX jest w zakresie 40–65%, a dla fosforu i azotu wynosi odpowiednio 40–85% i 20–50%. Całkowita wydajność usuwania TSS za pomocą oczyszczania pierwotnego i wtórnego wynosi około 85–90%.

W przypadku zakłóceń lub jeśli niektóre z parametrów odchodzą od poziomu docelowego, stężenie BZT w ściekach wzrasta powyżej 25 mg/l. Dostosowanie parametrów operacyjnych i/lub analiza biomasy są odpowiednimi środkami, aby przeciwdziałać temu wzrostowi.

W celulozowniach masy siarczanowej bielonej z etapami bielenia nadtlakiem, stężenia EDTA wynoszące około 50 mg/l (24-godzinne próbki losowe) mierzone są na wejściu do biologicznej oczyszczalni ścieków. W zależności od konstrukcji i warunków pracy oczyszczalni ścieków, dane wskazują na usuwanie EDTA w przedziale od niemal zera do nawet 90%. Jeśli EDTA jest usuwany, w większości przypadków nie jest jasne, czy zachodzi całkowita degradacja czy zachodzą zmiany w cząsteczce.

#### *a) Bielona masa siarczanowa*

Rysunek 3.35 pokazuje różnice w średnich dziennych wartościach emisji dla celulozowni produkującej białą masę z drewna iglastego w okresie jednego roku. Rysunek przedstawia wydajność dwuetapowego ruchomego reaktora z łóżem z biofilmem, oraz instalacji osadu aktywnego z niskim ładunkiem (ładunek osadu: <0,1 kg BZT<sub>5</sub>/kg DS<sub>org</sub>), która oczyszcza ścieki z celulozowni. Stężenie zrzutu ChZT zostało przedstawione dla trzech różnych okresów odniesienia (dzień/miesiąc/rok). Przykładem jest celulozownia, która wdrożyła wszystkie techniki BAT związane ze ściekami i zintegrowane z procesami, i która posiada dobrze zaprojektowaną i zarządzaną biologiczną oczyszczalnię ścieków. Przepływ w ciągu roku sprawozdawczego wynosił średnio 26 m<sup>3</sup>/ADt.



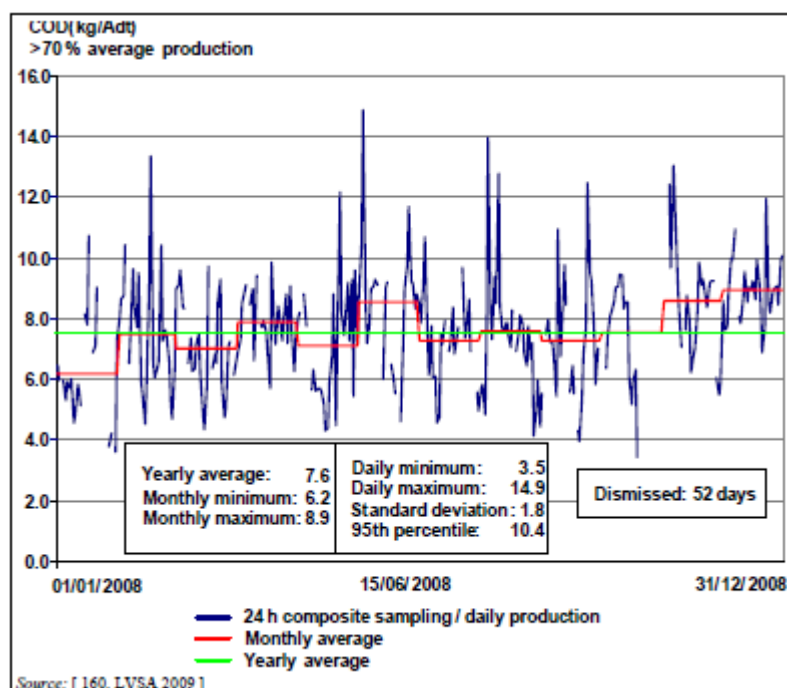
Źródło: [ 160, LVSA 2009 ]

Rysunek 3. 35 Stężenie ChZT w ściekach z celulozowni masy siarczanowej bielonej po oczyszczeniu biologicznym dla różnych okresów odniesienia

COD(mg/l)	ChZT (mg/l)
24h composite sample	24-godzinne próbki losowe
Yearly average 326 Monthly minimum: 257	Średnia roczna 326 Minimum miesięczne: 257
Monthly maximum: 400	Maksimum miesięczne: 400
Daily minimum: 106	Minimum dzienne: 106
Daily maximum: 494	Maksimum dzienne: 494
Standard deviation: 75 95th percentile: 433	Odchylenie standardowe: 75 95 percentyl: 433
Recovery of biomass after shut down	Odzyskiwanie biomasy po zamknięciu
Low production	Niska produkcja
Shutdown (10 days)	Zamknięcie (10 dni)
Daily average	Średnia dzienna
Monthly average	Średnia miesięczna
Yearly average	Średnia roczna
Source: [ 160, LVSA 2009 ]	Źródło: [ 160, LVSA 2009 ]



W branży celulozowo-papierniczej, powszechne jest wykorzystywanie dziennego ładunku ChZT (kg ChZT/dzień) i dziennej produkcji netto (tony suchej masy celulozowej/dzień) do obliczania konkretnych ładunków ChZT (kg ChZT/ADT). Ładunki ChZT dla całego roku zostały pokazane na Rysunku 3.36 przedstawiającym średnie dla okresów rocznego, miesięcznych i dziennych. Należy zauważyć, że w przypadku obliczania średnich wartości dziennych, dni, w których produkcja była znacznie poniżej średniej rocznej (<70% średniej rocznej) nie zostały uwzględnione, aby zmniejszyć prawdopodobieństwo wystąpienia mylącego efektu matematycznego wynikającego z dzielenia podobnych dziennych emisji ChZT przez relatywnie niższy mianownik (zmniejszenie produkcji netto). Nieuwzględnienie tego efektu może prowadzić do niewłaściwych wniosków dotyczących stałości rzeczywistej wydajności instalacji. Dla średnich rocznych i miesięcznych, efekt ten nie ma znaczenia.



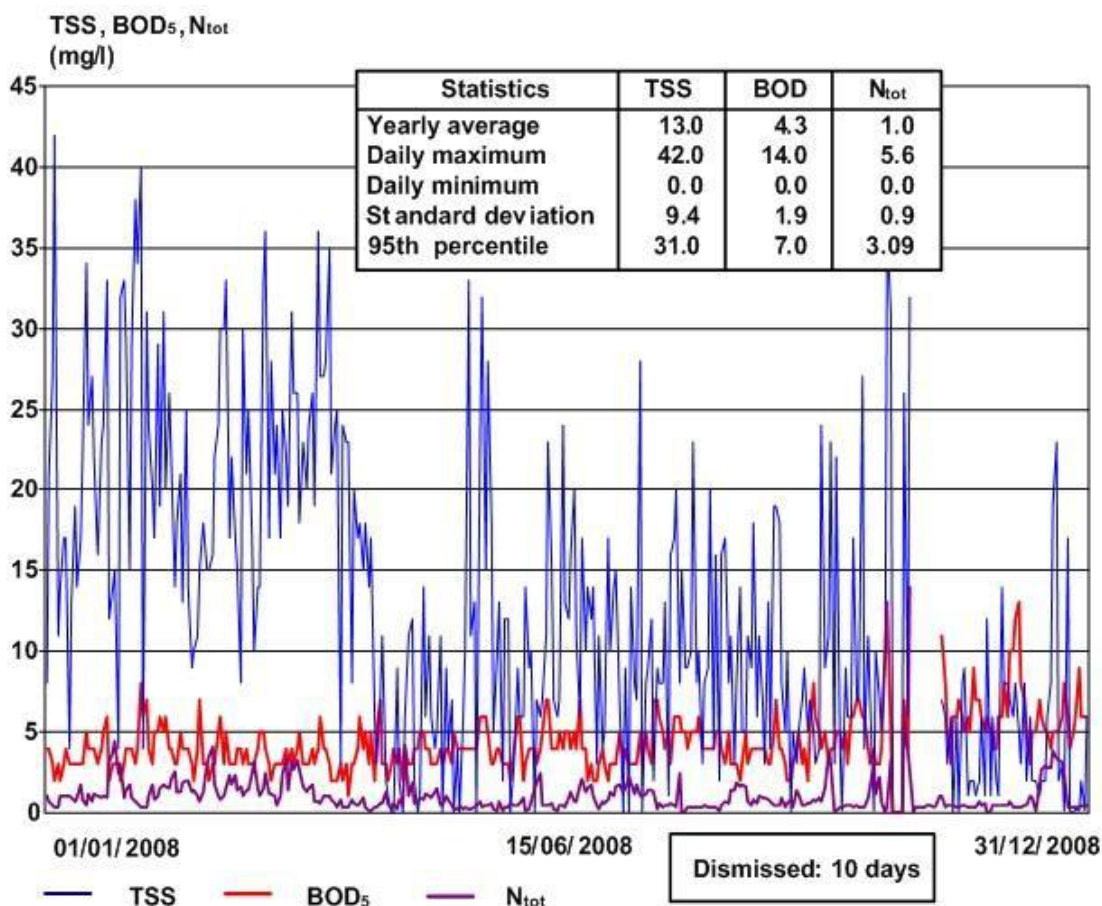
Źródło: [160, LVSA 2009]

Rysunek 3. 36 Ładunek ChZT w ściekach z celulozowni masy siarczanowej bielonej po oczyszczeniu biologicznym dla różnych okresów odniesienia

COD(kg/Adt)	ChZT (kg/Adt)
1q> 70 % average production	> 70 % średniej produkcji
Yearly average: 7,6	Średnia roczna: 7.6
Monthly minimum: 6.2	Minimum miesięczne: 6.2
Monthly maximum: 8.9	Maksimum miesięczne: 8.9
Daily minimum : 3.5	Minimum dzienne: 3.5
Daily maximum: 14.9	Maksimum dzienne: 14.9
Standard deviation : 1.8	Odchylenie standardowe: 1.8
95th percentile: 10.4	95 percentyl: 10.4
Dismissed: 52 days	Zakończenie: 52 dni
24 h composite sampling / daily production	24 godz. próbka losowa / produkcja dzienna
Monthly average	Średnia miesięczna
Yearly average	Średnia roczna
Source: [160, LVSA 2009]	Źródło: [160, LVSA 2009]

W tym przypadku, oczyszczalnia pracuje w warunkach ograniczenia składników odżywczych z dopływowym stosunkiem BZT<sub>5</sub>:N:P: wynoszącym 100:0,5:0,1 (umownie BZT<sub>5</sub>:N:P = 100:3–5:0,5–1). Ograniczenie składników odżywczych nie utrudnia usuwania ChZT, generuje mniej osadu nadmiernego i zapewnia dobrą zdolność osadzania [159, Steube et al. 2005]. W okresach retencji hydraulicznej w ciągu 3 godzin w systemie biofilmu i 8–9 godzin w instalacji osadu

czynnego, w ograniczonych warunkach odżywczych, usuwane jest 98% BZT i 70% ChZT. Zawartość TSS w ściekach jest przeważnie mniejsza niż 25 mg/l. Osiągane są niskie poziomy zrzutów składników odżywczych: średnio rocznie 0,3 mg/l P ogólnego i 1 mg/l N<sub>nieorganicznego</sub>. Rysunek 3.37 przedstawia uzyskane dzienne średnie poziomy stężenia dla N-og, BZT<sub>5</sub> i TSS w ciągu całego roku i obejmuje również ocenę statystyczną. N-og obejmuje tylko związki N<sub>nieorganiczne</sub>.



Źródło: [ 160, LVSA 2009 ]

Rysunek 3. 37 Stężenia TSS, BZT<sub>5</sub>, N<sub>nieorganiczny</sub> w ściekach z celulozowni siarczanowych po oczyszczeniu biologicznym dla różnych okresów odniesienia

TSS, BOD <sub>5</sub> , N <sub>tot</sub> (mg/l)	TSS, BZT, N <sub>og</sub> (mg/l)
Statistics	Dane statystyczne
Yearly average	Średnia roczna
Daily maximum	Maksimum dzienne
Daily minimum	Minimum dzienne
Standard deviation	Odchylenie standardowe
95th percentile	95 percentyl
TSS	TSS
BOD	BZT
N <sub>tot</sub>	N <sub>og</sub>
TSS	TSS
BOD <sub>5</sub>	BZT <sub>5</sub>
N <sub>tot</sub>	N <sub>og</sub>
Dismissed: 10 days	Zakończenie: 10 dni
Source: [ 160, LVSA 2009 ]	Źródło: [ 160, LVSA 2009 ]

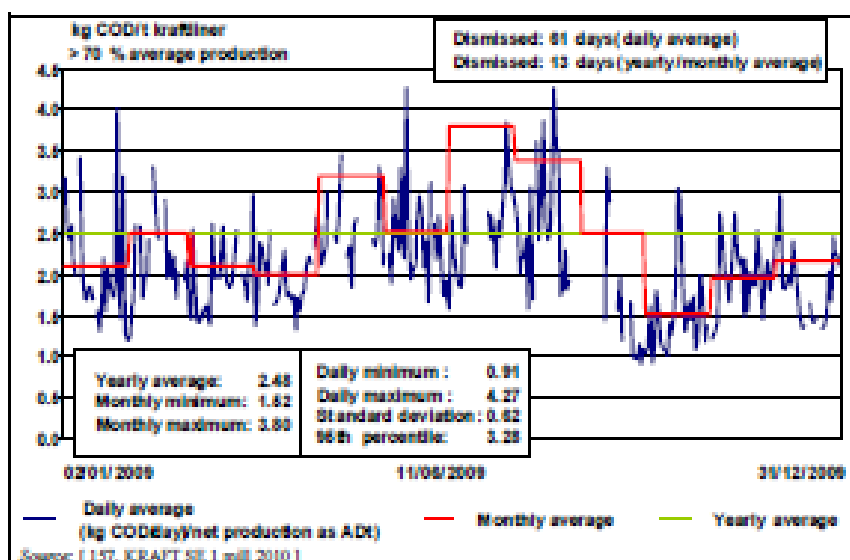
W tym przypadku, ładunek EDTA (dopływ: 34–63 mg/l) zostaje zmniejszony o około 90% lub więcej i osiąga stężenia od 0,4 do 7 mg EDTA/l (średnia w 2008 r.: 1,8 mg/l, mierzona 12 razy w roku, 24 godz. próbkami losowymi; metoda analizy: DIN 38413-3). W dopływie, zmierzono średni ładunek EDTA w wysokości 50 mg/l (24-godz. próbki losowe).

#### b) Niebielona masa siarczanowa

Przykładowy system oczyszczania metodą osadu czynnego niebielonej siarczanowej masy celulozowej został przedstawiony na Rysunku 3.38. Zintegrowana wytwórnia masy celulozowej i papieru, KRAFT SE 1, ma roczną wydajność rzędu 700 000 ton kraftlinera, papieru bazowego używanego w produkcji tektury falistej o wysokiej jakości. Wytwórnia składa się z instalacji siarczanu z dwiema liniami produkcyjnymi masy celulozowej z drewna iglastego, jednej linii

---

produkcyjnej masy celulozowej z drewna liściastego z instalacją bielenia, linii masy włóknistej i dwóch maszyn papierniczych. Ścieki z linii produkcyjnej niebielonej masy celulozowej występują tylko w przypadku problemów operacyjnych. Instalacja masy celulozowej jest całkowicie zamknięta w odniesieniu do przelewów ługu czarnego, tj. cały ług czarny jest przesyłany do odzyskiwania. Innymi źródłami materii organicznej (ChZT) są stopnie korowania, ścieki z instalacji bielenia i przetwarzania papieru dla linii recyklingu. W lipcu i sierpniu, emisje wzrosły powyżej średniej. Część ługu czarnego z przepełnienia cystern magazynujących musiała zostać wysłana do zbiornika awaryjnego skąd stopniowo pompowano ją do biologicznej oczyszczalni ścieków. W ciągu roku, sytuacja ta może być kontrolowana.



Źródło: [ 157. KRAFT SE 1 mill 2010 ]

Rysunek 3. 38 Ładunek ChZT w ściekach z celulozowni masy siarczanowej niebielonej po oczyszczeniu biologicznym dla różnych okresów odniesienia (KRAFT SE 1)

kg COD/t kraftliner > 70 % average production	kg ChZT/t kraftliners > 70 % średniej produkcji
Dismissed: 61 days( daily average)	Zakończenie: 61 dni (średnia dzienna)
Dismissed: 13 days ( yearly/monthly average)	Zakończenie: 13 dni (średnia roczna/miesięczna)
Yearly average: 2.48	Średnia roczna: 2.48
Monthly minimum: 1.52	Minimum miesięczne: 1.52
Monthly maximum: 3.80	Maksimum miesięczne: 3.80
Daily minimum : 0.91	Minimum dzienne: 0.91
Daily maximum: 4.27	Maksimum dzienne: 4.27
Standard deviation: 0.62 95th percentile: 3.28	Odchylenie standardowe: 0.62 95 percentyl: 3.28
Daily average	Średnia dzienna
(kg COD/day)/net production as ADt)	(kg ChZT/dzień)/produkcji netto jako ADt)
Monthly average	Średnia miesięczna
Yearly average	Średnia roczna
Source: [ 157. KRAFT SE 1 mill 2010 ]	Źródło: [ 157. KRAFT SE 1 mill 2010 ]

Tabela 3.25 przedstawia poziomy emisji do wody po biologicznym oczyszczeniu osiągnięte przez dobrze funkcjonujące europejskie celulozownie siarczanowe. Celulozownie te wdrożyły połączenie technik zintegrowanych z procesem opisanych w pkt 3.3.2–3.3.12 oraz oczyszczanie pierwotne i skuteczne oczyszczanie biologiczne. Skuteczność oczyszczania dla tych przykładów wynosi około 70% dla ChZT. Biologiczne oczyszczalnie są zwykle projektowane i eksploatowane głównie jako instalacje osadu czynnego z niskim ładunkiem (lub porównywalne systemy, np. MBBR), z ładunkiem osadu poniżej 0,15 kg BZT/kg MLSS dziennie i typowym czasem retencji w zbiorniku napowietrzonym od około 14 godzin do 2 dni. Lista instalacji stanowi wybór zakładów, dla których dane były dostępne lub zostały dostarczone, a więc nie jest kompletna. Więcej przykładów można znaleźć w pkt 3.2.2.5.3. W Szwecji i Finlandii wartości BZT są podawane jako BZT<sub>7</sub>. Wszystkie wartości są średnimi wartościami rocznymi. Kilka instalacji dokonuje pomiarów całkowitego węgla organicznego (TOC), jako zamiennika dla parametru ChZT, lub dodatkowo. Jeśli są dostępne, wartości TOC podano w tabeli w nawiasach kwadratowych. Wartości zostały przedstawione oddzielnie dla celulozowni masy siarczanowej bielonej i niebielonej. Wskazano również rodzaj drewna użytego do roztwarzania.

Tabela 3. 25 Poziomy emisji do wody po biologicznym oczyszczeniu w przykładowych europejskich celulozowniach siarczanowych

Przykładowa instalacja (źródło danych)	ChZT [TOC] (kg/ADt) i (mg/l)	BZT5 lub 7 (kg/ADt) i (mg/l)	TSS GF/A (kg/ADt) i (mg/l)	AOX (kg/ADt) i (mg/l)	N-og (g/ADt) i (mg/l)	P-og (g/ADt) i (mg/l)	Przepływ (m <sup>3</sup> /ADt)	Rodzaj oczyszczania	Uwagi
<b>Bielona masa siarczanowa</b>									
Södra Cell AB, Mönsterås Bruk (Szwedzkie dane statystyczne, 2007)	8 (286)	0.9 (32)	0.3 (11)	BD	57 (0 2.0)	9 (0.3)	28	Osad czynny z długim czasem retencji (> 2 d)	Bielona masa towarowa TCF z drewna iglastego/liściastego
Zellstoff Pöls AG (Raport środowiskowy, 2008)	9.2 [3.9] (250) [106]	0.45 (12)	0.52 (14)	0.11 (3.0)	57 (1.5)	32 (1.3)	36.8	Osad czynny z 14 godz. czasem retencji	Bielona masa towarowa ECF z drewna iglastego
Zellstoff Stendal (Kwestionariusz, 2007)	7.6 (247)	0.15 (5)	0.5 (16)	0.05 (1)	100 (1)	20 (2)	31	Dwustopniowa metoda osadu czynnego	Bielona masa towarowa ECF i TCF z drewna iglastego
Zellstoff- und Papierfabrik Rosenthal (Kwestionariusz 2007)	6.5 (245)	0.11 (5)	0.3 (12)	0.03 (1.0)	10 (0.27)	10 (0.3)	26.5	Aktywny osad	Bielona masa towarowa ECF i TCF z drewna iglastego
Stora Enso Enocell (Fińskie dane statystyczne, 2006)	14 (378)	0.2 (5)	0.3 (8)	0.19 (5.1)	70 (0.2)	4 (0.1)	37	Aktywny osad	Bielona masa towarowa ECF i TCFz drewna iglastego/liściastego
Oy Metsä-Botnia Ab, Rauma mill (Kwestionariusz, 2009)	11.2 (401)	0.38 (14)	0.32 (12)	0.16 (5.7)	50 (1.8)	7 (0.2)	27.9	Aktywny osad	Masa towarowa ECF
Metsä-Botnia Joutseno, (Fińskie dane statystyczne, 2006)	11 (250)	0.2 (5)	0.2 (5)	0.16 (3.6)	120 (2.7)	6 (0.1)	44	Aktywny osad	Bielona masa ECF z drewna iglastego
Södra Cell Värö (Kwestionariusz, 2009)	[4.2] [223]	BD	BD	BD	130 (6.9)	8 (0.4)	18.8	Aktywny osad	Bielona masa towarowa TCF z drewna iglastego/liściastego
Celulose Beira Industrial (Celbi), Figueira da Foz (Kwestionariusz, 2009)	8.2 [2.6] (214) [68]	0.5 (13)	0.8 (21)	0.04 (1.0)	160 (4.2)	110 (2.9)	38.4	Aktywny osad	Bielona masa towarowa ECF z drewna eukaliptusowego
Portucel – Setúbal (Kwestionariusz, 2009)	5.1 (259)	0.23 (12)	0.22 (11)	0.09 (4.6)	40 (2.0)	100 (5.1)	19.7	Aktywny osad	Bielona masa towarowa ECF z drewna eukaliptusowego
Soporcel, Figueira da Foz (Kwestionariusz, 2009)	8.7 (323)	0.5 (19)	0.9 (34)	0.11 (4.1)	110 (4.1)	100 (3.7)	26.9	Aktywny osad	Masa eukaliptusowa ECF do zintegrowanej produkcji (wartości odnoszą się tylko do celulozowni)

Przykładowa instalacja (źródło danych)	ChZT [TOC] (kg/ADt) i (mg/l)	BOD <sub>5</sub> lub 7 (kg/ADt) i (mg/l)	TSS GF/A (kg/ADt) i (mg/l)	AOX (kg/ADt) i (mg/l)	N-og (g/ADt) i (mg/l)	P-og (g/ADt) i (mg/l)	Przepły w (m <sup>3</sup> /ADt)	Rodzaj oczyszczania	Uwagi
<b>Niebielona masa siarczanowa</b>									
Nordic Paper, Bäckhammars Bruk (Szwedzie dane statystyczne, 2007)	4 (87)	1.5 (33)	0.5 (11)	BD	394 (8.6)	6 (0.1)	46	Oczyszczanie biologiczne + strącanie chemiczne (emisja odnosi się tylko masy celulozowej)	Niebielona masa siarczanowa + papier
Portucel, Viana do Castelo (Kwestionariusz, 2009)	2.8 (164)	0.1 (5.8)	0.6 (35)	0.001 (0.05)	90 (5.3)	10 (0.6)	17.1	Osad czynny (wartości odnoszą się do linera/tektury)	Niebielona tektura falista (30% RCF)
KRAFT SE 1 (Szwedzie dane statystyczne, 2007)	2 (105)	BD	0.2 (11)	BD	70 (3.7)	17 (0.9)	19	Osad czynny (wartości odnoszą się do masy celulozowej, w tym przetwarzania RCF)	Bielona i niebielona masa siarczanowa + kraftliner (20% RCF)
Uwagi: BD = brak danych. [ wartość ] = wynik analizy TOC Osad czynny (wartości odnoszą się do masy celulozowej, w tym przetwarzania RCF) Bielona i niebielona masa siarczanowa + kraftliner									

### Oddziaływanie na procesy i środowisko

Aerobowe oczyszczanie biologiczne ścieków zużywa energię (np. aeratory i pompy) i generuje osad, który zwykle wymaga oczyszczenia przed jego wykorzystaniem lub utylizacją.

### Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki

Technika ta może być stosowana w nowych i istniejących zakładach.

### Aspekty ekonomiczne

Inwestycja w nową instalację oczyszczania metodą osadu czynnego to koszt ok. 19–24 mln euro dla celulozowni z produkcją 1 500 ADT/d; dolny zakres skali kosztów dotyczy celulozowni masy siarczanowej niebielonej. Koszty te obejmują także niezbędne pierwotne oczyszczanie i postępowanie z osadem. Odpowiednie koszty operacyjne wynoszą 2,0–2,6 mln euro/rok.

### Motywacja do wdrożenia tej techniki:

Ochrona wód przed substancjami organicznymi, zawiesinami, pożywkami i potencjalnie toksycznymi ściekami. Wymagania prawne. Cele w zakresie jakości wody.

### Instalacje referencyjne

Manya wytwórni masy siarczanowej i papieru w Europie wdrożyło efektywne systemy oczyszczania biologicznego. Wiele instalacji na całym świecie również je stosuje.

### Bibliografia

[ 1, Finnish BAT Report 1997 ], [ 75, Pöyry 1997 ], [ 131, SEPA report 1997 ], [ 157, KRAFT SE 1 mill 2010 ], [ 159, Steube et al. 2005 ], [ 160, LVSA 2009 ], [ EIPPCB Kwestionariusze z lat 2007 i 2009 ], [ Szwedzie dane statystyczne, 2007 ], [ Fińskie dane statystyczne, 2006 ].

## 3.3.14 Trzeci stopień oczyszczania ścieków z chemicznym strącaniem

### Opis

Zob. Sekcja 2.9.11.3.1.

### Główne korzyści środowiskowe

Celem trzeciego stopnia oczyszczania jest przede wszystkim redukcja emisji zanieczyszczeń stałych, rozpuszczonego ChZT częściowo niepodlegającego biodegradacji i fosforu. Redukcja emisji zanieczyszczeń stałych zmniejsza również emisję pożywek z nimi związanych.

Zapobieganie niekorzystnym wpływom tymczasowych przelewów jest dodatkową korzyścią z trzeciego stopnia oczyszczania.

### Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

Brak jest danych na temat emisji, ale w kontrolowanych warunkach testowych możliwe jest usunięcie 30–50% niepodlegającego biodegradacji ChZT z wody oczyszczonej biologicznie w ramach efektywnej i dobrze funkcjonującej koagulacji chemicznej.

Trzeci stopień oczyszczania może być rozsądnym rozwiązaniem, gdy ładunek ścieków zmienia się znacząco w różnych porach roku, a wydajność drugiego stopnia oczyszczania (np. napowietrzane stawy) jest gorsza w porównaniu z dobrze zaprojektowaną i eksploatowaną instalacją osadu czynnego.

W celulozowni SE Varkaus, w ramach trzeciego stopnia oczyszczania osiągnięto następujące redukcje [17, Nurmesniemi 2010]:

- |          |       |
|----------|-------|
| • TSS    | 55 %  |
| • ChZT   | 35 %  |
| • fosfor | 60 %  |
| • azot   | 50 %. |



W celulozowni Varkaus, wszystkie osady są mieszane przed odwodnieniem na prasie śrubowej, a wysuszony osad jest spalany w zakładowej elektrowni.

### Oddziaływanie na procesy i środowisko

Powstaje stosunkowo duża ilość osadów chemicznych, które są trudniejsze do odwodnienia i przetwarzania niż osad biologiczny. Pozostałości aluminium lub żelaza można znaleźć w niskich stężeniach w oczyszczonych ściekach po strącaniu chemicznym.

### Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki

Możliwe do zastosowania w nowych i istniejących zakładach, gdy konieczne jest dalsze usuwanie substancji organicznych, azotu i fosforu.

### Aspekty ekonomiczne

Analiza techniczno-finansowa trzeciego stopnia oczyszczania (instalacja flotacyjna i filtracja piaskowa dla wydajności około 30 000 m<sup>3</sup>/dobę) wskazuje na koszt inwestycji około 6,6 mln euro i koszty operacyjne w wysokości 1,4 mln euro rocznie (poziom cen: ostatni kwartał 2007 r.).

W celulozowni SE Varkaus, koszt inwestycji dla trzeciego stopnia oczyszczania po napowietrzonym stawie był niższy w porównaniu z kosztem modernizacji napowietrzanego stawu w instalacji osadu czynnego [17, Nurmesniemi, 2010].

Ogólne informacje kosztowe dla instalacji flotacyjnej (trzeci stopień oczyszczania) w celulozowni Stora Enso Varkaus, która wyprodukowała około 600 000 t masy celulozowej, papieru i tektury w 2006 roku (nakłady inwestycyjne z 2002 roku) są następujące:

Koszt inwestycji (2002):	5 milion euro,
wymiarowanie instalacji:	2 x 30 000 m <sup>3</sup> /d (dwie
linie) Wchodzące ChZT:	300–600 mg/l
Wchodzące TSS:	50–150 mg/l
Zastosowanie siarczanu glinu:	50–400 mg/l.

Roczne koszty:	0.5 milion euro, 0.025–0.03 euro na m <sup>3</sup> oczyszczanych ścieków
Osad chemiczny:	10 t/d (20% całkowitej ilości osadów).

(jako sucha substancja)

### Motywacja do wdrożenia tej techniki:

Główną motywacją do wdrożenia tej techniki są wymagania określone w zezwoleniach środowiskowych. Zwykle, trzeci stopień oczyszczania jest stosowany, gdy składniki odżywcze, kolor lub ChZT oczyszczanych ścieków muszą zostać zmniejszone poniżej poziomów BAT (np. dla bardzo wrażliwego odbiornika wodnego), lub gdy należy zapobiegać skutkom zakłóceń chwilowych przekroczeń. Jest on również stosowany do poprawy skuteczności oczyszczania ścieków (np. w przypadku napowietrzanych stawów). Niską wydajność redukcji dla fosforu i ChZT w napowietrzanych stawach w okresie zimowym można poprawić.

### Instalacje referencyjne

Oczyszczanie biologiczne oraz flotacja chemiczna ścieków z produkcji masy celulozowej siarczanowej są stosowane w niektórych zakładach w Szwecji, np. Skoghall, Billingfors, Bäckhammar i Iggesund. Kilka celulozowni w Finlandii również stosuje trzeci stopień oczyszczania z flotacją chemiczną (np. SE Varkaus).

### Bibliografia

[ 17, Nurmesniemi 2010 ], [ 67, Hynninen 2008 ].

### 3.3.15 Zbieranie stężonych i rozcieńczonych gazów złownych

#### Opis

W dobrze zaprojektowanych i eksploatowanych systemach poboru gazu możliwe jest zbieranie i prawie całkowite eliminowanie gazów złownych. Zbieranie i spalanie może obejmować więcej niż 99% całkowitej emisji związków siarkowych z procesów produkcyjnych.

Przydatnymi metodami oczyszczania są spalanie w kotle regeneracyjnym (patrz pkt 3.3.16.1), piecu wapiennym (patrz pkt 3.3.16.2) lub oddzielnych palnikach TRS (patrz pkt 3.3.16.3). Ponadto, płuczki używane są do czyszczenia gazów odlotowych ze zbiornika do rozpuszczania lub zmniejszenia emisji SO<sub>2</sub> z oddzielnego palnika TRS, pieca wapiennego lub kotła regeneracyjnego. Przegląd efektywnego rozmieszczenia i funkcjonowania tych systemów poboru gazu znajduje się poniżej.

#### I. Zbierania stężonych gazów złownych

Celem jest zebranie wszystkich stężonych gazów złownych, ponieważ mają one bardzo wysoką zawartość siarki, np. celulozownia wykorzystująca drewno iglaste ma roczną produkcją rzędu 600 000 ADt i uwalnia ponad 1300 ton siarki do atmosfery (około 2–5 kg S/ADt, patrz również pkt 3.2.2.6.4) lub więcej jeśli nie ma odpowiedniego systemu zbierania i oczyszczania stężonych gazów złownych.

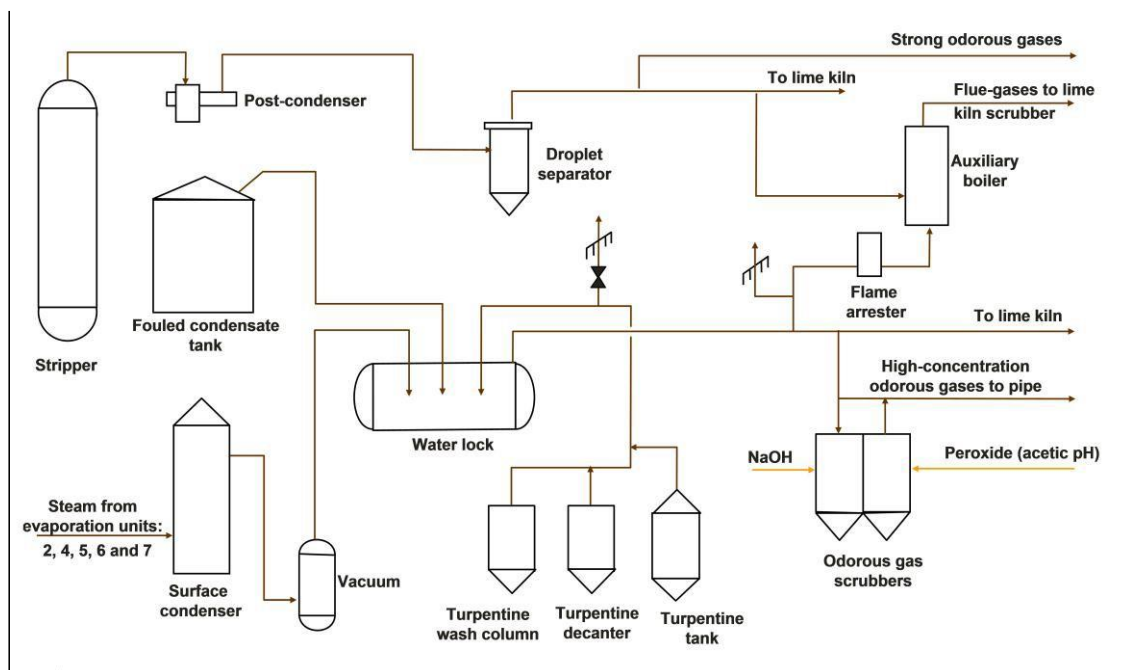
Punkty zbierania silnych gazów na linii produkcyjnej masy włóknistej:

- warniki ze skraplacza pary upustowej
- odstojniki terpentyny
- zbiorniki brudnego kondensatu
- skrubery terpentyny
- zbiorniki terpentyny
- opary ze zbiorników.

Punktem zbierania na linii odzyskiwania chemikaliów jest system brudnego kondensatu, np. zbiorniki brudnego kondensatu (np. z odparowania i kotła regeneracyjnego), instalacja opędowa brudnego kondensatu i jej kondensatory.

Przewody gazowe wyposażone są w śluzy wodne, które kondensują niektóre gazy i zapewniają, że gazy płyną w dobrym kierunku. Wypychacze kierują gazy do spalania (kocioł regeneracyjny, piec wapienny lub oddzielny palnik TRS). Kanały zbierające są wyposażone także w separatory kropel i przerywacze płomienia, które uniemożliwiają cofanie się płomieni w kanałach (ponieważ stężone gazy złowne zawierają dużą ilość palnego gazu).

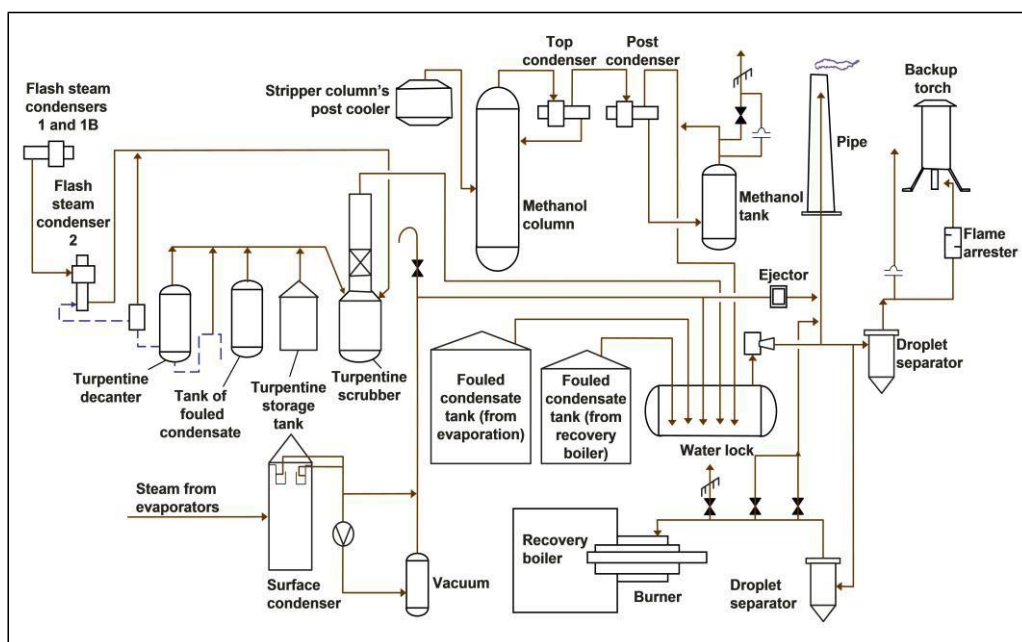
Rysunki 3.39 i 3.40 pokazują dwa różne systemy efektywnego zbierania silnych gazów złownych, w tym główne punktów zbierania, opcje oczyszczania i systemy zapasowe.



Rysunek 3. 39 Systemy oczyszczania i zbierania silnych gazów złowonnych (celulozownia Botnia Rauma)

Post-condenser	Kondensator wtórny
Droplet separator	Separator kropel
To lime kiln	Do pieca wapiennego
Strong odorous gases	Silne gazy złowonne
Flue-gases to lime kiln scrubber	Spaliny do skrubera pieca wapiennego
Auxiliary boiler	Kocioł pomocniczy
Flame arrester	Przerywacz płomienia
To lime kiln	Do pieca wapiennego
High-concentration odorous gases to pipe	Mocno stężone gazy złowonne do rury
Peroxide (acetic pH)	nadtlenek (octowe pH)
NaOH	NaOH
Odorous gas scrubbers	Skrubery gazów złowonnych
Stripper	Instalacja odpędowa
Fouled condensate tank	Zbiornik brudnego kondensatu
Steam from evaporation units: 2, 4, 5, 6 and 7	Para z jednostek parowania: 2, 4, 5, 6 i 7
Surface condenser	Skraplacz
Vacuum	Próżnia
Water lock	Śluza
Turpentine wash column	Kolumna myjąca terpentyny
Turpentine decanter	Odstojnik terpentyny
Turpentine tank	Zbiornik terpentyny

Rysunek 3.40 przedstawia podobny system zbierania i system zapasowy, ale silne gazy do spalania nie są tu wysyłane do pieca wapiennego, ale do kotła regeneracyjnego.



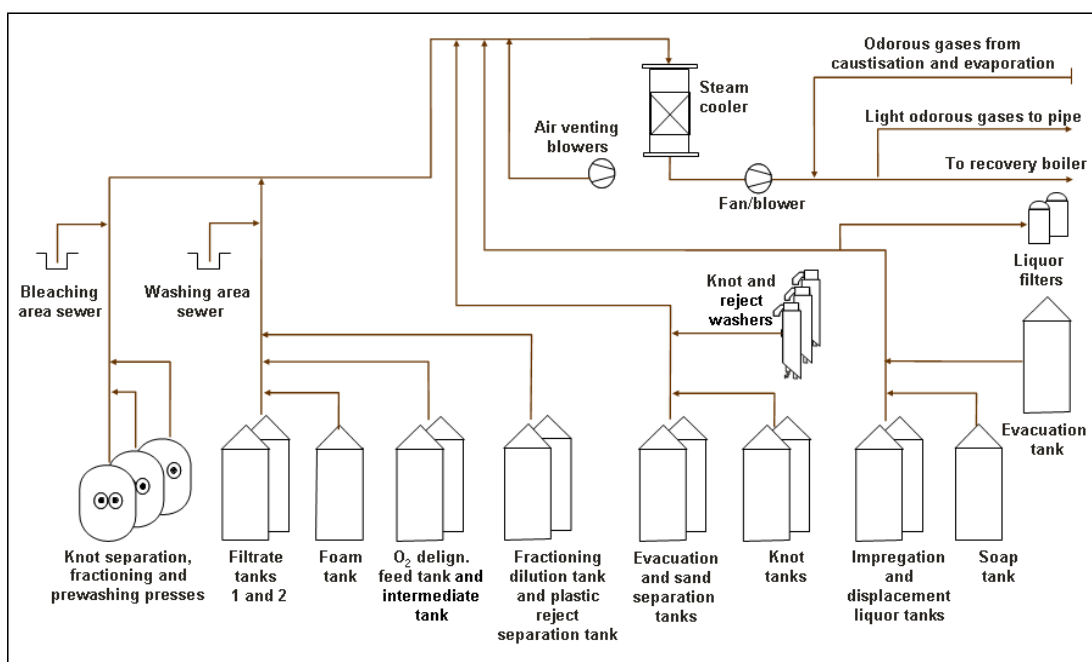
Rysunek 3. 40 Systemy oczyszczania i zbierania silnych gazów złoonych (celulozownia Botnia Joutseno)

Flash steam condensers 1 and 1B	Kondensatory pary upustowej 1 i 1B
Stripper column's post cooler	Chłodnica wtórna kolumny odpędowej
Top condenser	Główny kondensator
Post condenser	Kondensator wtórny
Backup torch	Palnik zapasowy
Pipe	Rura
Methanol tank	Zbiornik metanolu
Flame arrester	Przerywacz płomienia
Droplet separator separator	Separator kropel separator
Methanol column	Kolumna metanolu
Flash steam condenser	Kondensator pary upustowej
Turpentine decanter	Odstojnik terpentyny
Tank of fouled condensate	Zbiornik brudnego kondensatu
Turpentine storage tank	Zbiorniki terpentyny
Turpentine scrubber	Skruber terpentyny
Steam from evaporators	Para z wyparek
Surface   condenser	Skraplacz
Vacuum	Próżnia
Recovery boiler	Kocioł regeneracyjny
Burner	Palnik
Fouled condensate tank (from evaporation)	Zbiornik brudnego kondensatu (z odparowania)
Fouled condensate tank (from recovery boiler)	Zbiornik brudnego kondensatu (z kotła regeneracyjnego)
Water lock	Śluza
Ejector	Wypychacz
Droplet separator	Separator kropel

## II. Zbieranie rozcieńczonych gazów złoonych

Dzięki efektywnym systemom zbierania gazów, prawie wszystkie rozcieńczone lub lekkie gazy złoonne są zbierane z linii produkcyjnej masy włóknistej, z obszaru odzyskiwania chemikaliów i instalacji kaustyzacji.

Punkty zbierania rozcieńczonych gazów złoonych na linii produkcyjnej masy włóknistej zostały schematycznie przedstawione na Rysunku 3.41.



Rysunek 3. 41 Oczyszczanie i zbieranie rozcieńczonych gazów złoźonych na linii produkcyjnej masy włóknistej (celuloźownia Botnia Rauma)

Bleaching area sewer	Kanalizacja obszaru bielenia
Washing area sewer	Kanalizacja obszaru mycia
Knot separation, fractioning and prewashing presses	Oddzielanie sęków, frakcjonowanie i prasy mycia wstępnego
Filtrate tanks 1 and 2	Zbiorniki filtratu 1 i 2
Foam tank	Zbiornik piany
O <sub>2</sub> delign. feed tank and intermediate tank	Zbiornik zasilający delignifikację tlenową i zbiornik pośredniczący
Fractioning dilution tank and plastic reject separation tank	Zbiornik frakcjonowania i rozcieńczenia oraz zbiornik oddzielający odrzuty tworzyw sztucznych
Evacuation and sand separation tanks	Zbiornik opróżniający i zbiornik separatora piasku
Knot tanks	Zbiornik na sęki
Impregation and displacement liquor tanks	Zbiornik impregnacyjny i zbiornik przemieszczonego ługu
Soap tank	Zbiornik na mydło
Evacuation tank	Zbiornik opróżniający
Air venting blowers	Dmuchawy odpowietrzania
Steam cooler	Chłodnica parowa
Odorous gases from caustisation and evaporation	Gazy złoźonne z kaustyzacji i parowania
Light odorous gases to pipe	Słabe gazy złoźonne do rury
To recovery boiler	Do kotła regeneracyjnego
Liquor filters	Filtry ługu
Knot and reject washers	Płuczki sęków i odrzutów

a) Punkty zbierania na linii produkcyjnej masy włóknistej

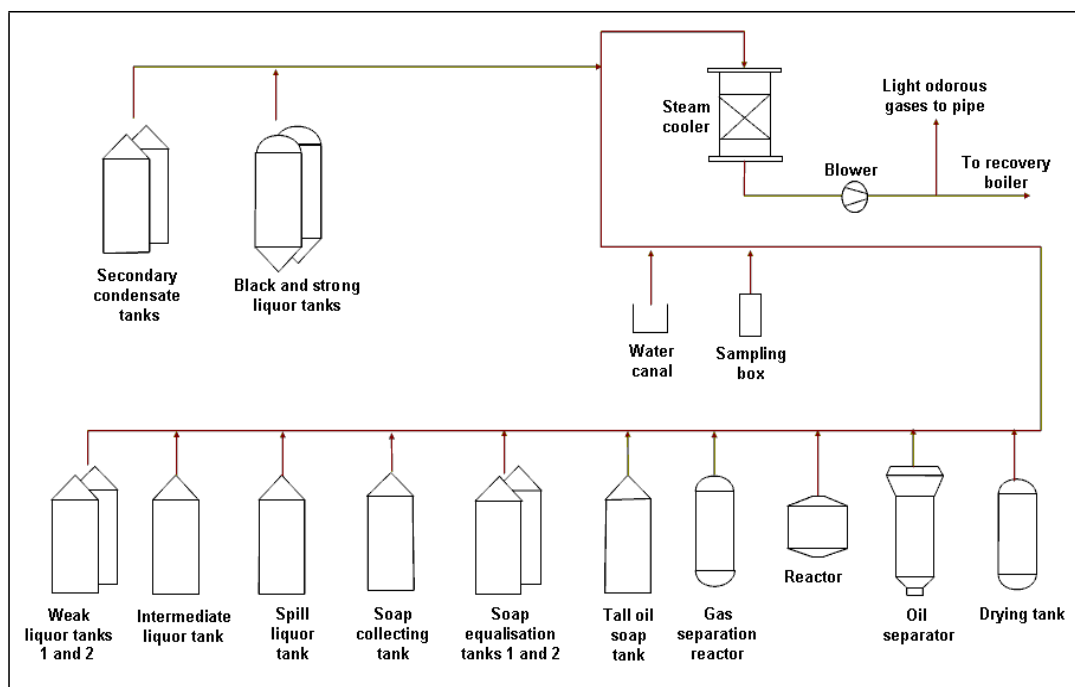
Punktami zbierania na linii produkcyjnej masy włóknistej są: obszar warnika, urządzenia myjące dla masy niebielonej (np. dyfuzor, prasy myjące podkładkami lub płuczki przemieszczonego ługu), zbiorniki spryskiwaczy, zbiorniki filtratów, zbiornik mytego ługu, zbiornika na sęki, zbiornik zasilający do delignifikacji tlenowej i zbiorniki ługu. Wszystkie te źródła emisji są podłączone do systemu zbierania słabych gazów.

Zbieranie kwaśnej pary ze strefy bielenia nie zostało pokazane na Rysunku 3.41, np. z wieź

bielących dwutlenkiem chloru i płuczek lub oparów SO<sub>2</sub> dla eliminacji dwutlenku chloru. W efektywnych systemach, gazy te są zbierane i oczyszczane w oddzielnym skruberze z powodu wysokiej zawartości chlorku, co powoduje duże ryzyko korozji w palnikach.

*b) Punkty zbierania na linii odzyskiwania chemikaliów*

Punkty zbierania z instalacji parowania i obszaru produkcji oleju talowego obejmują dużą liczbę punktów uwalniania gazu ze zbiorników, np. ługu czarnego, ługu stężonego i zbiorników kondensatu, ługu pośredniego, ługu słabego, zbiornika przelewów ługowych i zbiornika mydła oleju talowego, zbiorników wyrównawczych dla mydła i zbiorników oleju talowego i mydła oleju talowego. Inne punkty zbierania to skruber gazu z gotowania oleju talowego, reaktor oleju talowego i separatory oleju. System zbierania gazu został schematycznie pokazany na Rysunku 3.42. Zebrane gazy rozcieńczone są przesyłane do kotła regeneracyjnego jako powietrze do spalania.



Rysunek 3. 42 Zbieranie i oczyszczanie lekkich gazów zlozonych z obszaru parowania i obszaru gotowania oleju talowego (celulozownia Botnia Rauma)

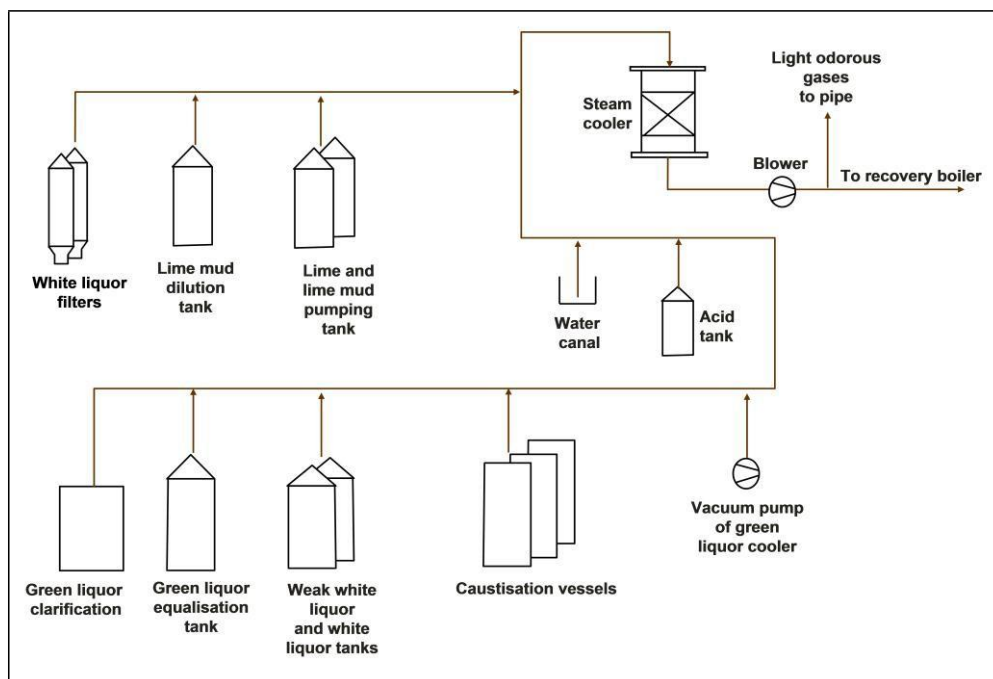
Secondary condensate tanks	Zbiorniki kondensatu wtórnego
Black and strong liquor tanks	Zbiorniki ługu czarnego i ługu stężonego
Steam cooler	Chłodnica parowa
Blower	Dmuchawa
Light odorous gases to pipe	Słabe gazy zlozone do rury
To recovery boiler	Do kotła regeneracyjnego
Water canal	Kanał wodny
Sampling box	Moduł próbkowania
Weak liquor tanks 1 and 2	Zbiorniki 1 i 2 na słaby ług
Intermediate liquor tank	Pośredni zbiornik na ług
Spill liquor tank	Zbiornik przelewów ługowych
Soap collecting tank	Zbiornik na mydło
Soap equalisation tanks 1 and 2	Zbiorniki wyrównawcze 1 i 2 na mydło
Tall oil soap tank	Zbiornik mydła oleju talowego
Gas separation reactor	Reaktor separacji gazu
Reactor	Reaktor
Oil separator	Separator oleju
Drying tank	Zbiornik do suszenia

*c) Punkty zbierania w instalacji kaustyzacji*

Bardzo skuteczny i dokładny system zbierania gazu obejmuje także prawie całkowite zbieranie

wszystkich słabych gazów złowonnych w instalacji kaustyzacji. Opary z kaustyzacji mają niższą zawartość siarki niż inne źródła. Punkty zbierania gazów z obszaru zbiorników instalacji kaustyzacji obejmują: zbiorniki ługu zielonego, filtry osadów ługu zielonego, zbiorniki osadów, filtry ługu zielonego, zbiorniki filtratów ługu zielonego, zbiorniki gorącej wody, etap utleniania ługu zielonego (jeśli istnieje) i jego kondensatory pary, gaśnik wapna i jego płuczkę, płuczkę parową gaśnika, zbiorniki kaustyzacyjne, filtr szlamu wapiennego, zbiorniki ługu białego, zbiorniki szlamu wapiennego, zbiorniki wody rozcieńczającej, zbiornik na kwas, kanał wentylacji i wymiennik ciepła przed piecem wapiennym. Tylko w najnowszych celulozowniach zbierane są wszystkie gazy złowonne o niskim stężeniu z instalacji kaustyzacji. Zazwyczaj, gazy z kaustyzacji mają bardzo niską zawartość siarki złowonnej. Zbieranie gazów z obszaru zbiorników instalacji kaustyzacji jest prawie tak skuteczne jak całościowe zbieranie gazów.

Rysunek 3.43 przedstawia przykład efektywnego systemu zbierania gazu dla słabego stężenia gazów złowonnych z obszaru kaustyzacji (Botnia, Rauma, FI).



Rysunek 3. 43 Zbieranie i oczyszczanie słabych gazów złowonnych z obszaru kaustyzacji (celulozownia Botnia Rauma)

White liquor filters	Filtry ługu białego
Lime mud dilution tank	Zbiornik rozcieńczający szlamu wapiennego
Lime and lime mud pumping tank	Zbiornik pompujący wapno i szlam wapienny
Steam cooler	Chłodnica parowa
Light odorous gases to pipe	Słabe gazy złowonne do rury
Blower	Dmuchała
To recovery boiler	Do kotła regeneracyjnego
Water canal	Kanał wodny
Acid tank	Zbiornik kwasu
Green liquor clarification	Klarowanie ługu zielonego
Green liquor equalisation tank	Zbiornik wyrównawczy ługu zielonego
Weak white liquor and white liquor tanks	Zbiornik słabego ługu białego i zbiornik ługu białego
Caustisation vessels	Zbiorniki kaustyzacyjne
Vacuum pump of green liquor cooler	Pompa próżniowa chłodnicy ługu zielonego

*d) Gazy odlotowe ze zbiornika do rozpuszczania*

Gaz ze zbiornika do rozpuszczania (DTVG) zawiera także duże ilości TRS i cząstek siarki (głównie siarczanów). Gazy odlotowe nie są tradycyjnie klasyfikowane jako gazów niekondensujących. Jednak, jeżeli gaz jest przesyłany do pieca kotła regeneracyjnego, to należy postępować zgodnie z instrukcją dla rozcieńczonych niekondensujących gazów, ze względu na dużą zawartość wilgoci. Często gazy odlotowe są skutecznie oczyszczane tylko przez skrubery. Alternatywnie, DTVG mogą być spalane w niedawno zbudowanych kotłach regeneracyjnych i kotłach dostosowanych do spalania DTVG, po usunięciu wilgoci i zanieczyszczeń pyłowych. Technika ta została zainstalowana w istniejących kotłach regeneracyjnych w celulozowniach Varkaus i Rosenthal (w każdej kosztem ok. 1–2 mln euro – zainstalowanie nowych wentylatorów, chłodnicy, przewodów i separacji kondensatu).

Jeśli DTVG są spalane w kotle regeneracyjnym, wentylator pobiera gazy odlotowe ze zbiornika do rozpuszczania, kondensator redukuje wilgotność gazu, a skrubier zmniejsza liczbę cząstek stałych. Następnie oczyszczony gaz odlotowy jest łączony z nagrzanym powietrzem, a wentylator wydmuchuje tę mieszaninę przewodami do pieca. Alternatywnie, gaz odlotowy może być przesłany przez skrubier i dalej na dach.



### **Główne korzyści środowiskowe**

Sprawny system zbierania i oczyszczania gazu jest niezbędny dla emisji siarki i kontroli zapachu. Ogranicza on przykry zapach w okolicy. Zbieranie gazów złownych ma znaczny wpływ na poprawę jakości powietrza. Celulozownie z zaawansowanym systemem zbierania słabych lub stężonych gazów złownych mogą skrócić czas uciążliwości zapachowych do <1% czasu pracy.

### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Głównym celem jest prawie całkowite zbieranie i oczyszczanie gazów złownych. Ze względu na wysoką zawartość siarki i zapach stężonych gazów złownych, powinny one być zbierane (całkowita wydajność > 99%) i oczyszczane z najwyższą dostępnością (> 97%). Jeśli to konieczne, w przypadku stężonych gazów, systemy zapasowe powinny móc rozpocząć pracę jak najszybciej.

Gazy złowne o niskim stężeniu powinny być zbierane ze wszystkich innych punktów i oczyszczane. Zazwyczaj, gazy złowne o niskim stężeniu nie mają zapasowego systemu oczyszczania, ponieważ ich zapach nie jest tak silny, jak w przypadku uwalniania wyższych stężeń TRS. Wydajne systemy posiadają zautomatyzowany system monitoringu do natychmiastowego wykrywania niepożądanych uwolnień gazów, które są następnie raportowane bezpośrednio do pomieszczenia kontrolnego. Skuteczność zbierania gazów dla rozcieńczonych gazów TRS powinna być wysoka (> 95%), a gazy powinny być odpowiednio oczyszczane. Dostępność systemu oczyszczania dla słabych gazów złownych powinna wynosić ponad 90% czasu pracy. W przeciwnym razie uciążliwość tych emisji dla otoczenia jest znaczna. Emisje siarki są znacznie niższe dzięki wydajnemu systemowi zbierania gazów złownych i ich oczyszczania.

Urządzenia systemu zbierania gazów złownych mają być zgodne z przepisami bezpieczeństwa, dotyczącymi bezpieczeństwa pracy i łatwopalnych cieczy i gazów. Urządzenia muszą być niezawodne, odpowiednio zaprojektowane (np. wydajność dmuchawy wystarczającą do osiągnięcia docelowej wydajności ssania) i obsługiwane przez specjalnie przeszkolony personel. Istotne jest, żeby odpowiednim rozwiązaniom projektowym dla systemów zbierania gazów złownych towarzyszyły prawidłowe i staranne działania operatorów instalacji.

Gazy złowne zawierają znaczną ilość pary wodnej. Zawierają także związki organiczne, które łatwo się skraplają w typowych warunkach pracy. Systemu zbierania gazów należy zaprojektować w taki sposób, aby brudny kondensat mógł być skutecznie usunięty lub oczyszczony. System kondensujący musi być tak zaprojektowany, żeby uniknąć zawracania powietrza (wysychania) podczas usuwania kondensatu także w czasie gdy celulozownia nie pracuje. Wiele wypadków zdarza się podczas rozruchu instalacji lub w wyniku zakłóceń w czasie tworzenia kondensatu i ponownego odparowania.

Konserwacja systemu zbierania gazu jest ważna dla osiągnięcia najlepszej wydajności i dużej dostępności. W systemów zbierania gazów stężonych, przecieki powietrza mogą spowodować rozcieńczenie gazu, a mieszanka gazowo-powietrzna może być potencjalnie wybuchowa. Dlatego kanały gazowe muszą być utrzymywane w idealnym stanie. W kanałach rozcieńczonego gazu problem jest inny: w sytuacjach zakłóceń procesu, gazy mogą gromadzić się w wysokich stężeniach i wchodzić do strefy wybuchowej. W normalnych warunkach pracy, system zbierania słabych gazów złownych pracuje przy niskim ciśnieniu. Niepożądane wycieki należy monitorować w sposób ciągły i automatyczny, np. mini-anemometrami do pomiaru natężenia przepływu w rurach, przełącznikami obiegu i pomiarami zmian temperatury w przypadku uwolnień, itd.

Jedną z najważniejszych kwestii jest wydajność systemu zbierania gazów. Częstym błędem jest ustalenie wymiarów, które są zbyt małe dla kanałów zbierających gaz i urządzeń procesowych, ponieważ zwykle wszystkie celulozownie produkują więcej niż ich początkowa wydajność. Również wydajność dmuchawy musi być wystarczająca, aby utrzymać cały system pod niskim ciśnieniem.

Aby zapewnić wysoką dostępność systemu, śluzy wodne powinny być wystarczająco duże, aby gazy płynęły zgodnie z oczekiwaniami. W przeciwnym przypadku, gazy złowonne mogą wchodzić do niewłaściwych miejsc w procesie lub przechodzić bezpośrednio do powietrza i powodować nieprzyjemny zapach. Poziom wody w śluzach powinien być monitorowany w sposób ciągły.

Skrubery i ich dysze także wymagają nadzorowania i konserwacji, zwłaszcza, gdy biała ług jest stosowany jako ciecz myjąca (biały ług ma wyższą zawartość substancji stałych niż NaOH). Działanie skrubera powinno być monitorowane z wykorzystaniem pomiarów, a redukcja TRS, w zależności od zastosowanego gazu, powinna wynosić co najmniej 50%, ponieważ siarczek dimetylu i disiarczek dimetylu nie są wypłukiwane.

Weryfikacja skuteczności systemu zbierania gazów i godziny pracy, w których słabe gazy są odprowadzane przez komin, mogą zostać dokładnie obliczone w ramach automatyzacji procesów.

### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Skuteczne zbieranie gazów złowonnych (zawierające siarkę) może spowodować brak równowagi w bilansie siarki/sodu. Jeśli w procesie gromadzi się nadmiar siarki, może to wymagać jego usunięcia z procesu, np. przez ługowanie popiołu kotła regeneracyjnego.

Spalanie gazów złowonnych w kotle regeneracyjnych może wpływać na emisje siarki i  $\text{NO}_x$  z kotła regeneracyjnego.

Spalanie gazów zawierających siarkę zmniejsza zawartość węglanów i pH popiołu z elektrofiltra w kotle regeneracyjnym. Dodatkowa siarka w gazach złowonnych jest postrzegana najpierw jako wynik zastąpienia węglanu siarczanem w popiele z elektrofiltra. Gdy zawartość węglanu obniża się, pozostała siarka jest w postaci  $\text{SO}_2$  w gazach wylotowych. Przed podjęciem decyzji o spalaniu gazów złowonnych w kotle regeneracyjnym, wskazane byłoby szczegółowe sprawdzenie wydajności kotła regeneracyjnego dla dodatkowego ładunku siarki. Emisje siarki z kotła regeneracyjnego można zredukować zmniejszając siarczkowość ługu czarnego, przez zwiększenie zawartości DS stężonego ługu czarnego lub przez zastosowanie skrubców.

W warunkach stabilnej pracy, emisje siarki są niskie podczas spalania stężonych gazów złowonnych, pod warunkiem, że zawartość suchej masy w cieczy spalania wynosi co najmniej 72%, a ładunek w ługu jest prawie pełny, o siarczkowości  $\sim 40$ .

Jeśli gazy złowonne są spalane przy częściowym obciążeniu, pH i zawartość węglanu w popiele z elektrofiltra, oraz zawartości  $\text{SO}_2$  w gazach odlotowych należy oceniać indywidualnie. Kocioł pracujący w sposób ciągły przy częściowym obciążeniu wymaga większej zawartości suchej masy niż kocioł pracujący przy obciążeniu nominalnym lub większym, żeby zapewnić bezawaryjną pracę. Jeśli ilość siarki uwalnianej z gazami złowonnymi jest tak duża, że spalanie powoduje emisję  $\text{SO}_2$ , wzrasta podatność kotła na zabrudzenia i korozję spowodowane solami kwaśnego popiołu (niskie pH).

W szczególności, stężone gazy złowonne zawierają związki azotu. Związki te składają się głównie z amoniaku, który jest oddzielany od ługu czarnego w instalacji odparowania. Niektóre z nich powstały w procesie kaustyzacji z azotu, który został wprowadzony do zbiornika do rozpuszczania wraz ze stopem z kotła regeneracyjnego, a następnie zawrócony w procesie roztwarzania do kotła regeneracyjnego. Teoretycznie  $\text{NO}_x$  stanowi około 5–15% całkowitego ładunku, co jednak trudno zweryfikować pomiarami emisji.

Rozcieńczone gazy złowonne stanowią mniej niż 1% emisji  $\text{NO}_x$  z kotła regeneracyjnego. Ich wpływ na ładunek TRS z kotła regeneracyjnego ma znaczenie tylko jeżeli kocioł znajduje się poza normalną strefą pracy, czyli działa z małą wydajnością. Wtedy najwyższy moderator ciągu powietrza z kotła regeneracyjnego może być zbyt zimny żeby spalić TRS.

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Opisane systemy mogą być instalowane w nowych i istniejących zakładach. W wielu starszych zakładach niektóre urządzenia do mycia są typu otwartego. Zbieranie gazów odlotowych z tych źródeł gazów rozcieńczonych wymaga przetworzenia bardzo dużych ilości powietrza, co może być trudne z technicznego i ekonomicznego punktu widzenia.

### **Aspekty ekonomiczne**

W niektórych przypadkach, bardziej złożony rozkład celulozowni może skomplikować zbieranie wszystkich rozcieńczonych gazów złowonnych. Koszt położenia rur i wymagania dla dmuchawy mogą znacząco wzrosnąć w tych przypadkach.

### **Motywacja do wdrożenia tej techniki:**

Usprawnione odzyskiwanie siarki, co przynosi korzyści kosztowe (ale może również spowodować brak równowagi w odniesieniu do kontroli S/Na). Zaawansowane zbieranie gazów złowonnych i ich oczyszczanie poprawia reputację celulozowni siarczanowych oraz zwiększa akceptację dla ich eksploatacji.

### Instalacje referencyjne

Zaawansowane nowoczesne instalacje z systemami zbierania i oczyszczania gazów złownnych podobnego typu jak te opisane powyżej można znaleźć w celulozowniach Botnia Joutseno i Rauma (FI), Heinzl Pöls (UA), Mercer Stendal i Rosenthal (DE).

### Bibliografia

[ 174, M.Ahlroth et al. 2009 ], [ 175, Recovery Boiler Committee 2006 ], [ 176, Hämäläinen 2009 ].

## 3.3.16 Kontrola stężonych i słabych gazów niekondensujących w systemach oczyszczania o wysokiej dostępności

### Wprowadzenie

Kontrola gazów niekondensujących (NCG), które powodują emisję zredukowanych związków siarki, a tym samym nieprzyjemny zapach, została podzielona na oczyszczanie stężonych gazów niekondensujących (CNCG), które zawierają około 2–5 kg TRS/ADt (mierzone jako S), i oczyszczanie rozcieńczonych gazów niekondensujących (DNCG), które zawierają około 0,5 kg TRS/ADt (mierzone jako S). Więcej informacji na temat emisji TRS znajduje się w pkt 3.2.2.6.4.

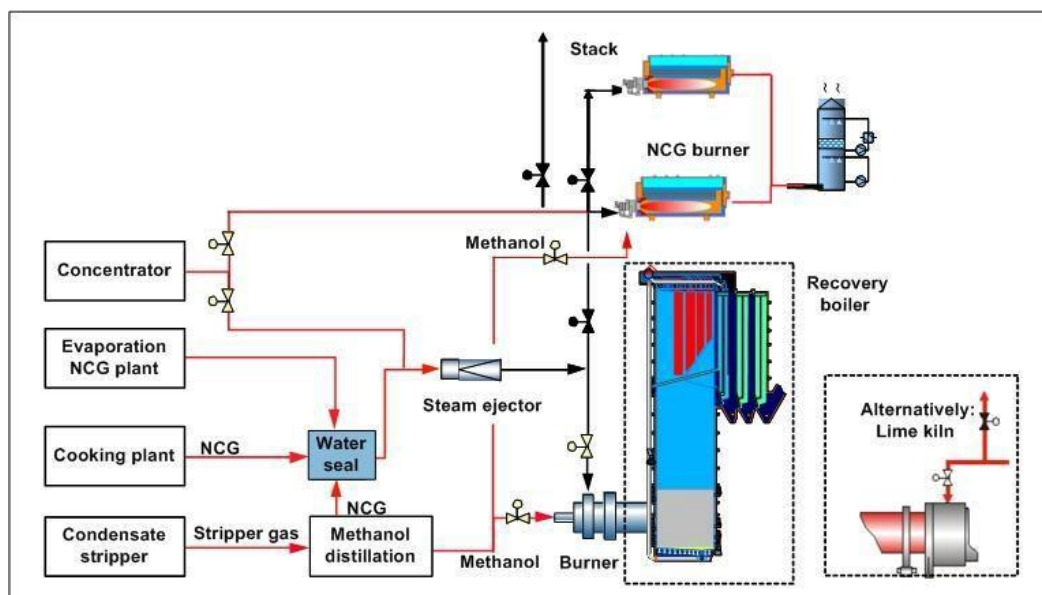
Wysoce skoncentrowane gazy o małej objętości (CNCG) z etapów roztwarzania i parowania powstają na przykład w systemach odzyskiwania terpentyny, kondensatorach ciągłych pary upustowej, zbiornikach brudnego kondensatu, spustach gazów niekondensujących z wyparki i gorących studni, oraz w systemach odzyskiwania ciepła z roztwarzania okresowego zamiast z kondensatów pary upustowej warnika ciągłego.

Gazy o dużej objętości i niskim stężeniu (DNCG) powstają podczas przetwarzania ługu czarnego i białego, mycia masy, oraz w kanałach podłogowych z pozostałościami ługu czarnego lub białego. Głównymi źródłami emisji są urządzenia myjące i sortujące masę niebieloną, zbiorniki masy i cieczy myjącej w instalacji mycia i sortowania, zbiorniki ługu czarnego w instalacji odparowania i zbiorniki ługu białego w instalacji rekaustykacji.

Zbieranie NCG odbywa się za pomocą gazociągów, wypychaczy i dmuchaw do przesyłania gazu (patrz pkt 3.3.15). Należy zapobiegać zakłóceniom działania i usterkom systemowym, monitorować je i rejestrować liczbę i czas trwania awarii.

W przypadku oczyszczania gazów złownnych, dostępne są różne możliwości techniczne: spalanie w kotle regeneracyjnym (patrz pkt 3.3.16.1), piecu wapiennym (patrz pkt 3.3.16.2) lub w specjalnym palniku NCG wyposażonym w skrubler SO<sub>2</sub> (patrz punkt 3.3.16.3).

Schematyczny widok przykładowego systemu oczyszczania CNCG pokazano na Rysunku 3.44, a dla DNCG na Rysunku 3.45. Dla stężonych gazów, system niszczenia gazu zawsze obejmuje systemy zapasowe. Rysunek 3.44 przedstawia przykład, w którym stężone gazy są spalane w kotle regeneracyjnym za pomocą palników NCG jako systemu zapasowego. Alternatywnie, stężone gazy mogą być spalane w piecu wapiennym (także z systemem zapasowym) lub w specjalnym palniku NCG, który w tym przypadku również ma system zapasowy (nie pokazano na Rysunku 3.44).

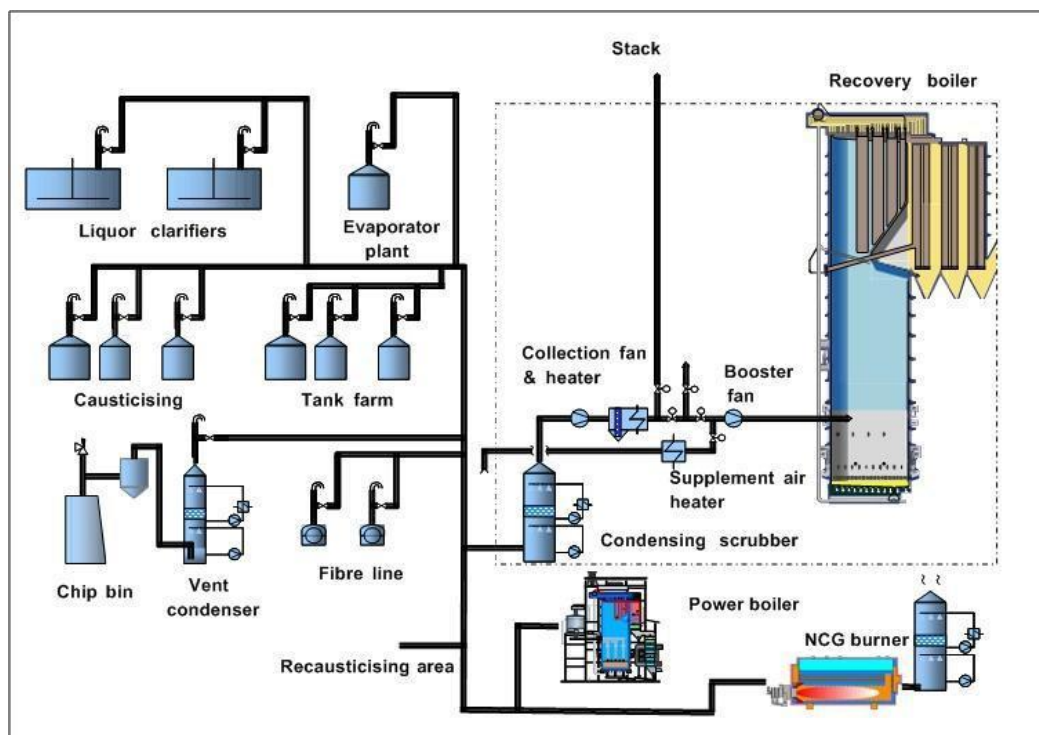


Źródło: [ 32, Vakkilainen 2007 ]

Rysunek 3. 44 Przykład systemu oczyszczania CNCG

Concentrator	Koncentrator
Evaporation NCG plant	Instalacja odparowania NCG
Cooking plant	Wazelnia
NCG	NCG
Condensate stripper	Instalacja odpędowa kondensatu
Stripper gas	Gaz z instalacji odpędowej
Water seal	Zamknięcie wodne
Methanol distillation	Destylacja metanolu
Methanol	Metanol
Steam ejector	Wypychacz pary
Methanol	Metanol
Burner	Palnik
Stack	Komin
NCG burner	Palnik NCG
Recovery boiler	Kocioł regeneracyjny
Alternatively: Lime kiln	Alternatywnie: Piec wapienny
Source: [ 32, Vakkilainen 2007 ]	Źródło: [ 32, Vakkilainen 2007 ]

Rysunek 3.45 przedstawia rozcieńczone NCG zebranych z wielu źródeł, przeznaczone do spalania w kotle regeneracyjnym, a w niektórych przypadkach również w kotłach energetycznych (jeżeli działają), w palnikach NCG, lub w piecu wapiennym (nie pokazano na rysunku). Zwykle dla spalania DNCG nie ma systemów zapasowych.



Rysunek 3. 45 Przykład systemu oczyszczania DNCG

Liquor clarifiers	Klarowanie ługu
Evaporator plant	Wyparka
Stack	Komin
Causticising	Kaustyzacja
Tank farm	Park zbiorników
Chip bin	Kosz na wióry
Vent condenser	Kondensator gazów odlotowych
Fibre line	Linia produkcyjna masy włóknistej
Recausticising area	Obszar rekaustyzacji
Collection fan & heater	Wentylator i nagrzewnica systemu zbierania
Booster fan	Wentylator pomocniczy
Supplement air heater	Dodatkowa nagrzewnica powietrza
Condensing scrubber	Skruber kondensujący
Power boiler	Kocioł energetyczny
NCG burner	Palnik NCG
Recovery boiler	Kocioł regeneracyjny

Wydajność i dostępność systemu oczyszczania gazu zależą od rodzaju wybranego systemu (kotła regeneracyjnego, pieca wapiennego, dedykowanego palnika NCG), liczby i rodzaju urządzeń zapasowych aktywowanych w przypadku zakłóceń działania, awarii, konserwacji, zamknięcia instalacji lub przestoju systemów podstawowych, oraz monitorowania i kontroli całego systemu

(w kwestii dostępności, patrz Rysunek 3.46). Wysoką dostępność systemu oczyszczania gazów stężonych można osiągnąć przez spalanie stężonych i słabych gazów w kotle regeneracyjnym, a także wykorzystując piec wapienny jako pierwszy system zapasowy i pochodnię gazową jako drugi. Inne możliwości zostały opisane w pkt 3.3.16.2 i 3.3.16.3.

W normalnych warunkach pracy, system zapewnia, że zawsze dostępne są dwie jednostki, gdzie CNCG mogą zostać zniszczone. Zaprojektowana wydajność spalania CNCG powinna pozwolić na oczyszczanie więcej niż 100% gazu wytwarzanego w normalnych warunkach pracy. W przypadku zamknięcia, co najmniej jedna jednostka powinno być dostępna dla CNCG. Jeśli jedną z opcji jest pochodnia lub kocioł do spalania NCG, podtrzymywanie ognia wymaga ciągłego spalania niewielkiej ilości NCG, ale nie z maksymalną wydajnością. Poszczególne opcje zostały opisane w kolejnych punktach.

### **3.3.16.1 Spalanie stężonych i rozcieńczonych gazów złowonnych w kotle regeneracyjnym**

#### **Opis**

CNCG mogą być wprowadzone do drugiego poziomu powietrza kotła regeneracyjnego (patrz Rysunek 3.56), który wykorzystuje ich zawartość energetyczną i przetwarza zredukowane związki siarki do dwutlenku siarki. Gdy zawartość suchej masy w ługu czarnym jest wystarczająco wysoka (patrz pkt 3.3.17.1), emisje SO<sub>2</sub> pozostają praktycznie niezmienione, gdy CNCG są spalane w kotle odzyskiwania. Nie są wymagane kolejne techniki redukcji (np. skrubler) do utrzymania bardzo niskich emisji siarki (bliskich zeru).

Zebrane rozcieńczone gazy złowonne (DNCG) mogą być spalane jako drugie lub trzecie powietrze w kotle regeneracyjnym. W zależności od objętości DNCG i układu celulozowni, niektóre instalacje stosują kilka systemów niszczenia TRS w różnych działach.

Przykład emisji z kotła regeneracyjnego, który spala gazy stężone i jest wyposażony w skrubler, przedstawiono na Rysunku 3.55.

#### **Główne korzyści środowiskowe**

Wydajne zbieranie gazów złowonnych ze wszystkich źródeł i ich skuteczne oczyszczanie minimalizuje emisje siarki (TRS) i uciążliwość zapachową w okolicy.

#### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Spalanie stężonych i słabych gazów w kotle regeneracyjnym stosowane jest bez problemów w wielu celulozowniach. Po spalaniu NCG w kotle regeneracyjnym, są one niemal całkowicie zniszczone i emisje TRS są najczęściej na poziomie poniżej 5 mg TRS/Nm<sup>3</sup> (6% O<sub>2</sub>), określonym jako średnia roczna wartość, patrz Rysunki 3.48 i 3.49, i nie powodują nieprzyjemnych zapachów w okolicy.

Szybkość przepływu trzeciego powietrza w kotle regeneracyjnym, gdzie DNCG mogą być spalane, jest ograniczona i mogą być konieczne alternatywne rozwiązania w zakresie spalania.

Dane dotyczących emisji TRS i SO<sub>2</sub> do powietrza z kotłów regeneracyjnych podano w pkt 3.3.17.1.

#### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Spalanie gazów złowonnych w kotle regeneracyjnym stanowi potencjalne źródło dodatkowych emisji NO z powodu amoniaku zawartego w gazach złowonnych. Najnowsze badania wskazują jednak, że zasadniczo można uniknąć wzrostu NO, jeżeli gazy złowonne wtryskuje się w prawidłowy sposób i we właściwym miejscu w piecu kotła [ 225, Hupa 2005 ] (np. celulozownie Södra, Värö i Mörrum).

**Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Środek ten może być stosowany w nowych i istniejących celulozowniach siarczanowych.

**Aspekty ekonomiczne**

Brak danych o kosztach.

**Motywacja do wdrożenia tej techniki:**

Redukcja zapachów i emisji siarki. Wymagania prawne.

**Instalacje referencyjne**

Korsnäs, Frövi; Södra: Värö i Mörrum, Skutskär; UPM Pietarsaari; Celbi, SE Oulu, UPM Kymi, UPM Fray Bentos, MB Joutseno, MB Kemi, Zellstoff Pöls AG; SE Veitsilouto, Zellstoff Stendal [ 33, COM 2011 ], [ komentarz D1 Niemcy ].

**Bibliografia**

[ 33, COM 2011 ], [ 64, J.Malmström 2010 ], [ 65, N.DeMartini et al. 2010 ], [ 66, FRBC 2010 ], [ 225, Hupa 2005 ].

**3.3.16.2 Spalanie zebranych gazów złowonnych (stężonych i rozcieńczonych) w piecu wapiennym****Opis**

Zebrane stężone gazy złowonne mogą być spalane jako powietrze wtórne w piecu wapiennym (patrz Rysunek 3.44). Niektóre instalacje spalają również słabe gazy złowonne w piecu wapiennym, inne stosują alternatywne metody (np. kocioł regeneracyjny, skrubery). W zależności od objętości DNCG i układu celulozowni, niektóre instalacje stosują kilka systemów oczyszczania gazów w różnych działach (patrz Rysunek 3.45). W przykładzie opisanym w punkcie „Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne”, wszystkie DNCG są oczyszczane w płuczkach.

**Główne korzyści środowiskowe**

Wydajne zbieranie gazów złowonnych ze wszystkich źródeł i ich skuteczne oczyszczanie minimalizuje emisje siarki (TRS) i uciążliwość zapachową w okolicy.

**Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Dane dotyczące emisji z pieców wapiennych, które spalają CNCG bez płuczki są podane w pkt 3.3.20.1.

Przykład dostępności systemu oczyszczania gazów złowonnych został przedstawiony na Rysunku 3.46.

W tym przypadku, CNCG są spalane w piecu wapiennym, a specjalny kocioł jest używany jako system zapasowy. Kocioł zapasowy utrzymuje ciśnienie 11 barów za pomocą pary wodnej. Rozgrzanie kotła z pozycji „stop” do „spalania gazów złowonnych” zajmuje godzinę. Jeśli spalanie stężonych gazów złowonnych nie jest możliwe, są one usuwane przez 120 metrowy komin.

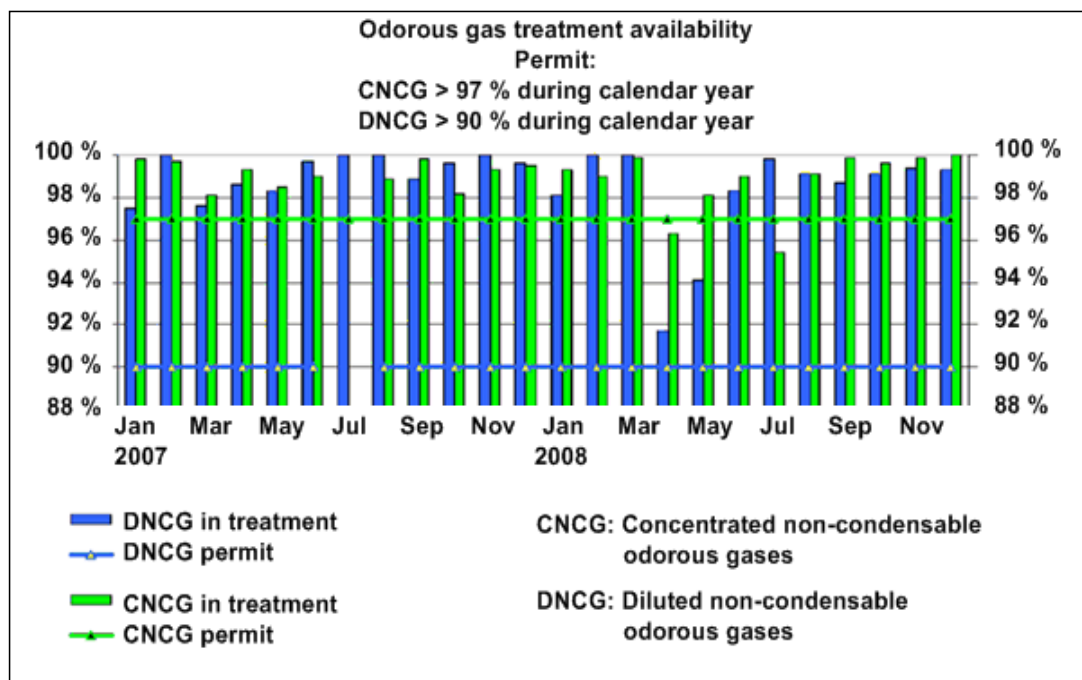
Wszystkie DNCG są oczyszczane w płuczkach (jedna na linii produkcyjnej masy włóknistej, jedna w etapie odparowania i dwie w obszarze kaustykacji). Jeśli spalanie w kotle regeneracyjnym nie jest możliwe, wtedy gazy są odprowadzane do atmosfery za pomocą 120 metrowego komina.

CNCG są zbierane w 100%, a DNCG w prawie 100%. Przez trzy miesiące w okresie dwóch lat, dostępność oczyszczania CNCG była poniżej 97%, ale nadal osiągała tę wartość docelową jeśli wziąć pod uwagę cały rok kalendarzowy. Dostępność oczyszczania DNCG była porównywalna lub nawet wyższa niż w przypadku CNCG w okresie sprawozdawczym, chociaż zezwolenie



---

wymaga jedynie dostępności > 90%, tj. <10% DNCG może zostać odprowadzonych do komina, a potem do atmosfery. Dostępnością 100% oznacza, że systemy oczyszczania gazów złowonnych są dostępne przez cały czas i żadne gazy złowonne nie są odprowadzane do atmosfery. Przyczyną zmniejszonej dostępności w tym przykładzie były awarie urządzeń (np. kwiecień–lipiec 2008 r., awaria wyparki), inne problemy procesowe i przerwy między okresami rozruchowymi.



Rysunek 3. 46 Przykładowe wymagania dla pozwolenia i osiągnięta dostępność systemu oczyszczania gazów złowonnych

Odorous gas treatment availability	Dostępność oczyszczania gazów złowonnych
Permit:	Pozwolenie:
CNCG > 97 % during calendar year	CNCG > 97 % w ciągu roku kalendarzowego
DNCG > 90 % during calendar year	DNCG > 90 % w ciągu roku kalendarzowego
DNCG in treatment DNCG permit	Oczyszczone DNCG pozwolenie DNCG
CNCG in treatment CNCG permit	Oczyszczone CNCG pozwolenie CNCG
CNCG: Concentrated non-condensable odorous gases	CNCG: Stężone niekondensujące gazy złowonne
DNCG: Diluted non-condensable odorous gases	DNCG: Rozcieńczone niekondensujące gazy złowonne
Source: [ 42, Botnia Rauma 2009 ]	Źródło: [ 42, Botnia Rauma 2009 ]

Weryfikacja skuteczności systemu oczyszczania i czas pracy, w którym słabe gazy są odprowadzane przez kominem, mogą zostać dokładnie obliczone w ramach automatyzacji procesów celulozowni. Rysunek 3.46 przedstawia taki przykładowy system monitorowania.

### Oddziaływanie na procesy i środowisko

W większości przypadków, spalanie gazów złowonnych w piecu wapiennym powoduje podwyższenie poziomu NO. Opracowanie technologii o niskiej emisji NO<sub>x</sub> dla spalania w piecu wapiennym, łącznie dla gazów złowonnych i głównego paliwa, wymagać będzie dodatkowych środków [225, Hupa 2005]. Jednak wiele pieców wapiennych opalanych olejem i spalających CNCG osiąga stężenia NO<sub>x</sub> poniżej 300 mg/Nm<sup>3</sup> (przy 6% O<sub>2</sub>) jako średnią roczną wartość (patrz pkt 3.3.21.1).

Zaletą spalania gazów złowonnych w piecu wapiennym jest fakt, że nie jest potrzebny dodatkowy piec. Wadą jest to, że siarka zawarta w gazach może być tylko częściowo wchłonięta w wapno. Dzieje się tak dlatego, że głównym związkiem absorbującym siarkę w piecu wapiennym jest węglan wapnia (CaCO<sub>3</sub>) w szlamie wapiennym, która ma słabą zdolność absorpcji. Gdy zdolność ta zostanie wyczerpana, ilość SO<sub>2</sub> wzrasta, gdy stężone gazy

---

niekondensujące są spalane w piecu. Emisje SO<sub>2</sub> są zależne od przepływu gazów złowonnych. Aby zminimalizować tworzenie się SO<sub>2</sub>, zawartość siarki w paliwie może zostać zmniejszona, albo związki siarki mogą zostać usunięte z tych gazów przed spaleniem w piecu wapiennym.

Średnio 10–15% paliwa używanego w piecu wapiennym można zastąpić wartością cieplną CNCG. Jednak różnice w ilości energii gazowej mogą utrudniać utrzymanie dobrej i jednolitej jakości wapna. Kondensacja metanolu po kolumnie odpędowej może zminimalizować problem wahań jakości gazu, ale wymaga dodatkowych inwestycji.

#### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Powszechnie stosowane.

**Aspekty ekonomiczne**

Brak informacji.

**Motywacja do wdrożenia tej techniki:**

Redukcja zapachów i emisji siarki. Wymagania prawne.

**Instalacje referencyjne**

Większość instalacji w Europie: 22 instalacje europejskie podały, że korzystają z pieców wapiennych w oczyszczaniu CNCG. Kolejne cztery instalacje poinformowały, że piece wapienne są używane jako systemy zapasowe w oczyszczaniu tych gazów [33, COM 2011]. Przykładowe instalacje, które spalają CNCG w piecu wapiennym przedstawiono na Rysunkach 3.71 i 3.72.

**Bibliografia**

[ 33, COM 2011 ], [ 42, Botnia Rauma 2009 ], [ 64, J.Malmström 2010 ], [ 65, N.DeMartini et al. 2010 ], [ 66, FRBC 2010 ], [ 225, Hupa 2005 ].

### **3.3.16.3 Spalanie zebranych stężonych gazów złownnych z użyciem oddzielnego palnika NCG wyposażonego w skruber do usuwania SO<sub>2</sub>**

**Opis i osiągnięte efekty środowiskowe**

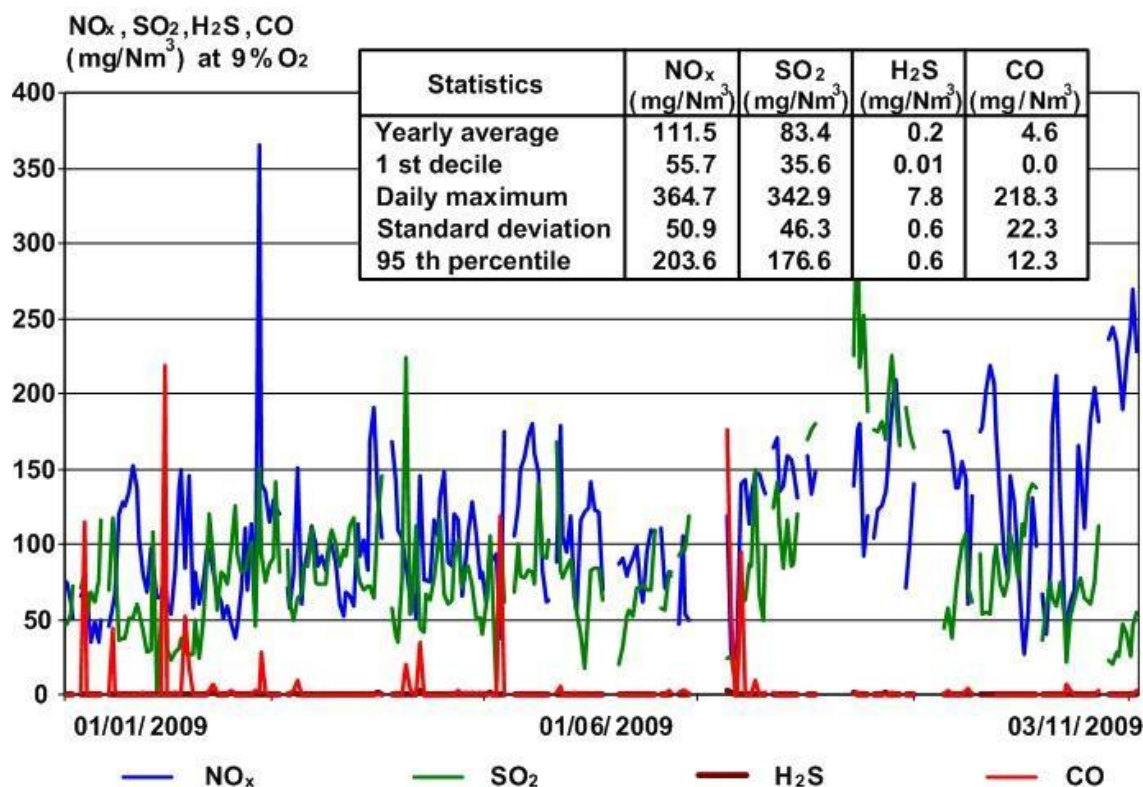
Spalanie gazów niekondensujących (patrz pkt 3.3.16.1 i 3.3.16.2) może również być prowadzone w specjalnym palniku wyposażonym w skruber SO<sub>2</sub>. Wygenerowany SO<sub>2</sub> może zostać usunięty, na przykład w ramach absorpcji NaOH, a powstały wodorosiarczyn sodu (NaHSO<sub>3</sub>) można wykorzystać – zamiast towarowej cieczy SO<sub>2</sub> – w instalacji bielenia do czyszczenia gazów odlotowych w celu usunięcia resztek związków chloru z etapów bielenia ClO<sub>2</sub>.

Inne instalacje wykorzystują utleniony ług biały jako ciecz myjącą skrubera.

Specjalny palnik NCG wykorzystuje wartość cieplną CNCG do zasilania kotła. Działanie skrubera opisano w pkt 3.3.17.2.

**Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Przykłady emisji do atmosfery z palników TRS do spalania stężonych gazów, wyposażonych w kocioł parowy do odzysku ciepła i skrubery, przedstawiono na rysunku 3.47. Dane pochodzą z transferu on-line danych dotyczących emisji do właściwego organu. Paliwem dla tego kotła są lekki olej opałowy, terpentyna, metanol i stężone NCG. Słabe gazy są w tym przypadku spalane w kotle regeneracyjnym. Cieczą myjącą skrubera jest utleniony ług biały, który jest wytwarzany w instalacji z ługu białego (NaOH, N<sub>2</sub>S) i tlenu (O<sub>2</sub>). Po użyciu w skruberze, biały ług zabsorbowane związki siarki są wysyłane z powrotem do cyklu wapiennego. Emisje pyłu są poniżej 5 mg/Nm<sup>3</sup> (przy 9% O<sub>2</sub>).



Źródło: Landesverwaltungsamt Halle, 2009, [ 173, J.Queiser 2009 ]

Rysunek 3. 47 Emisje do atmosfery z oddzielnego palnika TRS wyposażonego w skruber

NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, CO (mg/Nm <sup>3</sup> ) at 9% O <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, CO (mg/Nm <sup>3</sup> ) przy 9% O <sub>2</sub>
<b>Statistics</b>	<b>Dane statystyczne</b>
<b>Yearly average</b>	<b>Średnia roczna</b>
<b>1 st decile</b>	<b>1 decyl</b>
<b>Daily maximum</b>	<b>Maksimum dzienne</b>
<b>Standard deviation</b>	<b>Odchylenie standardowe</b>
<b>95 th percentile</b>	<b>95 percentyl</b>
Source: Landesverwaltungsamt Halle, 2009, [ 173, J.Oueiser 2009 ]	Źródło: Landesverwaltungsamt Halle, 2009, [ 173, J.Oueiser 2009 ]

W podanym przykładzie, w celulozowni funkcjonują dwa niezależne, specjalne palniki TRS do spalania stężonych gazów, co gwarantuje nadmiarowość procesów (zdolności rezerwowe w przypadku awarii). Dwa palniki wykorzystują wspólny kocioł parowy do odzysku ciepła i wspólny skruber. Dodatkowo, w przypadku zakłóceń lub awarii systemu dostępna jest pochodnia gazowa. W przypadku awarii, jeśli nadal występują niespalone stężone gazy, są one uwalniane przez komin.

Słabe gazy są spalane całkowicie w kotle regeneracyjnym. Ze względu na wysoki strumień objętości słabych gazów, nie występują tu systemy zapasowe. W normalnych warunkach pracy, nie ma problemów z zapachem; palnik NCG pokazano na rysunku 3,47. W przypadku zakłóceń należy spełnić szczególne wymagania zapisane w pozwoleniu.

Dane dotyczące emisji zebrane z innych palników NCG [ 33, COM 2011 ] wskazują na podobną wydajność, z wyjątkiem niektórych palników NCG, które mają znacznie wyższe emisje.

Trzynaście instalacji raportowało emisje TRS (jako S) z palników NCG na 5 mg/Nm<sup>3</sup> lub mniej, a emisje SO<sub>2</sub> poniżej 100 mg/Nm<sup>3</sup> jako średnie wartości roczne. Kilka palników NCG ma znacznie wyższe emisje.

W odniesieniu do emisji NO<sub>x</sub>, liczne celulozownie podają emisje z palnika NCG w zakresie

100–300 mg/Nm<sup>3</sup> jako średnią roczną (0,02–0,04 kg/ADt). Jednak inne zakłady (w sumie 6 instalacji) podało znacznie wyższe emisje NO<sub>x</sub> z palnika NCG, między 1 400 mg/Nm<sup>3</sup> i 2 000 mg/Nm<sup>3</sup> jako średnią roczną (lub do 0,2 kg/ADt). Nie jest jasne, dlaczego emisje te różnią się tak znacząco między instalacjami, które spalają bardzo podobne strumienie gazów w palniku NCG. Wiadomo, że CNCG i kondensat zawierający metanol zawierają dużo amoniaku i że palnik o niskiej emisji NO<sub>x</sub> i właściwa kontrola powietrza mają wpływ tylko na termiczny NO<sub>x</sub>, a nie na NO<sub>x</sub> wytwarzany z azotu w paliwie. Fakty te mają jednak zastosowanie tak samo do instalacji z niższymi emisjami NO<sub>x</sub>, jak i dla tych z wyższymi emisjami NO<sub>x</sub>.

**Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Spalanie gazów złownych w specjalnym piecu może zwiększać emisje NO<sub>x</sub> w przypadku braku przeciwdziałania (etapowe spalanie, patrz pkt 3.3.24.1).

**Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Środek ten może być stosowany w nowych i istniejących celulozowniach siarczanowych.

**Aspekty ekonomiczne**

Brak informacji.

**Motywacja do wdrożenia tej techniki:**

Redukcja zapachów i emisji siarki. Wymagania prawne.

**Instalacje referencyjne**

SE Enocell, SE Imatra; SE Oulu, SE Sunila; UPM Kaukas; UPM Kymi Korsnäs AB, Frövi i wiele innych; wiele zakładów również używa również palnika NCG jako systemu zapasowego do oczyszczania stężonych gazów [ 33, COM 2011 ].

**Bibliografia**

[ 33, COM 2011 ], [ 173, J. Queiser 2009 ].

**3.3.17 Redukcja emisji siarki (SO<sub>2</sub> i TRS) z kotła regeneracyjnego ługu czarnego****3.3.17.1 Zwiększenie zawartości suchej substancji w ługu czarnym****Opis**

Najbardziej skutecznym sposobem na zredukowanie emisji TRS i SO<sub>2</sub> z celulozowni siarczanowych jest uruchomienie kotła regeneracyjnego z dużą zawartością suchej substancji. Zawartość siarki w CNCG i spalany olej opałowy w kotle regeneracyjnym są mniej istotne dla zmniejszenia emisji SO<sub>2</sub>.

**a) Emisje SO<sub>2</sub>**

Emisje SO<sub>2</sub> powstają głównie przez utlenianie H<sub>2</sub>S i siarczku karbonylu (COS) w dolnej części pieca. Głównym źródłem gazowych związków siarki jest ług czarny (zob. Tabela 3.12) i siarka z dodatkowych spalanych strumieni takich jak CNCG. Emisje są utrzymywane na niskim poziomie dzięki wprowadzaniu do kotła ługu czarnego o wysokiej zawartości suchej substancji (wyższa temperatura) oraz optymalizacji parametrów spalania, takich jak źródła powietrza i mieszanie powietrza i paliwa.

Na emisje siarki z kotła regeneracyjnego mają wpływ zmienne operacyjnych podane poniżej.

- Temperatura w różnych strefach, na którą wpływa zawartości suchej substancji (wartość opałowa) w stężonym ługu czarnym i ilość powietrza do spalania. Przy większej ilości DS następuje wzrost temperatury spalania, co powoduje ulatnianie się większych ilości sodu (Na), który następnie łączy się z SO<sub>2</sub> tworząc Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, zmniejszając w ten sposób emisje SO<sub>2</sub> z kotła regeneracyjnego. Z drugiej strony, ponieważ w wyparce odpędza się więcej siarki, gdy zawartość suchej substancji w ługu jest większa, może to powodować zmniejszenie ilości siarki wchodzącej do kotła regeneracyjnego, jeżeli gazy złoowne zawierające siarkę z parowania nie są spalane w kotle regeneracyjnym. Wadą wysokiej temperatury jest to, że emisje NO<sub>x</sub> mogą wzrosnąć.
- Stosunek siarki do sodu (S/Na<sub>2</sub>) w ługu (siarczkowość). Przy wyższych poziomach siarczkowości, uwalnianie sodu w piecu, w stosunku do ilości siarki, może nie być wystarczające, aby związać całą uwalnianą siarkę i część siarki może opuścić piec jako dwutlenek siarki, a nie siarczan sodu. Czarny ług, o wysokiej zawartości suchej substancji może zrównoważyć ten efekt.

- Nadmiarowy dopływ powietrza, temperatura powietrza pierwotnego i dystrybucja powietrza do spalania.
- Obciążenie pieca. Obsługa kotła regeneracyjnego w trybie przeciążenia ma niekorzystny wpływ na właściwości emisji SO<sub>2</sub>. Obciążenie pieca jest wprost proporcjonalna do temperatury w piecu, tzn. gdy obciążenie w piecu zmienia się, zmienia się także temperatura. W niektórych kotłach, emisje SO<sub>2</sub> są wrażliwe na zmiany obciążenia, tj. mogą ulec zmianie ze względu na zmiany temperatury w piecu. emisje SO<sub>2</sub> mogą również wzrosnąć, gdy zmniejsza się obciążenie kotła. emisje SO<sub>2</sub> z kotłów (o bardzo wysokiej zawartości DS) nie zmieniają się w związku ze zmianami obciążenia kotła.

Po konwencjonalnym odparowaniu, zawartość DS w stężonym ługu wynosi około 70%. Instalując koncentrator w instalacji odparowania, można osiągnąć zawartość DS rzędu 80% lub więcej (85%). Osiągalna zawartość DS zależy częściowo od gatunku drewna (patrz pkt 3.1.11).

#### b) Emisje całkowitej siarki zredukowanej (TRS)

Na emisję całkowitej siarki zredukowanej (TRS) z kotła regeneracyjnego wpływają prawie te same zmienne co w przypadku emisji SO<sub>2</sub>.

- Zawartość suchej substancji. Ponieważ spalany jest ług czarny o wysokiej zawartości suchej substancji, zawartość sodu w gazach odlotowych jest wystarczająca do związania prawie całej siarki wytworzonej w czasie spalania ługu czarnego. Emisje siarki są bardzo niskie lub nawet niewykrywalne w całkowicie obciążonych i stabilnie eksploatowanych kotłach. Jeśli jest wystarczająco dużo sodu do związania całej siarki, SO<sub>2</sub> praktycznie nie jest uwalniane w emisjach.
- Obciążenie pieca. Obciążenie pieca jest wprost proporcjonalne do temperatury w piecu. Eksploatacja kotła regeneracyjnego w trybie przeciążenia może mieć negatywny wpływ na właściwości emisji, zwłaszcza na produkowane ilości siarkowodoru. Szybkie zmiany trybu pracy mogą generować chwilowy nagły wzrost TRS. emisje TRS z kotłów o bardzo wysokiej zawartości suchej substancji nie zmieniają się w związku ze zmianami obciążenia kotła.
- Dystrybucja powietrza. Głównym czynnikiem decydującym o ilości emisji TRS z kotła regeneracyjnego jest mieszanie tlenu i gazów zawierających siarkę. Jeśli gazy te są dobrze wymieszane to są przekształcane do SO<sub>2</sub>. Nowoczesne systemy napowietrzania pomagają osiągnąć efekt wystarczającego wymieszania.

#### Główne korzyści środowiskowe

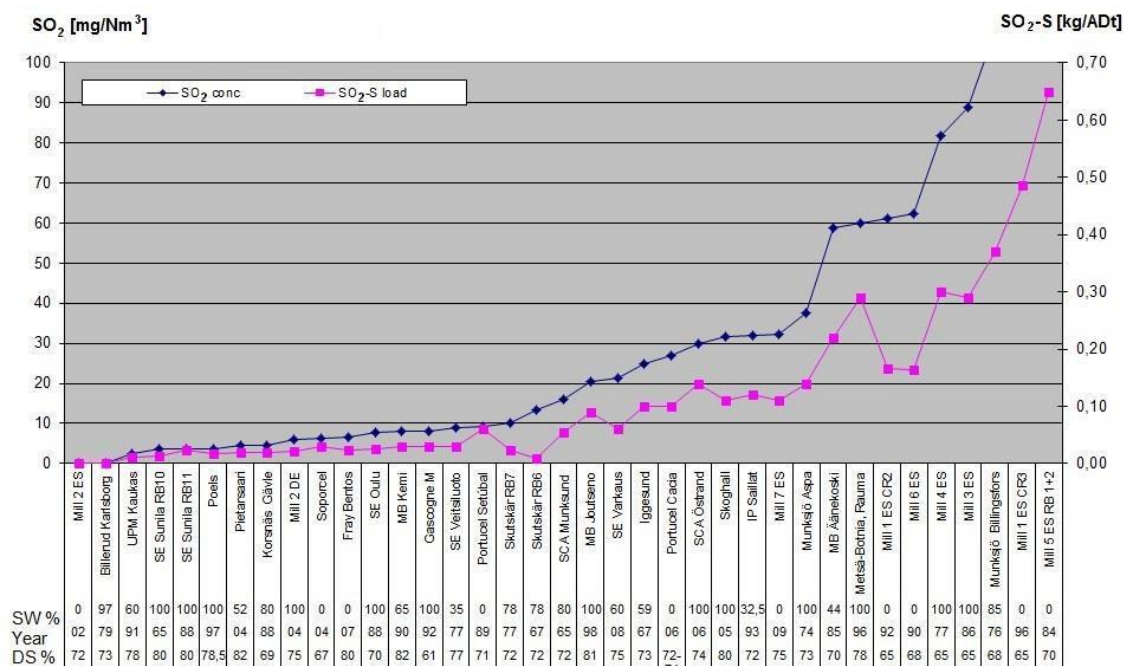
Redukcja emisji siarki i maksymalizacja produkcji energii elektrycznej.

#### Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

Gdy kotły spalają ług czarny o wysokiej zawartości DS (około 80%), emisje SO<sub>2</sub> są bardzo niskie lub nawet zerowe, jeżeli kocioł pracuje w stanie ustalonym [207, T.Tamminen, et al. 2002]. SO<sub>2</sub> wytwarzany w piecu reaguje ze związkami sodu tworząc siarczanu sodu. Dzięki spalaniu dużej ilości substancji stałych, ilość sodu jest wystarczająca do związania całego dwutlenku siarki. Jednak zwykle występują nagłe wzrosty emisji spowodowane niestabilnymi warunkami operacyjnymi (patrz również pkt 3.2.2.6.1).

Rysunki 3.48 i 3.49 pokazują średnioroczne emisje SO<sub>2</sub> i TRS (niektóre instalacje podały tylko emisje H<sub>2</sub>S) z kotłów regeneracyjnych opalanych różnymi ilościami suchej substancji. Dla wszystkich instalacji, które dostarczyły danych, podano wartości stężeń (mg/Nm<sup>3</sup>, 6% O<sub>2</sub>) i ładunki emisji (kg S/ADt). Wskazano zawartości suchej substancji poniżej 73%, między 73% a 80%, i ponad 80%.

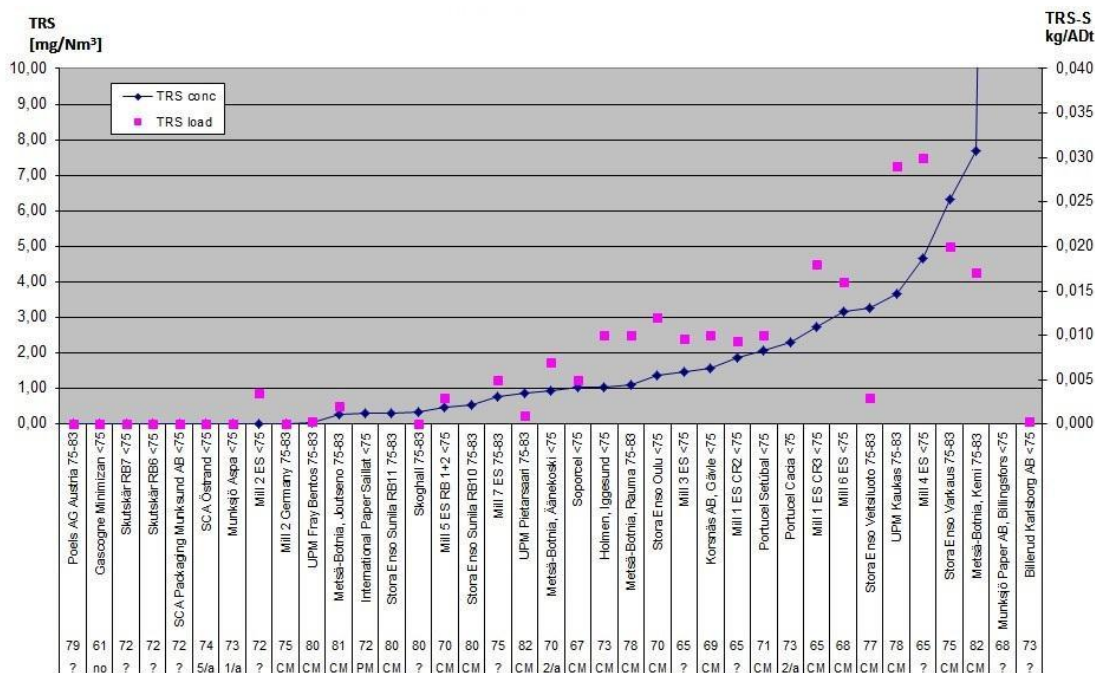




Źródło: kwestionariusz EIIPCB z lutego 2011 r. [ 33, COM 2011 ]

Rysunek 3. 48 Stężenia emisji SO<sub>2</sub> i ładunki z kotłów regeneracyjnych z różną zawartością suchej substancji (%) w lugu czarnym i różnym wykorzystaniem drewna iglastego/liściastego

sw%	% masy
Year	Rok
DS %	DS %
Source: questionnaire launched by EIIPCB in February 2011 [ 33, COM 2011 ]	Źródło: kwestionariusz EIIPCB z lutego 2011 r. [ 33, COM 2011 ]



Uwagi: CM = ciągły monitoring; PM = okresowy monitoring; ? = Brak informacji o rodzaju monitoringu

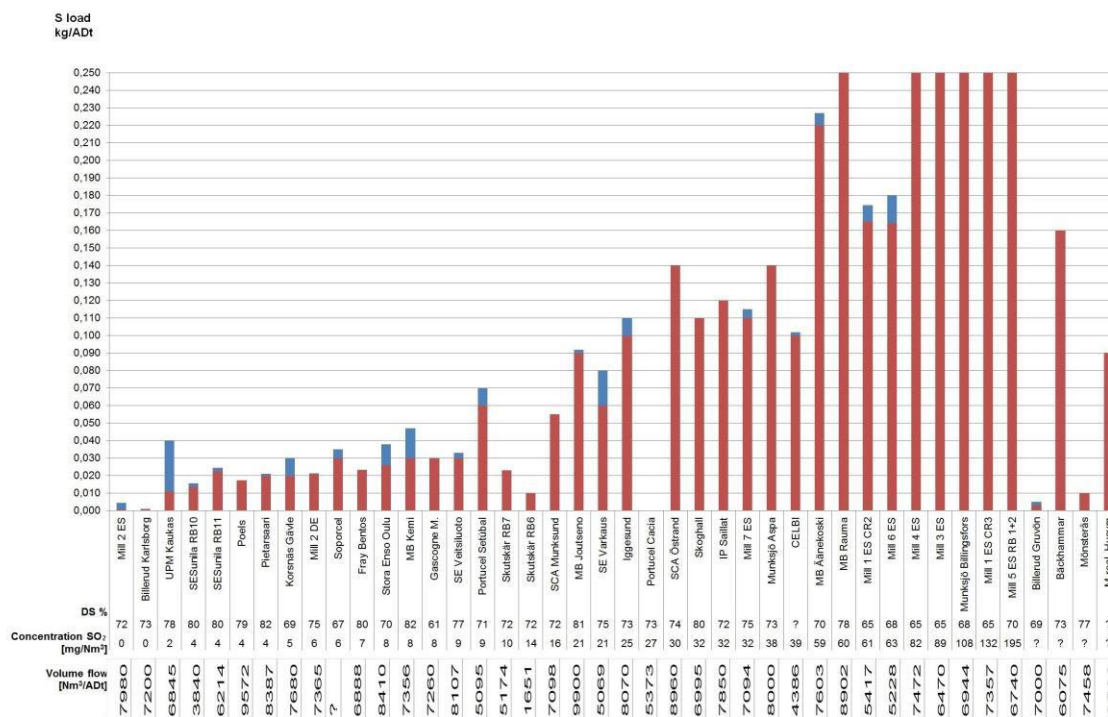
Źródło: kwestionariusz EIIPCB z lutego 2011 r. [ 33, COM 2011 ]

Rysunek 3. 49 Stężenia emisji TRS-S i ładunki z kotłów regeneracyjnych z różną zawartością suchej substancji (%) w lugu czarnym i różnym wykorzystaniem drewna iglastego/liściastego

TRS [mg/Nm <sup>3</sup> ]	TRS [mg/Nm <sup>3</sup> ]
TRS conc TRS load	stężenie TRS ładunek TRS
NB: CM = Continuous monitoring;	Uwagi: CM = stały monitoring;
PM = Periodic monitoring;	PM = okresowy monitoring;
? = No information on type of monitoring	? = Brak informacji o rodzaju monitoringu
Source: questionnaire launched by EIPPCB in February 2011 [ 33, COM 2011 ]	Źródło: kwestionariusz EIPPCB z lutego 2011 r. [ 33, COM 2011 ]

Dane potwierdzają, że emisje TRS z kotła regeneracyjnego są bardzo niskie lub nawet zerowe, gdy kocioł pracuje w stanie ustalonym. Zwykle w ciągu roku występuje kilka nagłych wzrostów emisji. Większość instalacji osiąga emisje <math>5\text{--}25\text{ mg SO}\_2/\text{Nm}^3</math> lub <math>0,01\text{--}0,10\text{ kg SO}\_2\text{-S}/\text{ADt}</math> masy celulozowej. Można również zauważyć, że spalanie dużych ilości suchej substancji jest skutecznym środkiem redukującym emisje siarkowe z kotłów regeneracyjnych. Skrubery nie są niezbędne do osiągnięcia takich wyników. Zwykle w ciągu roku występuje kilka nagłych wzrostów emisji <math>\text{SO}\_2</math> (patrz Rysunek 3.51).

Podawane ogólne emisje gazowe S (TRS-S + <math>\text{SO}\_2\text{-S}</math>) zostały przedstawione na Rysunku 3.50.



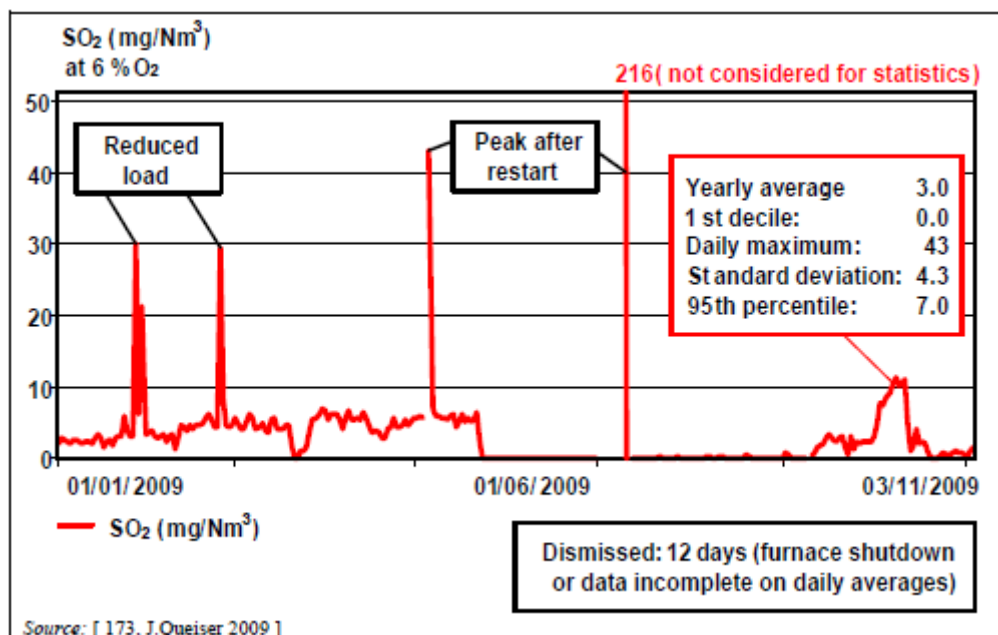
Źródło: Kwestionariusz EIPPCB z 2007/2009 i inne dane TWG

Rysunek 3. 50 Emisje gazowe S z kotłów regeneracyjnych z analogiczną zawartością suchej substancji (%) w ługu czarnym, stężenia <math>\text{SO}\_2</math> i przepływ gazów odlotowych

DS%	DS%
Concentration <math>\text{SO}_2</math> [mg/Nm <sup>3</sup> ]	Stężenie <math>\text{SO}_2</math> [mg/Nm <sup>3</sup> ]
Volume flow [Nm <sup>3</sup> /ADt]	Strumień objętości [Nm <sup>3</sup> /ADt]
S load kg/ADt	Ładunek S kg/ADt
Source: EIPPCB questionnaires from 2007/2009 and other TWG input	Źródło: Kwestionariusz EIPPCB z 2007/2009 i inne dane TWG

Przykład dziennych średnich emisji <math>\text{SO}\_2</math> w ciągu całego roku (suchy gaz, 273 K, 6% <math>\text{O}\_2</math>) dla instalacji, która eksploatuje kocioł regeneracyjny o zawartości DS 75% pokazano na rysunku 3.51. Paliwem jest ług czarny i paliwa o niskiej zawartości siarki (gaz ziemny, lekki olej opałowy) jako paliwa wspomagające, oraz słabe gazy złowne. Dane pochodzą z transferu on-line danych

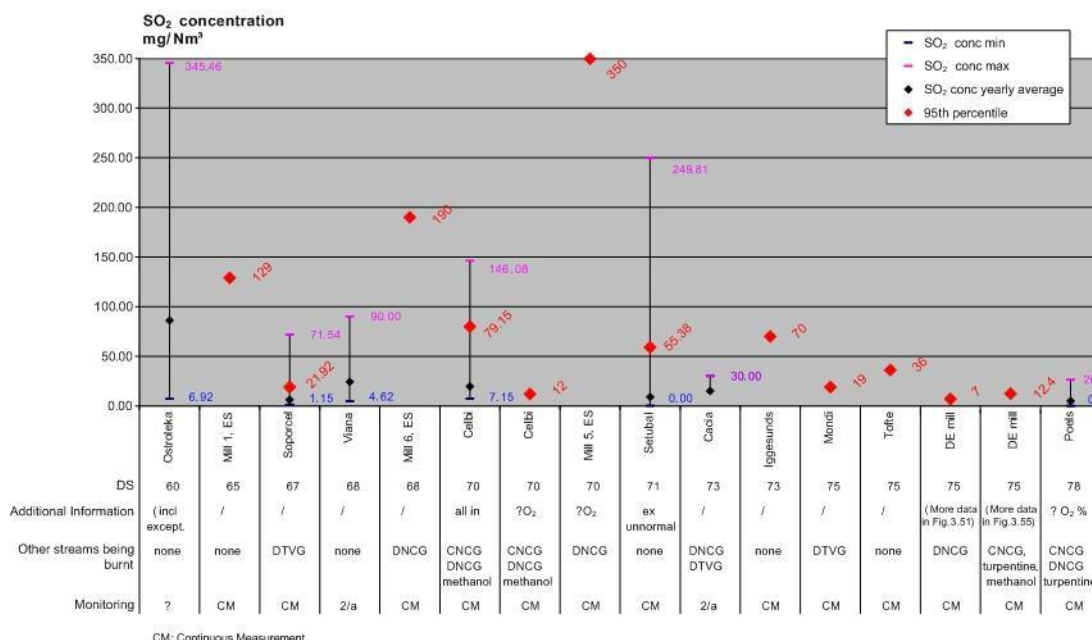
dotyczących emisji do właściwego organu (Źródło: Landesverwaltungsamt Halle, 2009, DE). SO<sub>2</sub> jest mierzony w sposób ciągły. Emisje H<sub>2</sub>S były poniżej 1 mg/Nm<sup>3</sup> w ciągu całego roku. Roczna średnia wartość 3 mg/Nm<sup>3</sup> w tym przykładzie daje roczne obciążenie SO<sub>2</sub> w wysokości 0,03 kg/ADt.



Rysunek 3. 51 Mierzone w sposób ciągły dziennie średnie dane dla emisji SO<sub>2</sub> z kotła regeneracyjnego

Reduced load	Mniejsze obciążenie
Peak after restart	Nagły wzrost po ponownym uruchomieniu
216 ( not considered for statistics)	216 ( nieuwzględnione w danych statystycznych)
Yearly average 3.0	Średnia roczna 3.0
1st decile: 0.0	1 decyl: 0.0
Daily maximum: 43	Maksimum dzienne: 43
Standard deviation: 4.3 95th percentile: 7.0	Odchylenie standardowe: 4.3 95 percentyl: 7.0
Dismissed: 12 days (furnace shutdown or data incomplete on daily averages)	Zakończenie: 12 dni (wyłączenie pieca lub niekompletne dane o średnich wartościach dziennych)
Source: [ 173, J. Queiser 2009 ]	Źródło: [ 173, J. Queiser 2009 ]

Odnotowane krótkoterminowe emisje SO<sub>2</sub> i TRS pokazano na Rysunkch 3.52 i 3.53.

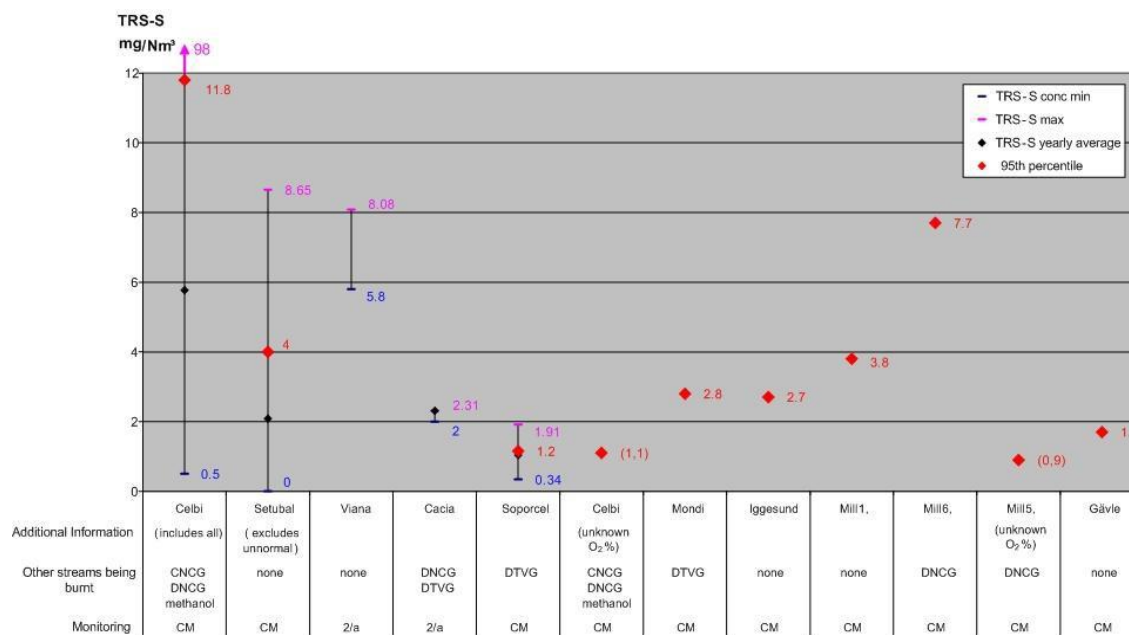


CM: Continuous Measurement  
 Uwagi: CM = ciągły monitoring; PM = okresowy monitoring; ? = Brak informacji o rodzaju monitoringu

Źródło: Kwestionariusz EIPPCB z 2007/2009 i inne dane TWG

Rysunek 3.52 Emisje SO<sub>2</sub> z kotła regeneracyjnego jako średnia krótkoterminowa

SO <sub>2</sub> concentration mg/ Nm <sup>3</sup>	stężenie SO <sub>2</sub> w mg/Nm <sup>3</sup>
SO <sub>2</sub> conc min	Min. stężenie SO <sub>2</sub>
SO <sub>2</sub> conc max	Maks. stężenie SO <sub>2</sub>
SO <sub>2</sub> conc yearly average	Średnioroczne stężenie SO <sub>2</sub>
95th percentile	95 percentyl
DS	DS
Additional Information	Dodatkowe informacje
Other streams being burnt	Inne spalane strumienie
Monitoring	Monitoring
none	brak
incl	w tym
except.	z wyjątkiem
DTVG	DTVG
DNCG	DNCG
methanol	metanol
ex	wył.
unnormal	niestandardowy
2/a	2/a
CM	CM
( More data in Fig. 3.51)	( więcej danych na Rys. 3.51)
(More data in Fig.3.55)	(więcej danych na Rys. 3.55)
turpentine	terpentyna
CM: Continuous Measurement	CM: Ciągłe pomiary
NB: CM = Continuous monitoring;	Uwagi: CM = stały monitoring;
PM = Periodic monitoring;	PM = okresowy monitoring;
? = No information on type of monitoring	? = Brak informacji o rodzaju monitoringu
Source: EIPPCB questionnaires from 2007/2009 and other TWG input	Źródło: Kwestionariusz EIPPCB z 2007/2009 i inne dane TWG



CM: Continuous Measurement

Uwagi: CM = ciągły monitoring; PM = okresowy monitoring; ? = Brak informacji o rodzaju monitoringu

Źródło: Kwestionariusz EIPPCB z 2007/2009 i inne dane TWG

Rysunek 3. 53 Emisje TRS z kotła regeneracyjnego jako średnia krótkoterminowa

TRS-S	TRS-S
mg/Nm <sup>3</sup>	mg/Nm <sup>3</sup>
TRS-S conc min	Min. stężenie TRS-S
TRS-S max	Maks. TRS-S
TRS-S yearly average	Średnia roczna TRS-S
95th percentile	95 percentyl
Additional Information	Dodatkowe informacje
Other streams being burnt	Inne spalane strumienie
Monitoring	Monitoring
(includes all)	(obejmuje wszystko)
(excludes unnormal)	(z wył. niestandardowych)
CNCG	CNCG
DNCG	DNCG
methanol	metanol
CM	CM
CM: Continuous Measurement	CM: Ciągłe pomiary
2/a	2/a
none	brak
DTVG	DTVG
NB: CM = Continuous monitoring;	Uwagi: CM = stały monitoring;
PM = Periodic monitoring;	PM = okresowy monitoring;
? = No information on type of monitoring	? = Brak informacji o rodzaju monitoringu
Source: EIPPCB questionnaires from 2007/2009 and other TWG input	Źródło: Kwestionariusz EIPPCB z 2007/2009 i inne dane TWG

### Oddziaływanie na procesy i środowisko

Zwiększenie ilości suchej substancji powoduje wzrost temperatury w piecu i redukcję emisji siarki, ale zwiększa emisje NO<sub>x</sub> w przypadku braku przeciwdziałania (patrz pkt 3.3.17.2). Eksploatacja kotłów regeneracyjnych o dużej zawartości suchej substancji i wysokich temperaturach pieca maksymalizuje wytwarzanie elektryczności z kotłów (wysokie ciśnienie i wysoka temperatura).

Obniżenie emisji siarki przez dużą zawartość DS zwiększa emisję cząstek przed oczyszczeniem

gazów odlotowych. Aby to zrównoważyć, należy zainstalować bardziej wydajny i droższy elektrofiltr. Przy bardzo wysokiej zawartości DS (> 80%), z ostatniego stopnia wyparki uwalniane są znaczne ilości związków siarki, które muszą być gromadzone i spalane.

#### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Proces może być zastosowany zarówno w istniejących, jak i nowych celulozowniach siarczanowych. Superkoncentrator można zainstalować jako oddzielny stopień w istniejących instalacjach odparowania. Problemom z lepkością można zaradzić dzięki składowaniu pod ciśnieniem lub za pomocą obróbki cieplnej przed ostatnim koncentratorom.

#### **Aspekty ekonomiczne**

W istniejących zakładach, koszt usprawnienia odparowania i zagęszczania stężonego ługu czarnego jest związany z docelowym stężeniem. W istniejących zakładach produkujących 1 500 ADt/d masy celulozowej siarczanowej, koszty inwestycji wymaganych w celu zwiększenia stężenia ługu czarnego od 63% w górę, są następujące:

- stężenie od 63% do 70%, 1,7–2,0 mln euro;
- stężenie od 63% do 75%, 3,5–4,0 mln euro;
- stężenie od 63% do 80%, 8,0–9,0 mln euro.

Zwiększenie zawartości suchej substancji nie zwiększa kosztów operacyjnych, a nawet możliwe jest uzyskanie znacznych oszczędności. Środek ten zwiększa oszczędność energetyczną instalacji i zwiększa wydajność kotła regeneracyjnego.

#### **Motywacja do wdrożenia tej techniki:**

Wymogi prawne i zwiększona wydajność procesu.

#### **Instalacje referencyjne**

Fińskie kotły regeneracyjne zwykle spalają 80% suchej substancji; szwedzkie kotły regeneracyjne średnio spalają blisko 70% suchej substancji [ 66, FRBC 2010 ].

#### **Bibliografia**

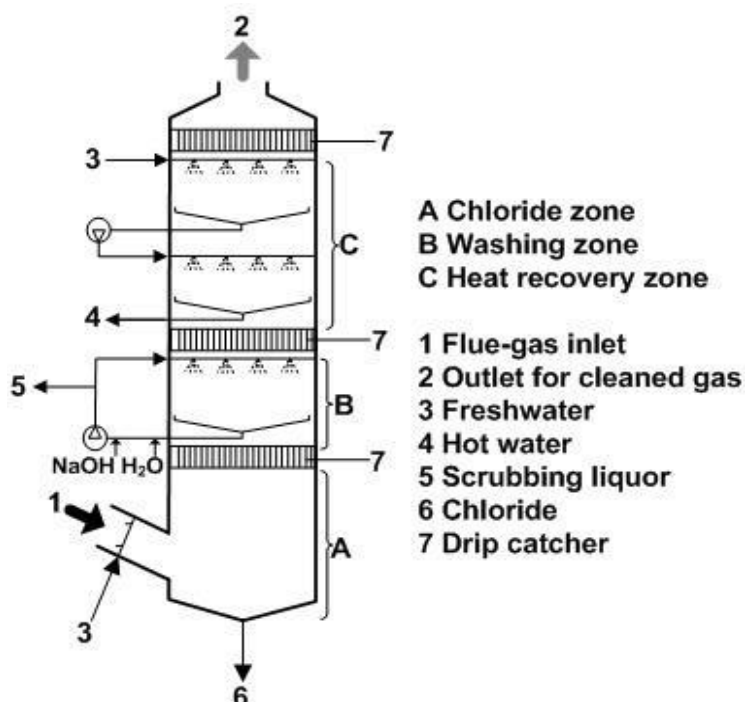
[ 1, Finnish BAT Report 1997 ], [ 33, COM 2011 ], [ 66, FRBC 2010 ], [ 173, J.Queiser 2009 ], [ 207, T.Tamminen, et al. 2002 ].

### **3.3.17.2 Instalacja skrubców w kotle regeneracyjnym**

Środek ten może być stosowany jako alternatywa dla techniki z pkt 3.3.17.1. Służy on również dalszej redukcji emisji cząstek stałych (patrz pkt 3.3.19) lub odzyskiwaniu ciepła.

#### **Opis**

Oczyszczanie na mokro to technologia używana do usuwania dwutlenku siarki (SO<sub>2</sub>) z gazów odlotowych kotłów regeneracyjnych. Skruber typu mokrego dla kotła regeneracyjnego może obejmować trzy etapy procesu (patrz Rysunek 3.54 od dołu ku górze).



Źródło: [ 127, SEPA report 1992 ]

Rysunek 3. 54 Skruber gazów odlotowych dla kotłów regeneracyjnych

A Chloride zone	A Strefa chlorku
B Washing zone	B Strefa mycia
C Heat recovery zone	C Strefa odzysku ciepła
1 Flue-gas inlet	1 Wlot gazów odlotowych
2 Outlet for cleaned gas	2 Wylot oczyszczonych gazów
3 Freshwater	3 Woda świeża
4 Hot water	4 Woda gorąca
5 Scrubbing liquor	5 Ciecz płuczająca
6 Chloride	6 Chlorek
7 Drip catcher	7 Zbierak kropel
Source: [ 127, SEPA report 1992 ]	Źródło: [ 127, Raport SEPA, 1992 ]

Chlorek jest pochłaniany przez zimną wodę wprowadzoną na wlocie gazów odlotowych. Wydajność chlorku wynosi zazwyczaj 60–70%. W strefie mycia usuwany jest  $\text{SO}_2$  i cząstki stałe. Płukanie zachodzi przy wartości pH 6–7. Wartość pH jest kontrolowana przez dodanie wodorotlenku sodowego, słabego ługu lub utlenionego ługu białego.  $\text{SO}_2$  reaguje z ługiem płuczającym tworząc  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  i  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ . TRS w postaci  $\text{H}_2\text{S}$  może być usuwana razem z  $\text{SO}_2$ . Jednak, aby usunąć siarkowodór z gazów odlotowych wymagany jest ług płuczający o wysokim pH. Przy wysokiej wartości pH, dwutlenek węgla również będzie absorbowany, co jest nierealistyczne ze względu na stosunkowo duże ilości dwutlenku węgla powstające w procesie spalania.

Nadmiar ługu ze skrubera jest zwracany do procesu, zazwyczaj do przygotowania ługu białego.

## Główne korzyści środowiskowe

Redukcja emisji siarki.

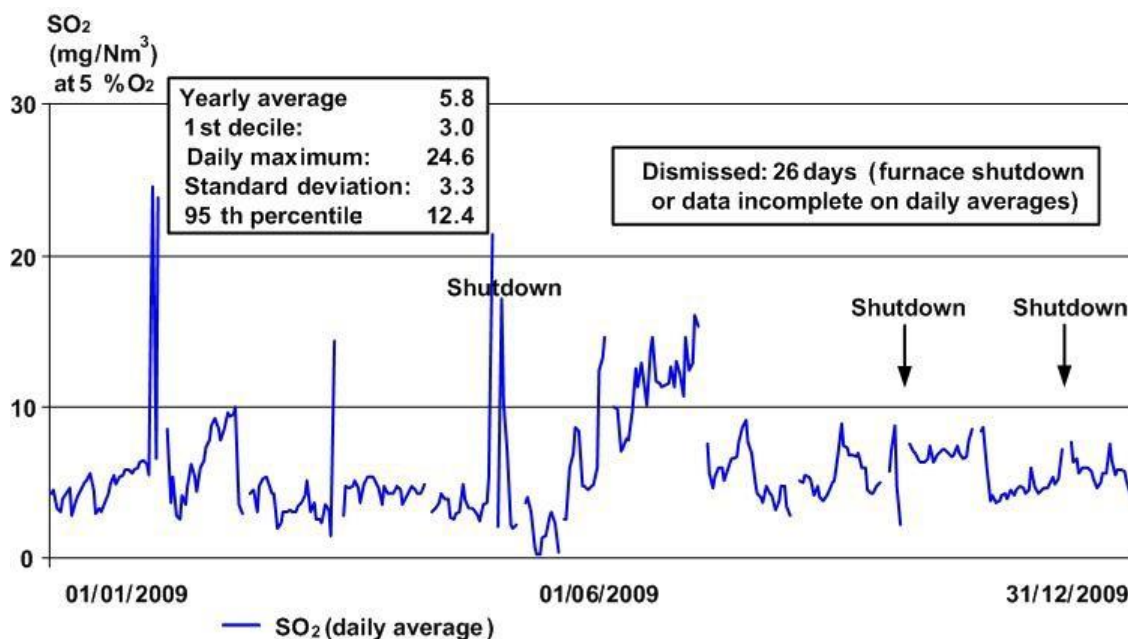
## Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

Skrubery mokre są wykorzystywane w około jednej trzeciej kotłów regeneracyjnych.

Powodem ich używania często jest również odzysk ciepła. Skuteczność usuwania SO<sub>2</sub> za pomocą mokrych skrubierów wynosi zwykle > 90%. Według uzyskanych danych, tę samą wydajność redukcji SO<sub>2</sub> można osiągnąć spalając paliwo o wysokiej zawartości suchej substancji i wykorzystując skrubery typu mokrego.

W instalacjach uwalniających większe emisje SO<sub>2</sub>, nawet podczas spalania w kotle regeneracyjnym paliwa o wysokiej zawartości suchej substancji (np. z powodu przeciążenia kotła), skrubier może pomóc zredukować te emisje.

Rysunek 3.55 przedstawia zmiany w emisjach w ciągu całego roku. Dane pochodzą z wewnętrznych zakładowych danych pomiarowych on-line. Paliwem stosowanym w kotle regeneracyjnym jest ług czarny (około 75% DS), stężone gazy złowonne (około 3 kg S/ADt) i mieszanina terpentyny i metanolu. Płuczka w tym przykładzie zazwyczaj wykorzystuje wodę jako ciecz myjącą; jeśli wartość pH w wodzie spada do <7 (tj. emisje SO<sub>2</sub> wzrosłyby w kominie), do cieczy myjącej dodawany jest NaOH w celu kontrolowania emisji siarki. Średnia roczna emisja tej instalacji w 2008 roku wynosiła 0.014 kg SO<sub>2</sub>/ADt (Źródło: kwestionariusz, 2008). Ciągły pomiar SO<sub>2</sub> przed i po skrubierze konieczny jest do kontrolowania pracy skrubiera.



Źródło: [ 172, A.Schweizer 2010 ]

Rysunek 3. 55 Mierzone w sposób ciągle dziennie średnie dane dla emisji SO<sub>2</sub> z kotła regeneracyjnego wyposażonego w ESP i skrubier

SO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>
(mg/Nm <sup>3</sup> ) at 5 % O <sub>2</sub>	(mg/Nm <sup>3</sup> ) przy 5% O <sub>2</sub>
Yearly average 5.8	Średnia roczna 5.8
1 st decile: 3.0	1 decyl: 3.0
Daily maximum: 24.6	Maksimum dzienne:24.6
Standard deviation: 3.3	Odchylenie standardowe: 3.3
95 th percentile 12.4	95 percentyl 12.4
Dismissed: 26days (furnace shutdown or data incomplete on daily averages)	Zakończenie: 26 dni (wyłączenie pieca lub niekompletne dane o średnich wartościach dziennych)
Shutdown	Zamknięcie



SO <sub>2</sub> (daily average )	SO <sub>2</sub> (średnia dzienna)
Source: [ 172, A.Schweizer 2010 ]	Źródło: [ 172, A.Schweizer 2010 ]

### Oddziaływanie na procesy i środowisko

Wprowadzając świeżą wodę na górze skrubera, można produkować gorącą wodę (jeśli jest taka potrzeba). Zwykle woda jest wystarczająco czysta, aby można jej było użyć jako woda myjącej w instalacji bielienia. Skruber wymaga alkaliów w postaci utlenionego ługu białego, słabego ługu, lub wodorotlenku sodu, które mogą zwiększyć wymagania w zakresie przepustowości w sekcji odzyskiwania.

### Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki

Instalację skrubera korzystnie jest wykonać w tym samym czasie co instalację nowego kotła; istniejące kotły mogą również zostać wyposażone w skrubery, ale dużo większym kosztem. Kotły regeneracyjne spalające ług czarny o wysokiej zawartości DS zwykle mają bardzo niskie emisje siarki, co sprawia, że instalacja skrubera jest mniej korzystna. Może on być również używany do dalszej redukcji pyłów lub do odzysku ciepła.

### Aspekty ekonomiczne

Urządzenia zwykle przychodzą w pakiecie od dostawcy. Koszt inwestycji dla celulozowni masy bielonej o wydajności 250 000 i 500 000 t/r wynosi odpowiednio 7,2 mln euro i 10,4 mln euro. Koszt obejmuje skruber, pompy łogowe skrubera, pompy obiegowe, elektryfikację i oprzyrządowanie. Koszty eksploatacyjne wynoszą 580 000 euro/rok i 920 000 euro/rok.

### Motywacja do wdrożenia tej techniki:

Redukcja emisji SO<sub>2</sub>. Odzysk ciepła. W niektórych przypadkach usuwanie pyłów. W celulozowniach z kotłami regeneracyjnymi o dużej zawartości DS, emisję SO<sub>2</sub> można znacznie zredukować, i w takich przypadkach nie ma potrzeby instalowania skrubarów. Wewnętrzna sytuacja energetyczna celulozowni może wymagać produkcji ciepłej wody w skruberze. W nowoczesnych kotłach regeneracyjnych, zwłaszcza jeżeli spalają paliwo o wysokiej zawartości DS, H<sub>2</sub>S nie stanowi zazwyczaj problemu, który wymaga użycia skrubera. Skrubery mogą być również stosowane jako druga stopień dwustopniowej instalacji odpylania (ESP i skrubery).

### Instalacje referencyjne

Skrubery zostały zainstalowane w wielu kotłach regeneracyjnych w europejskich instalacjach.

### Bibliografia

[ 127, SEPA report 1992 ], [ 131, SEPA report 1997 ], [ 172, A.Schweizer 2010 ].

## 3.3.18 Kontrola emisji NO<sub>x</sub> z kotłów regeneracyjnych ługu czarnego

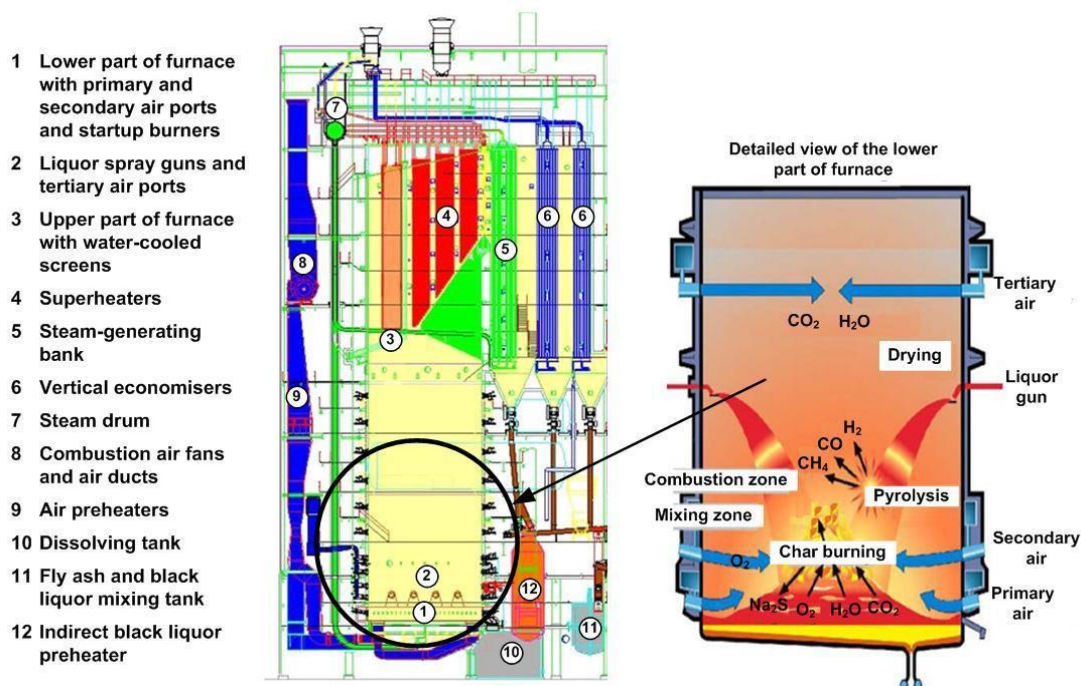
### 3.3.18.1 Optymalna kontrola procesu spalania i kontrola czynników determinujących emisje NO<sub>x</sub>

#### Opis

Złożony charakter chemii spalania i przepływów gazu w kotle regeneracyjnym ługu czarnego z jednej strony ogranicza możliwości redukcji emisji NO<sub>x</sub>, ale z drugiej daje również pewien margines dla zmniejszenia emisji. Przy prawidłowej kontroli spalania i ulepszonej instalacji powietrza (patrz pkt 3.3.18.2), emisje NO<sub>x</sub> można zredukować.

Typowy nowoczesny kocioł regeneracyjny w celulozowni siarczanowej przedstawiono na Rysunku 3.56. Powiększony widok po prawej stronie przedstawia podstawowe zasady spalania ługu czarnego w dolnej części pieca. Zazwyczaj powietrze do spalania jest wprowadzane przez przyłącza powietrza pierwszego, drugiego i trzeciego (i powietrza czwartego w kilku przypadkach), ale istnieje kilka wariantów systemów powietrza. Liczba poziomów drugorzędowych i trzeciorzędowych może się zmieniać, podobnie jak wysokość lub lokalizacja przyłączy. Czarny ług wtryskuje się do strefy spalania za pomocą dysz ługowych. Palniki rozruchowe są umieszczone na poziomie powietrza drugiego i są zasilane gazem lub olejem

opałowym. W wielu kotłach regeneracyjnych, stężone gazy złowonne (CNCG) wprowadzane są do pieca poniżej poziomu dysz ługowych. Rozcieńczone gazy niekondensujące (DNCG) wprowadza się do drugiego lub trzeciego poziomu powietrza w piecu. W dolnej części pieca znajduje się złożo karbonizatu. Stop wychodzi przez otwory wylotowe do zbiornika do rozpuszczania. Ciepło ze spalania jest odyskiwane przez powierzchnie wymiany ciepła, zanim gazy zostaną wprowadzone do elektrofiltru (ESP).



Źródło: Andritz, Metso

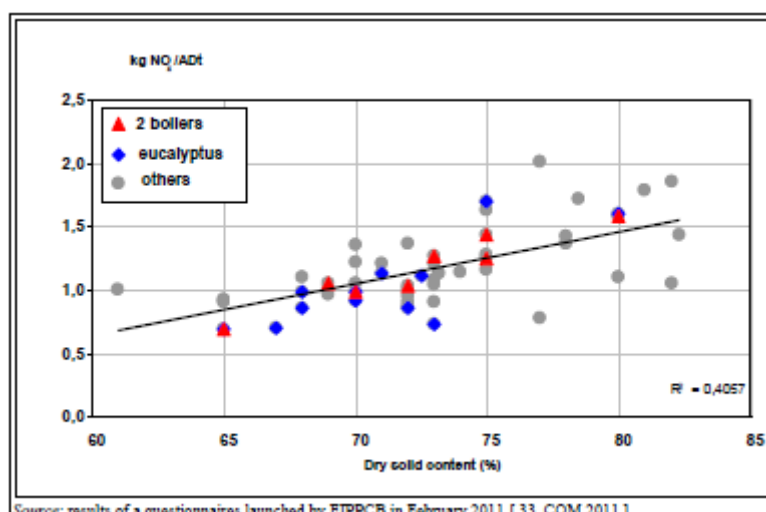
Rysunek 3. 56 Kompletny widok kotła i schematyczny widok dolnej i środkowej części pieca kotła regeneracyjnego w celulozowni siarczanowej

1 Lower part of furnace with primary and secondary air ports and startup burners	1 Dolna część pieca z pierwotnymi i wtórnymi przyłączami powietrza i palnikami startowymi
2 Liquor spray guns and tertiary air ports	2 Dysze ługowe i przyłącza trzeciego powietrza
3 Upper part of furnace with water-cooled screens	3 Górna część pieca z sitami chłodzonymi wodą
4 Superheaters	4 Przegrzewacze
5 Steam-generating bank	5 Parowniki
6 Vertical economisers	6 Ekonomizery pionowe
7 Steam drum	7 Walczak
8 Combustion air fans and air ducts	8 Wentylatory powietrza do spalania i kanały powietrzne
9 Air preheaters	9 Grzejniki powietrza
10 Dissolving tank	10 Zbiornik do rozpuszczania
11 Fly ash and black liquor mixing tank	11 Zbiornik do mieszania popiołów lotnych i ługu czarnego
12 Indirect black liquor preheater	12 Pośredni podgrzewacz ługu czarnego
Detailed view of the lower part of furnace	Szczegółowy widok dolnej części pieca
Drying	Suszenie
Tertiary air	Powietrze trzeciorzędowe
Liquor gun	Dysza ługowa
Combustion zone	Strefa spalania
Mixing zone	Strefa mieszania
Char burning	Spalanie karbonizatu

Pyrolysis	Pyroliza
Secondary air	Powietrze wtórne
Primary air	Powietrze pierwotne
Source: Andritz, Metso	Źródło: Andritz, Metso

Czynniki, które wpływają na emisję tlenków azotu ( $\text{NO}_x$ ) z kotłów regeneracyjnych obejmują [ 58, K.Grönblad et al. 2000 ], [ 61, Wallén et al. 2002 ], [ 64, J.Malmström 2010 ], [ 65, N.DeMartini et al. 2010 ], [ 66, FRBC 2010 ], [ 225, Hupa 2005 ], [ 226, Vakkilainen et al. 2005 ].

- (a) **Zawartość suchej substancji w ługu czarnym.** Zwiększenie zawartości suchej substancji w ługu czarnym (np. z 75% do 85%) powoduje wzrost temperatury w dolnej części pieca, zmniejsza przepływ gazu i może prowadzić do zwiększenia emisji  $\text{NO}_x$  wyrażonych jako stężenia i ładunki emisji. Wyższe temperatury jednocześnie minimalizują emisje siarkowe i maksymalizują produkcję pary i elektryczności. Konieczne jest dokładne zważenie poszczególnych emisji. Rysunek 3.57 przedstawia linię regresji, która pokazuje najlepszą zgodność między zawartością suchej substancji (%) oraz ładunkiem emisji  $\text{NO}_x$  dla 30 różnych kotłów regeneracyjnych. Niektóre celulozownie eksploatują dwa kotły regeneracyjne (2 kotły na wykresie).



Source: results of a questionnaires launched by EIPPCB in February 2011 [ 33, COM 2011 ]

Źródło: wyniki kwestionariusza EIPPCB z lutego 2011 r. [ 33, COM 2011 ]

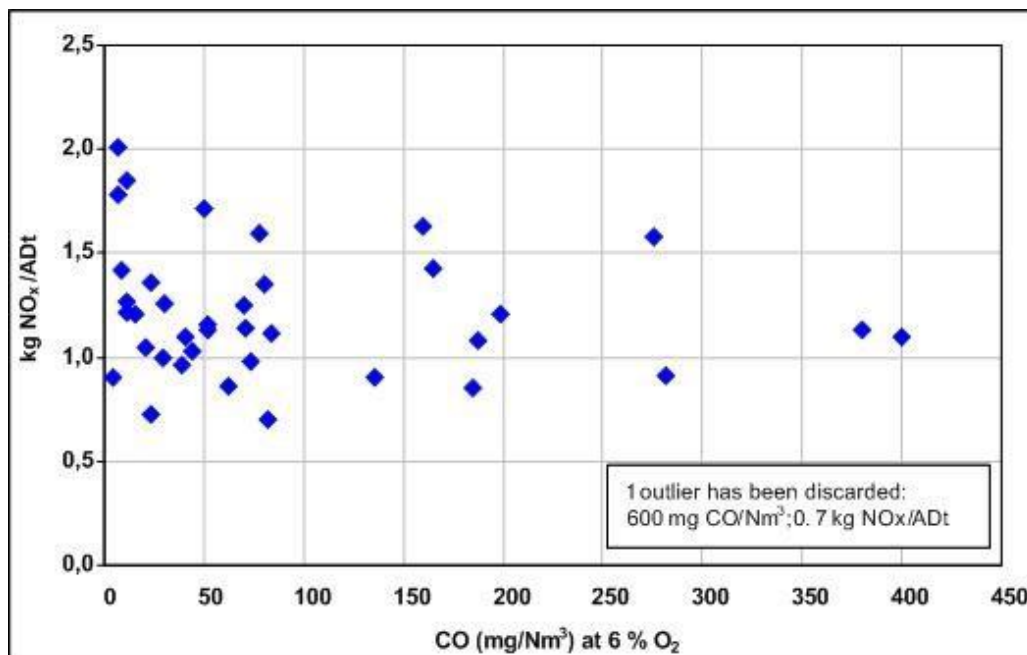
Rysunek 3. 57 Emisji  $\text{NO}_x$  ( $\text{kg NO}_2/\text{ADt}$ ) z kotłów regeneracyjnych jako funkcja zawartości suchej substancji w ługu czarnym (%)

kg $\text{NO}_x/\text{ADt}$	kg $\text{NO}_x/\text{ADt}$
2 boilers	2 kotły
eucalyptus	eukaliptus
others	inne
Dry solid content (%)	Zawartość suchej substancji (%)
Source: results of a questionnaires launched by EIPPCB in February 2011 [ 33, COM 2011 ]	Źródło: wyniki kwestionariusza EIPPCB z lutego 2011 r. [ 33, COM 2011 ]

- (b) **Nadmiarowa zawartość  $\text{O}_2$  i CO podczas spalania.** Istnieje korelacja między emisjami  $\text{NO}_x$  i stężeniem  $\text{O}_2$  i CO w gazach odlotowych z kotła regeneracyjnego. Aby zminimalizować emisje  $\text{NO}_x$  należy zoptymalizować wlot powietrza do komory spalania. Spalanie końcowe powinien odbywać się w górnej części komory spalania, gdzie temperatura jest niższa. Mniejsza ilość nadmiarowego powietrza do spalania i umiarkowanie podwyższony poziom CO powodują redukcję emisji  $\text{NO}_x$ .

Jeżeli stosunek powietrza spadnie poniżej ok. 2% to ilość  $\text{NO}_x$  maleje, ale ilość CO zaczyna gwałtownie rosnąć. Jeśli ilość  $\text{O}_2$  dalej się zmniejsza, to ilość TRS również rośnie. Stężenie tlenku węgla w zakresie 250–500 ppm powoduje, że powstaje znacznie mniej  $\text{NO}_x$ . Utrzymanie poziomu CO <50–100 mg  $\text{CO}/\text{Nm}^3$  ogranicza emisje LZO i

wielopierścieniowych węglowodorów (PAH) i jednocześnie pozwala na osiągnięcie niskich emisji NO<sub>x</sub>, co potwierdza Rysunek 3.58.



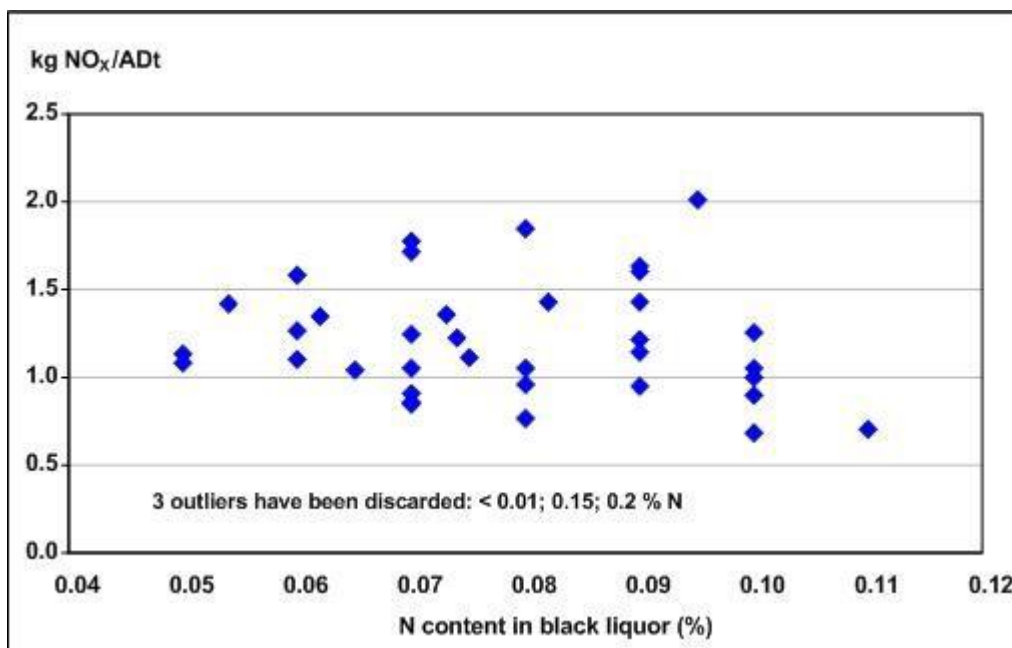
Źródło: wyniki kwestionariusza EIPPCB z lutego 2011 r. [ 33. COM 2011 ]

Rysunek 3. 58 Związek między stężeniem CO i emisjami NO<sub>x</sub> z kotłów regeneracyjnych ługu czarnego

kg NO <sub>x</sub> /ADt	kg NO <sub>x</sub> /ADt
1 outlier has been discarded;	1 wartość odstająca została odrzucona;
600 mg CO/Nm <sup>3</sup> ;0. 7 kg NO <sub>x</sub> /ADt	600 mg CO/Nm <sup>3</sup> ;0.7 kg NO <sub>x</sub> /ADt
CO (mg/Nm <sup>3</sup> ) at 6 % O <sub>2</sub>	CO (mg/Nm <sup>3</sup> ) przy 6% O <sub>2</sub>
Source: results of the questionnaire launched by the EIPPCB in February 2011 [ 33. COM 2011 ]	Źródło: wyniki kwestionariusza EIPPCB z lutego 2011 r. [ 33. COM 2011 ]

- (c) **Projekt instalacji powietrza i konstrukcja kotła (liczba i lokalizacje przyłączy powietrza i poziomy powietrza).** Niektóre z kotłów regeneracyjnych umożliwiają zainstalowanie nowych poziomów powietrza (patrz pkt 3.3.18.2), a niektóre na to nie pozwalają, gdy kocioł regeneracyjny działa na pełnych obrotach. Wszystkie nowe kotły wyposażone są w zaawansowaną instalację powietrza w celu minimalizowania emisji NO<sub>x</sub>. Celulozownie posiadające najnowsze modele kotłów regeneracyjnych zredukowały emisje z kotłów regeneracyjnych o 20–30%.
- (d) **Zawartość azotu w DS ługu czarnego.** Zawartość azotu w ługu czarnym ma bezpośredni wpływ na poziom NO<sub>x</sub> w kotle regeneracyjnym ługu czarnego. Około 30% azotu w ługu czarnym przekształca się w NO<sub>x</sub>. W normalnych warunkach roboczych trudno jest uzyskać konwersję do NO<sub>x</sub> poniżej 30%. Drewno liściaste zazwyczaj zawiera więcej azotu niż drewno iglaste. Dlatego w emisje NO<sub>x</sub> z ługu czarnego drewna iglastego są około 20% niższe niż z drewna liściastego.

Szwedzkie badanie [62, Hedenberg 1996] wskazuje, że drewno liściaste zawiera ~ 370 g N/m<sup>3</sup> svb (miąższość bez kory) a drewno iglaste ~ 225 g N/m<sup>3</sup> svb. Dla produkcji masy celulozowej zużycie drewna wynosi ~ 4 m<sup>3</sup> svb drewna liściastego i ~ 5 m<sup>3</sup> svb drewna iglastego na tonę masy. Wsad dla celulozowni siarczanowej wynosi ~ 1 480 kg N/ADt dla drewna liściastego i ~ 1 120 kg N/ADT dla drewna iglastego. Około 90–95% tego azotu rozpuszcza się w warku i przechodzi z ługiem czarnym do kotła regeneracyjnego. W kotle regeneracyjnym, około 25–35% azotu przekształca się do NO<sub>x</sub>, a reszta do N<sub>2</sub>. Teoretycznie może to spowodować wzrost emisji NO<sub>x</sub> w produkcji z użyciem drewna liściastego o około 30% w porównaniu do produkcji z drewna iglastego. Emisje z poszczególnych kotłów regeneracyjnych jednak tego nie potwierdzają, jak pokazuje Rysunek 3.59. Jest to możliwe, ponieważ zawartość N w ługu czarnym często zawiera się w dużych zakresach.



Źródło: [ 33, COM 2011 ]

Rysunek 3. 59 Związek między zawartością N w ługu czarnym (%), a emisjami NO<sub>x</sub> z kotłów regeneracyjnych

kg NO <sub>x</sub> /ADt	kg NO <sub>x</sub> /ADt
3 outliers have been discarded: < 0.01; 0.15; 0.2 % N	3 wartości odstające zostały odrzucone: < 0.01; 0.15; 0.2 % N
N content in black liquor (%)	Zawartość N w ługu czarnym (%)
Source: [ 33, COM 2011 ]	Źródło: [ 33, COM 2011 ]

- (e) **Spalanie CNCG w kotle regeneracyjnym** (alternatywą są piec wapienny i oddzielny palnik CNCG). Choć CNCG zawierają azot, doświadczenie pokazuje, że prawidłowe spalanie CNCG w kotle regeneracyjnym nie musi zwiększać emisji NO<sub>x</sub>. W większości przypadków spalanie CNCG w piecu wapiennym powoduje znaczny wzrost emisji NO z instalacji.
- (f) **Spalanie innych paliw zawierających N.** Paliwa takie jak kondensat zawierający metanol, gazy odlotowe zbiornika do rozpuszczania (DTVG) lub osad biologiczny spalany w kotle regeneracyjnym mogą powodować wzrost emisji NO<sub>x</sub>.
- (g) **Obciążenie pieca w kotle regeneracyjnym ługu czarnego.** obciążenie kotła regeneracyjnego ługu czarnego ma istotny wpływ na poziom emisji NO<sub>x</sub>; mniejsze obciążenie oznacza niższą temperaturę pieca i umożliwia lepszą kontrolę spalania. Kocioł, który pracuje powyżej przewidzianego obciążenia uwalnia większe emisje. Można wyróżnić trzy główne przypadki:
- i. Wysokie obciążenie, gdy instalacja powietrza jest przeciążona; minimalne możliwości kontroli; czasy retencji są zbyt krótkie, temperatura jest wysoka i następuje wysoka konwersja do NO<sub>x</sub>.
  - ii. Obciążenie normalne, gdy instalacja powietrza może zostać zoptymalizowana i wszystkie poziomy powietrza są skutecznie wykorzystywane; występują optymalne czasy retencji i optymalne temperatury, obserwuje się minimalną konwersję do NO<sub>x</sub>.
  - iii. Niskie obciążenie, gdy piec ma niskie zapotrzebowanie na powietrze; górne poziomy powietrza nie są w użyciu; występują długie czasy retencji i niskie temperatury. Obserwuje się umiarkowaną konwersję do NO<sub>x</sub>.
- (h) **Wydajność masy celulozowej.** Wyższa wydajność powoduje niższe ładunki emisji NO<sub>x</sub> (kg/ADt): Masa niebielona ma większą wydajność, tj. wytwarza mniej czarnego ługu na tonę masy niż masa bielona, co daje niższe ładunki emisji – nawet jeśli w obu przypadkach stężenie NO<sub>x</sub> w kominie kotła regeneracyjnego ługu czarnego jest takie same. Ten sam

- (i) efekt występuje w roztwarzaniu drewna iglastego i liściastego, a szczególnie w roztwarzaniu drewna eukaliptusowego (większa wydajność).

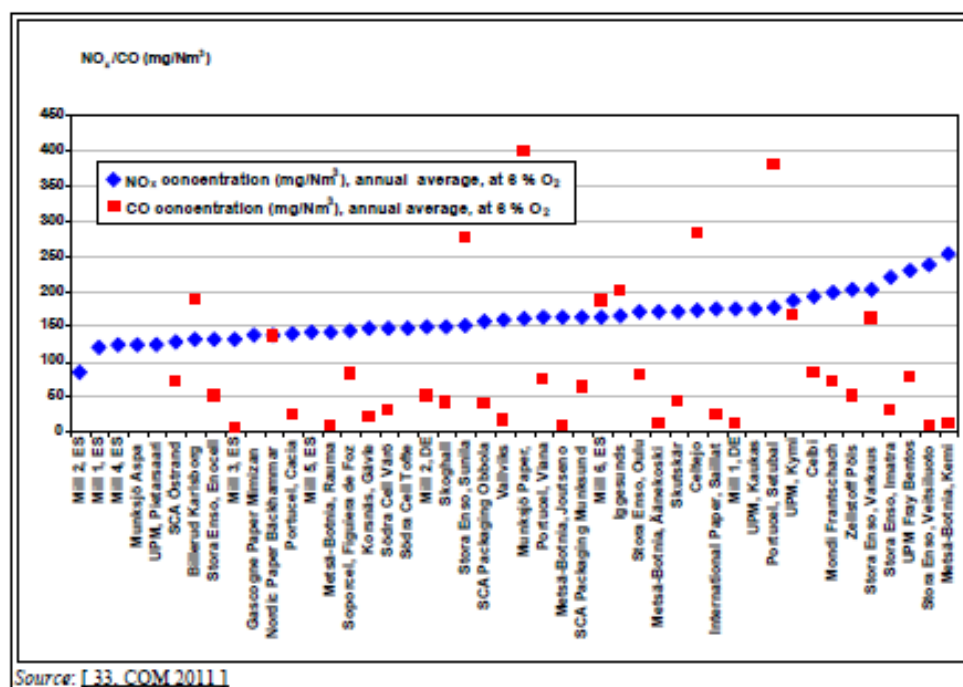
W zależności od kotła, emisja NO<sub>x</sub> może być kontrolowana dzięki optymalizacji wspomnianych wyżej czynników. Warunkiem uzyskania niskich emisji jest ciągły pomiar i dostosowanie odpowiednich parametrów spalania (O<sub>2</sub>, CO, temperatura, przepływ gazu, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, obciążenia kotła, paliwa). Konstrukcja kotła regeneracyjnego i zoptymalizowana instalacja powietrza mogą do pewnego stopnia obniżyć stężenie CO i NO<sub>x</sub>.

### Główne korzyści środowiskowe

Technika obniża emisje NO<sub>x</sub> i jednocześnie ogranicza emisje CO.

### Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

Na Rysunkach 3.60 i 3.61 podsumowano emisje NO<sub>x</sub> z kotłów regeneracyjnych ługu czarnego w europejskich celulozowniach siarczanowych, które wypełniły kwestionariusz dotyczący emisji do atmosfery z celulozowni siarczanowych wprowadzony przez EIPPCB w lutym 2011 roku. Niektóre instalacje podały tylko ładunki NO<sub>x</sub>. Ze względu na różnice w zakresie przepływu gazów odlotowych, stężenie NO<sub>x</sub> nie zawsze jest skorelowane z odpowiednimi emisjami NO<sub>x</sub>. Na Rysunku 3.60 pokazano średnioroczne wartości stężenia NO<sub>x</sub> wraz z odpowiednimi średniorocznymi emisjami CO (przy 6% O<sub>2</sub>).



Źródło: [33, COM 2011]

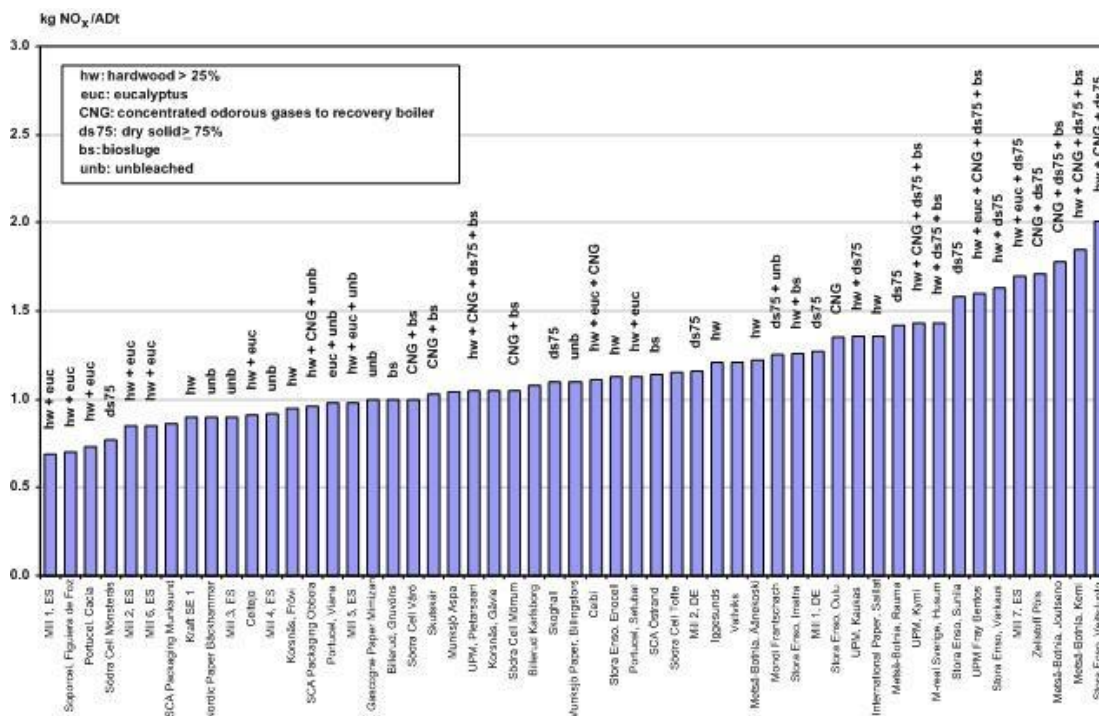
Rysunek 3. 60 Stężenie NO<sub>x</sub> (jako NO<sub>2</sub>), przy 6% O<sub>2</sub> z kotłów regeneracyjnych ługu czarnego

NO <sub>x</sub> /CO (mg/Nm <sup>3</sup> )	NO <sub>x</sub> /CO (mg/Nm <sup>3</sup> )
NO <sub>x</sub> concentration (mg/Nm <sup>3</sup> ), annual average, at 6 % O <sub>2</sub>	Stężenie NO <sub>x</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> ), średnia roczna, przy 6% O <sub>2</sub>
CO concentration (mg/Nm <sup>3</sup> ), annual average, at 6 % O <sub>2</sub>	Stężenie CO (mg/Nm <sup>3</sup> ), średnia roczna, przy 6% O <sub>2</sub>
Source: [ 33, COM 2011 ]	Źródło: [ 33, COM 2011 ]

W zależności od czynników decydujących omówionych powyżej, podaje się emisje NO<sub>x</sub> między <140 mg/Nm<sup>3</sup> i 230 mg/Nm<sup>3</sup> (6% zawartości O<sub>2</sub>) jako średnie wartości roczne. W większości przypadków, poziomy te zostały osiągnięte przy stężeniach CO między <25 mg/Nm<sup>3</sup> i 200 mg/Nm<sup>3</sup>, jako średnich rocznych, przy 6% zawartości O<sub>2</sub>. Występują stosunkowo niewielkie różnice dla wartości NO<sub>x</sub> i zarejestrowano tylko kilka wartości szokowych (patrz Rysunki 3.62, 3.65 i 3.66).

Rysunek 3.61 przedstawia emisje NO<sub>x</sub> w celulozowniach, które dostarczyły takie dane. Podano również czynniki wpływające na emisje NO<sub>x</sub> (zawartość suchej substancji ponad 75%, większy udział drewna liściastego, spalanie CNCG i osadu biologicznego w kotle regeneracyjnym łągu czarnego). Jak wykazano, we wszystkich kotłach regeneracyjnych, których emisje przekraczają 1,5 kg NO<sub>x</sub> (jako NO<sub>2</sub>)/ADt, występują co najmniej dwa takie niekorzystne czynniki.

Wskazano również przykłady przeciwnie, które są trudniejsze do wyjaśnienia.



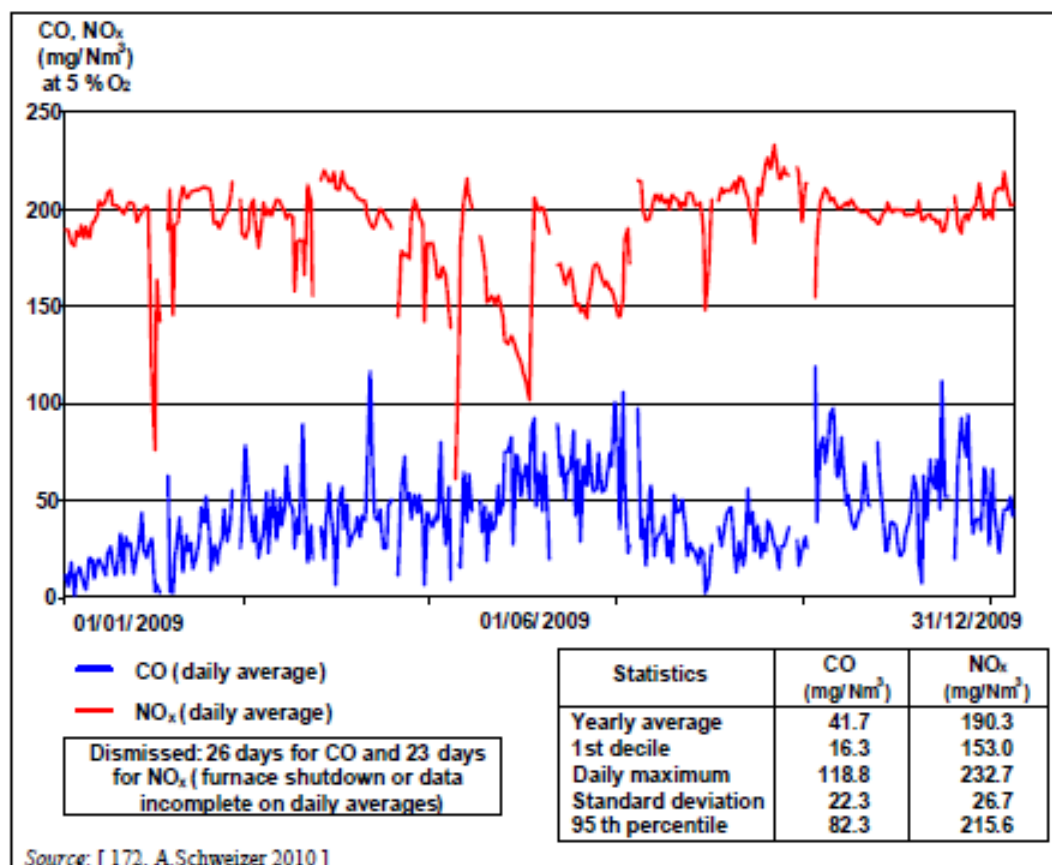
Źródło: [ 33. COM 2011 ]

Rysunek 3. 61 Emisje NO<sub>x</sub> z kotłów regeneracyjnych łągu czarnego

kg NO <sub>x</sub> /ADt	kg NO <sub>x</sub> /ADt
hw : hardwood > 25%	hw : drewno liściaste > 25%
euc: eucalyptus	euc: eukaliptus
CNG: concentrated odorous gases to recovery boiler	CNG: stężone gazy złowonne do kotła regeneracyjnego
ds75: dry solid > 75%	ds75: sucha substancja > 75%
bs: biosludge	bs: osad biologiczny
unb: unbleached	unb: niebielona
Source: [ 33. COM 2011 ]	Źródło: [ 33. COM 2011 ]

Przykładowy profil emisji kotła regeneracyjnego z trzema poziomami powietrza, które spala łąg czarny (około 75% suchej substancji), CNCG i mieszaninę metanolu i terpentyny, pokazano na Rysunku 3.62. Emisje NO<sub>x</sub> wynoszą 1,5 kg/ADt. Zawartość azotu w suchej substancji (drewno iglaste) wynosi średnio 0,08% (w 2008 r.). Kocioł działa nieco powyżej zaprojektowanej wydajności. Nie stwierdzono wpływu spalania metanolu w kotle regeneracyjnym.

Okolo 33% obliczonego wsadu N jest przekształcane w emisje NO<sub>x</sub>. Średnioroczne stężenie wynosi 190,3 mg NO<sub>x</sub>/Nm<sup>3</sup> (przy 5% O<sub>2</sub>). NO<sub>x</sub> i CO są mierzone w sposób ciągły.



Źródło: [ 172, A.Schweizer 2010 ]

Rysunek 3. 62 Średnie dzienne wartości NO<sub>x</sub> i CO w ciągu całego roku z kotła regeneracyjnego łągu czarnego

CO, NO <sub>x</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> ) at 5 % O <sub>2</sub>	CO, NO <sub>x</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> ) przy 5% O <sub>2</sub>
CO (daily average)	CO (średnia dzienna)
NO <sub>x</sub> (daily average)	NO <sub>x</sub> (średnia dzienna)
Statistics	Dane statystyczne
Yearly average	Średnia roczna
1st decile	1 decyl
Daily maximum	Maksimum dzienne
Standard deviation	Odchylenie standardowe
95 th percentile	95 percentyl
Dismissed: 26 days for CO and 23 days for NO <sub>x</sub> (furnace shutdown or data incomplete on daily averages)	Zakończenie: 26 dni dla CO i 23 dni dla NO <sub>x</sub> (wyłączenie pieca lub niekompletne dane o średnich wartościach dziennych)
Source: [ 172, A.Schweizer 2010 ]	Źródło: [ 172, A.Schweizer 2010 ]

Średnie emisje NO<sub>x</sub> z 22 szwedzkich kotłów regeneracyjnych łągu czarnego, które były eksploatowane w 2008 roku, wynosiły 1,04 kg NO<sub>x</sub>/ADt; siedem instalacji podało emisje NO<sub>x</sub> poniżej 1 kg/ADt (Źródło: szwedzkie dane statystyczne z 2007 r.). Największe emisje NO<sub>x</sub> z kotła regeneracyjnego łągu czarnego w Szwecji wyniosły 1,28 kg/ADt.

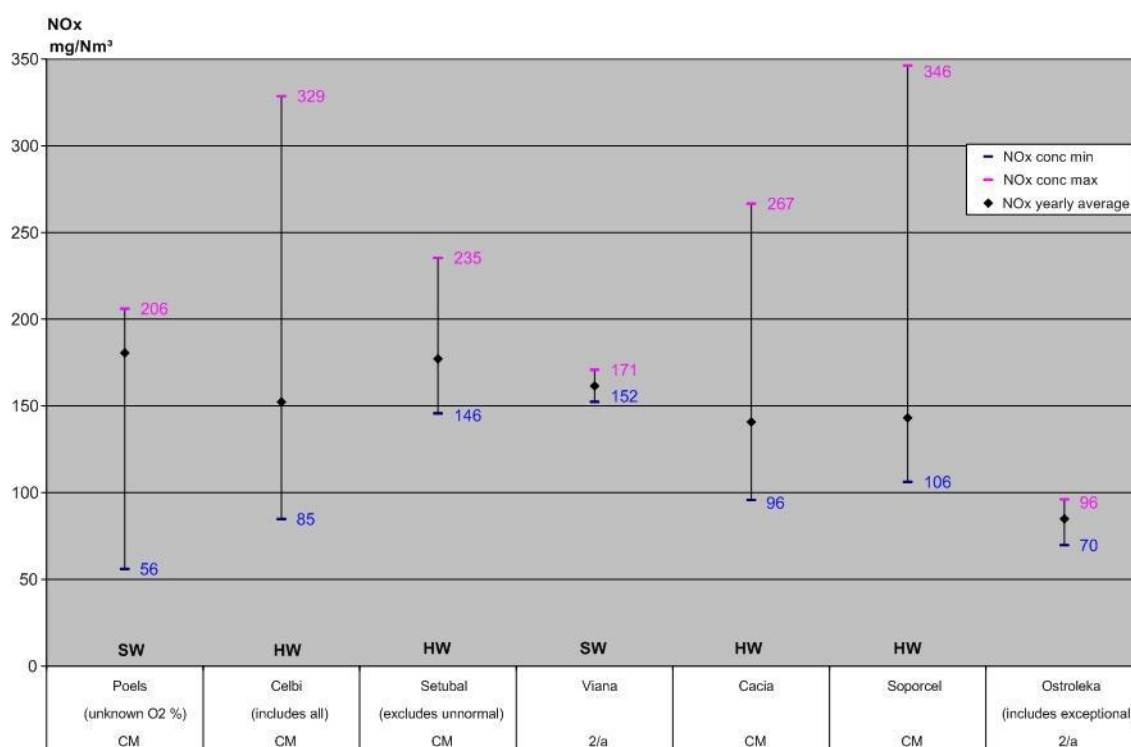
Sześć portugalskich celulozowni produkujących głównie masę eukaliptusową podało emisje NO<sub>x</sub> między 121 mg/Nm<sup>3</sup> (8% O<sub>2</sub>) lub 0,73 kg/ADt i 153 mg/Nm<sup>3</sup> (8% O<sub>2</sub>) lub 1,13 kg/ADt (Źródło: Kwestionariusz 2009).

Wszystkie te kotły regeneracyjne działają z trzema poziomami powietrza.

Dla określonych wartości NO<sub>x</sub>, należy wziąć pod uwagę, że produkcja masy eukaliptusowej jest nieco bardziej wydajna (51–54%) niż produkcja masy z iglastych drzew skandynawskich (44–46%) i drzew liściastych (47–49%), a tym samym zmniejsza emisje NO<sub>x</sub>.



Odnotowane krótkoterminowe emisje NO<sub>x</sub> i CO pokazano na Rysunkach 3.63 i 3.64.

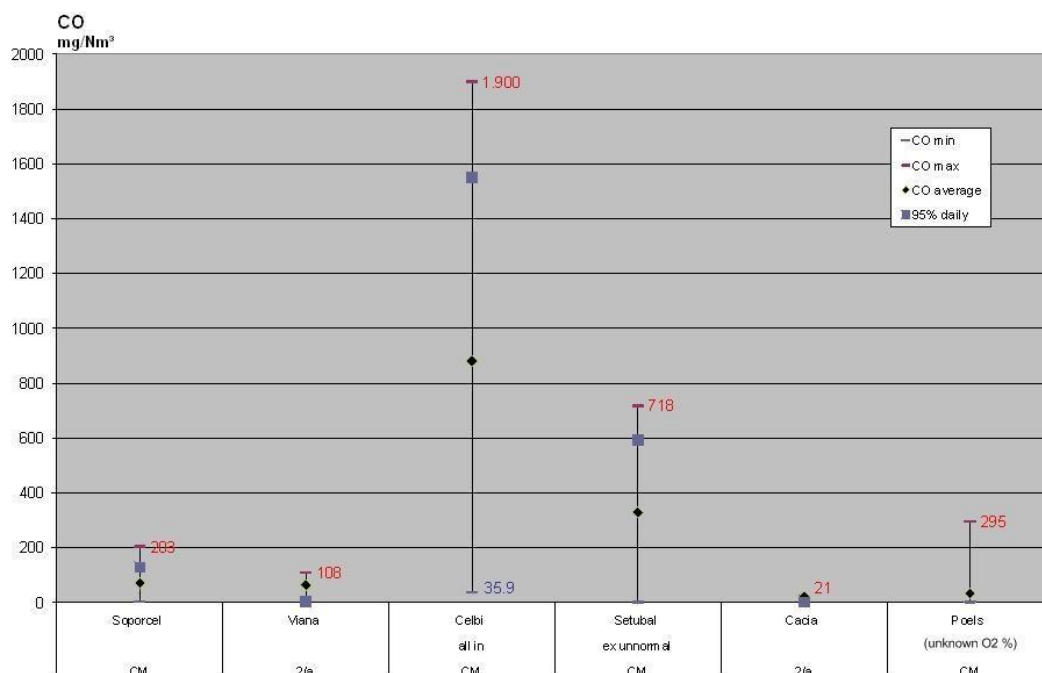


Uwagi: CM = stały monitoring

Źródło: Kwestionariusz EIPPCB z 2007/2009 i inne dane TWG

Rysunek 3.63 Emisje NO<sub>x</sub> z kotła regeneracyjnego jako średnia krótkoterminowa

NO <sub>x</sub>	NO <sub>x</sub>
mg/Nm <sup>3</sup>	mg/Nm <sup>3</sup>
NO <sub>x</sub> conc min	Min. stężenie NO <sub>x</sub>
NO <sub>x</sub> conc max	Maks. stężenie NO <sub>x</sub>
NO <sub>x</sub> yearly average	Średnia roczna NO <sub>x</sub>
Poels (unknown O <sub>2</sub> %) CM	Poels (nieznany O <sub>2</sub> %) CM
Celbi (includes all) CM	Celbi (obejmuje wszystko) CM
Setubal (excludes unnormal) CM	Setubal (z wył. niestandardowych) CM
SW	SW
HW	HW
Viana 2/a	Viana 2/a
Cacia CM	Cacia CM
Soporcel CM	Soporcel CM
Ostroleka (includes exceptional) 2/a	Ostrołęka (uwzg. szczególne) 2/a
NB: CM = Continuous monitoring	Uwagi: CM = stały monitoring
Source: EIPPCB questionnaires from 2007/2009 and other TWG input	Źródło: Kwestionariusz EIPPCB z 2007/2009 i inne dane TWG



Uwagi: CM = stały monitoring

Źródło: Kwestionariusz EIPPCB z 2007/2009 i inne dane TWG

Rysunek 3.64 Emisje CO z kotła regeneracyjnego jako średnia krótkoterminowa

CO	CO
mg/Nm <sup>3</sup>	mg/Nm <sup>3</sup>
CO min	Min. CO
CO max	Maks. CO
CO average	Średnie CO
95% daily	95% dziennie
Soporcel CM	Soporcel CM
Viana 2/a	Viana 2/a
Celbi all in CM	Celbi wszystko w CM
Setubal ex unnormal CM	Setubal wył. niest. CM
Cacia 2/a	Cacia 2/a
Poels (unknown O2 %) CM	Poels (nieznane O2 %) CM
NB: CM = Continuous monitoring	Uwagi: CM = stały monitoring
Source: EIPPCB questionnaires from 2007/2009 and other TWG input	Źródło: Kwestionariusz EIPPCB z 2007/2009 i inne dane TWG

Więcej danych na temat emisji NO<sub>x</sub> dla całej instalacji zaprezentowano w pkt 3.2.2.6.7.2.

### Oddziaływanie na procesy i środowisko

Brak efektów ubocznych dla środowiska lub szkód dla innych mediów wynikających z użycia tej techniki.

### Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki

Możliwe do zastosowania zarówno w nowych, jak i istniejących instalacjach.

### Aspekty ekonomiczne

Kocioł regeneracyjny ługu czarnego jest najdroższym elementem wyposażenia w celulozowni. Dlatego jego wydajność powinna być zoptymalizowana. W pewnym momencie, instalacje muszą zainwestować w nowy i większy kocioł. Ale poziom emisji NO<sub>x</sub> nie jest zazwyczaj motywacją do wdrożenia tej techniki.

### Motywacja do wdrożenia tej techniki:

Przepisy dotyczące ochrony środowiska i efektywna eksploatacja kotłów regeneracyjnych stanowią motywację do wdrożenia tej techniki. Ponieważ emisje NO<sub>x</sub> z kotła regeneracyjnego ługu czarnego odpowiadają około 65–85% wszystkich emisji z instalacji (patrz Rysunek 3.30), podejmowane są wysiłki w celu ograniczenia emisji NO<sub>x</sub> z tych zakładów.

Niektóre państwa członkowskie (np. SE) skoncentrowały programy ochrony środowiska na zmniejszeniu zakwaszenia i eutrofizacji. W odpowiedzi, w przemyśle celulozowo-papierniczym podjęto środki mające na celu ograniczenie emisji tlenków siarki i tlenków azotu.

### Instalacje referencyjne

Wiele celulozowni w Europie wdrożyło i eksploatuje kotły regeneracyjne opisane powyżej.

### Bibliografia

[ 33, COM 2011 ], [ 58, K.Grönblad et al. 2000 ], [ 61, Wallén et al. 2002 ], [ 64, J.Malmström 2010 ], [ 65, N.DeMartini et al. 2010 ], [ 66, FRBC 2010 ], [ 225, Hupa 2005 ], [ 226, Vakkilainen et al. 2005 ].

### 3.3.18.2 Zoptymalizowane instalacje powietrza kotłów regeneracyjnych ługu czarnego

#### Opis

Kotły regeneracyjne ługu czarnego działają z redukującą atmosferą w dolnej części pieca. W związku z powyższym, ilość NO<sub>x</sub> powstającego w kotle regeneracyjnym ługu czarnego jest mniejsza niż w innych piecach. Zmiany w instalacjach powietrza okazały się skuteczne w zakresie redukcji NO<sub>x</sub>.

Ponad typowymi poziomami doprowadzającymi powietrze (zwykle trzy), w kotle znajduje się dodatkowy poziom dopływu powietrza (poziom czwarty) umieszczony na większej wysokości od dna kotła. Wiele kotłów regeneracyjnych ługu czarnego posiada cztery poziomy doprowadzające powietrze, niektóre nawet pięć. Zmodyfikowanie instalacji doprowadzającej powietrze poprzez wprowadzenie dodatkowych otworów wlotowych w górnej części kotła redukuje powstawanie NO<sub>x</sub>.

Redukcja emisji NO<sub>x</sub> za pomocą stopni powietrza zależy od konstrukcji i obciążenia kotła regeneracyjnego ługu czarnego, a poziom emisji NO wynosi zazwyczaj 10–25%.

Dodatkowe poziomy powietrza ponad konwencjonalnymi zapewniają większą swobodę w zarządzaniu emisjami NO za pomocą technologii spalania.

Stało się jasne, że techniki redukcji NO w oparciu o optymalizację dystrybucji powietrza nie są skuteczne, jeśli obciążenie kotła jest bardzo wysokie, jak to ma miejsce w kilku celulozowniach [ 225, Hupa 2005 ]. Z drugiej strony, wszystkie modernizowane lub niedawno zainstalowane kotły

---

regeneracyjne ługu czarnego, dla których podano niskie emisje NO<sub>x</sub> mają kilka poziomów powietrza. Nie podano bardziej szczegółowych danych na temat skuteczności poszczególnych systemów dystrybucji powietrza.

## Główne korzyści środowiskowe

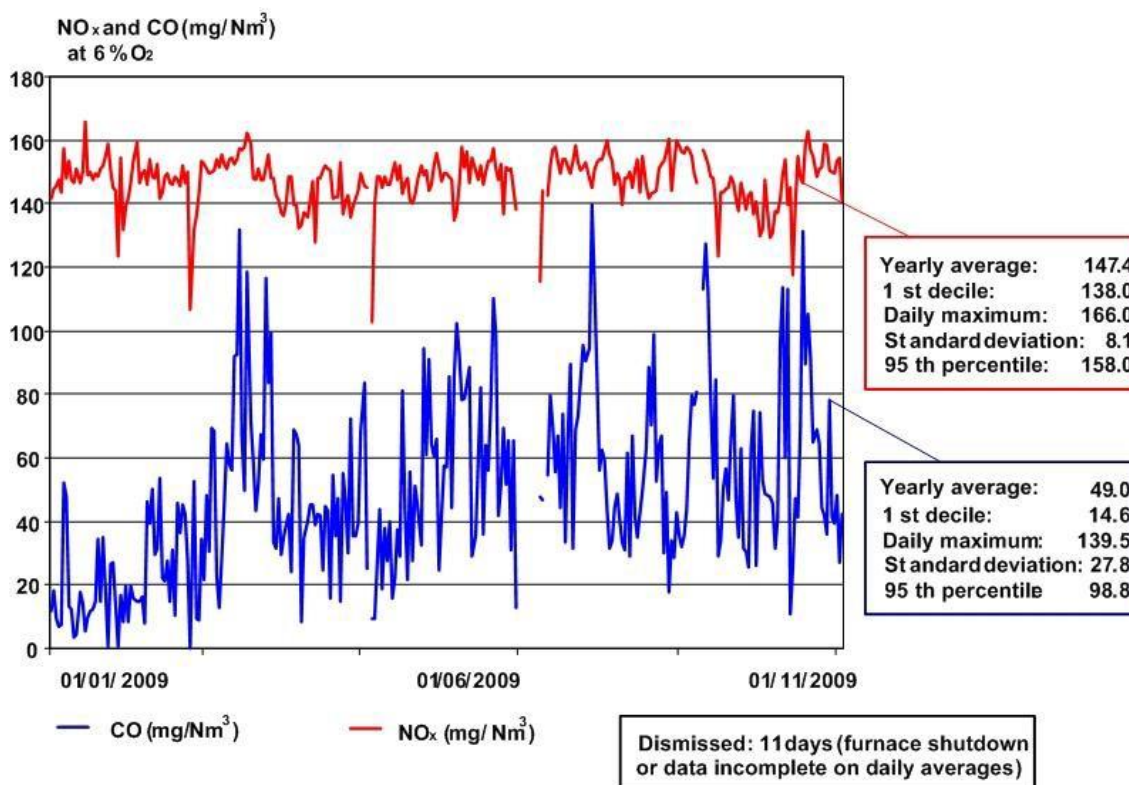
Niższe emisje NO<sub>x</sub>.

### Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

Redukcja emisji NO<sub>x</sub> w wyniku zastosowania tej techniki przynosi różne skutki i zależy od wielu czynników. W wielu przypadkach osiągnięto redukcję emisji NO<sub>x</sub> o około 10–25% [ 63, Salmenoja 2009 ], [ 64, J.Malmström 2010 ]. Dla porównania, np. celulozownia IP w Saillat, we Francji, podała, że wprowadzenie czwartego poziomu powietrza nie spowodowało znaczących redukcji emisji NO<sub>x</sub> (brak danych o obciążeniu kotła i dalszych szczegółów). Technika musi być dostosowana do specyficznych warunków kotłów regeneracyjnych ługu czarnego.

Osiągnięcia dwóch celulozowni, które wprowadziły zaawansowane instalacje powietrza i czwarty poziom powietrza przedstawiono na Rysunkach 3.65 i 3.66 jako przykłady.

Pierwszym przykładem jest europejska celulozownia wykorzystująca drewno iglaste (sosnowe i świerkowe) jako papierówkę. Kocioł regeneracyjny ługu czarnego działa nieco poniżej zaprojektowanej wydajności i posiada czwarty poziom powietrza. W kotle regeneracyjnym ługu czarnego spalane są ług (około 75% DS), gaz ziemny, olej opałowy jako paliwo dodatkowe i DNCG. Stężenia emisji NO<sub>x</sub> i CO pokazano na Rysunku 3.65. W wypełnionych kwestionariuszach, celulozownia podała poziom emisji NO<sub>x</sub> 1,25 kg/ADt w ujęciu rocznym dla kotła regeneracyjnego.



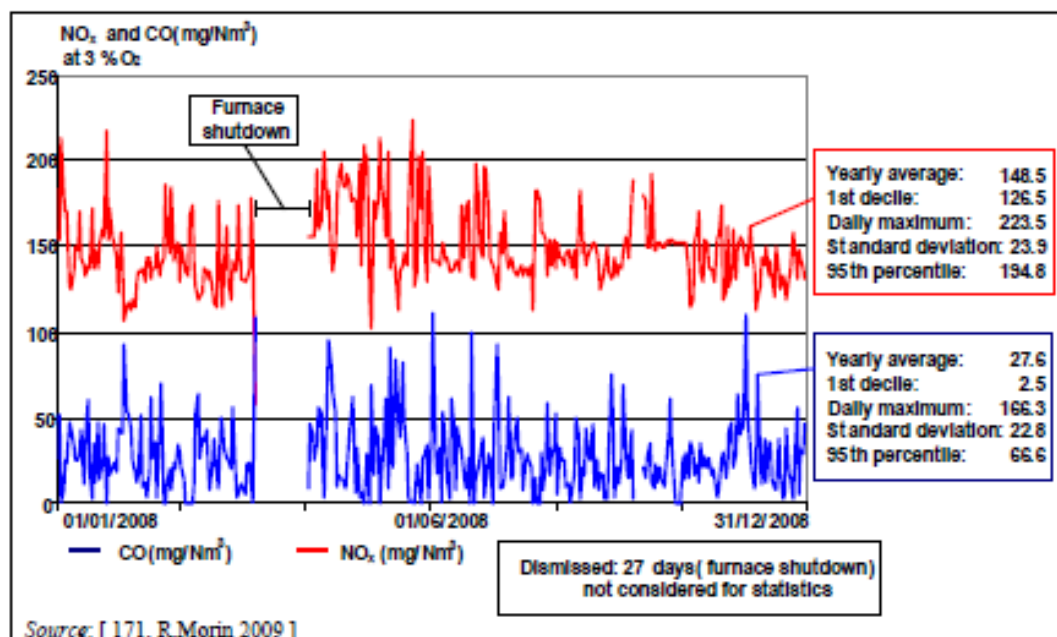
Źródło: [ 173, J.Queiser 2009 ]

Rysunek 3. 65 Mierzone w sposób ciągły średnie dzienne dane dla emisji NO<sub>x</sub> i CO kotła regeneracyjnego ługu czarnego

NO <sub>x</sub> and CO(mg/Nm <sup>3</sup> ) at 6%O <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub> i CO(mg/Nm <sup>3</sup> ) przy 6%O <sub>2</sub>
Yearly average: 147.4	Średnia roczna: 147.4
1 st decile: 138.0	1 decył: 138.0
Daily maximum: 166.0	Maksimum dzienne: 166.0
Standard deviation: 8.1 95 th percentile: 158.0	Odchylenie standardowe: 8.1 95 percentyl: 158.0
Yearly average: 49.0	Średnia roczna: 49.0
1st decile: 14.6	1 decył: 14.6
Daily maximum: 139.5	Maksimum dzienne: 139.5

Standard deviation: 27.8	Odchylenie standardowe: 27.8
95 th percentile 98.8	95 percentyl 98.8
Dismissed: 11 days (furnace shutdown or data incomplete on daily averages)	Zakończenie: 11 dni (wyłączenie pieca lub niekompletne dane o średnich wartościach dziennych)
Source: [ 173, J.Oueiser 2009 ]	Źródło: [ 173, J.Oueiser 2009 ]

Drugim przykładem jest szwedzka celulozownia Södra Varo, która wykorzystuje drewno iglaste (sosnowe i świerkowe) jako papierówkę. Kocioł regeneracyjny ma czwarty poziom powietrza. W kotle regeneracyjnym ługu czarnego spalane są ług (około 75% DS), niektóre paliwa kopalne i DNCG. Osiągnięte poziomy emisji NO<sub>x</sub> i CO pokazano na Rysunku 3.66. Średnioroczne stężenie emisji odpowiada emisjom NO<sub>x</sub> z kotła regeneracyjnego ługu czarnego w wysokości 1,02 kg/ADt w ciągu roku.



Źródło: [ 171, R.Morin 2009 ]

Rysunek 3. 66 Mierzone w sposób ciągły dziennie średnie dane dla emisji NO<sub>x</sub> i CO z kotła regeneracyjnego w celulozowni Södra Värö

NO <sub>x</sub> and CO(mg/Nm <sup>3</sup> ) at 3 % O <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub> i CO(mg/Nm <sup>3</sup> ) przy 3 % O <sub>2</sub>
Furnace shutdown	Zamknięcie pieca
Yearly average: 148.5	Średnia roczna: 148.5
1st decile: 126.5	1 decył: 126.5
Daily maximum: 223.5	Maksimum dzienne: 223.5
Standard deviation: 23.9 95th percentile: 1948	Odchylenie standardowe: 23.9 95 percentyl: 1948
Yearly average: 27.6	Średnia roczna: 27.6
1 st decile: 2.5	1 decyl: 2.5
Daily maximum: 166.3	Maksimum dzienne: 166.3
Standard deviation: 22.8	Odchylenie standardowe: 22.8
95th percentile: 66.6	95 percentyl: 66.6
Dismissed: 27 days( furnace shutdown) not considered for statistics	Zakończenie: 27 dni (wyłączenie pieca) nie uwzględniono w danych statystycznych
Source: [ 171, R.Morin 2009 ]	Źródło: [ 171, R.Morin 2009 ]

Nowsze kotły regeneracyjne, w których powietrze do spalania jest rozprowadzane przez co najmniej cztery moderatory powietrza, mogą osiągnąć poziomy poniżej 150 mg NO<sub>x</sub>/Nm<sup>3</sup> (przy 3% O<sub>2</sub>) lub poniżej 1 kg NO<sub>x</sub>/t w niektórych przypadkach (patrz Rysunek 3.30).

Wymagana jest bardzo dokładna kontrola procesu, aby zapobiec wzrostowi powstawania CO podczas spalania w tlenie. W celu ograniczenia emisji NO<sub>x</sub>, kotły regeneracyjne ługu czarnego funkcjonują przy niskim poziomie tlenu. Typowe poziomy tlenu w gazach odlotowych wynoszą 2,5–3%. Wzrost nadmiarowego O<sub>2</sub> może powodować wzrost NO<sub>x</sub>.

### Oddziaływanie na procesy i środowisko

Brak oddziaływania na procesy i środowisko.

### Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki

Możliwe do zastosowania zarówno w nowych, jak i istniejących instalacjach. Technika ta wymaga znacznych zmian w instalacji powietrza w piecu, a w niektórych przypadkach także pociągnięcia specjalnych rur w ścianie pieca, które są odporne na korozję w atmosferze redukującej, z dolnej części kotła do najwyższego poziomu powietrza; zmiany w konstrukcji kotła

byłyby znaczne. Wielkość i wymiary kotła mogą ograniczać zastosowanie tego środka w niektórych przypadkach.

#### **Aspekty ekonomiczne**

Koszt modyfikacji wprowadzenia powietrza do kotła regeneracyjnego celulozowni masy bielonej o wydajności między 250 000 a 500 000 ton/rok wynosi odpowiednio między 1,7 mln i 2,3 mln euro. Inwestycja obejmuje nowe wloty powietrza do kotła regeneracyjnego, oprzyrządowanie, rury i wentylatory. Wiąże się to z niewielką zmianą w kosztach operacyjnych (instalowanie dodatkowego wentylatora nieznacznie zwiększa zużycie energii elektrycznej).

#### **Motywacja do wdrożenia tej techniki:**

NO<sub>x</sub> ma działanie potencjalnie zakwaszające i może zwiększać eutrofizację. W niektórych wrażliwych obszarach jezior europejskich, konieczna jest dalsza redukcja emisji NO<sub>x</sub> za pomocą podstawowych środków.

#### **Instalacje referencyjne**

Wiele kotłów regeneracyjnych ługu czarnego posiada cztery poziomy powietrza, kilka drugorzędnych i trzeciorzędnych lub pionowe systemy powietrza w nowych i starszych kotłach.

#### **Bibliografia**

[ 63, Salmenoja 2009 ], [ 64, J.Malmström 2010 ], [ 171, R.Morin 2009 ], [ 173, J.Queiser 2009 ], [ 225, Hupa 2005 ].

### **3.3.19 Redukcja emisji pyłów z kotła regeneracyjnego ługu czarnego**

#### **3.3.19.1 Elektrofiltry**

##### **Opis**

ESP wytwarzają pole elektrostatyczne w poprzek drogi cząstek pyłu w strumieniu powietrza. Cząstki zostają ujemnie naładowane i poruszają się w kierunku dodatnio naładowanych płyt zbierających pył. Płyty są od czasu do czasu wprawiane w drganie, strącając zebrany materiał, który wpada do zbiornika poniżej.

Ważne jest, żeby cykl drgania ESP był zoptymalizowany, aby zminimalizować ponowne porywanie cząstek. Różnice w wydajności ESP zależą od konstrukcji i wymiarów filtrów elektrostatycznych i od szeregu parametrów eksploatacyjnych, takich jak natężenie przepływu gazów odlotowych, temperatura gazu, tryb uruchomienia i zatrzymania, liczba pól, siła pola elektrycznego, obszar i kształt elektrod, stężenie SO<sub>2</sub> i przeprowadzane prace konserwacyjne. W szczególności, wydajność może się zmniejszyć na skutek gromadzenia materiału, który tworzy warstwę izolacyjną na elektrodach i osłabia pole elektryczne. Należy to kontrolować.

Po wyjściu z kotła regeneracyjnego, gazy odlotowe są zazwyczaj podzielone na dwa strumienie i prowadzone równolegle przez elektrofiltry (ESP). Dwa strumienie pozwalają na wyłączenie jednego ESP na czas czyszczenia lub prac konserwacyjnych, jeśli zachodzi taka potrzeba. ESP w dwóch strumieniach zazwyczaj są dostosowane do przerobienia 65% lub więcej gazów z kotła, aby umożliwić wykonanie prac konserwacyjnych bez wyłączania kotła. Konieczne jest regularne czyszczenie, żeby usunąć nalot Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, powstający w czasie normalnej pracy.

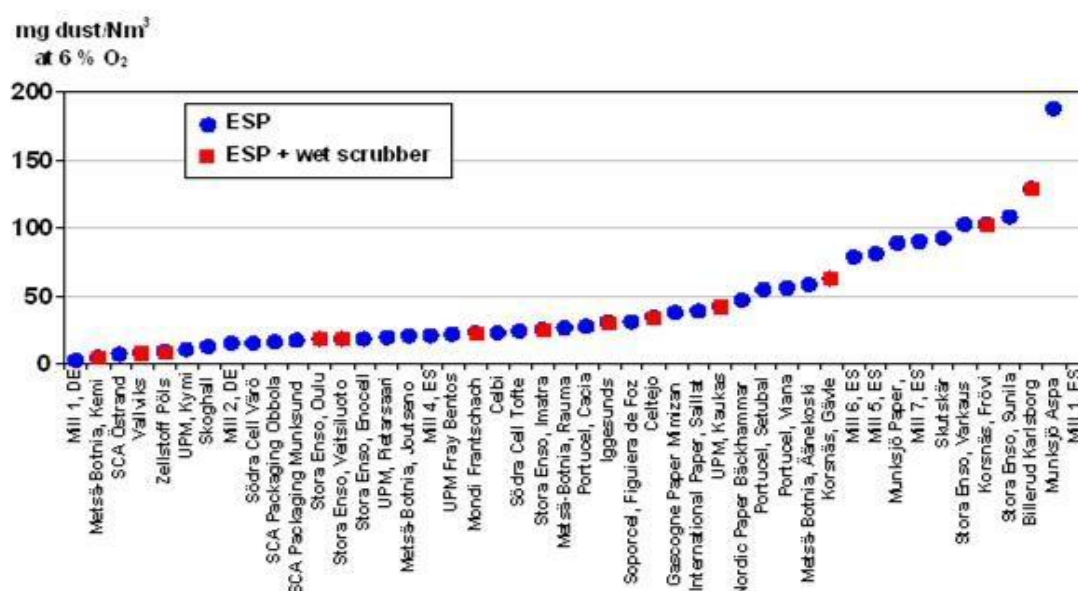
##### **Główne korzyści środowiskowe**

Usuwanie pyłów (cząstek stałych). Emisje pyłu z kotłów regeneracyjnych składają się głównie z drobnego pyłu (<2 μm), patrz Rysunek 3.28.

##### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Rysunki 3.67 i 3.70 podsumowują dane na temat emisji pyłów z kotłów regeneracyjnych w europejskich celulozowniach siarczanowych. Na rysunku 3.67, emisje pyłów zostały wykreślone jako średnioroczne wartości stężeń (Nm<sup>3</sup>, suche, przy 6% O<sub>2</sub>) dla tych zakładów, które podały wartości stężeń. Przedstawiono instalacje, które stosują tylko ESP lub ESP w połączeniu z mokrymi skruberami.





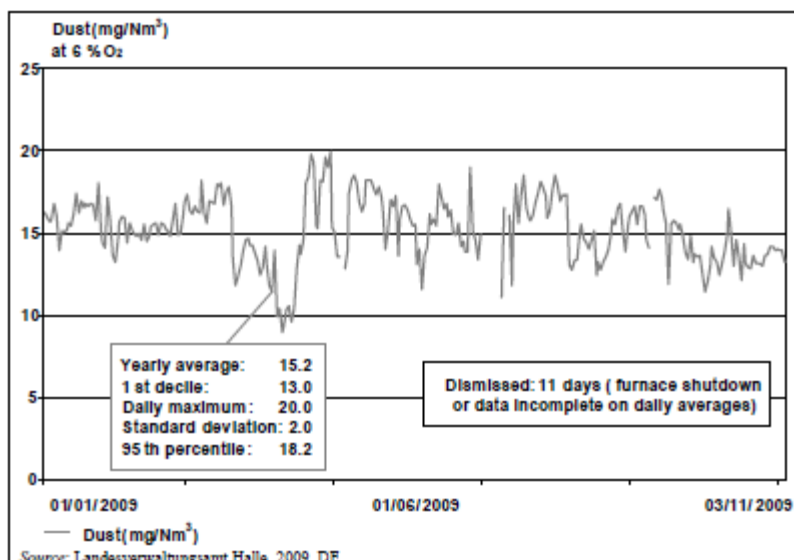
Źródło: [ 33. COM 2011 ]

Rysunek 3.67 Średnioroczne stężenie emisji pyłów z kotłów regeneracyjnych po ESP i ESP z mokrym skruberm

mg dust /Nm <sup>3</sup> at 6 % O <sub>2</sub>	mg pyłu/Nm <sup>3</sup> przy 6% O <sub>2</sub>
ESP	ESP
ESP + wet scrubber	ESP + mokry skruber
Source: [ 33. COM 2011 ]	Źródło: [ 33. COM 2011 ]

ESP ograniczyły emisje pyłu do <10–30 mg pyłu/Nm<sup>3</sup>, jako średnią roczną (lub 10–40 mg/Nm<sup>3</sup> (6% O<sub>2</sub>) określona jako średnia wartość dzienna). Kryteria projektowe, kontrola procesu i konserwacja ESP, optymalne wysokie napięcie, właściwe rozmiary i odpowiednia liczba pól elektrycznych są ważnymi czynnikami dla zapewnienia dobrej wydajności ESP. Osiągnięte poziomy zależą nie tylko od aspektów technicznych, ale także od celów wyznaczonych przez właściwe organy albo przez samego operatora.

Rysunek 3.68 przedstawia przykład dobrze zwymiarowanego ESP wraz z prawidłowym rozproszaniem gazów do ESP i zoptymalizowanym systemem czyszczenia ESP. Przedstawiono dzienne wartości średnie dla całego roku. Dane pochodzą z transferu on-line danych dotyczących emisji do właściwego organu. Ilości pyłów są mierzone w sposób ciągły. Emisje pyłu zostają zredukowane do 15–20 mg/Nm<sup>3</sup> w oparciu o dzienne wartości średnie (suchy gaz, 273 K, 6% O<sub>2</sub>).

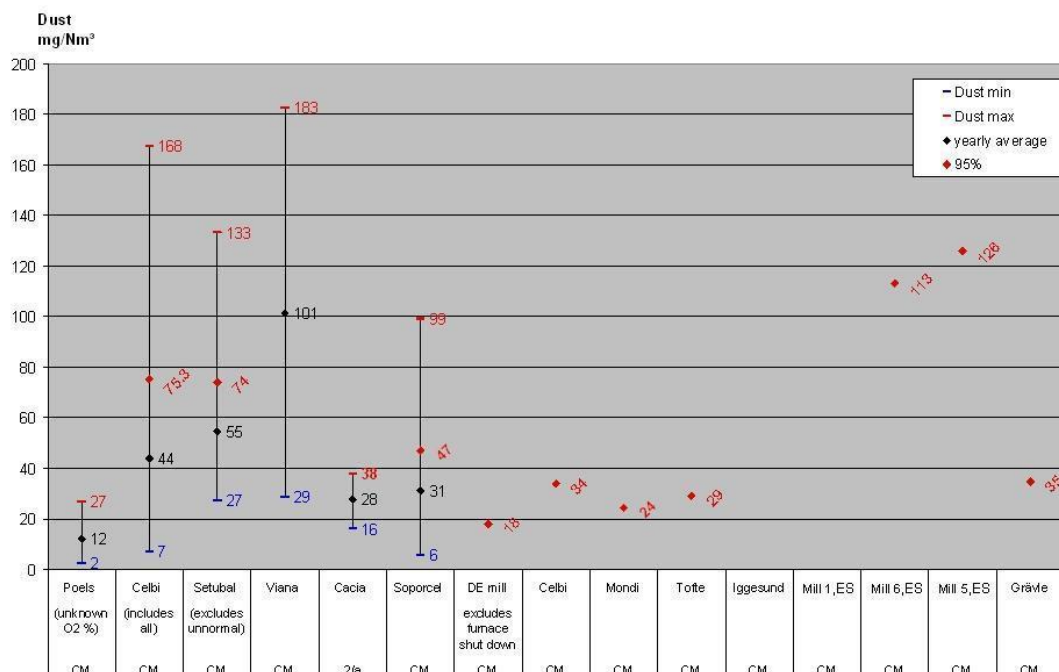


Źródło: Landesverwaltungsamt Halle, 2009, DE

Rysunek 3. 68 Mierzone w sposób ciągły dziennie średnie wartości dla emisji pyłów za ESP kotła regeneracyjnego

Dust(mg/Nm <sup>3</sup> ) at 6 % O <sub>2</sub>	Pył (mg/Nm <sup>3</sup> ) przy 6% O <sub>2</sub>
Yearly average: 15.2	Średnia roczna: 15.2
1st decile: 13.0	1 decyl: 13.0
Daily maximum: 20.0	Maksimum dzienne: 20.0
Standard deviation: 2.0	Odchylenie standardowe: 2.0
95 th percentile: 18.2	95 percentyl: 18.2
Dismissed: 11 days ( furnace shutdown or data incomplete on daily averages)	Zakończenie: 11 dni (wyłączenie pieca lub niekompletne dane o średnich wartościach dziennych)
Dust(mg/Nm <sup>3</sup> )	Pył (mg/Nm <sup>3</sup> )
Source: Landesverwaltungsamt Halle, 2009, DE	Źródło: Landesverwaltungsamt Halle, 2009, DE

Odnotowane krótkoterminowe emisje pyłów przedstawiono na Rysunku 3.69.



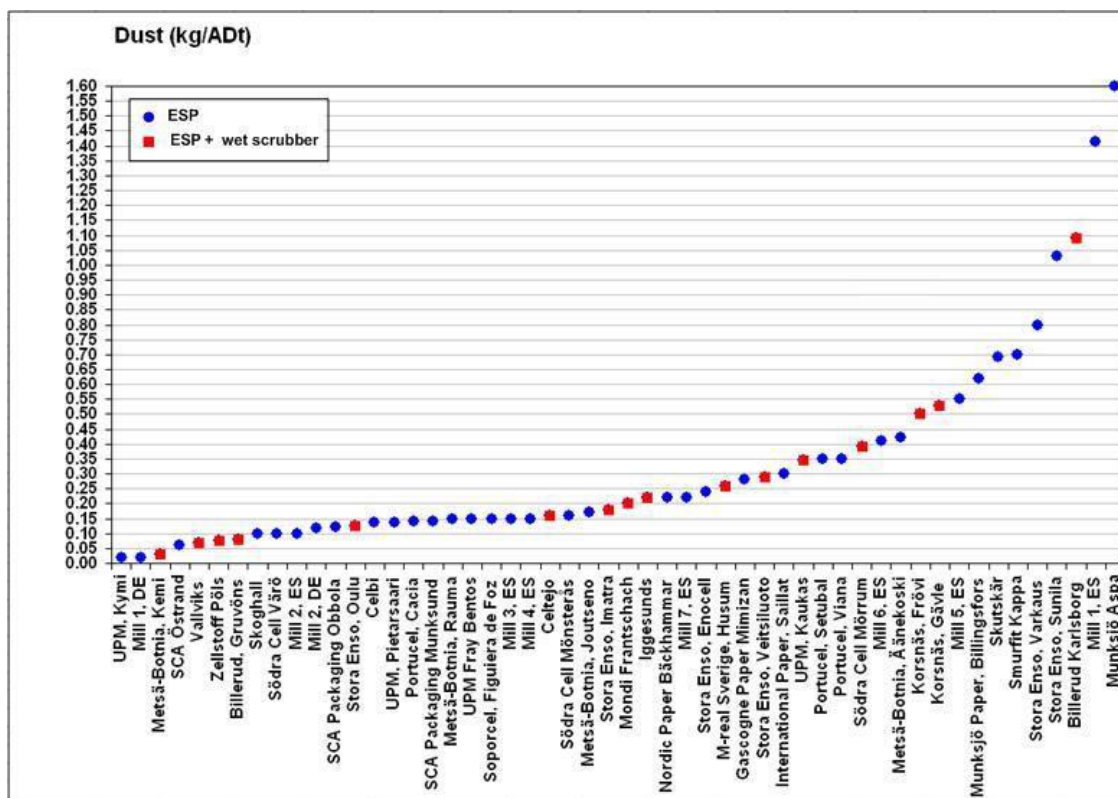
Uwagi: CM = stały monitoring

Źródło: Kwestionariusz EIPPCB z 2007/2009 i inne dane TWG

Rysunek 3. 69 Emisje pyłów z kotła regeneracyjnego jako średnia krótkoterminowa

Dust mg/Nm <sup>3</sup>	Pyły mg/Nm <sup>3</sup>
Dust min	Pyły min.
Dust max	Pyły maks.
yearly average	średnia roczna
95%	95%
NB: CM = Continuous monitoring	Uwagi: CM = stały monitoring
Source: EIPPCB questionnaires from 2007/2009 and other TWG input	Źródło: Kwestionariusz EIPPCB z 2007/2009 i inne dane TWG
Poels (unknown O2%) CM	Poels (nieznane O2%) CM
Celbi (includes all) CM	Celbi (obejmuje wszystko) CM
Setubal (excludes unnormal) CM	Setubal (z wył. niestandardowych) CM
Viana CM	Viana CM
Cacia 2/a	Cacia 2/a
Soporcel CM	Soporcel CM
DE mill exdudes furnace shut down CM	Instalacje DE bez wyłączenia pieca CM
Celbi CM	Celbi CM
Mondi CM	Mondi CM
Tofte CM	Tofte CM
Iggesund CM	Iggesund CM
Mill 1 ,ES CM	Mill 1 ,ES CM
Mill 6,ES CM	Mill 6,ES CM
Mill 5.ES CM	Mill 5.ES CM
Gravie CM	Gravie CM

Rysunek 3.70 przedstawia dane na temat emisji pyłów z kotłów regeneracyjnych w europejskich celulozowniach siarczanowych. Są to celulozownie przedstawione na Rys. 3.67, oraz dodatkowo te, które podały tylko wartości dla emisji pyłów (brak informacji o stężeniach). Pył jest wyrażony w średniorocznych ładunkach emisji (kg pyłu/ADt). Wprowadzono rozróżnienie między zastosowaniem tylko ESP i ESP w połączeniu z mokrymi skrubierami.



Źródło: [ 33, COM 2011 ]

Rysunek 3. 70 Średnioroczne ładunki emisji pyłów z kotłów regeneracyjnych po ESP i ESP z mokrym skrubierem

Dust (kg/ADt)	Pył (kg/ADt)
ESP	ESP
ESP + wet scrubber	ESP + mokry skrubier
Source: [ 33, COM 2011 ]	Źródło: [ 33, COM 2011 ]

Zmiany w ilości paliwa, zawartości suchej substancji i w obciążeniu kotła regeneracyjnego mogą spowodować zakłócenia w pracy ESP. Jednak istnieją sposoby, aby ustalić, jakie warianty paliwa i jakie zmiany w poziomie wydajności kotła są akceptowane dla ESP. Monitorowanie mocy wejściowej ESP (kV, mA, prędkość iskrzenia), a także monitorowanie pracy systemu odpylania, mogą być pomocne w utrzymaniu systemu na optymalnym poziomie. Na przykład, jeśli moc kotła regeneracyjnego zostanie zwiększona, zwiększy się ilość gazów i pyłów zbieranych na ESP. Operatorzy mogą określić maksymalne obciążenie kotła dzięki monitorowaniu poziomów mocy wejściowej T/R w porównaniu do minimalnych wartości ustalonych w celu dostosowania emisji z zakładu do dopuszczalnych poziomów. Wszystkie systemy związane z ESP, w tym także wydajność urządzeń do usuwania pyłów, muszą być kontrolowane tak, aby instalacja spełniała wymagania eksploatacyjne i aby zmniejszyć zakłócenia działania ESP oraz nagłe wzrosty emisji.

ESP są bardzo wydajnymi urządzeniami do gromadzenia najdrobniejszych cząstek (<0,5 μm), pod warunkiem że cząsteczki posiadają zdolność skupiania, np. jak pył z kotła regeneracyjnego. W kotłach regeneracyjnych, rozmiar cząstek umożliwia ich skuteczne oddzielenie za pomocą ESP. Podczas spalania nie powstają żadne aerozole.

Przy projektowaniu i eksploatacji ESP należy wziąć pod uwagę kilka kwestii w odniesieniu do ich użytkowania za kotłami regeneracyjnymi. Kluczowe zalecenia to:

- unikanie płaskich powierzchni na drodze gazu z kotła do ESP, aby zapobiec gromadzeniu się pyłów;
- każda ścieżka gazu powinna zostać zaprojektowana tak, aby umożliwić wyłączenie części systemu oczyszczania gazów na czas prac konserwacyjnych, podczas gdy kocioł pracuje przy zmniejszonym obciążeniu (tj. projekt dla 70% całkowitego przepływu przez jeden układ ESP);
- wraz ze wzrostem DS w ługu, często następuje wzrost obciążenia pyłem na ESP;
- pH pyłu musi być utrzymywane powyżej 8,5, aby uniknąć powstania lepkiego pyłu, który będzie trudny do usunięcia;
- prowadzenie gazów do ESP musi odbywać się w sposób stabilny (odchylenie standardowe przepływu gazu za pierwszym polem powinno wynosić 20% lub mniej);
- ze względu na trudności w usuwaniu kurzu z elektrod zbiorczych, wysokość i długość elektrody, oraz łączna powierzchnia zbiorcza strzepywacza muszą zostać odpowiednio dobrane;
- układ usuwania pyłu z dolnej części ESP musi być bardzo wytrzymały, niezawodny, skuteczny i nie może pozwalać na ponowne porywanie pyłu.

Wydajność instalacji ESP można często poprawić bez konieczności całkowitej wymiany, co ogranicza koszty. Działanie ESP można usprawnić montując bardziej nowoczesne elektrody, instalując automatyczne sterowniki napięcia lub modernizując układy strzepywaczy. Ponadto, możliwe jest zwiększenie przepływu gazu przez ESP (lepsze rozprowadzanie gazu) lub dodanie stopni uzupełniających. Wydajność ESP można zwiększyć przez dopasowanie pozycji elektrod ulotowych i elektrod zbiorczych, wyeliminowanie przepuszczania gazu przez elektrody, poprawę czyszczenia płyty zbiorczej oraz zapewnienie optymalnego zasilania elektrycznego. W przypadku tego ostatniego, konieczne mogą okazać się zmiany elementów sterujących i ustawienie T/R. Jednak zdarza się, że wzrost ładunku gazu i pyłu na ESP lub zmniejszenie dopuszczalnych emisji z instalacji powoduje, że wprowadzenie zmian w urządzeniach zasilających i sterujących nie jest wystarczające. W tych przypadkach należałoby zwiększyć rozmiar ESP. Dopiero po przeprowadzeniu dokładnej oceny wielkości ESP, wyników historycznych i nowych wymagań eksploatacyjnych, można opracować prawidłowe podejście do modernizacji istniejącej instalacji.

Skład ługu czarnego może powodować zmiany w wydajności ESP. Pył może silniej przylegać do płyty zbiorczej. Czyszczenie elektrod może wymagać korekty ustawienia strzepywacza. Nowoczesne systemy sterowania mogą to wykrywać i zmieniać ustawienie strzepywacza dla uzyskania optymalnej wydajności. Dodatkowo, pobór mocy elektrycznej zostanie dostosowany do zmieniającej się sytuacji.

Wielkość ESP i ich zapotrzebowanie na energię elektryczną wzrastają wykładniczo wraz ze spadkiem zawartości pyłu w czystym gazie. Optymalne działanie ESP zależy od określonych warunków surowego gazu, takich jak temperatura i wilgotność. Żywotność ESP może wynosić nawet kilka dziesięcioleci, pod warunkiem że przeprowadzane są wszystkie zalecane prace konserwacyjne. Niektóre elementy, takie jak młotki i łożyska, wymagają regularnej wymiany co kilka lat w ramach rutynowych prac konserwacyjnych.

Na działanie ESP często ma wpływ skład pyłu, prowadzenie przepływu gazu i jego objętość, przepuszczanie gazu w rejonie systemów ładowania/zbierania, niewłaściwy projekt systemu strzepywaczy, brak nowoczesnych zasilaczy i urządzeń sterujących, oraz ogólnie nieprawidłowa konserwacja ESP. Utrzymanie wnętrza ESP w czystości, prawidłowe ustawienie i zasilanie oraz najnowszy system sterowania pozwalają osiągnąć możliwie najlepsze wyniki. Rutynowe kontrole i zaplanowane prace konserwacyjne we wnętrzu ESP gwarantują ich niezawodną pracę.

Monitorowanie mocy wejściowej dla każdej części ESP i reagowanie na duże wahania zapewni prawidłową pracę urządzenia: skuteczność odpylania ESP jest maksymalna, gdy ładowanie cząstek pyłu jest optymalne, a T/R służący do konwersji prądu przemiennego w instalacji na prąd stały o wysokim napięciu pracuje na najwyższych obrotach. Ścisłe monitorowanie napięcia wtórnego (kV), prądu (mA) i prędkości iskrzenia dla każdego T/R, oraz zmian w pracy kotła,

pozwała na osiągnięcie maksymalnego wskaźnika zbierania pyłów. Wyższe poziomy prądu wtórnego i mniejsze ilości iskrzenia są kluczowe dla maksymalizacji całkowitej wydajności ESP. Dla ogólnej wydajności ESP, ważne jest, aby uniknąć uwalniania CO. Ze względu na wysoką wydajność, niskie straty ciśnienia, wysoką dostępność i efektywność energetyczną, elektrofiltry zostały pomyślnie wdrożone do zbierania pyłów z gazów odlotowych kotłów regeneracyjnych. Głównymi wadami ESP są mniejsza skuteczność z warstwą izolacyjną oraz ewentualne gromadzenie się materiału na płytach zbiorczych.

Nie stwierdzono stosowania filtrów workowych w przypadku kotłów regeneracyjnych. Charakter składu pyłów i gazów odlotowych z kotłów regeneracyjnych nie jest dostosowany do materiałów stosowanych w filtrach workowych. Temperatura i wilgotność gazu są wyższe niż tolerowane przez filtry workowe. Cząsteczki pyłu są małe i często bardzo lepkie. Taki pył trudno byłoby usunąć z worków, co powodowałoby wysoki spadek ciśnienia na filtrze. Zakłócenia warunków kotła mogą również prowadzić do uszkodzenia worka; naprawa wymagałaby odłączenia zasilania.

#### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Zużycie energii elektrycznej wzrasta wraz z większą skutecznością usuwania. ESP zostały zaprojektowane w oparciu o wymagania dotyczące przepływu gazu i skuteczności usuwania. Zastosowanie zasilaczy o wysokiej częstotliwości i zaawansowanych kontrolerów dla konwencjonalnych prostowników transformatorowych (T/RS) pomaga utrzymać zużycie energii na minimalnym poziomie. Moc T/R stanowi największy element energetyczny ESP. Jednak są jeszcze inne elementy, takie jak strzepywacze, odpylacze, dodatkowe grzałki/dmuchawy itp., które również zużywają energię. Im wyższa wymagana skuteczność na jednostkę objętości, tym większe zużycie energii w ESP. Usunięty pył jest w całości ponownie wykorzystany w procesie.

#### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Powszechnie stosowane, pod warunkiem, że jest wystarczająco dużo miejsca.

#### **Aspekty ekonomiczne**

Koszt poszczególnych zmian zależy od wielkości i złożoności istniejących systemów.

#### **Motywacja do wdrożenia tej techniki:**

Wymagania prawne, wymagania w zakresie bezpieczeństwa i ochrony zdrowia w miejscu pracy, warunki lokalne.

#### **Instalacje referencyjne**

Zob. Rys. 3.67 i Rys. 3.70

#### **Bibliografia**

[ 33, COM 2011 ], [ 229, Stubenvoll et al. 2007 ], [ 198, Porle 2005 ], [ 199, Herrlander 2010 ].

### **3.3.19.2 Elektrofiltry przed mokrymi skruberami**

Technika ta została opisana w pkt 3.3.17.2 i jednocześnie zmniejsza emisje pyłu i siarki (SO<sub>2</sub>, TRS).

#### **Opis**

Po odpyleniu gazów odlotowych za pomocą ESP (patrz pkt 3.3.19.1), spaliny są transportowane za pomocą wentylatorów wyciągowych bezpośrednio do komina lub dodatkowo oczyszczane z za pomocą jedno- lub dwustopniowego skrubera. Gaz za ESP jest łączony i chłodzony świeżą wodą żeby osiągnął punkt rosy. Cieczą myjącą w procesie oczyszczania gazów jest zwykle Na(OH). Skuteczność skrubera mokrego zależy od wielkości cząstek i wymiarów (a tym samym strat ciśnienia) oraz efektywności ostatniego zbieraka kropel. Wymiary doprowadzenia świeżej wody i odmgławiacza są czynnikami czysto ekonomicznymi w odniesieniu do rozplanowania obiektu.

#### **Korzyści dla środowiska i oddziaływanie na procesy i środowisko**

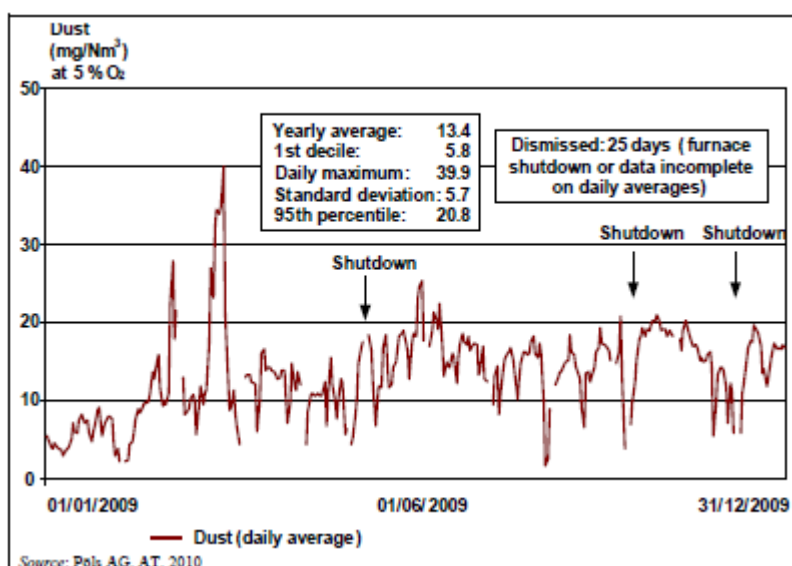
Zob. pkt 3.3.19.1.

### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Wydajne skrubery mokre usuwają maksymalnie 75% pyłu po ESP. Dane dotyczące wydajności ESP i skrubierów mokrych w usuwaniu pyłów przedstawiono na Rys. 3.67 i Rys. 3.70 powyżej. Niskie poziomy emisji pyłów można osiągnąć w obu systemach, stosując tylko ESP, lub ESP przed skrubierem mokrym. Skrubery nie są zazwyczaj używane do odpylania, ale do redukcji emisji siarki. Redukcja emisji pyłu jest jedynie pozytywnym skutkiem ubocznym.

Nowoczesne elektrofiltry (ESP) samodzielnie osiągają wysoką sprawność odpylania. Starsze systemy często wykorzystują dwustopniowe urządzenia odpylające (ESP i skrubery mokre). Jeśli ESP nie są wystarczająco duże i dobrze utrzymane, emisje pyłów mogą być na stosunkowo wysokim poziomie, gdy odpylanie odbywa się tylko za pomocą ESP. W takich przypadkach, skrubier mokry może utrzymać emisje na niskim poziomie. Niektóre nowoczesne kotły regeneracyjne zostały wyposażone w dwa stopnie odpylania (ESP i skrubery mokre), głównie po to, żeby zapewnić stałe niskie emisje siarki, ale także w celu odzyskiwania ciepła (jeśli można je wykorzystać).

Przykłady emisji w dwustopniowych instalacjach (ESP i skrubier) pokazano na Rys. 3.71. Stężenia pyłów w czystym gazie wynoszą między  $10 \text{ mg/Nm}^3$  i  $20 \text{ mg/Nm}^3$ , jako średnia dzienna (suchy gaz, 273 K, 5%  $\text{O}_2$ ). Dane na Rys. 3.71 pochodzą z wewnętrznych zakładowych danych pomiarowych. Płuczka w tym przykładzie zazwyczaj wykorzystuje wodę jako ciecz myjącą; jeśli wartość pH w wodzie spada do  $<7$  (tj. emisje  $\text{SO}_2$  wzrosłyby w kominie), do cieczy myjącej dodawany jest NaOH. Kocioł regeneracyjny na Rys. 3.71 działa z 13% nadwyżką wydajności, co powoduje większy przepływ gazów odlotowych. Większa szybkość przepływu powoduje wzrost emisji pyłu po ESP i odmgławiaczu po skrubierze. Przy wartości znamionowej, emisje pyłów w instalacji wynosiły poniżej  $15 \text{ mg/Nm}^3$ , jako średnia dzienna.



Źródło: Pöls AG, AT, 2010

Rysunek 3. 71 Mierzone w sposób ciągle dziennie średnie wartości dla emisji pyłów za ESP kotła regeneracyjnego

Dust (mg/Nm <sup>3</sup> ) at 5 % O <sub>2</sub>	Pył (mg/Nm <sup>3</sup> ) przy 5% O <sub>2</sub>
Yearly average: 13.4	Średnia roczna: 13.4
1st decile: 5.8	1 decyl: 5.8
Daily maximum: 39.9	Maksimum dzienne: 39.9
Standard deviation: 5.7	Odchylenie standardowe: 5.7
95th percentile: 20.8	95 percentyl: 20.8
Dismissed: 25 days ( furnace shutdown or data incomplete on daily averages)	Zakończenie: 25 dni (wyłączenie pieca lub niekompletne dane o średnich wartościach dziennych)
Shutdown	Wyłączenie
Dust (daily average)	Pył (średnia dzienna)
Source: Pöls AG, AT, 2010	Źródło: Pöls AG, AT, 2010

### Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki

Dwustopniowy system odpylania (ESP i mokry skrubler) może być stosowany w nowych i istniejących zakładach.

### Aspekty ekonomiczne

Brak informacji.

### Motywacja do wdrożenia tej techniki:

Wymagania prawne, wymagania w zakresie bezpieczeństwa i ochrony zdrowia w miejscu pracy, warunki lokalne. Motywacją do zastosowania skrubera w kotle regeneracyjnym ługu czarnego nie jest zmniejszenie emisji pyłów z tego źródła, ale kontrola emisji SO<sub>2</sub> (patrz pkt 3.3.17.2) gdy środki wewnętrzne, takie jak zwiększenie suchej substancji nie mogą być stosowane.

### Instalacje referencyjne

Zob. Rys. 3.67 i Rys. 3.70

### Bibliografia

[ 172, A.Schweizer 2010 ], [ 229, Stubenvoll et al. 2007 ].



### 3.3.20 Redukcja emisji siarki (SO<sub>2</sub> i TRS) z pieca wapiennego

#### 3.3.20.1 Wybór paliwa i kontrola nadmiarowego tlenu

##### Opis

Emisjom SO<sub>2</sub> można zapobiec lub można je zmniejszyć stosując paliwa o niskiej zawartości siarki, lub, jeśli w piecu wapiennym spalane są niekondensujące gazy złowonne (NCG), oczyszczając gazy siarkowe przed spaleniem ich w piecu wapiennym (patrz pkt 3.3.22.2).

SO<sub>2</sub> powstaje podczas spalania z powodu obecności siarki w paliwie i w stężonych NCG, jeśli są one spalane. Rola siarki wchodzącej do pieca wapiennego wraz ze szlamem wapiennym jest marginalna, ale może prowadzić do zwiększenia emisji TRS w niektórych przypadkach (patrz pkt 3.3.20.2). CaCO<sub>3</sub> ze szlamu wapiennego może wchłonąć część SO<sub>2</sub>, ale jego zdolności absorpcyjne są bardzo ograniczone. Dodatkowo, część siarki może zostać wchłonięta w piecu wapiennym przez sól w postaci gazowej, który powstaje przez odparowanie pozostałości alkalicznych rozpuszczalnych w wodzie zawartych w umyтым i odwodnionym szlamie wapiennym wprowadzanym do pieca. Te związki alkaliczne wchłaniające siarkę są zanieczyszczeniami Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, który wiąże część SO<sub>2</sub> i tworzy siarczan sodu (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

Prawie wszystkie piece wapienne wykorzystują ciężki olej opałowy lub gaz ziemny jako paliwo. W kilku przypadkach stosowany jest olej talowy, sucha sproszkowana kora, trociny lub gaz z instalacji zgazowywania kory (szczegóły dotyczące użycia odnawialnych biopaliw podano w pkt 3.3.23). Bardziej typowymi paliwami alternatywnymi, które są używane tylko jako składnik głównego paliwa, są niekondensujące gazy (NCG), metanol i terpentyna.

Emisje SO<sub>2</sub> są znacznie wyższe, gdy stężone gazy niekondensujące i/lub kondensat zawierający metanol są spalane w piecu bez skrubera.

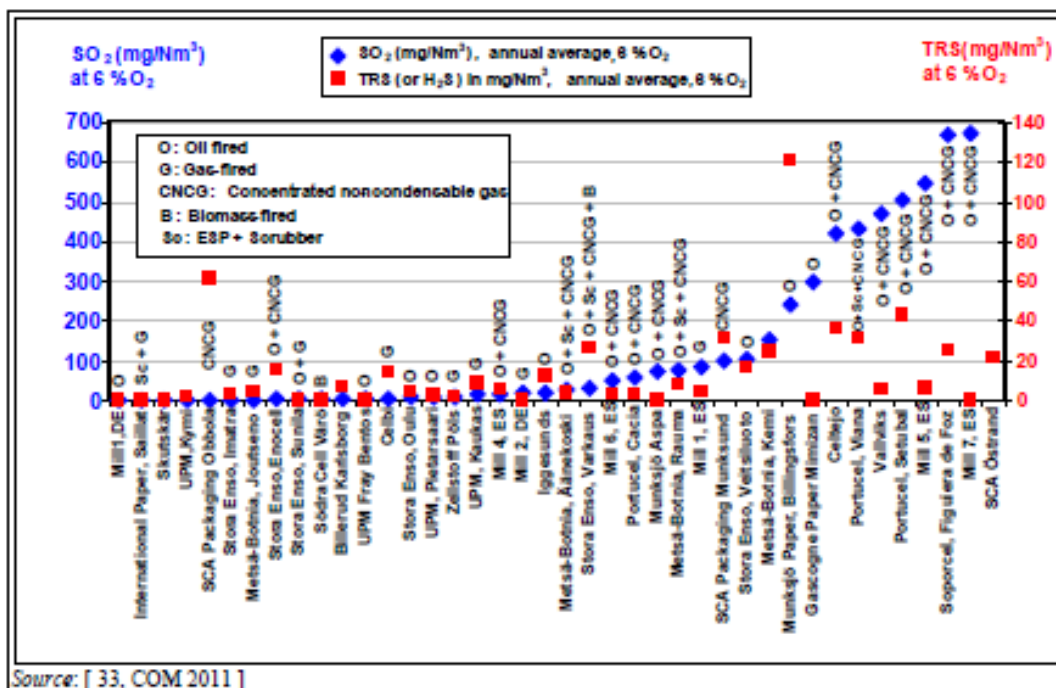
Jeśli stopień mycia i filtrowania szlamu wapiennego jest prawidłowo zwymiarowany i eksploatowany, palniki pieca wapiennego są dobrze zaprojektowane i wystarczająco dużo powietrza jest doprowadzane do całkowitego spalania (obecność wystarczającej ilości nadmiarowego powietrza można zagwarantować za pomocą systemu kontroli ilości tlenu resztkowego), to nie zwiększa to emisji TRS z pieca.

##### Główne korzyści środowiskowe

Redukcja emisji siarki.

### Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

Rys. 3.72 (ilości wyrażone jako stężenia) i Rys. 3.73 (ilości wyrażone jako ładunki emisji) przedstawiają emisje SO<sub>2</sub> i TRS z pieców wapiennych w europejskich celulozowniach. Niektóre celulozownie podały tylko ładunki emisji, bez wartości stężeń, inne zmierzyły H<sub>2</sub>S, a nie TRS, ponieważ emisje TRS z pieców wapiennych składają się głównie z siarkowodoru. Ze względu na różnice w przepływie gazów odlotowych, stężenie SO<sub>2</sub> nie zawsze jest skorelowane z odpowiednimi ładunkami emisji SO<sub>2</sub>. Na Rys. 3.72, emisje SO<sub>2</sub> (lewa oś y) i TRS (prawa oś y) zostały wykreślane jako roczne wartości średnie stężeń (przy 6% O<sub>2</sub>). Wskazano stosowane paliwa (olej, gaz, CNCG, biomasa) oraz wykorzystanie skrubera.



Źródło: [ 33, COM 2011 ]

Rysunek 3. 72 Stężenia emisji TRS i SO<sub>2</sub> z pieców wapiennych opalanych różnymi paliwami

SO <sub>2</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> ), annual average, 6 % O <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub> (mg/Nm <sup>3</sup> ), średnia roczna, 6% O <sub>2</sub>
TRS (or H <sub>2</sub> S) in mg/Nm <sup>3</sup> , annual average, 6 % O <sub>2</sub>	TRS (lub H <sub>2</sub> S) w mg/Nm <sup>3</sup> , średnia roczna, 6% O <sub>2</sub>
TRS(mg/Nm <sup>3</sup> ) at 6 % O <sub>2</sub>	TRS(mg/Nm <sup>3</sup> ) przy 6% O <sub>2</sub>
O : Oil fired	O : opalany olejem
G : Gas-fired	G : Opalany gazem
CNCG : Concentrated non condensable gas	CNCG : Stężone gazy niekondensujące
B : Biomass- fired	B : Opalany biomasa
Sc : ESP + Scrubber	Sc : ESP + Skrubler
Source: [ 33, COM 2011 ]	Źródło: [ 33, COM 2011 ]

#### Emisje TRS (H<sub>2</sub>S)

Gazy spalinowe z pieców wapiennych mogą zawierać niewielkie ilości siarkowodoru ze względu na niekompletne mycie szlamu wapiennego. Wiele instalacji spala w piecach wapiennych także stężone gazy złowonne, które wprowadzają związki całkowitej siarki zredukowanej do pieca. Emisje TRS z pieców wapiennych zazwyczaj wynoszą od blisko zera do poniżej 20 mg TRS (jako S)/Nm<sup>3</sup> (przy 6% O<sub>2</sub>). Odpowiedni ładunek emisji waha się od prawie zera do < 0,02 kg TRS-S/ADt (zob. Rysunek 3.73).

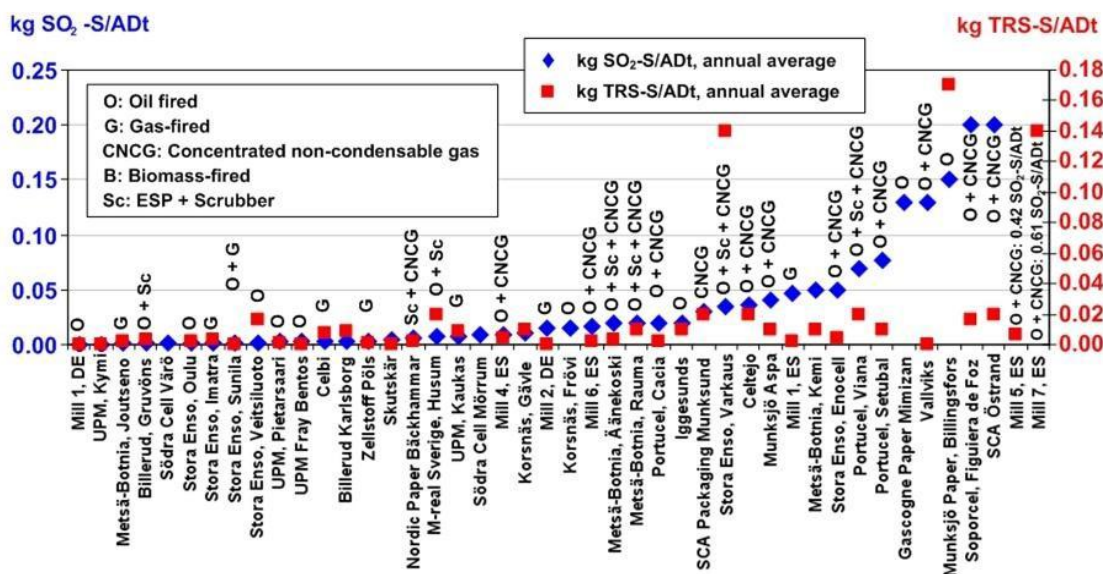
#### Emisje SO<sub>2</sub>

Emisje SO<sub>2</sub> z pieca wapiennego zależą od paliwa, tego czy spalane są CNCG, oraz czy stosowane są skrubery mokre (patrz pkt 3.3.20.3). Dane przedstawione na Rys. 3.72 i Rys. 3.73

zestawiono w tabeli 3.26, która pokazuje emisje SO<sub>2</sub> z pieców wapiennych dla różnych paliw, oraz w przypadku stosowania skrubera lub jego braku.

Tabela 3. 26 Emisje SO<sub>2</sub> z pieców wapiennych dla różnych paliw, ze skruberm i bez

Główne paliwo, spalanie CNCG	Osiągnięte emisje SO <sub>2</sub> , jako wartości średnioroczne
Spalanie oleju bez gazów niekondensujących	5 – 50 mg SO <sub>2</sub> /Nm <sup>3</sup> (przy 6% O <sub>2</sub> )
Spalanie oleju bez gazów niekondensujących (zwykle z użyciem)	<0.02 kg SO <sub>2</sub> -S/ADt
Gaz ziemny, gaz drzewny lub inna biomasa (nie odnotowano spalania gazu w połączeniu z)	100 mg SO <sub>2</sub> /Nm <sup>3</sup> (przy 6% O <sub>2</sub> )
	0.05 kg SO <sub>2</sub> -S/ADt
	1 – 20 mg SO <sub>2</sub> /Nm <sup>3</sup> (przy 6% O <sub>2</sub> )

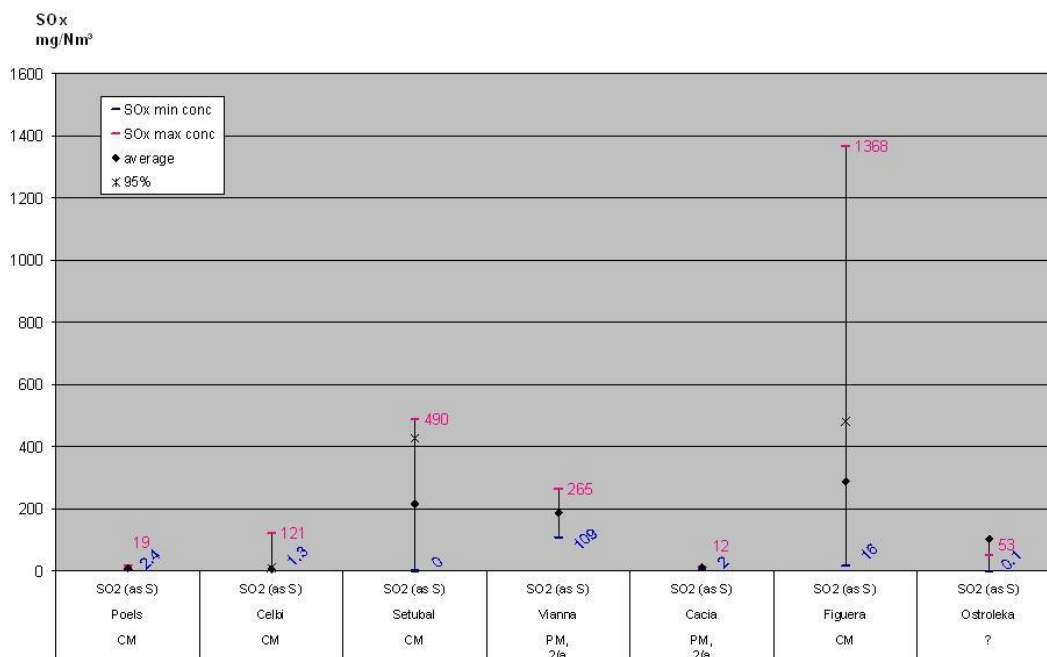


Źródło: [ 33, COM 2011 ]

Rysunek 3. 73 Ładunki emisji TRS i SO<sub>2</sub> z pieców wapiennych opalanych różnymi paliwami

kg SO <sub>2</sub> -S/ADt	kg SO <sub>2</sub> -S/ADt
O: Oil fired	O: opalany olejem
G: Gas-fired	G: Opalany gazem
CNCG: Concentrated non-condensable gas	CNCG: Stężone gazy niekondensujące
B: Biomass-fired	B: Opalany biomasą
Sc: ESP + Scrubber	Sc: ESP + Skruber
kg SO <sub>2</sub> -S/ADt, annual average	kg SO <sub>2</sub> -S/ADt, średnia roczna
kg TRS-S/ADt, annual average	kg TRS-S/ADt, średnia roczna
Source: [ 33, COM 2011 ]	Źródło: [ 33, COM 2011 ]

Odnotowane krótkoterminowe emisje SO<sub>2</sub> i TRS pokazano na Rysunkach 3.52 i 3.53.

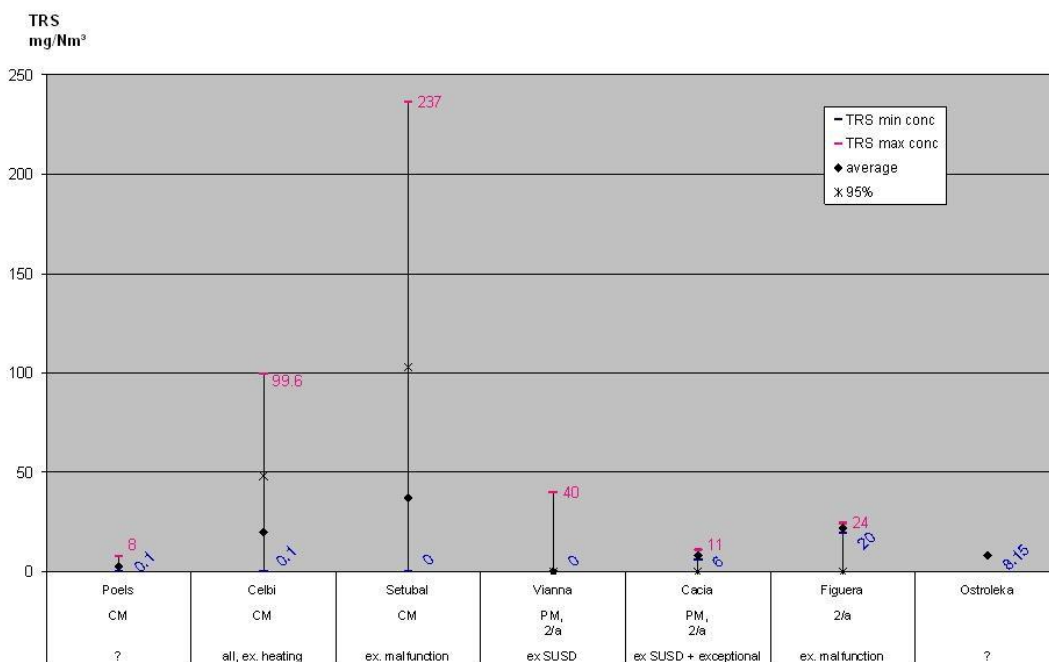


Uwagi: CM = ciągły monitoring; PM = okresowy monitoring; ? = Brak informacji o rodzaju monitoringu

Źródło: Kwestionariusz EIPPCB z 2007/2009 i inne dane TWG

Rysunek 3.74 Emisje SO<sub>2</sub> z pieców wapiennych jako średnie krótkoterminowe

SOx mg/ Nm <sup>3</sup>	SOx mg/ Nm <sup>3</sup>
SOx min conc	Min. stęż. SOx
SOx max conc	Maks. stęż. SOx
Average	Średnio
95%	95%
SO2 (as S) Poels CM	SO2 (jako S) Poels CM
SO2 (asS) Celbi CM	SO2 (jako S) Celbi CM
SO2 (as S) Setubal CM	SO2 (jako S) Setubal CM
SO 2 (as S) Vianna PM, 2/a	SO 2 (jako S) Vianna PM, 2/a
SO2 (asS) Cacia PM, 2/a	SO2 (jako S) Cacia PM, 2/a
SO2 (asS) Figuera CM	SO2 (jako S) Figuera CM
SO2 (asS) Ostroleka ?	SO2 (jako S) Ostroleka ?
NB: CM = Continuous monitoring;	Uwagi: CM = stały monitoring;
PM = Periodic monitoring;	PM = okresowy monitoring;
? = No information on type of monitoring	? = Brak informacji o rodzaju monitoringu
Source: EIPPCB questionnaires from 2007/2009 and other TWG input	Źródło: Kwestionariusz EIPPCB z 2007/2009 i inne dane TWG



Uwagi: CM = ciągły monitoring; PM = okresowy monitoring; ? = Brak informacji o rodzaju monitoringu

Źródło: Kwestionariusz EIPPCB z 2007/2009 i inne dane TWG

Rysunek 3. 75 Emisje TRS z pieców wapiennych jako średnie krótkoterminowe

TRS mg/Nm <sup>3</sup>	TRS mg/Nm <sup>3</sup>
TRS min conc	Min. stęż. TRS
TRS max conc	Maks. stęż. TRS
Average	Średnio
95%	95%
Poels CM ?	Poels CM ?
Celbi CM all, ex. heating	Celbi CM wszystkiego, z wył. grzania
Setubal CM ex. malfunction	Setubal CM z wył. awarii
Vianna PM, 2/a ex SUSD	Vianna PM, 2/a wył. SUSD
Cacia PM, 2/a ex SUSD + exceptional	Cacia PM, 2/a wył. SUSD + wyjątkowe
Figuera 2/a ex. malfunction	Figuera 2/a wył. awarie
Ostroleka ?	Ostrołęka ?
NB: CM = Continuous monitoring;	Uwagi: CM = stały monitoring;
PM = Periodic monitoring;	PM = okresowy monitoring;
? = No information on type of monitoring	? = Brak informacji o rodzaju monitoringu
Source: EIPPCB questionnaires from 2007/2009 and other TWG input	Źródło: Kwestionariusz EIPPCB z 2007/2009 i inne dane TWG

### Oddziaływanie na procesy i środowisko

Wybór paliwa może mieć wpływ na emisje NO<sub>x</sub>; piece wapienne opalane gazem i biomasą zwykle mają wyższe emisje NO<sub>x</sub>.

**Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Powszechnie stosowane.

**Aspekty ekonomiczne**

Brak informacji.

**Motywacja do wdrożenia tej techniki:**

Wymagania prawne.

**Instalacje referencyjne**

Zob. Rys. 3.72 i Rys. 3.73

**Bibliografia**

[ 33, COM 2011 ]

**3.3.20.2 Instalacja lepszego mycia i filtracji szlamu wapiennego w kaustyzacji****Opis**

Powstawanie  $H_2S$  w piecu wapiennym można kontrolować dostosowując poziom tlenu i ilość siarczku sodu ( $Na_2S$ ) w szlamie podawanym do segmentów suszenia na zimno i grzania w piecu wapiennym.

Efektywne mycie i filtrowanie szlamu wapiennego obniża stężenie  $Na_2S$  w szlamie wapiennym, zmniejszając w ten sposób ilość powstającego siarkowodoru, który wchodzi do pieca podczas procesu ponownego spalania. Niewystarczająca zawartość suchej substancji w szlamie wapiennym i niewystarczająca czystość szlamu również mogą powodować powstawanie  $H_2S$ . Dzięki nowoczesnym filtrom LMD, można osiągnąć stężenie zawartości TRS rzędu 10 ppm. Filtry próżniowe są używane głównie do mycia szlamu wapiennego.

Wapno ( $CaO$ ) jest używane do kaustyzacji ługu zielonego ( $Na_2S + Na_2CO_3$ ) w biały ług ( $Na_2S + NaOH$ ). Po kaustyzacji, tworzy się szlam wapienny ( $CaCO_3$ ). Zazwyczaj, szlam wapienny jest zawracany w piecu wapiennym, gdzie jest ponownie spalany i tworzy się nowe wapno. Przed wysłaniem wapna do pieca, musi ono zostać umyte, aby usunąć z niego pozostałości wodorotlenku sodu, siarczku sodu i innych soli sodowych.

Szlam wapienny jest zwykle myty za pomocą filtrów tłokowych. Dominującą techniką jest jednostopniowe mycie szlamu wapiennego w filtrach ciśnieniowych.

Usprawnione mycie i filtrowanie (filtr LMD) szlamu wapiennego może zmniejszyć zawartość resztkowego ługu białego w szlamie ze 100 mg/l do 0–30 mg/l w przypadku nowoczesnych filtrów. Suchość szlamu wapiennego można zwiększyć do 70–80%. Poza oszczędnościami energii, korzyścią jest też stabilniejsza praca pieca. Filtr LMD utrzymuje pozostałą zawartość sodu w szlamie wapiennym na niskim poziomie, co zapobiega zakłóceniom procesowym, np. tworzeniu pierścieni.

**Główne korzyści środowiskowe**

Redukcja emisji siarki zredukowanej.

**Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Ulepszona mycie szlamu wapiennego jest praktyką powszechnie stosowaną w europejskich celulozowniach. Monitorowanie sodu resztkowego ( $NaOH$ ) jest konieczne, aby uniknąć spiętrzenia w piecu wapiennym. Brak konkretnych danych dotyczących skuteczności tego środka.

**Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Brak znaczącego oddziaływania.

**Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Powszechnie stosowane.

**Aspekty ekonomiczne**

Koszt inwestycji wynosi około 1–1,5 mln euro.

**Motywacja do wdrożenia tej techniki:**

Redukcja H<sub>2</sub>S (TRS) i zapachów z gazów odlotowych pieca wapiennego.

**Instalacje referencyjne**

Wiele instalacji w Europie.

**Bibliografia**

[ 131, SEPA report 1997 ].

**3.3.20.3 Użycie skrubera alkalicznego do oczyszczania gazów odlotowych****Opis**

Jeśli stężone niekondensujące gazy (CNCG) są spalane w piecu wapiennym, to ilość związków siarki można zredukować za pomocą mokrego skrubera alkalicznego przed etapem spalania w piecu wapiennym. Mały wewnętrzny skruker NaOH do oczyszczania gazów złoonych (tj. nie do wszystkich gazów odlotowych) zredukuje H<sub>2</sub>S prawie całkowicie, a merkaptan metylowy o 70–90%; stopień usuwania siarczków metylu jest nieco niższy. Skruker alkaliczny w jednym lub dwóch etapach mycia może skutecznie usunąć SO<sub>2</sub> z gazów odlotowych pieca wapiennego. Poziom przychodzącego SO<sub>2</sub> określa liczbę dysz zraszających w skruberze oraz wsad alkaliczny. Skuteczność usuwania SO<sub>2</sub> za pomocą alkalicznego skrubera mokrego wynosi >90 %.

To czy skrubery są konieczne czy nie zależy od zawartości siarki w paliwie i tego czy CNCG lub kondensat zawierający metanol są wprowadzane do pieca.

Więcej informacji na temat trybu pracy skrubarów podano w pkt 3.3.17.2.

**Główne korzyści środowiskowe**

Redukcja emisji siarki.

**Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

W celu obniżenia emisji TRS z pieca wapiennego, niektóre instalacje zostały wyposażone w skruker gazów odlotowych (także dla odzysku ciepła). Dzięki użyciu skrubarów można osiągnąć średnioroczne emisje SO<sub>2</sub> rzędu 25–100 mg/Nm<sup>3</sup> (6% O<sub>2</sub>). Dane z pięciu celulozowni, które stosują skrubery w piecu wapiennym podano na Rys. 3.72 i Rys. 3.73 powyżej.

Jednak korzystanie z mokrych skrubarów nie jest konieczne do osiągnięcia takiego samego poziomu emisji TRS jak przy zastosowaniu innych technik.

**Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Brak istotnych negatywnych oddziaływań na procesy i środowisko. Skrubery mokre jednocześnie redukują emisje SO<sub>2</sub> i emisje pyłów (zob. Rys. 3.84 w pkt 3.3.22.2).

**Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Powszechnie stosowane w piecach wapiennych spalających CNCG lub olej napędowy o bardzo wysokiej zawartości siarki.

**Aspekty ekonomiczne**

Brak informacji.

**Motywacja do wdrożenia tej techniki:**

Wymagania prawne.

**Instalacje referencyjne**

IP Saillat; MB Äänekoski; SE Varkaus; MB Rauma; Portucel, Viana.

**Bibliografia**

[ 33, COM 2011 ]

**3.3.21 Redukcja emisji NO<sub>x</sub> z pieca wapiennego**

Większość pieców wapiennych w celulozowniach to piece wapienne obrotowe z podgrzewaczem do których doprowadzana jest zawiesina węglanu wapnia z 30% zawartością wody. Piece w celulozowniach przypominają standardowe obrotowe piece wapienne do regeneracji wapna. Dlatego warto odnieść się do dokumentu referencyjnego na temat najlepszych dostępnych technik dla produkcji cementu, wapna i tlenku magnezu [272, COM 2013], gdzie szczegółowo opisano produkcję wapna i podejmowane środki kontroli środowiska dla standardowych pieców wapiennych.

W tej części omówiono środki, które dotyczą pieców do ponownego spalania wapna w celulozowniach.

**3.3.21.1 Wybór paliw, optymalizacja spalania i kontroli pracy pieca****Opis**

Zintegrowany system ponownej kaustykacji obejmuje koordynację mycia i filtrowania szlamu wapiennego (patrz pkt 3.3.20.2), wybór paliw, wybór miejsca gdzie gazy niekondensujące będą spalane (patrz pkt 3.3.16.2) i kontrolę pracy pieca w celu ustabilizowania procesu, osiągnięcia jednakowej jakości wapna, a także osiągnięcia niskich całkowitych emisje do atmosfery.

**I. Wybór paliw**

Wybór paliwa ma znaczny wpływ na emisje z pieca wapiennego. Spalanie oleju w piecu wapiennym daje niższe emisje NO<sub>x</sub> niż spalanie gazu ziemnego, mimo że olej zawiera znaczne ilości organicznego azotu, który nie jest obecny w gazie ziemnym. Dzieje się tak ze względu na wyższe temperatury płomienia gazu ziemnego, powodujące powstawanie większych ilości termicznego tlenku azotu niż w przypadku spalania oleju. Spalanie w piecu wapiennym trocin, sproszkowanego drewna lub gazów otrzymanych przez zgazowanie biomasy (kora) również zwiększa emisje NO<sub>x</sub>.

W większości przypadków, spalanie gazów złowonnych w piecu wapiennym powoduje znaczne podwyższenie poziomu NO, ponieważ gazy złowonne wprowadzają dodatkowy azot do pieca. Rozwój technologii niskiej emisji NO<sub>x</sub>, gdy w piecu wapiennym znajdują się gazy złowonne i główne paliwo, wymaga dodatkowych inwestycji, i w momencie publikacji (2013) nie było skutecznego rozwiązania tego problemu.

**II. Optymalizacja spalania wapna i kontroli pracy pieca**

Optymalizacja pracy pieca i/lub homogenizacji paliwa i wsadu surowcowego może zmniejszyć emisje NO<sub>x</sub>. Poniżej wymieniono parametry dla optymalizacji kontroli procesów w piecu wapiennym, które przyczyniają się przede wszystkim do polepszenia i większej stabilności jakości wapna, oszczędności energetycznych, i które może mieć pozytywny wpływ na emisje NO<sub>x</sub>:

- dobrze wymieszane paliwo i powietrze;
- stopnie powietrza (obniżony dopływ tlenu w pierwotnej strefie reakcji, potem zwiększenie dopływu tlenu);
- kontrola nadmiarowego powietrza;
- optymalna temperatura powietrza wtórnego;
- kształt płomienia i położenie oraz profil temperatury;
- kontrola przepływu szlamu wapiennego;



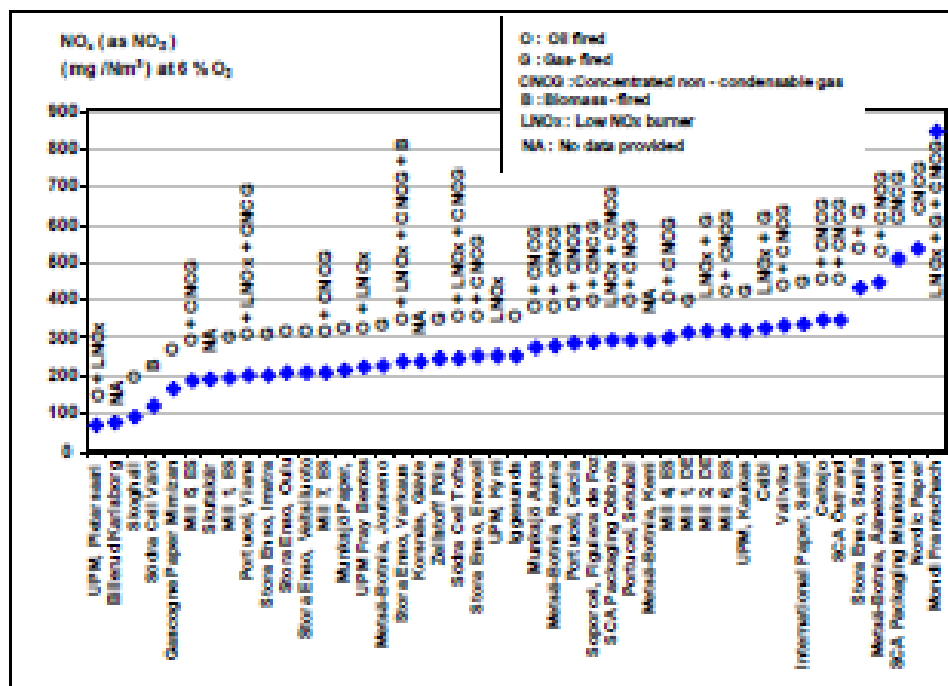
- prędkość pieca, zużycie paliwa i wsadu.

### Główne korzyści środowiskowe

Redukcja emisji i zużycia energii.

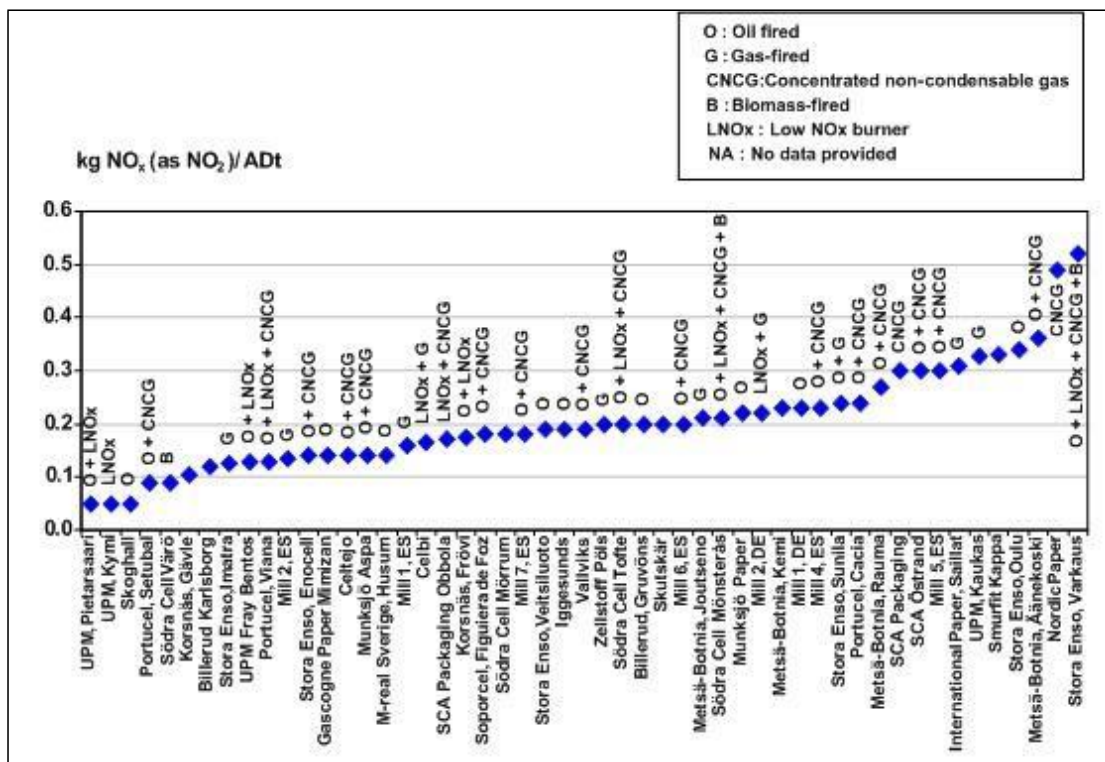
### Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

Brak danych na temat emisji NO<sub>x</sub> według stosowanych technologii i metod pracy pieców wapiennych (zgodnie z pkt II powyżej). W związku z tym, na Rys. 3.76 i Rys. 3.77 średnioroczne emisje NO<sub>x</sub> z pieców wapiennych zostały przedstawiane tylko w odniesieniu do stosowanych paliw i tego czy spalane są CNCG zawierające amoniak. W przypadku braku wskazania jakie paliwo jest używane, nie przedstawiono danych. Użycie palników niskiej emisji NO<sub>x</sub> również pokazano na rysunkach (dalsze informacje na temat tej technologii znajdują się w pkt 3.3.21.2).



Rysunek 3. 76 Stężenia emisji NO<sub>x</sub> z pieców wapiennych dla różnych paliw

NO <sub>x</sub> (as NO <sub>2</sub> ) (mg /Nm <sup>3</sup> ) at 6 % O <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub> (jako NO <sub>2</sub> ) (mg /Nm <sup>3</sup> ) przy 6% O <sub>2</sub>
O : Oil fired	O : opalany olejem
G : Gas-fired	G : opalany gazem
CNCG : Concentrated non - condensable gas	CNCG : Stężone gazy niekondensujące
B : Biomass-fired	B : opalany biomasą
LNOx : Low NO <sub>x</sub> burner	LNOx : palnik niskiej emisji NO <sub>x</sub>
NA : No data provided	NA : Brak danych

Rysunek 3.77 Ładunki emisji NO<sub>x</sub> z pieców wapiennych dla różnych paliw

O : Oil fired	O : opalany olejem
G : Gas-fired	G : opalany gazem
CNCG Concentrated non-condensable gas	CNCG Stężone gazy niekondensujące
B : Biomass-fired	B : opalany biomasa
LNOx : Low NO <sub>x</sub> burner	LNOx : palnik niskiej emisji NO <sub>x</sub>
NA : No data provided	NA : Brak danych
kg NO <sub>x</sub> (as NO <sub>2</sub> )/AOt	kg NO <sub>x</sub> (jako NO <sub>2</sub> )/AOt

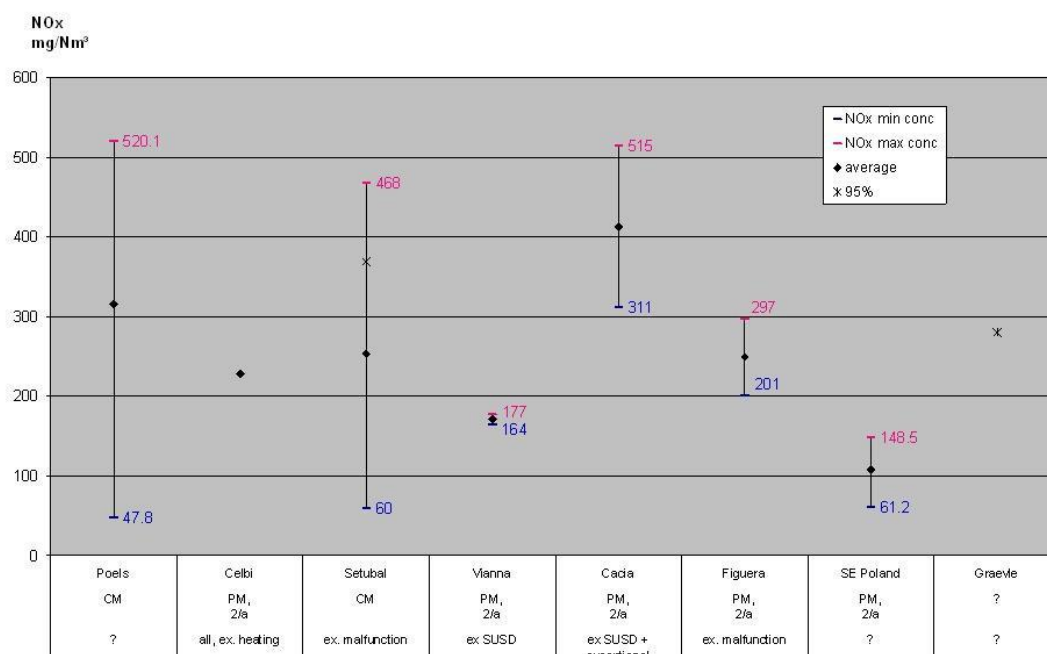
Emisje NO<sub>x</sub> osiągnięte z zastosowaniem środków podstawowych w piecach wapiennych i bez użycia palników niskiej emisji NO<sub>x</sub> zostały podsumowane w tabeli 3.27. W tabeli, emisje NO<sub>x</sub> zostały podzielone wg rodzajów użytego paliwa głównego.

Tabela 3.27 Emisje NO<sub>x</sub> z ponownego spalania w piecach wapiennych

Główne paliwo, spalanie CNCG	Tlenki azotu (jako NO <sub>2</sub> ) jako średnia roczna
Spalanie oleju (bez CNCG i kondensatu zawierającego metanol)	100–200 mg NO <sub>x</sub> (jako NO <sub>2</sub> )/Nm <sup>3</sup> (przy 6% O <sub>2</sub> ) 0.05–0.2 kg/ADt
Spalanie oleju (z CNCG lub kondensatem zawierającym)	100–300 mg NO <sub>x</sub> (jako NO <sub>2</sub> )/Nm <sup>3</sup> (przy 6% O <sub>2</sub> ) 0.1–0.3 kg/ADt
Spalanie gazu (bez CNCG i kondensatu zawierającego metanol)	200–350 mg NO <sub>x</sub> (jako NO <sub>2</sub> )/Nm <sup>3</sup> (przy 6% O <sub>2</sub> ) 0.15–0.3 kg/ADt

W przypadku pieców wapiennych o znacznie wyższych emisjach NO<sub>x</sub>, można rozważyć zastosowanie środków pomocniczych, np. SNCR. Doświadczenie w stosowaniu SNCR zdobyto w przemyśle produkcji wapna w zakładach wykorzystujących tylko jeden piec wapienny [272, COM 2013]. W piecach wapiennych do ponownego spalania w przemyśle papierniczym i celulozowym, SNCR nie jest jeszcze stosowana. Według liczącego się dostawcy pieców wapiennych (dane poufne), SNCR stanowi również alternatywę dla celulozowni.

Odnotowane krótkoterminowe emisje NO<sub>x</sub> i CO pokazano na Rysunkach 3.78 i 3.79.

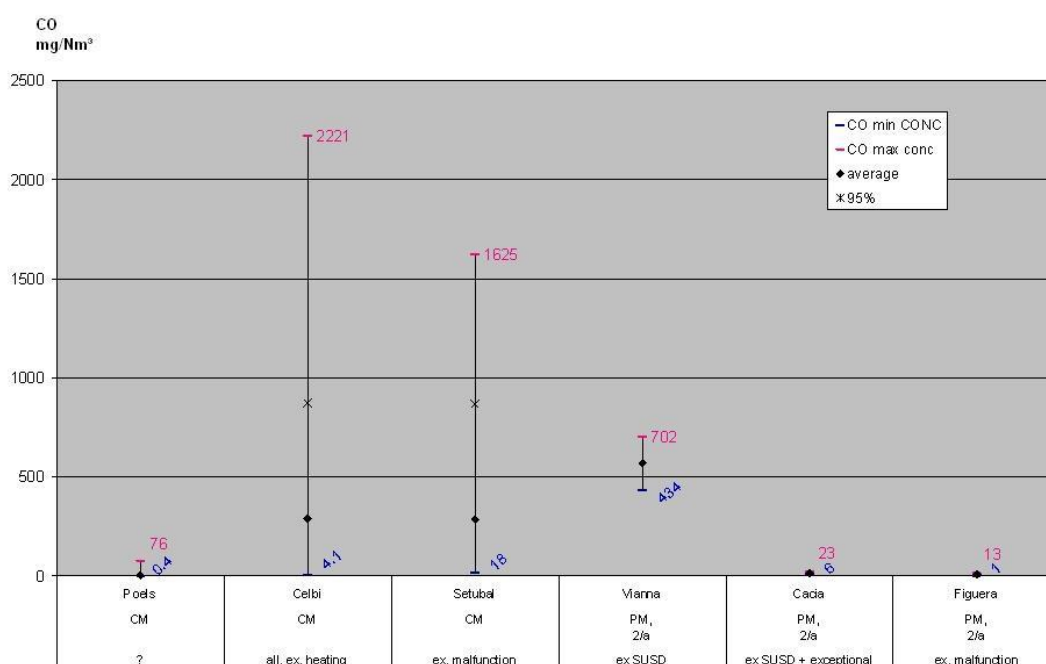


Uwagi: CM = ciągły monitoring; PM = okresowy monitoring; ? = Brak informacji o rodzaju monitoringu

Źródło: Kwestionariusz EIPPCB z 2007/2009 i inne dane TWG

Rysunek 3. 78 Emisje NOx z pieców wapiennych jako średnie krótkoterminowe

NOx mg /Nm <sup>3</sup>	NOx mg /Nm <sup>3</sup>
NOx min conc	Min. stęż. NOx
NOx max conc	Maks. stęż. NOx
Average	Średnio
95%	95%
Poels CM ?	Poels CM ?
Celbi PM, 2/a all, ex. heating	Celbi PM, 2/a wszystko, wył. grzanie
Setubal CM ex. malfunction	Setubal CM z wył. awarii
Vianna PM, 2/a ex SUSD	Vianna PM, 2/a wył. SUSD
Cada PM, 2/a ex SUSD + exceptional	Cacia PM, 2/a wył. SUSD + wyjątkowe
Figuera PM, 2/a ex. malfunction	Figuera PM, 2/a wył. awarie
SE Poland PM, 2/a ?	SE Poland PM, 2/a ?
Graevle	Graevle
NB: CM = Continuous monitoring;	Uwagi: CM = stały monitoring;
PM = Periodic monitoring;	PM = okresowy monitoring;
? = No information on type of monitoring	? = Brak informacji o rodzaju monitoringu
Source: EIPPCB questionnaires from 2007/2009 and other TWG input	Źródło: Kwestionariusz EIPPCB z 2007/2009 i inne dane TWG



Uwagi: CM = ciągły monitoring; PM = okresowy monitoring; ? = Brak informacji o rodzaju monitoringu

Źródło: Kwestionariusz EIPPCB z 2007/2009 i inne dane TWG

Rysunek 3.79 Emisje z pieców wapiennych jako średnie krótkoterminowe

CO mg /Nm <sup>3</sup>	CO mg /Nm <sup>3</sup>
CO min CONC	Min. stęż. CO
CO max conc	Maks. stężenie CO
Average	Średnio
95%	95%
Poels CM ?	Poels CM ?
Celbi CM all, ex. heating	Celbi CM wszystkiego, z wył. grzania
Setubal CM ex. malfunction	Setubal CM z wył. awarii
Vianna PM, 2/a ex SUSD	Vianna PM, 2/a wył. SUSD
Cacia PM, 2/a ex SUSD + exceptional	Cacia PM, 2/a wył. SUSD + wyjątkowe
Figuera PM, 2/a ex. malfunction	Figuera PM, 2/a wył. awarie
NB: CM = Continuous monitoring;	Uwagi: CM = stały monitoring;
PM = Periodic monitoring;	PM = okresowy monitoring;
? = No information on type of monitoring	? = Brak informacji o rodzaju monitoringu
Source: EIPPCB questionnaires from 2007/2009 and other TWG input	Źródło: Kwestionariusz EIPPCB z 2007/2009 i inne dane TWG

### Oddziaływanie na procesy i środowisko

Środki kontroli optymalizacji pracy pieca wapiennego zainstalowano z powodzeniem w wielu celulozowniach. Z ich pomocą zapewniono stabilność działania, która przyczyniła się do osiągnięcia bardziej stabilnych i niższych poziomów węgla resztkowego w wapnie. Zmniejszono również zużycie energii, oszczędzając w ten sposób na drogich paliwach. Jako efekt uboczny, emisje można łatwiej kontrolować i są one bardziej stabilne i ogólnie mniejsze.

### Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki

Optymalizacja ponownego spalania wapna i kontroli pracy pieca może być stosowana w nowych i starych piecach.

### Aspekty ekonomiczne

Optymalizacja procesu spalania jest związana ze polepszeniem jakości wapna i oszczędnościami energii.

**Motywacja do wdrożenia tej techniki:**

Stać jakość wapna i stabilny proces kaustyzacji. Stabilność przyczynia się do wzrostu wydajności instalacji w zakresie kaustyzacji.

**Instalacje referencyjne**

Celulozownia Stora Enso Veitsiluoto w Kemi, FI.

**Bibliografia**

[ 225, Hupa 2005 ], [ 272, COM 2013 ].

**3.3.21.2 Instalacja palników niskiej emisji NO<sub>x</sub> w piecu wapiennym****Opis**

Technologia palnika niskiej emisji NO<sub>x</sub> stosowana w kotłach parowych i elektrowniach jest również używana w ponownym spalaniu wapna. Technologia palnika niskiej emisji NO<sub>x</sub> pozwala na obniżenie temperatury płomienia i zmniejszenie powstawania termicznego NO<sub>x</sub> i (do pewnego stopnia) NO<sub>x</sub> z paliwa. Redukcja emisji NO<sub>x</sub> następuje dzięki doprowadzeniu powietrza w celu obniżenia temperatury płomienia.

Powietrze do spalania wprowadzane do pieca za pomocą palnika, powietrze pierwotne, jest dzielone na dwa strumienie. Oba strumienie powietrza są niezbędne dla ukształtowania płomienia i zapewniają jego stabilność.

Palniki niskiej emisji NO<sub>x</sub> mają na celu zredukowanie części powietrza pierwotnego, co prowadzi do zmniejszenia ilości powstającego NO<sub>x</sub>, podczas gdy wspólne palniki wielokanałowe wykorzystują większą część powietrza pierwotnego z całkowitego powietrza do spalania. Większa część powietrza pierwotnego powoduje, że płomień jest krótszy i bardziej intensywny, dzięki wcześniejszemu wymieszaniu gorącego powietrza wtórnego i paliwa. Skutkuje to wyższymi temperaturami płomienia oraz większymi ilościami NO<sub>x</sub>, który można zredukować przy użyciu palników niskiej emisji NO<sub>x</sub>.

**Główne korzyści środowiskowe**

Redukcja NO<sub>x</sub>.

**Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Osiągnięte emisje przedstawiono na Rys. 3.76 i Rys. 3.77.

**Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Brak oddziaływania.

**Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Palniki niskiej emisji NO<sub>x</sub> mogą być używane w nowych i starych piecach.

**Aspekty ekonomiczne**

Koszt inwestycji wynosi około 0,5–0,8 mln euro. Brak istotnego wzrostu kosztów operacyjnych.

**Motywacja do wdrożenia tej techniki:**

Wymagania prawne.

**Instalacje referencyjne**

UPM Pietarsaari; Portucel Viana; UPM Fray Bentos; SE Varkaus; Södra Tofte; UPM Kymi; SCA Obbola; Celbi, Mondi Frontschach [ 33, COM 2011 ].

**Bibliografia**

[ 33, COM 2011 ], [ 65, N.DeMartini et al. 2010 ], [ 66, FRBC 2010 ], [ 225, Hupa 2005 ].

**3.3.22 Redukcja emisji pyłów z pieca wapiennego****3.3.22.1 Elektrofiltry****Opis**

Elektrofiltry wytwarzają pole elektryczne w poprzek drogi cząstek stałych w strumieniu powietrza. Cząstki zostają ujemnie naładowane i kierują się w stronę dodatnio naładowanej płyty zbiorczej; w ten sposób pył jest usuwany ze strumienia gazów odlotowych. Płyty zbiorcze są od czasu do czasu wprawiane w drganie, strącając zebrany materiał, który wpada do zbiornika poniżej. Czynniki wpływającymi na efektywność ESP są szybkość przepływu gazów odlotowych, siła pola elektrycznego, przewodność pyłu, zawartość wilgoci oraz kształt i powierzchnia elektrody. W szczególności, pole elektryczne może zostać zredukowane przez nagromadzenie materiału, który tworzy warstwę izolacyjną na płytach zbiorczych.

Aby zmniejszyć emisję  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  i  $\text{Na}_2\text{CO}_3$ , elektrofiltry (ESP) są instalowane w prawie wszystkich celulozowniach. Elektrofiltry skuteczniej usuwają pyły niż skrubery. Kilka celulozowni stosuje ESP i dodatkowo skrubery mokre (patrz pkt 3.3.22.2).

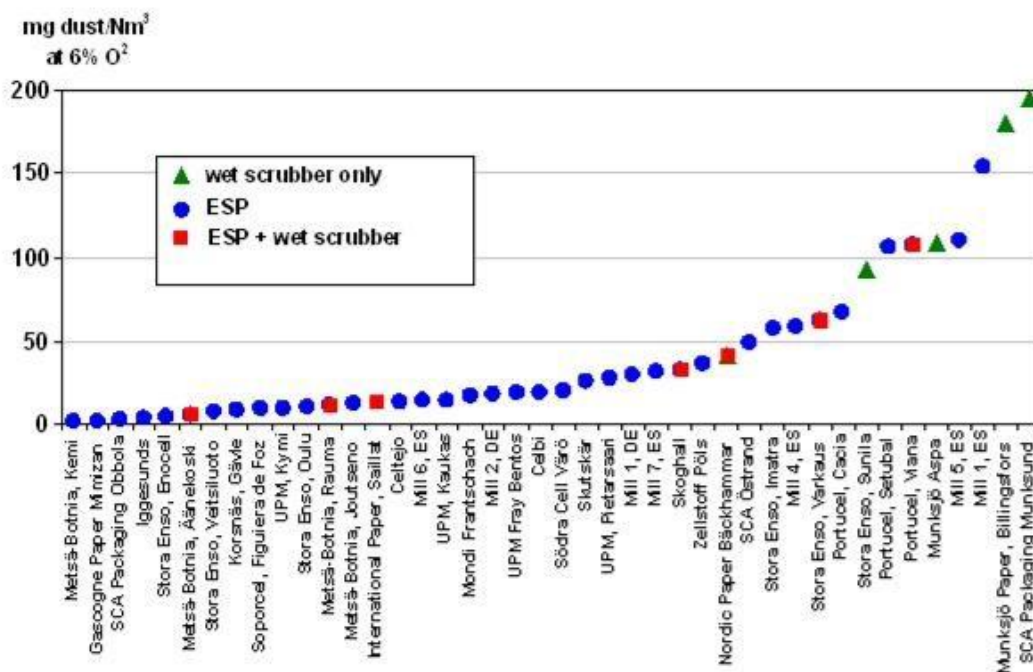
ESP wymagają regularnej konserwacji i monitorowania. Przeciężenia lub nierównomierne obciążenia mogą spowodować zatykanie komór elektrofiltrów.

**Główne korzyści środowiskowe**

Redukcja emisji pyłów.

**Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

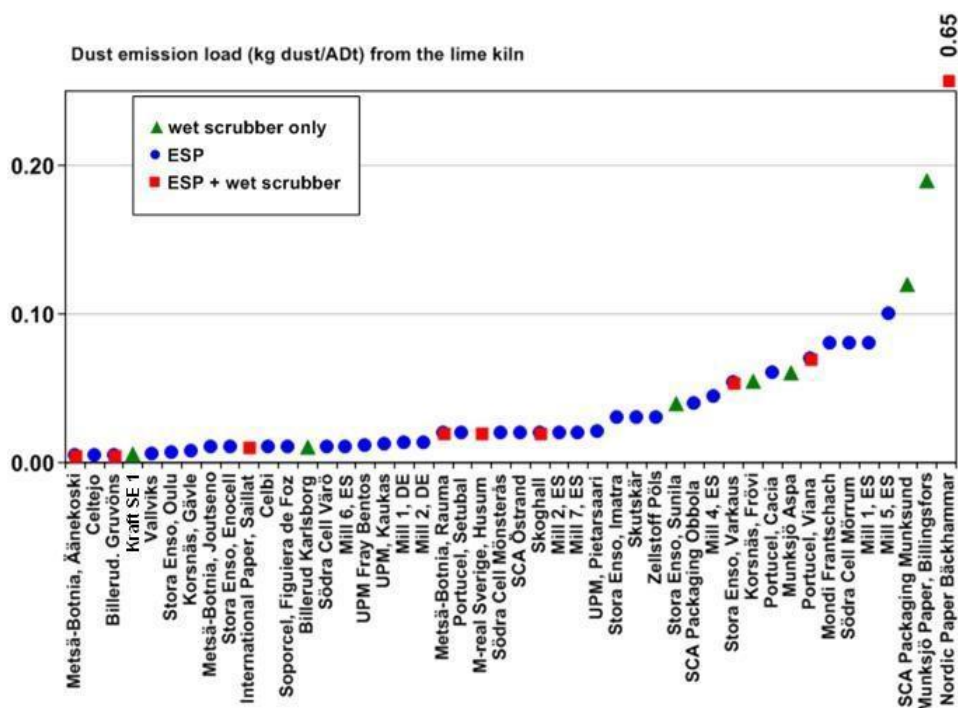
Rys. 3.80 przedstawia emisje (wyrażone jako średnioroczne ładunki emisji) pyłów z pieców wapiennych w europejskich celulozowniach. Niektóre celulozownie podały tylko ładunki emisji, bez wartości stężeń. Ze względu na różnice w przepływie gazów odlotowych, stężenie pyłów nie zawsze jest skorelowane z odpowiednimi ładunkami emisji pyłów (kg pyłu/ADt). Wskazano także, czy używane są tylko ESP czy ESP w połączeniu ze skrubierami.



Źródło: [ 33, COM 2011 ]

Rysunek 3. 80 Steżenia emisji pyłów z pieców wapiennych, w tym techniki ograniczania emisji pyłów

mg dust /Nm <sup>3</sup> at 6% O <sup>2</sup>	mg pyłu/Nm <sup>3</sup> przy 6% O <sub>2</sub>
wet scrubber only	tylko mokry skrubler
ESP	ESP
ESP + wet scrubber	ESP + mokry skrubler
Source: [ 33, COM 2011 ]	Źródło: [ 33, COM 2011 ]



Źródło: [ 33, COM 2011 ]

Rysunek 3. 81 Ładunki emisji pyłów z pieców wapiennych, w tym techniki ograniczania emisji pyłów

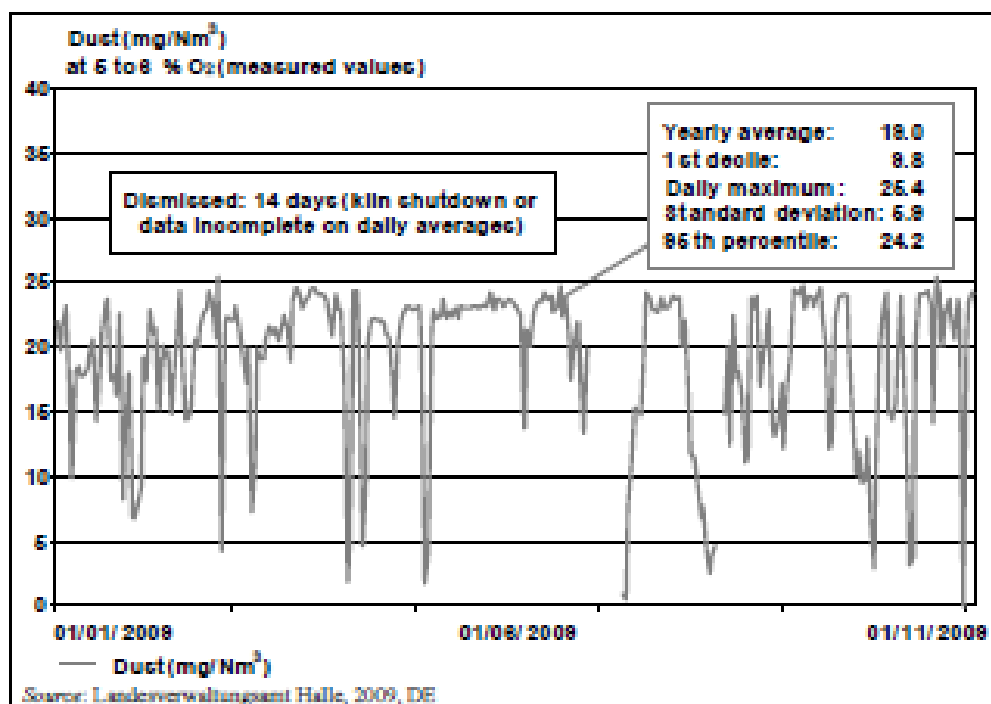
Oust emission load (kg dust/ADt) from the lime kiln	Ładunek emisji (kg pyłu/ADt) z pieca wapiennego
wet scrubber only	tylko mokry skrubler

ESP	ESP
ESP + wet scrubber	ESP + mokry skrubler
Source: [ 33, COM 2011 ]	Źródło: [ 33, COM 2011 ]

Dane pokazują, że dzięki elektrofiltram emisje pyłów z ponownego spalania w piecach wapiennych wynoszą od 5 mg/Nm<sup>3</sup> do 25 mg/Nm<sup>3</sup>, określone jako roczne wartości średnie (przy 6% O<sub>2</sub>), lub 0,02 kg pyłu/ADt.

Przykładowe emisje pyłów w okresie całego roku przedstawiono na Rys. 3.82. Dane pokazują, że w tym przypadku emisje pyłów z pieca wapiennego wynoszą < 25 mg/Nm<sup>3</sup>, jako średnia dzienna (suchy gaz, 273 K, 5–6% O<sub>2</sub>), lub mniej niż 20 mg/Nm<sup>3</sup> jako średnia roczna.

Dane pochodzą z transferu on-line danych dotyczących emisji do właściwego organu. Ilości pyłów są w tym przypadku mierzone w sposób ciągły.



### Pyły (mg/Nm<sup>3</sup>)

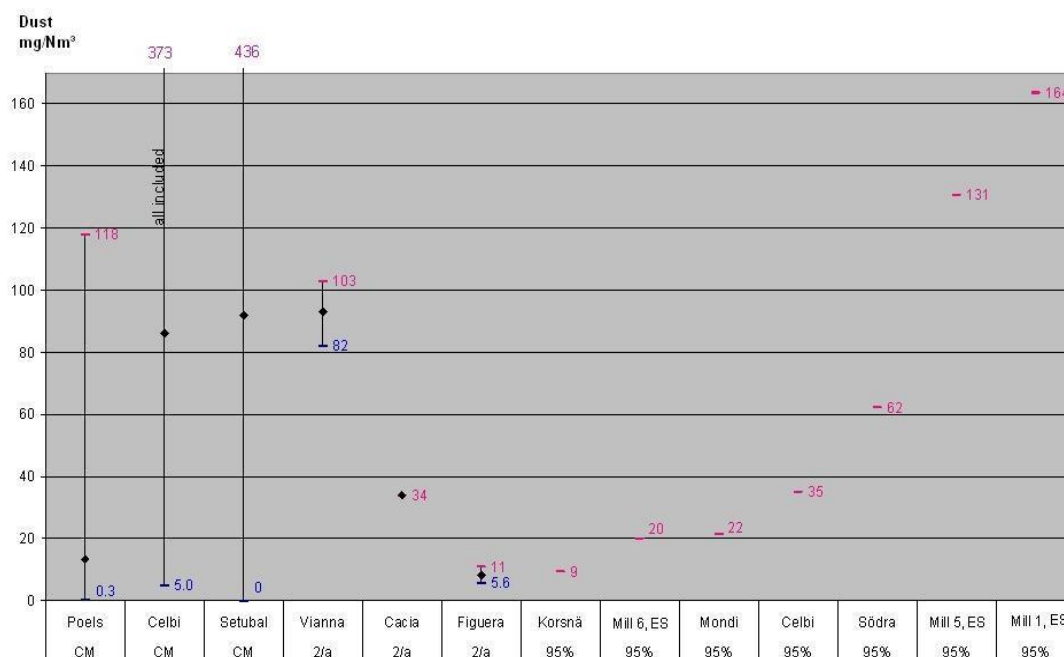
Źródło: Landesverwaltungsamt Halle, 2009, DE

Rysunek 3. 82 Mierzone w sposób ciągły dziennie średnie wartości dla emisji pyłów za ESP pieca wapiennego

Dust (mg/Nm <sup>3</sup> ) at 5 to 6 % O <sub>2</sub> (measured values)	Pył (mg/Nm <sup>3</sup> ) przy 5 do 6% O <sub>2</sub> (wartości zmierzone)
Dismissed: 14 days (kiln shutdown or data incomplete on daily averages)	Zakończenie: 14 dni (wyłączenie pieca lub niekompletne dane o średnich wartościach dziennych)
Yearly average: 19.0	Średnia roczna: 19.0
1 st decile: 9.8	1 decyl: 9.8
Daily maximum: 25.4	Maksimum dzienne: 25.4
Standard deviation: 5.9 95 th percentile: 24.2	Odchylenie standardowe: 5.9 95 percentyl: 24.2
Dust (mg/Nm <sup>3</sup> )	Pył (mg/Nm <sup>3</sup> )
Source: Landesverwaltungsamt Halle, 2009, DE	Źródło: Landesverwaltungsamt Halle, 2009, DE

Odnutowane krótkoterminowe emisje pyłów przedstawiono na Rysunku 3.83.





Uwagi: CM = stały monitoring

Źródło: Kwestionariusz EIPPCB z 2007/2009 i inne dane TWG

Rysunek 3.83 Emisje z pieców wapiennych jako średnie krótkoterminowe

Dust mg/Nm <sup>3</sup>	Pyły mg/Nm <sup>3</sup>
CM	CM
2/a	2/a
NB: CM = Continuous monitoring	Uwagi: CM = stały monitoring

Większość pyłów opuszczających piec z gazami odlotowymi to CaO. Najczęściej ucieka on na wlocie do pieca. Ilość pyłu z gorącego końca pieca jest znacznie mniejsza. Głównymi składnikami emisji pyłowych w kominie są drobne cząstki Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> i Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, ponieważ cząstki CaO są skuteczniej przechwytywane w urządzeniach do oczyszczania gazów odlotowych.

Skuteczność zainstalowanych ESP można poprawić przez dodanie komór (pól elektrycznych) w linii.

### Oddziaływanie na procesy i środowisko

W wyniku działania ESP wzrasta zużycie energii.

### Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki

Środek ten może być stosowany w nowych i istniejących celulozowniach siarczanowych, pod warunkiem że jest wystarczająco dużo miejsca.

### Aspekty ekonomiczne

W celulozowni o wydajności 1 500 ADt/d, koszt inwestycji w instalację elektrofiltrów w piecu wapiennym wynosi 5–6 mln euro. Koszty eksploatacyjne wynoszą mniej niż 0,3 mln euro rocznie.

### Motywacja do wdrożenia

Wymagania prawne. Poziomy emisji zależą głównie od celów określonych przez właściwe organy lub przez operatora.

### Instalacje referencyjne

Liczne celulozownie w Europie.

### Bibliografia

[ 33, COM 2011 ].

### 3.3.22.2 Elektrofiltry przed mokrymi skruberami

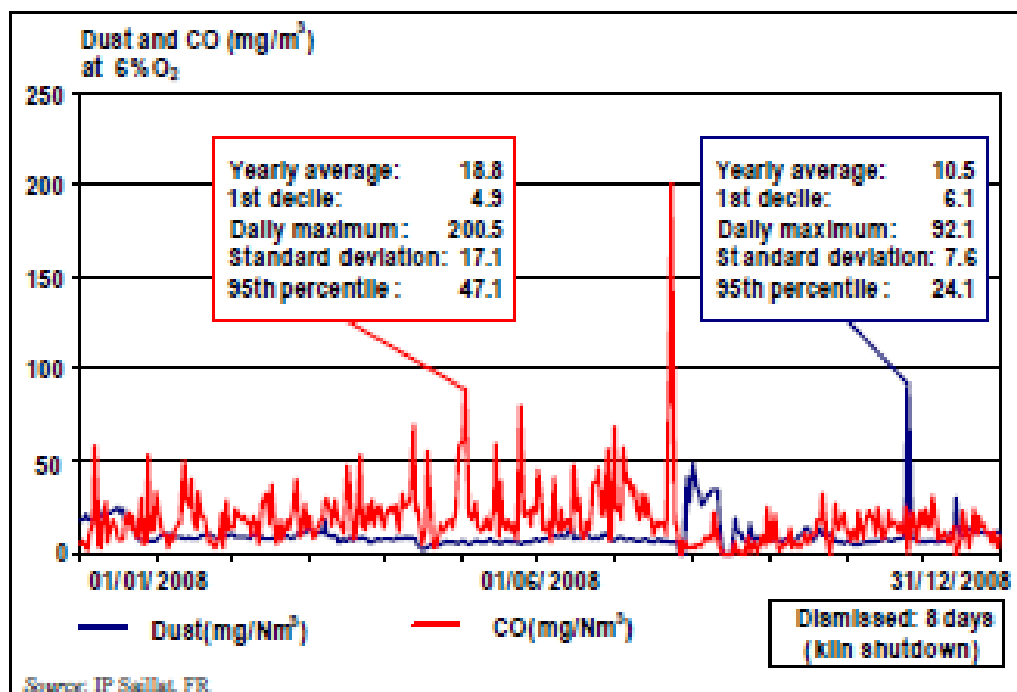
#### Opis i osiągnięte efekty środowiskowe

Odpylanie gazów odlotowych najczęściej odbywa się za pomocą ESP (patrz pkt 3.3.22.1), ale w niektórych celulozowniach gazy są dodatkowo oczyszczane mokrym skruberem. Ciecżą myjącą jest zwykle Na(OH). Skuteczność skrubera mokrego zależy od wielkości cząstek i wymiarów (a tym samym strat ciśnienia) oraz efektywności ostatniego zbieraka kropeł.

#### Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

Rys. 3.80 i Rys. 3.81 w pkt 3.3.22.1 powyżej przedstawiają emisje (wyrażone jako średnioroczne wartości) pyłów z pieców wapiennych w europejskich celulozowniach. Jak widać, emisje pyłów z pieców wapiennych wyposażonych w ESP oraz dodatkowo w skrubery są podobne do emisji z pieców wyposażonych tylko w ESP.

Przykładowe emisje pyłów w okresie całego roku przedstawiono na Rys. 3.84. Dane pokazują, że w tym przypadku emisje pyłów z pieca wapiennego wynoszą  $< 25 \text{ mg/Nm}^3$ , jako średnia dzienna (suchy gaz, 273 K, 5–6%  $\text{O}_2$ ), lub ok.  $10 \text{ mg/Nm}^3$  jako średnia roczna. Ilości pyłów są w tym przypadku mierzone w sposób ciągły.



Rysunek 3. 84 Dienne średnie wartości z całego roku dla emisji pyłów z pieca wapiennego wyposażonego w ESP i mokry skrubier (uwzględniono emisje CO)

Dust and CO (mg/m <sup>3</sup> ) at 6% O <sub>2</sub>	Pył i CO (mg/m <sup>3</sup> ) at 6% O <sub>2</sub>
Yearly average: 18.8	Średnia roczna: 18.8
1st decile: 4.9	1 decyl: 4.9
Daily maximum: 200.5	Maksimum dzienne: 200.5
Standard deviation: 17.1 95th percentile : 47.1	Odchylenie standardowe: 17.1 95 percentyl: 47.1
Yearly average: 10.5	Średnia roczna: 10.5
1st decile: 6.1	1 decyl: 6.1
Daily maximum: 92.1	Maksimum dzienne: 92.1
Standard deviation: 7.6 95th percentile: 24.1	Odchylenie standardowe: 7.6 95 percentyl: 24.1
Dust(mg/Nm <sup>3</sup> )	Pył (mg/Nm <sup>3</sup> )
Dismissed: 8 days (kiln shutdown)	Zakończenie: 8 dni (wyłączenie pieca)
Source: IP Saillat, FR	Źródło: IP Saillat, FR

**Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Brak znaczącego oddziaływania.

**Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Powszechnie stosowane. Jeśli ESP zostały dobrze zaprojektowane, zwymiarowane, są prawidłowo obsługiwane i utrzymywane, to osiągają prawie takie same emisje pyłów jak w celulozowniach gdzie stosuje się dodatkowo skrubery mokre.

**Aspekty ekonomiczne**

Brak informacji.

**Motywacja do wdrożenia**

Wymogi prawne, jednoczesne usuwanie emisji siarkowych i zapachów.

**Instalacje referencyjne**

IP Saillat; Billerud Gruvöns; MB Äänekoski; SE Varkaus; MB Rauma; M-real Husum, Skoghall; SE Varkaus; Portucel, Viana; Nordic Paper Bäckhammar.

**Bibliografia**

[ 33, COM 2011 ]

**3.3.23 Zastąpienie paliw kopalnych używanych w piecu wapiennym****Opis**

Głównym odbiorcą paliw kopalnych w celulozowni siarczanowej jest piec wapienny, dla którego obciążenie cieplne wynosi około 1,1–1,4 GJ/ADt. Istnieją różne alternatywne rozwiązania techniczne mające na celu zastąpienie paliw kopalnych w piecu wapiennym biopaliwami:

- i) wykorzystanie sproszkowanej kory w piecu wapiennym (np. KRAFT SE 1): kora jest suszona, proszkowana w młynku i spalana w palniku paliwa sproszkowanego.
- ii) Gazyfikacji kory i wykorzystanie gazu generowane w piecu wapiennym (np. Södra Värö, SE): System zgazowania składa się ze stacji odbioru biopaliwa lub zbiornika paliwa, sekcji sortowania i kruszenia paliwa, suszarki kory, sekcji podgrzewacza powietrza, palnika rozruchowego i instalacji zgazowywania. Przewód gazowy prowadzi gazy pirolizowe ze zgazowanej kory bezpośrednio do pieca wapiennego. Kora do zgazowania w instalacji zgazowującej pieca wapiennego powinna mieć zawartość wilgoci < 15% w celu uniknięcia szerokiego przepływu gazów odlotowych, który ograniczyłby wydajność pieca. System wymaga zatem zainstalowania suszarki. Kora może być suszona nadmiarowym ciepłem wtórnym z celulozowni.

Obrotowa instalacja do zgazowywania w łożu fluidalnym to ogniotrwały reaktor. Powietrze wymagane do zgazowania jest wprowadzane do reaktora przez dno reaktora. Ze względu na wysoką prędkość, do cyklonu trafiają też cząstki stałe; tam gaz i cząstki są oddzielane. Instalacja do zgazowywania działa w temperaturze 600–700°C. Popiół usuwany jest w dolnej części reaktora.

W energooszczędnych instalacjach, kora może być wykorzystana w piecu wapiennym zamiast paliw kopalnych, ponieważ w normalnych warunkach nie jest ona potrzebna do wytwarzania pary. Wytwarzanie pary tylko z ługu czarnego jest wyższe niż zapotrzebowanie na parę procesów celulozowni. Nadwyżka kory może zostać wykorzystana w piecu wapiennym, sprzedana jako suche biopaliwo, lub wykorzystana na potrzeby dostaw ciepła, np. do miejskiej sieci ogrzewania.

- iii) Niektóre celulozownie używają w piecach wapiennych oleju talowego lub smoły oleju talowego.

- iv) Wymiana oleju napędowego z ligniną w piecu wapiennym została zbadana niedawno w ramach programu badawczego FRAM2 (Future Resource-Adapted Mill) [49, N.Berglin et al. 2010]. Próba spalania sproszkowanej ligniny w piecu wapiennym została przeprowadzona w celulozowni Södra Mönsterås. W sumie spalano 37 ton ligniny razem z olejem opałowym. Przez część próby, w piecu spalano 100% ligniny. Pomiarów wykonane w czasie próby wskazują, że możliwe jest osiągnięcie stabilnego i ciągłego funkcjonowania pieca wapiennego gdy paliwem podstawowym jest lignina. Poziomy temperatur w piecu są tego samego rzędu wielkości jak podczas spalania oleju opałowego lub sproszkowanego drewna. Przechwytywanie siarki przez wapno przebiega bardzo sprawnie, ale istnieje próg, powyżej którego emisje  $\text{SO}_2$  gwałtownie rosną. W czasie próby nastąpiło to podczas przechodzenia ze spalania 90% ligniny do 100%. Biały ług może być produkowany z wapna z taką samą wydajnością kaustyzacji i w takim samym tempie jak podczas normalnej pracy. Operatorzy celulozowni stwierdzili również, że łatwiej było kontrolować wydajność pieca przy współspalaniu ligniny i oleju niż podczas normalnej pracy ze współspalaniem kory i oleju.

#### **Główne korzyści środowiskowe**

Ograniczenie zapotrzebowania na paliwa kopalne. Dostawy ciepła neutralne pod względem  $\text{CO}_2$  w piecu wapiennym.

#### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

- i) Celulozownia KRAFT SE 1, SE, stosuje sproszkowaną korę w piecu wapiennym od lat 80.
- ii) Od 1985 roku, celulozownia Södra Värö, SE, posiada instalację zgazowywania kory, która wytwarza gazy pirolizowe o mocy 28 MW. Metsä Botnia postanowiła zainwestować w instalację gazyfikacji w celulozowni Joutseno w Finlandii. Paliwa kopalne wykorzystywane w piecu wapiennych zostaną zastąpione biopaliwem wytwarzanym z kory. Celulozownia stanie się zakładem neutralnym pod względem dwutlenku węgla w czasie produkcji standardowej. Instalacja gazyfikacji będzie wykorzystywać nadmiarowe ciepło do suszenia kory.
- iii) Celulozownia Botnia Rauma zmniejszyła wykorzystanie paliw kopalnych, tak że w normalnych warunkach zakład funkcjonuje wyłącznie na biopaliwach. Wcześniej, zastosowanie paliw kopalnych ograniczało się do rozruchów, zakłóceń procesów i ponownego spalania wapna. Paliwa kopalne wykorzystywane w procesie ponownego spalania wapna zostały zastąpione dzięki współpracy z pobliską rafinerią oleju talowego. Olej talowy jako produkt uboczny produkcji masy celulozowej z drewna iglastego jest sprzedawany do rafinerii, a w zamian celulozownia otrzymuje smołę, która jest spalana w piecu wapiennym jako zamiennik dla paliw kopalnych.

#### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Ciepła do suszenia kory do wartości 85% DS można odzyskać z gazów odlotowych kotła regeneracyjnego lub pieca wapiennego. Nie zgłoszono istotnych negatywnych skutków dla środowiska. Spalanie biomasy w piecu wapiennym powoduje wzrost emisji  $\text{NO}_x$  w porównaniu do pieców spalających olej i skutkuje podobnym poziomem emisji  $\text{NO}_x$  jak w przypadku pieców opalanych gazem.

#### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Zastosowanie zależy będzie od ram prawnych w zakresie zielonej energii, kosztów paliw kopalnych i uwarunkowań lokalnych. Technologia gazyfikacji dla pieców wapiennych istnieje od około 1980 roku. Jednak ze względów ekonomicznych nie była ona wykorzystywana na większą skalę. Zastąpienie paliw kopalnych w piecu wapiennym jest technologią dostępną obecnie. Niektóre instalacje spalają także produkty uboczne, olej talowy lub smołę oleju talowego, w piecu wapiennym; są to biopaliwa odnawialne.

#### **Aspekty ekonomiczne**

Oszczędności i zwrot z inwestycji dla wykorzystania biomasy jako paliwa w piecu wapiennym i

---

w niektórych innych sytuacjach (rozruch, zakłócenia), zależą od cen oleju i gazu, wielkości instalacji zgazowującej oraz kosztów emisji dwutlenku węgla. Kocioł korowy może zostać całkowicie wyeliminowany w energooszczędnych celulozowniach.

**Motywacja do wdrożenia**

Wysokie ceny paliw kopalnych i uprawnień do emisji CO<sub>2</sub>. Zależność od paliw kopalnych można zmniejszyć.

**Instalacje referencyjne**

Celulozownia Södra Värö, SE; KRAFT SE 1; celulozownia Botnia Rauma, FI; celulozownia Joutseno, FI.

**Bibliografia**

[ 49, N.Berglin et al. 2010 ], [ 134, Södra Värö 2009 ], [ 135, KRAFT SE 1 mill 2010 ].

### 3.3.24 Redukcja emisji NO<sub>x</sub> z oddzielnych palników TRS

#### 3.3.24.1 Spalanie etapowe

##### Opis

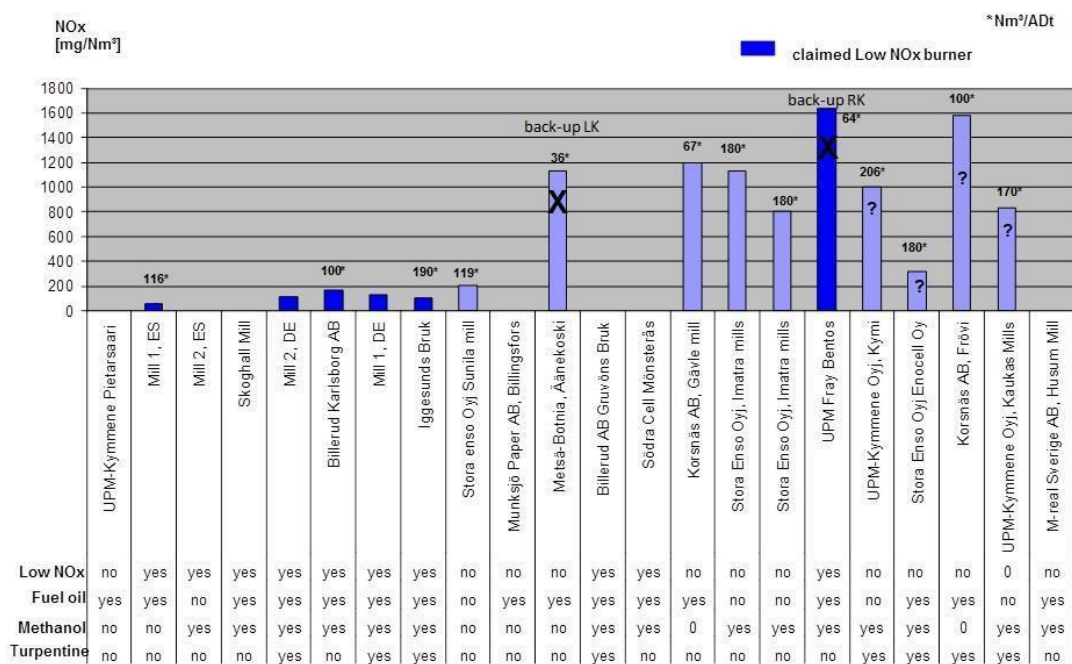
Spalanie etapowe polega na wykorzystaniu dwóch stref spalania, z regulacją ilości powietrza i temperatury w pierwszej komorze. Pierwsza strefa spalania funkcjonuje w warunkach substechiometrycznych w celu przekształcenia związków amoniaku w azot pierwiastkowy w wysokiej temperaturze. W drugiej strefie, dodatkowy kanał powietrza dopełnia spalania w niższej temperaturze. Po spalaniu dwuetapowym, gazy odlotowe przepływają do drugiej komory w celu odzyskania z nich ciepła; w procesie tym wytwarzana jest para.

##### Główne korzyści środowiskowe

Redukcja emisji NO<sub>x</sub> ze spalania stężonych gazów w oddzielnym palniku TRS.

##### Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

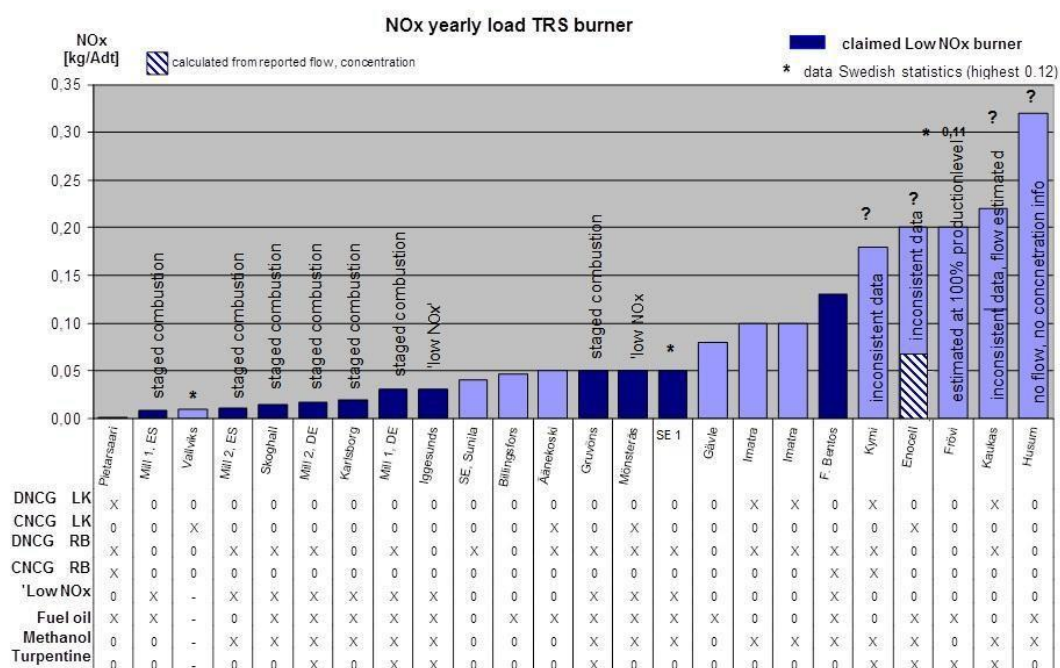
Odnotowane średnioroczne emisje, zarówno pod względem stężenia jak i ładunku, zostały przedstawione na Rys. 3.85 i Rys. 3.86.



Źródło: Kwestionariusz EIPPCB z 2007/2009

Rysunek 3. 85 Stężenia emisji NO<sub>x</sub> z oddzielnego palnika TRS

NOx [mg/Nm <sup>3</sup> ]	NOx [mg/Nm <sup>3</sup> ]
claimed Low NOx burner	palnik niskiej emisji NOx
back-up LK	zapasowy LK
back-up RK	zapasowy RK
Low NOx Fuel oil Methanol Turpentine	Niskie emisje NOx Olej opałowy Metanol Terpentyna
no	nie
yes	tak
0	0
Source: EIPPCB questionnaires from 2007/2009	Źródło: Kwestionariusz EIPPCB z 2007/2009



Źródło: Kwestionariusz EIPPCB z 2007/2009

Rysunek 3. 86 Ładunki emisji NOx z oddzielnego palnika TRS

NOx yearly load TRS burner	ładunek roczny NOx palnik TRS
Nox [kg/Adt]	Nox [kg/Adt]
calculated from reported flow, concentration	obliczono na podstawie danych o przepływie, stężeniu
claimed Low NOx burner	palnik niskiej emisji NOx
data Swedish statistics (highest 0.12)	Szwedzie dane statystyczne (najwyższe 0.12)
staged combustion	spalanie etapowe
'low NOx'	niskie emisje NOx
inconsistent data	niespójne dane
no flow, no concnetration info	brak informacji o przepływie, stężeniu
estimated at 100% productionlevel	szacowane na 100% poziomu produkcji
inconsistent data, flow estimated	niespójne dane, szacowany przepływ
DNCG LK	DNCG LK
CNCG LK	CNCG LK
DNCG RB	DNCG RB
CNCG RB	CNCG RB
'Low Nox	Niskie emisje Nox
Fuel oil	Olej opałowy
Methanol	Metanol
Turpentine	Terpentyna
X	X
0	0
-	-

### Oddziaływanie na procesy i środowisko

Brak informacji.

### Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki

Powszechnie stosowane w nowych zakładach i przy większych modernizacjach; w istniejących zakładach, jeśli jest miejsce na instalacje urządzeń.

**Motywacja do wdrożenia**Redukcja emisji NO<sub>x</sub>.**3.3.25 Redukcji emisji z kory lub kotłów wielopaliwowych**

Zob. pkt 2.9.11.2.1.

**3.3.26 Zintegrowana koncepcja zarządzania odpadami****Opis**

Zintegrowane systemy zarządzania odpadami zaczynają od rozdzielania frakcji odpadów u źródła i mają na celu zmniejszenie ilości odpadów do usunięcia. Umożliwiają one osiągnięcie wysokiego poziomu ponownego użycia, recykling i odzyskiwanie pozostałości z procesów technologicznych (zob. pkt 2.9.8). Dla różnych pozostałości oceniane są możliwości zapobiegania ich powstawaniu, możliwości ponownego użycia, recyklingu i odzysku jako surowców lub jako źródła energii (zobacz hierarchię odpadów [205, WFD 98/EC 2008]). W ostateczności odpady są bezpiecznie usuwane.

**Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Tabela 3.28 przedstawia dane na temat głównych frakcji odpadów, które powstają w celulozowniach. Dane pokazują ogromne różnice w sposobie zagospodarowania i rejestrowania odpadów. Rozróżnianie i grupowanie poszczególnych rodzajów odpadów może odbywać się na wiele sposobów; niektóre celulozownie odnotowują frakcje odpadów oddzielnie, inne łączą je. Ponadto, frakcje odpadów, które w jednej instalacji uznaje się za zdatne do ponownego użycia lub recyklingu, w innych mogą być składowane na wysypiskach. Bardzo małe ilości odpadów przeznaczone do składowania pozostają w korelacji z wyższym poziomem recyklingu dla tej samej frakcji odpadów (np. szlam wapienny). Możliwości porównywania danych z różnych instalacji są w związku z tym ograniczone.

Tabela 3. 28 Główne frakcje odpadów z celulozowni

Pozostałości do ponownego użycia lub recyklingu		
Frakcja odpadów	Źródło	kg DS/ADt masy
Kora i pozostałości drewna, odpady z przerobu drewna itp.	Plac drzewny	11.4 – 205
Osad pierwotny <sup>(1)</sup>	Oczyszczanie ścieków	2.1 – 13
Osad wtórny <sup>(1)</sup>	Biologiczne oczyszczanie ścieków	1.6 – 9.7
Szlam wapienny	Kaustyzacja	1 – 29
Inne (papier, szkło, złom, plastik itp.)	Cała instalacja	1.5 – 2.5
Frakcja odpadów	Źródło	kg DS/ADt masy
Osady, osady z gaśnika	Odzysk/kaustyzacja	2 – 22
Szlam z ługu zielonego	Kaustyzacja	6 – 10.9
Szlam wapienny	Kaustyzacja	0.01 <sup>(2)</sup> – 51.3
Piasek złoża fluidalnego	Kocioł korowy	0.27 <sup>(3)</sup> – 28
Popioły	Kocioł korowy	3.5 – 11
Ogólne odpady nie związane z produkcją masy celulozowej (szkło,	Cała instalacja	0.4 – 2.4
(1) Jedna instalacja odnotowała wartość (osad pierwotny + wtórny) 49 kg DS/ADt. (2) 29 kg DS/ADt do recyklingu. (3) Około 6 kg DS/ADt przeznaczone do ponownego wykorzystania lub recyklingu.		
Źródło: [ 138, PP TWG 2009 ]		



Duże ilości pozostałości procesowych mogą być ponownie wykorzystane, poddane recyklingowi lub odzyskane. Ilość składowanych odpadów wynosiła między 15 i 38 kg DS/ADt, z kilkoma wyjątkami, gdzie odnotowano ilości do 52 kg/ADt. Małe ilości odpadów niebezpiecznych (między 0,14 i 1,2 kg (mokrych) DS/ADt masy) są zbierane oddzielnie w zakładach i bezpiecznie zagospodarowywane lub usuwane.

#### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Powszechnie stosowane.

#### **Aspekty ekonomiczne**

Zmniejszenie ilości odpadów składowanych w wielu przypadkach również zmniejsza koszty.

#### **Motywacja do wdrożenia**

Wymogi prawne; wzrost kosztów składowania.

#### **Instalacje referencyjne**

Dane przedstawione w Tabeli 3.28 zostały przekazane przez zakłady: ZPR Blankenstein; Celbi; Celtejo; Portucel Setubal; Portucel Viana, Portucel Cacia; Södra Cell Värö; Soporcel Figueira da Foz; Stendal Arneburg; SE Poland SA.

#### **Bibliografia**

[ 138, PP TWG 2009 ]

### 3.3.27 Środki dla poprawy efektywności energetycznej

W odniesieniu do efektywności energetycznej, przydatne informacje ogólne można znaleźć w dokumencie referencyjnym na temat najlepszych dostępnych technik w zakresie efektywności energetycznej (ENE) [268, COM 2009].

#### Opis

Środki dla poprawy efektywności energetycznej ([34, Holmenkollen et al. 2010], [35, Raukola et al. 2002]) można podzielić na środki mające na celu zmniejszenie zużycia ciepła lub pary, zmniejszenie zużycia energii elektrycznej i zwiększenie produkcji energii, zwłaszcza przy użyciu energooszczędnych kotłów.

#### I. Środki mające na celu zmniejszenie strat ciepła i ograniczenie zużycia ciepła:

- wysoka zawartość DS w korze przez skuteczne przerabianie na prasie lub suszenie;
- wysokosprawne kotły parowe, np. niskie temperatury gazów odlotowych, duża ilość podgrzewanego powietrza, duża ilość podgrzewanej wody zasilającej, wysoka temperatura i ciśnienie pary głównej;
- skuteczny system ogrzewania wtórnego, np. najbardziej wydajne instalacje posiadają trzy poziomy czystej wody gorącej, np. 80–90°C, 60–70°C i 40–50°C, oraz kilka poziomów ciepła wtórnego kondensatu, gdzie temperatura kondensatu jest równa temperaturze użytkowania;
- dobrze zamknięty system wodny, który zmniejsza zużycie wody;
- stosunkowo dobrze zamknięta instalacja bielenia;
- wysokie stężenie masy (technika średniej lub wysokiej gęstości);
- wysoce skuteczne instalacje odparowania z większą liczbą efektów (które w zależności od rodzaju wyparki mogą również oszczędzać energię); wyparka ma najwyższy potencjał rozwojowy;
- odzysk ciepła ze zbiorników do rozpuszczania, np. przez skrubery gazów odlotowych;
- zarządzanie bilansem ciepła wtórnego ze zoptymalizowanym wykorzystaniem wody i kondensatu wtórnego;
- odzyskiwanie ciepła ze ścieków i innych źródeł;
- wykorzystanie źródeł ciepła odpadowego o niskich temperaturach (wtórne ciepło) do ogrzewania budynków, wody zasilającej do kotła i wody technologicznej;
- odzysk ciepła z gazów odlotowych z kotła regeneracyjnego między ESP i wentylatorem;
- monitorowanie i sterowanie procesami za pomocą zaawansowanych systemów kontrolnych;
- optymalizacja zintegrowanej sieci wymienników ciepła;
- system zarządzania energią.

#### II. Środki mające na celu zmniejszenie zużycia energii elektrycznej:

- największa możliwa gęstość masy w sortowaniu o oczyszczaniu;
- kontrola prędkości silników;
- wydajne pompy próżniowe;
- właściwe rozmiary rur, pomp i wentylatorów;
- zoptymalizowane poziomy zbiorników.

#### III. Środki mające na celu zwiększenie wytwarzania energii elektrycznej:

- wysoka zawartość suchej substancji w ługu czarnym (zwiększa sprawność kotła, wytwarzanie pary, a tym samym energii elektrycznej);
- wysokie ciśnienie i temperatura kotła regeneracyjnego;
- wysokie ciśnienie pary głównej i temperatura kotła biomasy (jeśli występuje);
- ciśnienie pary na wylocie turbiny przeciwpięznej tak niskie, jak to technicznie możliwe;

- turbina kondensacyjna do produkcji energii z nadmiarowej pary;
- wysoka wydajność turbin;
- wstępne podgrzewanie wody zasilającej do temperatury bliskiej temperaturze wrzenia;
- wstępne podgrzewanie powietrza do spalania i paliwa do kotłów.

Dalszą poprawę efektywności energetycznej można osiągnąć w procesie integracji, dzięki któremu łatwiej jest wykorzystać nadwyżki ciepła z jednego procesu w innym.

#### **Główne korzyści środowiskowe**

Techniki oszczędzania energii zmniejszają zużycie energii termicznej i elektrycznej i powiązane z nimi emisje CO<sub>2</sub>. Zasoby, emisje pośrednie i odpady związane z wytwarzaniem energii zostają zredukowane. Im mniej energii jest zużywane, tym mniej potrzeba paliw kopalnych lub innych i uwalnianych jest mniej emisji do atmosfery, w tym dwutlenku węgla.

#### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Dzięki zastosowaniu środków oszczędzających energię wspomnianych wyżej, orientacyjne poziomy zużycia energii elektrycznej w celulozowni mogą wynieść 660–750 kWh/ADt. Energia konieczna do produkcji chemikaliów bielących nie została uwzględniona, wynosi ona dodatkowe 100 kWh/ADt jeśli produkcja odbywa się w zakładzie. Ze względu na większą wydajność drewna eukaliptusowego w porównaniu do drewna iglastego, nowe celulozownie eukaliptusowe mają mniejsze zapotrzebowanie na energię elektryczną. Orientacyjne poziomy zużycia energii dla masy eukaliptusowej wynoszą 550–700 kWh/ADt.

Dla orientacyjnych poziomów zużycia energii uwzględniono następujące granice systemowe:

- (1) Orientacyjne poziomy zużycia energii odnoszą się do produkcji netto zakładu i obejmują pompy, mieszadła i sprężone powietrze. Uwzględniono także podsystemy peryferyjne surowej wody i ścieków, osadu i odrzutów, np. odłuszczacze napowietrzane, prasy śrubowe odrzutów, prasy osadu i oczyszczanie ścieków.
- (2) Dane przedstawiają zużycie energii brutto i nie uwzględniają faktu, że większość zakładów sama produkuje znaczną część energii przez spalanie ługu czarnego. Kilka zakładów wytwarza także parę ze spalania kory, osadu, itp., co również nie zostało uwzględnione dla energii brutto.
- (3) Zakresy obejmują wszystkie jednostki procesowe związane z roztwarzaniem siarczanowym, począwszy od placu drzewnego, a kończąc na zbiorniku masy gotowej do użycia (dla zintegrowanych instalacji) lub suszarce masy (dla masy towarowej).
- (4) dane dotyczące zużycia energii nie uwzględniają wkładu energii pierwotnej z paliw w wytwarzanie energii, ale prezentują zużyte ciepło procesowe i energię.
- (5) Dla ciepła, wartości zużycia odnoszą się do wydajności cieplnej zużywanej pary.

Niektóre techniki oszczędzania energii są wdrażane przez zastąpienie starego sprzętu nowymi technikami. Nowe urządzenia zwykle zużywają mniej energii i są bardziej energooszczędne (np. korowarki, sortownie, płuczki, pompy, wyparki). Inne środki odnoszą się do najlepszych praktyk, dobrego zarządzania, kontroli procesu i stopniowej optymalizacji procesów. Większą efektywność energetyczną osiągnięto poprzez ciągłe ograniczanie, ale przede wszystkim realizując projekty modernizacyjne lub całkowicie nowe linie produkcyjne. Nowoczesne celulozownie siarczanowe mogą być całkowicie samowystarczalne w zakresie energii elektrycznej i pary.

Nadwyżki paliwa z biomasy mogą być wykorzystane na zewnątrz celulozowni zastępując paliwa kopalne wykorzystywane przy produkcji ciepła i/lub energii, np. w odniesieniu do:

- energii elektrycznej – szczególnie w połączeniu z gazyfikacją ługu czarnego (patrz pkt 3.4.2);
- paliwa ze stałej lub ciekłej biomasy – suszonej kory, oleju talowego, ligniny lub metanolu;
- ciepła – dla miejskiej sieci ciepłowniczej.

Zużycie ciepła i energii podano na podstawie danych z istniejących celulozowni [138, PP TWG 2009] i porównując je z instalacją referencyjną Ecoyclic KAM2 [193, Axegård et al. 2003]. Instalacja referencyjna została zaprojektowana w roku referencyjnym (2002) ze wszystkimi nowoczesnymi procesami, jednak nie wszystkie wdrożono w tym samym zakładzie. Instalacja odniesienia często ma niższe zapotrzebowanie na parę niż statystyczna instalacja. Choć instalacja odniesienia KAM jest znacznie bardziej energooszczędna niż typowe instalacje, to dodatkowo możliwe jest zmniejszenie zapotrzebowania na ciepło.

W Tabeli 3.29, instalacja referencyjna BAT szwedzkiego programu badań MISTRA została porównana ze zużyciem energii w energooszczędnym zakładzie Södra Värö, który wdrożył program zarządzania energią.

**Tabela 3. 29 Porównanie między zapotrzebowaniem na parę (GJ/ADt) w instalacji referencyjnej BAT z bieleniem ECF i w energooszczędnej instalacji siarczanowej**

Process zużywania ciepła	KAM2 (lato)	Södra Värö (przewidywa)
Plac drzewny	0	BD
Warzelnia	1.6	2.25
Produkcja gorącej wody	-	0.05
Delignifikacja tlenowa	0.14	0.08
Bielenie	1.37	1.33
Przygotowanie chemikaliów	0.10	0.14
<b>Ogółem linia produkcyjna</b>	<b>3.21</b>	<b>3.85</b>
Wyparka + instalacja	4.01	3.78
Suszarka	2.20	2.17
Zdmuchiwanie sadzy +	1.01	1.23
<b>Ogólnie suszarka i odzysk</b>	<b>7.21</b>	<b>7.18</b>
Inne, straty	0.37	0.39
<b>Ogólnie cała instalacja</b>	<b>10.8</b>	<b>11.4</b>
Zakupione paliwo	0	BD
Uwagi: BD = brak danych Źródło: [134, Södra Värö 2009], [193, Axegård et al. 2003].		

Wydaje się, że celulozownia Södra Värö ma prawie takie same zapotrzebowanie na parę jak instalacja referencyjna BAT. Jednak Värö stosuje bielenie TCF, który wymaga nieco więcej pary niż bielenie ECF i zużywa parę w lecie i w zimie (w okresie zimowym, zużycie pary może wzrosnąć o około 0,8 GJ/ADt ze względu na rozmrażanie wiórów).

Większość zapotrzebowania na parę można zaspokoić parą niskoprężną (około 145°C). Para średnioprężna (180–190°C) stanowi około 40% zużycia steama i jest używany głównie w czasie roztwarzania, delignifikacji tlenowej i w etapach ciśnieniowych (PO).

Bilans uproszczony pary w instalacji referencyjnej BAT przedstawiono w Tabeli 3.30 z podziałem na produkcję masy towarowej i zintegrowaną produkcję cienkiego papieru.

Tabela 3. 30 Bilans pary w instalacji referencyjnej Ecocyclic KAM2, w tym turbiny

Produkcja i zużycie energii	Bielona masa z drewna iglastego		Zintegrowana wytwórnia cienkiego papieru	
	GJ/ADt	Moc wyprodukowana (kWh/ADt)	GJ/ADt	Moc wyprodukowana i zużyta (kWh/ADt)
<b>Produkcja</b>				
Ług czarny	17.7		14.9	
Gazy niekondensujące	0.2		0.2	
Ciepło wtórne	0.6		0.2	
Kora	0		1.8 + 0.2 zakupiona kora	
<b>Ogółem</b>	<b>18.5</b>		<b>17.3</b>	
<b>Zużycie</b>				
Procesy (w tym zdmuchiwanie sadzy)	10.8		13.6	
Moc ciśnieniowa	2.9	790	3.7	984
Moc kondensująca	1.7	465	0	0
- j.w., kondensator	3.2			
Moc zakupiona		0		504
<b>Ogółem</b>	<b>18.5</b>	<b>1255</b>	<b>17.3</b>	<b>1488</b>

*Źródło: [ 193, Axegård et al. 2003 ]*

Celulozownia siarczanowa ma znaczne nadwyżki pary, które wykorzystuje do produkcji energii kondensującej. Sam zakład zużywa 712 kWh/ADt (patrz Tabela 3.32) co skutkuje nadwyżką energii elektrycznej około 540 kWh/ADt. Instalacja odniesienia nie ma kotła korowego. Kora jest suszona, a zgazowana kora jest używana w piecu wapiennym. Nadwyżki kory są sprzedawane a nie wykorzystywane do wytwarzania pary. Wtórne ciepło jest ciepłem odzyskanym, które jest używane do wstępnego podgrzewania wody uzupełniającej i kondensatu z turbiny kondensacyjnej.

W przypadku zintegrowanych wytwórni cienkiego papieru, dużo trudniej jest ustalić wartości zużycia dla instalacji energooszczędnych z uwagi na złożoność zasilania maszyny papierniczej; w większości przypadków używane są co najmniej dwa rodzaje różnych włókien (instalacja odniesienia używa 25% drewna iglastego, 75% drewna liściastego, 20% wypełniacza i skrobie do obróbki powierzchniowej). Zapotrzebowanie na energię dla działu masy chemicznej w instalacji referencyjnej wynosi 588 kWh/ADt i jest niższe niż w przypadku standardowej celulozowni siarczanowej. Papiernia referencyjna wymaga 900 kWh/ADt, co łącznie daje zapotrzebowania w wysokości 1 488 kWh/ADt dla instalacji zintegrowanej. Zintegrowana instalacja referencyjna ma kocioł korowy i jest prawie samowystarczalny w zakresie pary. Średnio tylko 1% stanowi zakupione paliwo. Jednak około 35% zapotrzebowania na energię elektryczną pokrywane jest zakupioną energią (504 kWh/ADt).

Przykład ten pokazuje, że integracja wytwórni masy i papieru może zagospodarować nadwyżki pary w instalacjach energooszczędnych, ale pojawia się deficyt w odniesieniu do bilansu energii. Ogólnie osiągalne poziomy zużycia pary (w GJ/ADt), jako średnie roczne, jeśli procesy są dobrze zaprojektowane i realizowane, przedstawiono w Tabeli 3.31. Para do produkcji energii elektrycznej nie została uwzględniona.

Tabela 3. 31 Zużycie pary w energooszczędnych celulozowniach masy siarczanowej bielonej, wyrażone jako średnia roczna

Proces	Warzelnia	Delignifikacja tlenowa	Bielenie	Suszenie	Wyparki	Inne	Ogółem
<b>Zużycie pary (GJ/ADt)</b>	1.6 – 2.0	0.2 – 0.4	1.5 – 2.0	2.2 – 2.6	4.0 – 4.5	1.5 – 2.0	<b>11 – 12</b>

Zapotrzebowanie na ciepło pieca wapiennego (paliwa wykorzystywane do ponownego spalania szlamu wapiennego) nie zostało uwzględnione w zapotrzebowaniu na parę podanym w Tabeli 3.31. Do zapotrzebowania na parę należy dodać około 1.1–1.4 GJ/ADt pierwotnej energii cieplnej dla ponownego spalania wapna; w ten sposób uzyskuje się wartość całkowitego zapotrzebowania na ciepło.

Obecnie nie jest możliwe przedstawienie wiarygodnych i porównywalnych danych dotyczących całkowitego zużycia energii cieplnej na tonę masy siarczanowej. Metody monitorowania, obliczania i raportowania zużycia energii cieplnej różnią się między instalacjami. Zużycie ciepła zależy również w pewnym stopniu od lokalizacji instalacji. Dane dotyczące zużycia ciepła (i energii elektrycznej) należy interpretować w połączeniu z uproszczonymi bilansami energetycznymi instalacji. Zrzuty pary nie stanowią części używanego ciepła procesowego. Jednak zdarza się, że nowe urządzenie zużywa mniej pary, ale nadwyżka nie jest natychmiast wykorzystywana. Instalacje powinny zawsze dążyć do wykorzystania takich nadwyżek.

Zużycie energii w energooszczędnym zakładzie wynosi zazwyczaj między 660 kWh/ADt i 800 kWh/ADt. Zużycie w instalacji referencyjnej wynosi 712 kWh/ADt (patrz Tabela 3.32). Energia konieczna do produkcji chemikaliów bielących nie została uwzględniona w danych liczbowych (dodatkowo 100 kWh/ADt).

Tabela 3. 32 Zużycie energii w instalacji referencyjnej BAT z bieleniem ECF (w 2002 r.)

Proces	Zużycie energii [kWh/ADt]
Plac drzewny	45
Warnik	44
Mycie i sortowanie masy niebielonej	60
Delignifikacja tlenowa	60
Bielenie	80
Etap po sortowaniu	45
Suszenie	120
Wyparki	30
Kocioł regeneracyjny	60
Kaustyzacja i piec wapienny (w tym gazyfikacja kory)	57
Wieża chłodnicza, itp.	20
Woda surowa	20
Oczyszczanie ścieków	30
Przygotowanie chemikaliów bielących (w tym chemikaliów do)	10
Różni odbiorcy, straty	30
<b>Ogółem</b>	<b>712</b>
<i>Źródło: [193, Axegård et al. 2003]</i>	

Niedawno uruchomione instalacje eukaliptusowe zbudowane od podstaw osiągają znacznie niższe poziomy zużycia energii elektrycznej. Mniejsze zużycie energii wynika częściowo zastosowania nowych technologii i częściowo ze względu na większą wydajność drewna eukaliptusowego w porównaniu z drewnem iglastym. Wyższa wydajność zapewnia mniejsze zużycie energii na tonę masy i mniejszą ilość generowanej energii elektrycznej ponieważ mniej

materiału organicznego przekształca się podczas warzenia w ług czarny do spalania w kotle regeneracyjnym.

- a) Instalacja eukaliptusowa Veracel ECF w Brazylii, rozpoczęła produkcję w 2005 r.; w 2008 r. wyprodukowała 1,1 mln ton masy bielonej. W najnowszym raporcie podano wartości energii elektrycznej jak w Tabeli 3.33. W większości nowoczesnych młynów kora nie jest spalana w instalacji, stosuje się korowanie w lesie.

Tabela 3. 33 Bilans energetyczny instalacji Veracel

	Energia elektryczna		
	2006	2007	2008 <sup>(1)</sup>
Całkowita energia elektryczna wytwarzana w obiektach	810	826	750
Energia elektryczna stosowana w produkcji	607	553	520
Pozyskana energia elektryczna	0	0	110
Energia sprzedana	203	213	230
Uwagi: ( <sup>1</sup> ) W 2008 r. Veracel przez 78 dni nie generował energii z powodu problemów technicznych z turbo-generatorem. W tym okresie firma musiała pozyskiwać energię do produkcji masy papierniczej. Wartości dla 2007 r. nie sumują się do 100%.			

- b) celulozownia eukaliptusowa Fray Bentos ECF z Urugwaju rozpoczęła produkcję w 2007; w 2009 wyprodukowała 1,1 mln ton masy siarczanowej bielonej. Raport roczny Botnia za rok 2009 podaje produkcję energii elektrycznej na poziomie 826 kWh/ADt i tylko 500 kWh/ADt zużytej energii [119, Botnia 2010]. Energia używana do produkcji chemikaliów nie została uwzględniona w wartościach energii dla instalacji Veracel i Fray Bentos.

W przypadku celulozowni masy siarczanowej bielonej, kocioł regeneracyjny może zaspokajać zapotrzebowanie całego zakładu na parę (z wyjątkiem paliwa rozruchowego). Nie ma potrzeby instalowania kotła korowego do produkcji pary, chociaż większość instalacji posiada takie kotły. Cała wygenerowana para może być zużyta w turbinie przeciwprężnej. Celulozownia siarczanowa jest również samowystarczalna pod względem energii elektrycznej.

Para niewykorzystywana w procesach może służyć do produkcji energii w turbinie kondensacyjnej, która radzi sobie również ze zmianami w układzie pary. Odliczając zużycie własnej energii, można wygenerować i sprzedać nadmiarową energię elektryczną w ilości 400–500 kWh/ADt.

Ilości generowanej energii różnią się między instalacjami wykorzystującymi drewna liściaste i tymi, które wykorzystują drewno iglaste. Na przykład, przy roztwarzaniu eukaliptusa powstaje mniej ługu czarnego, a zatem również mniej nadmiarowej energii elektrycznej.

Porównanie osiągniętych nadwyżek energii powinno uwzględniać to, czy kora jest używana do wytwarzania pary czy spalana w piecu wapiennym, sprzedawana lub używana do dostarczania ciepła. Wydajność masy (liczba kappa po roztwarzaniu) i ceny sprzedawanej energii z biomasy mają również istotne znaczenie przy porównywaniu osiągnięć.

### Oddziaływanie na procesy i środowisko

Brak negatywnych oddziaływań na procesy i środowisko.

### Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki

Środki możliwe do zastosowania w zasadzie we wszystkich celulozowniach. Istnieje duży potencjał techniczny do wdrażania bardziej energooszczędnych instalacji, nawet w ramach ustalonych technologii, jeśli istnieją wystarczające zachęty ekonomiczne.

### Aspekty ekonomiczne

Brak informacji.

### **Motywacja do wdrożenia**

Wykorzystanie energii jest jednym z kluczowych czynników kosztowych celulozy i papieru. Z drugiej strony niewiele było zachęt dla utrzymania zużycia pary poniżej obecnych poziomów, ponieważ para wytwarzana tylko z ługu czarnego to na dzień dzisiejszy średnio 16 GJ/ADt. Bez turbin kondensacyjnych, ale przy maksymalnym przeciwnym wytwarzaniu energii, najniższe uzasadnione zużycie pary wyniesie około 13 GJ/ADt, przy wygenerowaniu energii elektrycznej w ilości o około 800 kWh/ADt. Mniejsze zapotrzebowanie na parę doprowadzi do powstania nadwyżek pary nawet bez użycia kory do generowania pary; nadwyżki mogą zostać użyte do produkcji energii kondensującej (do 465 kWh/ADt) lub do innych celów (np. sieć ciepłownicza lub inni użytkownicy).

Ze względu na niższe wymagania w zakresie pary, nie ma potrzeby spalania kory. Nadmiarowa kora może zostać wysuszona nadmiarową parą od 40%–60% suchości i sprzedana jako biopaliwo na rynek zewnętrzny. Zmniejszenie zużycia energii elektrycznej zmniejsza koszty produkcji i poprawia rentowność instalacji.

### **Instalacje referencyjne**

Wiele celulozowni w Europie wdrożyło niektóre z wyżej wymienionych środków. Na przykład w kontekście programu zarządzania energią, instalacja Södra Värö (SE) wdrożyła większość środków wymienionych powyżej. Instalacja SCA Östrand, SE, uruchomiła wysoce wydajny kocioł regeneracyjny w 2007 r. Nowe instalacje eukaliptusowe w Ameryce Południowej (Veracel, Fray Bentos) stanowią przykłady instalacji o najniższym zużyciu energii.

### **Bibliografia**

[ 34, Kankkonen et al. 2010 ], [ 35, Raukola et al. 2002 ], [ 119, Botnia 2010 ], [ 122, Veracel 2009 ], [ 134, Södra Värö 2009 ], [ 137, K.Touminen 2010 ], [ 138, PP TWG 2009 ], [ 193, Axegård et al. 2003 ], [ 268, COM 2009 ].

### **3.3.28 Techniki redukcji hałasu**

Zob. pkt 2.9.11.2.1.



### 3.4 Nowo powstające techniki

Współcześnie w fazie rozwoju znajduje się szereg nowych, obiecujących technologii, które skutkują zmniejszeniem emisji i oszczędnością energii. Poprawa sprawności środowiskowej nie zawsze musi być główną motywacją rozwoju, ale odgrywa istotną rolę. Poniżej opisano kilka takich technik. Podrozdział niniejszy dotyczy konkretnych zagadnień związanych ze środowiskiem, które ostatnio zyskały zainteresowanie oraz finansowanie w postaci programów badawczych. Programy te odnoszą się do rozwoju usprawnionych pod względem oddziaływania na środowisko rozwiązań w celu produkcji wysokiej jakości masy celulozowej i wyrobów papierniczych.

#### 3.4.1 Usprawnione wytwarzanie energii elektrycznej, produktów na bazie biomasy oraz wykorzystanie nadmiarowego ciepła

##### Opis

Energooszczędne celulozownie mają nadwyżki paliwa z biomasy, które mogą zostać wykorzystane wewnątrz i na zewnątrz zakładu do produkcji biopaliw z odnawialnych źródeł energii lub innych produktów biochemicznych. Aby poprawić opłacalność produkcji w celulozowniach, zwłaszcza na półkuli północnej, wprowadzono pojęcie biorafinerii. Firmy zamierzają przekształcać surowiec drzewny i resztki drewnopochodne (np. korę, odrzuty masy włóknistej) w nowe rodzaje produktów energetycznych z biomasy, takich jak bioetanol, olej napędowy, oleje i inne. Zbudowano wiele instalacji demonstracyjnych opartych na wynikach badań w zakresie rozwoju tych technologii. Ponadto, większe lub bardziej efektywne wykorzystanie niektórych istniejących technologii może przyczynić się do zwiększenia ilości produktów energetycznych opartych na biomase.

Produkty energetyczne rozwijane w przyszłości będą raczej podobne do dzisiejszych produktów. Obejmują one suszoną korę i odrzuty z sortowania sprzedawane jako biopaliwo, metanol, terpentyna, mydło i olej talowy. Te pierwotne produkty mogą być przetwarzane w różnych celach, w tym w celu uzyskania biopaliw płynnych, ciepła do sieci ciepłowniczej i energii ze źródeł odnawialnych. Oddzielne części strumieni pobocznych, takie jak lignina, hemiceluloza, itp., mogą być rafinowane do innych produktów energetycznych.

Najważniejsze różnice w zakresie produktów energetycznych i produktów z biomasy produkowanych w przyszłości w celulozowniach to:

- i. zwiększenie sprzedaży energii;
- ii. zastąpienie paliw kopalnych w produkcji masy celulozowej, głównie w piecu wapiennym (patrz pkt 3.3.23);
- iii. zwiększone wykorzystanie nadmiarowego ciepła w sieci ciepłowniczej w chłodniejszych rejonach;
- iv. integracja produkcji masy celulozowej z innymi procesami produkcyjnymi przy wykorzystaniu biomasy jako surowca.

##### Stopień rozwoju

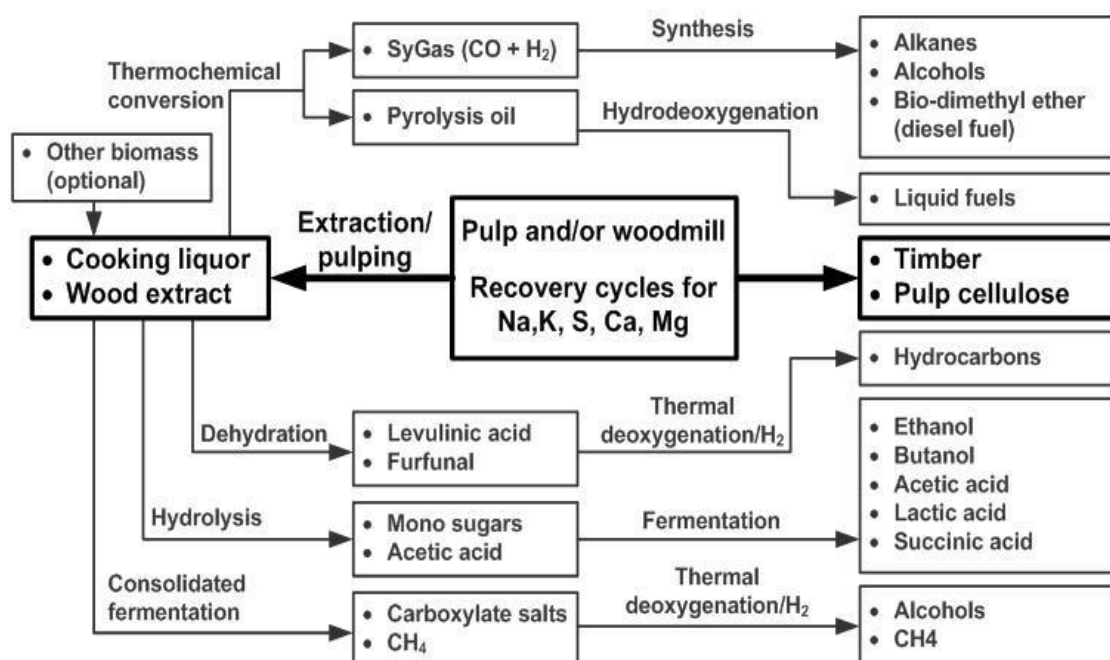
Stopień rozwoju różnych opcji (i. do iv.) można opisać w następujący sposób:

- i. Wytwarzanie nadwyżki energii/energii elektrycznej. Główne możliwości zwiększenia wytwarzania nadwyżek energii obejmują ograniczenie własnego zużycia ciepła i energii (patrz pkt 3.3.27) i wdrożenie wysokosprawnych kotłów regeneracyjnych opalanych ługiem czarnym z wysoką zawartością suchej substancji. Bardziej energooszczędne kotły regeneracyjne ługu czarnego mają większy współczynnik mocy do ciepła dzięki wykorzystaniu ogrzewania wody zasilającej, wstępnego ogrzewania powietrza do spalania, odzysku ciepła z gazów odlotowych i przede wszystkim wyższej temperatury i wyższego ciśnienia pary.

W szwedzkiej instalacji SCA Östrand w 2007 roku zainstalowano nowy wydajny kocioł.

Przed instalacją, zakład miał deficyt energii elektrycznej wynoszący 114 GWh/rok; po instalacji nowego kotła zakład produkuje 90 GWh/rok nadmiarowej energii [137, K.Touminen 2010]. Energooszczędne kotły regeneracyjne są dostępną technologią. Nowoczesne kotły osiągają temperaturę 515°C i ciśnienie 110 barów, a ilość całkowitej energii wytworzonej może być większa o 16% w porównaniu do instalacji bazowej, jeśli wszystkie funkcje mające na celu zwiększenie produkcji energii zostaną uwzględnione w konstrukcji kotła [124, Mäntyniemi 2010]. Wydajność wytwarzania energii można dodatkowo zwiększyć stosując czyste paliwo gazowe, zamiast łuğu czarnego, do ostatecznego przegrzania pary. Komory spalania gazu mogą być ściśle zintegrowane z kotłem regeneracyjnym. W rezultacie mogą być stosowane dużo wyższe temperatury pary do 560–600°C [137, K.Touminen 2010]. Rozwiązaniem, które może w przyszłości dodatkowo zwiększyć produkcję energii elektrycznej (przez przekształcenie potencjału energetycznego łuğu czarnego) jest technika zgazowania łuğu czarnego (patrz pkt 3.4.2).

- ii. Zastąpienie paliw kopalnych w produkcji masy celulozowej, głównie w piecu wapiennym (patrz pkt 3.3.23). Ta technologia jest dostępna od lat 80., ale wdrożona została tylko w kilku celulozowniach. Z powodu wzrostu cen oleju i gazu i kosztów emisji CO<sub>2</sub>, technologia ta prawdopodobnie będzie bardziej opłacalna w przyszłości.
- iii. Zwiększone oddawanie nadmiarowego ciepła do sieci ciepłowniczej jest sprawdzoną technologią wdrożoną w wielu wytwórniach celulozy, szczególnie w krajach skandynawskich (np. Södra Värö i Mönsterås) i prawdopodobnie jej znaczenie będzie rosnać.
- iv. Integracja produkcji masy celulozowej z innymi procesami produkcyjnymi przy wykorzystaniu biomasy jako surowca (koncepcja biorafinerii). Celulozownie mogą w przyszłości stopniowo przekształcać się w instalacje zintegrowanej produkcji produktów energetycznych i produktów z biorafinerii. Występują efekty synergii dzięki wspólnej logistyce i obróbce surowców, wspólnym instalacjom usługowym, oczyszczaniu ścieków, oraz przede wszystkim wspólnym systemom grzewczym i energetycznym, które mogą być zintegrowane z nowymi technologiami i procesami. Zidentyfikowano różne ścieżki ogólne dla zintegrowania konwersji biomasy z produktami towarowymi w ramach istniejących wytwórni masy celulozowej i papieru. Rysunek 3.87 przedstawia te ścieżki od biomasy do paliw i produktów chemicznych. Możliwe do wykorzystania paliwa i chemikalia wymieniono po prawej stronie.



Źródło: [133, A.v.Heiningen 2010]

Rysunek 3. 87 Ścieżki biorafinerii leśnej

Thermochemical conversion	Konwersja chemiczno-termiczna
SyGas (CO + H <sub>2</sub> )	SyGas (CO + H <sub>2</sub> )

<b>Pyrolysis oil</b>	<b>Olej pirolizowy</b>
<b>Synthesis</b>	<b>Synteza</b>
<b>Hydrodeoxygenation</b>	<b>Hydrodeoksygenacja</b>
<b>Alkanes</b>	<b>Alkany</b>
<b>Alcohols</b>	<b>Alkohole</b>
<b>Bio-dimethyl ether (diesel fuel)</b>	<b>Eter bio-dimetylowy (diesel)</b>
<b>Liquid fuels</b>	<b>Paliwa płynne</b>
<b>Timber Pulp cellulose</b>	<b>Drewno Masa celulozowa</b>
<b>Pulp and/or woodmill</b>	<b>Masa i/lub tartak</b>
<b>Recovery cycles for Na,K, S, Ca, Mg</b>	<b>Cykle odzyskiwania dla Na,K, S, Ca, Mg</b>
<b>Extraction/ pulping</b>	<b>Ekstrakcja/ roztwarzanie</b>
<b>Cooking liquor Wood extract</b>	<b>Ług warzelny Wyciąg z drewna</b>
<b>Other biomass (optional)</b>	<b>Pozostała biomasa (opcjonalnie)</b>
<b>Dehydration</b>	<b>Odwodnienie</b>
<b>Hydrolysis</b>	<b>Hydroliza</b>
<b>Consolidated fermentation</b>	<b>Skonsolidowana fermentacja</b>
<b>Levulinic acid Furfural</b>	<b>Kwas lewulinowy Furfural</b>
<b>Mono sugars Acetic acid</b>	<b>Monocukry Kwas octowy</b>
<b>Carboxylate salts CH<sub>4</sub></b>	<b>Sole karboksylanowe CH<sub>4</sub></b>
<b>Fermentation</b>	<b>Fermentacja</b>
<b>Thermal deoxygenation/H<sub>2</sub></b>	<b>Termiczne odtlenianie/H<sub>2</sub></b>
<b>Hydrocarbons</b>	<b>Węglowodory</b>
<b>Ethanol</b>	<b>Etanol</b>
<b>Butanol</b>	<b>Butanol</b>
<b>Acetic acid</b>	<b>Kwas octowy</b>
<b>Lactic acid</b>	<b>Kwas mlekowy</b>
<b>Succinic acid</b>	<b>Kwas bursztynowy</b>
<b>Alcohols</b>	<b>Alkohole</b>
<b>CH<sub>4</sub></b>	<b>CH<sub>4</sub></b>
Source: [ 133, A.v.Heiningen 2010 ]	Źródło: [ 133, A.v.Heiningen 2010 ]

Po lewej stronie diagramu wymieniono różne surowce, są w tym wyciąg z drewna i czarny ług powstały podczas roztwarzania wiórów. Innymi możliwymi do wykorzystania surowcami są biomasa leśna, agrolignocelulozy (słoma, omłot kukurydzy, itp.) i osady. Niektóre technologie zostały wdrożone w skali demonstracyjnej; prowadzone są szeroko zakrojone badania. Wszystkie ścieżki mają jeszcze szereg wyzwań do pokonania, ale prawdopodobne jest, że niektóre zostaną zrealizowane w niedalekiej przyszłości na skalę handlową [ 133, A.v.Heiningen 2010 ]. Spodziewany jest wzrost integracji celulozowni z innymi instalacjami.

### Wpływ na środowisko

Wszystkie powyższe techniki poprawiają bilans CO<sub>2</sub> dla roztwarzania siarczanowego, ograniczają emisje gazów cieplarnianych i zwiększają wykorzystanie odnawialnych źródeł energii, zamiast paliw kopalnych. Nie podano żadnych informacji o emisjach i innych kwestiach dotyczących środowiska związanych z instalacjami do produkcji innych produktów energetycznych i produktów biorafinerii, takich jak biopaliwa, gaz syntezowy, etanol i inne.

### Aspekty ekonomiczne

Przemysł celulozowo-papierniczy stoi w obliczu rosnącej konkurencji ze strony nowych producentów w regionach tropikalnych i subtropikalnych. Nowi konkurenci mają znacznie niższe koszty produkcji ze względu na dostępność szybko rosnącego drewna o wysokiej jakości, co pozwala na zwiększenie skali produkcji. Aby produkcja była opłacalna, producenci tradycyjnej masy celulozowej i produktów papierowych w regionach o klimacie umiarkowanym muszą zmienić metody produkcji i rozważyć zintegrowanie produktów drewnianych i celulozowni z biorafineriami, które produkują masę, bioenergię i produkty biochemiczne. Dobrą okazją dla wytwórni celulozy i papieru jest fakt, że ścieżki bioenergii odnawialnej i neutralnej pod względem dwutlenku węgla oraz ścieżki produktów biochemicznych (biopaliwa, biomateriały, chemikalia) są ogólnie bardziej opłacalne, jeżeli są zintegrowane z istniejącymi procesami produkcji masy celulozowej i papieru. Ta zmiana w kierunku zintegrowanej biorafinerii pozwoli przemysłowi na poprawę własnej sytuacji energetycznej i opłacalności produkcji dzięki użyciu istniejącej infrastruktury i know-how.

### Bibliografia

[ 34, Kankkonen et al. 2010 ], [ 124, Mäntyniemi 2010 ], [ 128, P.McKeough et al. 2010 ], [ 133, A.v.Heiningen 2010 ], [ 137, K.Touminen 2010 ].

## 3.4.2 Zgazowywanie ługu czarnego

### Opis

Przeprowadzanie ługu czarnego w formę gazową (zgazowywanie) jest obiecującą techniką dla celulozowni w celu generowania nadwyżki energii elektrycznej lub produkcji biopaliwa. BLG jest procesem przemiany stężonego ługu czarnego w związki nieorganiczne (głównie sodu i siarki), odpowiednie do odzyskiwania chemikaliów warzelnych, i gaz palny składający się głównie z wodoru i tlenku węgla.

BLG jest używany do produkcji gazu syntezowego do spalania w turbinie gazowej. Jedną z najbardziej interesujących możliwości związanych z procesami gazyfikacji ługu czarnego jest eksploatacja turbiny gazowej w połączeniu z turbiną parową, w cyklu kombinowanym, Odparowany ług czarny jest zgazowywany w reaktorze pod ciśnieniem w warunkach redukujących. Powstały surowy gaz syntezowy jest oddzielany od nieorganicznego stopu, pyłu i siarkowodoru. Taki czysty gaz jest spalany w turbinie gazowej do wytwarzania energii. Gorące gazy odlotowe są używane do wytwarzania pary w kotle ciepła odpadowego, a powstała para wysokociśnieniowa wytwarza dodatkową energię w turbinie parowej [ 13, Landälv et al. 2010 ], [ 193, Axegård et al. 2003, s. 58, s. 165 ].

Technologia turbiny gazowej nie może być dostosowana do zmiennych parametrów pracy instalacji (potrzebne jest paliwo uzupełniające, np. gaz ziemny), a zainstalowane turbiny gazowe nie zostały zoptymalizowane dla paliw o niskiej wartości opałowej, dlatego konieczne jest prowadzenie prac nad rozwojem turbin, a także instalacji zgazowywania, aby w pełni wykorzystać potencjał cyklu BLG.

BLG może być również wykorzystany do wytwarzania gazu syntezowego jako surowca do produkcji bardziej wartościowych chemikaliów na sprzedaż (patrz pkt 3.4.1 wyżej). Czasami określa się to mianem koncepcji biorafinerii [ 55, M.Naqvi et al. 2011 ].

### Stopień rozwoju

W momencie publikacji (2013), technologia BLG z wysokim ciśnieniem i temperaturą, opracowana przez Chemrec, stanowi najbardziej obiecującą technologię i najbliższą realizacji na skalę przemysłową.

W porównaniu do zaawansowanego systemu kotłów regeneracyjnych, kombinowany proces Chemrec, składający się z turbiny gazowej i parowej, jest w stanie wyprodukować 400 kWh energii więcej na tonę masy celulozowej, z czego 80 kWh/ADt stanowi nadmiarowa energia elektryczna przeznaczona na sprzedaż. Jednak wydajność instalacji musi być wyższa niż 450 000 ADt/r, aby możliwe było osiągnięcie takich oszczędności energii ze zgazowania ługu czarnego [57, O.Grigoray 2009 ].

Pomimo że gazyfikacja ługu czarnego wydaje się być obiecującą technologią dla przemysłu celulozowo-papierniczego, to istnieją przeszkody utrudniające jej komercjalizację; najważniejsze z nich to: dostępność funduszy na realizację, brak dostępnych finansowo i niezawodnych systemów przeciwogniowych, które chronią instalacje zgazowywania przed ciężkimi warunkami przez okres kilku lat, osiągnięcie wystarczającej czystości gazu syntezowego, wymaganej do pracy turbiny gazowej, a także zwiększone obciążenie w obszarze kaustyzacji. Te kwestie wymagają dalszych badań i przeprowadzenia nowych prób.

W ciągu najbliższych dziesięciu lat mogą rozwinąć się korzystne warunki dla wdrożenia gazyfikacji ługu czarnego; obecnie tylko 12% celulozowni ma wydajność ponad 450 000 ADt/r, a liczba ta będzie rosła. Ponadto, nieuchronna staje się potrzeba wymiany kotłów, ponieważ ich cyklu życia zbliża się do końca.

### Wpływ na środowisko

Poniżej wymieniono możliwe korzyści wynikające z zastosowania techniki BLG.

- Zwiększone generowanie mocy poprzez stosowanie cyklu kombinowanego (turbina gazowa plus turbina parowa). Obliczenia teoretycznego bilansu dowodzą, że technologia kombinowanego procesu BLG może osiągnąć sprawność wytwarzania mocy ok. 30% w przeliczeniu na wartość opałową ługu czarnego. Można to porównać z 12–13% dla konwencjonalnego kotła regeneracyjnego. Jednakże jednocześnie uległaby obniżeniu ogólna skuteczność energetyczna (moc + para) o około 5% do około 75%. Zatem zmniejsza się produkcja pary technologicznej. Rozwiązanie to może okazać się interesujące w sytuacji, gdy występuje nadwyżka pary; pozwala ono na zwiększenie produkcji energii elektrycznej do wysyłki.
- Niskie emisje do atmosfery.
- Umożliwienie wzrostu produkcji celulozowniom, które są ograniczone pod względem wydajności z powodu ograniczeń kotła regeneracyjnego. System jest szczególnie korzystny w celulozowniach mających niewykorzystane moce produkcyjne w warzelni oraz w tych, gdzie modyfikacje ciągu włóknistego spowodowały wzrost ilości suchej substancji przesyłanej do układu regeneracji (np. roztwarzanie do niskiej liczby kappa, delignifikacja tlenem, wzrost recyrkulacji odcieków z układu bielenia).

### Aspekty ekonomiczne

Brak szczegółowych danych. Cena 1 MWh energii jest około cztery razy wyższa od ceny pary, a więc zwiększenie stosunku energii do ciepła jest opłacalne dla celulozowni. Z wydajnością dla energii elektrycznej wynoszącą 2 100 kWh/ADt, z czego połowa może być sprzedana, kombinowany proces gazyfikacji może przynieść celulozowniom dodatkowe korzyści.

### Bibliografia

[ 13, Landälv et al. 2010 ], [ 54, N.DeMartini et al. 2010 ], [ 55, M.Naqvi et al. 2011 ], [ 56, Naqvi et al. 2010 ], [ 57, O.Grigoray 2009 ], [ 193, Axegård et al. 2003 ].

### 3.4.3 Selektywne usuwanie chlorku i potasu za pomocą oczyszczania popiołu przez ESP

#### Opis

Wysokie poziomy pierwiastków pozaprocesowych, chlorku i potasu, w cyklu odzysku, przyspieszają zatykanie kotła regeneracyjnego w niektórych okolicznościach. Aktualne poziomy w niektórych instalacjach wymagają wyłączenia kotłów i kilkukrotnego umycia ich wodą; inne instalacje unikają takich niezaplanowanych wyłączeń przez zdmuchanie sadzy i stosowanie cykli termicznych. W niektórych zakładach powszechną praktyką jest usuwanie części popiołu zebranego na elektrofiltrach, ale powoduje to znaczne straty siarczanu sodu i węgla sodu. Usunięty sól musi zostać zastąpiony, tak więc jest tu dodatkowy koszt chemikaliów uzupełniających.

Metody usuwania pyłów z ESP obejmują wymywanie, krystalizację przez odparowanie, krystalizację przez chłodzenie i wymianę jonową. Pierwsze trzy metody działają na podstawie różnic w rozpuszczalności soli siarczanu alkalicznego i chlorku alkalicznego. W procesie wymiany jonowej wykorzystuje się hamowanie jonów do oddzielenia chlorku od siarczanu. W tym ostatnim przypadku, oczyszczanie popiołu zebranego z ESP w celu usunięcia chlorku może odbywać się za pomocą jonowymiennych żywic amfoterycznych.

#### Stopień rozwoju

Wszystkie wyżej wymienione systemy zostały zainstalowane i działają w pełni w co najmniej jednej celulozowni. Efektywność usuwania i doświadczenia w usuwaniu K i Cl przedstawiane przez zakłady różnią się między sobą.

#### Wpływ na środowisko

Techniki przyczyniają się do utrzymania zamknięcia strumieni procesowych, jednocześnie unikając negatywnych skutków ubocznych. Zmierzając do lepszego zamknięcia strumieni procesowych, celulozownie muszą uwzględnić chemikalia pozaprocesowe, które wchodzi do instalacji z surowcami i chemikaliami procesowymi. Najbardziej szkodliwymi z tych chemikaliów są chlorek i potas. Nagromadzenie chlorku (Cl) i potasu (K) obniża punkt topnienia popiołu w kotła regeneracyjnym, powodując powstawanie osadu i zatykanie kanałów przepływu gazów odlotowych. Zwiększa także ryzyko korozji. Może to powodować straty produkcyjne. Chlorek i potas są wzbogacane w popiołe kotła regeneracyjnego. Usuwanie chlorku i potasu z popiołu jest uznawane za atrakcyjną możliwość kontroli poziomu chlorku w cyklu regeneracyjnym instalacji.

#### Aspekty ekonomiczne

Brak danych na szeroką skalę. Techniki umożliwiają celulozowniom zmniejszenie kosztów chemikaliów uzupełniających. Można też zmniejszyć ilość popiołów lotnych usuwanych z kotła regeneracyjnego.

Koszt inwestycji i koszty operacyjne zależą od efektywności usuwania Cl i K i wybranego systemu oczyszczania. Wymagana efektywność zależy też od bilansu sodu i siarki w instalacji.

#### Bibliografia

[ 51, R.Honkanen 2010 ], [ 52, Goncalves et al. 2009 ].

### 3.4.4 Częściowa autokaustyzacja boranu

#### Opis

Główna reakcja autokaustyzacji w piecu kotła regeneracyjnego zachodzi między metaboranem sodu ( $\text{NaBO}_2$ ) i węglanem sodu ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) w stopie tworząc boran sodu ( $\text{Na}_3\text{BO}_3$ ). Krytycznymi parametrami procesu są temperatura i stosunek Na/B w ługu czarnym. Boran sodu reaguje z wodą w stopie zbiornika do rozpuszczania tworząc wodorotlenek sodu ( $\text{NaOH}$ ) i ponownie  $\text{NaBO}_2$  [ 39, M.Michniewicz et al. 2010 ], [ 40, B.Bujanovic et al. 2003 ], [ 41, H.Tran et al. 2001 ]

Proces częściowej autokaustykacji boranu zachodzi gdy borany sodu są dodawane do ługu warzelnego na poziomie substechiometrycznym [ 38, M.Björk et al. 2005 ]. Część węglanu sodu ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) ulega kaustykacji w kotle regeneracyjnym. Kaustykacja pozostałego  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  zostaje dokończona w konwencjonalnej instalacji kaustykacji w celulozowni z z obniżoną ilością wapna.

Technologia może wydać się atrakcyjną opcją, szczególnie dla celulozowni, gdzie wymagana jest przyrostowa kaustykacja i odpowiednia wydajność pieca wapiennego. Próby wykazały, że nie występują żadne poważne skutki uboczne operacji przeprowadzanych w celulozowni. Wyniki badań [ 37, B.Eckert et al. 2005 ], [ 40, B.Bujanovic et al. 2003 ] sugerują, że boran obecny w ługu warzelnym zwiększa wydajność masy, może zmniejszać ilość odrzutów, poprawia selektywność usuwania ligniny i może zwiększać lepkość masy przy takiej samej liczbie kappa. Wielką zaletą tej techniki jest to, że nie wymaga inwestycji kapitałowych, ponieważ reakcja autokaustykacji zachodzi w istniejącym kotle regeneracyjnym. Powodzenie tej technologii zależy w dużym stopniu od tego czy ług czarny zawierający boran może być skutecznie przetwarzany w kotle regeneracyjnym, a także od stopnia ukończenia reakcji, w wyniku których w kotle powstaje boranu sodu ( $\text{Na}_3\text{BO}_3$ ).

### **Stopień rozwoju**

Technologia została przetestowana podczas kilku prób instalacji prowadzonych od 2000 roku. Wyniki pokazują, że technologia działa i zmniejsza zużycie wapna o ilość odpowiadającą poziomowi (stopniowi) autokaustykacji (w zależności od stosunku molowego Na/B w cyklu warzelnym). Nie stwierdzono negatywnego wpływu na właściwości masy, korozję urządzeń, działanie warnika, mycie masy, odparowanie ługu czarnego, rekaustykację i działanie pieca wapiennego. Kilka celulozowni w USA, Kanadzie i Szwecji (Stora Enso Norrsundet) już wykorzystuje technikę częściowej autokaustykacji (poziom 10–30%).

### **Wpływ na środowisko**

Technika pozwala na bezpośrednie produkowanie sody kaustycznej (wodorotlenku sodu) w kotle regeneracyjnym i usprawnia działanie pieca wapiennego i proces rekaustykacji przez zmniejszenie wsadu kaustycznego i ilości wapna przetwarzanego w systemie. Korzyści dla środowiska naturalnego wynikają z redukcji emisji z pieca wapiennego i zmniejszenia zużycia energii lub paliwa przez piec wapienny.

### **Aspekty ekonomiczne**

Częściowa autokaustykacja boranu może przynieść oszczędności i korzyści środowiskowe celulozowniom, które mają ograniczone możliwości rekaustykacji, dzięki odciążeniu „wąskich gardeł” procesu warzelnego, bez ponoszenia kosztów zwiększania zdolności produkcyjnych konwencjonalnych instalacji kaustykacji i pieca wapiennego. Korzyści są uzyskiwane przez zmniejszenie wsadu do pieca wapiennego i zużycie paliwa lub zmniejszenie ilości pozyskiwanego wapna i usuwanego szlamu wapiennego. Niektóre korzyści wynikają ze zwiększenia wydajności masy w warniku i/lub z potencjalnego zmniejszenia wsadu alkalicznego. Dodanie boranu zwiększa zawartość substancji stałych w spalonym ługu czarnym, szczególnie przy wysokich poziomach autokaustykacji, i może spowodować spadek wartości opałowej ługu czarnego i produkcji pary.

### **Bibliografia**

[ 37, B.Eckert et al. 2005 ], [ 38, M.Björk et al. 2005 ], [ 39, M.Michniewicz et al. 2010 ], [ 40, B.Bujanovic et al. 2003 ], [ 41, H.Tran et al. 2001 ], [ 48, Mao et al. 2006 ].

### 3.4.5 Proces SNCR lub SCR dla redukcji emisji NO<sub>x</sub> z kotła regeneracyjnego łągu czarnego

#### Opis

##### SNCR

Wstrzykiwanie amoniaku do gorących (około 900-1000°C) gazów odlotowych wywołuje selektywną redukcję niekatalityczną (SNCR), w której tlenek azotu jest przekształcany do azotu cząsteczkowego (N<sub>2</sub>) w reakcji z amoniakiem. Proces ten jest wykorzystywany w kotłach energetycznych, kotłach korowych, spalarniach odrzutów, piecach szklarskich, piecach wapiennych i w innych instalacjach. Jego skuteczność i możliwości zastosowania w odniesieniu do kotłów regeneracyjnych nie zostały jeszcze potwierdzone.

Proces ten wykorzystuje górną część kotła regeneracyjnego jako reaktor chemiczny i nie wymaga żadnych dodatkowych urządzeń za kotłem. Dysze wtryskowe do redukcji chemikaliów muszą być zainstalowane na kilku poziomach.

Reakcja zwykle występuje w wąskim przedziale temperatur. Kontrola niepożądanego uciekania amoniaku (uciekanie NH<sub>3</sub>), właściwe wymieszanie amoniaku i powietrza, oraz odpowiedni czas przebywania w odpowiedniej temperaturze to główne parametry przy stosowaniu techniki SNCR. W zbyt wysokich temperaturach, amoniak utlenia się do NO<sub>x</sub>, a w niskich reakcje zachodzą zbyt wolno i amoniak opuszcza kocioł nieprzereagowany (uciekanie amoniaku).

##### SCR

Proces selektywnej redukcji katalitycznej (SCR), w którym amoniak jest wstrzykiwany w specjalnym reaktorze katalitycznym do schłodzonych gazów odlotowych, jest powszechnie znaną techniką stosowaną komercyjnie w kotłach energetycznych, ale w kotłach regeneracyjnych jest dopiero testowana. Problemem w stosowaniu tej techniki jest zapewnienie wystarczającego odpylania gazów odlotowych przed procesem w reaktorze katalitycznym, oraz trwałość katalizatora.

#### Stopień rozwoju

##### SNCR

Selektywna niekatalityczna redukcja NO<sub>x</sub> polegająca na wstrzykiwaniu amoniaku była testowana w kotle regeneracyjnym o wydajności 2 000 t DS/d [46, M. Lundberg et al. 2008]. Wyniki wskazują na dobre tempo redukcji z ograniczonym uciekaniem amoniaku w zakresie obciążenia 60–100%. W przypadku innych emisji, dodawanie amoniaku nie miało wpływu lub wpływ ten był niewielki.

Szczególne uwagi poświęcono chemii popiołu, żeby ocenić możliwości tworzenia się soli amonu na powierzchniach grzewczych. Analizy próbek osadów i obliczenia równowagi termodynamicznej wskazują, że możliwości te są ograniczone i nie mają wpływu na właściwości osadu.

Jedną z trudności w stosowaniu tej techniki w kotłach regeneracyjnych są różne obciążenia kotła, które przesuwają lokalizację okna optymalnej temperatury dla techniki SNCR w inne miejsce w kanale gazów odlotowych. W rezultacie skuteczność redukcji NO jest zmienna. Potrzebne jest więcej danych na temat zwiększonego ryzyka korozji kanału gazów odlotowych w odniesieniu do tej techniki. Działania zmierzające do przetestowania tej metody są przygotowywane [225, Hupa 2005].

Symulacje obliczeniowe dynamiki płynów wykazały, że penetracja gazów z kotła regeneracyjnego przez dysze SNCR jest słaba, co wskazuje, że ograniczona liczba dysz nie była wystarczająca do zapewnienia równomiernego rozprzodzenia. Sugeruje to, że można dokonać znaczących ulepszeń w systemie wtrysku. Nie ma wiarygodnych danych na temat opłacalności stosowania techniki.

##### SCR

Wstępne testy tej techniki zostały przeprowadzone w przepływie wtórnym oddzielnym od



gazów odlotowych w kotle regeneracyjnym, ale demonstracja na pełną skalę w momencie publikacji (2013) czeka na realizację [225, Hupa 2005]. SCR można rozważyć jako opcję dla nowych kotłów regeneracyjnych w określonych warunkach (niski poziom pyłów po ESP, wymagany niski poziom  $\text{SO}_2$ , nowy układ powierzchni grzewczej). Co najmniej jeden dostawca kotłów regeneracyjnych dostarcza kotły z techniką SCR.

### **Wpływ na środowisko**

W porównaniu z konwencjonalnymi instalacjami spalania, kocioł regeneracyjny ługu czarnego ma niskie emisje tlenków azotu. Jednak kocioł regeneracyjny jest największym źródłem emisji  $\text{NO}_x$  w celulozowni ze względu na wysokie przepływy gazów odlotowych. Dlatego, środki służące oczyszczaniu gazów odlotowych stosowane w kotle regeneracyjnym miałyby największy wpływ na całkowite emisje. Ponadto, można oczekiwać wzrostu emisji  $\text{NO}_x$  z nowoczesnych, wysokosprawnych kotłów regeneracyjnych, spowodowanego głównie wzrostem zawartości suchej substancji w ługu czarnym (wyższe temperatury) i wyższymi obciążeniami pieca.

### *SNCR*

Odnotowano i potwierdzono potencjalne tempo redukcji dla zastosowania SNCR rzędu około 30–50% [ 225, Hupa 2005 ], ale bez informacji o stechiometrii i uciekaniu amoniaku. Skuteczność usuwania zależy od ilości wstrzykiwanego amoniaku i warunków eksploatacji (niski początkowy poziom  $\text{NO}_x$ , różne temperatury, wpływ innych składników w gazach). Nieprzereagowany amoniak z gazów odlotowych, jako emisje amoniaku, może ograniczyć stosowanie tej techniki w redukcji NO. Dla kotłów regeneracyjnych w celulozowniach nadal brakuje danych empirycznych o najlepszej lokalizacji dawkowania amoniaku i zapobieganiu przedawkowaniu (uciekaniu amoniaku).

### *SCR*

Wyniki osiągnięte w innych sektorach (duże spalarnie, przemysł szklarski) wskazują na możliwości osiągnięcia redukcji 70–90% przy użyciu SCR. Skuteczność usuwania zależy od ilości wstrzykiwanego amoniaku i warunków eksploatacji. Nieprzereagowany amoniak z gazów odlotowych, jako emisje amoniaku, jest czynnikiem, na temat którego wciąż jest za mało danych empirycznych i który może ograniczać skuteczność tych technik w redukcji NO.

### **Aspekty ekonomiczne**

Brak danych dotyczących kosztów inwestycji. Koszty eksploatacji systemu obejmują dostawy chemikaliów, energii elektrycznej, ciepła do odparowania wtryskiwanej wody i siły roboczej. Najbardziej wpływowym czynnikiem jest tu cena reduktora (amoniaku).

### **Bibliografia**

[ 46, M. Lundberg et al. 2008 ], [ 63, Salmenoja 2009 ], [ 225, Hupa 2005 ].

## **3.4.6 Usuwanie środków chelatujących za pomocą słabo alkalicznego oczyszczania biologicznego lub poprzez użycie technologii typu „nerki” (kidneys)**

### **Opis**

Środki chelatujące EDTA i DTPA są stosowane w przemyśle celulozowo-papierniczym od wielu lat. Są one stosowane z uwagi na dobre własności separacji, tzn. zdolności blokowania aktywności rozpuszczonych jonów metali przejściowych bez strącania. Wspomniane jony metali mogą katalizować rozkład środka bielącego – nadtlenu wodoru – do rodników. Stwierdzono zwiększone stężenia środków chelatujących w ściekach pochodzących z tych procesów produkcyjnych. W analizowanych ściekach z wytwórni produkujących towarową masę siarczanową identyfikuje się 25–40% wprowadzonego ładunku środków chelatujących. Odpowiada to zawartości w ściekach: 10–15 mg/l, przy doprowadzonej ilości 2 kg EDTA na tonę masy. Chociaż EDTA, w stężeniach występujących w środowisku, nie jest związkiem toksycznym dla ssaków, to występują pewne obawy dotyczące potencjalnych możliwości EDTA do wymywania toksycznych metali ciężkich z osadów oraz trudności z biodegradacją tego

związku.

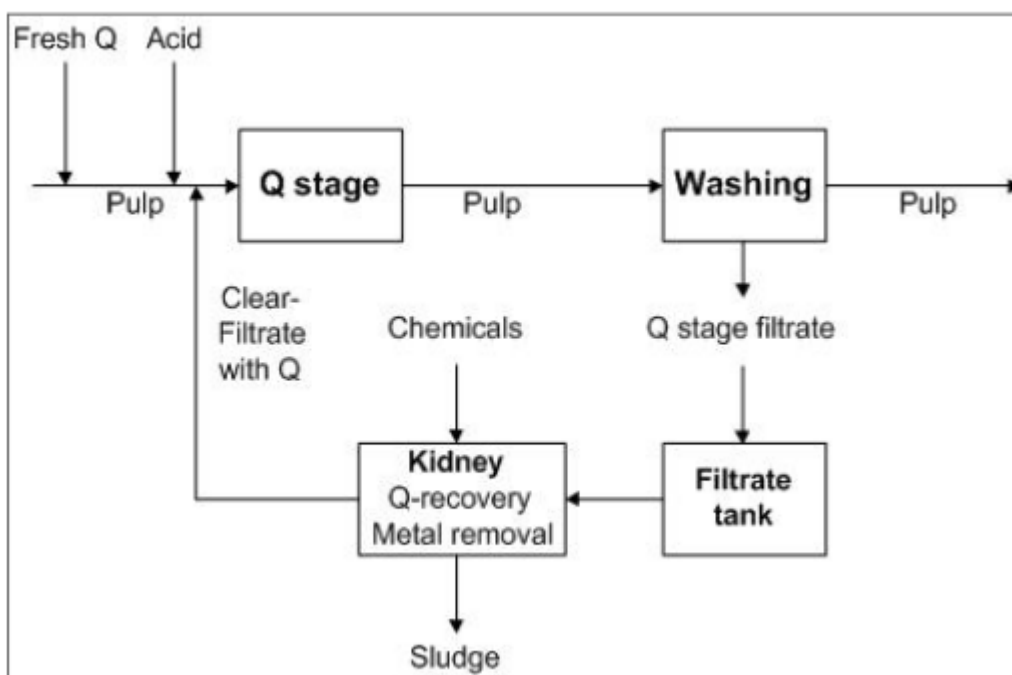
### Rozwiązanie 1:

Powszechnie stosowane w przemyśle celulozowo-papierniczym oczyszczanie biologiczne z osadem czynnym i bez osadu czynnego z powodzeniem redukuje ChZT i BZT w ściekach. Metoda ta jednakże nie redukuje w znaczący sposób zawartości EDTA. Stwierdzono, że EDTA jest odporny na biodegradację aerobową w instalacji z osadem czynnym pracującej w normalnych warunkach (przy pH 7). Ponadto EDTA nie absorbuje się na osadzie, w rezultacie czego przechodzi przez oczyszczalnię bez dostrzegalnej degradacji. Badania [ 154, Virtapohja et al., 1997] wykazały, że biodegradacja EDTA zachodzi w przemysłowej oczyszczalni z osadem czynnym w słabo alkalicznych warunkach (pH 8–9). Otrzymane wyniki wskazują na średnią redukcję EDTA około 50% (około 10% przy pH 7).

### Rozwiązanie 2:

Innym rozwiązaniem technicznym obniżenia zużycia i zrzutu środków chelatujących stosowanych w bieleniu w stopniu nadtlenkowym jest zmniejszenie zużycia i zrzutów związków dzięki zastosowaniu technologii „nerki”. Nerki można stosować do odzyskiwania EDTA ze ścieków etapu Q (filtratów). Zakłada się, że zużycie EDTA można zmniejszyć o 65%. Systemy „nerek” mogą być również skutecznym narzędziem do usuwania innych problematycznych substancji, takich jak substancje ekstrakcyjne i metale z filtratów z bielarni.

Zasadą działania technologii „nerek” polega na dozowaniu chemikaliów do filtratu (ścieki z bielenia) w lekko zasadowym środowisku (pH około 10). Metale związane z EDTA (lub DTPA) są uwalniane, wytrącane i usuwane z osadu ([ 116, Rampotas et al. 1996 ], [ 193, Axegård et al. 2003 ], s.90). Zasada działania przykładowej „nerki” do odzysku środków chelatujących przedstawiona została na Rys. 3.88.



Rysunek 3. 88 Odzyskiwanie środków chelatujących z filtratów z instalacji bielenia za pomocą technologii „nerek”

Fresh Q	Świeży Q
Acid	Kwas
Pulp	Masa
Q stage	Etap Q
Washing	Mycie
Clear- Filtrate with Q	Czysty- Filtrat z Q
Chemicals	Chemikalia
Q stage filtrate	Filtrat etapu Q
Kidney Q-recovery Metal removal	Nerki Odzyskiwanie Q Usuwanie metali

Filtrate tank	Zbiornik filtratu
Sludge	Osad

Redukując ilość metali wchodzących do instalacji bielenia zmniejsza się zapotrzebowanie na środki chelatujące przed stopniem nadtlenkowym. Dodatkowo zużycie tych środków obniża się poprzez ich odzysk. Spodziewane stopnie redukcji metali wynoszą ponad 80% dla wapnia, manganu i żelaza. Odzysk Q skutkuje niższym doprowadzeniem świeżego środka. Dzięki temu w ściekach będą występowały niższe poziomy kompleksów metali.

### Stopień rozwoju

#### Rozwiązania 1

Biodegradacja EDTA w oczyszczalni z osadem czynnym ze specjalnie wzbogaconymi kulturami bakterii (osad powstający w EDTA) lub w warunkach alkalicznych wygląda obiecująco. Zdolność takiej instalacji do oczyszczania ścieków z bielarni, zawierających EDTA, w słabo alkalicznych warunkach, została potwierdzona badaniami w pełnej skali przemysłowej, w instalacjach z osadem czynnym. Parametry procesu, takie jak czas przetrzymania osadu, temperatura, wiek osadów, skład kompleksów EDTA, itp., są bardzo ważne i nadal są przedmiotem badań.

#### Rozwiązanie 2:

Brak zastosowania na szeroką skalę.

### Wpływ na środowisko

#### Rozwiązanie 1

W przemysłowej instalacji z osadem czynnym, pracującej w warunkach słabo alkalicznych (pH 8–9) otrzymano przeciętną redukcję EDTA około 50% (około 10% przy pH 7). Wyniki wskazują również, że ustawienie pH na 8–9 za pomocą tlenku wapnia (dawka około 90 mg CaO/l) nie przeszkadza w normalnej pracy instalacji osadu czynnego. Stężenia EDTA w próbkach z takiej przyspieszonej biodegradacji pozostają na względnie stałym poziomie (2–4 ppm). Biodegradacja EDTA powoduje uwalnianie się azotu. Wzmoczona degradacja EDTA w oczyszczalni z osadem czynnym jest zatem czystą korzyścią nie tylko z przyczyn ochrony środowiska, ale również dlatego, że zwiększa poziom azotu (jako pożywki), którego zwykle występuje niedobór w ściekach celulozowo-papierniczych.

#### Rozwiązanie 2:

Zastosowanie technologii „nerek” na potrzeby ścieków z instalacji bielenia pozwala na zmniejszenie zużycia wody świeżej dzięki recykulacji filtratu z bielarni [193, Axegård et al. 2003].

### Aspekty ekonomiczne

Dodatkowe koszty biodegradacji EDTA w instalacjach osadu czynnego w środowisku zasadowym są głównie spowodowane zużyciem CaO.

Brak danych na temat opłacalności stosowania technologii „nerek” w instalacjach bielenia.

### Bibliografia

[116, Rampotas et al. 1996], [154, Virtapohja et al. 1997], [193, Axegård et al. 2003].

## 3.4.7 Zwiększony stopień zamknięcia układu połączony ze stosowaniem technologii “nerek”

### Opis

Zmniejszenie zużycia wody świeżej w produkcji masy celulozowej jest korzystne z punktu widzenia ochrony środowiska oraz z ekonomicznego punktu widzenia, ponieważ ogranicza zużycie energii, jak i koszty oczyszczania wody i ścieków. Ponieważ to przede wszystkim instalacja bielenia stanowi otwartą część celulozowni, poczyniono wysiłki, aby zintegrować filtry z systemem odzyskiwania lub zwiększyć ich recykulację w instalacji bielenia. Jednak wysoki stopień zamknięcia celulozowni może

wywierać negatywny wpływ, ponieważ prowadzi do gromadzenia się substancji rozpuszczonych i pierwiastków pozaprocesowych (NPE) w etapach bielenia i procesach chemikaliów (proces ługów). Celulozownie działające w sposób ciągły przy wysokim stopniu zamknięcia systemu (na przykład zużywające około 15 m<sup>3</sup> wody lub mniej na tonę masy) muszą używać specjalnych technik separacji do usuwania substancji pozaprocesowych.

Główne negatywne skutki gromadzenia NPE w celulozowni to tworzenie nalotu, zatykanie, korozja, zwiększony balast chemiczny i rozkładu chemikaliów bielących (patrz Tabela 3.34).

Tabela 3.34 Negatywne skutki spowodowane przez NPE

Negatywne skutki	Pierwiastki
Powstawanie kamienia, osadu możliwe we wszystkich	Al, Si, Ca, Ba
Zatykanie w kotle regeneracyjnym	K, Cl
Korozja	K, Cl
Obojętne związki w cyklu wapna	P, Mg, Al, Si
Mniej skuteczne bielenie tlenem i nadtlakiem	Mn, Fe, Cu
Oddziaływanie na środowisko	N, P, Cd, Pb
<i>Źródło:</i> [ 193, Axegård et al. 2003 ] (s. 4 – 8, 65 – 108)	

Główne problemy zaobserwowane w instalacjach bielenia o wysokim stopniu zamknięcia obejmują:

- wytrącanie i osadzanie się słabo rozpuszczalnych związków z jonami alkalicznych metali, tj. szczawianu wapnia, węglanu wapnia i siarczanu baru;
- jony metali przejściowych, które działają jak katalizatory w rozkładzie nadtlaku wodoru;
- negatywny wpływ jonów manganu Mn(II) na efektywność wybielenia chemikaliami tlenowymi.

Problemy spowodowane nagromadzeniem NPE można skutecznie rozwiązać poprzez zastosowanie technologii „nerek” (usuwanie/oddzielenie procesów). Tego rodzaju procesy są znane i dostępne, ale istotnym ograniczeniem są koszty i jedynie kilka zastosowań na pełną skalę.

### Stopień rozwoju

W odniesieniu do instalacji z obiegiem zamkniętym bielenia masy, można znaleźć obszary gdzie nowa technologia została wprowadzona i ułatwia osiągnięcie tego celu, ale także obszary wymagające dalszego rozwijania. Całkowite zamknięcie systemu podczas produkcji masy celulozowej – które teoretycznie umożliwia realizację instalacji bez ścieków – nie jest jeszcze możliwe, ponieważ pierwiastki pozaprocesowe, które wchodzi do procesu głównie z drewnem, ale również z chemikaliami i wodą technologiczną, gromadzą się w procesie i muszą być usuwane z systemu.

Technologia „nerek” dla NPE obejmuje ([ 193, Axegård et al. 2003 ], s. 65-108) pozycje wymienione poniżej.

- **Ługowanie wiórów.** Wióry są zazwyczaj głównym źródłem większości NPE w celulozowniach siarczanowych. Znaczna część tych substancji balastowych może być usunięta z drewna przez ługowanie wiórów kwaśnym roztworem w temperaturze 80–100°C przed etapem roztwarzania. Wyniki badań przy użyciu różnych cieczy płuczających (woda, kwas, związki chelatujące i roztwory MgSO<sub>4</sub>) ([ 193, Axegård et al. 2003 ] p. 83 – 89) wskazują na możliwości usuwania różnych NPE z przemysłowych wiórów sosnowych. Płukanie z użyciem rozcieńczonego kwasu siarkowego, które wydawało się być najbardziej skuteczne, zmniejszało zawartość większości jonów metali. Zawartość K zmniejszyła się o ok. 75%; Ca, Mn i Mg o ok. 70%; Al, Ba, Cd, Co, Cu, Ni i Zn w zakresie 50–65%. Potencjał realizacji jest na wysokim poziomie. Podstawowe wymagania takiego procesu zostały w dużej mierze sprecyzowane, a sam proces jest gotowy do prób przemysłowych ([ 193, Axegård et al. 2003 ], s. 6).

- **Filtracja ługu zielonego i usuwania osadu ługu zielonego.** Oddzielanie i usuwanie osadu zielonego ługu jest uznawane za ważny proces w odniesieniu do wielu pierwiastków pozaprocesowych w procesie roztwarzania. Jednak dobrze znanym faktem jest to, że tradycyjny sposób oddzielania przez sedymentację jest trudny do przeprowadzenia i niewystarczająco skuteczny, zwłaszcza w przypadku zwiększonego stopnia recyrkulacji strumieni procesowych. Znacznie lepsze wyniki separacji są możliwe do uzyskania dzięki zastosowaniu techniki filtracji. W ramach programu badań KAM2, testowano właściwości filtracyjne osadu ługu zielonego i zaproponowano procesy służące usprawnieniu tego trudnego etapu separacji ([193, Axegård et al. 2003], s. 91–94). Dodanie jonów glinu i wapnia poprawia właściwości filtracyjne, podobnie jak dodanie szlamu wapiennego do osadu ługu zielonego.
- **Wytrącanie kwaśnej ligniny z ługu czarnego.** Głównym celem oddzielania ligniny od ługu czarnego jest odzyskanie nadwyżek energii w postaci stałych biopaliw. Ale jako efekt uboczny, NPE są usuwane z cyklu ługowego razem z ligniną. W ramach projektu celulozwni Ecocyclic zbadano następujące procesy: wytrącanie się ligniny przez zakwaszenie, oddzielanie wytrąconej ligniny przez filtrację oraz mycie ligniny ([193, Axegård et al. 2003], s. 95–96). Określono korzystne warunki wytrącania z ługu czarnego około 30% suchej substancji oraz właściwości w zakresie odwadniania i mycia wytrąconej ligniny. Ważnymi parametrami są temperatura wytrącania, siła jonowa i pH. Metoda jest gotowa do testów na skalę pilotażową.
- **Fracjonowanie membranowe ligniny z ługu czarnego.** Badania ([193, Axegård et al. 2003], s. 97–100) wykazały, że jest możliwe pomyślne frakcjonowanie i stężanie ługu czarnego przez ultrafiltrację za pomocą membran polimerowych i ceramicznych. Membrany ceramiczne utrzymują korzystne właściwości przy wysokich temperaturach i wysokich stężeniach substancji regulujących zasadowość. Atrakcyjnym wariantem jest usuwanie ligniny z obiegu warnika, co może zwiększyć wydajność roztwarzania i bielenia. Metoda jest gotowa do testów na skalę pilotażową.
- **Separacja jonów metali z filtratów z instalacji bielenia – technologia „nerek” w instalacji bielenia.** Wewnętrzne zamknięcie instalacji bielenia w celu zmniejszenia zużycia wody za pomocą zawracania filtratu w przeciwnym kierunku prowadzi do wzrostu temperatury wody i wzrostu stężenia związków nieorganicznych i organicznych w instalacji bielenia. Proponuje się wprowadzenie nowych „nerek” do instalacji bielenia, aby uniknąć potencjalnych problemów z procesem. Dla filtratu z etapu D i filtratów z innych kwaśnych etapów, można zastosować koncepcję „Champion’s process” ([193, Axegård et al. 2003], s. 79). Polega ona na usuwaniu jonów metali wielowartościowych ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ , itp.) za pomocą procesu wymiany kationowej. Oczyszczony filtrat można zawrócić do instalacji bielenia. Inną metodą używaną do czyszczenia kwaśnych lub prawie neutralnych filtratów z instalacji bielenia, bogatych w rozpuszczone NPE, jest dostosowanie pH filtratu do wartości około 11 (w temperaturze 60°C) przy użyciu szlamu wapiennego, wapna lub ługu białego. Duża liczba jonów metali będzie tworzyć lekko rozpuszczalne związki, które mogą być rozdzielone w procesie filtracji lub flotacji. Neutralne i alkaliczne filtry mogą być oczyszczone (głównie z substancji organicznych) metodą ultra- i nano-filtracji ([193, Axegård et al. 2003], s. 104–106). Jednak stosowanie tych technik, jak do tej pory, jest ograniczone do warunków laboratoryjnych.
- **Usuwanie chlorku i potasu za pomocą oczyszczania popiołu przez ESP** Różne techniki, używane już w niektórych wytwórniach celulozy (patrz pkt 3.4.6) również można uznać za technologie „nerek” dla NPE. W ramach projektu KAM2 badano inną nową technikę – elektrodializę ([193, Axegård et al. 2003], s. 100–102). Elektrodializa jest metodą separacji, która wykorzystuje różnice potencjału elektrycznego. Mechanizm separacji opiera się na zastosowaniu jonoselektywnej membrany i pola elektrycznego poprzecznego do membrany. Technika ta ma potencjał dla przemysłu celulozowo-papierniczego, nie tylko do usuwania pyłów z ESP, ale także do usuwania chlorków z filtratów z bielenia.

**Wpływ na środowisko**

Rozwój w kierunku zakładów z zamkniętym cyklem ma na celu wyeliminowanie zrzutów materiałów organicznych i nieorganicznych do wody i zminimalizowanie zmniejszenia energii uwalnianej w systemie.

**Aspekty ekonomiczne**

Brak danych.

**Bibliografia**

[ 193, Axegård et al. 2003 ].

## 4 PROCES ROZTWARZANIA SIARCZYNOWEGO

Produkcja masy celulozowej siarczynowej jest znacznie mniejsza niż produkcja masy celulozowej siarczanowej. Głównym powodem przemawiającym za bardziej ograniczonym stosowaniem masy celulozowej siarczynowej jest to, że właściwości wytrzymałościowe masy celulozowej na ogół nie są tak dobre jak masy celulozowej siarczanowej, niemniej jednak w przypadku niektórych zastosowań masy specjalnej dzięki masie celulozowej siarczynowej zagwarantować można też inne korzystne właściwości. Od dziesięcioleci nie wybudowano żadnej nowej wytwórni masy celulozowej. Koncentrowano się przede wszystkim na inwestycjach i działaniach mających na celu rozszerzenie gamy produktów (wykorzystaniu produktów ubocznych), poprawie jakości masy celulozowej lub opracowywaniu nowych produktów.

Jeśli chodzi o warunki warzenia i właściwości wytwarzanych produktów, proces siarczynowy charakteryzuje się dużą elastycznością. W zasadzie do roztwarzania celulozowego siarczynowego stosować można całe spektrum pH, zmieniając dawkowanie i skład substancji chemicznych. Tym samym zastosowanie roztwarzania siarczynowego umożliwia wytwarzanie masy o wielu różnych rodzajach i właściwościach, a także o szerokim zakresie zastosowania.

## 4.1 Stosowane procesy i techniki

W Europie (z wyjątkiem Rosji, Białorusi i Turcji) znajduje się 18 działających zakładów wykorzystujących chemiczny proces siarczynowy (2010). W niniejszym rozdziale skoncentrowano się na produkcji masy celulozowej do produkcji papieru (13 zakładów), ale pokrótce opisano w nim także niektóre specjalne metody roztwarzania, takie jak produkcja masy celulozowej do przerobu chemicznego dla przemysłu tekstylnego (trzy zakłady w AT, ES i SE) i specjalnej masy celulozowej do zastosowań chemicznych (dwa zakłady we FR i NO). Pokrótce opisano wytwórnie masy celulozowej wykorzystujące metodę NSSC. W niniejszej części przedstawiono również produkcję chemicznych substancji bielących i powstające podczas procesu produkty uboczne.

Ze względu na podobieństwa między roztwarzaniem siarczynowym a roztwarzaniem siarczanowym wiele działań służących do roztwarzania siarczanowego pod wieloma względami ma zastosowanie również do roztwarzania siarczynowego. W przypadku tych technik odsyłamy czytelnika do odpowiednich części w rozdziale dotyczącym roztwarzania siarczanowego (podrozdział 3.3). Jeśli chodzi o techniki do rozważenia przy ustalaniu najlepszej dostępnej techniki do produkcji papieru, odsyłamy czytelnika do podrozdziału 7.3, która dotyczy wszystkich zintegrowanych celulozowni i papierni.

Aktualnie działa tylko jedna zintegrowana celulozownia siarczynowa, znajdująca się w Szwecji (Nordic Paper, Säffle), która w małych ilościach wytwarza niebieloną masę siarczynową (a „niebielona” masa siarczynowa celulozowa poddawana jest delignifikacji na etapie bielenia ozonem, po którym następuje etap ekstrakcji). Wszystkie pozostałe wytwórnie masy celulozowej siarczynowej w Europie produkują bieloną masę siarczynową. Trzy zakłady produkują masę siarczynową do sprzedaży na rynek do produkcji papieru (AT, CZ, PT), jeden z drewna drzew liściastych (z eukaliptusa) i dwa z drewna drzew iglastych. Zakłady produkujące masę celulozową metodą NSSC przy użyciu roztwarzania siarczynowego i mechanicznego wytwarzają wyłącznie niebieloną masę celulozową (fluting).

Proces siarczynowy można podzielić ze względu na technologię roztwarzania chemicznego (zastosowany odczyn pH, zasada) i ze względu na wytwarzane produkty (masa papiernicza, miazga wiskozowa). Gatunki masy celulozowej można podzielić na trzy grupy: masę celulozową do wytwarzania papieru (masa wodorosiarczynowa, masa celulozowa wytwarzana metodą magnefitę), masę celulozową do przerobu chemicznego do produkcji wyrobów włókienniczych oraz masę specjalną do zastosowań chemicznych. W tabeli 4.1 przedstawiono zestawienie różnych rodzajów roztwarzania siarczynowego, praktykowanego w Europie.

**Tabela 4.1 Główne rodzaje procesu roztwarzania siarczynowego w Europie**

Proces ( <sup>1</sup> )	Liczba zakładów w Europie	pH	Zasada	Temperatura warzenia	Wydajność	Produkty
1. (wodoro)siarczynowy	11 zakładów	1 – 2.5	głównie Mg <sup>2+</sup> , Ca <sup>2+</sup> (1 zakład, IT)	125 – 155	40 – 54	chusteczki, papier drukowy, papier specjalny
2. wodorosiarczynowy (metodą)	2 zakłady (AT, SE)	3 – 5	Mg <sup>2+</sup>	150 – 170	50 – 65	papier drukowy
3. masa celulozowa do przerobu chemicznego dla przemysłu tekstylnego	3 zakłady (AT, ES, SE)	1 – 2.5	Mg <sup>2+</sup> , Na <sup>+</sup> , Ca <sup>2+</sup> /Mg <sup>2+</sup>	150	35 – 38	produkcja tekstylna (wiskoza i włókna wiskozowe)



4. specjalna masa celulozowa do zastosowań chemicznych	2 zakłady (FR, NO)	1 – 2	$\text{NH}_4^+$ , $\text{Ca}^{2+}$	125 – 150	30 – 55	chemikalia, filtry i materiały
5. masa celulozowa wytwarzana metodą NSSC	6 zakładów (BG, 2 w FI, PL, 2 w SE)	5 – 7	$\text{Na}^+$ , $\text{NH}_4^+$	160 – 185	75 – 90	papier na warstwę pofalowaną, średnio pofalowany, fluting
Uwaga: ( <sup>1</sup> ) Procesy te wyjaśniono dokładniej w podrozdziale 4.1.1.						

Proces warzenia siarczyn opiera się na zastosowaniu dwutlenku siarki ( $\text{SO}_2$ ) w roztworze wodnym oraz zasady – magnezu, wapnia, sodu lub amonu. Określona zasada będzie miała wpływ na dostępne w ramach procesu możliwości w odniesieniu do systemu odzyskiwania substancji chemicznych i energii oraz zużycia wody. Poziom zastosowania relatywnie taniej zasady wapniowej zmalał (trzy zakłady w Europie jako zasadę nadal wykorzystują wapń (ES, IT, NO)), ponieważ substancji chemicznych do warzenia nie da się w sposób ekonomiczny odzyskać. Zastosowanie wapnia jako zasady chemicznej nie umożliwia odzyskania w kotle odzysknicowym zastosowanych substancji chemicznych i organicznych, jednak ług powarzelny można odzyskać w postaci produktów (patrz punkt 4.1.5). W Europie działa jeden zakład produkujący masę siarczynową (FR), w którym jako zasadę wykorzystuje się amon. Najpowszechniejszym w Europie procesem roztwarzania siarczynowego jest roztwarzanie siarczynowe z wykorzystaniem magnezu (około 11 zakładów), natomiast tylko w jednym zakładzie jako zasadę wykorzystuje się sól (SE). Zarówno w przypadku magnezu, jak i sodu istnieje umożliwiająca odzyskiwanie chemicznego. Lignosulfoniany, cukry i inne substancje wytwarzane w ługu warzelnym można wykorzystać jako surowiec do wytwarzania różnych produktów chemicznych.

#### 4.1.1 Główne grupy celulozowni siarczynowych w Europie

Podstawowe cechy różnych rodzajów zakładów przedstawiono w poniższych pięciu podrozdziałach.

##### 4.1.1.1 Roztworzenie wodorosiarczynowe do wytwarzania papieru

W Europie działa około 13 zakładów, które za pomocą metody wodorosiarczynowej produkują masę celulozową klasy papierniczej. Procesy z użyciem kwasu charakteryzują się odczynem pH w granicach 1-2,5. Nazwa roztwarzania siarczynowego do wytwarzania papieru bierze się z zastosowania roztworu wodorosiarczynowego jako środka do delignifikacji. Kationem wykorzystywanym do produkcji masy papierniczej zazwyczaj jest magnez (11 zakładów w Europie), natomiast w jednym przypadku jest to wapń (IT). Większość producentów masy papierniczej to zakłady zintegrowane. Niemniej jednak pojedyncze zakłady produkują masę celulozową do sprzedaży na rynek.

Wapń jako zasada wykorzystywany jest tylko w jednym zakładzie w Europie, który produkuje masę celulozową klasy papierniczej przeznaczoną na cienki papier (IT), natomiast pozostałe zakłady wykorzystujące zasadę wapniową produkują masę celulozową do przerobu chemicznego (ES) i masę specjalną (NO). Siarczyn wapnia różni się od pozostałych procesów warzenia siarczyn, ponieważ warzenie trzeba przeprowadzić przy bardzo niskim poziomie pH (około 1,5), tak by uniknąć wytrącania się siarczynu wapnia.

##### 4.1.1.2 Proces przy użyciu metody magnefite

Proces przy użyciu metody magnefite wykorzystuje się w dwóch zakładach papierniczych w Nymölla (SE) i w Gratkorn (AT). W procesie przy użyciu metody magnefite wykorzystuje się wyższy zakres odczynu pH (3-5) niż w procesie siarczynowym, który przeprowadza się przy wartości pH na poziomie 1-2,5. Dzięki temu uzyskuje się łagodniejsze warunki warzenia i masę celulozową o podwyższonych właściwościach wytrzymałościowych, a także nieco wyższą niż w procesie siarczynowym wydajność. Dwa zakłady w Europie wykorzystujące metodę magnefite stosują proces wodorosiarczynowy z zastosowaniem magnezu jako zasady.

Między roztwarzaniem przy użyciu metody magnefite a procesem wodorosiarczynowym występują dwie główne różnice techniczne, które trzeba wziąć pod uwagę.

- W procesie przy użyciu metody magnefite w preparacie ługu białego można uzyskać wartość pH na poziomie 4 bez użycia środków wzmacniających  $\text{SO}_2$ . Konieczne jest zatem funkcjonowanie ciśnieniowego zbiornika do magazynowania dwutlenku siarki.
- $\text{SO}_2$  w ługu białym występuje w postaci wodorosiarczynu.

Pozostałe etapy produkcji masy celulozowej są podobne do procesu siarczynowego. Liczby kappa masy niebielonej po warzeniu przy użyciu metody magnefite są wyższe niż po warzeniu kwasem: w przypadku masy papierniczej proces przy użyciu metody magnefite stosuje się przy liczbach o wartości od 21 do 26. Dla porównania liczbę kappa w zakresie od 14 do 16 normalnie da się osiągnąć za pomocą procesu siarczynowego w produkcji zintegrowanej (np. w Hallein i Neusiedler (AT); Alfeld, Stockstadt i Ehingen (DE)). Jednak jeden zakład wytwarzający masę celulozową z drewna liściastego przeprowadza warzenie również przy liczbach kappa w zakresie 20-22 w celu spełnienia wymaganych właściwości wytrzymałościowych i zrekompensowania spadku wytrzymałości podczas suszenia masy celulozowej.

W konsekwencji zastosowania wyższych liczb kappa przed bieleniem bielność w przypadku takich rodzajów masy celulozowej nie jest tak dobra jak w przypadku pozostałych, warzonych przy niższej liczbie kappa. Tym samym w celu osiągnięcia wysokiego poziomu jasności masy celulozowej konieczne są dłuższe sekwencje bielenia lub wyższe jego koszty chemiczne. Powoduje to większe obciążenie ChZT i BZT w ściekach z etapów bielenia. Przed przejściem do dwustopniowego bielenia nadtlenkami celulozownie wytwarzające masę celulozową metodą magnefite stosują etap bielenia tlenem ( $\text{EOP}_{\text{MC}}$ ).

#### 4.1.1.3 Masa celulozowa do przerobu chemicznego dla przemysłu tekstylnego

W Europie działają trzy firmy produkujące masę celulozową siarczynową do przerobu chemicznego (w AT, ES i SE). Wszystkie trzy zakłady w zakładzie warzenia stosują różne zasady: magnez, mieszanek wapnia i magnezu oraz sól.

W zasadzie proces ten jest bardzo podobny do wytwarzania masy siarczynowej stosowanej do produkcji papieru. Producenci masy celulozowej do przerobu chemicznego wytwarzają produkty charakteryzujące się niskimi wartościami liczby kappa, które sprzedawane są podmiotom działającym w przemyśle tekstylnym wiskozowym. Do wytwarzania masy celulozowej do przerobu chemicznego stosowane są te same substancje chemiczne co w powszechnie stosowanym procesie wodorosiarczynowym. Dlatego też system odzyskiwania energii i środków chemicznych jest w dużym stopniu zbliżony. Główne różnice występują podczas warzenia i bielenia. Warzenie podczas produkcji masy celulozowej do przerobu chemicznego ma na celu uzyskania niskiego poziomu lepkości, tj. krótkiego łańcucha cząsteczki celulozy. Poziom ten dostosowuje się w zakładzie warzenia i podczas bielenia.

W jednej z europejskich celulozowni produkujących masę celulozową siarczynową do przerobu chemicznego (Lenzing (AT), w której odbywa się produkcja włókien wiskozowych) delignifikację drewna drzew liściastych (buku) liczby kappa przed bieleniem redukuje się do poziomu 4-7. Nie ma żadnych ścieków przed wprowadzeniem masy celulozowej do zakładu bielenia. Sekwencja bielenia w zakładzie obejmuje trzy etapy: EOP – Z – P (bielenie bez użycia chloru).

Na pierwszym etapie bielenia, na który składa się delignifikacja przy użyciu tlenu i nadtlenku oraz ekstrakcja alkaliczna, liczba kappa zredukowana jest do 2, natomiast zawartość  $\alpha$ -celulozy podnosi się do 91%. Na tonę masy celulozowej (wysuszonej w piecu) wykorzystuje się około 50 kg NaOH. Substancje uwolnione podczas tego etapu bielenia (ładunek ChZT na poziomie około 85 kg/t) oczyszczane są w instalacji odparowującej. Koncentraty poddawane są spalaniu w kotle sodowym. W ten sposób z zakładu bielenia eliminuje się znaczną część ładunku zanieczyszczeń.

Podczas drugiego etapu bielenia jako środek bielący wykorzystuje się ozon. Na ostatnim etapie

bielenia stosuje się nadtlenek, dzięki któremu liczba kappa spada do 0,5 (>90% ISO, zawartość  $\alpha$ -celulozy > 91%). Obciążenie ChZT z drugiego i trzeciego etapu bielenia wynosi 15 kg/t przed oczyszczaniem i poddawane jest oczyszczaniu w ramach biologicznego oczyszczania ścieków (poziom redukcji > 90%).

Poza zakładem bielenia głównym źródłem zanieczyszczeń wody jest proces kondensacji z instalacji do odparowywania. W omawianej celulozowni przeprowadza się ekstrakcję kwasu octowego i furfuralu jako wartościowych produktów z kondensatu z parownicy, tym samym obniżając ładunek ChZT w kondensacie o 75%. Pozostały ładunek zanieczyszczeń wynosi 30 kg ChZT/t i jest oczyszczany w ramach biologicznego oczyszczania ścieków (redukcja na poziomie > 90%) wraz z innymi częściowymi strumieniami ścieków.

Początkowy ładunek zanieczyszczeń w ściekach z zakładów wykorzystujących masę celulozową siarczynową do przerobu chemicznego zależy od uzyskiwanej ilości alfa-celulozy i od środków wewnętrznych stosowanych do celów redukcji emisji. Wyższa zawartość alfa-celulozy przekłada się na lepsze właściwości produktów, natomiast większa zawartość alfa-celulozy masy celulozowej oznacza wyższą dawkę NaOH. Prowadzi to do niższej wydajności i większego ładunku zanieczyszczeń w wodzie. Na przykład, jak wspomniano powyżej, wykorzystanie 90-100 kg NaOH/t powietrznie suchej masy celulozowej do wytwarzania pulpy o zawartości alfa-celulozy na poziomie 92,5% podwoiłoby ładunek organiczny w ściekach (i obniżyłoby wydajność o 5%).

Produkcja masy celulozowej siarczynowej do przerobu chemicznego stanowi kombinację delignifikacji i wykańczania.

#### 4.1.1.4 Specjalna masa celulozowa do zastosowań chemicznych

W Europie działają dwie firmy produkujące specjalną masę siarczynową (FR i NO), a jedna z nich jako zasadę wykorzystuje amon i wapń. Ze względu na znaczne różnice w procesach i produktach końcowych produkcję specjalnej masy celulozowej różni się od produkcji masy celulozowej do produkcji papieru i od masy celulozowej do przerobu chemicznego.

Specjalna masa celulozowa oznacza pulpę, którą po modyfikacji można wykorzystać w wielu sektorach przemysłu chemicznego. Do głównych zastosowań zalicza się następujące:

- etery etylowe celulozy (metylo-, hydroksyetylo- lub karboksymetyloceluloza), z których większość jest rozpuszczalna w wodzie. Dzięki tej właściwości produkty te wykorzystywane są na rynku farmaceutycznym, spożywczym, kosmetyków, farb i budowlanym;
- estry etylowe celulozy (octan celulozy i nitroceluloza), które mają różne zastosowania w materiałach wybuchowych, farbach, lakierach, filtrach i tworzywach sztucznych;
- celuloza mikrokrystaliczna do zastosowania w przemyśle spożywczym i farmaceutycznym.

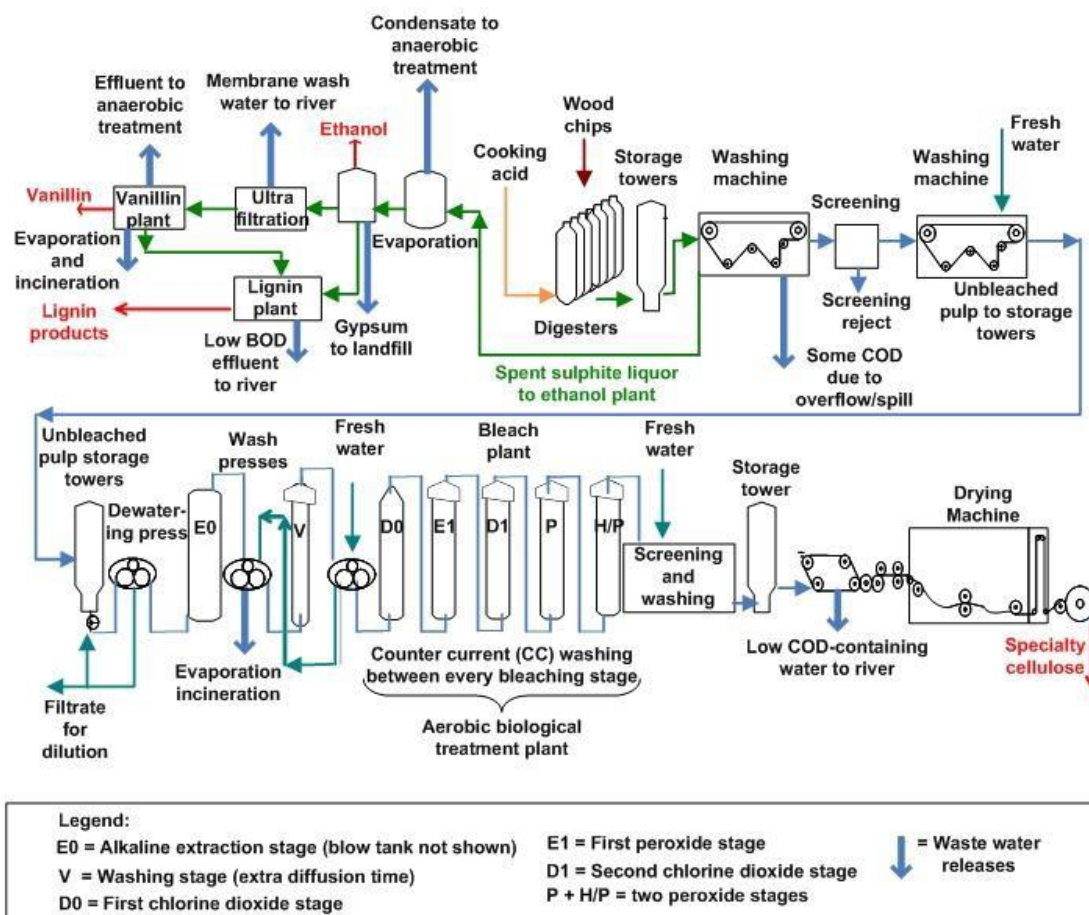
Produkcja masy celulozowej do tych zastosowań końcowych wymaga zakładu charakteryzującego się bardzo dużą elastycznością, będącego w stanie poradzić sobie z liczbami kappa w zakresie od bardzo niskiego do bardzo wysokiego i produkującego masę celulozową o poziomie alfa lub poziomie czystości w zakresie od niskiego do wysokiego.

W tym sensie celulozownia specjalna to celulozownia o specjalnym przeznaczeniu, wytwarzająca wiele różnych produktów i charakteryzująca się elastycznością procesu. Proces ten różni się nieco od większości producentów masy celulozowej do przerobu chemicznego, ponieważ na jego podstawie wytwarza się wyłącznie produkty o niskiej wartości kappa (pojedyncze produkty), które sprzedawane są przede wszystkim przemysłowi tekstylnemu wiskozowemu.

Dopasowanie poziomu lepkości odbywa się poprzez modyfikacje na etapie warzenia (o niskiej i wysokiej liczbie kappa) i w zakładach bielenia (za pomocą nadtlenu i podchlorynu). Produkcja masy celulozowej o wysokiej lepkości, potrzebnej producentom eterów etylowych celulozy, wymaga bardzo starannego warzenia, dzięki któremu uzyskuje się bardzo wysoki poziom kappa masy niebielonej. Dalsze

przetwarzanie takich materiałów o wysokiej wartości kappa wymaga pewnych szczególnych warunków, jeśli chodzi o proces bielenia. Ze względu na utratę lepkości z powodu użycia tlenu nie najlepiej nadaje się do tego celu tradycyjny etap z użyciem tlenu (patrz podrozdział 4.3.3). Z tego samego powodu wykluczone jest zastosowanie ozonu. Dodatkowy negatywny skutek zastosowania tlenu to stabilizacja hemicelulozy, utrudniająca tym samym osiągnięcie pożądanego poziomu alfa na etapie ekstrakcji alkalicznej na gorąco.

Natomiast delignifikację uzyskuje się na etapie ekstrakcji alkalicznej na gorąco z wykorzystaniem NaOH równoległe do ekstrakcji hemicelulozy. Poziom reaktywności zależy od pożądanego zawartości alfa-celulozy. Ekstrakcja alkaliczna na gorąco stanowi główny element ładunku ChZT z sekwencji bielenia. Ze względu na wysoki poziom kappa masy niebielonej wytwarzanie produktów o wysokim poziomie lepkości powoduje wyższy poziom ChZT niż produkcja masy celulozowej do przerobu chemicznego papieru i wiskozy (lub specjalnej masy celulozowej o niskim poziomie lepkości). Pozostałą ligninę trzeba usuwać za pomocą jednego lub większej liczby etapów z użyciem dwutlenku chloru. Na rysunku 4.1 przedstawiono schemat zakładu siarczynowego produkującego specjalną masę celulozową do zastosowań chemicznych. Widać tu główne przepływy włókien, ług powarzelny, wprowadzanej świeżej wody i odprowadzanych ścieków.



Source: [ 239, Garseg 2009 ] amended by the EIPPCB

Rysunek 4. 1 Przebieg procesu w zakładzie siarczynowym produkującym specjalną masę celulozową i różne inne produkty w oparciu o konwersję ługu powarzelnego siarczynowego

Effluent to anaerobic treatment	Ścieki do oczyszczania beztlenowego
Membrane wash water to river	Woda z płukania membranowego odprowadzana do rzeki
Condensate to anaerobic treatment	Kondensatu do oczyszczania beztlenowego
Ethanol	Etanol
Cooking acid	Kwas warzelny
Wood chips	Zrębki
Storage towers	Wieże magazynowe
Screening	Przesiewanie
Washing machine	Pralnica
Fresh water	Świeża woda
Vanillin	Wanilina
Vanillin plant	Zakład produkujący wanilinę
Ultra filtration	Ultrafiltracja
Evaporation	Odparowywanie
Evaporation and incineration	Odparowywanie i spalanie
Lignin products	Produkty z ligniny
Lignin plant	Zakład produkujący ligninę
Low BOD effluent to river	Ścieki niskim poziomie BZT do odprowadzane rzeki
Gypsum to landfill	Gips kierowany na składowiska
Digesters	Komory fermentacyjne
Spent sulphite liquor to ethanol plant	Ług powarzelnny siarczynowy do zakładu produkującego etanol
Screening reject	Odsiew

Unbleached pulp to storage towers	Masa celulozowa niebielona odprowadzana do wież magazynowych
Some COD due to overflow/spill	Część ChZT powstała w wyniku przepełnienia/ wycieku
Unbleached pulp storage towers	Wieże magazynowe do przechowywania niebielonej masy celulozowej
Wash presses	Instalacje do mycia i prasowania
Bleach plant	Bielarnia
Fresh water	Świeża woda
Storage tower	Wieża magazynowa
Drying	Suszenie
Machine	Maszyna
Dewatering press	Prasa do odwadniania
Screening and washing	Przesiewanie i płukanie
D0	D0
E1	E1
D1	D1
P	P
H/P	H/P
Filtrate for dilution	Filtrat do rozcieńczenia
Evaporation incineration	Odparowywanie i spalanie
Counter current (CC) washing between every bleaching stage	Mycie przeciwpłukowe między poszczególnymi etapami bielenia
Aerobic biological treatment plant	Zakład tlenowego, biologicznego przetwarzania odpadów
Low COD-containing water to river	Woda o niskiej zawartości do rzeki
Specialty cellulose	Celuloza specjalna
Legend:	Legenda:
EO = Alkaline extraction stage (blow tank not shown)	E0 = etap ekstrakcji alkalicznej (zbiornik wydmuchowy)
V = Washing stage (extra diffusion time)	V = etap płukania (dodatkowy czas dyfuzji)
D0 = First chlorine dioxide stage	D0 = pierwszy etap z użyciem dwutlenku chloru
E1 = First peroxide stage	E1 = pierwszy etap z użyciem nadtlenu
D1 = Second chlorine dioxide stage	D1 = drugi etap z użyciem dwutlenku chloru
P + H/P = two peroxide stages	P + H/P = dwa etapy z użyciem nadtlenu
= Waste water releases	= odprowadzane ścieki
Source: [ 239, Garseg 2009 ] amended by the EIPPCB	Źródło: [239, Garseg 2009] zmienione przez EIPPCB

Przykładowe zastosowane sekwencje bielenia to E-D-E/P-D (zakład we Francji) lub sekwencja przedstawiona na rysunku 4.1. W zakładzie w 100% przeznaczonym do produkcji celulozy specjalnej ładunek ChZT z etapu ekstrakcji alkalicznej na gorąco zawiera bardzo dużą ilość substancji organicznych, których nie da się skutecznie oczyścić za pomocą oczyszczania biologicznego. Tym samym w Europie zakłady siarczynowe koncentrują strumień ścieków z procesu ekstrakcji w zakładzie parowania (patrz rysunek 4.1). Następnie zagęszczony ług spalany jest w kotle sodowym (w zakładzie wewnętrznym lub zewnętrznym). Odparowywanie rozpuszczonych substancji z etapu ekstrakcji to wysoce specjalistyczna operacja, którą ciężko jest kontrolować. W przypadku gdy warunki pracy nie są odpowiednio dobrane, istnieje ryzyko zapchania instalacji odparowującej. Parownice trzeba często czyścić.

Ze względu na wysoki poziom kappa masy niebielonej wytwarzanie produktów o wysokim poziomie lepkości powoduje wyższy początkowy poziom ChZT niż produkcja masy celulozowej. Wyższy poziom adsorbowanych związków chloroorganicznych (AOX) wynika z etapów bielenia z zastosowaniem dwutlenku chloru.

Produkcja specjalnej masy celulozowej obejmuje produkty o bardzo niskiej lepkości. W celu uzyskania niskiego poziomu lepkości celulozy do regulacji lepkości masy celulozowej można zastosować nadtlenek wodoru. Poza tym w celu uzyskania masy celulozowej o niskiej lepkości można też dodatkowo wykorzystać tlen. W celu wytworzenia takich produktów o niskim poziomie zmienności lepkości w kilku przypadkach stosuje się podchloryn.

Celulozownie specjalne muszą produkować szeroką gamę produktów na różne rynki. Tym samym równowaga między klasami o niskiej i wysokiej lepkości często zmienia się z roku na rok. Ta zmienna sytuacja może wywołać znaczne różnice w poziomie emisji.

#### 4.1.1.5 Masa celulozowa wytwarzana metodą NSSC

W Europie działa sześć zakładów stosujących metodę NSSC, przy czym trzy z nich w na miejscu produkują również masę celulozową siarczanową (zakład Mondi Świecie w PL; zakład Gruvön i Skärblacka w Billerud w SE). W przypadku roztwarzania siarczynowego i roztwarzania przy użyciu metody NSSC podstawowe pojęcia i techniki są takie same. Istnieją jednak istotne różnice, które należy wziąć pod uwagę: działanie rafinerów/młynów, fakt, że nie ma potrzeby bielienia i że inny jest cykl odzysku chemicznego.

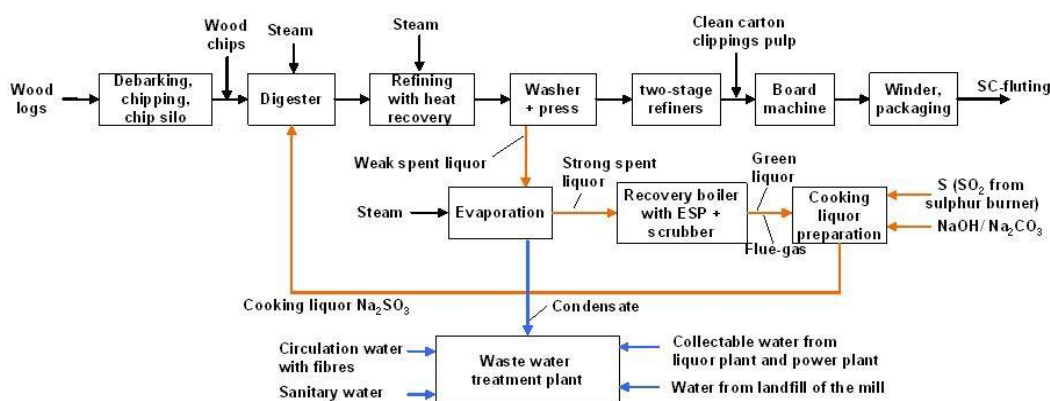
Masę chemiczną wytwarza się albo całkowicie, albo prawie bez pracy mechanicznej służącej wydobywaniu włókien z drewna, charakteryzuje się ona jednak wysokim stopniem rozpuszczania organicznego i stosunkowo niską wydajnością drewna (około 50%). Masę ścierną produkuje się przy użyciu dużej ilości energii wejściowej. Rozpuszczanie organiczne zachodzi w bardzo niewielkim stopniu, co skutkuje wysoką wydajnością drewna. Masę półchemiczną wytwarza się poprzez połączenie tych dwóch zasad roztwarzania chemicznego i mechanicznego. Najczęstszym rodzajem pulpy półchemicznej w Europie jest masa celulozowa wytwarzana metodą NSSC. Proces ten stosowany jest głównie do produkcji masy specjalnej do produkcji tektury. Najczęstszym zastosowaniem jest produkcja papieru na warstwę pofalowaną (fluting, wewnętrzna część tektury falistej). Wydajność roztwarzania często kształtuje się w zakresie 75-85% drewna, lecz mogą występować też inne zastosowania o niższej wydajności. Wydajność zależy od czasu i temperatury warzenia. Do wytwarzania papieru na warstwę pofalowaną z masy celulozowej wytwarzanej metodą NSSC nie potrzeba bielienia o wysokim poziomie jasności i czystości. Dlatego też wszystkie zakłady stosujące metodę NSSC w Europie produkują masę celulozową niebieloną.

Proces roztwarzania [ 261, *Papermaking Science & Technology 2000* ] rozpoczyna się od etapu chemicznego podobnego do roztwarzania chemicznego, podczas którego zrębki poddaje się częściowej fermentacji w komorze fermentacyjnej przy użyciu chemii siarczynu przy neutralnym lub zbliżonym do obojętnego odczynie pH w celu osłabienia wiązań między włóknami a ligniną. Ze względu na wymagany odczyn pH sól ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ) i amon są jedynymi dopuszczalnymi zasadami. Łagodna chemiczna obróbka wstępna przy podwyższonym ciśnieniu i temperaturze (160-190 °C) polega na zerwaniu wystarczającej ilości wiązań w macierzy drewna, tak by umożliwić uwolnienie włókien bez rozległych uszkodzeń przy zastosowaniu umiarkowanej energii mechanicznej podczas rozwłókniania.

Wpierw zrębki poddawane są parowaniu wstępnemu i podgrzewane w naczyniach parujących bezciśnieniowych lub pod ciśnieniem do temperatury ok. 100 °C. Następnie zrębki poddane parowaniu za pomocą przenośnika ślimakowego wstępnemu przenoszone są do ciśnieniowego naczynia do nasycania. Zrębki impregnowane są roztworem siarczynu sodu i węglanem lub wodorowęglanem. W temperaturze ok. 100 °C czas impregnacji jest krótki (5-15 minut). Do drewna przenika ług warzelny w ilości około 1-1,5 m<sup>3</sup>/t masy celulozowej. Impregnowane zrębki zostawia się, aby wyschły, tak by można je było przenieść bez nadmiernych ilości cieczy do fazy gazowej do strefy warzenia, gdzie się je podgrzewa do temperatury warzenia (165-185 °C) za pomocą bezpośredniego wytwarzania pary. Różnice w czasie warzenia mogą wynosić od 5 do 60 minut. Zrębki po zakończonym warzeniu wdmuchuje się bezpośrednio do rozwłóknacza ciśnieniowego, gdzie zmiękzone zrębki poddawane są rozwłóknianiu pod wysokim ciśnieniem i w wysokiej temperaturze w celu wytworzenia surowej masy celulozowej, która następnie poddawana jest przesiewaniu i płukaniu. Po etapie rafinacji (rozwłókniania) z masy celulozowej wypłukuje się rozpuszczone substancje organiczne i nieorganiczne substancje chemiczne. Ług powarzelny i ścieki z płukania

poddaje się odzyskowi i kieruje do jednostki odzyskiwania chemicznego i energetycznego. Ług powarzelnny poddaje się regeneracji do postaci nowych chemikaliów do warzenia albo w odrębnym systemie regeneracji ługu powarzelnego (np. SE Heinola w FI), albo w krzyżowym systemie odzysku ługu powarzelnego między celulozownią siarczynową a siarczanową (np. Gruvön zakłada w SE). W jednym z samodzielnych zakładów nie ma żadnego odzysku chemicznego. Po myciu masy celulozowej następują dalsze działania uszlachetniające, mające na celu osiągnięcie ostatecznych właściwości masy celulozowej. Przed skierowaniem do produkcji papieru masę celulozową poddaną rafinowaniu można zmieszać z innymi włóknami.

Na rysunku 4.2 przedstawiono schemat produkcyjny zakładu stosującego metodę NSSC z Europy. Widać tu główne przepływy włókien, ługu powarzelnego, odzyskiwania energii i substancji chemicznych, spalin i ścieków. Jednak czytelnik powinien pamiętać, że zakłady stosujące metodę NSSC mogą się od siebie różnić (zasada, systemu odzyskiwania substancji chemicznych).



Źródło: [ 238, Stora Enso Oyj Heinola Fluting Mill 2009 ]

Rysunek 4. 2 Schemat produkcyjny zakładu stosującego metodę NSSC z Europy (300 000 t/rok) z jednostkami odzyskiwania substancji chemicznych i energii

Wood logs	Bale drewna
Debarking, chipping, chip silo	Korowanie, zrębkowanie, silos na zrębki
Wood chips	Zrębki
Steam	Para
Digester	Komora fermentacyjna
Refining with heat recovery	Rafinowanie z odzyskiem ciepła
Washer + press	Płuczka + prasa
two-stage refiners	Rafineria dwustopniowa
Clean carton clippings pulp	Masa celulozowa z czystych ściepek z kartonu
Board machine	Kartoniarka
Winder, packaging	Przewijarka, pakowanie
SC-fluting	Papier półchemiczny na warstwę pofalowaną
Weak spent liquor	Słaby ług powarzelnny
Steam	Para
Evaporation	Odparowywanie
Strong spent liquor	Mocny ług powarzelnny
Recovery boiler with ESP + scrubber	Kocioł odzyskowy z filtrem elektrostatycznym i skrublerem
Green liquor	Ług zielony
Cooking liquor preparation	Preparat ługu warzelnego
Flue-gas	Spaliny
S (SO <sub>2</sub> from sulphur burner)	S (SO <sub>2</sub> z palnika siarki)
Cooking liquor Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	Ług warzelnny Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>
Condensate	Kondensat
Circulation water with fibres	Woda obiegowa z włóknami

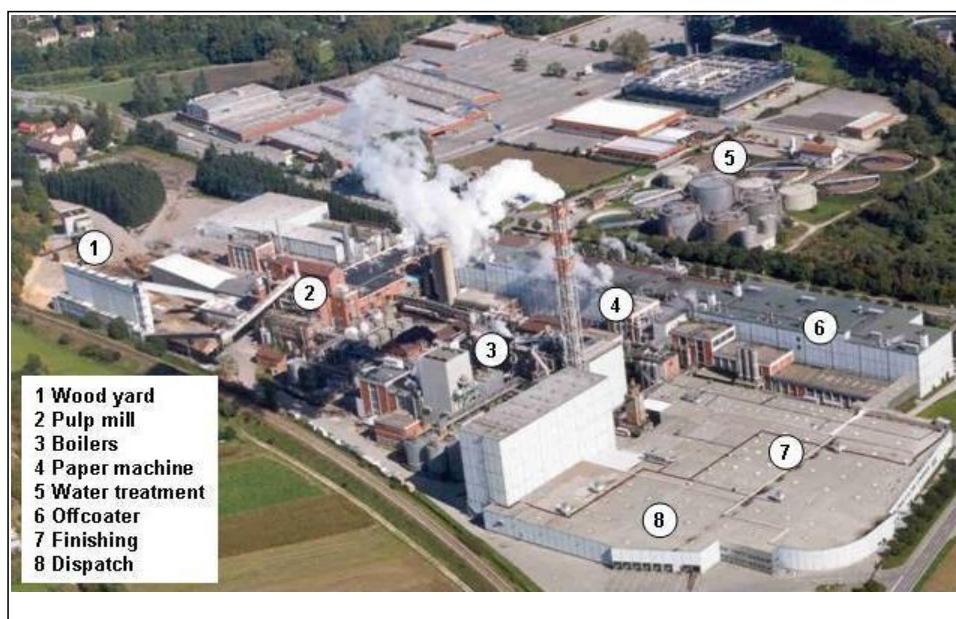


Sanitary water	Woda sanitarna
Waste water treatment plant	Oczyszczalnia ścieków
Collectable water from liquor plant and power plant	Woda możliwa do zebrania z instalacji przygotowania ługu powarzelnego i elektrowni
Water from landfill of the mill	Woda ze składowiska w zakładzie
Source: [ 238, Stora Enso Ovi Heinola Fluting Mill 2009 ]	Źródło: [ 238, Stora Enso Ovi Heinola Fluting Mill 2009 ]

Odzysk substancji chemicznych w zakładach stosujących metodę NSSC w zależności od zakładu może się nieco różnić. Odzwierciedla to również fakt, że proces odzyskiwania w zakładzie ukazanym na rys. 4.2 jest w Europie unikalny.

#### 4.1.2 Procesy i urządzenia techniczne

Roztwarzanie siarczynowe składa się z trzech głównych jednostek: linii masy, jednostek odzysku substancji chemicznych i energii (z wyłączeniem roztwarzania siarczynu wapnia, w przypadku gdy jego odzyskanie nie jest z ekonomicznego punktu widzenia możliwe, ale w przypadku gdy ług powarzelny można odparować a składniki wykorzystać do innych celów) i oczyszczalni ścieków. Tak samo jak w przypadku roztwarzania siarczynowego niektóre systemy pomocnicze takie jak obróbka odrzutów, produkcja chemikaliów bielących i wytwarzanie energii elektrycznej są połączone z głównymi etapami procesu. Na rys. 4.3 przedstawiono w przybliżeniu, jak wygląda zintegrowany zakład produkcji masy celulozowej siarczynowej i papieru. W niniejszym rozdziale szczegółowo omówiono odmienne moduły techniczne.



Rysunek 4.3 Widok z lotu ptaka na zintegrowany zakład produkcji masy siarczynowej produkujący cienki papier powlekany, w tym na elektrownię (w środku) i oczyszczalnię ścieków (z tyłu po prawej)

1 Wood yard	1 Plac drzewny
2 Pulp mill	2 Celulozownia
3 Boilers	3 Kotły
4 Paper machine	4 Maszyna papiernicza
5 Water treatment	5 Uzdatnianie wody
6 Offcoater	6 Powlekarka
7 Finishing	7 Wykańczanie
8 Dispatch	8 Wysyłka
Source: [ 246, Sappi Ehingen 2009 ]	Źródło: [ 246, Sappi Ehingen 2009 ]

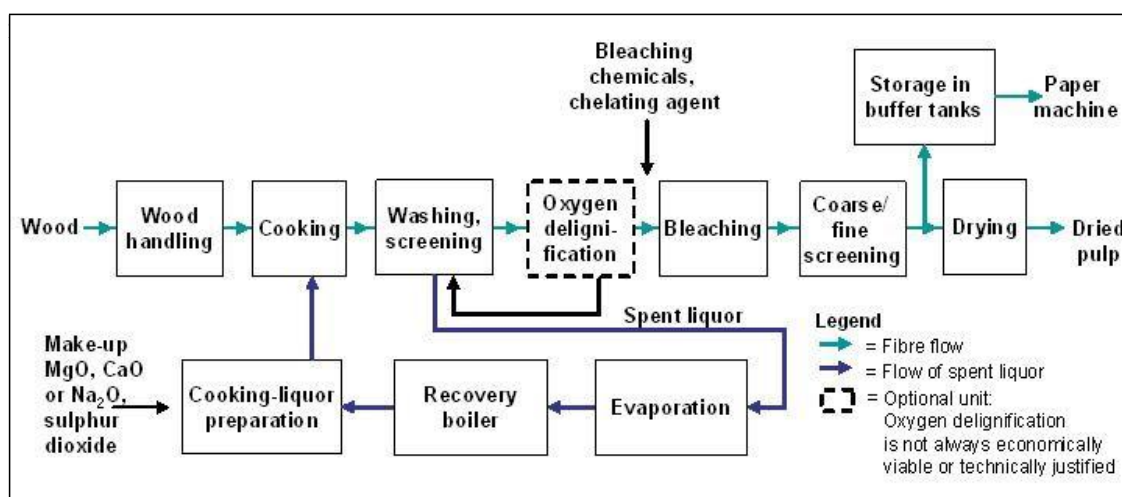
Pod wieloma względami proces siarczanowy wykazuje podobieństwa do procesu siarczynowego, nie tylko w zakresie możliwości podejmowania różnych działań wewnętrznych i zewnętrznych, służących ograniczeniu emisji do środowiska. Ze względu na te podobieństwa szczegółowo omówiono tylko niektóre etapy technologiczne roztwarzania siarczynowego. W przypadku etapów technicznych, w których zasady są podobne lub nawet identyczne co w roztwarzaniu siarczanowym, czytelnika odsyłamy do odpowiednich do podrozdziałów:

- obróbka drewna (podrozdziały od 3.1.1 do 3.1.3);
- płukanie i przesiewanie (podrozdział 3.1.5);
- przesiewanie masy bielonej (podrozdział 3.1.8);
- suszenie (podrozdział 3.1.9, głównie w odniesieniu do masy celulozowej do sprzedaży na rynek, jednak istnieje kilka zintegrowanych celulozowni, w których przed użyciem go do produkcji z powodu lepszych parametrów odwadniających papieru masę się suszy).

W tych podrozdziałach jedynie poczyniono kilka uwag dotyczących zakresu, w jakim roztwarzanie siarczynowe różni się od sytuacji opisanej w odniesieniu do roztwarzania siarczanowego. W niniejszym dokumencie skoncentrowano się na różnicach między roztwarzaniem siarczanowym a roztwarzaniem siarczynowym.

Główne różnice między tymi dwoma procesami roztwarzania chemicznego z punktu widzenia ochrony środowiska dotyczą chemii procesu warzenia, systemu odzysku substancji chemicznych a w mniejszym stopniu sekwencji bielenia i środków chemicznych potrzebnych ze względu na lepszą początkową jasność masy siarczynowej (mniejsza ilość chromoforów w masie siarczynowej). Poza tym w porównaniu do procesu siarczanowego w procesie siarczynowym zazwyczaj powstaje mniej emisji zapachów. Różnice te wynikają z różnych zakresów emisji i pewnych różnic dotyczących zastosowanych technik ich ograniczania.

Na rysunku 4.4 przedstawiono główne procesy służące do wytwarzania masy celulozowej siarczynowej magnezowej. W przypadku zakładów, które produkują masę specjalną do różnych zastosowań chemicznych i do produkcji masy celulozowej wytwarzanej metodą NSSC czytelnika odsyłamy do rysunku 4.1 i 4.2. W odniesieniu do wytwarzania masy siarczynowej wapniowej główne procesy są w zasadzie takie same, ale ponieważ z ekonomicznego punktu widzenia nie ma możliwości przeprowadzania odzysku substancji chemicznych, większość zakładów wykorzystuje część lub całość ługu powarzelnego siarczynowego i produkuje z niego etanol, lignosulfoniany oraz inne produkty (patrz rysunek 4.9 w podrozdziale 4.1.5).



Rysunek 4. 4 Główne procesy służące do wytwarzania masy celulozowej siarczynowej magnezowej ukazujące działania na linii masy oraz odzyskiwanie energii i substancji chemicznych

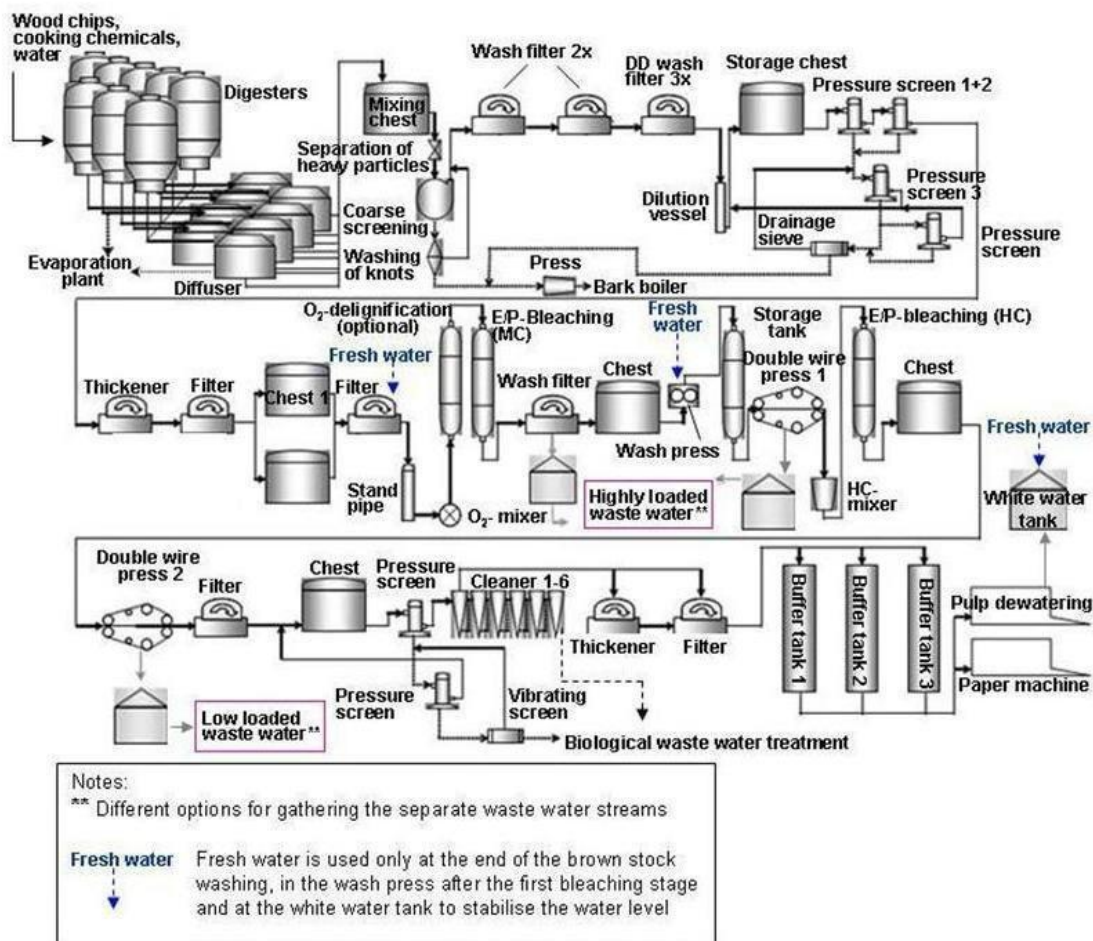
Wood	Drewno
Wood handling	Obróbka drewna
Cooking	Warzenie

Washing, screening	Płukanie, przesiewanie
Oxygen delignification	Delignifikacja tlenowa
Bleaching chemicals, chelating agent	Bielenie chemikaliów, środek chelatujący
Bleaching	Bielenie
Coarse/fine screening	Przesiewanie zgrubne/drobne
Storage in buffer tanks	Przechowywanie w zbiornikach buforowych
Drying	Suszenie
Paper machine	Maszyna papiernicza
Dried pulp	Wysuszona masa celulozowa
Spent liquor	Ług powarzelny
Legend	Legenda
Make-up MgO, CaO or Na <sub>2</sub> O, sulphur dioxide	Uzupełniający MgO, CaO lub Na <sub>2</sub> O, dwutlenek siarki
Cooking-liquor preparation	Preparat ługu warzelnego
Recovery boiler	Kocioł odzysknicowy
Evaporation	Odparowywanie
= Fibre flow	= Przepływ włókien
= Flow of spent liquor	= Przepływ ługu powarzelnego
= Optional unit:	= Moduł opcjonalny:
Oxygen delignification is not always economically viable or technically justified	Delignifikacja tlenowa nie zawsze jest wykonalna z ekonomicznego punktu widzenia lub uzasadniona pod względem technicznym.

### 4.1.3 Procesy na linii masy

W roztwarzaniu siarczynowym włókna ze ścieru drzewnego wytwarzane są przez chemiczne rozpuszczenie ligniny z drewna. Przed obróbką chemiczną drewna mającą na celu utworzenie włóknistej masy drewno poddawane jest korowaniu mechanicznemu, zrębkowaniu i przesiewaniu. Wykorzystuje się również zrębki i wióry. Lignina, dzięki której komórki drewna się nie rozdzielają, tworząc tym samym pierwotną strukturę drewna, oraz materiał z węglowodanu rozpuszcza się ze zrębków w trakcie warzenia w roztworach wodnych składników kwasowych przy podwyższonej temperaturze i ciśnieniu. W procesach siarczynowych lub pół-chemicznych jako aktywny składnik stosuje się głównie jon  $\text{HSO}_3^-$ . Zużyty materiał nieorganiczny i rozpuszczony materiał organiczny oddziela się od masy celulozowej w wielostopniowych przeciwprądowych systemach płuczących stosowanych w celu osiągnięcia jak najczystszej masy celulozowej i minimalnego rozcieńczenia ługu powarzelnego. W większości zakładów ług powarzelny przetwarza się w zakładzie w systemie regeneracji chemicznej (patrz punkt 4.1.4). Emisje masy celulozowej zawierają będą również zanieczyszczenia stałe, głównie drewno, z którego w całości nie udało się usunąć ligniny, część sęków i innych substancji stałych. Materiał ten rozdziela się za pomocą przesiewania, a odsiew zazwyczaj poddaje się ponownemu przetwarzaniu w celu zmniejszenia strat surowców. W większości przypadków wypłukaną masę celulozową poddaje się bieleniu do zastosowania w wysokiej jakości białym papierze i produktach tekturowych. Jedynie zakłady stosujące metodę NSSC zwykle nie bielą masy celulozowej. Ścieki po bieleniu zawierają rozpuszczony materiał organiczny i zużyte chemikalia z procesu bielenia. W większości przypadków ścieki te nie trafiają do systemu odzyskiwania substancji chemicznych w zakładzie, lecz poddaje się je oczyszczaniu biologicznemu, a następnie kierowane są do odpadów. Dlatego też ważne jest, by minimalizować ilość ścieków i by przed odprowadzeniem ich do zbiorników wodnych poddać je odpowiedniemu oczyszczaniu fizycznemu i biologicznemu.

Bieloną masę celulozową albo się suszy i pakuje do wysyłki, albo w postaci zawiesiny pompuje do zintegrowanej papierni. Na rysunku 4.5 przedstawiono typową linię masy w celulozowni siarczynowej.



Source: [ 245, van Tuijl 2009 ]

Rysunek 4. 5 Typowa linia masy w celulozowni siarczynowej, w której produkuje się masę celulozową do produkcji papieru

Wood chips, cooking chemicals, water	Zrębki, chemikalia do warzenia, woda
Digesters	Komory fermentacyjne
Mixing chest	Kadź mieszalna
Wash filter 2x	Filtr do płukania x2
DD wash filter 3x	Filtr DD do płukania x3
Storage chest	Kadź magazynowa
Pressure screen 1+2	Sortownik ciśnieniowy 1 + 2
Separation of heavy particles	Oddzielani ciężkich cząsteczek stałych
Evaporation plant	Instalacja odparowująca
Diffuser	Dyfuzor
Coarse screening	Przesiewanie zgrubne
Washing of knots	Płukanie sęków
Press	Prasa
Dilution vessel	Naczynie do rozcieńczenia
Drainage sieve	Sito odwadniające
Pressure screen 3	Sortownik ciśnieniowy 3
Pressure screen	Sortownik ciśnieniowy
Bark boiler	Kocioł korowy
Thickener	Zagęszczacz
Filter	Filtr
Chest 1	Kadź 1
O <sub>2</sub> - delignification (optional)	Delignifikacja tlenowa (opcjonalnie)
Fresh water	Świeża woda
Filter	Filtr
E/P-Bleaching (MC)	Bielenie E/P (średnie stężenie)

Fresh water	Świeża woda
Wash filter	Filtr do płukania
Chest	Kadź
Storage tank	Zbiornik do magazynowania
E/P-bleaching (HC)	Bielenie E/P (wysokie stężenie)
Double wire press 1	Prasa dwutaśmowa 1
Chest	Kadź
Fresh water	Świeża woda
White water tank	Zbiornik na wodę sitową
HC-mixer	Mieszadło do materiału o wysokim stężeniu
mixer	Mieszadło
Highly loaded waste water**	Ścieki o wysokim poziomie obciążenia**
Wash press	Instalacja do mycia i prasowania
mixer	Mieszadło
Stand pipe	Rura ciśnień
Pulp dewatering	Odwadnianie masy
Paper machine	Maszyna papiernicza
Buffer tank	Zbiornik buforowy
Cleaner 1-6	Oczyszczarka 1-6
Pressure screen	Sortownik ciśnieniowy
Double wire press 2	Prasa dwutaśmowa 2
Vibrating screen	Przesiewacz drgający
Low loaded waste water**	Ścieki o niskim poziomie emisji**
Biological waste water treatment	Biologiczne oczyszczanie ścieków
Chest	Kadź
Notes:	Uwagi:
** Different options for gathering the separate waste water streams	** Różne możliwości gromadzenia osobnych strumieni ścieków
Fresh water	Świeża woda
Fresh water is used only at the end of the brown stock washing, in the wash press after the first bleaching stage and at the white water tank to stabilise the water level	Świeża woda stosowana jest jedynie do mycia masy celulozowej, w instalacji do mycia i prasowania po pierwszym etapie bielenia i w zbiorniku na wodę sitową do stabilizowania poziomu wody.
Source: [ 245, van Tuijl 2009 ]	Źródło: [ 245, van Tuijl 2009 ]

### 4.1.3.1 Obróbka drewna

Patrz podrozdział 2.3.1.

### 4.1.3.2 Warzenie i delignifikacja niebielonej masy celulozowej

W produkcji konwencjonalnej niebielonej masy celulozowej lignina ekstrahowana jest z drewna za pomocą stężonego ługu warzelnego z siarczynem magnezu i wodorosiarczynem magnezu jako składnikami aktywnymi. Na etapie warzenia zrębki i ługi trafiają do komory fermentacyjnej pracującej w trybie nieciągłym, gdzie warzenie odbywa się przy podwyższonej temperaturze i ciśnieniu. Po osiągnięciu pożądanej zawartości resztek ligniny (liczba kappa) zawartość odprowadza się do zbiornika wydmuchowego lub dyfuzorów. Liczba kappa do warzenia odgrywa ważną rolę przy odprowadzaniu ścieków do oczyszczalni. Niższa liczba kappa oznacza konieczność usunięcia mniejszej ilości resztek ligniny podczas bielenia a tym samym mniejszy ładunek organiczny do oczyszczenia w oczyszczalni ścieków. Liczba kappa do warzenia jest również jednym z parametrów, które określają warunki decydujące o ostatecznej jakości masy celulozowej potrzebnej do końcowego zastosowania na potrzeby konkretnego rodzaju papieru.

Zakład korzystający z komory fermentacyjnej pracującej w trybie nieciągłym składa się z szeregu wsadowych zbiorników ciśnieniowych, które działają według określonego programu warzenia. Warzenie można przeprowadzać również w komorze fermentacyjnej pracującej w trybie ciągłym, jednak w przypadku roztwarzania siarczynowego stosuje się ją w mniejszym stopniu niż w przypadku roztwarzania siarczanowego (zasady są takie same, a czytelnika odsyłamy do podrozdziału 3.1.4).

Proces przy użyciu wodorosiarczynu wapnia (trzy zakłady w Europie: w jednym masa celulozowa do przerobu chemicznego, w drugim specjalna masa celulozowa a w trzecim masa celulozowa do produkcji papieru) różni się od pozostałych procesów warzenia siarczyn, ponieważ warzenie trzeba przeprowadzać przy bardzo niskim poziomie pH (około 1,5), tak by uniknąć wytrącania się siarczyn wapnia. Problem w procesie z wykorzystaniem wapnia dotyczy odkładania się kamienia na rurach i urządzeniach płuczających w wyniku niepożądanego osadzania się gipsu. W miarę rozrostu kamienia, a tym samym spadającego poziomu kappa należy unikać fermentacji przy bardzo niskim poziomie kappa. Niski poziom pH ma w koncepcji biorafinerii pewne zalety (niski poziom hemicelulozy, korzystne właściwości lignosulfonianu). Więcej informacji na temat stosowania koncepcji biorafinerii czytelnik może znaleźć w podrozdziale 4.1.5.

Po zakończeniu warzenia zawartość komory fermentacyjnej przenosi się do zbiornika bezciśnieniowego zwykle określanego jako zbiornik wydmuchowy (zawartość komory fermentacyjnej można również przepompować do dyfuzorów). Następnie z tych zbiorników masę celulozową pompuje się do przesiewania i mycia masy celulozowej.

### 4.1.3.3 Przesiewanie i płukanie niebielonej masy celulozowej

Po warzeniu masę celulozową poddaje się przesiewaniu za pomocą sortowników ciśnieniowych z gniazdami, otworami lub za pomocą sortowników wirowych bezsitowych, a następnie przemywa w instalacjach do mycia i prasowania, prasach śrubowych, filtrach do płukania, filtrach bębnowych lub płuczkach chemicznych. Przesiewanie przeważnie dobywa się w kaskadzie. Aby zmniejszyć straty włókien, oddzielone sęki można płukać w płuczce na sęki. Przesiewanie ma na celu oddzielenie sęków i wiązek włókien od głównego strumienia masy celulozowej za pomocą szeregu wibracyjnych elementów urządzeń, filtracji za pomocą sortownika ciśnieniowego i odśrodkowego rozdzielania włókien oraz innych cząstek o różnym ciężarze właściwym (patrz podrozdział 3.1.5).

Podczas wieloetapowego płukania ług warzelny zawierający rozpuszczoną substancję drewna oddziela się od masy celulozowej i uzyskuje się ług powarzelny lub słaby ług warzelny. Niski współczynnik rozcieńczenia słabego ługu i niski poziom ChZT przeniesionego z płuczek do bielarni zapewnia korzystne warunki umożliwiające osiągnięcie niższego poziomu emisji odprowadzanych do wody. Odrzuty zgrubne, jak i odrzuty innego rodzaju z przesiewania zwykle poddawane są odwadnianiu i spalane w kotłowni lub zawracane do procesu. Po pierwszym myciu kaskadowym ze względów

ekologicznych i jakościowych przemytą masę celulozową warto przechowywać w wieżach lub kadziach, z których odbywa się ługowanie masy celulozowej zarówno z ligniny, jak i substancji metalowych. Po magazynowaniu w wieżach masę celulozową się przesiewa i dodatkowo przemywa, a następnie kieruje do pierwszego etapu bielenia. Na rysunku 4.6 przedstawiono przykładowy filtr do płukania i instalację do mycia i prasowania.



Rysunek 4.6 Przykładowy filtr do płukania (z lewej) i instalacja do mycia i prasowania (z prawej) podczas procesu mycia masy celulozowej

#### 4.1.3.4 Delignifikacja tlenowa i bielenie

W większości przypadków po warzeniu, przesiewaniu i płukaniu masy celulozowej następuje bielenie, natomiast w kilku przypadkach przed bieleniem stosowana jest delignifikacja tlenu (szczegółowy opis patrz punkt 4.3.3). W wyniku bielenia masy celulozowej przede wszystkim zwiększa się jasność masy, a poza tym usuwa się z niej cząsteczki niewłókniste i substancje ekstrakcyjne.

W europejskich celulozowniach siarczynowych bielenie przeprowadza się bez stosowania chloru cząsteczkowego ( $\text{Cl}_2$ ). Z wyjątkiem dwóch celulozowni, w których produkuje się masę celulozową pozbawioną chloru pierwiastkowego (ECF) wszystkie zakłady siarczynowe w Europie produkujące masę celulozową do produkcji papieru i masę celulozową do przerobu chemicznego są zakładami niestosującymi chloru (TCF). W przypadku bielenia masy siarczynowej bez chloru pierwiastkowego jako związek chemiczny do bielenia podczas jednego lub kilku etapów bielenia stosuje się dwutlenek chloru ( $\text{ClO}_2$ ) w połączeniu z zastosowaniem nadtlenu wodoru (P) podczas pozostałych etapów bielenia. W tabeli 4.2 ukazano przykładową sekwencję bielenia w zakładzie produkującym masę papierniczą bez chloru pierwiastkowego. Etapy bielenia oznaczono za pomocą symboli i skrótów w zależności od zastosowanego środka bielącego: tlen (O), nadtlenek wodoru (P) lub ich kombinacja (OP) oraz dwutlenek chloru (D).

Tabela 4.2 Przykładowa sekwencja bielenia bez chloru pierwiastkowego podczas roztwarzania siarczynowego

Parametr lub użyta substancja	Jednostka	O	EOP	D	PO(P)	P
pH		10,5 – 11,0		4,5 – 5,2	10,6 – 10,9	9,5 – 10,1
NaOH	kg/t	maks. 12,5	maks. 7	--	6 – 10	2 – 4
$\text{H}_2\text{O}_2$	kg/t	--	maks. 7	--	6 – 10	2 – 4
$\text{O}_2$	kg/t	12,5	maks. 7		1 – 3	--
$\text{H}_2\text{SO}_4$	k/t	--	--	1,6	--	--
EDTA	kg/t	--	--	1,15	--	--
Talk	kg/t	--	--	4,2	--	--
$\text{ClO}_2$	kg/t jako aktywny $\text{Cl}_2$	--	--	(*) maks. 4,2 (**) maks. 8,5	--	--
Liczba kappa		6,8 – 7,5	3,5 – 4,0			ECF: 0,8 – 1,2



Uwaga: W zależności od dawki ClO<sub>2</sub> podczas etapu D można wyprodukować masę celulozową (\*) o parametrach zbliżonych do tych z masy powstałej bez użycia chloru (TCF) o wartości OX w masie na poziomie <30 ppm albo (\*\*) jako klasyczną masę celulozową bez chloru pierwiastkowego (OX <100 ppm). Zobacz kolumnę dotyczącą etapu bielenia D:

Źródło: [ 243, Biocel Paskov 2009 ]

W przypadku produkcji masy specjalnej (patrz podrozdział 4.1.1.4) nie ma jeszcze możliwości bielenia bez użycia chloru, ponieważ przy produkcji masy o wysokiej lepkości masa wprowadzana do bielarni musi mieć znacznie wyższą liczbę kappa.

W celu osiągnięcia wystarczającego stopnia czystości i jasności stosuje się jeden lub dwa etapy z zastosowaniem dwutlenku chloru. Wiele z zastosowań masy specjalnej wymaga bardzo wysokiego poziomu jasności (aż do 94-95% ISO) oraz skomplikowanych kombinacji jasności i lepkości, które nie są jeszcze możliwe do uzyskania bez użycia dwutlenku chloru. W konsekwencji zastosowania dwutlenku chloru nie ma możliwości zastosowania pełnego cyklu płukania przeciwprądowego, ponieważ ścieków zawierających resztki dwutlenku chloru nie wolno odprowadzać do spalania (tak jak ma to miejsce w przypadku ścieków z procesu ekstrakcji alkalicznej na gorąco). Z tego względu ścieki z zakładu bielenia kieruje się bezpośrednio do oczyszczalni ścieków. Do wytwarzania masy o bardzo niskiej lepkości (na poziomie nawet do 300 ml/g) i masy specjalnej o bardzo niskiej zmienności lepkości można jako substancję chemiczną do bielenia stosować podchloryn (np. NaOCl), tak jak to ma miejsce w jednym z zakładów.

Jako środków do bielenia bez użycia chloru zazwyczaj używa się tlenu, wodorotlenku sodu, nadtlenu wodoru i kwasu nadoctowego. W większości zakładów jako komplekson (0,5-2 kg/t) dodaje się środki chelatujące takie jak EDTA (kwas etylenodiaminotetraoctowy) lub DTPA (kwas pentetynowy). Kilka zakładów nie stosuje środków chelatujących. Stosowane bielące substancje chemiczne zwykle kupowane są od zewnętrznych dostawców środków chemicznych.

Bielenie przeprowadza się podczas sekwencji przynajmniej dwóch etapów bielenia, podczas których dodaje się tlen (opcjonalnie) i nadtlenek. Podczas pierwszego etapu w ramach dwuetapowej sekwencji bielenia masę celulozową podgrzewa się do temperatury 60-80 °C i dodaje się wodorotlenek sodowy, tlen (O) lub nadtlenek (P). Podczas pierwszego etapu bielenia poziom resztek ligniny spada o 45-55%. Bieloną masę następnie pompuje się do filtrów płuczających, instalacji do mycia i prasowania, pras dwutaśmowych lub innych modułów odwadniających w celu zmniejszenia ilości niepożądanych substancji przenoszonych z pierwszego etapu bielenia i dodatkowego odwadniania masy. W kilku europejskich zakładach siarczynowych drugi etap bielenia nadtlakiem (EP) przeprowadza się jako bielenie o wysokim stężeniu (symbol: PE(HC) = 35-40% suchej masy). Do zalet bielenia o wysokim stężeniu zalicza się oszczędności energii (pary), wynikające z wysokiej gęstości masy celulozowej, niższego dzięki zastosowaniu łagodnych warunków bielących poziomu emisji ChZT, z niskich strat masy celulozowej podczas etapu bielenia i niższego zużycia chemikaliów bielących. Po drugim etapie bielenia masę rozcieńcza się wodą i odbywa się drugi etap płukania. Podczas procesu siarczynowego zapotrzebowanie na energię cieplną i elektryczną w ramach tego procesu na potrzeby bielenia bez użycia chloru jest niższe niż w przypadku bielenia bez chloru pierwiastkowego.

Przykłady typowych sekwencji bielenia i ładunku substancji organicznych, mierzonego jako ChZT, z bielarni przed rozpoczęciem obróbki w europejskich celulozowniach siarczynowych zestawiono w tabeli 4.3. Ładunek organiczny (kg ChZT/t powietrznie suchej masy) nie zawiera kondensatów, ponieważ najczęściej oczyszcza się je oddzielnie. W zależności od zastosowanego środka bielącego do oznaczenia etapów bielenia stosuje się symbole: tlen (O), nadtlenek wodoru (P) lub ich kombinacja (OP), ozon (Z), etap z wykorzystaniem kwasu, podczas którego stosuje się środki chelatujące w celu usunięcia metali (A-Q lub Q), etap ekstrakcji przy użyciu wodorotlenku sodu (E), dwutlenku chloru (D), podchlorynu (H), kwasu nadoctowego (PAA).

Tabela 4. 3 Sekwencje bielenia stosowane w europejskich celulozowniach siarczynowych i ładunek ChZT wychodzący z bielarni przed oczyszczeniem

Techniki warzenia, główne produkty i zasada	Liczba kappa	Sekwencje bielenia	ChZT z zakładu bielenia (kg/t)	Przykładowe zakłady
masa celulozowa z drewna drzew iglastych wytwarzana metodą magnefitę, papier, Mg	20 – 23	(O+P)-Q-(Paa-P)	120	Zakład 1, SE (2)
masa celulozowa z drewna drzew liściastych wytwarzana metodą magnefitę, papier, Mg	20 – 23	(O+P)-Q-P	125	Zakład 1, SE (2)
siarczynowa, papier, Mg	14 – 16	EP-EP (HC)	50 – 60	Zakład 2, DE
siarczynowa, papier, Mg	11 – 13	EOP-Q-EP-EP	35 – 50	Zakład 3, AT
siarczynowa, papier, Mg	24	Q-Z-EP (1)	110 – 130 (1)	Zakład 4, SE
siarczynowa, papier, Mg	12 – 15	O-EOP-D-PO(P)-P	15 – 25	Zakład 5, CZ
siarczynowa, papier, Ca	10 – 14	EP (MC) -EP	60 – 75	Zakład 6, IT
masa celulozowa do przerobu chemicznego, Mg	4 – 7	E – O/P – Z – P & E/O/P – Z – P	100	Zakład 7, AT
masa celulozowa do przerobu chemicznego, Ca/Mg	5 – 9	Z(HC)-(EOP)-(PO)	90 – 280	Zakład 8, ES
celuloza specjalna, NH <sub>4</sub>	7 – 60	E-D-E/P-D	130 – 400	Zakład 9, FR
celuloza specjalna, Ca	10 – 60	E-D-E-D-P-H/P	30 – 600	Zakład 10, NO

Uwaga:  
Dane pochodzą z osobistej korespondencji z operatorami zakładów.  
(1) W zakładzie rozpocznie się nowa sekwencja (AQEP), mająca na celu zmniejszenie rozmiaru ładunku ChZT z bielarni, zwracająca do linii masy a ostatecznie do system odzysku więcej filtratu.  
(2) W zakładzie (Stora Enso Nymölla) działają dwie linie produkcyjne masy: z drewna liściastego i iglastego.  
(3) Poziom obciążenia ChZT znajduje odzwierciedlenie w zawartości alfa-celulozy w produkcie końcowym, w którym niskie obciążenie ChZT odpowiada niskiej zawartości alfa-celulozy w produkcie końcowym, natomiast wysokie obciążenie ChZT odpowiada wysokiej zawartości alfa-celulozy. [Komentarz CEPI D1]

W trakcie wytwarzania masy celulozowej do przerobu chemicznego i masy specjalnej stosuje się szczególnie trudne warunki (wysoka temperatura, duża zawartość wodorotlenku sodu) panujące podczas etapu ekstrakcji specjalnej, tak by uzyskać pożądaną zawartość alfa-celulozy. W konsekwencji dochodzi do znacznego spadku wydajności i uwolnienia z tego etapu dużej ilości ChZT. Stopień ekstrakcji ligniny z drewna podczas etapu warzenia (liczba kappa) wskazuje na ilość ligniny usuwanej na kolejnych etapach bielenia. W przypadku wytwarzania masy celulozowej do przerobu chemicznego wzrost zawartości alfa-celulozy na etapie ekstrakcji alkalicznej E na gorąco decyduje o ładunku ChZT. Ścieki z zakładu bielenia w przeważającej mierze kieruje się następnie do oczyszczalni ścieków.

#### 4.1.3.5 Końcowe przesiewanie i suszenie

Po bieleniu na ogół ma miejsce końcowe przesiewanie masy celulozowej (patrz rysunek 4.7). Odsiew kierowany jest do spalania w kotłowni na biomasę lub można go wykorzystać w oczyszczalni ścieków do lepszego odwadniania osadów biologicznych. Masa celulozowa sprzedawana na zewnątrz (o ile w danym zakładzie nie jest ona wykorzystywana do wytwarzania papieru) jest suszona, a pozostała część masy pompuje się do zakładu papierniczego do produkcji różnych rodzajów papieru (papieru wysokogatunkowego, bibuły itp.). Suszenie masy odbywa się nie tylko podczas produkcji masy celulozowej do sprzedaży na rynek, lecz również w celu zoptymalizowania właściwości włókien do formowania arkuszy i odwadniania w maszynie papierniczej. Celulozownie siarczynowe przeważnie są zintegrowanymi zakładami produkcji papieru działającymi w tym samym miejscu.



Rysunek 4.7 Sortownik ciśnieniowy do końcowego przesiewania

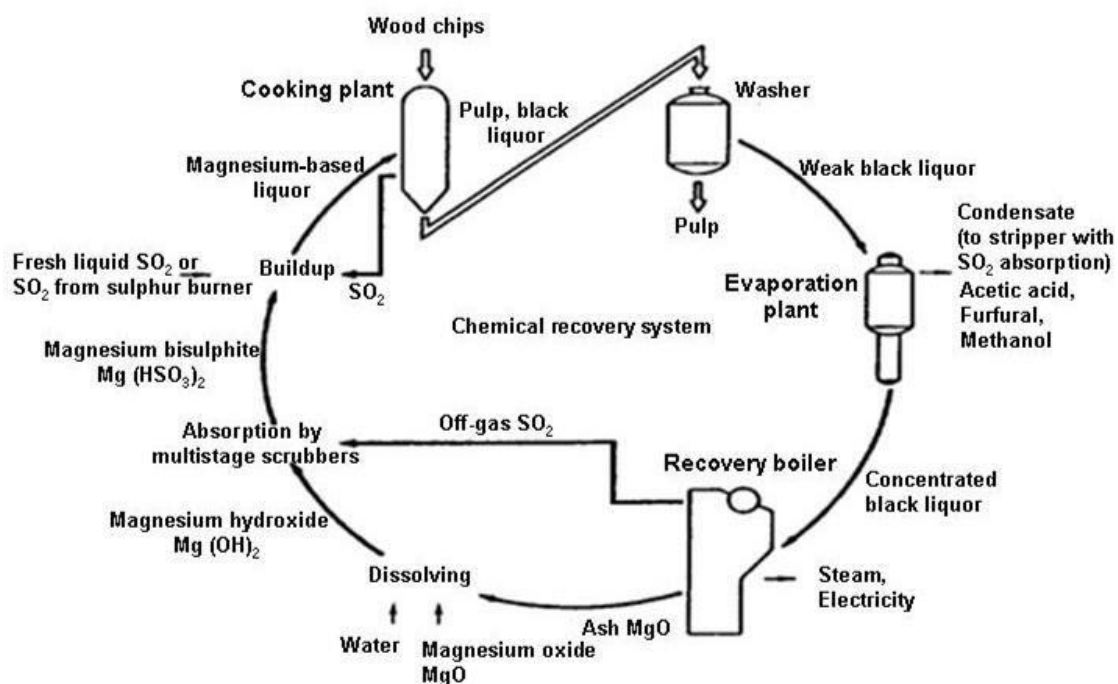
#### 4.1.4 System odzyskiwania energii i substancji chemicznych

W przypadku celulozowni siarczynowych lub stosujących metodę magnefitę z wykorzystaniem magnezu jako zasady preferowanym wariantem jest odzyskiwanie substancji chemicznych do warzenia i wykorzystywanie związków organicznych w siarczynowym ługu powarzelnym (SSL) jako źródła energii (w przypadku zakładów wykorzystujących siarczyn wapnia czytelnika odsyłamy do podrozdziału 4.1.5). Odzyskiwanie substancji chemicznych z warzenia obejmuje odparowywanie ługu powarzelnego do postaci stężonego ługu, spalanie stężonego ługu i przygotowywanie nowego kwasu warzelnego z odzyskanych substancji chemicznych. Stopień odzysku ługu wynosi 97-98%.

Odzyskiwanie chemikaliów z procesów jednostkowych w przypadku masy niebielonej zazwyczaj wiąże się z opisanymi poniżej głównymi zasadami.

- Mycie przeciwprądowe i odparowywanie słabego ługu warzelnego.
- Spalanie stężonego ługu (biopaliwa) w kotle odzysknicowym, gdzie mogą powstawać znaczne ilości energii do produkcji pary i energii elektrycznej dla celulozowni i częściowo również papierni.
- Podczas spalania powstaje tlenek magnezu w postaci stałej (popiół) oraz dwutlenek siarki w postaci gazowej. Tlenek magnezu oddzielany jest od gazów spalinowych w filtrze elektrostatycznym lub multicyklonach i przekształca się go w wodorotlenek magnezu, rozpuszczając go w wodzie. W kilku celulozowniach oczyszczanie gazów spalinowych z kotła odzysknicowego odbywa się w baterii multicyklonów a następnie za pomocą płuczki gazowej mokrej, co zapewnia skuteczność oczyszczania na poziomie zbliżonym do filtra elektrostatycznego.
- Zawiesina ta służy do absorpcji dwutlenku i trójtlenku siarki z gazów spalinowych z kotła odzysknicowego i z wychwyconych gazów z komory fermentacyjnej, płuczek i parowników poprzez zastosowanie wielostopniowych płuczek zwężkowych. Ług z oczyszczania gazów spalinowych poddaje się klarowaniu (sedymentacji lub filtracji) i wzmacnia go albo za pomocą dwutlenku siarki z procesu spalania siarki pierwiastkowej w palniku siarki, albo poprzez dodanie ciekłego dwutlenku siarki. Po oddzieleniu cząstek sadzy i innych nierozpuszczonych zanieczyszczeń świeżo utworzony kwas warzelny (wodorosiarczyn magnezu) pompuje się do komory fermentacyjnej.
- Działanie kolumny odpędowej do odzyskiwania dwutlenku siarki rozpuszczonego w kondensacie z zakładu parowania zwiększa odzysk  $\text{SO}_2$ . W beztlenowej oczyszczalni ścieków wyższe stężenie  $\text{SO}_2$  może doprowadzić do zakłócenia biomasy. Usuwając go z kondensatu, można go ponownie wykorzystać w instalacji warzelniczej.

Ogólny zarys cyklu odzysku substancji chemicznych i energii przedstawiono na rysunku 4.8, obrazującym główne etapy procesu i ich funkcje.



Zródło: [ 6, BMU Austria 1995 ] zmienione przez EIPPCB.

Rysunek 4. 8 Cykle odzyskiwania substancji chemicznych i energii w przypadku zakładu siarczynowego bazującego na magnezie

Cooking plant	Instalacja warzelnicza
Wood chips	Zrębki
Pulp, black liquor	Masa celulozowa, ług powarzelny
Washer	Płuczka
Pulp	Masa celulozowa
Weak black liquor	Słaby ług powarzelny
Condensate (to stripper with SO <sub>2</sub> absorption) Acetic acid, Furfural, Methanol	Kondensat (do kolumny odpędowej z wchłanianiem SO <sub>2</sub> ) Kwas octowy, Furfural, Metanol
Evaporation plant	Instalacja odparowująca
Chemical recovery system	System odzyskiwania substancji chemicznych
Recovery boiler	Kocioł odzysknicowy
Concentrated black liquor	Stężony ług powarzelny
Steam,	Para
Electricity	Energia elektryczna
Off-gas SO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub> z gazów spalinowych
Ash MgO	Popiół MgO
Magnesium oxide MgO	Tlenek magnezu MgO
Water	Woda
Dissolving	Rozpuszczanie
Magnesium hydroxide Mg (OH) <sub>2</sub>	Wodorotlenek magnezu Mg (OH) <sub>2</sub>
Absorption by multistage scrubbers	Wchłanianie przez wielostopniowe płuczki
Magnesium bisulphite Mg (HSO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Wodorosiarczyn magnezu Mg (HSO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
Fresh liquid SO <sub>2</sub> or	Świeży SO <sub>2</sub> w stanie ciekłym lub
SO <sub>2</sub> from sulphur burner	SO <sub>2</sub> z palnika siarki
Buildup	Nagromadzenie
SO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>
Magnesium-based liquor	Ług na bazie magnezu
Source: [ 6, BMU Austria 1995 ] modified by EIPPCB	Zródło: [ 6, BMU Austria 1995 ] zmienione przez EIPPCB

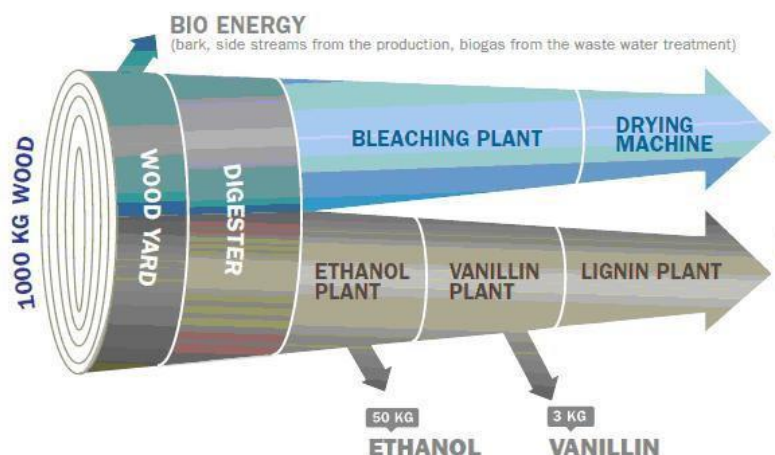
Zakłady bazujące na zastosowaniu magnezu mają trudności z zawracaniem do ponownego wykorzystania wody z etapów, podczas których wodorotlenek sodu wykorzystuje się do regulowania odczynu pH. Kluczową kwestią w przypadku zakładów siarczynowych jest oddzielanie ścieków zawierających różne zasady chemiczne. Na przykład podczas niektórych etapów bielenia do osiągnięcia wymaganych warunków pH konieczny może być wodorotlenek sodu. W takim wypadku z powodu dużej ilości jonów sodowych, które mogą zakłócić funkcjonowanie kotła odzysknicowego, nie ma możliwości odprowadzenia ścieków z bielarni z powrotem do modułu odzyskiwania.

Oprócz odzyskiwania chemikaliów do warzenia kocioł odzysknicowy wytwarza parę. Celulozownie siarczynowe często korzystają z kotłów pomocniczych służących do spalania kory, oleju lub innych paliw. W takich kotłach można również spalać sęki, odsiew i osad z oczyszczania ścieków. Para z kotłów odprowadzana jest do turbin przeciwprężnych, w których wytwarzana jest energia elektryczna.

#### **4.1.5 Przetwarzanie produktów ubocznych z roztwarzania siarczynowego**

Podczas warzenia do ługu warzelnego odprowadzana jest hemiceluloza i lignina. Ług powarzelny siarczynowy (SSL) można skierować bezpośrednio do modułów odzysku substancji chemicznych i energii (patrz podrozdział 4.1.4) albo można go oddzielić i wykorzystać do produkcji innych produktów. W niektórych celulozowniach siarczynowych, zwłaszcza tych, które w procesie warzenia jako zasadę wykorzystują wapń, ale również w pojedynczych zakładach wykorzystujących sól, amon lub połączenie wapnia i magnezu, wytwarza się masę celulozową i dodatkowo kilka innych produktów. Celulozownie przetwarzające większość ługu powarzelnego siarczynowego na różne inne produkty określa się mianem „biorafinerii”. Na rys. 4.9 przedstawiono przykładowy zakład, w którym cały siarczynowy ług powarzelny przekształcany jest na produkty nadające się do sprzedaży (Borregaard, NO).

251672576251673600251674624251675648



Rysunek 4.9 Podstawowa zasada przepływu masy celulozowej i lugu powarzelnego w zakładach stosujących koncepcję biorafinerii

BIO ENERGY	BIOENERGIA
(bark, side streams from the production, biogas from the waste water treatment)	(kora, strumienie uboczne z produkcji, biogaz z oczyszczalni ścieków)
BLEACHING PLANT	BIELARNIA
DRYING MACHINE	SUSZENIE
ETHANOL PLANT	ZAKŁAD PRODUKUJĄCY ETANOL
VANILLIN PLANT	ZAKŁAD PRODUKUJĄCY WANILINĘ
LIGNIN PLANT	ZAKŁAD PRODUKUJĄCY LIGNINĘ
50 kg ETHANOL	50 kg ETANOLU
3 kg VANILLIN	3 kg WANILINY
1000 KG WOOD	1000 KG DREWNA
WOOD YARD	PLAC DRZEWNY
DIGESTER	KOMORA FERMENTACYJNA

Przykładowe produkty uboczne to lignosulfoniany, etanol, drożdże paszowe, soda, wanilina, kwas octowy i furfural.

### Lignosulfoniany

Lignosulfoniany, stanowiące około 70% siarczynowego ługu powarzelnego, w kilku gałęziach przemysłu wykorzystuje się w procesie jako dodatki lub substancje pomocnicze. Lignosulfoniany stosuje się również jako środek wiążący na przykład w granulatach paszowych i brykcie mineralnym lub jako czynnik do redukcji pyłu stosowany na drogach. Poddane obróbce chemicznej lignosulfoniany są skutecznymi środkami dyspergującymi służącymi do redukcji wody w betonie, podczas produkcji cegieł i innych produktów ceramicznych oraz barwników. Rynek ten aktualnie się poszerza, zwłaszcza w zakresie zastosowań chemicznych takich jak beton, sadza, garbniki i inne. Lignosulfoniany uważa się za produkt „pozyskiwany z naturalnie występującego polimeru”, a tym samym nie są objęte przepisami rozporządzenia REACH.

### Etanol

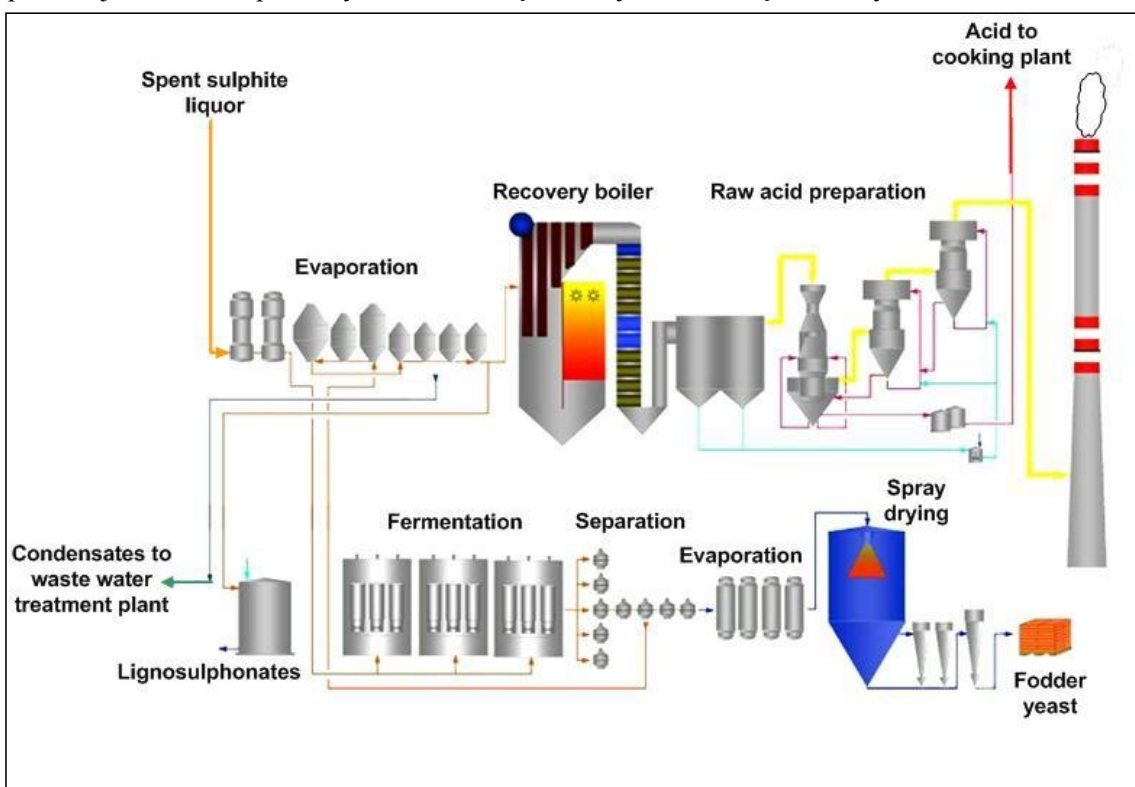
Część hemicelulozy pochodzącej z drewna drzew iglastych można poddać fermentacji i destylacji w etanolu. W przeszłości w większości celulozowni siarczynowych działały również instalacje produkujące etanol. Wraz z wprowadzeniem systemów odzyskiwania substancji chemicznych i energii większość zakładów zrezygnowała z produkcji etanolu. Polityka klimatyczna i najnowsze przepisy dotyczące paliw odnawialnych sprawiły, że produkcja etanolu ponownie stała się bardziej atrakcyjna.

W procesie fermentacji powstaje etanol i dwutlenek węgla. Etanol oddestylowuje się, aby osiągnąć

pożądane stężenie i jakość. Podczas destylacji etanolu usuwa się z niego substancje palne takie jak metanol. Albo się je sprzedaje, albo kieruje do oczyszczalni ścieków, albo też spala w zakładzie, dzięki czemu odzyskuje się również energię. Powstały dwutlenek węgla da się wychwytywać i przekazywać do instalacji do odzyskiwania dwutlenku węgla (przykładowo: Domsjö Fabriker, SE), w której oczyszcza się go i skrapla do postaci kwasu węglowego.

### Drożdże paszowe

Hemicelulozę również można stosować jako surowiec do produkcji biotechnologicznej drożdży paszowych (patrz rysunek 4.10). Drożdże wytwarza się w oparciu o czyste hodowle z wykorzystaniem procesu fermentacji. Drożdże paszowe dostarczane w postaci suchej wykorzystuje się głównie do produkcji mieszanek paszowych dla zwierząt i karmy dla zwierząt domowych.



Rysunek 4. 10 Schemat produkcji drożdży paszowych i separacji lignosulfoniaty z ługu powarzelnego siarczynowego

Condensates to waste water treatment plant	Kondensat odprowadzany do oczyszczalni ścieków
Lignosulphonates	Lignosulfoniaty
Spent sulphite liquor	Ług powarzelny siarczynowy
Evaporation	Odparowywanie
Recovery boiler	Kocioł odzysknicowy
Raw acid preparation	Preparat surowego kwasu
Acid to cooking plant	Kwas odprowadzany do instalacji warzelniczej
Fermentation	Fermentacja
Separation	Separacja
Evaporation	Odparowywanie
Spray drying	Suszenie rozpyłowe
Fodder yeast	Drożdże paszowe
Source: [ 241, Biocel Paskov 2009 ]	Źródło: [ 241, Biocel Paskov 2009 ]

### Soda

Soda może występować jako produkt uboczny podczas ekstrakcji hemicelulozy w ramach etapu ekstrakcji alkalicznej na gorąco za pomocą NaOH (około 30-130 kg/t powietrznie suchej masy)

w celu uzyskania zawartości  $\alpha$ -celulozy znacznie powyżej 90%. Roztwór ten o wysokim ładunku organicznym można poddać oczyszczaniu w biologicznej oczyszczalni ścieków (wraz z pozostałymi alkalicznymi ściekami z bielarni). Jednak w co najmniej trzech zakładach w Europie (AT, FR i NO) duży ładunek ścieków organicznych zawierających sól najpierw się zatęża poprzez odparowywanie, a następnie spala w komorze kotła stopionego popiołu (patrz podrozdział 3.4.13). Żużel i popiół filtracyjny składa się przede wszystkim z sodu, który można wykorzystać do zobojętnienia strumienia kwasu wpływającego do biologicznej oczyszczalni ścieków. Koszty inwestycyjne i eksploatacyjne tej techniki są stosunkowo wysokie (ze względu na niekorzystny bilans energetyczny).

### **Wanilina**

Lignosulfoniany wykorzystuje się również jako surowiec do produkcji waniliny. Proces rozpoczyna się od wysokociśnieniowego krakingu katalitycznego lignosulfonianu, po którym następuje kilka etapów oczyszczania. Wanilina jest jednym z najbardziej rozpowszechnionych aromatów i substancji zapachowych i ma wiele różnych zastosowań.

### **Kwas octowy i furfural**

Te dwa produkty stanowią przykład tego, co można wyekstrahować z ługu powarzelnego siarczynowego. Jednak koszty produkcji i nakłady inwestycyjne obecnie najprawdopodobniej przekroczą dochody.

### **Charakterystyka koncepcji „biorafinerii”**

W przypadku stosujących wapń zakładów siarczynowych odzysk chemikaliów do warzenia nie jest opłacalny. Związane z nim wysokie emisje substancji organicznych skłoniły część z zakładów siarczynowych stosujących jako zasadę wapń do przejścia na inną zasadę – w większości przypadków na magnez, ponieważ MgO jako zasada umożliwia stosowanie cyklu odzysku substancji chemicznych i energii. Inne zakłady bazujące na wapniu zakończyły produkcję. Jednak kilka zakładów dostrzegło duże możliwości na rynku związane ze stosowaniem wapnia jako zasady i przyjęły koncepcję „biorafinerii”: odzyskiwania ługu powarzelnego siarczynowego jako podstawy do wytwarzania produktów nadających się do sprzedaży.

Przetwarzanie ługu powarzelnego siarczynowego na produkty nadające się do sprzedaży wymaga dodatkowych linii technologicznych, w tym etapu płukania i oczyszczenia. Po wyodrębnieniu wartościowych składników ługu powarzelnego siarczynowego i ich przetworzeniu na produkty pozostała woda przemysłowa, w której nadal znajduje się duży ładunek substancji organicznych (na przykład w przypadku producentów masy specjalnej jest to około 4 500 mg ChZT/l), odprowadzana jest do biologicznej oczyszczalni ścieków.

Podczas etapu ostatecznego wykorzystania wiele produktów wytworzonych z ługu powarzelnego siarczynowego zastępuje produkty petrochemiczne. Dotyczy to w szczególności etanolu, lignosulfonianu i waniliny, które w koncepcji biorafinerii stanowią większość produkcji powstającej ze ługu powarzelnego siarczynowego. Lignina stanowi zamiennik superplastyfikatorów do betonu, etanol zastępuje etanol z etylenu i również etanol produkowany z trzciny cukrowej, natomiast wanilina zastępuje wanilinę syntetyczną, którą zazwyczaj produkuje się z gwajakolu (który jest produktem pochodnym fenolu). Wpływ na klimat produktów na bazie drewna jest znacznie niższy niż w przypadku alternatywnych rozwiązań petrochemicznych.

W biorafinerii tonaż produktów nadające się do sprzedaży w przeliczeniu na jednostkę użytego drewna jest znacznie wyższy niż w tradycyjnej celulozowni o podobnej wielkości, w niektórych przypadkach niemal dwukrotnie.

## **4.1.6 Przygotowywanie i przetwarzanie dwutlenku siarki i substancji chemicznych do bielenia**

Większość zakładów siarczynowych przetwarza dwutlenek siarki w postaci płynnej. W razie wypadków stosowanie ciekłego SO<sub>2</sub> stanowi zagrożenie, które może doprowadzić do poważnego



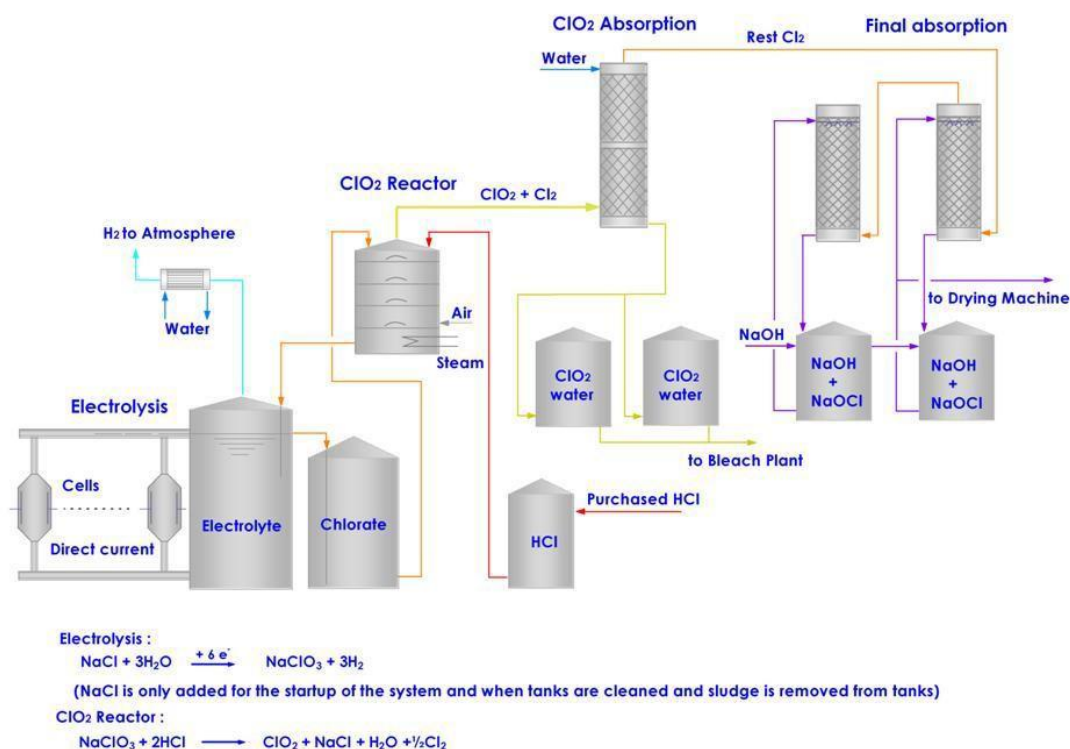
uszczerbku na zdrowiu i do szkód dla środowiska. W przypadku gdy firmy przechowują i przetwarzają więcej niż 200 ton SO<sub>2</sub>, zastosowanie mają rozszerzone obowiązki, o których mowa w dyrektywie Rady 96/82/WE z dnia 9 grudnia 1996 r. w sprawie kontroli niebezpieczeństwa poważnych awarii związanych z substancjami niebezpiecznymi [ 214. Seveso II Directive (96/82/EC) 1996 ]. W celu zapewnienia bezpieczeństwa w zakładzie spełnić trzeba szereg obowiązków. Na przykład zakład musi być zarejestrowany u odpowiednich władz, okresowo trzeba sporządzać raporty bezpieczeństwa, obowiązkowe są wewnętrzne i zewnętrzne plany awaryjne i trzeba też zachować wystarczającą bezpieczną odległość do terenów zamieszkałych. Zakłady te przechodzą również regularne kontrole w zakresie bezpieczeństwa. Obszerne techniczne i organizacyjne środki bezpieczeństwa obniżają pozostałe ryzyko wypadku. Zazwyczaj firmy mają zainstalowany automatyczny alarm do wykrywania przypadkowych strat SO<sub>2</sub>, a rurociągi do transportu ciekłego SO<sub>2</sub> wyposażone są w system monitorowania wycieków.

Inną możliwością przygotowywania SO<sub>2</sub> inną niż przetwarzanie ciekłego SO<sub>2</sub> jest spalanie siarki w stanie stałym w komorze spalania (w palniku siarki) i absorpcja powstałego SO<sub>2</sub> w stanie gazowym. Zaletą tego rozwiązania jest to, że nie ma tu zastosowania dyrektywa Seveso II i że energia uwolniona podczas reakcji egzotermicznej odzyskiwana jest w małym kotle odzyskiwania energii cieplnej, w którym powstaje para (przykładowo istnieje jeden zakład produkujący 140 000 ton rocznie: 1,3 tony pary/h, 12 bar, 220 °C). Z tej alternatywy korzysta wiele zakładów w Europie.

W bielarni wykorzystuje się przede wszystkim wodorotlenek sodowy (NaOH), nadtlenek wodoru (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) i kwas siarkowy (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Nadtlenek wodoru stosuje się jako środek bielący, natomiast NaOH do dostosowywania odczynu pH do wartości potrzebnej do tego procesu. Kwas siarkowy stosuje się do zakwaszania po alkalicznych etapach bielenia. Substancje chemiczne zazwyczaj dostarcza się drogą kolejową, pojazdami drogowymi, cysternami lub statkami, bądź też produkuje się je na miejscu. Stężenie substancji po dostawie wynosi 50% w przypadku NaOH, 49% w przypadku nadtlenu i w granicach od 70% do 98% w przypadku kwasu siarkowego. Nadtlenek wodoru i kwas siarkowy stosuje się w postaci nierozcieńczonej, natomiast NaOH używa się jako rozcieńczonego roztworu (10-18%). W celu uniknięcia niepotrzebnych wycieków do gleby, wód podziemnych lub pobliskich zbiorników wody chemikalia przechowuje się w zbiornikach dwuciennych lub zbiornikach o objętości wystarczającej do pomieszczenia przechowywanych chemikaliów. Zbiorniki magazynowe znajdują się powyżej basenów gromadzących, będących w stanie pomieścić potencjalne wycieki.

W razie stosowania dwutlenek chloru jako substancji chemicznej do bielenia (bez chloru pierwiastkowego) do wytwarzania ClO<sub>2</sub> na miejscu stosować można różne techniki (patrz podrozdział 3.1.12.1).

Przygotowanie dwutlenku chloru metodą Kestinga (stosowaną np. w zakładzie Biocel Paskov A.S., produkującym masę siarczynową) to jedna z metod, które nie wywierają znaczącego wpływu na środowisko (patrz rysunek 4.11).



Źródło: [ 240, Biocel Paskov 2009 ]

Rysunek 4. 11 Przygotowanie dwutlenku chloru metodą Kestinga

ClO <sub>2</sub> Absorption	Wchłanianie ClO <sub>2</sub>
Rest Cl <sub>2</sub>	Resztki Cl <sub>2</sub>
Final absorption	Wchłanianie ostateczne
Water	Woda
ClO <sub>2</sub> Reactor	Reaktor ClO <sub>2</sub>
H <sub>2</sub> to Atmosphere	H <sub>2</sub> odprowadzany do atmosfery
Electrolysis	Elektroliza
Cells	Komórki
Direct current	Prąd stały
Electrolyte	Elektrolit
Chlorate	Chloran
Air	Powietrze
Steam	Para
ClO <sub>2</sub> water	Woda z ClO <sub>2</sub>
to Drying Machine	do maszyny do suszenia
Purchased HCl	Zakupiony HCl
to Bleach Plant	do bielarni
Electrolysis :	Elektroliza:
(NaCl is only added for the startup of the system and when tanks are cleaned and sludge is removed from tanks)	(NaCl dodaje się tylko w celu uruchomienia systemu oraz podczas czyszczenia zbiorników i usuwania ze zbiornika osadu)
ClO <sub>2</sub> Reactor :	Reaktor ClO <sub>2</sub> :
Source: [ 240, Biocel Paskov 2009 ]	Źródło: [ 240, Biocel Paskov 2009 ]

W tym przypadku dwutlenek chloru wytwarza się w wyniku elektrolizy NaCl i pośredniego tworzenia NaClO<sub>3</sub>. W zależności od rodzaju wytwarzanej masy celulozowej na ogół do produkcji

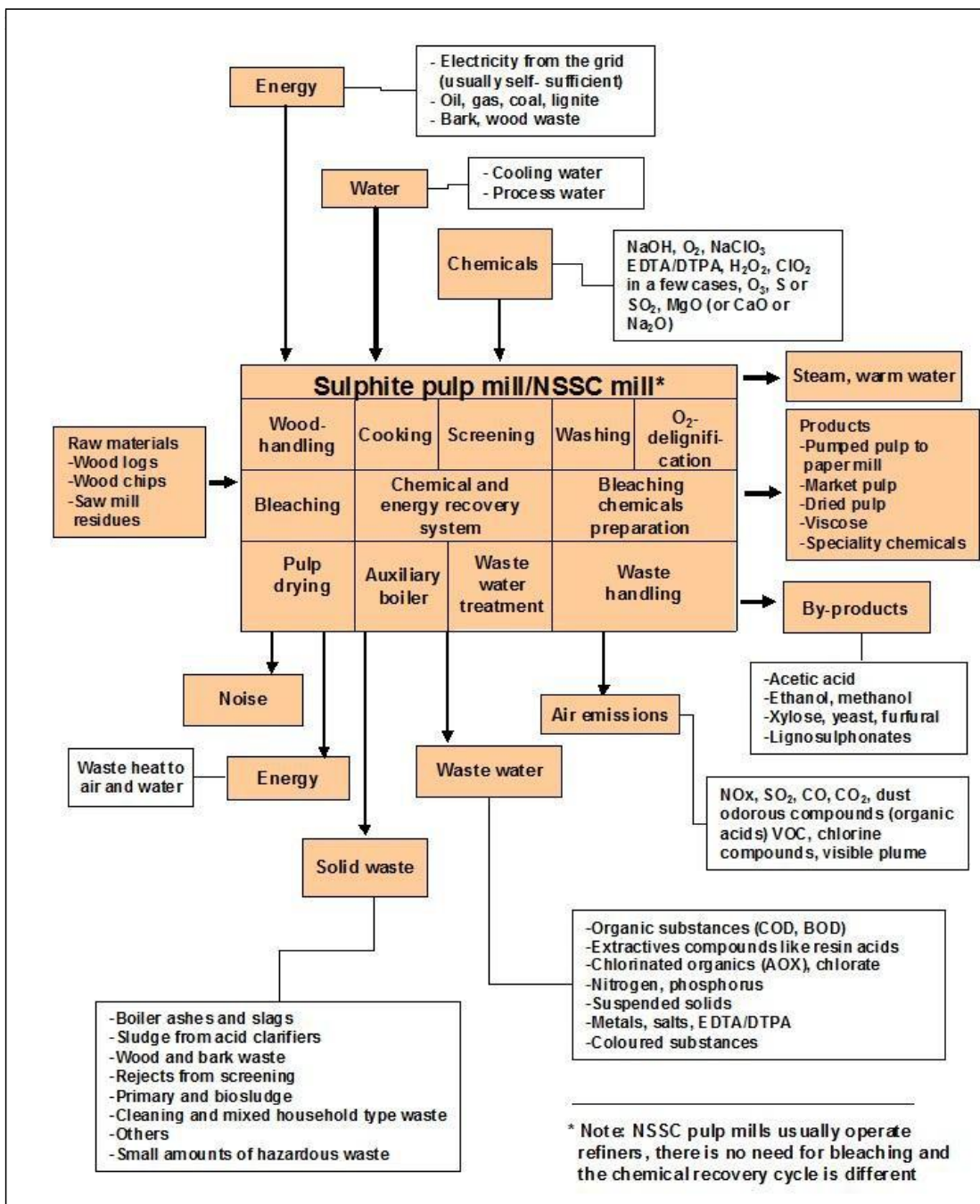
1-2,4 ton  $\text{ClO}_2$  dziennie wykorzystuje się 1-2 ton/dzień jednego wsadowego związku chemicznego (HCl). NaCl stosuje się wyłącznie do rozruchu systemu (około 30 ton). System produkcji dwutlenku chloru jest procesem niemalże zamkniętym. Raz w roku podczas zamykania systemu czyści się zbiorniki i usuwa z nich osad. W tym przypadku lub w razie wycieku do systemu dodaje się w przybliżeniu 1-2 tony NaCl. Czasami w celu dostosowania odczynu pH dodaje się NaOH lub HCl. W bielarni  $\text{ClO}_2$  w wodzie o stężeniu stosuje się w ilości 1,5-4,5 g  $\text{ClO}_2/\text{l}$ . Po ostatnim etapie absorpcji powstały NaOCl (około 18 m<sup>3</sup>/dzień) wykorzystuje się wewnętrznie do dezynfekcji wody procesowej z maszyny do suszenia. Ze względu na niewielką ilość dwutlenku chloru wykorzystywanego w bielarni z omawianego zakładu siarczynowego nie mierzy się w nim powstającego tam chloranu, który na poziomie około 3-4 mg/l jest toksyczny dla bakterii i planktonu.

## 4.2 Aktualne poziomy zużycia i emisji

Niniejszy podrozdział dotyczy wszystkich rodzajów celulozowni siarczynowych, w tym również zakładów produkujących masę celulozową metodą NSSC.

### 4.2.1 Przegląd mediów wejściowych/wyjściowych w przypadku produkcji masy celulozowej siarczynowej

Ogólny zarys wykorzystywanych na potrzeby procesu surowców i energii, a także powstających w jego ramach produktów, produktów ubocznych i substancji odprowadzanych z produkcji masy celulozowej siarczynowej (emisje, odpady itp.) przedstawiono na rysunku 4.12. Projektowanie procesu, rodzaj zakładu, koncepcja warzenia i bielenia oraz strategia marketingowa zakładu skutkuje różnymi poziomami emisji do wody (np. AOX, chloranu, środków chelatujących). Ilość i rodzaj produktów i produktów ubocznych zależy od rodzaju zakładu (patrz podrozdział 4.1.1), strategii biznesowej i zbywalność produktów ubocznych.



Rysunek 4. 12 Ogólny zarys strumieni masowych materiałów wsadowych i produktów powstających w celulozowni siarczynowej

Energy	Energia
- Electricity from the grid (usually self-sufficient)	- Energia elektryczna z sieci (zwykle samowystarczalne)
- Oil, gas, coal, lignite	- Olej, gaz, węgiel kamienny, węgiel brunatny
- Bark, wood waste	- Kora, odpady drzewne
Water	Woda
Cooling water Process water	Woda chłodząca Woda przemysłowa
Chemicals	Chemikalia
in a few cases,	w kilku przypadkach
Raw materials -Wood logs -Wood chips - Saw mill residues	Surowce: - bale drewna - zrębki - wióry tartaczne

Sulphite pulp mill/NSSC mill*	Zakład produkujący masę celulozową siarczynową/zakład stosujący metodę NSSC*
Wood-handling	Przetwarzanie drewna
Cooking	Warzenie
Screening	Przesiewanie
Washing	Mycie
O <sub>2</sub> - delignification	Delignifikacja tlenowa
Bleaching	Bielenie
Chemical and energy recovery system	System odzyskiwania energii i substancji chemicznych
Bleaching chemicals preparation	Przygotowanie substancji chemicznych do bielenia
Pulp drying	Suszenie masy
Auxiliary boiler	Kocioł pomocniczy
Waste water treatment	Oczyszczanie ścieków
Waste handling	Obróbka odpadów
Steam, warm water	Para, gorąca woda
Products -Pumped pulp to papermill -Market pulp -Dried pulp -Viscose	Produkty: - masa celulozowa pompowana do papierni - masa celulozowa do sprzedaży na rynek - suszona masa - wiskoza
-Speciality chemicals	-Specjalne substancje chemiczne
By-products	Produkty uboczne
Noise	Hałas
Waste heat to air and water	Ciepło odpadowe odprowadzane do powietrza i wody
Energy	Energia
Solid waste	Odpady stałe
Waste water	Ścieki
Air emissions	Emisje do powietrza
-Acetic acid -Ethanol, methanol -Xylose, yeast, furfural -Lignosulphonates	- kwas octowy - etanol, metanol - ksyloza, drożdże, furfural - lignosulfoniany
NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , CO, CO <sub>2</sub> , dust odorous compounds (organic acids) VOC, chlorine compounds, visible plume	NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , CO, CO <sub>2</sub> , związki pachnące pyłem (kwasy organiczne), LZO, związki chloru, widoczne smugi
-Organic substances (COD, BOD) - Extractives compounds like resin acids - Chlorinated organics (AOX), chlorate - Nitrogen, phosphorus -Suspended solids - Metals, salts, EDTA/DTPA -Coloured substances	- substancje organiczne (ChZT, BZT) - dające się wyekstrahować związki takie jak kwasy żywiczne - adsorbowalne związki chloroorganiczne (AOX), chloran - azot, fosfor - zawiesiny - metale, sole, EDTA/DTPA - substancje kolorowe
-Boiler ashes and slags	- Popioły i żuźle z kotła
-Sludge from acid clarifiers	- Osad z osadników kwasu
-Wood and bark waste	- Odpady z drewna o kory
-Rejects from screening	- Odsiew z procesu przesiewania
-Primary and biosludge	- Osad wstępny i biologiczny
•Cleaning and mixed household type waste	• Odpady z oczyszczania i zmieszane odpady bytowe
-Others	- Pozostałe
-Small amounts of hazardous waste	- Niewielkie ilości odpadów niebezpiecznych

**\* Note: NSSC pulp mills usually operate refiners, there is no need for bleaching and the chemical recovery cycle is different**

**\* Uwaga: Celulozownie stosujące metodę NSSC zazwyczaj używają rafinerów, także nie ma potrzeby stosowania bielenia, a cykl odzysku substancji chemicznych jest inny.**

W tabeli 4.4 ukazano średnie wartości roczne z trzech zintegrowanych zakładów w Niemczech stosujących wodorosiarczyny magnezu i produkujących masę celulozową do produkcji papieru. Dlatego też dane te nie ukazują pełnego zakresu poziomów emisji z celulozowni siarczynowych. Niemniej jednak przedstawiają one ogólny zarys głównych strumieni wejściowych (surowców, paliw i zużycia wody) oraz poziomów emisji do wody i powietrza, w tym pozostałości, których można się spodziewać w typowej celulozowni siarczynowej.

**Tabela 4. 4 Średnie wartości roczne dotyczące konkretnych danych wejściowych/wyjściowych z trzech zintegrowanych celulozowni i papierni siarczynowych, produkujących łącznie ok. 462 000 t powietrznie suchej masy rocznie**

Środki produkcji (3 przykładowe zakłady, dane z 2008 r.)			Produkcja (3 przykładowe zakłady, dane z 2008 r.)		
Surowce	Wartość	Jedn. <sup>(1)</sup>	Produkt	Wartość	Jednostka
Drewno (wysuszone w piecu)	~ 2,1	t/t pow. s.m.	Bielona masa celulozowa	1	t pow. s.m.
SO <sub>2</sub> jako S	28 – 32	kg/t pow. s.m.			
MgO	9,5 – 24	kg/t pow. s.m.	<b>Emisje po oczyszczeniu</b>		
NaOH	26 – 30	kg/t pow. s.m.	CO <sub>2</sub>	brak danych	kg/t pow. s.m.
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4	kg/t pow. s.m.	CO <sub>2</sub> , regeneracyjny	brak danych	kg/t pow. s.m.
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	21 – 26	kg/t pow. s.m.	NOX	0,96 – 1,9	kg/t pow. s.m.
DTPA	1,3 – 3	kg/t pow. s.m.	CO	0,03 – 1,12	kg/t pow. s.m.
<b>Energia</b>			SO <sub>2</sub> -S	0,77 – 1,11	kg/t pow.
Olej	brak danych	MJ/t pow. s.m.	Pył	0,03 – 0,07	kg/t pow. s.m.
Węgiel	brak danych	MJ/t pow. s.m.	ChZT	21 – 25,5	kg/t pow. s.m.
Gaz ziemny	brak danych	MJ/t pow. s.m.	BZT	0,45 – 1,2	kg/t pow. s.m.
Zakupiona energia elektryczna	brak danych	kWh/t	Zawiesiny	0,4 – 1,2	kg/t pow. s.m.
Całkowita energia pierwotna <sup>(2)</sup>	brak danych	kWh/t	AOX	<0,002	kg/t pow. s.m.
			N <sub>nieorg.</sub>	0,09 – 0,4	kg/t pow. s.m.
			Całkowity fosfor	0,01 – 0,06	kg/t pow. s.m.
			Strumień ścieków	43,5 – 65	m <sup>3</sup> /t pow. s.m.
<b>Zużycie wody</b>			<b>Pozostałości</b>		
Świeża woda/nieoczyszczona	43,5 – 65	m <sup>3</sup> /t pow. s.m.	Osady (90% suchej masy)	24 – 29	kg/t pow. s.m.
			Popiół z kotła energetycznego i odsiarczania	13 – 33	kg/t pow. s.m.



## Uwaga:

- (1) t pow. s.m. = tona powietrznie suchej masy celulozowej
- (2) Nie uwzględniono tu emisji do powietrza z zakupionej energii elektrycznej.
- (3) Emisje do powietrza dotyczą wyłącznie kotła odzysknicowego. Nie uwzględniono tu emisji z kotłów korowych i kotłów pomocniczych.
- (4) Dane dotyczą wyłącznie celulozowni. Emisje z produkcji papieru trzeba uwzględniać osobno.

Źródło: [ 236, COM 2009 ]

Dane dotyczą wyłącznie produkcji masy celulozowej, co oznacza, że nie uwzględniono tu produkcji papieru. Dane dotyczące emisji do wody odzwierciedlają sytuację po oczyszczaniu biologicznym. Dane dotyczące emisji do powietrza odzwierciedlają sytuację po redukcji.

W przypadku zakładów siarczynowych wytwarzających masę celulozową do przerobu chemicznego poziomy zużycia i emisji różnią się w odniesieniu do wielu aspektów: surowca drzewnego jest znacznie więcej (2,6 tony/tonę bezwzględnie suchej masy celulozowej), tak samo jak i dawki NaOH, wymaganego do uzyskania oczyszczonej masy celulozowej o wysokiej zawartości alfa-celulozy. Podczas korzystania ze zużytych substancji żrących z zakładu wiskozy w jednym z zakładów produkujących masę celulozową do przerobu chemicznego dodaje się do 80 kg NaOH/t powietrznie suchej masy celulozowej. Jeśli chodzi o bilans energetyczny celulozownia generuje 140% zużywanej w niej energii, przekazując nadmiar do zakładu, w którym wytwarza się włókna wiskozy.

## 4.2.2 Poziomy zużycia i emisji wynikające z działania linii technicznych

Niniejszy podrozdział dotyczy wszystkich rodzajów celulozowni siarczynowych, w tym zakładów produkujących masę celulozową metodą NSSC.

Podczas roztwarzania siarczynowego interesuje nas głównie zużycie energii, strumień ścieków, emisje generowane podczas przetwarzania ługu powarzelnego (o ile jako zasadę stosuje się wapń) i emisji do powietrza. Gazy o nieprzyjemnym zapachu, hałas lub niedogodności związane z transportem surowców i produktów końcowych również mogą budzić obawy na sąsiadujących terenach. Poniżej omówiono najistotniejsze kwestie takie jak zużycie surowców i emisje zanieczyszczeń (odpadów) do wody, powietrza i gleby, jak również aspekty związane z energią, pod uwagę biorąc przy tym następujące aspekty:

- zużycie drewna;
- zużycie chemikaliów;
- zapotrzebowanie na energię;
- zużycie wody i emisje ścieków z różnych etapów procesu oraz całość ścieków, w tym:
  - odpady z płukania,
  - odprowadzanie ścieków z bielarni,
  - kondensat z parowników,
  - wycieki,
  - emisje składników odżywczych,
  - emisje środków chelatujących,
  - związki chloru z bielenia i preparat chemiczny do bielenia (tylko w przypadku nielicznych celulozowni z produkcją bez chloru pierwiastkowego),
  - emisje metali (w zależności od używanego źródła drewna);
- emisje do powietrza ze źródeł punktowych (kotła odzysknicowego, kotłów pomocniczych);
- gazy o nieprzyjemnym zapachu i emisje rozproszone;
- wytwarzanie odpadów stałych;
- hałas.

W przypadku gdy dostępne są dane na temat emisji (odpadów) do wody, powietrza, gleby, podaje się je przed i po oczyszczaniu zewnętrznym.

### 4.2.2.1 Zużycie drewna

W procesie roztwarzania siarczynowego jako surowiec można stosować zarówno drewno drzew iglastych (głównie świerk), jak i drewno drzew liściastych (głównie bukowego lub eukaliptusowy). Wykorzystuje się również bale, zrębki i wióry. W kilku zakładach wykorzystuje się jedynie wióry. Zużycie drewna i wydajność na potrzeby produkcji masy celulozowej bielonej zależy od selektywności delignifikacji i bielenia, gatunku zastosowanego drewna i rodzaju stosowanego roztwarzania siarczynowego (patrz podrozdział 4.1.1).

Drewno potrzebne do produkcji tony bielonej masy siarczynowej do produkcji papieru to zwykle 1,8-2,1 tony bezwzględnie suchego drewna/t powietrznie suchej masy celulozowej.

Ze względu na nieznacznie wyższą wydajność procesu z zastosowaniem metody magnefite (w porównaniu do procesu siarczynowego) zużycie drewna jest nieco niższe. Masa celulozowa powstała przy użyciu metody magnefite różni się od masy siarczynowej pod względem tego, że w jej przypadku istnieje możliwość wykorzystania sosny.

W przypadku masy celulozowej do przerobu chemicznego (w produkcji wiskozy) surowca drzewnego jest znacznie więcej: ze względu na niższą wydajność w zakładzie stosuje się około 2,6 tony bezwzględnie suchego drewna/t powietrznie suchej masy celulozowej.

W przypadku masy specjalnej zużycie drewna różni się w dużej mierze zasadniczo w zależności od stopnia ekstrakcji hemicelulozy i wynosi 2,2-2,8 tony bezwzględnie suchego drewna/t powietrznie suchej masy celulozowej. Na wskaźnik ten wpływ ma również gatunek drewna oraz rodzaj wytwarzanych produktów.

Celulozownia stosująca metodę NSSC odnotowała zużycie drewna na poziomie 2,4-2,9 m<sup>3</sup> niekorowanego drewna/t powietrznie suchej masy celulozowej. Odpowiada to około 1,1 tony bezwzględnie suchego drewna/t bezwzględnie suchej masy celulozowej. Głównym surowcem w tym przypadku jest brzoza. Można również wykorzystać świerk, osikę, olchę lub pozostałości z procesu pozyskiwania drewna. Wydajność produkcji zależy również od gatunku zastosowanego drewna.

#### 4.2.2.2 Zużycie chemikaliów

Zużycie chemikaliów w pewnym stopniu różni się w zależności od zakładu. Niemniej jednak w tabeli 4.5 podano typowe zużycie głównych substancji chemicznych do wytwarzania masy celulozowej siarczynowej.

Tabela 4. 5 Zużycie głównych chemikaliów w produkcji masy celulozowej siarczynowej

Chemikalia używane do produkcji białej masy celulozowej	Ilość [kg/t pow. s.m.]
NaOH	10 – 55
O <sub>2</sub>	0 – 15
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (100 %)	10 – 40
EDTA lub DTPA	0 – 3
O <sub>3</sub> <sup>(1)</sup>	0 – 5
S (zakłady używają albo S w postaci stałej, albo SO <sub>2</sub> w postaci ciekłej)	20 – 40 (maks. 90)
SO <sub>2</sub> (zakłady używają albo S, albo SO <sub>2</sub> )	0 – 70
MgO	15 – 25
Środki przeciwpieniące	1,31 (1 zakład)
Środki dyspergujące do żywicy	0,43 (1 zakład)
Środki czyszczące	b.d.
Uwaga: (1) W celulozowniach siarczynowych zazwyczaj nie używa się ozonu. Jednak w dwóch zakładach produkujących masę celulozową do przerobu chemicznego i w jednym produkującym masę papierniczą wdrożono etap bielenia ozonem. Zakłady stosujące metodę NSSC nie używają środków bielących ani środków kompleksujących (niebielona masa celulozowa). Główne chemikalia to NaOH lub NaCO <sub>3</sub> (warzenie na bazie Na) i S lub SO <sub>2</sub> .	

W szwedzkiej celulozowni produkującej masę celulozową białoną do produkcji papieru wysokogatunkowego odnotowano następujące zużycie chemikaliów na tonę masy celulozowej: 50 kg wodorotlenku sodu, 14 kg tlenu, 1,8 kg EDTA, 2 kg kwasu nadoctowego (drewno drzew iglastych) i 37 kg nadtlenu wodoru. Sekwencje bielenia są następujące: (E + O) Q (E + P + O) (O + P)-O-(Paa-P) w przypadku drewna drzew iglastych i (O + P)-Q-P w przypadku drewna drzew liściastych.

#### 4.2.2.3 Zużycie energii

W celulozowniach siarczynowych większość energii cieplnej zużywa się na ogrzewanie komór fermentacyjnych podczas bielenia (ogrzewanie procesu w celu przyspieszenia i regulowania reakcji chemicznych), ewentualnie do suszenia masy celulozowej i do odparowywania słabego ługu do 58-60% zawartości suchej masy. Energia elektryczna zużywana jest głównie do transportu materiałów i wody (pompowania) oraz do utrzymywania odpowiedniego ciśnienia w komorach fermentacyjnych i w bielarni.

Na wytwarzanie białej masy siarczynowej zużywa się około 7,5-16,5 GJ energii cieplnej/t powietrznie suchej masy (z wyjątkiem pary do wytwarzania energii elektrycznej). Niższe stężenie uzyskuje się, gdy wytwarzana jest masa papiernicza i nie odbywa się suszenie masy

celulozowej (masa do pompowania). Zużycie energii elektrycznej wynosi 550-900 kWh/t powietrznie suchej masy celulozowej [ 236, COM 2009 ]. Zużycie energii na suszenie masy celulozowej wynosi około 25% energii cieplnej i 15-20% energii elektrycznej. Około 50% zużycia energii elektrycznej wykorzystuje się do pompowania. W przypadku gdy do bielenia stosuje się ozon, całkowite zużycie energii elektrycznej może osiągnąć poziom 990 kWh/t powietrznie suchej masy. Zużycie energii zależy od konfiguracji procesu, wyposażenia technologicznego, efektywności regulacji procesu i asortymentu produktów.

W tabeli 4.6 poniżej przedstawiono przykładowe odnotowane zużycie energii netto w niektórych europejskich celulozowniach i papierniach siarczynowych jako energię cieplną (wyluczając energię do wytwarzania energii przy użyciu technologii przeciwprężnej) i energię elektryczną na potrzeby niezintegrowanej lub zintegrowanej produkcji masy siarczynowej. W tym ostatnim przypadku dane dotyczące energii dotyczą wyłącznie wytwarzania masy celulozowej.

**Tabela 4. 6 Przykładowe zużycie energii w niektórych europejskich celulozowniach i papierniach siarczynowych w 2008 r.**

Gatunek masy celulozowej	Ciepło procesowe	Moc elektryczna [kWh/t pow. s.m.]
Produkcja masy celulozowej siarczynowej bielonej; w przypadku zakładów zintegrowanych dane dotyczą wyłącznie produkcji masy celulozowej (masy nadającej się do pompowania)	7,5 – 8,5	550 – 750
Produkcja masy celulozowej siarczynowej bielonej; dane dotyczą do powietrznie suchej masy celulozowej (w tym w suszarce): potencjalnie uwzględniono tu też wytwarzanie produktów ubocznych.	13,5	880
Produkcja masy celulozowej bielonej do produkcji wiskozy i zastosowań chemicznych; dane dotyczą powietrznie suchej masy celulozowej (w tym w suszarkach).	16,5	900
Źródło: [ 236, COM 2009 ]		

Nie przedstawiono żadnych danych na temat stanu efektywności energetycznej prezentowanych zakładów. Na podstawie dostępnych danych pochodzących z wypełnionych kwestionariuszy w tabeli 4.7 i tabeli 4.8 podsumowano zużycie energii w odniesieniu do dwóch różnych typów zakładów w rozbiciu na podprocesy. W ten sposób można określić główne etapy procesu, w których zużywana jest energia. Widać wyraźnie, że odnotowywany poziom energii nadal różni się w zależności od zakładu i uwzględniono w nim inne wyposażenie o różnych poziomach szczegółowości. Dane liczbowe ukazują stopniowo modernizowane zakłady, które wybudowano wiele lat temu, a dopiero później je aktualizowano i modernizowano (rok referencyjny: 2008). W nowo wybudowanym lub niedawno zmodernizowanym zakładzie wartości te najprawdopodobniej byłyby niższe.

Tabela 4. 7 Zużycie energii na potrzeby produkcji bielonej masy siarczynowej

Linia technologiczna	Ciepło procesowe (para), całkowite zużycie netto	Moc elektryczna, pobór netto [kWh/t pow. s.m.]	Uwagi
Hala przygotowania	0.185	14	obróbka, korowanie, zrębkowanie
Warzenie	2 314	129	
Płukanie i przesiewanie	-	-	brak danych, normalnie w zakresie 45-55 kWh/t pow. s.m.
Bielenie	1 456	248	brak delignifikacji tlenowej
Przesiewanie masy bielonej	-	-	brak danych, normalnie w zakresie 30-40 kWh/t pow. s.m.
Suszenie masy	-	-	Dane dotyczą masy celulozowej nadającej się do pompowania. Na suszenie masy zużywa się ok. 2.8-3 GJ/t pow. s.m. i 100 kWh/t pow. s.m. mocy.
Odparowywanie i odpędzanie	3 840	42	dane nieuwzględniające odpędzania
Kocioł odzysknicowy	0,291	286	w tym odsiarczanie spalin
Kocioł pomocniczy	-	-	Dotyczy produkcji papieru.
Oczyszczanie ścieków	-	-	brak danych, normalnie w zakresie 9-15 kWh/t pow. s.m.
Przygotowanie substancji chemicznych do bielenia	-	-	brak danych
Informacje różne, celulozownia	-	12	brak
<b>łącznie w zakładzie</b>	<b>8 086</b>	<b>731</b>	
Uwaga: Stosuje się podobny odsetek drewna drzew liściastych i drzew iglastych. Dane dotyczą „tony powietrznie suchej masy”, ale proces kończy się na etapie produkcji masy nadającej się do pompowania.			
Źródło: [ 236, COM 2009 ]			

Jak wskazano w prawej kolumnie w tabeli 4.7, zestaw danych nie jest kompletny. Granice systemu i przedmiotowe procesy nie zawsze są przejrzyste. Dane dotyczą odnoszą masy nadającej się do pompowania, tj. nie uwzględniono suszarki do suszenia masy celulozowej. Dane dotyczące zużycia energii mogą stanowić jedynie szacunkowe wskazanie głównych odbiorników energii w celulozowni produkującej masę celulozową siarczynową i przybliżonych wartości dotyczących całkowitego zużycia energii netto.

W przeciwieństwie do tabeli 4.7 w tabeli 4.8 ukazano suszenie masy celulozowej, zużycie energii w elektrowni, oczyszczanie wody nieoczyszczonej i ścieków oraz dużą ilość energii, zużywaną w ramach różnych procesów, w tym straty i potencjalne błędy pomiarowe.

Tabela 4. 8 Odnotowane zużycie energii na potrzeby produkcji bielonej masy siarczynowej

Dział	Ciepło procesowe (para), całkowite zużycie netto [GJ/t pow. s.m.]	Moc elektryczna, pobór netto [kWh/t pow. s.m.]	Uwagi
Hala przygotowania drewna		36,3	obróbka, korowanie, zrębkowanie
Warzenie	2 577	124,5	
Płukanie i przesiewanie	---		
Delignifikacja	0,421	140,0	
Bielenie	0,266		
Przesiewanie masy bielonej	---	119,4	
Suszenie masy	3 024		
Odparowywanie i odpędzanie	4 118	104,2	
Kocioł odzysknicowy	0,197	18,5	
Kotły pomocnicze		75,4	Elektrownia
Odzysk wtórny	0,068	32,2	
Oczyszczanie wody nieoczyszczonej i ścieków	--	75,4	brak danych
Przygotowanie substancji chemicznych do bielenia	0,182	92,9	brak danych
Informacje różne, celulozownia	2 705	60,8	Niezmierzone straty, błędy w pomiarach
<b>łącznie w zakładzie</b>	<b>13 656 (*)</b>	<b>879,6</b>	

Uwaga:  
Przeważnie stosuje się drewno drzew iglastych. Dane dotyczą tony powietrznie suchej masy celulozowej i uwzględniono w nich suszarkę do suszenia masy i powstawanie produktów ubocznych.  
(\*) W tym przypadku suma odnotowana przez operatora zakładu się nie zgadza. Ze względu na trudności z pomiarem ciepła procesowego ze wszystkich sekcji bardzo trudna do ustalenia jest wartość łączna sumująca zużycie energii różnych sekcji. Podczas mapowania energii elektrycznej ostateczna suma rzadko się zgadza, ponieważ podczas mapowania mogą odbywać się różne cykle procesowe. Za pomocą tych tabel można zatem jedynie szacunkowo wskazać na główne odbiorniki energii w zakładzie.  
Źródło: [ 236, COM 2009 ]

Celulozownie siarczynowe to instalacje zużywające dużo energii. Jednocześnie w zakładzie na podstawie przeważnie paliw regeneracyjnych wytwarzają one parę i energię elektryczną. Niezintegrowane celulozownie siarczynowe są pod względem energii w około 90% samowystarczalne (jeśli działają przy nich jednostki odzysku substancji chemicznych i energii). Wynika to głównie z odzyskiwania energii poprzez wypalanie około 50% drewna dostarczanego do kotła odzysknicowego (stężony ług czarny) i wykorzystania kory w kotle jako paliwa pomocniczego. Poza tym z różnych etapów procesu można odzyskać energię w postaci ciepłej i gorącej wody (40-80 °C). W zakładach, w których działają kotły odzysknicowe, paliwa kopalne wykorzystuje się głównie jako paliwo dodatkowe w razie zakłóceń oraz do celów rozruchu i ognia podtrzymującego w kotle odzysknicowym (np. olej lub gaz ziemny) oraz w kotłach pomocniczych. Wykorzystuje się również paliwa kopalne, gdy zatrzymana zostanie płuczka do absorpcji SO<sub>2</sub> w celu jej oczyszczenia.

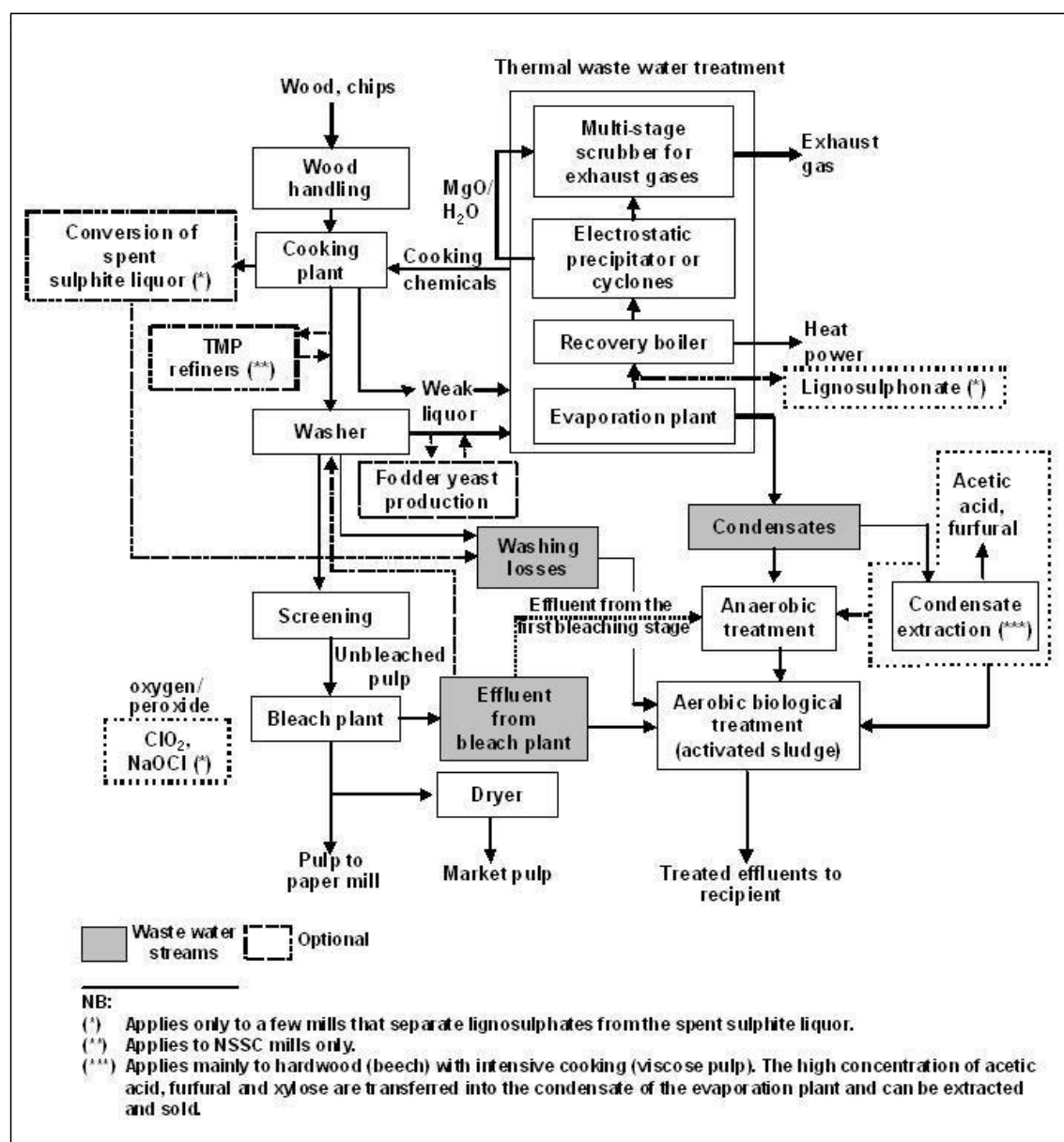
Kocioł odzysknicowy działa jako elektrownia, w której spala się stężony ług powarzalny. Powstałą energię cieplną wykorzystuje się do wytwarzania wysokiego ciśnienia, przegrzanej pary. Częściowo energię w postaci pary pod wysokim ciśnieniem wykorzystuje się do wytwarzania energii elektrycznej w turbinie przeciwprężnej. Parę pod średnim ciśnieniem pochodzącą z turbiny i odprowadzaną parę pod niskim ciśnieniem wykorzystuje się do pokrycia zapotrzebowania na energię cieplną w procesie roztwarzania. Celulozownie siarczynowe, przy których działają kotły odzysknicowe, pod względem energii są niemal samowystarczalne i jedynie w ograniczonym zakresie potrzebują zaopatrzenia w energię z paliw kopalnych.

Te nieliczne zakłady w Europie, w których nie działają kotły odzysknicowe lub kotły na biomasę, muszą generować parę i wytwarzać energię elektryczną w całości z paliw kopalnych.

W zintegrowanym zakładzie celulozowo-papierniczym nadmierna ilość energii cieplnej wytwarzanej przez celulozownię nie wystarcza do pokrycia zużycia energii przy produkcji papieru. Dodatkowo zapotrzebowanie na energię cieplną trzeba zaspokoić z ciepła wytwarzanego w kotłach na drewno/korę i w kotłach pomocniczych. Paliwa kopalne wykorzystuje się również w kotłach korowych i w kotłach na osady jako paliwo pomocnicze i w kotłach pomocniczych jako paliwo główne. Szczyty w zużyciu energii często zaspokaja się za pomocą bloku parowego zasilanego z paliw kopalnych.

#### 4.2.2.4 Strumień ścieków i emisje do wody

Na rysunku 4.13 przedstawiono ogólny zarys głównych procesów związanych z roztwarzaniem siarczynowym i głównych źródeł emisji do wody. Emisje do wody pochodzą z różnych procesów, głównie z odpadów po płukaniu, ze ścieków z zakładu bielenia i z kondensatów z zakładu odparowywania. Zaliczają się do nich również przypadkowe wycieki. Niemniej jednak w dobrze zarządzanych zakładach siarczynowych wycieki, których nie udało się odzyskać, prawie że nie występują.

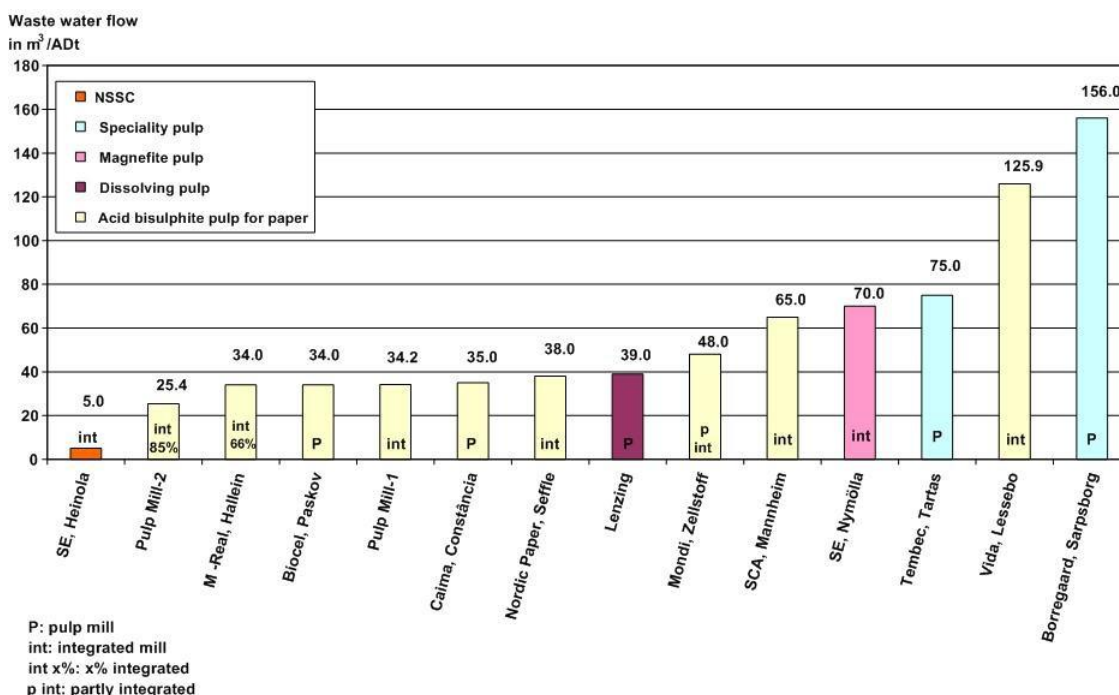


Rysunek 4. 13 Główne źródła emisji do wody z procesu roztwarzania siarczynowego

Wood, chips	Drewno, zrębki
Thermal waste water treatment	Termiczna obróbka ścieków
Wood handling	Obróbka drewna
Conversion of spent sulphite liquor (*)	Przetwarzanie ługu powarzelnego (*)
Cooking plant	Instalacja warzelnicza
Multi-stage scrubber for exhaust gases	Wielostopniowe płuczki spalin
Exhaust gas	Spaliny
Electrostatic precipitator or cyclones	Elektrofiltr lub cyklony
TMP refiners (**)	Rafinery masy termomechanicznej (**)
Cooking chemicals	Substancje chemiczne do warzenia
Recovery boiler	Kocioł odzysknicowy
Heat power	Energia cieplna
Weak liquor	Słaby ług
Washer	Płuczka
Evaporation plant	Instalacja odparowująca
Lignosulphonate (*)	Lignosulfoniany (*)
Fodder yeast production	Wytwarzanie drożdży paszowych
Washing losses	Odpady z płukania
Condensates	Kondensat
Acetic acid, furfural	Kwas octowy, furfural
Screening	Przesiewanie
oxygen / peroxide	tlen/nadtlenek
Bleach plant	Bielarnia
Unbleached pulp	Niebielona masa celulozowa
Effluent from the first bleaching stage	Ścieki z pierwszego etapu bielenia
Anaerobic treatment	Oczyszczanie beztlenowe
Condensate extraction (***)	Kondensat z ekstrakcji (***)
Effluent from bleach plant	Ścieki z bielarni
Aerobic biological treatment (activated sludge)	Biologiczne oczyszczanie tlenowe (osad czynny)
Dryer	Suszarka
Pulp to paper mill	Masa celulozowa do papierni
Market pulp	Masa celulozowa do sprzedaży na rynek
Treated effluents to recipient	Oczyszczone ścieki do odbiornika
Waste water streams	Strumienie ścieków
Optional	Opcjonalnie
NB:	Uwaga:
(*) Applies only to a few mills that separate lignosulphates from the spent sulphite liquor.	(*) Dotyczy jedynie kilku zakładów, w których z ługu powarzelnego siarczynowego oddziela się lignosulfoniany.
(**) Applies to NSSC mills only.	(**) Dotyczy tylko młynów stosujących metodę NSSC.
(***) Applies mainly to hardwood (beech) with intensive cooking (viscose pulp). The high concentration of acetic acid, furfural and xylose are transferred into the condensate of the evaporation plant and can be extracted and sold.	(***) Dotyczy głównie drewna drzew liściastych (buku) z intensywnego warzenia (miazga wiskozowa). Wysokie stężenie kwasu octowego, furfuralu i ksylozy przenosi się do kondensatu w instalacji odparowywania i można je wyekstrahować a następnie sprzedać.



Krótki zarys dotyczący ilości ścieków odprowadzanych (średniorocznie) z różnych celulozowni siarczynowych przedstawiono na rysunku 4.14. Odnotowane wartości mieszczą się w zakresie od 25 m<sup>3</sup>/t pow. s.m. do 156 m<sup>3</sup>/t pow. s.m.



Źródło: Zestawy danych/kwestionariusze.

Rysunek 4. 14 Ścieki odprowadzane (średniorocznie) z różnych celulozowni siarczynowych

Waste water flow in m3/ADt	Przepływ ścieków w m3/t pow. s.m.
NSSC	Metoda NSSC
Speciality pulp	Masa specjalna
Magnefite pulp	Masa wyprodukowana metodą magnefite
Dissolving pulp	Masa celulozowa do przerobu chemicznego
Acid bisulphite pulp for paper	Masa wodorosiarczynowa do wytwarzania papieru
P: pulp mill	P: celulozownia
int: integrated mill	int: zakład zintegrowany
int x%: x% integrated	int x%: x% zintegrowania
p int: partly integrated	p int: częściowo zintegrowane
Source: data collection/questionnaires	Źródło: zestawy danych/kwestionariusze.

Obecne poziomy emisji z różnych rodzajów celulozowni siarczynowych przedstawione w tabeli 4.9 obrazują zakres emisji występujących w Europie. Przy większości zakładów działają oczyszczalnie biologiczne.

Tabela 4. 9 Odnotowane w 2008 r. zakresy średniorocznych zrzutów ścieków z różnych rodzajów europejskich celulozowni siarczynowych po oczyszczaniu ścieków

Technologia roztwarzania i wytwarzane produkty	Przepływ m <sup>3</sup> /t pow. s.m.	BZT <sub>5/7</sub> kg/t pow. s.m.	ChZT kg/t pow. s.m.	AOX kg/t pow. s.m.	P ogółem kg/t pow. s.m.	N ogółem kg/t pow. s.m.	zawiesina ogólna kg/t pow.
Masa celulozowa do produkcji papieru	35 – 65 [25 - 126] (2)	0,25 – 1,2	10 – 42 [10-120] (2)	<0,001 - 0,03	0,02 – 0,10 [0,01 – 0,17] (2)	0,17 – 0,2	0,62 – 3,7 [16]

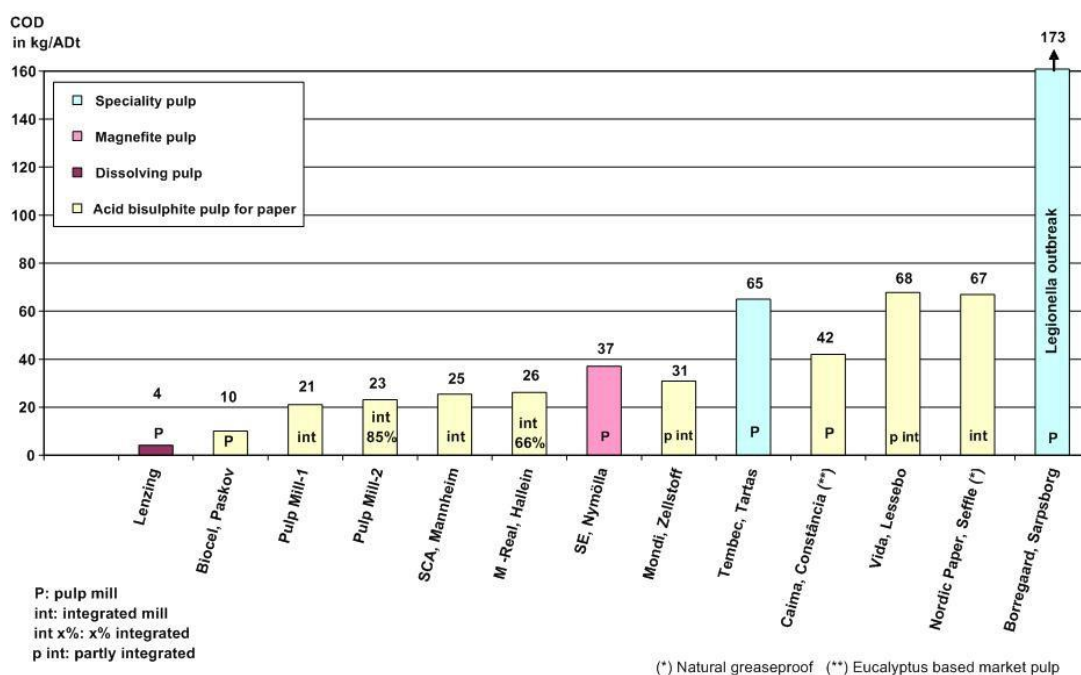
Masa celulozowa do produkcji papieru metodą magnefite <sup>(1)</sup>	45 – 70	0,7 – 2,0	30 – 40	0	0,03 – 0,15	0,17 – 0,25	1,0 – 4,0
Masa celulozowa do przerobu chemicznego do produkcji tekstylnej <sup>(4)</sup>	40	niewykrywane	4	<0,002	<0,01	<0,1	0,25
Specjalna masa celulozowa do zastosowań chemicznych <sup>(1)</sup>	40 - 75 [156] <sup>(2)</sup> <sup>(3)</sup>	4,1 – 23	58 – 145 [41, 58–62, 173] <sup>(2)</sup>	0,2 – 0,75	[0,14] 0,25	1,1 (więcej w przypadku zasady NH <sub>4</sub> : 2,5)	6,1 – 16
Zakłady stosujące metodę NSSC, bez bielenia	11 – 20	0,7 – 1	5 – 10	-	0,01 – 0,02	0,1 – 1,6	0,5 – 1
<p><i>Źródło:</i>          Poziomy emisji pochodzą z osobistej korespondencji z różnymi zakładami i z wypełnionych kwestionariuszy.          (1)[CEPI]          (2)Dane liczbowe w nawiasach kwadratowych pochodzą z zestawów danych/kwestionariuszy.          (3)Wyższy poziom zestawów danych/kwestionariuszy. 156 m<sup>3</sup>/t pow. s.m. nie uwzględnione w uwagach.          (4)Dane tylko z jednego zakładu.</p>							

W wielu przypadkach w strumieniu znajduje się również woda przemysłowa oraz woda do chłodzenia. Wynika to z faktu, iż w wielu zakładach wodę do chłodzenia wykorzystuje się następnie jako wodę przemysłową. W innych nieskażoną wodę do chłodzenia odprowadza się osobno.

Poszczególne emisje zanieczyszczeń szczegółowo omówiono poniżej.

### Emisje substancji organicznych

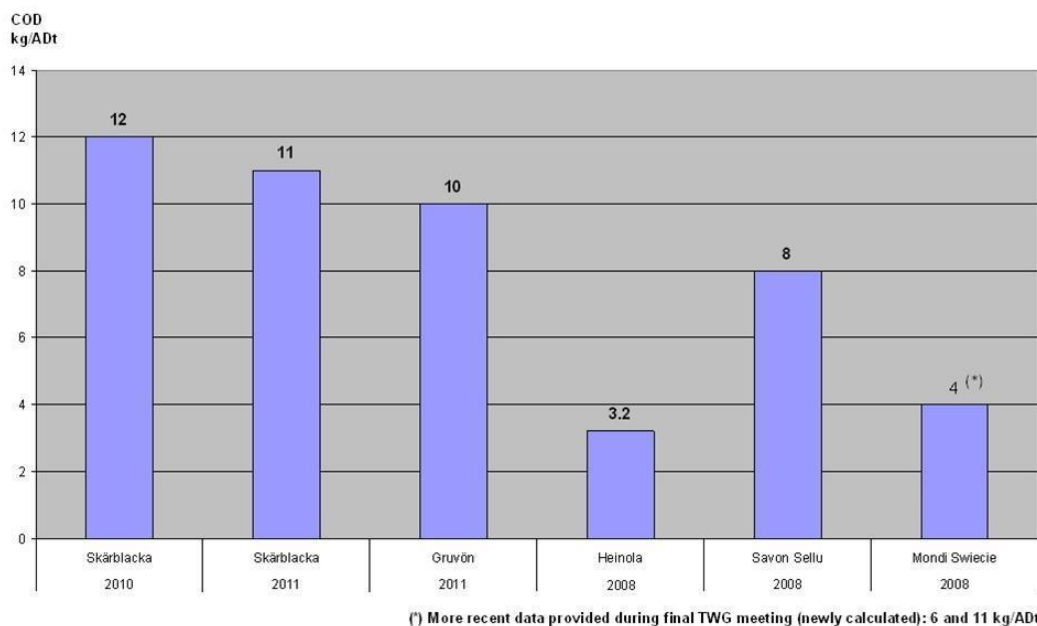
Substancje organiczne odprowadzane po ich oczyszczeniu na ogół kształtują się na poziomie od 4 kg ChZT/t powietrznie suchej masy celulozowej do 173 kg ChZT/t powietrznie suchej masy celulozowej (dane dotyczące ChZT w odniesieniu do różnych rodzajów zakładów przedstawiono na rys. 4.15 i 4.16). Najwyższa wartość dotyczy celulozowni, w której ze względu na wykrycie ogniska bakterii legionella trzeba było zamknąć oczyszczalnię ścieków.



Źródło: zestawy danych/kwestionariusze.

Rysunek 4. 15 Średnie wartości roczne indywidualnych ładunków ChZT z celulozowni siarczynowych (wyluczając zakłady stosujące metodę NSSC)

COD in kg/ADt	ChZT w kg/t pow. s.m.
Speciality pulp	Masa specjalna
Magnefite pulp	Masa wyprodukowana metodą magnefite
Dissolving pulp	Masa celulozowa do przerobu chemicznego
Acid bisulphite pulp for paper	Masa wodorosiarczynowa do wytwarzania papieru
P: pulp mill	P: celulozownia
int: integrated mill	int: zakład zintegrowany
int x%: x% integrated	int x%: x% zintegrowania
p int: partly integrated	p int: częściowo zintegrowane
(*) Natural greaseproof	(*) Naturalne tłuszczoszczelne
(**) Eucalyptus based market pulp	(**) Masa celulozowa na bazie eukaliptusa do sprzedaży na rynek
Legionella outbreak	Wybuch epidemii bakterii Legionella
Source: data collection/questionnaires	Źródło: zestawy danych/kwestionariusze.



Źródło: opracowanie autorstwa TGR, 2013

Rysunek 4. 16 Średnie wartości roczne indywidualnych ładunków ChZT w celulozowniach stosujących metodę NSSC

COD kg/ADt	ChZT w kg/t pow. s.m.
(*) More recent data provided during final TWG meeting (newly calculated): 6 and 11 kg/ADt	(*) bardziej aktualne dane podane podczas ostatniego spotkania TGR (nowe obliczenia): 6 i 11 kg/t pow. s.m.
Source: TWG input, 2013	Źródło: opracowanie autorstwa TGR, 2013

W przypadku zakładów stosujących wodorosiarczyny magnezu ilość substancji organicznych rozpuszczonych z warzonych zrębków w otwartej części procesu (mianowicie po myciu masy celulozowej), tj. w bielarni, zazwyczaj wynosi 40-70 kg ChZT/t powietrznie suchej masy. Jednak w jednym z zakładów udało się zredukować indywidualne emisje ChZT z bielarni aż do 23 kg/t powietrznie suchej masy (Biocel Paskov, CZ). Ilość ścieków z dobrze zaprojektowanych i zarządzanych bielarni w zakładach celulozowo-papierniczych kształtuje się na poziomie 15-25 m<sup>3</sup>/t powietrznie suchej masy. W jednym zakładzie odnotowano przepływ wody z bielarni rzędu 5 m<sup>3</sup>/t powietrznie suchej masy.

Ładunek organiczny odprowadzany z bielarni wraz ze ściekami nieco się różni w zależności od tego, czy stosuje się drewno drzew liściastych, czy też drewno drzew iglastych w tym sensie, że choć ścieki z bielarni drewna iglastego zawierają mniej ChZT, to ze względu na ich skład o wiele trudniej jest je poddać oczyszczaniu biologicznemu. Poza tym w przypadku zakładów produkujących masę specjalną emisje mogą być wyższe niż podczas produkcji masy papierniczej, w szczególności w odniesieniu do produkcji bez użycia chloru, ze względu na bielenie bez chloru pierwiastkowe za pomocą ClO<sub>2</sub> jako D1, które jest bezwzględnie konieczne, a także ze względu na konieczny do przeprowadzenia etap ekstrakcji mający na celu usunięcie hemicelulozy. Strumienie powstające w wyniku tych dwóch etapów stanowią duży ładunek związków organicznych (w przypadku D1 częściowo nieulegających biodegradacji).

Ładunek ChZT w kondensatach normalnie jest znacznie wyższy w celulozowniach siarczynowych niż w zakładach siarczanowych, co wiąże się zawartością kwasu octowego i furfuralu i wynika też z tego, że odpędzanie z najbardziej zanieczyszczonych stężonych kondensatów w celulozowniach siarczynowych nie jest normalną praktyką. Odpędzanie SO<sub>2</sub> na potrzeby odzysku dwutlenku siarki oraz w celu uniknięcia zakłóceń w ramach biologicznego oczyszczania ścieków i późniejszego oczyszczania beztlenowego kondensatów ma duże znaczenie. ChZT z kondensatów następnie rozkłada się w biologicznej oczyszczalni ścieków. W przypadku zakładu Nymölla w SE w celu zmniejszenia ilości ChZT w kondensatach przed odparowywaniem dodaje się wodorotlenek magnezu. Całkowity ładunek w kondensatach przed oczyszczaniem wynosi maks. do 60-70 kg ChZT/t powietrznie suchej masy. W jednym zakładzie w kondensatach przed oczyszczaniem zarejestrowano indywidualny

ładunek wynoszący 33 kg ChZT/t powietrznie suchej masy. W ługu powarzelnym siarczynowym w postaci lotnej, w postaci wolnego kwasu występuje duża ilość kwasu octowego. W warunkach kwasowych podczas warzenia siarczynowego z ksylanazy furfural powstaje. Różnice pod względem obciążenia ChZT kondensatu pomiędzy drewnem drzew iglastych a drewnem drzew liściastych są dość niewielkie.

Poza bielarnią i kondensatami niewielka ilość ładunku organicznego pochodzi również z różnych innych mniejszych źródeł, takich jak plac drzewny, różne odpady po płukaniu, woda do płukania lub wycieki (te ostatnie w większości przypadków udaje się odzyskiwać). Zwykle te mniejsze źródła stanowią mniej niż 10% całkowitej zawartości składników organicznych w ściekach.

Przykładem indywidualnych emisji ChZT z celulozowni stosującej metodę magnefitę jest zakład Stora Enso Nymölla w SE (źródło: Nymölla, 2010): początkowy ładunek substancji organicznych wynosi około 180 kg ChZT/t powietrznie suchej masy, z czego około 20 kg odpadów po płukaniu pochodzi z instalacji warzelniczej. 100 kg odprowadza się podczas etapu z wykorzystaniem tlenu, a 30 kg ChZT/t powietrznie suchej masy celulozowej podczas etapu z udziałem nadtlenu. Między drewnem drzew liściastych a drewnem drzew iglastych występują niewielkie różnice. Przed rozpoczęciem oczyszczania biologicznego ścieki z etapu tlenowego przechodzą ultrafiltrację, podczas której usuwa się 30-35 kg niebiodegradowalnego ChZT. Po oczyszczaniu biologicznym indywidualne emisje ChZT wynoszą 43 kg ChZT/t powietrznie suchej masy.

W zakładach siarczynowych jako zasadę stosujących wapń ładunek odprowadzany do wody zazwyczaj jest wyższy niż w przypadku zakładów jako zasadę stosujących magnez, nawet jeśli podejmowane działania są porównywalne. Z trzech europejskich zakładów jako zasadę stosujących wapń jeden produkuje masę papierniczą, jeden masę celulozową do przerobu chemicznego, a jeden masę specjalną do zastosowań chemicznych. Zakłady te nie mają kotła do odzysku substancji chemicznych do warzenia i energii z ługu powarzelnego siarczynowego. Jednakże ładunek zanieczyszczeń w większości nie wynika wyłącznie z nieobecności kotła odzysknicowego. Ładunek organiczny pochodzi również z etapu odparowywania ługu powarzelnego siarczynowego, który w obu podstawowych procesach jest podobny (zasada na bazie wapnia i magnezu). Procesy pomocnicze podczas przetwarzania ługu powarzelnego siarczynowego na produkty takie jak drożdże, kwas octowy lub furfural przyczyniają się zmniejszenia obciążenia substancjami organicznymi z kondensatu, a tym samym również i ze ścieków. Z zakładów produkujących masę papierniczą i masę celulozową do przerobu chemicznego nie udało się uzyskać żadnych danych na temat faktycznego poziomu emisji oraz technik stosowanych w celu ograniczenia emisji. Podczas wytwarzania masy celulozowej do przerobu chemicznego kondensaty mają większy ładunek organiczny, ponieważ podczas warzenia hydroлізуje się więcej hemicelulozy. Ług powarzelny siarczynowy z zakładów jako zasadę stosujących wapń częściowo lub w całości można przekształcić w produkty, a w tym przypadku może po nim pozostać ładunek organiczny podobny do tego z celulozowni, które jako zasadę stosują wodorosiarczyn magnezu (źródło: na podstawie doświadczenia z Hiszpanii).

Sytuacja celulozowni jako zasadę stosującej wapń i produkującej masę papierniczą nie jest znana, ponieważ nie udało się uzyskać danych dotyczących emisji.

W tabeli 4.10 przedstawiono celulozownię siarczynową (Lenzing AG, AT), w której produkuje się masę celulozową do przerobu chemicznego wykorzystywaną do produkcji wiskozy (ładunek zanieczyszczeń przed i po oczyszczaniu).

**Tabela 4. 10 Indywidualne emisje do wody ze zintegrowanego zakładu produkującego masę celulozową do przerobu chemicznego przed i po obróbce biologicznej**

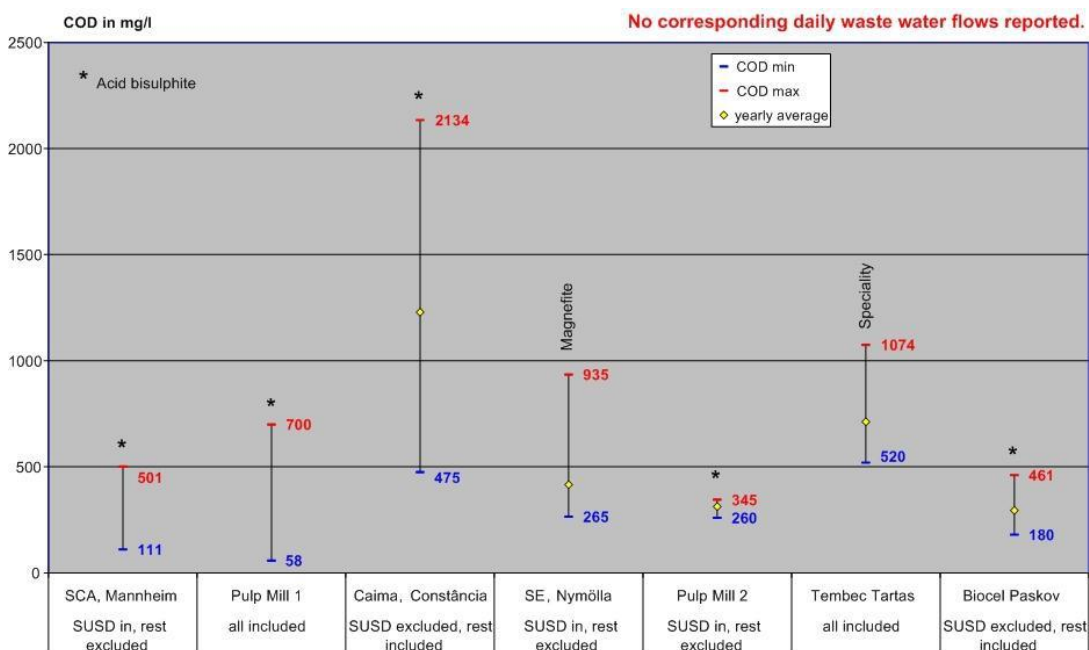
<b>ładunek ChZT przed odprowadzeniem do oczyszczalni ścieków</b>	<b>Emisje do wody po oczyszczaniu biologicznym</b>
Plac drzewny: brak osobnego pomiaru	ChZT: 4.2 kg/t
Bielenie (etap pierwszy i drugi): ~ 14.2 kg/t	BZT: niewykrywalne
Kondensat z parownika: <39 kg/t	Zawiesina ogólna: 0.22 kg/t
ładunek łącznie: 44.9 kg/t	AOX: <0.002 kg/t
Całkowity strumień: 38.3 m <sup>3</sup> /t	P łącznie: 0.005 kg/t
	N łącznie: <0.1 kg/t

## Uwaga:

Informacje o emisjach podawane są jako średnie wartości roczne za rok 2008. W omawianym zakładzie przeprowadzono dostępne środki zintegrowane z procesem, opisane w podrozdziale 4.1.1.3 i 1.1 w celu zmniejszenia ładunku odprowadzanego do wody. Ścieki z etapu EOP odparowuje się i spala, natomiast kwas octowy i furfural wyekstrahowuje z kondensatów z parownika. Pozostałe ścieki poddaje się oczyszczaniu w instalacji osadu czynnego, po którym następuje etap filtracji mający na celu zmniejszenia ilości zawiesiny, P i N.

Źródło: [ 220, Kroiß 2009 ]

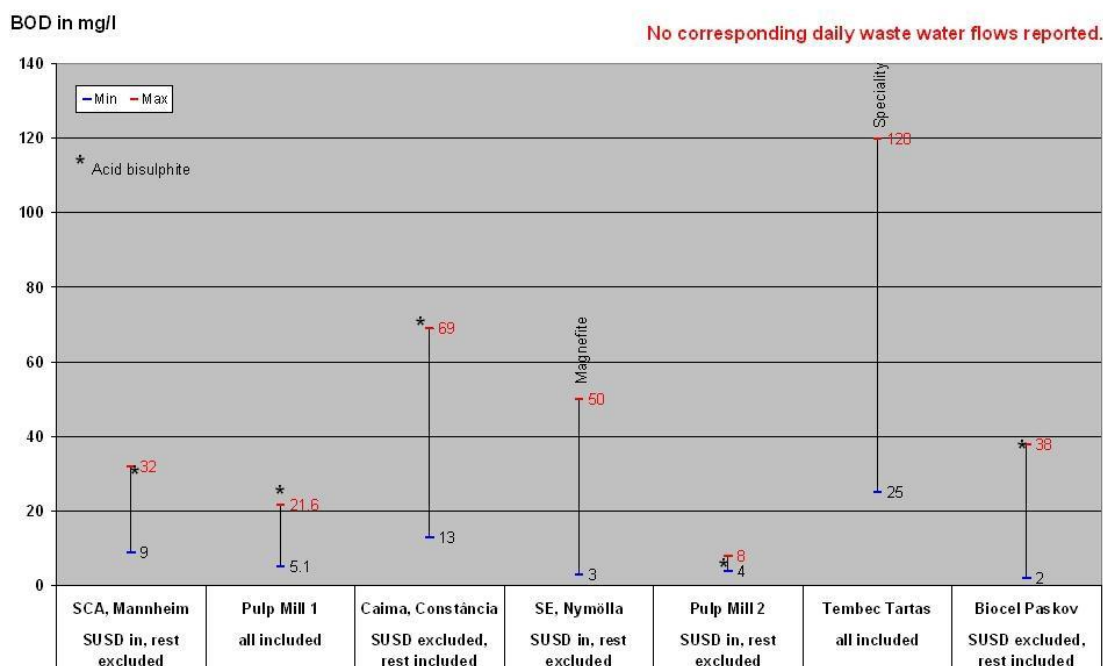
Na rysunku 4.17 i 4.18 ukazano wartości krótkoterminowe wykazane w odniesieniu do emisji ChZT i BZT.



Źródło: Kwestionariusze EIPPCB z lat 2007/2009

Rysunek 4.17 Średnie wartości krótkoterminowe dotyczące emisji ChZT z celulozowni siarczynowych

COD in mg/l	ChZT w mg/l
No corresponding daily waste water flows reported.	Nie podano odpowiednich dobowych przepływów ścieków.
COD min COD max yearly average	min. ChZT maks. ChZT średnia roczna
* Acid bisulphite	* Wodorosiarczyny
Magnetite	Metoda magnefitu
Speciality	Specjalna
SCA, Mannheim	SCA, Mannheim
SUSD in, rest excluded	Rozruch/wyłączenie uwzględnione, reszta nieuwzględniona
Pulp Mill 1 all included	Celulozownia 1, wszystko uwzględnione
Caima, Constância	Caima, Constância
SUSD excluded, rest included	Rozruch/wyłączenie nieuwzględnione, reszta uwzględniona
SE, Nymölla	SE, Nymölla
SUSD in, rest excluded	Rozruch/wyłączenie uwzględnione, reszta nieuwzględniona
Pulp Mill 2	Celulozownia 2
SUSD in, rest excluded	Rozruch/wyłączenie uwzględnione, reszta nieuwzględniona
Tembec Tartas all included	Tembec Tartas Wszystko uwzględnione
Biocel Paskov	Biocel Paskov
SUSD excluded, rest included	Rozruch/wyłączenie nieuwzględnione, reszta uwzględniona
Source: EIPPCB questionnaires from 2007/2009	Źródło: Kwestionariusze EIPPCB z lat 2007/2009



Źródło: Kwestionariusze EIPPCB z lat 2007/2009

Rysunek 4. 18 Średnie wartości krótkoterminowe dotyczące emisji BZT z celulozowni siarczynowych

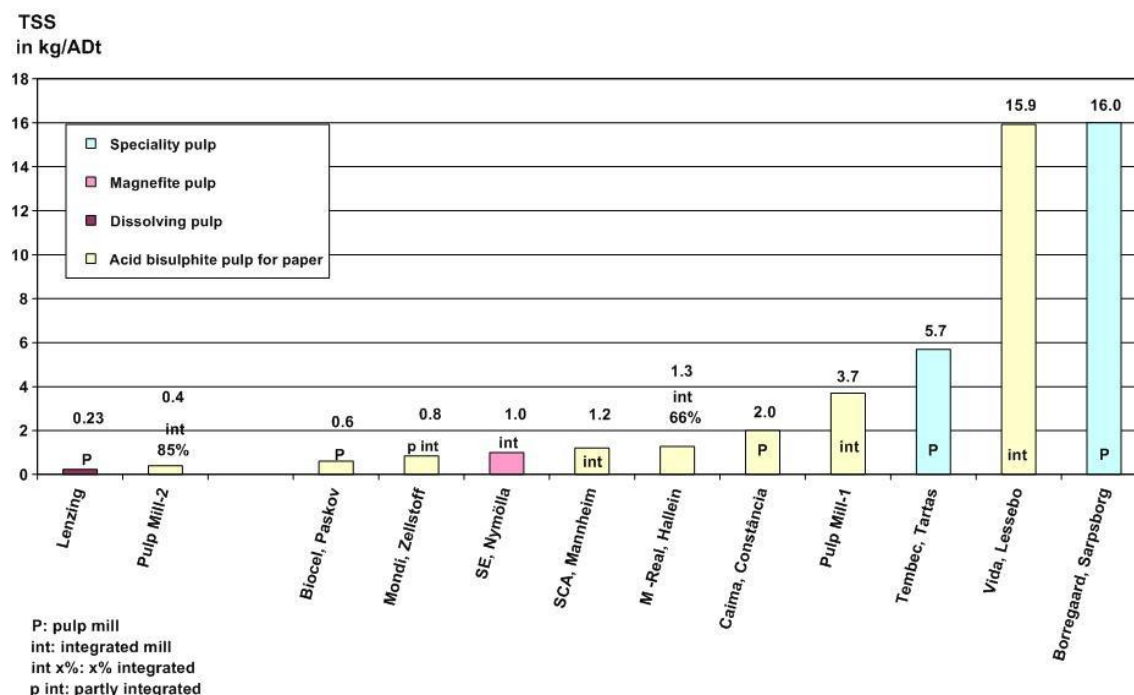
BOD in mg/l	BZT w mg/l
No corresponding daily waste water flows reported.	Nie podano odpowiednich dobowych przepływów ścieków.
Min	Min.
Max	Maks.
* Acid bisulphite	* Wodorosiarczyn
Magnefite	Metoda magnefite
Speciality	Specjalna
SCA, Mannheim	SCA, Mannheim
SUSD in, rest excluded	Rozruch/wyłączanie uwzględnione, reszta nieuwzględniona
Pulp Mill 1 all included	Celulozownia 1, wszystko uwzględnione
Caima, Constância	Caima, Constância
SUSD excluded, rest included	Rozruch/wyłączanie nieuwzględnione, reszta uwzględniona
SE, Nymölla	SE, Nymölla
SUSD in, rest excluded	Rozruch/wyłączanie uwzględnione, reszta nieuwzględniona
Pulp Mill 2	Celulozownia 2
SUSD in, rest excluded	Rozruch/wyłączanie uwzględnione, reszta nieuwzględniona
Tembec Tartas all included	Tembec Tartas Wszystko uwzględnione
Biocel Paskov	Biocel Paskov
SUSD excluded, rest included	Rozruch/wyłączanie nieuwzględnione, reszta uwzględniona
Source: EIPPCB questionnaires from 2007/2009	Źródło: Kwestionariusze EIPPCB z lat 2007/2009

### Odprowadzana zawiesina ogółem

Po obróbce biologicznej większość zawiesiny składa się z biomasy, którą w miarę możliwości w całości należy zachować w systemie oczyszczania. Utracone płatki osadu czynnego w około 50% składają się z węgla, który przyczynia się do powstawania emisji substancji organicznych mierzonych jako ChZT (ujednolicona próbka), w 10% z azotu i w około 1% z fosforu. Zawiesinę zwykle udaje się zredukować

poprzez sedymentację a w kilku przypadkach przez filtrację na złożu piaskowym lub mikrofiltrację. W dobrze obsługiwany zakładzie z osadem czynnym z osadnikami normalnie udaje się osiągnąć wartości zawiesiny ogółem w zakresie od 10 mg/l do 30 mg/l, jednak w trakcie zbierania danych odnotowano szczytowe wartości rzędu 96 mg/l. Wyższe wartości wskazują na fakt, iż zdolność osadzania się osadu biologicznego jest niższa lub występuje osad spęczniały, co może prowadzić do niepożądanego utraty biomasy i wzrostu emisji ChZT. Odnotowano wartości w granicach 150-250 mg zawiesiny ogółem na litr, co wskazuje na zakłócenia układu biologicznego lub przeciążenie hydrauliczne. W zintegrowanych zakładach celulozowo-papierniczych występują również rodzaje zawiesiny, których nie da się zmierzyć za pomocą parametru ChZT, takie jak wypełniacze lub nieorganiczne części barwników powlekających.

Ogólny zarys indywidualnych ładunków zawiesiny ogółem przedstawiono na rysunku 4.19 i 4.20. Odnotowane ładunki wahają się w granicach od 0,2 do 16 kg/t powietrznie suchej masy.

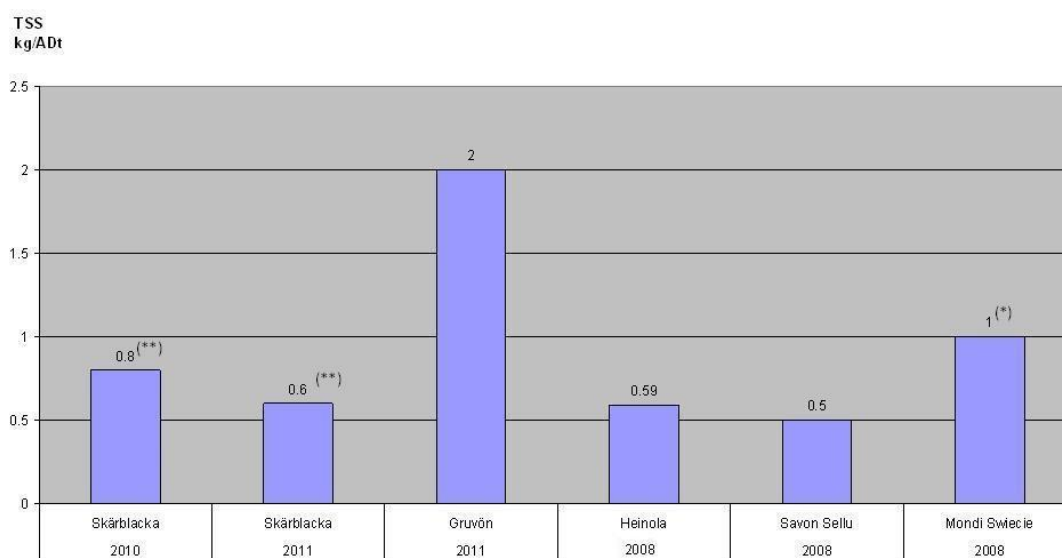


Zródło: zestawy danych/kwestionariusze.

Rysunek 4. 19 Średnie wartości roczne indywidualnych ładunków zawiesiny ogółem z celulozowni siarczynowych (wyluczając zakłady stosujące metodę NSSC)

TSS	Zawiesina ogółem
in kg/ADt	w kg/t pow. s.m.
Speciality pulp	Masa specjalna
Magnefite pulp	Masa produkowana metodą magnefite
Dissolving pulp	Masa celulozowa do przerobu chemicznego
Acid bisulphite pulp for paper	Masa wodorosiarczynowa do wytwarzania papieru
P: pulp mill	P: celulozownia
int: integrated mill	int: zakład zintegrowany
int x%: x% integrated	int x%: x% zintegrowania
p int: partly integrated	p int: częściowo zintegrowane
Source: data collection/questionnaires	Zródło: zestawy danych/kwestionariusze





(\*) More recent data provided during final TWG meeting (newly calculated): 2.4 kg/ADt

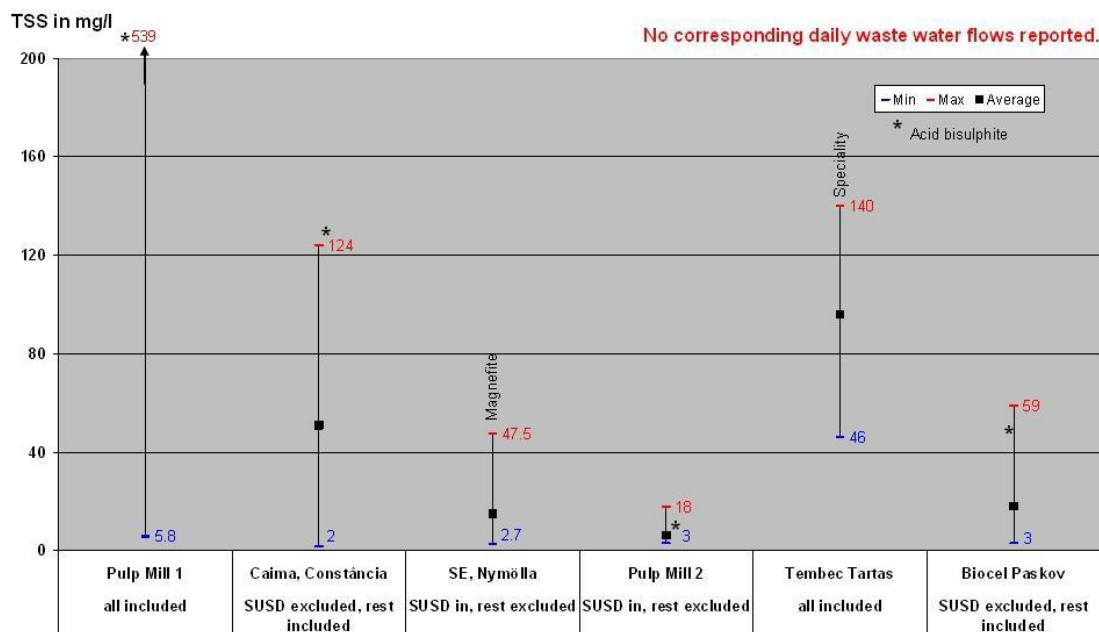
(\*\*) More recent data provided during final TWG meeting (newly calculated): 1.3 - 1.5 kg/ADt

Źródło: opracowanie autorstwa TGR, 2013

Rysunek 4. 20 Średnie wartości roczne emisji zawiesiny ogółem z celulozowni stosujących metodę NSSC

TSS kg/ADt	Zawiesina ogółem kg/t pow. s.m.
(*) More recent data provided during final TWG meeting (newly calculated): 2.4 kg/ADt	(*) bardziej aktualne dane podane podczas ostatniego spotkania TGR (nowe obliczenia): 2.4 kg/t pow. s.m.
(**) More recent data provided during final TWG meeting (newly calculated): 1.3-1.5 kg/t pow. s.m.	(**) bardziej aktualne dane podane podczas ostatniego spotkania TGR (nowe obliczenia): 1,3 –1,5 kg/t pow. s.m.
Source: TWG input, 2013	Źródło: opracowanie autorstwa TGR, 2013

Wartości krótkoterminowe wykazane w odniesieniu do emisji zawiesiny ogółem ukazano na rys. 4.21.



Źródło: Kwestionariusze EIPPCB z lat 2007/2009

Rysunek 4. 21 Średnie wartości krótkoterminowe dotyczące emisji zawiesiny ogółem z celulozowni siarczynowych

TSS in mg/l	zawiesina ogółem w mg/l
No corresponding daily waste water flows reported.	Nie podano odpowiednich dobowych przepływów ścieków.
Min	Min.
Max	Maks.
Average	Średnia
* Acid bisulphite	* Wodorosiarczyn
Magnefite	Metoda magnefite
Speciality	Specjalna
Pulp Mill 1 all included	Celulozownia 1, wszystko uwzględnione
Caima, Constância	Caima, Constância
SUSD excluded, rest included	Rozruch/wyłaczenie nieuwzględnione, reszta uwzględniona
SE, Nymölla SUSD in, rest excluded	SE, Nymölla Rozruch/wyłaczenie uwzględnione, reszta nieuwzględniona
Pulp Mill 2	Celulozownia 2
SUSD in, rest excluded	Rozruch/wyłaczenie uwzględnione, reszta nieuwzględniona
Tembec Tartas all included	Tembec Tartas Wszystko uwzględnione
Biocel Paskov	Biocel Paskov
SUSD excluded, rest included	Rozruch/wyłaczenie nieuwzględnione, reszta uwzględniona
Source: EIPPCB questionnaires from 2007/2009	Źródło: Kwestionariusze EIPPCB z lat 2007/2009

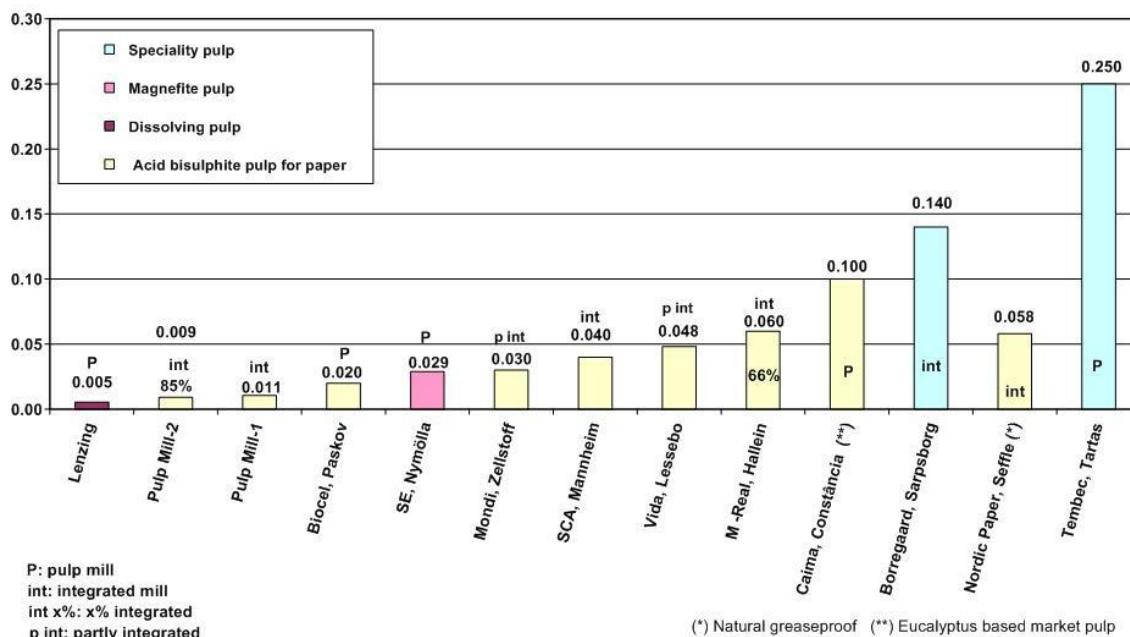
### Emisje składników odżywczych

W celu utrzymania równowagi C:P:N, mającej decydujące znaczenie dla rozwoju aktywnej biomasy, do biologicznej oczyszczalni ścieków zazwyczaj dodaje się mineralne składniki odżywcze. Trzeba znaleźć i utrzymywać równowagę między wprowadzanymi związkami P i N zawartymi w drewnie a ilością dodawanych składników odżywczych, co wymaga pewnego dopasowania wprowadzanych do biologicznego oczyszczania ścieków składników odżywczych. Niektóre celulozownie nie muszą do swoich oczyszczalni ścieków dodawać fosforu (np. w portugalskiej celulozowni siarczynowej, w której bieloną masę produkuje się bez użycia chloru natomiast przy użyciu eukaliptusa, do oczyszczalni

tlenowej nie dodaje się fosforu, lecz nadal odnotowuje się tam stężenie całkowite P na poziomie 0,7-5,2 mg P/l [204, Portugalia 2007]). Dodawanie azotu (zwykle jako mocznika) niezbędne jest natomiast do funkcjonowania oczyszczania biologicznego. Gdy system jest zoptymalizowany, średnioroczne pomiary odprowadzanego fosforu kształtują się na poziomie poniżej 1 mg całkowitego P/l i 5-10 mg całkowitego N/l. Część całkowitego azotu wprowadzana jest przez uwalnianie w procesie słabo biodegradowalne, zawierające N środki kompleksujące EDTA lub DTPA (patrz część na temat środków chelatujących w tym podrozdziale).

Ogólny zarys poszczególnych emisji fosforu i azotu z poszczególnych zakładów podano na rysunku 4.22, 4.23, 4.25 i 4.26. Emisje wahają się od 0,011 do 0,25 kg/t powietrznie suchej masy całkowitego fosforu oraz od 0,006 do 2,5 kg/t powietrznie suchej masy w przypadku całkowitego azotu.

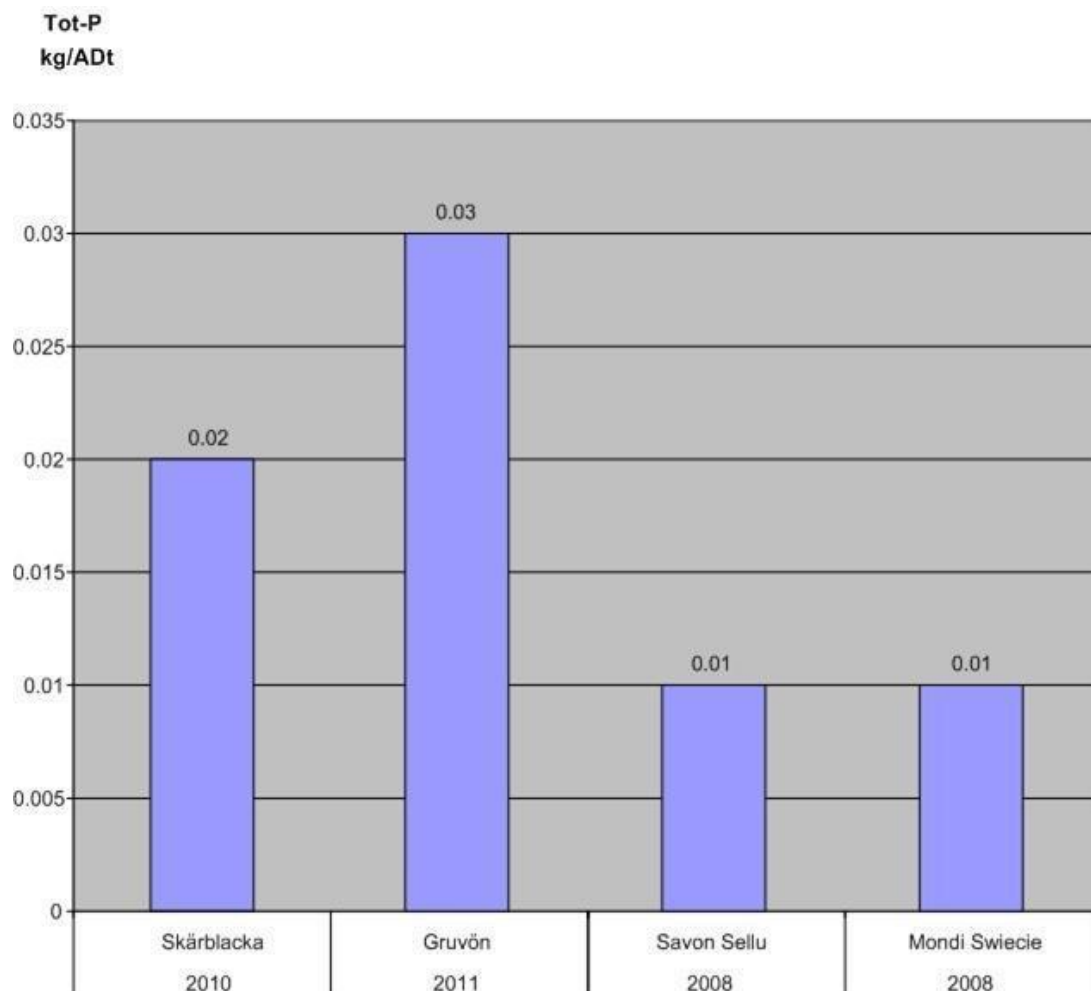
Tot-P  
in kg/ADt



Źródło: zestawy danych/kwestionariusze

Rysunek 4. 22 Średnie wartości roczne emisji P łącznie z celulozowni siarczynowych (wyluczając zakłady stosujące metodę NSSC)

Tot-P in kg/ADt	P łącznie w kg/t pow. s.m.
Speciality pulp	Masa specjalna
Magnefite pulp	Masa produkowana metodą magnefite
Dissolving pulp	Masa celulozowa do przerobu chemicznego
Acid bisulphite pulp for paper	Masa wodorosiarczynowa do wytwarzania papieru
(*) Natural greaseproof	(*) Naturalne tłuszczoszczelne
(**) Eucalyptus based market pulp	(**) Masa celulozowa na bazie eukaliptusa do sprzedaży na rynek
P: pulp mill	P: celulozownia
int: integrated mill	int: zakład zintegrowany
int x%: x% integrated	int x%: x% zintegrowania
p int: partly integrated	p int: częściowo zintegrowane
Source: data collection/questionnaires	Źródło: zestawy danych/kwestionariusze

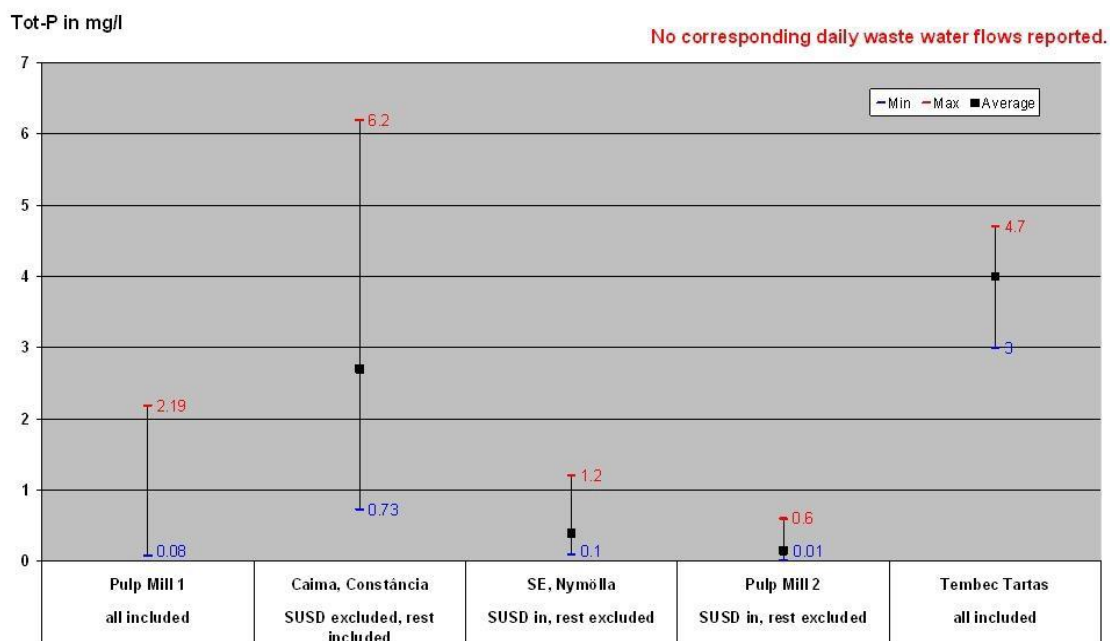


Źródło: opracowanie autorstwa TGR, 2013

Rysunek 4. 23 Średnie wartości roczne emisji P łącznie z celulozowni stosujących metodę NSSC

Tot-P	P ogółem
kg/ADt	kg/t pow. s.m.
Source: TWG input, 2013	Źródło: opracowanie autorstwa TGR, 2013

Wartości krótkoterminowe wykazane w odniesieniu do emisji P łącznie ukazano na rys. 4.24.

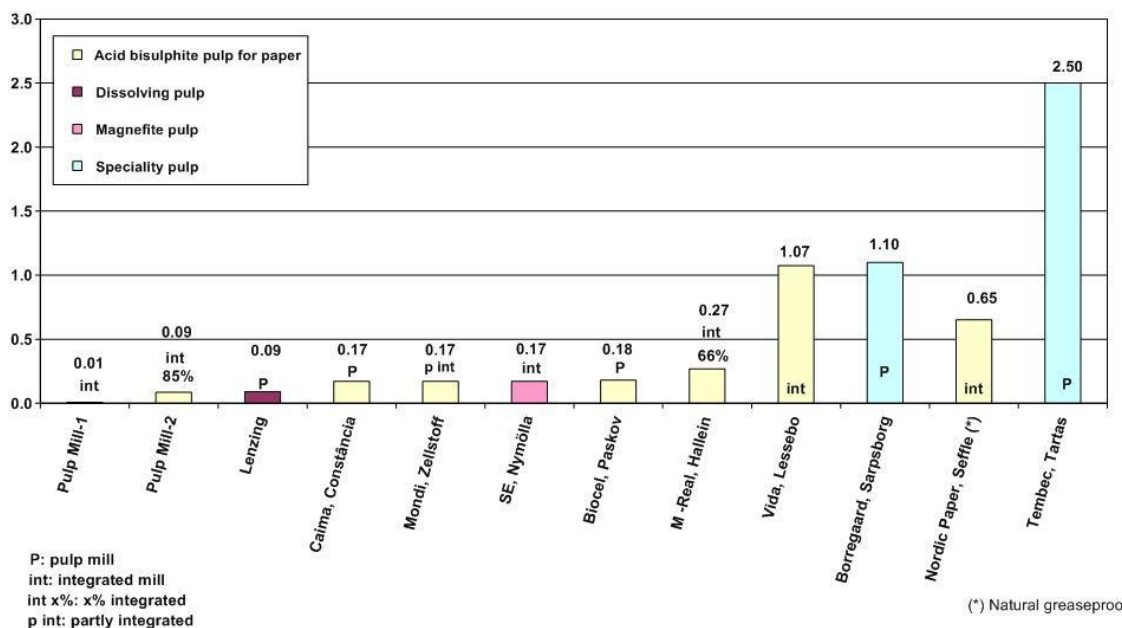


Źródło: Kwestionariusze EIPPCB z lat 2007/2009

Rysunek 4. 24 Średnie wartości krótkoterminowe dotyczące emisji P łącznie z celulozowni siarczynowych

Tot-P in mg/l	P łącznie w mg/l
No corresponding daily waste water flows reported.	Nie podano odpowiednich dobowych przepływów ścieków.
Min	Min.
Max	Maks.
Average	Średnia
Pulp Mill 1 all included	Celulozownia 1, wszystko uwzględnione
Caima, Constancia SUSD excluded, rest included	Caima, Constancia Rozruch/wyłączenie nieuwzględnione, reszta uwzględniona
SE, Nymölla SUSD in, rest excluded	SE, Nymölla Rozruch/wyłączenie uwzględnione, reszta nieuwzględniona
Pulp Mill 2 SUSD in, rest excluded	Celulozownia 2 Rozruch/wyłączenie uwzględnione, reszta nieuwzględniona
Tembec Tartas all included	Tembec Tartas Wszystko uwzględnione
Source: EIPPCB questionnaires from 2007/2009	Źródło: Kwestionariusze EIPPCB z lat 2007/2009

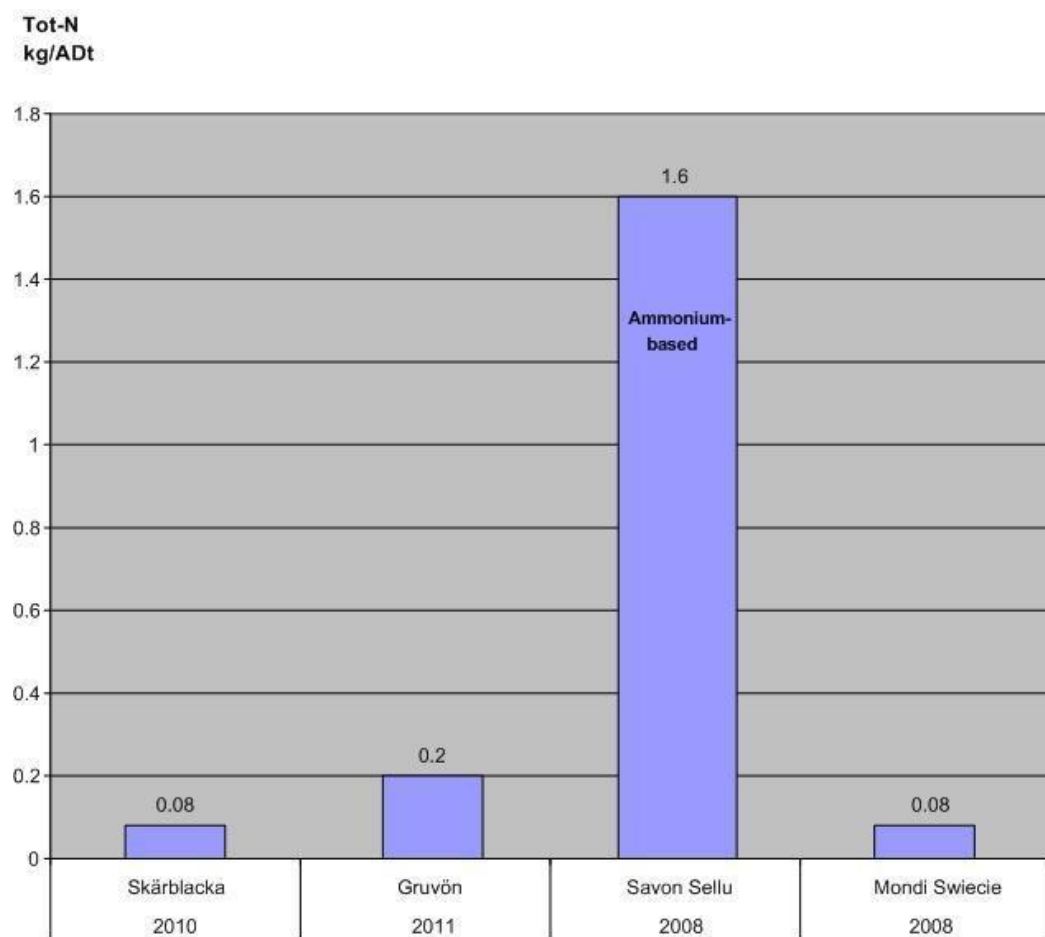
Tot-N  
in kg/ADt



Źródło: zestawy danych/kwestionariusze

Rysunek 4. 25 Średnie wartości roczne emisji N łącznie z celulozowni siarczynowych (wyluczając zakłady stosujące metodę NSSC)

Tot-N in kg/ADt	N łącznie w kg/t pow. s.m.
Acid bisulphite pulp for paper	Masa wodorosiarczynowa do wytwarzania papieru
Dissolving pulp	Masa celulozowa do przerobu chemicznego
Magnefite pulp	Masa produkowana metodą magnefite
Speciality pulp	Masa specjalna
(*) Natural greaseproof	(*) Naturalne tłuszczoszczelne
P: pulp mill	P: celulozownia
int: integrated mill	int: zakład zintegrowany
Int x%: x% integrated	int x%: x% zintegrowania
p int: partly integrated	p int: częściowo zintegrowane
Source: data collection/questionnaires	Źródło: zestawy danych/kwestionariusze

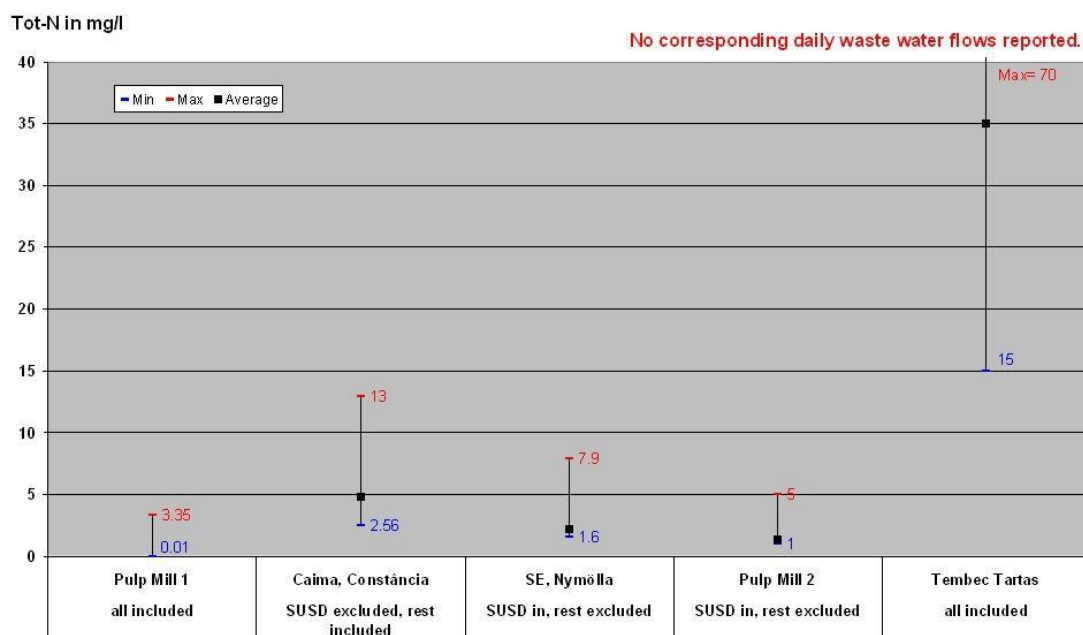


Źródło: opracowanie autorstwa TGR, 2013

Rysunek 4. 26 Średnie wartości roczne dotyczące emisji N łącznie z celulozowni stosujących metodę NSSC

Tot-N	N ogółem
kg/ADt	kg/t pow. s.m.
Ammonium-based	na bazie amonu
Source: TWG input, 2013	Źródło: opracowanie autorstwa TGR, 2013

Wartości krótkoterminowe wykazane w odniesieniu do emisji N łącznie ukazano na rys. 4.27.



pulp mill 1 and 2 German mills, Tot-N excluding organic N

Źródło: Kwestionariusze EIPPCB z lat 2007/2009

Rysunek 4. 27 Średnie wartości krótkoterminowe dotyczące emisji N łącznie z celulozowni siarczynowych

Tot-N in mg/l	T łącznie w mg/l
No corresponding daily waste water flows reported.	Nie podano odpowiednich dobowych przepływów ścieków.
Min	Min.
Max	Maks.
Average	Średnia
Pulp Mill 1 all included	Celulozownia 1, wszystko uwzględnione
Caima, Constância SUSD excluded, rest included	Caima, Constância Rozruch/wyłączenie nieuwzględnione, reszta uwzględniona
SE, Nymölla SUSD in. rest excluded	SE, Nymölla Rozruch/wyłączenie uwzględnione, reszta nieuwzględniona
Pulp Mill 2 SUSD in. rest excluded	Celulozownia 2 Rozruch/wyłączenie uwzględnione, reszta nieuwzględniona
Tembec Tartas all included	Tembec Tartas Wszystko uwzględnione
pulp mill 1 and 2 German mills, Tot-N excluding organic N	celulozownia 1 i 2 niemieckie zakłady, N łącznie, wyłączając N organiczny
Source: EIPPCB questionnaires from 2007/2009	Źródło: Kwestionariusze EIPPCB z lat 2007/2009



### Emisje środków chelatujących

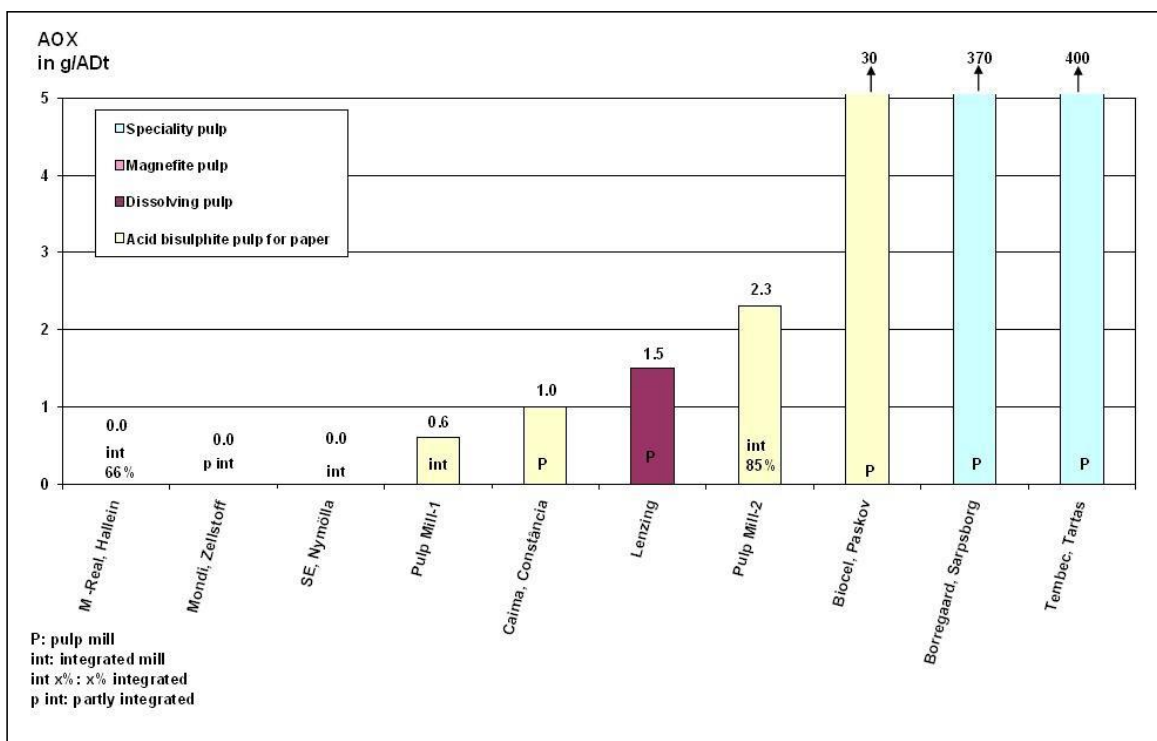
Większość środków chelatujących stosowanych na etapie z zastosowaniem kwasu chelatującego udaje się z masy celulozowej wypłukać i następnie odprowadza się je do oczyszczalni ścieków. Ponieważ obecnie stosowane środki chelatujące nie ulegają łatwej biodegradacji, wysoki odsetek tych substancji chemicznych trafia do odbiorcy. W większości zakładów produkty powstałe podczas etapu Q odprowadza się do oczyszczalni ścieków. Stosowane EDTA lub DTPA mieści się w zakresie 0-3 kg środka chelatującego/t powietrznie suchej masy. W Europie środków kompleksujących w ściekach z celulozowni siarczynowych normalnie się nie mierzy. Dlatego też nie podano tu żadnych danych z pomiarów takich emisji. Jednak w przynajmniej jednym przypadku zakład w Niemczech (SCA Mannheim) dopuszczono z określoną wartością dopuszczalnej emisji DTPA na poziomie 60 kg/dziennie.

Istnieją co najmniej dwie celulozownie siarczynowe, w których nie stosuje się środków chelatujących, mimo iż produkuje się w nich masę celulozową o wysokiej jasności do produkcji papieru (87% ISO).

### Emisje chlorowanych związków organicznych (AOX) i chloranów

Zakłady, w których w ogóle nie stosuje się chlorowanych związków organicznych (produkcja bez użycia chloru), praktycznie nie odprowadzają żadnych chlorowanych substancji organicznych (w ogóle nie powstają one podczas bielenia). Zakłady produkujące masę celulozową siarczanową bez chloru pierwiastkowego mierzą emisje AOX w zależności od układu procesu (liczba etapów, w których stosuje się  $\text{ClO}_2$ ; dawka  $\text{ClO}_2$ ) oraz jakości produkowanej masy celulozowej.

Ogólny zarys indywidualnych ładunków AOX z poszczególnych zakładów przedstawiono na rysunku 4.28. Ładunek ten waha się w granicach od poziomu (niewykrywalnego) 0,06 g/t powietrznie suchej masy do 400 g/t powietrznie suchej masy, natomiast zaobserwowane wartości stężenia wynosiły od 0,02 mg/l do 0,91 mg/l. Trzy zakłady o najwyższych wartościach (30-400 g/t pow. s.m.) to zakłady z produkcją bez chloru pierwiastkowego.



Rysunek 4. 28 Średnie wartości roczne ładunków AOX z celulozowni siarczynowych (wyluczając zakłady stosujące metodę NSSC)

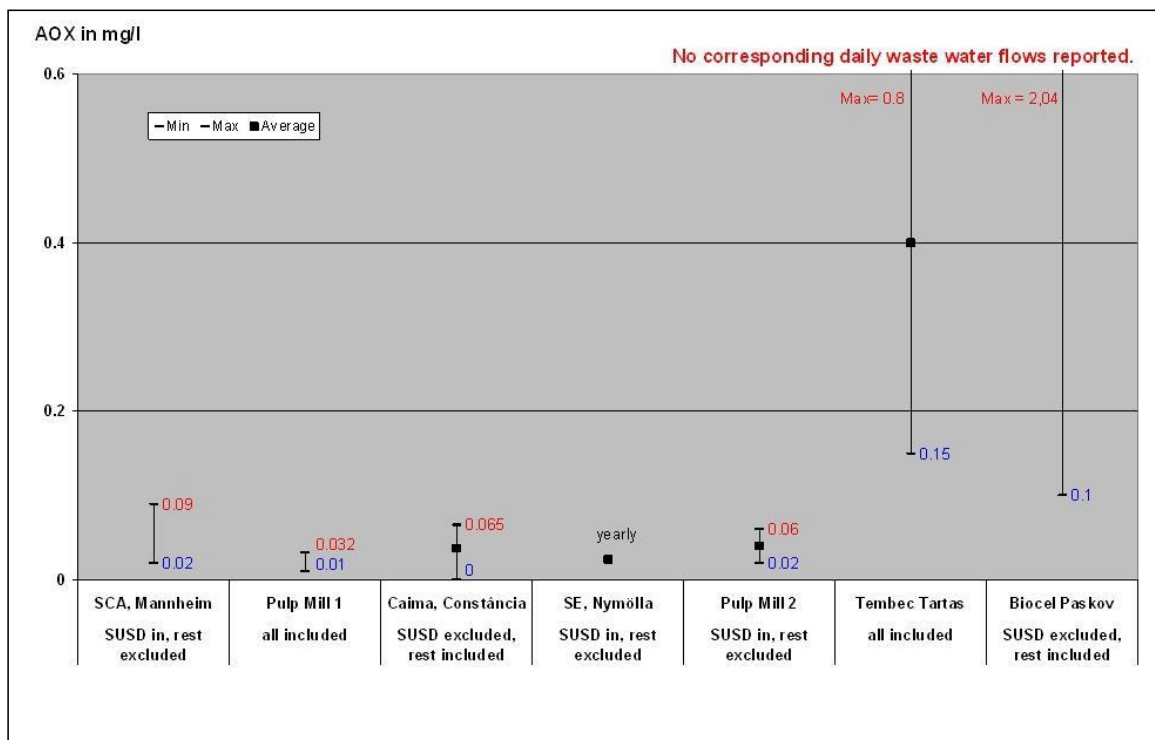
Speciality pulp	Masa specjalna
Magnefite pulp	Masa produkowana metodą magnefite
Dissolving pulp	Masa celulozowa do przerobu chemicznego
Acid bisulphite pulp for paper	Masa wodorosiarczynowa do wytwarzania

	papieru
AOX in g/ADt	AOX w g/t pow. s.m.
P: pulp mill	P: celulozownia
int: integrated mill	int: zakład zintegrowany
int x%: x% integrated	int x%: x% zintegrowania
p int: partly integrated	p int: częściowo zintegrowane
Source: data collection/questionnaires	Źródło: zestawy danych/kwestionariusze

Zakład Tembec Tartas (FR), w którym produkuje się masę celulozową na specjalne gatunki papieru, z której 10-20% to masa włóknista na produkty do higieny (sekwencja bielenia: D-E/O-D), podał wartości AOX w granicach od 1,5 mg/l do 8 mg/l, co daje od 0,2 do 0,75 kg/t powietrznie suchej masy w zależności od jakości produkowanej masy celulozowej (od niskiego do wysokiego poziomu lepkości). Podany średnioroczny ładunek wynosi 0,4 kg/t powietrznie suchej masy. Różnice te wynikają z różnych gatunków wytwarzanej masy specjalnej.

Biocel Paskov (CZ), zakład, w którym produkuje się masę papierniczą według sekwencji bielenia O - EOP - D - PO(P) – P, podał, że jeśli bieloną masę produkuje się wyłącznie przy użyciu małych ilości ClO<sub>2</sub>, emisje AOX kształtują się w granicach od 0,6 mg/l do 0,8 mg/l, natomiast w przypadku wytwarzania masy celulozowej bez chloru pierwiastkowego emisje mieszczą się w zakresie 1,2-1,8 mg/l AOX.

Wartości krótkoterminowe wykazane w odniesieniu do emisji AOX ukazano na rys. 4.29.



Rysunek 4. 29 Średnie wartości krótkoterminowe dotyczące emisji AOX z celulozowni siarczynowych

AOX in mg/l	AOX w mg/l
No corresponding daily waste water flows reported.	Nie podano odpowiednich dobowych przepływów ścieków.
Min	Min.
Max	Maks.
Average	Średnia
SCA, Mannheim	SCA, Mannheim
SUSD in, rest excluded	Rozruch/wyłączanie uwzględnione, reszta nieuwzględniona
Pulp Mill 1 all included	Celulozownia 1, wszystko uwzględnione
Caima, Constancia	Caima, Constancia
SUSD excluded, rest included	Rozruch/wyłączanie nieuwzględnione, reszta uwzględniona
SE. Nymölla	SE, Nymölla
SUSD in. rest excluded	Rozruch/wyłączanie uwzględnione, reszta nieuwzględniona
Pulp Mill 2	Celulozownia 2
SUSD in, rest excluded	Rozruch/wyłączanie uwzględnione, reszta nieuwzględniona
Tembec Tartas all included	Tembec Tartas Wszystko uwzględnione
Biocel Paskov	Biocel Paskov
SUSD excluded, rest included	Rozruch/wyłączanie nieuwzględnione, reszta uwzględniona
Source: EIPPCB questionnaires from 2007/2009	Źródło: Kwestionariusze EIPPCB z lat 2007/2009

Emisje chloranowe powstają tylko w dwóch celulozowniach siarczynowych zajmujących się

produkcją masy celulozowej specjalnej: Tembec Tartas (FR) i Borregaard (NO). Wykorzystanie ClO<sub>2</sub> do bielenia masy prowadzi do emisji chloranów powstających w wyniku utleniania ClO<sub>2</sub>. Emisji tych zakładom nie udało się określić ilościowo.

### Emisje metali

W tabeli 4.11 ukazano emisje metali z częściowo zintegrowanej szwedzkiej celulozowni do zbiornika wodnego. Wyniki bazują na próbkach (przeprowadzanych losowo raz dziennie) pobieranych we wrześniu 1996 r. przez okres pięciu dni. Losowe próbki zmieszano proporcjonalnie do przepływów, tak by stworzyć połączoną próbkę, którą przeanalizowano pod kątem zawartości kadmu, chromu, miedzi, niklu, ołowiu i cynku. Analizę metali przeprowadzono za pomocą spektrometrii mas z jonizacją w plazmie sprzężonej indukcyjnie (ICP-MS). Emisji tych ciężko uniknąć, ponieważ głównym źródłem emisji tych metali jest drewno wykorzystywane do roztwarzania.

**Tabela 4. 11 Emisje metali z częściowo zintegrowanej szwedzkiej celulozowni siarczynowej do zbiornika wodnego w 1996 r.**

Metal	Stężenie [mg/m <sup>3</sup> ]	Indywidualny ładunek
Kadm	1,37	1
Chrom	5,5	4,4
Miedź	9,3	7,4
Nikiel	12	9,6
Ołów	9,4	7,5
Cynk	144	115,2

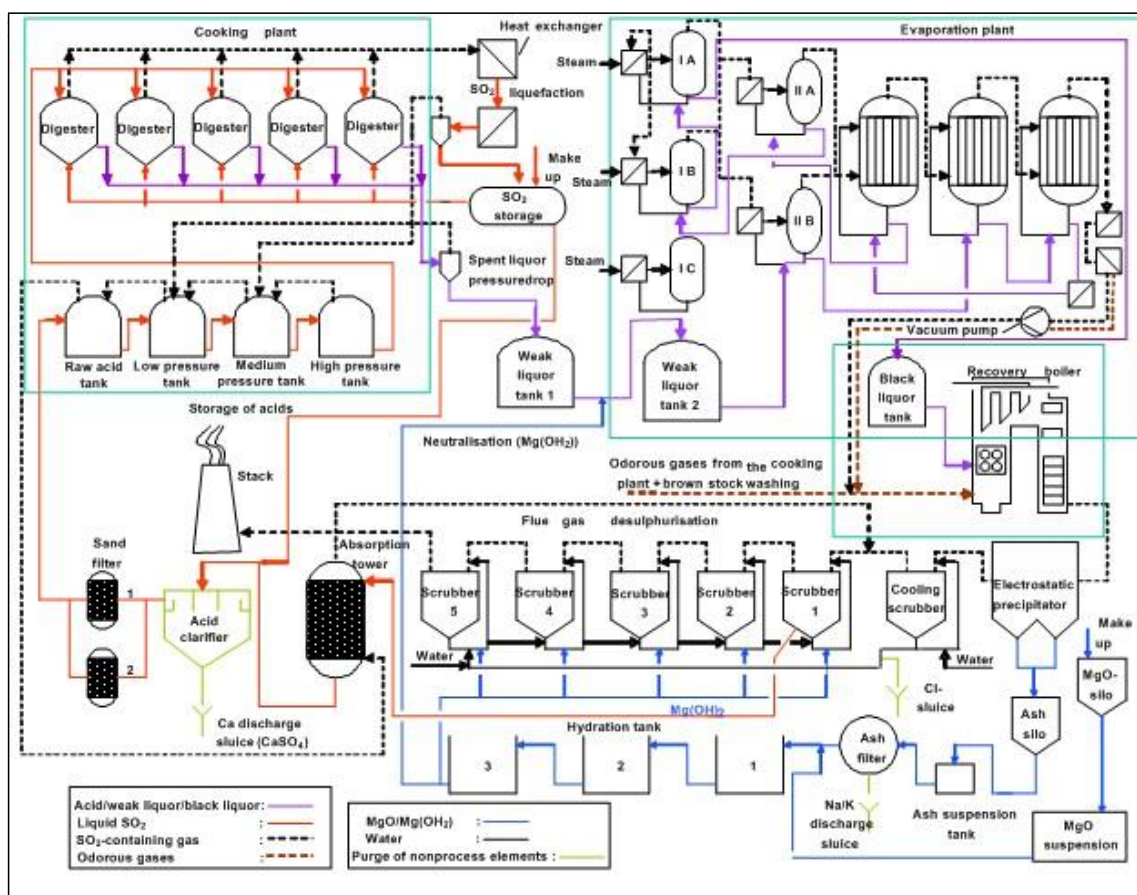
Uwaga: Przepływ wody na poziomie ok. 80 m<sup>3</sup>/t pow. s.m.

Latem 2008 r. fiński zakład stosujący metodę NSSC – SE Heinola Fluting – dokonał pomiaru metali w próbach losowych z emisji zbiornika wodnego. Analizę przeprowadzono za pomocą ICP-MS. Uzyskane wyniki były podobne do tych pochodzących z losowego pobierania próbek z zakładu ze Szwecji, przeanalizowanych 12 lat wcześniej. Według wyników badań jedynym metalem wykrytym w próbkach był cynk (pozostałe metale były poniżej granicy wykrywalności).

#### 4.2.2.5 Emisje do powietrza

Główne punktowe źródła emisji do powietrza to kotły odzysknicowe, kotły na korę lub biomasę i inne bloki parowe do produkcji pary, lecz pod uwagę wzięto również potencjalne emisje odprowadzane do powietrza z szeregu różnych procesów.

Poziomy emisji siarki z zakładów siarczynowych i potencjał dalszych redukcji w dużej mierze zależy od rodzaju zakładu. Ze względu na różnice między różnymi procesami siarczynowymi poziomy emisji mogą wykazywać większe różnice niż w przypadku celulozowni siarczanowych. Na rys. 4.30 pokazano na przykładzie (celulozownia stosująca do produkcji papieru wodorosiarczyn magnezu) sposób wychwytywania gazów o dużym lub niskim stężeniu, zawierających dwutlenek siarki i gazów o nieprzyjemnym zapachu oraz ich oczyszczania. Uwzględniono również redukcję emisji z kotła odzysknicowego i recykulację odzyskiwanych substancji chemicznych. Widać tu integrację cyklu SO<sub>2</sub> w ramach systemu ograniczającego emisje zanieczyszczeń do atmosfery.



Rysunek 4. 30 Przykładowe wychwytywanie gazów zawierających dwutlenek siarki i gazów o nieprzyjemnym zapachu oraz ich oczyszczanie

Cooking plant	Instalacja warzelnicza
Digester	Komora fermentacyjna
Heat exchanger	Wymiennik ciepła
Steam liquefaction	Skraplanie pary
Evaporation plant	Instalacja odparowująca
SO <sub>2</sub> storage	Magazynowanie SO <sub>2</sub>
Make up	Uzupełnienie
Spent liquor pressure drop	Spadek ciśnienia ługu powarzelnego
Raw acid tank	Zbiornik na kwas surowy
Low pressure tank	Zbiornik niskociśnieniowy
High pressure tank	Zbiornik wysokociśnieniowy
Medium pressure tank	Zbiornik średnociśnieniowy
Storage of acids	Magazynowanie kwasów
Stack	Komin
Sand	Piasek
Sand filter	Filtr piaskowy
Acid clarifier	Osadnik kwasowy
Ca discharge sluice (CaSO <sub>4</sub> )	Śluza do emisji Ca (CaSO <sub>4</sub> )
Acid/weak liquid/black liquid Liquid SO <sub>2</sub>	Kwaśny/słaby ług/czarny ług
SO <sub>2</sub> -containing gas Odorous gases	SO <sub>2</sub> w stanie ciekłym Gaz zawierający SO <sub>2</sub> Gazy o nieprzyjemnym zapachu
Water	Woda
Purge of nonproces elements:	Oczyszczanie z elementów niebiorących udziału w procesie:
Weak liquor tank	Zbiornik na słaby ług
Vacuum pump	Pompa próżniowa

Black liquor tank	Zbiornik na ług powarzelny (czarny)
Recovery boiler	Kocioł odzysknicowy
Neutralisation	Neutralizacja
Odorous gases from the cooking plant + brown stock washing	Gazy o nieprzyjemnym zapachu z instalacji warzelniczej + mycie masy celulozowej
Flue gas desulphurisation	Odsiarczanie gazów odlotowych
Scrubber	Płuczka
Hydration tank	Zbiornik hydratacyjny
Ash filter	Filtr na popiół
Ash silo	Silos na popiół
Make up	Uzupełnienie
Electrostatic precipitator	Filtr elektrostatyczny
Cooling scrubber	Płuczka chłodząca
Ash suspension tank	Zbiornik na zawiesinę z popiołem
Na/K discharge sluice	Śluza do emisji Na/K
Water	Woda
Cl-sluice	Śluza na Cl

Na rys. 4.30 przedstawiono ogólny zarys najważniejszych przepływów zużytego ługu,  $\text{SO}_2$  do warzenia chemicznego przy kwaśnym odczynie i odpowiednią zasadę, w tym przypadku  $\text{MgO}$ . Gazy wychwytywane są przy różnych punktach procesu, a w technikach ograniczania zanieczyszczeń powietrza wykorzystywano kocioł odzysknicowy (filtr elektrostatyczny, płuczki). Wskazano również kroki w ramach regeneracji ługu warzelnego.

Emisje uwolnione do atmosfery w dużym stopniu zależą od systemu wychwytywania i redukcji emisji, stosowanego do oczyszczania emisji gazowych. Następujące urządzenia i systemy można znaleźć w celulozowniach siarczynowych i służą one do wychwytywania i oczyszczania emisji do powietrza.

- Cyklon do wydmuchiwanie zrębków.
- Gazy z odgazowywania ciągłego z komory fermentacyjnej kierowane są do spalania w kotle odzysknicowym lub do głównego układu odzyskiwania, gdzie wzmacniane są kwasem z odzysku wtórnego. W podstawowym systemie odzyskiwania kwas warzelny wzmacniany jest przez  $\text{SO}_2$  z gazów z odgazowywania komór fermentacyjnych, a także przez  $\text{SO}_2$  z instalacji do odparowywania (w celu zwiększenia całkowitego i wolnego  $\text{SO}_2$ ).
- System wychwytywania gazów napowietrzających z komór fermentacyjnych, zbiorniki wydmuchowe, filtry do płukania, wszystkie zbiorniki na słaby i gęsty ług i filtry na włókna. W większości przypadków gazy te kierowane są do spalania w kotle odzysknicowym. W kilku przypadkach gazy te kierowane są do płuczek gazowych mokrych, w których jako ciecz absorpcyjną wykorzystuje się  $\text{NaOH}$  lub  $\text{H}_2\text{O}_2$  (redukcja  $\text{SO}_2$  i nieprzyjemnych zapachów).
- Płuczki do absorpcji dwutlenku siarki w gazach napowietrzających z instalacji bielącej.
- Gazy niedające się skroplić z odparowywania kieruje się do spalania w kotle odzysknicowym lub do podstawowego układu odzyskiwania w celu wzbogacenia kwasem.
- Wchłanianie  $\text{SO}_2$  w spalinach opuszczających kotły odzysknicowe w instalacji przygotowywania kwasu (układ z płuczkami Venturiego).
- System wychwytywania gazów wentylacyjnych ze zbiorników ługu i kondensatu w kotłowni, z filtra słabego ługu i z mieszalnika. Gazy te kierowane są do spalania w kotle odzysknicowym.
- Separacja pyłu z gazów spalinowych z kotła pomocniczego (spalanie kory, oleju lub innych paliw) z elektrofiltru (filtru elektrostatycznego) i płuczki gazowej mokrej.
- Redukcja  $\text{NO}_x$  w kotle korowym przez wstrzyknięcie mocznika lub amoniaku (selektywna redukcja niekatalityczna) i recykulacja gazów spalinowych.
- Jako sposób na zmniejszenie emisji lotnych z komory fermentacyjnej zastosować można

również uszczelki wodne.

### **Emisje do powietrza z kotła odzysknicowego**

W zakładzie siarczynowym jako zasadę stosującym magnez głównym źródłem emisji tlenków siarki jest kocioł odzysknicowy. Do pozostałych istotnych emisji zalicza się emisje dwutlenku siarki, tlenków azotu, cząstek stałych oraz emisji pyłu i tlenku węgla.

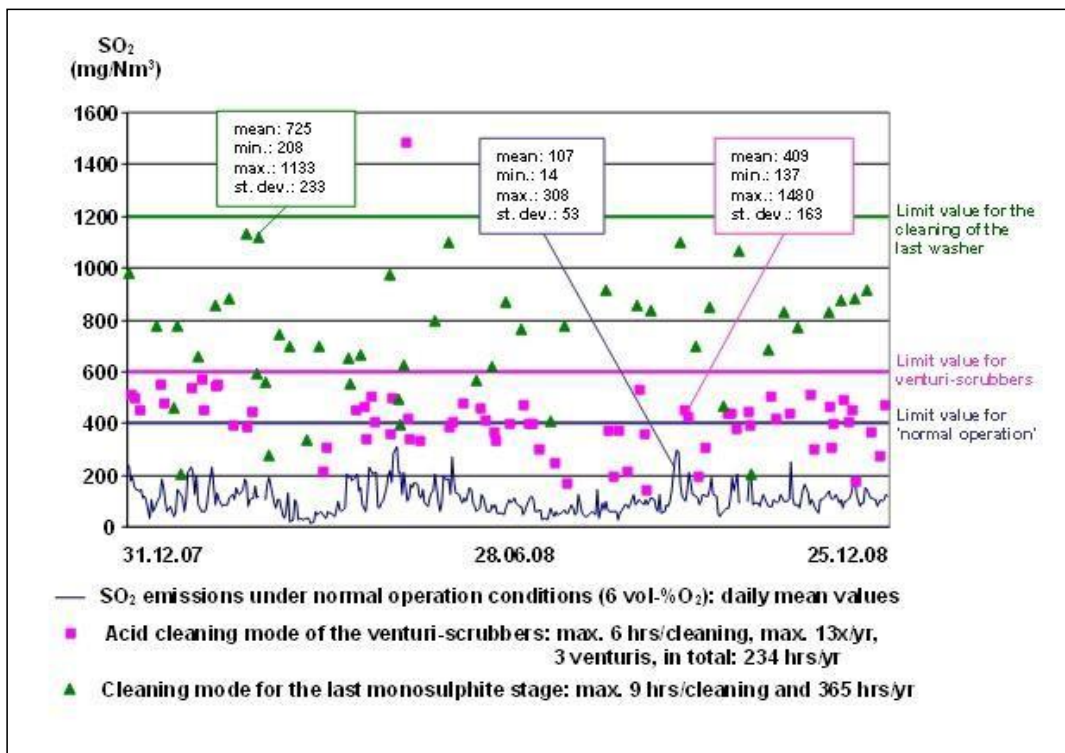
Po opuszczeniu instalacji odparowywania zawartość suchej masy w ługu powarzelnego wynosi około 58-60%, co przekłada się na wartość opałową niższą o około 7 000 kJ/kg. Do kotła odzysknicowego jak wsad wkłada się stężony ług powarzelny, odprowadzany z instalacji odparowywania. W większości kotłów odzysknicowych jako paliwo dodatkowe stosuje się również olej lub gaz.

Pył opuszczający kocioł odzysknicowy, czyli w przypadku zakładów siarczynowych stosujących magnez głównie popiół w postaci tlenku magnezu, gromadzony jest z gazów odlotowych za pomocą elektrofiltrów lub multicyklonów i płukany wodą w celu wytworzenia wodorotlenku magnezu. Ciecz ta stosowana jest w płuczkach gazowych zwężkowych i w filtrach do przeciwwądrowego mycia masy w celu absorpcji  $\text{SO}_2$  i  $\text{SO}_3$  z gazów odlotowych z kotła odzysknicowego (a w kilku zakładach również z komór fermentacyjnych, płuczek i parowników). System absorpcji składa się z szeregu płuczek gazowych zwężkowych lub skrubarów, zazwyczaj trzech, czterech, pięciu lub sześciu. Emisje kształtują się na poziomie około 0,5-2,7 kg  $\text{SO}_2$ /t powietrze suchej masy w przeliczeniu na tonę masy celulozowej.

### **Emisje $\text{SO}_2$**

Jeśli chodzi o emisje  $\text{SO}_2$  z kotłów odzysknicowych w celulozowniach siarczynowych, to w większości zakładów należy rozróżnić dwa różne rodzaje warunków pracy: „normalne warunki pracy” oraz okresy „działania kwasu” (płukania i czyszczenia inkrustacji w płuczkach i skrubarach). Ten drugi rodzaj dotyczy trybu roboczego, w ramach którego czyści się skrubery w celu zapobieżenia inkrustacji siarczanu magnezu ( $\text{MgSO}_3$ ).

Podczas cykli czyszczenia skrubarów rosną emisje, ponieważ nie działa jeden ze skrubarów lub końcowa płuczka, co musi zrekompensować skrubar resztkowy. Na rys. 4.31 pokazano emisje z zakładu, w którym zainstalowano czterostopniowe płuczki Venturiego i jedностopniową płuczkę końcową (na etapie siarczynowym). Profil emisji w przypadku „pracy normalnej” przedstawiony na rysunku 4.31 (niebieska linia) nie uwzględnia emisji podczas cykli czyszczenia. Roczne średnie stężenie  $\text{SO}_2$  w tym przykładzie wynosi 107 mg/ $\text{Nm}^3$  (przy 6%  $\text{O}_2$ ). Średnia roczna uwzględniająca ważne godziny pracy w „trybie z użyciem kwasu” wynosi 144 mg/ $\text{Nm}^3$ . Największe emisje występują w okresie 15 dni w roku, kiedy jako środek zapobiegawczy czyszczona jest płuczka końcowa. Zakład musi przestrzegać wartości granicznych dotyczących trzech różnych trybów pracy wyrażonych jako średnia dobowa wskazana na rysunku (400/600/1200 mg  $\text{SO}_2$ / $\text{Nm}^3$  przy 6%  $\text{O}_2$ ). W omawianym zakładzie układ ten prowadzi do indywidualnego ładunku rzędu 1,1 kg  $\text{SO}_2$ /t powietrze suchej masy i 0,54 kg  $\text{SO}_2$ -S/t powietrze suchej masy.



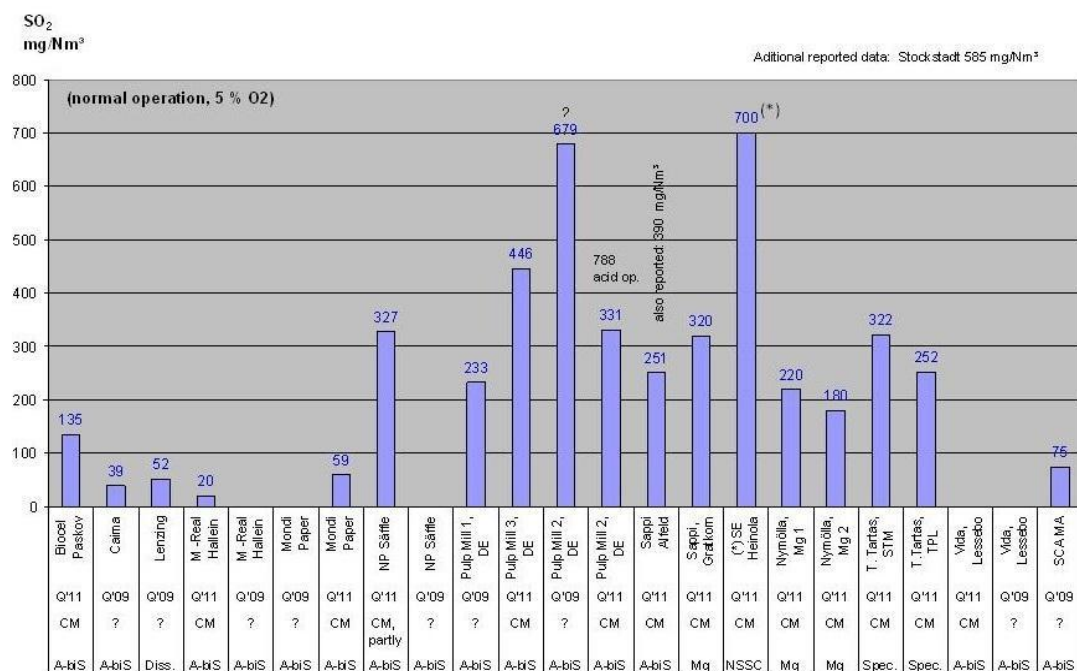
Rysunek 4. 31 Przykładowe emisje SO<sub>2</sub> z kotłów odzysknicowych w przypadku „działania normalnego” i „trybu pracy z użyciem kwasu”

mean: 725 min.: 208 max.: 1133 st. dev.: 233	średnia: 725 min.: 208 maks.: 1133 odchylenie standardowe: 233
Limit value for the cleaning of the last washer	Wartość graniczna w przypadku czyszczenia płuczki końcowej
Limit value for venturi-scrubbers	Wartość graniczna w przypadku płuczek Venturiego
Limit value for 'normal operation'	Wartość graniczna w przypadku „normalnego działania”
SO <sub>2</sub> emissions under normal operation conditions (6 vol-%O <sub>2</sub> ): daily mean values	Emisje SO <sub>2</sub> w normalnych warunkach pracy (6% objętości O <sub>2</sub> ): średnie wartości dobowe
Acid cleaning mode of the venturi-scrubbers: max. 6 hrs/cleaning, max 13x/yr,	Tryb czyszczenia płuczek Venturiego przy użyciu kwasu: maks. 6 godz./dobę, maks. 13x/rok,
3 venturis, in total: 234 hrs/yr	3 płuczki Venturiego, w sumie: 234 godz./rocznie
Cleaning mode for the last monosulphite stage: max 9 hrs/cleaning and 365 hrs/yr	Tryb czyszczenia na ostatnim etapie siarczynowym: maks. 9 godz./czyszczenie i 365 godz./rok
Source: [ 219, SCA Mannheim 2009 ]	Źródło: [ 219, SCA Mannheim 2009 ]

Podobny profil emisji można zaobserwować w przypadku większości kotłów odzysknicowych w celulozowniach siarczynowych. Podczas „normalnych warunków pracy” występują niższe emisje SO<sub>2</sub>, natomiast podczas „trybu czyszczenia” za pomocą różnych skruberek występują wyższe emisje SO<sub>2</sub>. Emisje podczas prewencyjnego czyszczenia płuczek wykazują pewne różnice pomiędzy różnymi systemami odsiarczania w zależności od ilości, rodzaju i trybu działania skruberek lub płuczek. Na przykład w niektórych zakładach są tylko dwa różne tryby pracy (i wartości graniczne), a nie trzy przedstawione na rysunku 4.31.

Podane emisje SO<sub>x</sub> przedstawiono na rys. 4.32 i 4.33.





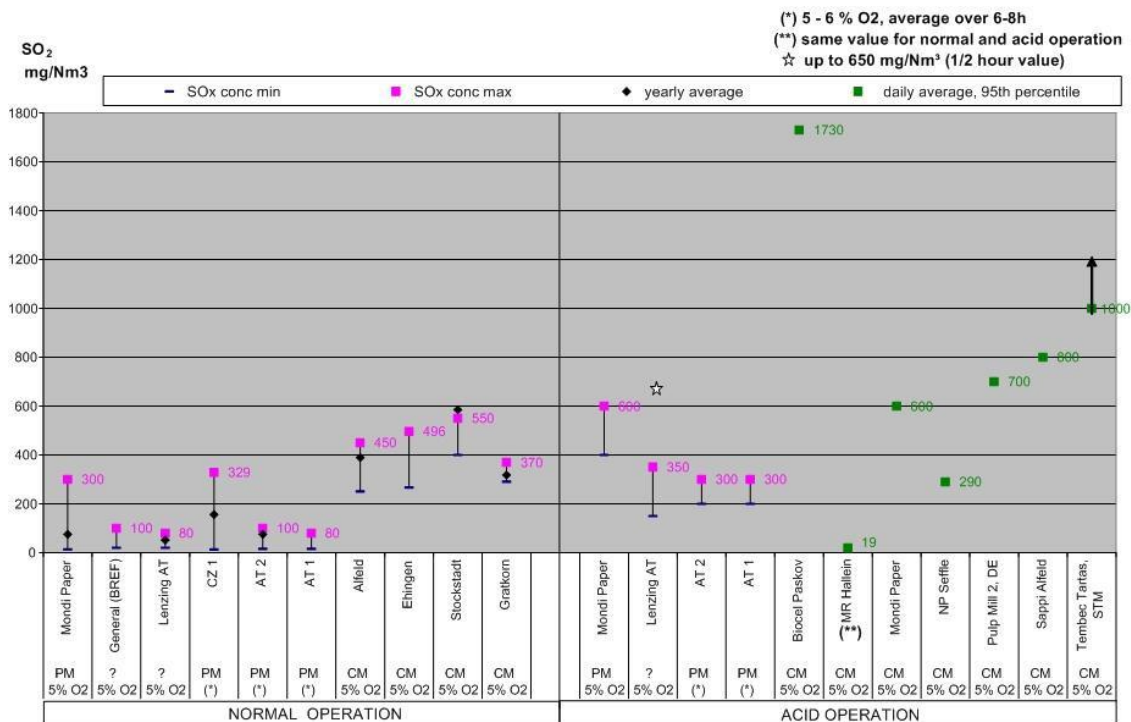
(\*)Recovery boiler operated permanently under acidic conditions.

Uwaga: CM = stałe monitorowanie; PM = okresowe monitorowanie; ? = brak informacji na temat rodzaju monitorowania

Źródło: Kwestionariusze EIPPCB z lat 2007/2009 oraz inne opracowania autorstwa TGR

Rysunek 4. 32 Emisje SO<sub>2</sub> z kotła odzysknicowego

Additional reported data: Stockstadt 585 mg/Nm <sup>3</sup>	Dodatkowe zgłoszone informacje: Stockstadt 585 mg/Nm <sup>3</sup>
(normal operation, 5 % O <sub>2</sub> )	(normalne działanie, 5% O <sub>2</sub> )
788 acid op.	788 praca przy użyciu kwasu
also reported: 390 mg/Nm <sup>3</sup>	odnotowano również: 390 mg/Nm <sup>3</sup>
(*)Recovery boiler operated permanently under acidic conditions.	(*) Kocioł odzysknicowy pracujący stale w warunkach kwasowych
CM	CM
CM, partly	CM, częściowo
Spec.	Spec.
NB: CM = Continuous monitoring;	Uwaga: CM = monitorowanie ciągłe;
PM = Periodic monitoring;	PM = monitorowanie okresowe;
? = No information on type of monitoring	? = brak informacji na temat rodzaju monitorowania
Source: EIPPCB questionnaires from 2007/2009 and other TWG input	Źródło: Kwestionariusze EIPPCB z lat 2007/2009 oraz inne opracowania autorstwa TGR
A-bis	A wodorosiarczynowe
Diss.	Masa celulozowa do przerobu chemicznego
NSSC	NSSC



Uwaga: CM = stałe monitorowanie; PM = okresowe monitorowanie; ? = brak informacji na temat rodzaju monitorowania

Źródło: Kwestionariusze EIPPCB z lat 2007/2009 oraz inne opracowania autorstwa TGR

Rysunek 4. 33 Emisje SO<sub>2</sub> z kotła odzysknicowego jako średnie wartości krótkoterminowe

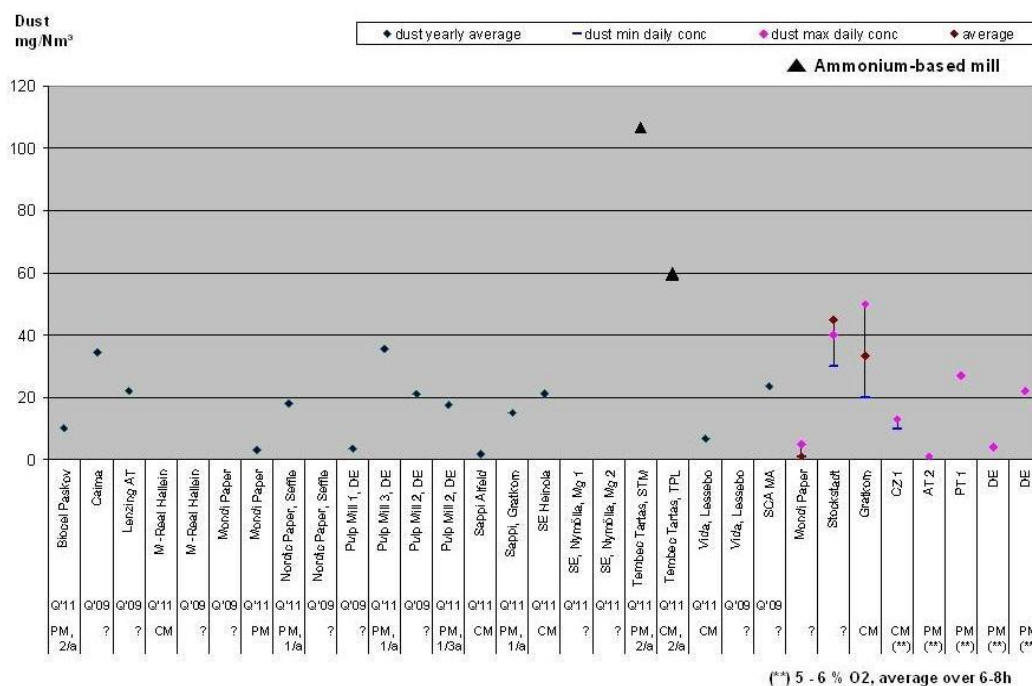
SOx conc min	SOx stężony min.
SOx conc max	SOx stężony maks.
yearly average	średnia roczna
daily average, 95th percentile	średnia dobową, 95 percentyl
(*) 5 - 6 % O <sub>2</sub> , average over 6-8h	(*) 5-6% O <sub>2</sub> , średnio w ciągu 6-8h
(**) same value for normal and acid operation up to 650 mg/Nm <sup>3</sup> (1/2 hour value)	(**) taka sama wartość w przypadku działania normalnego i pracy przy użyciu kwasu do 650 mg/Nm <sup>3</sup> (wartość dotycząca pół godziny)
PM	PM
CM	CM
NORMAL OPERATION	NORMALNE DZIAŁANIE
ACID OPERATION	PRACA PRZY UŻYCIU KWASU
NB: CM = Continuous monitoring;	Uwaga: CM = monitorowanie ciągłe;
PM = Periodic monitoring;	PM = monitorowanie okresowe;
? = No information on type of monitoring	? = brak informacji na temat rodzaju monitorowania
Source: EIPPCB questionnaires from 2007/2009 and other TWG input	Źródło: Kwestionariusze EIPPCB z lat 2007/2009 oraz inne opracowania autorstwa TGR

### Emisje pyłu

W celulozowniach siarczynowych emisje pyłu kształtują się na poziomie od 1 mg/Nm<sup>3</sup> do 25 mg/Nm<sup>3</sup> jako wartość średnia w ramach okresu pobierania próbek (np. w ciągu dnia). Pomiary emisji pyłu normalnie odbywają okresowo.

W przypadku gdy jest większy udział drewna drzew liściastych (bogatego w potas) lub gdy w łapaczach kropel po ostatnim etapie płukania zakładowi nie uda się usunąć aerozoli, odnotowuje się wyższą wartość.

Odnotowane emisje pyłów przedstawiono na rysunku 4.34.



Uwaga: CM = stałe monitorowanie; PM = okresowe monitorowanie; ? = brak informacji na temat rodzaju monitorowania

Źródło: Kwestionariusze EIPPCB z lat 2007/2009 oraz inne opracowania autorstwa TGR

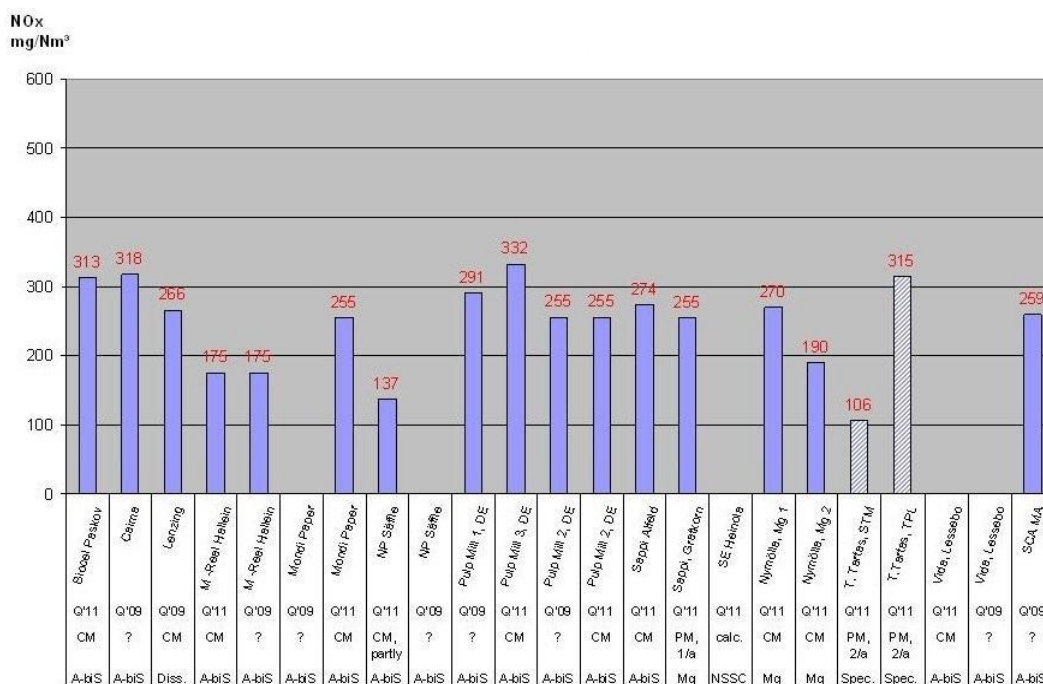
Rysunek 4. 34 Emisje pyłu z kotła odzysknicowego jako wartości roczne

Dust mg /Nm <sup>3</sup>	Pył w mg/Nm <sup>3</sup>
dust yearly average	pył, średnia roczna
dust min daily conc	pył, min. wartość dobową, stężony
dust max daily conc	pył, maks. wartość dobową, stężony
average	średnia
<b>Ammonium-based mill</b>	<b>Celulozownia siarczynowa, w której stosuje się zasadę amonową</b>
PM, 2/a	PM, 2/a
CM	CM
1/3a	1/3a
<b>(**) 5 - 6 % O<sub>2</sub>, average over 6-8h</b>	<b>(**) 5-6% O<sub>2</sub>, średnio w ciągu 6-8h</b>
NB: CM = Continuous monitoring; PM = Periodic monitoring; ? = No information on type of monitoring Source: EIPPCB questionnaires from 2007/2009 and other TWG input	Uwaga: CM = stałe monitorowanie; PM = okresowe monitorowanie; ? = brak informacji na temat rodzaju monitorowania Źródło: Kwestionariusze EIPPCB z lat 2007/2009 oraz inne opracowania autorstwa TGR

### Emisje NO<sub>x</sub>

Emisje NO<sub>x</sub> z kotłów odzysknicowych w zakładach siarczynowych na ogół są wyższe niż z celulozowni siarczanowych, co wynika z wyższej temperatury w kotle odzysknicowym. Emisje NO<sub>x</sub> normalnie wahają się w granicach od 175 mg/Nm<sup>3</sup> do 400 mg/Nm<sup>3</sup> lub od około 0,9 do 2,6 kg/t masy celulozowej. W tabeli 4.12 podsumowano typowe zakresy emisji do powietrza z kotła odzysknicowego. W zależności od zakładu przepływ gazu bardzo się różni.

Podane emisje NO<sub>x</sub> przedstawiono na rys. 4.35 i 4.36.

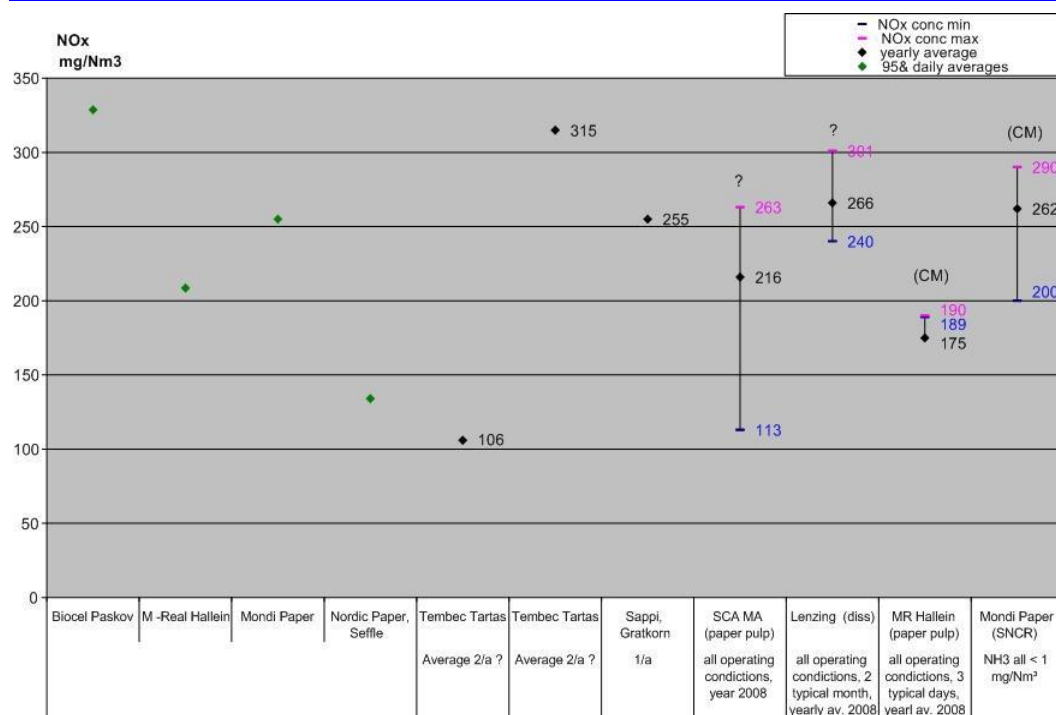


Uwaga: CM = stałe monitorowanie; PM = okresowe monitorowanie; ? = brak informacji na temat rodzaju monitorowania

Źródło: Kwestionariusze EIPPCB z lat 2007/2009 oraz inne opracowania autorstwa TGR

Rysunek 4. 35 Emisje NO<sub>x</sub> z kotła odzysknicowego jako wartości roczne

CM, partly	CM, częściowo
PM, 1/a	PM, 1/a
calc.	wapń
A-bis	A wodorosiarczynowe
Diss.	Masa celulozowa do przerobu chemicznego
NSSC	NSSC
Spec.	Spec.
NB: CM = Continuous monitoring;	Uwaga: CM = monitorowanie ciągle;
PM = Periodic monitoring;	PM = monitorowanie okresowe;
? = No information on type of monitoring	? = brak informacji na temat rodzaju monitorowania
Source: EIPPCB questionnaires from 2007/2009 and other TWG input	Źródło: Kwestionariusze EIPPCB z lat 2007/2009 oraz inne opracowania autorstwa TGR



Uwaga: CM = stałe monitorowanie; ? = brak informacji na temat rodzaju monitorowania

Źródło: Kwestionariusze EIPPCB z lat 2007/2009 oraz inne opracowania autorstwa TGR

Rysunek 4.36 Emisje NOx z kotła odzysknicowego jako średnie wartości krótkoterminowe

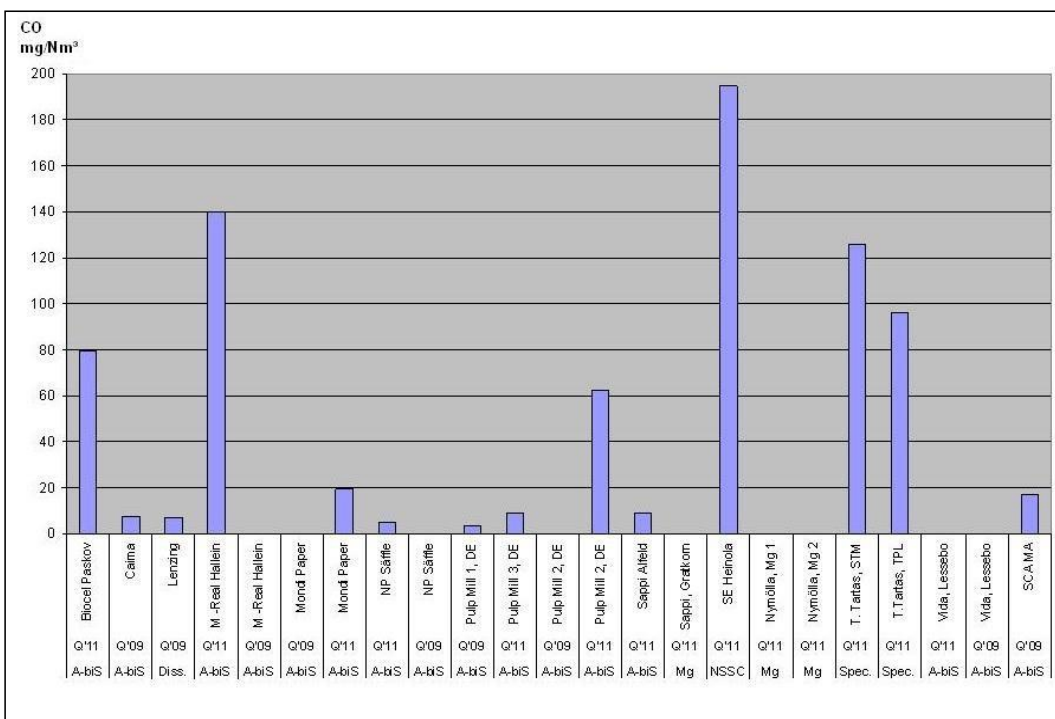
NOx mg/Nm <sup>3</sup>	NOx mg/Nm <sup>3</sup>
NOx conc min	NOx stężony min.
NOx conc max	NOx stężony maks.
yearly average	średnia roczna
95% daily averages	średnie wartości dobowe na poziomie 95
Average 2/a ?	Średnia 2/a ?
1/a	1/a
(paper pulp)	(masa papiernicza)
all operating conditions, year 2008	wszystkie warunki działania, rok 2008
all operating conditions, 2 typical month, yearly av. 2008	wszystkie warunki działania, 2 typowe miesiące, średnia roczna 2008
all operating conditions, 3 typical days, yearl av. 2008	wszystkie warunki działania, 3 typowe dni, średnia roczna 2008
NH <sub>3</sub> all < 1 mg/Nm <sup>3</sup>	NH <sub>3</sub> wszystkie < 1 mg/Nm <sup>3</sup>
NB: CM = Continuous monitoring	Uwaga: CM = monitorowanie ciągle
? = No information on type of monitoring	? = brak informacji na temat rodzaju monitorowania
Source: EIPPCB questionnaires from 2007/2009 and other TWG input	Źródło: Kwestionariusze EIPPCB z lat 2007/2009 oraz inne opracowania autorstwa TGR

### Emisje CO

Emisje tlenku węgla (CO) zazwyczaj powstają w wyniku stosowania składników organicznych za pośrednictwem stężonego ługu powarzelnego. Podczas spalania przekształcają się one w CO<sub>2</sub> i w mniejszym stopniu w CO. Emisje CO mogą wynikać ze słabego spalania i niewłaściwych warunków spalania.

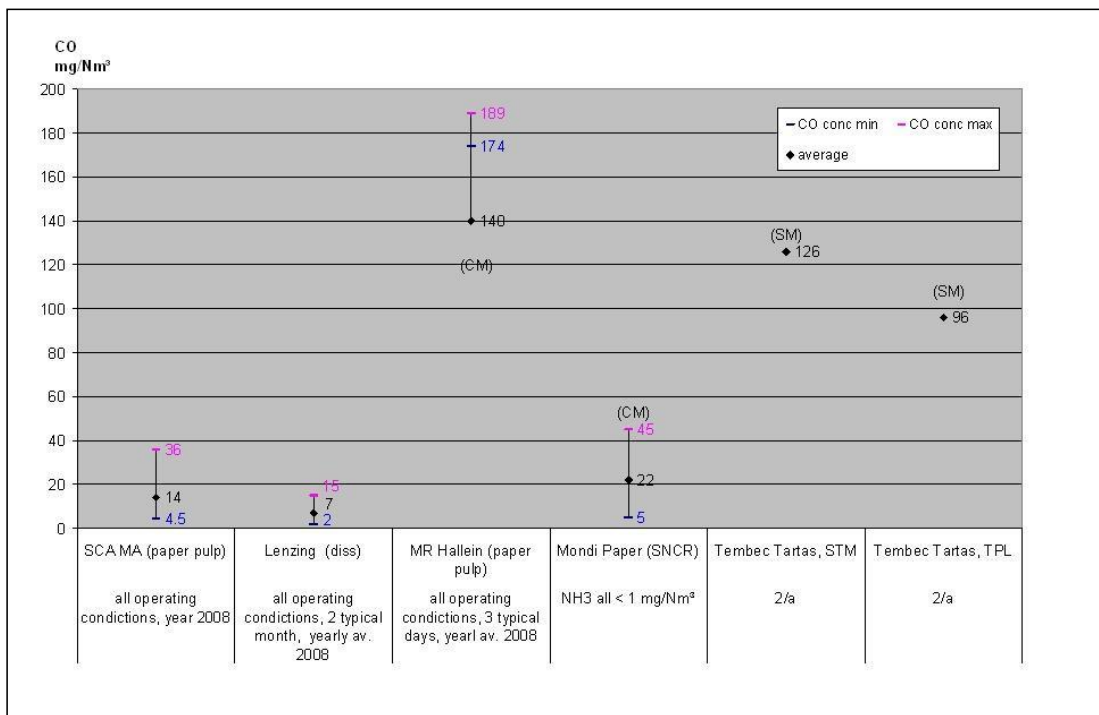
Taki wzrost wskaźnika emisji CO zazwyczaj jest zbieżny ze spadkiem emisji NOx. Stopień stężenia CO i organicznie związanego węgla w spalinach stanowi miarę szybkości wypalania paliw. Średnia wartość dobową stężenia CO waha się w granicach od 5 mg/Nm<sup>3</sup> do 190 mg/Nm<sup>3</sup>. Wyższe wartości CO można zaobserwować, gdy tlen do spalania utrzymywany jest na niskim poziomie (na przykład 1,5% O<sub>2</sub>) w celu obniżenia emisji NOx. W innych zakładach działają kotły odzysknicowe, a zawartość tlenu waha się w granicach od 3% do 5%.

Podane emisje CO przedstawiono na rys. 4.37 i 4.38.



Rysunek 4.37 Emisje CO z kotła odzysknicowego jako wartości roczne

A-bis	A wodorosiarczynowe
Diss.	Masa celulozowa do przerobu chemicznego
NSSC	NSSC
Spec.	Spec.
Source: EIPPCB questionnaires from 2007/2009 and other TWG input	Źródło: Kwestionariusze EIPPCB z lat 2007/2009 oraz inne opracowania autorstwa TGR



Rysunek 4. 38 Emisje CO z kotła odzysknicowego jako średnie wartości krótkoterminowe

CO conc min	CO stężony min.
average	średnia
CO conc max	CO stężony maks.
all operating conditions, year 2008	wszystkie warunki działania, rok 2008
all operating conditions, 2 typical month, yearly av. 2008	wszystkie warunki działania, 2 typowe miesiące, średnia roczna 2008
all operating conditions, 3 typical days, yearl av. 2008	wszystkie warunki działania, 3 typowe dni, średnia roczna 2008
NH3 all < 1 mg/Nm <sup>3</sup>	NH3 <sup>3</sup> wszystkie < 1 mg/Nm <sup>3</sup>
2/a	2/a
(paper pulp)	(masa papiernicza)
(diss)	(masa celulozowa do przerobu chemicznego)
(SNCR)	(selektywna redukcja niekatalityczna)
Source: EIPPCB questionnaires from 2007/2009 and other TWG input	Źródło: Kwestionariusze EIPPCB z lat 2007/2009 oraz inne opracowania autorstwa TGR

Tabela 4. 12 Emisje z przykładowych kotłów odzysknicowych w zakładzie siarczynowym

<b>Dwutlenek siarki (SO<sub>2</sub>)</b>	<b>Średnia roczna</b>	<b>Średnia dobową (zakres od min. do maks.), w tym uwagi z wyjaśnieniami*</b>
Czterostopniowa płuczka Venturiego i płuczka	144 mg SO <sub>2</sub> /Nm <sup>3</sup> 1,1 kg SO <sub>2</sub> /t pow. s.m.	30-200 mg SO <sub>2</sub> /Nm <sup>3</sup> (normalne działanie); 200-550 mg SO <sub>2</sub> /Nm <sup>3</sup> (czyszczenie płuczki Venturiego) 500-1000 SO <sub>2</sub> /Nm <sup>3</sup> (czyszczenie płuczki końcowej); patrz rys. 4.31 (6% O <sub>2</sub> ) 20-80 mg SO <sub>2</sub> /Nm <sup>3</sup> (normalne działanie); podczas oczyszczania płuczki wartości rosną do 250-300 mg SO <sub>2</sub> /Nm <sup>3</sup> ; niektóre wartości półgodzinne osiągają poziom 200 mg SO <sub>2</sub> /Nm <sup>3</sup> (czyszczenie płuczki końcowej); (5% O <sub>2</sub> )
Filtr elektrostatyczny i trójstopniowy filtr do przeciwwądrowego mycia masy	brak danych 0,62 kg SO <sub>2</sub> /t pow. s.m.	
Filtr elektrostatyczny i trzy płuczki Venturiego	156 mg/Nm <sup>3</sup> 1,12 kg SO <sub>2</sub> /t pow. s.m.	W danych nie uwzględniono mycia kwasem płuczek Venturiego (8 godz./miesięcznie) (2,5% O <sub>2</sub> )
<b>Tlenki azotu (NO<sub>2</sub>)</b>	<b>Średnia roczna</b>	<b>Średnia dobową (zakres od min. do maks.)</b>
Regulacja spalania: CO, O <sub>2</sub> i NO <sub>x</sub>	175-400 mg NO <sub>x</sub> /Nm <sup>3</sup> 0,9 – 2,6 kg NO <sub>x</sub> /t pow. s.m.	170-500 mg NO <sub>x</sub> /Nm <sup>3</sup>
<b>Cząstki</b>	<b>Średnia roczna</b>	<b>Średnia dobową (zakres od min. do maks.)</b>
Instalacja do odsiarczania; brak konkretnej techniki redukcji	Pomiary okresowe	1-25 mg pyłu/Nm <sup>3</sup> ; w pojedynczych przypadkach do 150 mg pyłu /Nm <sup>3</sup>
<b>Tlenek węgla</b>	<b>Średnia roczna</b>	<b>Średnia dobową (zakres od min. do maks.)</b>
W zależności od warunków spalania i ustalonych celów	4-150 mg CO/Nm <sup>3</sup>	5-190 mg CO/Nm <sup>3</sup>
Uwaga: Dane dotyczą normalnych warunków działania: temperatura: 273.15 K, ciśnienie: 101.3 kPa, gaz suchy. W przypadku gdy nie wskazano zawartości O <sub>2</sub> , dane dotyczą zakresu 2.5-6% O <sub>2</sub> ; źródło danych: wypełnione kwestionariusze.		

W zakładzie stosującym metodę NSSC, w którym działa raczej niewielki kocioł odzysknicowy (35 MW<sub>th</sub>) odnotowano emisje wskazane w tabeli 4.13. Wyróżniają się tu duże różnice w odniesieniu do emisji. Wydaje się, że wynikają z tego, że w profilu emisji niewielkiego kotła o bardzo małej pojemności buforowej do rekompensowania można zaobserwować każdą nietypową sytuację w odniesieniu do produkcji, odzysku substancji chemicznych i kotłów odzysknicowych. Emisje w okresach przestojów i rozruchu są wyższe niż podczas normalnej pracy. Wyższe wartości w tabeli 4.13 są wyjątkowe i normalnie raz na jakiś czas występuje pojedyncza wysoka wartość. Jednak wyższe poziomy emisji z kotłów odzysknicowych są normalne w przypadku zakładów stosujących metodę NSSC z odzyskiem substancji chemicznych i danym rodzajem kotła.

W przypadku emisji CO wysokie wartości normalnie występują podczas postojów i rozruchu. Cząstki są trudne do regulowania, ponieważ z soli na bazie sodu na odcinkach filtra elektrostatycznego może odkładać się kamień.



Tabela 4. 13 Emisje do powietrza z niewielkiego kotła odzysknicowego w zakładzie stosującym metodę NSSC i różnice w tym zakresie

Dwutlenek siarki (SO <sub>2</sub> )	Średnia roczna	Średnia dobowa (zakres od min. do maks.)
Po filtrze elektrostatycznym i jednoetapowym skruberze, 6% O <sub>2</sub>	700-1000 mg/Nm <sup>3</sup> 0,7 – 0,9 kg/t pow. s.m.	300-3000 mg/Nm <sup>3</sup>
Tlenki azotu (NO <sub>2</sub> )	Średnia roczna	Średnia dobowa (zakres od min. do maks.)
Brak technik redukcji, wyłącznie regulacja warunków spalania, 6% O <sub>2</sub>	Nie dotyczy. 0,3 – 0,4 kg/t pow. s.m.	100-300 mg/Nm <sup>3</sup>
Cząstki	Średnia roczna	Średnia dobowa (zakres od min. do maks.)
Trzyczęściowy filtr elektrostatyczny, 3% O <sub>2</sub>	30-90 mg/Nm <sup>3</sup> 0.1 – 0.2 kg/t pow. s.m.	20-150 mg/Nm <sup>3</sup>
Tlenek węgla	Średnia roczna	Średnia dobowa (zakres od min. do maks.)
Brak technik redukcji, wyłącznie regulacja warunków spalania, 6% O <sub>2</sub>	200-600 mg/Nm <sup>3</sup> 0,3 – 1,0 kg/t pow. s.m.	100-5000 mg/Nm <sup>3</sup>
Uwaga: Pomiarów dokonano w latach 2004-2009 w jednym z zakładów stosujących metodę NSSC, a dane dotyczą normalnych warunków działania.		

### Niezorganizowane emisje SO<sub>2</sub> z procesu

Emisje SO<sub>2</sub> z celulozowni siarczynowych zasadniczo pochodzą z trzech źródeł: z kotłów odzysknicowych (patrz punkt wyżej), kotłów korowych (patrz punkt poniżej) i z różnych innych procesów. Podczas produkcji z wykorzystaniem ługu warzelnego, w komorach fermentacyjnych, podczas mycia masy celulozowej i w instalacji odparowywania występują niezorganizowane, w mniejszym stopniu stężone emisje SO<sub>2</sub> związane z przeprowadzanymi procesami. Niektóre zakłady okresowo dokonują pomiaru tych niezorganizowanych emisji i szacunkowo określają odprowadzany do środowiska ładunek, mnożąc te wartości przez zmierzone przepływy lub wskaźnik emisji.

Na przykład jeden z zakładów stosujących metodę NSSC podał, że odprowadzane z niego niezorganizowane gazy mierzono raz na rok. Na podstawie wyników tych pomiarów zakład w przybliżeniu oblicza emisje niezorganizowane. Wyliczenia dotyczące innych źródeł emisji niezorganizowanych odbywają w sposób ciągły na podstawie wyników pomiarów i pewnych wskaźników, które nanoszone są za pomocą systemu raportowania. Tylko dwa źródła emisji niezorganizowanych (spośród około 40 występujących w tym przypadku) mierzy się trzy razy w tygodniu, następnie oblicza się ładunek.

W wielu celulozowniach siarczynowych (np. we wszystkich zakładach w Austrii i Niemczech) zainstalowany jest system wychwytywania gazów wentylacyjnych z prawie wszystkich procesów, z których mogą wydostawać się rozproszone emisje SO<sub>2</sub>. Zdecydowana większość tych rozproszonych gazów wychwytywana jest przez system wychwytywania słabych gazów i wykorzystywana w kotle odzysknicowym jako powietrze do spalania. Dobrze zaprojektowane, utrzymywane i obsługiwane systemy wychwytywania gazu powinny umożliwiać odzyskanie niemal wszystkich niezorganizowanych emisji SO<sub>2</sub> z zakładu, tak by do środowiska nie wydostawały się żadne większe rozproszone emisje SO<sub>2</sub>.

Wiele zakładów siarczynowych przetwarza dwutlenek siarki w postaci płynnej. Jeśli przechowują i przetwarzają one więcej niż 200 ton SO<sub>2</sub>, na podstawie dyrektywy Seveso II zastosowanie mają rozszerzone obowiązki w zakresie bezpieczeństwa, ponieważ korzystanie z SO<sub>2</sub> w stanie ciekłym w razie wypadku stanowi potencjalne zagrożenie dla zdrowia i środowiska.

### Emisje z kotłów korowych i kotłów pomocniczych do wytwarzania pary i energii elektrycznej

Oprócz kotła odzysknicowego emisje do powietrza pochodzą również z procesów spalania służących do wytwarzania pary i energii elektrycznej: emisje obejmują NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO oraz pył. Do wytwarzania pary

można stosować różne rodzaje paliw i kotłów. Zazwyczaj w zakładach siarczynowych działają kotły korowe, w których spala się również korę, odrzuty, sęki, włókna i osad biologiczny (patrz punkt 2.6).

### Emisje gazów o nieprzyjemnym zapachu

W porównaniu do roztwarzania siarczanowego emisje gazów o nieprzyjemnym zapachu z procesu roztwarzania siarczynowego są normalnie ograniczone. Niemniej jednak emisje tioli furfuralu i H<sub>2</sub>S mogą powodować nieprzyjemny zapach, a emisje siarki w stanie gazowym również mogą powodować pewne niedogodności. W wielu zakładach emisje gazów o nieprzyjemnym zapachu udaje się wychwycić i spala się je w kotle odzysknicowym (we wszystkich zakładach w Niemczech i w Austrii). Innym rozwiązaniem jest czyszczenie płuczek gazowych mokrych.

### Emisje LZO

Emisje lotnych związków organicznych z procesu kształtują się na poziomie około 0,2 kg/t masy siarczynowej. Hałdy zrębków również przyczyniają się do powstawania emisji LZO.

Jeden z zakładów wykorzystuje wyekstrahowane kondensaty z odparowywania do przygotowywania ługu warzelnego, co może prowadzić do emisji z komina lotnych związków organicznych (kwasów organicznych). Jeśli drewno drzew liściastych poddaje się intensywnemu warzeniu (miażga wiskozowa) większość hemicelulozy ulega hydrolizie, co powoduje wysokie stężenie kwasu octowego, furfuralu i ksylozy w ługu powarzelnego. W instalacji do odparowywania te substancje lotne trafiają do kondensatu. Stąd można je wyodrębnić i sprzedawać jako produkty. Oczyszczony kondensat zawierający resztę kwasu octowego i furfuralu można wykorzystać w skruberach i do wypłukiwania popiołu z MgO. Część emisji substancji lotnych można uwolnić wraz ze spalinami, jednak nie ma w tym zakresie żadnych dostępnych pomiarów.

#### 4.2.2.6 Wytwarzanie odpadów stałych

Wytwarzanie masy siarczynowej wiąże się z wytwarzaniem różnych rodzajów określonych odpadów/pozostałości związanych z produkcją, z których większość da się w jakiś sposób wykorzystać. Odpady/pozostałości powstają w trakcie różnych etapów procesu produkcyjnego, takich jak korowanie, zrębkowanie, przesiewanie, klarowania ługu warzelnego (osad z warzenia kwasem służy do odprowadzania wapnia), mycie urządzeń technologicznych w strefie komór fermentacyjnych (o ile jako zasadę stosuje się wapń), konserwacja i z osadów z oczyszczania wody nieoczyszczonej i ścieków. W tabeli 4.14 przedstawiono dane z niemieckiej celulozowni siarczynowej, która podała główne frakcje odpadów, w tym kilka możliwości dalszego oczyszczania. W dużej mierze zależą one od lokalnych warunków.

Tabela 4. 14 Przykładowe odpady wytwarzane podczas produkcji masy siarczynowej

Kod odpadu	Opis	Pochodzenie	Ilość (t)	Potencjalny sposób utylizacji
17 04 05	Złom (taśmy stalowe, część sprzętu, itp.)	Pakowanie bali, konserwacja instalacji	2.8 kg/t	Wykorzystywanie jako materiału
03 03 01	Kora	Instalacja do korowania	90 kg/t	Wykorzystywanie jako paliwa, do kotła na biomasę
-	Wióry	Obróbka drewna	30-50 kg/t	Produkcja płyt wiórowych
-	Odrzuty z przesiewania wstępnego	Przesiewanie	23 kg/t	Wykorzystywanie jako paliwa, do kotła na biomasę
-	Odrzuty z przesiewania drobnego (zrębki, sęki, kora, włókna, piasek)	Przesiewanie (0,51% strat)	8 kg/t	Wykorzystywanie jako paliwa, na mur, do kotła na biomasę 8 kg/t

03 03 06	Osad z produkcji masy celulozowej i papieru	Mechaniczno-biologiczne oczyszczanie wody przemysłowej, odzysk substancji chemicznych (osad z osadnika SO <sub>2</sub> )	60-80 kg/t	Spalania na miejscu, rekultywacja składowisk, na mur z cegieł
20 03 01	Zmieszane odpady komunalne	Eksploatacja instalacji	0.4 kg/t	Sortowanie, wykorzystywanie
13 02 02	Olej odpadowy	Konserwacja	0,03 kg/t	Wykorzystywanie jako materiału lub paliwa

Uwaga:

(1) Europejski katalog odpadów (ang.: European Waste Catalogue – EWC) to zharmonizowany, niepełny wykaz odpadów, poddawany okresowemu przeglądowi, a w razie potrzeby korygowany zgodnie z procedurą Komitetu. Jednak uwzględnienie materiału w wykazie nie oznacza, że dany materiał w każdym przypadku stanowi odpad. Wpis w wykazie ma znaczenie tylko wtedy, gdy zgodny jest on z definicją odpadów [IPST, 1997].

(2) Materiał referencyjny (niemiecki zakład, rok referencyjny: 1996) nie zakwalifikował się jako suche substancje stałe. Wydaje się, że powyższy rysunek wskazuje na więcej niż 50% wody. Normalnie w odniesieniu do osadu pierwotnego i wtórnego wartość w zakresie 20-25 kg/t pow. s.m. wydaje się uzasadniona, gdy stosuje się osad czynny.

Oprócz informacji podanych w tabeli pod uwagę wziąć trzeba następujące rodzaje odpadów/pozostałości: popiół i żużel z ekstrakcji energii (połączone spalanie biopaliwa i paliw kopalnych); odpady z hali przygotowania drewna (piasek itp.); popiół i żużel z kotłów odzysknicowych; piasek z kotła fluidalnego (o ile kocioł taki jest stosowany); gips z procesu siarczynowego z wykorzystaniem wapnia jako zasady oraz w przypadku celulozowni zintegrowanych – pozostałości z papieru.

Odpady drewniane, takie jak kora, zrębki, wióry, sęki itp. spala się na miejscu. Popiół z kotła odzysknicowego i z kotłów korowych częściowo wykorzystuje się do innych celów. Poza tym powstają osady z klarowania ługu warzelnego i ze zbiorników na zasady.

Niemiecki zakład siarczynowy wykorzystujący wody powierzchniowe podał, że z uzdatniania nieoczyszczonej wody (flokulacji) powstają znaczne ilości osadów na poziomie do 50 kg/t powietrznie suchej masy.

Ilość odpadów kierowana z roztwarzania siarczynowego na składowiska w Europie waha się od około 2,5 kg do 50 kg. Na odpady organiczne składają się pozostałości drewna, kora, odrzuty z roztwarzania, osady z włókien i osady ściekowe. Jeśli odpady organiczne spala się w specjalistycznych spalarniach, nie ma praktycznie żadnych odpadów organicznych przeznaczonych do składowania na wysypiskach. Zgodnie z europejską dyrektywą w sprawie składowania odpadów [265, dyrektywa 1999/31/WE, 1999] czas potrzebny w przypadku składowanych odpadów innych niż obojętne, takich jak osady ściekowe lub odpady z dużą ilością materii organicznej, jest ograniczony. W dyrektywie ustanowiono cele i ograniczenia co do ilości odpadów ulegających biodegradacji, dopuszczonych do składowania na wysypiskach, dlatego też zakłady siarczynowe muszą znaleźć odpowiednią strategię, tak by uniknąć składowania odpadów organicznych bez ich wstępnej obróbki. W zintegrowanej celulozowni siarczynowej, w której wszystkie pozostałości organiczne spala się na miejscu (kora, drewno odpadowe, osady z włóknami, osady z oczyszczania biologicznego), ilość podanych odpadów kształtuje się na poziomie 1,3 kg suchej masy (s.m.)/t powietrznie suchej masy (100% s.m.) z produkcji masy celulozowej i 0,9 kg s.m./t powietrznie suchej masy z produkcji papieru. Popiół z procesu spalania można wykorzystać w różny sposób, np. w sektorze produkcji cementu.

#### 4.2.2.7 Hałas

Emisje hałasu występują w całym procesie produkcji masy celulozowej, począwszy od transportu bali lub trocin, poprzez plac drzewny, instalację do korowania i zrębkowania, a skończywszy na wielu innych procesach generujących hałas.

Emisje hałasu z placu drzewnego mierzy się w różnych miejscach w pobliżu placu drzewnego. Główne źródła hałasu to:

- transport i obróbka bali (np. przenośnik drewna, stół podający do prac z żywnością),
- rozładunek sypkich substancji chemicznych i paliw,
- urządzenia do korowania,
- frez do przerabiania drewna na zrębki,
- wysokoobrotowe wiatraki na dachu (hałas zredukowany za pomocą tłumików zamontowanych wokół wiatraków),
- pompy próżniowe,
- urządzenia do szlifowania,
- zawory bezpieczeństwa,
- wyloty przewodów kominowych,
- dmuchawy,
- silniki,
- operacje logistyczne.

Na podstawie przepisów krajowych celulozownie siarczynowe często muszą przestrzegać norm w zakresie redukcji i prowadzone są w nich badania i oceny dotyczące hałasu. W celu zmniejszenia emisji hałasu w celulozowniach stosuje się również naturalne ekrany akustyczne, takie jak budynki biurowe, mury, drzewa lub krzewy. W przypadku gdy w pobliżu zakładu znajdują się obszary zamieszkane, inwestycje w zmiany technologiczne lub zwiększenie wydajności wiążą się z koniecznością ograniczenia emisji hałasu.

### 4.3 Techniki, które należy uwzględnić przy ustalaniu najlepszych dostępnych technik BAT

W niniejszym rozdziale omówiono techniki (lub ich kombinacje) oraz ich monitorowanie mające potencjał do osiągnięcia wysokiego poziomu ochrony środowiska w działaniach w zakresie niniejszego dokumentu. Opisane techniki obejmują zarówno stosowane technologie, jak i sposób, w jaki dana instalacja jest zaprojektowana, wykonana, konserwowana, eksploatowana i wycofywana z eksploatacji.

Obejmują one systemy zarządzania środowiskowego, techniki zintegrowane z procesem oraz rozwiązania stosowane po jego zakończeniu. Rozważane są również procedury mające na celu uniknięcie generowania odpadów oraz zarządzanie nimi, w tym procedury dotyczące minimalizacji ilości odpadów i ich recyklingu, a także techniki służące obniżaniu zużycia surowców, wody i energii dzięki optymalizacji i ponownemu wykorzystaniu. Do opisanych technik zaliczają się również środki stosowane w celu zapobiegania wpływowi lub ograniczania wpływu na środowisko w wyniku wypadków i innych zdarzeń, a także środki związane rekultywacją terenu. Obejmują one także środki w zakresie zapobiegania emisjom i ograniczania ich w innych niż normalne warunkach działania (takich jak rozruch i zamykanie zakładu, wycieki, nieprawidłowe funkcjonowanie, chwilowe przestoje i ostateczne zaprzestanie eksploatacji).

Załącznik III do dyrektywy zawiera szereg kryteriów ustalania BAT, a informacje przedstawione w niniejszym rozdziale uwzględnią te aspekty. W miarę możliwości na potrzeby zarysowania informacji dotyczących każdej z technik, umożliwienia porównania technik i oceny względem definicji BAT zawartej w dyrektywie w sprawie emisji przemysłowych w tabeli 4.15 wykorzystano standardową strukturę tabeli.

Niniejszy podrozdział nie musi zawierać wyczerpującej listy technik, które można stosować w branży. Mogą istnieć lub być na etapie opracowywania inne techniki, które można uwzględnić przy ustalaniu technik BAT w odniesieniu do danej instalacji.

**Tabela 4.15** Informacje na temat poszczególnych technik opisanych w tym rozdziale

Nagłówki w punktach
Opis
Opis techniczny
Główne korzyści środowiskowe
Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne
Oddziaływanie na procesy i środowisko
Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki
Aspekty ekonomiczne
Motywacja do wdrożenia techniki
Instalacje referencyjne
Bibliografia

Niektóre z technik zapobiegania i ograniczania emisji z celulozowni siarczanowych są podobne do środków, które można stosować w celulozowniach siarczynowych. Dlatego też w przypadku celulozowni siarczynowych prezentację technik do rozważenia przy ustalaniu technik BAT można podzielić na cztery grupy technik, tak by uniknąć niepotrzebnych powtórzeń.

**Grupa 1:** Ze względu na podobieństwa między roztwarzaniem siarczynowym a roztwarzaniem siarczanowym wiele działań służących do roztwarzania siarczanowego pod wieloma względami ma zastosowanie również do roztwarzania siarczynowego. Sytuacja taka ma miejsce w przypadku technik wymienionych poniżej, dlatego czytelnika odsyłamy do odpowiednich części w rozdziale 3 na temat roztwarzania siarczanowego (i odpowiednich podrozdziałów w rozdziale 2, w których omówiono metody wspólne w odniesieniu do wszystkich zakładów):

- Suche korowanie (patrz podrozdział 2.9.2.2).
- Przesiewanie zamknięte, czyli system wodny stosowany w instalacji do przesiewania masy celulozowej to układ całkowicie zamknięty (patrz podrozdział 3.3.4).
- Wychwytywanie wycieków, tj. gromadzenie przekierowanego lub wyciekającego ługu przy możliwie najwyższym stężeniu substancji stałych ługu i zwracanie do procesu w odpowiednich miejscach zebranego mocnego lub słabego ługu i włókien. Jeśli wycieku nie da się w całości ponownie wykorzystać, należy zapobiec przedostawaniu się obciążen szczytowych skoncentrowanych strumieni do oczyszczania ścieków (patrz podrozdział 3.3.9).
- Wydajne płukanie. Wydajne systemy płuczek gwarantują przeniesienie, często określane jako „odpady po płukaniu”, na poziomie około 5-10 kg ChZT/t powietrznie suchej masy (patrz podrozdział 3.03.10).
- Instalacja technologii o niskiej emisji NO<sub>x</sub> w kotłach pomocniczych (kora, węgiel, olej) (patrz podrozdział 2.9.7.2.1) oraz selektywnej redukcji niekatalitycznej w kotłach korowych (patrz podrozdział 2.9.7.2.2).
- Filtr elektrostatyczny lub filtr workowy do redukcji pyłu w kotłach korowych (patrz podrozdział 2.9.7.1).
- Wykorzystanie wystarczająco dużych zbiorników buforowych do przechowywania stężonych lub gorących płynów z procesu w celu zapobieżenia przedostawaniu się do etapu biologicznego oczyszczania ścieków krótkotrwałych przepływów szczytowych, powodując tym samym szok pH i prawdopodobnie naruszając system oczyszczania w związku z przypadkowymi zrzutami. Kluczowe znaczenie ma dostępna pojemność (objętość) służąca do kontroli tych wycieków słabego i mocnego ługu z produkcji siarczynowej, zwłaszcza podczas rozruchu i wyłączenia instalacji lub w przypadku nienormalnych warunków. Wymagana jest dodatkowa objętość (większa niż podczas normalnej pracy), aby pomieścić przepływy szczytowe trwające kilka godzin, które wynikają z zakłóceń w działaniu instalacji (patrz podrozdział 3.3.12).
- Oczyszczanie trzeciego stopnia, takie jak strącanie chemiczne po obróbce biologicznej w celu redukcji fosforu lub zawiesiny (patrz podrozdział 3.03.14).

**Grupa 2:** Szczególne duże różnice między technologiami siarczanowymi a siarczynowymi występują w odniesieniu do następujących technik:

- rozszerzone zmodyfikowane warzenie w celu osiągnięcia niskiej liczby kappa (w trybie nieciągłym lub ciągłym) (patrz podrozdział 3.3.3);
- delignifikacja tlenowa (patrz punkt 3.3.5);
- bielenie bez użycia chloru (patrz podrozdział 3.3.7);
- bielenie bez chloru pierwiastkowego (patrz punkt 3.3.6);
- częściowe zamknięcie bielarni w połączeniu ze zwiększonym odparowywaniem (patrz podrozdział 3.3.8);
- bielenie w układzie zamkniętym w przypadku zakładów, w których jako zasadę stosuje się sól;
- wstępne oczyszczanie w instalacji ultrafiltracji ścieków z etapów z wykorzystaniem tlenu;
- zastosowanie kotła odzysknicowego zoptymalizowanego pod kątem emisji poprzez regulowanie warunków spalania;
- biologiczne oczyszczanie tlenowe ścieków (patrz podrozdział 3.3.13);
- instalacja z filtrem elektrostatycznym i wielostopniowymi skrubierami w kotle odzysknicowym (patrz podrozdział 3.3.17.2);
- wychwytywanie zawierających SO<sub>2</sub> gazów rozproszonych i o nieprzyjemnym zapachu na poziomie gruntu i spalanie w kotle odzysknicowym lub płukanie w skrubierach (patrz podrozdział 3.3.16.1);
- selektywna redukcja niekatalityczna (wtrysk amoniaku) w kotle odzysknicowym;
- środki zapobiegające występowaniu niekontrolowanych warunków eksploatacyjnych oraz środki mające na celu ograniczenie konsekwencji wypadków.

W odniesieniu do tych technik między celulozownikami siarczanowymi a siarczynowymi występują znaczne różnice, jednak zasady stosowania technik są w dużej mierze zbliżone. Różnice dotyczą przede wszystkim szczegółowych rozwiązań technicznych, osiągalnych poziomów liczby kappa

odzwierciedlających resztkową zawartość ligniny, sekwencji bielenia, bielności i jasności masy celulozowej, lotnych związków organicznych w zanieczyszczonych kondensatach itp. Techniki z grupy 2 powyżej omówiono w niniejszym podrozdziale.

**Grupa 3:** Niektóre techniki stosowane w ramach roztwarzania siarczanowego w ogóle nie nadają się do zastosowania w celulozowniach siarczynowych, a są to m.in.:

- zwiększanie zawartości suchej masy w ługu powarzelnym (patrz podrozdział 3.3.17.1);
- odpędzanie najbardziej stężonych zanieczyszczonych kondensatów i ponowne wykorzystywanie w procesie większości kondensatów (patrz podrozdział 3.3.11);
- wychwytywanie gazów o nieprzyjemnym zapachu i spalanie ich w piecu do wypalania wapna (patrz podrozdział 3.3.16.2);
- instalacja udoskonalonego płukania szlamu wapiennego podczas ponownej kaustyzacji (patrz podrozdział 3.3.20.2);
- filtr elektrostatyczny do redukcji pyłu w piecu do wypalania wapna (patrz podrozdział 3.3.22);
- spalanie gazów o nieprzyjemnym zapachu w osobnym piecu wyposażonym w skruber (patrz podrozdział 3.3.16.3).

**Grupa 4:** Wreszcie istnieje też kilka dodatkowych technik, o których należy wspomnieć i które mają zastosowanie wyłącznie w przypadku celulozowni siarczynowych i w ogóle nie nadają się do zastosowania w zakładach siarczanowych. Również je omówiono w tym podrozdziale, a zalicza się do nich:

- neutralizacja słabego ługu przed wprowadzeniem do instalacji do odparowywania lub już wewnątrz niej;
- beztlenowa obróbka wstępna kondensatu;
- redukcja emisji pyłów i SO<sub>2</sub> z kotła odzysknicowego poprzez instalację multicyklonów/filtrów elektrostatycznych i wielostopniowych skruberów.

W podrozdziałach od 4.3.2 do 4.3.25 opisano i omówiono techniki z grup 2 i 4. Poza tym są tam też techniki wspólne w odniesieniu do większości celulozowni i papierni. Jeśli chodzi o te wspólne techniki, czytelnika odsyłamy do podrozdziału 2.9.

### 4.3.1 Korowanie na sucho

Patrz podrozdział 2.9.2.2.

### 4.3.2 Rozszerzone zmodyfikowane warzenia przez bieleniem

#### Opis

Stopień ekstrakcji ligniny z drewna podczas etapu warzenia decyduje o ilości ligniny usuwanej na kolejnych etapach bielenia. Dłuższe okresy warzenia w optymalnych warunkach umożliwiają osiągnięcie maksymalnej ilości ligniny do ekstrakcji przed bieleniem: niższa liczba kappa oznacza mniej resztkowej ligniny usuwanej podczas bielenia. Liczba kappa do warzenia jest również jednym z parametrów, które określają warunki decydujące o ostatecznej jakości masy celulozowej potrzebnej do końcowego zastosowania na potrzeby konkretnego rodzaju papieru. Resztkowa zawartość ligniny (liczba Kappa) zależy od szeregu czynników, między którymi trzeba zachować równowagę.

#### Główne korzyści środowiskowe

Liczba kappa po warzeniu decyduje o ilości substancji organicznych odprowadzanych do oczyszczalni ścieków. Niższa liczba kappa oznacza konieczność usunięcia mniejszej ilości resztek ligniny w bielarni a tym samym mniejsze obciążenie organiczne do oczyszczenia w oczyszczalni ścieków. W konsekwencji niższe są też emisje do zbiorników wodnych.

#### Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

Podczas warzenia siarczynowego powszechnie stosowane liczby kappa wahają się w granicach od 14 do

22 w przypadku drewna drzew iglastych oraz od 10 do 20 w przypadku drewna drzew liściastych. Dla porównania liczbę kappa w zakresie od 14 do 16 normalnie da się osiągnąć za pomocą procesu siarczynowego w produkcji zintegrowanej (np. w Hallein i Neusiedler (AT); Alfeld, Stockstadt i Ehingen (DE)). Na przykład dwie zintegrowane celulozownie i papiernie siarczynowe stosujące metodę z wykorzystaniem z wodorosiarczynu magnezu (w około 50% buk i w 50% świerk) przeprowadzają warzenie przy obniżonej liczbie kappa w zakresie 14-15. Po dwustopniowym bieleniu nadtlenkiem masa celulozowa charakteryzuje się jasnością ISO na poziomie 86-88% i wykorzystywana jest do produkcji papieru drukarskiego. Z drugiej strony jeden zakład wytwarzający masę celulozową z drewna liściastego (Caima, PT) przeprowadza warzenie również przy liczbach kappa w zakresie 20-22 w celu spełnienia wymaganych właściwości wytrzymałościowych i zrekompensowania spadku wytrzymałości podczas suszenia masy celulozowej.

W procesie z wykorzystaniem metody magnefitu (patrz podrozdział 4.1.1.2) podczas delignifikacji drewna drzew iglastych (świerk) liczbę kappa da się obniżyć do poziomu 21-23 w celu utrzymania akceptowalnych właściwości wytrzymałościowych masy celulozowej.

Hydrolityczne oddziaływanie na cząsteczki celulozy, intensywniej występujące zwłaszcza podczas końcowego etapu warzenia, ogranicza możliwości znacznego obniżenia liczby kappa. Poprzez optymalizację procesu możliwe jest niewielkie obniżenie jej poziomu.

Liczbę kappa można przed bieleniem dodatkowo obniżyć za pomocą etapu z wykorzystaniem tlenu (patrz podrozdział 4.3.3).

Ze względu na szczególne wymagania jakościowe produktu lub wytwarzanie masy siarczynowej do sprzedaży na rynek kilka zakładów w Europie warzenie przeprowadza przy wyższej liczbie kappa. Prawdopodobnie zakłady te muszą podejmować dodatkowe działania mające na celu zrekompensowanie większego ładunku substancji organicznych powstałego podczas kolejnych etapów bielenia.

Warzenie dodatkowo się wydłuża w celu wytworzenia masy celulozowej do przerobu chemicznego, jednak odbywa się to kosztem wydajności. To samo dotyczy wytwarzania masy specjalnej do zastosowań chemicznych.

### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Wydłużone warzenie przy niskiej liczbie kappa może mieć negatywny wpływ na wytrzymałość i poziom jasności. Niemniej jednak dzięki optymalizacji i dostosowaniu procesów można tego w znacznym stopniu uniknąć.

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Wydłużone warzenie przy obniżonej liczbie kappa można stosować zarówno w nowych, jak i istniejących zakładach, z wyjątkiem zakładów siarczynowych, w których jako zasadę stosuje się wapń, ponieważ doprowadzi to do zwiększenia skali odkładania się kamienia. Jeśli przeszkodę dla zakładu stanowi pojemność komór fermentacyjnych, nie ma możliwości zastosowania warzenia wydłużonego. W takim przypadku można stosować krótsze sekwencje warzenia, co powoduje wzrost liczby kappa.

### **Aspekty ekonomiczne**

Lignina ekstrahowana podczas warzenia umożliwia przekazywanie rozpuszczonej ligniny do instalacji odparowującej, a następnie do kotła do odzyskiwania energii. Ogólnie rzecz biorąc, utlenianie w oczyszczalni ścieków resztkowej ligniny odprowadzanej z bielarni wraz ze ściekami, stanowi droższe rozwiązanie.

### **Motywacja do wdrożenia techniki**

Łagodne warzenie w celu osiągnięcia obniżonej liczby kappa przy jednoczesnym umożliwieniu spełnienia wysokich wymagań jakościowych często wynika z krajowych przepisów dotyczących wody i konieczności obniżenia ładunku materiału organicznego odprowadzanego do zbiorników wodnych. Jest to również środek opłacalny.

### **Instalacje referencyjne**

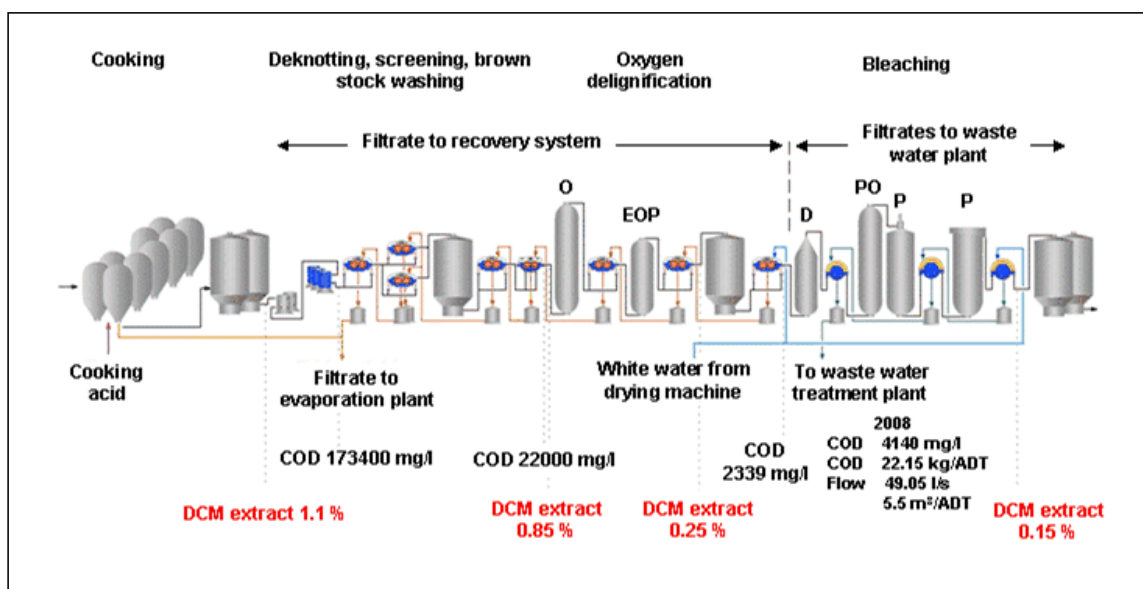
Co najmniej sześć zakładów w Niemczech i Austrii



### 4.3.3 Delignifikacja tlenowa przed bieleniem

#### Opis

Delignifikację tlenową (w skrócie etap „O” i „EOP”) można traktować jako etap łączący pomiędzy warzeniem a bieleniem. W jego ramach w celu podniesienia poziomu pH do warunków zasadowych wykorzystuje się podwyższoną temperaturę (85-95 °C), ciśnienie (2,5 bar), tlen i zasadę. Za pomocą delignifikacji tlenowej usuwa się znaczną część ligniny pozostającego po warzeniu i przed pierwszym etapem bielenia. Mierzona jako ChZT, redukcja emisji substancji organicznych z fazy tlenowej wynosi około 50% w porównaniu do sytuacji bez użycia delignifikacji tlenowej. Delignifikacji tlenowa ma wpływ na odżywianie przez zmydlanie (środkiem alkalicznym), co można zmierzyć za pomocą wartości ekstraktu chlorku metylenu. Wartości ekstraktu chlorku metylenu pokazują, w jaki sposób ilość żywicy spada podczas delignifikacji tlenowej (patrz dane przed i po etapach tlenowych). Delignifikacja tlenowa ma również pozytywny wpływ, jeśli chodzi o zanieczyszczenia w bielonej masie celulozowej. Na rys. 4.39 przedstawiono przykładową linię masy z delignifikacją tlenową, w tym również wartości ekstraktu ChZT i chlorku metylenu przed i po delignifikacji tlenowej. Widać tu wpływ etapów z użyciem tlenu na ładunek ChZT przed i po reaktorach tlenowych. W zależności od zastosowanego środka bielącego do oznaczenia etapów bielenia stosuje się symbole: tlen (O), nadtlenek wodoru (P) lub ich kombinacja (OP) i dwutlenek chloru (D).



Rysunek 4. 39 Przykładowa linia masy z delignifikacją tlenową, w tym również wartości ekstraktu ChZT i chlorku metylenu przed i po delignifikacji tlenowej

Cooking	Warzenie
Deknotting, screening, brown stock washing	Usuwanie sęków, przesiewanie, mycie masy celulozowej
Oxygen delignification	Delignifikacja tlenowa
Bleaching	Bielenie
Filtrate to recovery system	Filtrat odprowadzany do systemu odzysku
Filtrates to waste water plant	Filtrat odprowadzany do oczyszczalni ścieków
Cooking acid	Kwas warzelny
Filtrate to evaporation plant	Filtrat odprowadzany do systemu instalacji odparowującej
White water from drying machine	Woda sitowa z maszyny do suszenia
To waste water treatment plant	Do oczyszczalni ścieków
DCM extract 1.1 %	Ekstrakt chlorku metylenu 1.1%
DCM extract	Ekstrakt chlorku metylenu

COD	ChZT
Flow	Przepływ
Source: Biocel Paskov, CZ	Źródło: Biocel Paskov, CZ

Delignifikacja tlenowa potencjalnie nadaje się do zamkniętych systemów wodnych, ponieważ odprowadzane z nich ścieki zwykle wykorzystuje się jako środki do płukania podczas mycia masy celulozowej, skąd wysyłane są do procesów odzysku substancji chemicznych. Niemniej jednak zasada zastosowana w celu podniesienia poziomu pH w delignifikacji tlenowej ma duży wpływ na osiągnięcie odpowiedniego efektu buforowego. W niektórych przypadkach z doświadczenia wynika, że wykorzystanie MgOH na etapie  $O_2$  może nie być opłacalne. Dwa zakłady jako zasady do warzenia używające magnezu, a do podnoszenia poziomu pH na etapie  $O_2$  sodu znalazły rozwiązanie tego problemu:

- (a) Jeden zakład siarczynowy (produkujący masę celulozową do sprzedaży na rynek) stosujący dwuetapowy proces delignifikacji tlenowej (Biocel Pasków, CZ) donosi, że na etapie tlenowym nie ma konieczności stosowania tej samej zasady co podczas warzenia. Podczas roztwarzania przy użyciu wodorosiarczynu magnezu zakład ten podczas etapu delignifikacji i bielenia jako zasadę stosuje Na. W konsekwencji trzeba dostosować działanie obwodu odzyskiwania substancji chemicznych, a od czasu do czasu również usunąć sól. Gdy ług powarzelny siarczynowy o ograniczonej ilości jonów sodowych spala się w kotle odzysknicowym, kocioł trzeba czyścić cztery razy w roku, aby usunąć osady sodowe. Zawracanie do kotła odzysknicowego dużych ilości sodu spowodowałoby zatkanie rur w kotle i zablokowałoby kocioł (patrz przykład w punkcie (b)).

Dzięki zastosowaniu etapów z  $O_2$  w tym przypadku jest możliwość skierowania wody przemysłowej charakteryzującej się niską biodegradowalnością (wody przemysłowej zawierającej rozpuszczoną ligninę), w szczególności za pomocą płukania przeciwwądowego, do układu odzyskiwania, a nie do oczyszczania ścieków.

- (b) Inną możliwością jest stężenie ścieków z bielarni z etapu tlenowego za pomocą ultrafiltracji (patrz podrozdział 4.3.12). Wyodrębniony koncentrat można spalić w kotle korowym. Filtrat odprowadzany jest do biologicznej oczyszczalni ścieków (np. szwedzki zakład Nymölla produkujący masę celulozową przy użyciu metody magnefitę). Po ultrafiltracji ścieków z etapu tlenowego koncentrat najpierw dodaje się do rzadkiego ługu powarzelnego siarczynowego. W kotle odzysknicowym zaczęło dochodzić do bardzo wielu przypadków zatkania. Zaprzestano dodawania koncentratu. Od tego momentu koncentrat spalany jest w kotle korowym.

To, czy stosuje się delignifikację tlenową, zależy od wielu czynników. Na poniższej liście podano doświadczenia z niektórych zakładów:

- Z delignifikacji korzysta się wówczas, gdy zasadniczo trzeba usunąć ligninę. Bielenie stosuje się na potrzeby reakcji poprawiających jasność przez utlenianie łączników chromoforowych.
- Tlen stanowi selektywną substancję chemiczną do delignifikacji w mniejszym stopniu niż pozostałe środki do bielenia. Wykazuje on agresywne właściwości w stosunku do celulozy, ponieważ reaguje z ligniną. W związku z tym w wyniku etapu tlenowego mogą powstać straty w odniesieniu do właściwości wytrzymałościowych i wydajności masy celulozowej.
- Korzyści płynące z etapu delignifikacji tlenowej zależą od typu masy celulozowej i planowanej jakości produktów. W większości przypadków nie są one konieczne.
- Zawracanie ścieków z delignifikacji tlenowej jest łatwiejsze, o ile istnieje zgodność między substancjami chemicznymi do warzenia a zasadą do delignifikacji, tj. do roztwarzania wodorosiarczynom magnezu, w przypadku gdy jako zasadę zastosowano MgO.
- Ze względu na dobrą bielność masy siarczynowej, umożliwiającą krótkie sekwencje bielenia potrzebne do osiągnięcia pełnej jasności masy celulozowej, w większości przypadków nie ma potrzeby delignifikacji tlenowej. Na przykład niemieckie celulozownie osiągają pełną jasność masy celulozowej (87-88% ISO) za pomocą dwuetapowej sekwencji bielenia (EP-EP<sub>HC</sub> i P-A-P<sub>HC</sub>) bez delignifikacji tlenowej.
- Delignifikacja tlenowa nie nadaje się za bardzo w przypadku producentów masy specjalnej,

ponieważ może mieć ona negatywny wpływ na pożądaną, bardzo wysoki poziom lepkości i poziomu alfa-masy. Charakteryzuje się również ograniczonym dodatkowym wpływem na usuwanie ligniny, ponieważ ekstrakcja alkaliczna na gorąco stosowana jest już do zwiększania zawartości alfa-celulozy w masie specjalnej.

Celulozownie siarczynowe stosujące delignifikację tlenową starają się osiągnąć optymalny punkt umożliwiający uzyskanie w bielarni masy celulozowej o najniższej liczbie kappa przy zachowaniu wymaganej wytrzymałości masy i unikając jednocześnie gwałtownego spadku zakresu krzywej wydajności masy celulozowej.

#### **Główne korzyści środowiskowe**

Za pomocą delignifikacji tlenowej usuwa się znaczną część resztek ligniny pozostałych po warzeniu. Bez delignifikacji tlenowej ten ładunek ChZT trafiałby do bielarni a następnie do oczyszczalni ścieków. W przykładzie pokazanym na rysunku 4.39 filtrat z etapu tlenowego kierowany jest do jednostek odzyskiwania.

#### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Patrz rysunek 4.39.

#### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Stopień stosowania delignifikacji tlenowej wiąże się z kompleksową optymalizacją procesu na linii masy przy uwzględnieniu całkowitych kosztów, jakości masy celulozowej i wpływu na środowisko. Dlatego też nie ma jednej najlepszej sekwencji stosowanej w celulozowniach siarczynowych.

#### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Delignifikację tlenową można stosować zarówno w nowych, jak i istniejących zakładach. Ewentualne ograniczenia trzeba rozpatrywać indywidualnie w każdym przypadku przy uwzględnieniu aspektów takich jak np.: a) z powodu zastosowania etapu tlenowego mogą spaść właściwości wytrzymałościowe i wydajność masy celulozowej; b) zgodność między zasadą zastosowaną podczas warzenia a zasadą do delignifikacji; c) rzeczywiste korzyści dla środowiska płynące z delignifikacji tlenowej oraz d) przydatność delignifikacji tlenowej dla danego rodzaju produkowanej masy celulozowej.

#### **Aspekty ekonomiczne**

W przykładzie z rysunku 4.39 koszty operacyjne w 2008 w przypadku etapu tlenowego (O) i etapu ekstrakcji przy użyciu NaOH wraz z późniejszym dodatkiem tlenu i nadtlenu wodoru jako środka wzmacniającego (etap EOP) kształtowały się na poziomie 19,6 EUR/t powietrznie suchej masy. Straty w odniesieniu do wydajności podczas etapu O i EOP oszacowano na około 3% łącznie.

#### **Motywacja do wdrożenia techniki**

Podczas delignifikacji z terenu usuwa się znaczną część ligniny mierzonej jako ChZT, a proces ten przyczynia się również do usuwania żywic, które można zmierzyć za pomocą wartości ekstraktu chlorku metylenu. Ma ona również pozytywny wpływ, jeśli chodzi o zanieczyszczenia w bielonej masie celulozowej. Delignifikacja tlenowa umożliwia zawrótce filtratu do jednostek odzysku i uniknięcie kierowania ich do bielarni lub oczyszczalni ścieków. Tym samym gwarantuje ona zmniejszenia emisji substancji organicznych do wody.

#### **Instalacje referencyjne**

Sappi Gratkorn, AT; Biocel Paskov, CZ; Stora Enso Nymölla, SE.

#### **Bibliografia**

[ 266, Ragnar, Kvaerner 2002 ].

### **4.3.4 Przesiewanie zamknięte masy bielonej**

Patrz podrozdział 3.3.4.

### 4.3.5 Wydajne mycie masy celulozowej

Patrz podrozdział 3.3.10.

### 4.3.6 Wydajne monitorowanie wycieków i zanieczyszczeń, w tym również system odzyskiwania substancji chemicznych i energii

Patrz podrozdział 3.3.9.

### 4.3.7 Bielenie bez użycia chloru

#### Opis

Od początku lat 90-ych bielenie bez użycia chloru jest najczęściej stosowaną metodą bielenia w europejskich celulozowniach siarczynowych.

Kolejność bielenia bez użycia chloru charakteryzuje się brakiem substancji zawierających chlor. Stosuje się jedynie substancje zawierające tlen, unikając wytwarzania w masie celulozowej i w strumieniu ścieków organicznie związanego chloru. W Europie nie ma celulozowni siarczynowych jako środka bielącego stosujących chlor i w większości przypadków produkcję masy celulozowej bez chloru pierwiastkowego zastąpiono sekwencjami bielenia bez użycia chloru. Istniejące bielarnia przekształcono poprzez reorganizację i modernizację sprzętu. Sekwencje bielenia przy użyciu chloru, np. C-E-H-H i C/D-E-D(E-D) stopniowo przekształcano na sekwencje bez użycia chloru. Zaprzestano pierwszych etapów bielenia chlorem cząsteczkowym i rozpoczęto produkcję masy celulozowej bez chloru pierwiastkowego. Następnie poprzez dalszy rozwój procesy te przekształcono na bielenie bez użycia chloru (np. EOP-Q-EOP(-EP)). Użycie środków kompleksujących na etapach z użyciem nadtlenu i zwiększenie stężenia w wieżach bielenia umożliwiło wytwarzanie wysokiej jakości masy papierniczej.

Zaczęto wprowadzać kolejne wymogi dotyczące bielenia bez użycia chloru, takie jak rozszerzone i równomierne warzenie, procesy płukania o wysokiej skuteczności i zwiększone możliwości odparowywania.

Jedną z wad wczesnych procesów bielenia bez użycia chloru była utrata wytrzymałości wytwarzanej masy celulozowej wynikająca z oddziaływania na strukturę celulozy różnych rodników powstających podczas bielenia nadtlennowego. Przez wprowadzenie lepszej regulacji procesu mającej na celu zapobieżenie psuciu się nadtlenu oraz regulacji profilu temperatury i odczynu pH a także przez wprowadzenie środków kompleksujących problemy te udało się rozwiązać. Producenci wytwarzający masę siarczanową bez użycia chloru nauczyli się dostosowywać proces do wymaganych poziomów jasności i wytrzymałości poprzez optymalizację całego systemu z punktu widzenia środowiska, wydajności i poziomu kosztów. Podejście to dotyczy zintegrowanych zakładów produkujących masę papierniczą. Producent masy siarczynowej do sprzedaży na rynek o znacznie szerszym spektrum klientów, aby uzyskać jakość masy celulozowej odpowiadającą potrzebom klientów, może potrzebować łagodnego etapu z zastosowaniem dwutlenku chloru (etap D).

Wprowadzanie wodorotlenku magnezu jako źródła wodorotlenków (tylko w przypadku tych zakładów siarczynowych, w których w komorze fermentacyjnej jako zasadę stosuje się magnez) na pierwszym etapie bielenia po wyjściu z komory fermentacyjnej umożliwiło dalsze zamknięcie obiegu wody i rozpowszechnianie stosowania i integracji tych środków w ramach cyklu odzysku termicznego (patrz podrozdział 4.3.8). Niektóre zakłady stwierdziły jednak, że wodorotlenek magnezu stosowany jako alkalia nie jest zgodny z masą celulozową o wysokich wymaganiach pod względem jasności (powyżej 87% ISO). Po wymianie stopień delignifikacji spadnie z 40-60% do 25-35%. Około 50-60% ługu z etapu tlenowego trafi do odparowywania, natomiast 40-50% zostanie skierowane do obróbki biologicznej.

Zanim możliwe będzie wykorzystanie w pełni tej funkcji technicznej, konieczne będzie obniżenie zużycia świeżej wody, zoptymalizowanie zapotrzebowania na parę i zarządzanie niepożądanymi substancjami. Regulowanie psucia się nadtlenu wodoru, który w procesie tym jest głównym czynnikiem kosztotwórczym, poprzez wprowadzenie środków kompleksujących (DTPA), jak również stabilizatorów takich jak krzemian sodu, stało się elementem koniecznym do regulacji procesu. Regulowanie przekazywania MgO do kolejnego etapu bielenia w trakcie etapu płukania kwasem jest ważne i powinno być ściśle monitorowane.

Przykładowe warunki procesu w ramach typowej sekwencji bielenia bez użycia chloru na potrzeby produkcji masy siarczynowej przedstawiono w tabeli 4.16.

**Tabela 4. 16 Przykładowe warunki procesu w ramach typowej sekwencji bielenia bez użycia chloru na potrzeby produkcji masy siarczynowej**

Parametr	Etap O lub EOP	Płukanie	Etap(y) EP lub EOP
Temperatura	65 – 75 °C	50 – 70 °C	65 – 80 °C
Ciśnienie	1 – 4 bar	-	1 – 2,5 bar
Stężenie	10 – 14	3 – 5	14 – 40
Liczba kappa	21 – 24 → 11 – 13	-	→ 3 – 5
NaOH	15 – 25	-	5 – 15
O <sub>2</sub>	5 – 15	-	0 – 7
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	2 – 10	-	10 – 25
EDTA/DTPA	-	0,5 – 1,5	

#### **Główne korzyści środowiskowe**

Brak powstających podczas bielenia adsorbowalnych związków chloroorganicznych (mierzonych jako AOX). Emisje usuwalnych lub lotnych organicznie związanych halogenów (POX) do atmosfery zredukowano do zera. Wyprodukowana masa bielona bez użycia chloru nie zawiera organicznie związanego chloru, który mógłby być odprowadzany do środowiska podczas ponownego roztwarzania masy celulozowej w papierniach.

Ogólnie rzecz biorąc, bielenie bez użycia chloru prowadzi do obniżenia emisji substancji kolorowych odprowadzanych wraz ze ściekami, natomiast w oczyszczalni biologicznej większa jest też rozkładalność ścieków. Poza tym dzięki bieleniu bez użycia chloru można zaoszczędzać energię. Zapotrzebowanie na parę w bielarni można zmniejszyć z 0,5-1 ton pary/t powietrznie suchej masy do poniżej 0,5 ton pary/t powietrznie suchej masy. Zapotrzebowanie na energię można zmniejszyć o 10-20%. Dane te zależą od wydajności odzysku wody przemysłowej i poziomu zamknięcia obiegu wody. Pod uwagę wzięto tu również kwestie dotyczące jakości masy celulozowej. Wyższy stopień zamknięcia wody zwiększa ryzyko niepożądanego pogorszenia się jakości nadtlenu, ponieważ w szczelnie zamkniętym obiegu wody może zwiększyć się ilość niepożądanych substancji (zarówno organicznych, jak i metali).

Podczas bielenia bez użycia chloru oczywiście nie występują żadne z zagrożeń związanych z magazynowaniem chloru i przygotowywaniem dwutlenku chloru.

#### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Aktualnie udało się już osiągnąć wystarczające doświadczenie w odniesieniu do wszystkich cech masy siarczynowej bielonej bez użycia chloru. Nie dochodzi do żadnych problemów operacyjnych, pod warunkiem że prowadzone jest bardzo proste zarządzanie metalami oraz procedury odkamieniania i czyszczenia sprzętu technologicznego. Ścisła kontrola pH na wszystkich etapach procesu ma zasadnicze znaczenie dla zapobiegania odkładaniu się kamienia. Aby zachować sprawność działania trzeba przeprowadzać dokładne procedury usuwania odkładającego się kamienia i czyszczenia urządzeń albo w trakcie ich regularnego wyłączania, albo podczas okresów, kiedy urządzenia można wyciągnąć z eksploatacji. Ścieki powstałe w wyniku tej operacji czyszczenia odprowadza się do oczyszczalni.

W przypadku celulozowni siarczanowych produkujących jedynie masę papierniczą do sprzedaży na rynek do osiągnięcia wymagań rynkowych w zakresie jakości masy celulozowej może być konieczne przeprowadzenie jednego łagodnego etapu D. Jednak taką masę celulozową można wytwarzać przy stosunkowo niskim dawkowaniu  $\text{ClO}_2$ . Jedyna europejska celulozownia produkująca wyłącznie masę papierniczą do sprzedaży na rynek przy użyciu jednego etapu bielenia z wykorzystaniem  $\text{ClO}_2$  zgłosiła poziomy emisji AOX poniżej 0,1 kg/t powietrznie suchej masy. Jeżeli masę białoną produkuje się wyłącznie przy użyciu małych dawek  $\text{ClO}_2$ , emisje AOX w oczyszczonych ściekach wahają się w granicach od 0,6 mg/l do 0,8 mg/l, a w przypadku produkcji czystej masy celulozowej bez chloru pierwiastkowego pomiary w ściekach kształtują się na poziomie 1.2-1.8 mg AOX/l przy średnim przepływie na poziomie około 34 m<sup>3</sup>/t powietrznie suchej masy.

W podrozdziale 3.1.7 podsumowano wyniki dyskusji na temat bielenia bez chloru pierwiastkowego w porównaniu do bielenia bez użycia chloru.

### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Liczne pozytywne efekty stosowania tej techniki wymieniono w powyższym ustępie (osiągnięte korzyści dla środowiska). Jako wady wymienić można następujące aspekty: emisje środków kompleksujących takich jak DTPA/EDTA (0,2-2 kg/t powietrznie suchej masy), o ile stosuje się je na etapach bielenia, z których płyny do mycia odprowadzane są za pośrednictwem oczyszczalni ścieków. Jednak poprzez optymalizację dozowania środków kompleksujących ilość DTPA/EDTA można zmniejszyć. Z doświadczenia niektórych zakładów wynika, że zdolność osadzania się w osadniku osadów biologicznych może się w pewnym stopniu pogorszyć. W innych zakładach efekt ten nie występuje. Ze względu na potencjalne zagrożenia z nadtlaniem należy obchodzić się ostrożnie.

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Technikę tę można stosować zarówno w nowych, jak i w istniejących zakładach (konwersja). Poza tym masę celulozową do przerobu chemicznego można produkować przy użyciu sekwencji bielenia bez użycia chloru. W przypadku zakładów produkujących masę celulozową do sprzedaży na rynek do wyprodukowania masy celulozowej o wysokiej jasności konieczność może okazać się przeprowadzenie jednego łagodnego etapu z dwutlenkiem chloru przy małej ilości wsadu opłata  $\text{ClO}_2$ . W przypadku zakładów produkujących masę specjalną do zastosowań chemicznych zazwyczaj nadal potrzebny jest dwutlenek chloru lub podchloryn jako bieląca substancja chemiczna.

### **Aspekty ekonomiczne**

Koszt inwestycji mającej na celu przejście na bielenie bez użycia chloru i modernizację istniejącej bielarni w przypadku celulozowni siarczynowej o dobowej zdolności produkcyjnej na poziomie 700 t powietrznie suchej masy/dziennie wynosi około 20-50 mln EUR. Jednak dane te zależą w pewnym stopniu od przewidzianych właściwości masy papierniczej. Całkowite oszczędności zależą od zaprojektowania ogólnego procesu, użytego sprzętu, ceny substancji chemicznych i energii w danym kraju, a także od ilości wody w zamkniętym obiegu.

Zamknięty obieg wody na ogół wiąże się z wyższymi kosztami, ponieważ trzeba podjąć środki służące sterowaniu procesem i odparowywaniu nadmiaru wody. Na przykład wprowadzenie  $\text{MgO}$  do roztworu wodorotlenków podczas pierwszego etapu bielenia prowadzi na ogół do wyższego zużycia nadtlenu i powoduje konieczność zastosowania większej ilości chemikaliów do neutralizacji, takich jak kwas siarkowy, stosowanych do zmniejszania  $\text{MgO}$  przenoszonego do kolejnych etapów bielenia. Nie da się tego zrekomensować wzrostem produkcji energii ze spalania substancji organicznych, które się odzyskuje i wykorzystuje ciepłnie.

### **Motywacja do wdrożenia techniki**

Nakładane przez organy regulacyjne i właściwe władze wymagania w zakresie ochrony środowiska (zmniejszanie emisji chlorowanej materii organicznej i innych substancji toksycznych i w mniejszym stopniu biodegradowalnych), świadomości społecznej na temat zagrożeń dla środowiska i zdrowia wynikających ze stosowania organicznie związanych związków chloru, aspektów związanych z bezpieczeństwem i higieną pracy oraz wymagań rynkowych ze strony świadomych

pod względem środowiska klientów stanowiły ważne czynniki w procesie konwersji. Zwłaszcza w przypadku zastosowania na potrzeby produkcji chusteczek widać wyraźny popyt ze strony klientów na produkty z masy celulozowej siarczynowej produkowanej bez użycia chloru.

Jeśli chodzi o koszty operacyjne, bielenie bez użycia chloru powoduje nieco wyższe koszty całkowite. Trzeba opracować delignifikację w komorze fermentacyjnej przy niższym poziomie liczby kappa. W konsekwencji wydajność wytwarzania masy celulozowej nieznacznie spada. Koszty i ilości substancji chemicznych zużywanych na potrzeby bielenia bez użycia chloru są większe niż w przypadku bielenia bez chloru pierwiastkowego. Zapotrzebowanie ze strony świadomych ekologicznie klientów nie wiąże się z wyższą ceną za masę celulozową produkowaną bez użycia chloru.

#### **Instalacje referencyjne**

W większości europejskich celulozowni siarczynowych stosuje się bielenie bez użycia chloru. W trzech zakładach w Europie stosuje się sekwencje bielenia bez chloru pierwiastkowego (jeden producent masy papierniczej do sprzedaży na rynek i dwóch producentów specjalnej masy celulozowej).

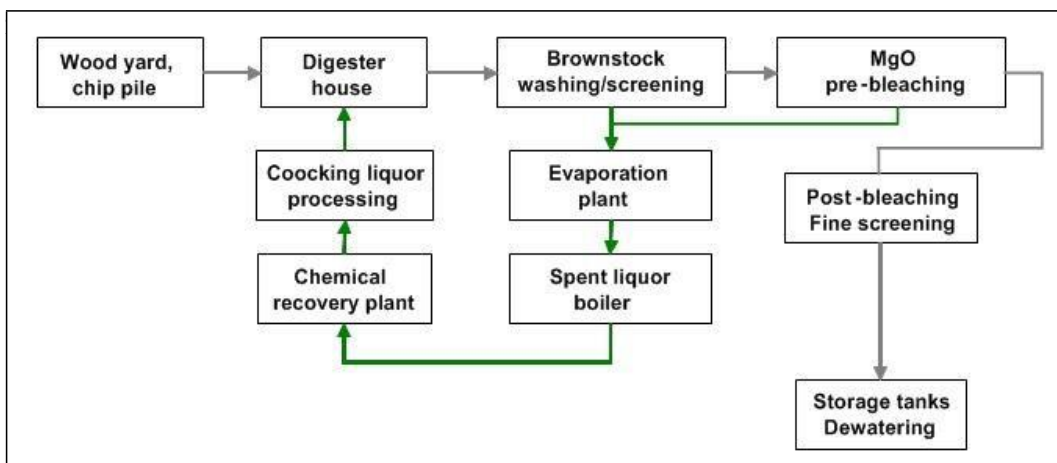
#### **Bibliografia**

[ 237, Bajpai 2005 ]

### **4.3.8 Bielenie wstępne, podczas którego jako zasadę stosuje się MgO i recykulacja płynów myjących z bielenia wstępnego do mycia masy celulozowej**

#### **Opis**

Istnieje kilka celulozowni (stosujących metodę wodorosiarczynową, z wykorzystaniem magnezu jako zasady), w których udaje się uzyskać częściową recykulację cieczy myjących z pierwszego etapu bielenia przy użyciu zasady w postaci MgO z powrotem do mycia masy celulozowej. Niemniej jednak stosowanie w niektórych częściach bielarni magnezu jako zasady jest trudniejsze niż w przypadku stosowania sodu (zużycie chemiczne pomp, większe zużycie nadtlenku wodoru). Z drugiej strony zastosowanie MgO na pierwszym etapie bielenia stwarza możliwość zawracania ścieków z tego pierwszego etapu do jednostki odzysku substancji chemicznych, a tym samym generowania mniejszego ładunku substancji organicznych, które trzeba oczyścić w oczyszczalni. Przykładowe zakłady do instalacji odparowywania zawracają 35-50 kg ChZT/t powietrznie suchej masy, unikając w ten sposób ich emisji.



Rysunek 4. 40 Obieg zamknięty w ramach bielenia wstępnego przy użyciu MgO jako zasady (M-real Hallein, AT)

Wood yard, chip pile	Plac drzewny, stos zrębków
Digester house	Hala z komorą fermentacyjną
Cooking liquor processing	Przetwarzanie ługu warzelnego
Chemical recovery plant	Instalacja do odzyskiwania substancji chemicznych
Brownstock washing/screening	Mycie masy celulozowej/ przesiewanie
Evaporation plant	Instalacja odparowująca
Spent liquor boiler	Kocioł na ług powarzelny
MgO pre-bleaching	Bielenie wstępne przy użyciu MgO
Post-bleaching Fine screening	Bielenie dodatkowe Przesiewanie drobne
Storage tanks Dewatering	Zbiorniki do magazynowania Odwadnianie

### Główne korzyści środowiskowe

Częściowe zamknięcie bielarni zapobiega odprowadzaniu ścieków do oczyszczalni. W porównaniu z konwencjonalnym procesem emisje ChZT są mniejsze, a oczyszczalnię ścieków można zaprojektować odpowiednio dla mniejszego ładunku ChZT.

### Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

Dwa zakłady, w których stosuje się tę technikę, produkują masę celulozową na chusteczki i masę celulozową na papier drukowy (w obu przypadkach w zakładzie zintegrowanym). Zużycie chemikaliów w bielarni zgłosił jeden z zakładów stosujących bielenie wstępne w obiegu zamkniętym i pokazano je w tabeli 4.17 (dane z 2008 r.).

Tabela 4. 17 Zużycie chemikaliów w zakładzie stosującym bielenie wstępne w obiegu zamkniętym

Zużycie chemikaliów	Ilość (kg/t pow. s.m.)
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (50%)	50 – 60
MgO	20 – 25
Kwas siarkowy (94%)	50 – 60
NaOH (100%)	8 – 12
Środki dyspergujące do żywicy	Konieczne, lecz nie

### Oddziaływanie na procesy i środowisko

Bielenie wstępne przy użyciu obiegu zamkniętego wymaga większych ilości nadtlenu wodoru. W jednostkach odzyskiwania w zakładzie odzyskuje się zasadę z bielenia wstępnego.

### Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki

Bielenie wstępne z wykorzystaniem magnezu jako zasady i z odzyskiem substancji chemicznych to



rozwiązanie dostępne w przypadku celulozowni siarczynowych umożliwiające zmniejszenie ilości odprowadzanych ścieków. Wymagania wstępne dotyczące stosowania tej techniki są następujące: a) liczba kappa po warzeniu musi być odpowiednia dla bielenia wstępnego z wykorzystaniem MgO (niska liczba kappa); b) wystarczająca pojemność hydrauliczna instalacji do celów przyswajania dodatkowych przepływów; c) możliwość czyszczenia i mycia używanego sprzętu do płukania; d) wystarczająca pojemność kotła/kotłałów odzysknicowych, umożliwiająca spalanie dodatkowego łuğu i e) odpowiedni poziom jasności. Przykładowe zakłady to zakłady produkujące w tym samym miejscu masę celulozową i papier (produkcja zintegrowana). W ekonomicznie opłacalnych warunkach osiągają one 87% ISO. Producenci masy do sprzedaży na rynek często muszą osiągnąć poziom jasności ISO powyżej 87%, co w przypadku stosowania bielenia wstępnego przy użyciu MgO jest trudne do uzyskania, ponieważ może doprowadzić do utraty niektórych punktów jasności.

### **Aspekty ekonomiczne**

Zużycie substancji chemicznych w bielarni, w której podczas pierwszego etapu bielenia wykorzystuje się MgO, jest o około 20-30% wyższe niż w zakładzie, w którym się go nie stosuje (do recyrkulacji MgO potrzebna jest wyższa czystość MgO).

Jednak rozmiar oczyszczalni ścieków można znacznie zmniejszyć, co prowadzi do mniejszych kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych.

### **Motywacja do wdrożenia techniki**

Bielenie wstępne z obiegiem zamkniętym w zakładach wodorosiarczynowych, w których jako zasadę stosuje się magnez, może być podyktowane wyższymi wymaganiami w zakresie ścieków (ChZT). Inną przyczyną mogą być aspekty dotyczące jakości, ponieważ masa celulozowa bielona z wykorzystaniem magnezu jako zasady może w pewnych warunkach osiągnąć większą wytrzymałość.

### **Instalacje referencyjne**

M-real Hallein (AT), SCA Mannheim (DE).

### **Bibliografia**

[ 276, Sixta 2006 ].

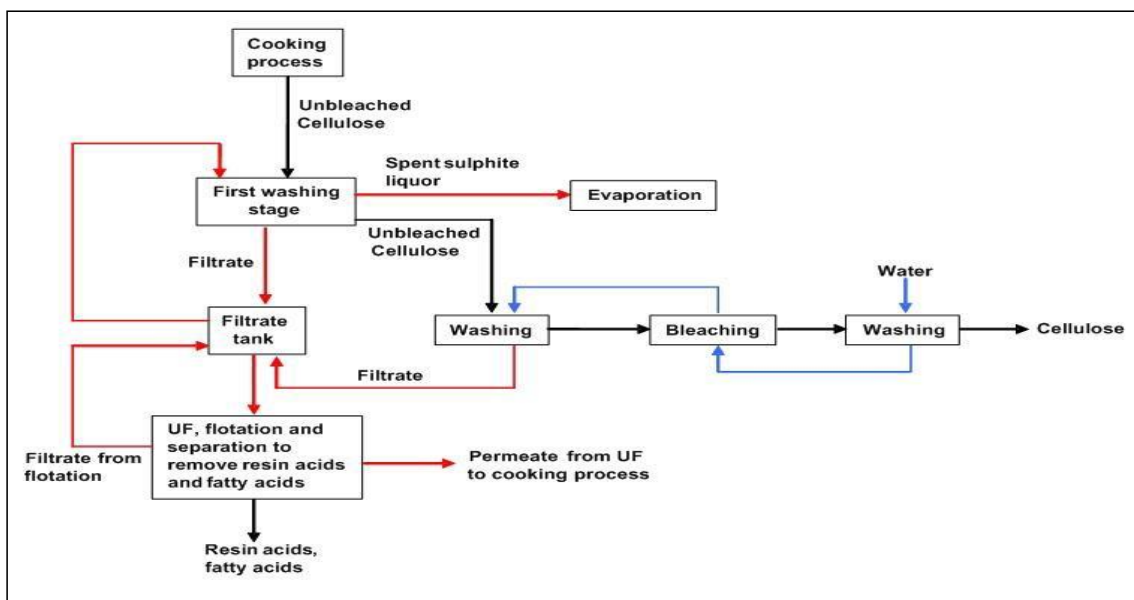
#### **4.3.9 Bielenie z obiegiem zamkniętym (w zakładzie siarczynowym, w którym stosuje się zasadę sodową oraz ultrafiltrację i separację)**

##### **Opis**

W celulozowni siarczynowej produkującej masę celulozową do przerobu chemicznego przy użyciu sodu jako zasady do warzenia ścieki z bielarni poddaje się ultrafiltracji (UF), flotacji i separacji, tak by umożliwić bielenie z obiegiem zamkniętym. Z instalacji do mycia ani z bielarni w zakładzie nie odprowadza się żadnych ścieków. Natomiast filtrat z bielenia i mycia wykorzystuje się na pierwszym etapie płukania po warzeniu.

W zakładzie produkującym masę celulozową do przerobu chemicznego tę samą zasadę wykorzystuje się do warzenia i dostosowywania odczynu pH w procesie bielenia, co stanowi jedno z kryteriów umożliwiających funkcjonowanie instalacji bielenia z obiegiem zamkniętym. Ultrafiltracja i pozostałe stosowane techniki separacji mają na celu usuwanie kwasów żywicznych i kwasów tłuszczowych z filtratu w układzie z obiegiem zamkniętym. Proces ten przypomina funkcjonowanie nerki, ponieważ bez obróbki substancje obce gromadziłyby się w układzie, ze względu na jakość celulozy uniemożliwiając produkcję masy z obiegiem zamkniętym. Niepożądane substancje trzeba z układu usuwać.

Obróbkę filtratu przeprowadza się na kilku etapach procesu, począwszy od ultrafiltracji, podczas której oddziela się kwasy tłuszczowe i kwasy żywiczne (patrz rysunek 4.41). Uzyskany odciek wykorzystuje się w procesie warzenia, natomiast koncentrat poddaje się dalszej obróbce za pomocą flotacji i separacji w celu oddzielenia z etapu wodnego jeszcze większej ilości kwasów żywicznych i kwasów tłuszczowych. Poddany obróbce filtrat z flotacji pompuje się z powrotem do procesu i wykorzystuje na pierwszym etapie mycia.



Rysunek 4. 41 System ultrafiltracji w celulozowni produkującej masę celulozową do przerobu chemicznego, Domsjö Fabriker AB, SE

Cooking process	Proces warzenia
Unbleached	Niebielona
Cellulose	Celuloza
Spent sulphite liquor	Ług powarzelny siarczynowy
First washing stage	Pierwszy etap płukania
Evaporation	Odparowywanie
Unbleached	Niebielona
Cellulose	Celuloza
Filtrate	Filtrat
Filtrate tank	Zbiornik na filtrat
Washing	Mycie
Bleaching	Bielenie
Water	Woda
Cellulose	Celuloza
Filtrate	Filtrat
Filtrate from flotation	Filtrat z flotacji
UF, flotation and separation to remove resin acids and fatty acids	Ultrafiltracja, flotacja i separacja w celu usunięcia kwasów żywicznych i kwasów tłuszczowych
Permeate from UF to cooking process	Permeat z ultrafiltracji do procesu warzenia
Resin acids, fatty acids	Kwasy żywiczne, kwasy tłuszczowe
Source: [ 230. Selling 2009 ]	Źródło: [ 230. Selling 2009 ]

### Główne korzyści środowiskowe

Z bielarni nie odprowadza się żadnych ścieków. Ładunek ChZT, który normalnie odprowadzono by do oczyszczalni ścieków, zatrzymuje się w systemie. Niższe jest również zużycie wody.

### Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

Jednostka do ultrafiltracji instalowana jest na potrzeby oczyszczania wody technologicznej po myciu masy celulozowej. Otrzymany odciek pompuje się z powrotem układu w celu jego ponownego wykorzystania do warzenia.

### Oddziaływanie na procesy i środowisko

Brak danych na temat zużycia energii na funkcjonowanie jednostek separacji. Koncentraty poddawane są odparowywaniu i spalaniu.

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Technika ta może być stosowana zarówno w nowych, jak i istniejących zakładach. Przed zamontowaniem instalacji trzeba w zakładzie doświadczalnym przeprowadzić testy pod kątem ultrafiltracji. W ramach tych badań zazwyczaj ustala się parametry dotyczące konstrukcji i układu elementów i optymalizuje warunki pracy dopasowane do konkretnych ścieków poddawanych oczyszczaniu. Normalnie na pierwszym etapie stosowania membran występują pewne komplikacje, które można usunąć przez dostosowanie wartości pH, przepływu lub wprowadzanie jakiegoś rodzaju odpowiedniej obróbki wstępnej. W takim przypadku stosuje się również oczyszczanie wtórne.

Stosowanie bielarni z obiegiem zamkniętym wciąż ogranicza się do celulozowni siarczynowych, w których jako zasadę stosuje się sól (tę samą zasadą, którą stosuje się do regulacji wartości pH na etapie bielenia nadtlakiem). Duże znaczenie ma również odczyn pH filtratu, ponieważ wpływa on na możliwość oddzielenia kwasów żywiczych i kwasów tłuszczowych.

### **Aspekty ekonomiczne**

Brak danych na temat kosztów inwestycji i kosztów eksploatacyjnych

### **Motywacja do wdrożenia techniki**

Motywację do wdrażania zapewniają przepisy w zakresie ochrony środowiska obowiązujące w przypadku celulozowni siarczynowych i dotyczące emisji substancji organicznych do zbiorników wodnych. Operatorzy zakładów traktują ten środek jako ważną metodę do zmniejszania ładunku ChZT odprowadzanego do zbiorników wodnych.

### **Instalacje referencyjne**

Celulozownia Domsjö (SE). Nie ma żadnych innych zakładów siarczynowych korzystających z tego zastosowania, jednak membrany stosuje się również w innych zastosowaniach w zakładach siarczynowych, np. w zakładzie Nymölla (patrz podrozdział 4.3.12).

### **Bibliografia**

[ 230, Selling 2009 ].

#### **4.3.10 Ograniczanie emisji w bielarni poprzez zastosowanie środków chelatujących na etapach z wykorzystaniem nadtlaku**

Patrz podrozdział on 2.9.9.

#### **4.3.11 Dopasowywanie poziomu pH słabego ługu przed/w instalacji do odparowywania**

##### **Opis**

Ważne jest, aby po pierwszym etapie odparowywania lub przed odparowywaniem zneutralizować ług powarzelny siarczynowy. W przeciwnym razie wyparuje kwas octowy i inne krótkołańcuchowe kwasy organiczne i pojawi się w kondensatach zamiast odprowadzenia go do kotła odzysknicowego wraz ze stężonym ługiem powarzelnym. Ładunek ChZT w kondensatach w celulozowniach siarczynowych normalnie jest znacznie wyższy niż w zakładach siarczanowych. Całkowite obciążenie w kondensatach przed oczyszczaniem normalnie wynosi maks. do 60-70 kg ChZT/t powietrze suchej masy.

##### **Główne korzyści środowiskowe**

Znaczna część ładunku substancji organicznych (ChZT) w kondensacie, zwłaszcza krótkołańcuchowe

kwasy organiczne, zawracana jest do ługu powarzelnego i pozostaje w obiegu odzyskiwania. Efektem tej techniki jest to, że do oczyszczania trafia mniej obciążonych substancjami organicznymi ścieków i mniejsze są emisje ChZT odprowadzane do zbiorników wodnych.

### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

W większości zakładów środek ten to dobrze sprawdzona technika. W zakładach siarczynowych, w których jako zasadę stosuje się magnez, świeże MgO z silosu na MgO i pył odzyskany z filtrów elektrostatycznych wykorzystuje się na potrzeby neutralizacji. Na pierwszym etapie przed stężeniem ługu powarzelnego przez odparowywanie usuwa się SO<sub>2</sub> i odzyskuje do ponownego wykorzystania w instalacji do warzenia. Wyższe stężenie SO<sub>2</sub> może mieć negatywny wpływ na działanie oczyszczalni ścieków. Po odpędzeniu SO<sub>2</sub> odczyn pH pozostaje kwaśny. Następnie ma miejsce zobojętnianie ługu powarzelnego do odczynu pH na poziomie około 6,5, po czym rozpoczynają się kolejne etapy odparowywania.

W pewnym zakładzie siarczynowym, w którym jako zasadę stosuje się wapń (IT), przeprowadza się odpędzanie kondensatu z odparowywania, starając się przy tym zmniejszyć ilość zarówno mniejszych cząsteczek organicznych, jak i SO<sub>2</sub>. Pozostała odpędzona substancja odprowadzana jest do palników, w których materiał organiczny poddawany jest utlenianiu podczas odzysku SO<sub>2</sub> w ramach tego procesu.

### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Nie ma żadnych znacznych skutków negatywnych wynikających ze stosowania tej techniki. Substancje chemiczne do neutralizacji są takie same, jak te stosowane jako zasada podczas warzenia. Dlatego potrzeba niewielu dodatkowych substancji chemicznych.

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Technikę tę można stosować we wszystkich zakładach, w których jako zasadę stosuje się magnez. Technika ta wymaga dodatkowej pojemności w kotle odzysknicowym i w obiegu popiołu.

### **Aspekty ekonomiczne**

Brak danych

### **Motywacja do wdrożenia techniki**

Motywacją do wdrażania tej techniki stanowi optymalizacja cyklu odzysku energii i ograniczania ładunku zanieczyszczeń organicznych z procesów.

### **Instalacje referencyjne**

Technika ta stosowana jest w Europie w większości celulozowni siarczynowych, a także w zakładach stosujące metodę NSSC z odzyskiem substancji chemicznych.

## **4.3.12 Wstępne oczyszczanie ścieków z etapów z wykorzystaniem tlenu w bielarni w instalacji ultrafiltracji a następnie tlenowe oczyszczanie wszystkich ścieków**

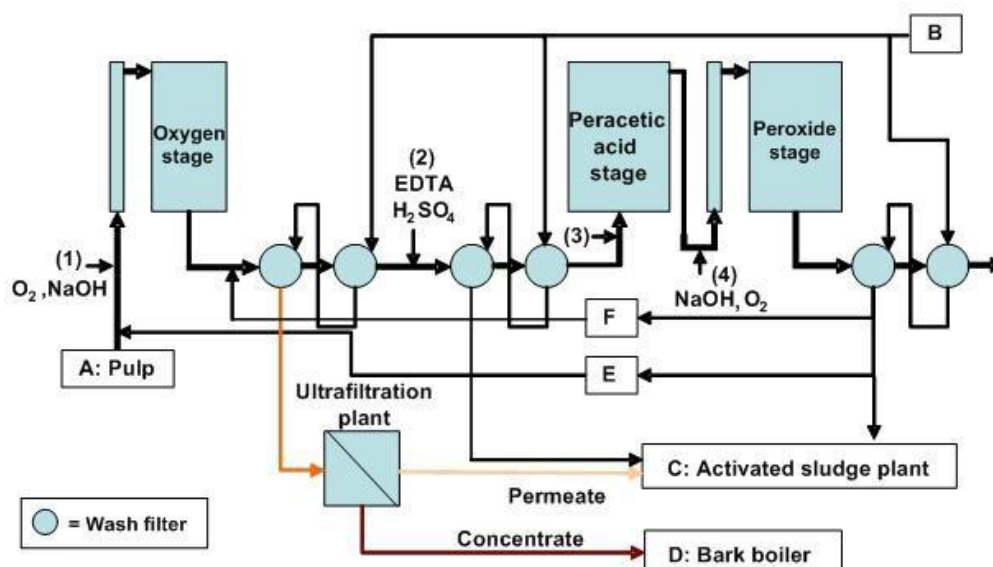
### **Opis**

Celulozownie stosujące metodę magnefitę i celulozownie wodorosiarczynowe, w których odbywa się warzenie do wysokiej liczby kappa, charakteryzują się większą ilością nieulegającego biodegradacji ładunku ChZT w ściekach z bielarni niż w innych celulozowniach siarczynowych. Ścieków z etapów z wykorzystaniem tlenu w celulozowniach siarczynowych nie da się bezproblemowo spalać w kotłach odzysknicowych (patrz podrozdział 4.3.3, przykłady a) i b)). Dlatego też należy stosować inne metody służące do ograniczania ilości ChZT odprowadzanej do środowiska. W zakładzie Stora Enso Nymölla (SE) ścieki z etapu z wykorzystaniem tlenu oczyszcza się w instalacji ultrafiltracji (UF) wyposażonej w dwie linie. Wysoko cząsteczkowe związki nieulegające biodegradacji usuwa się i spala w kotle korowym. 98% wprowadzanego ługu przechodzi przez membrany. Koncentratu nie da się zawrócić do jednostek do

odzyskiwania, ponieważ zasada z etapu tlenowego (sód) różni się od zasady stosowanej w instalacji do warzenia (magnez). Koncentrat spalany jest bezpośrednio w kotle korowym. Badania pilotażowe wykazały, że poprzez odparowywanie byłoby możliwe usunięcie z koncentratu co najmniej 50% wody, lecz zastosowania tego na razie nigdzie nie wdrożono. Odciek z oczyszczania przez membrany (permeat) odprowadza się do instalacji przeznaczonej do obróbki osadu czynnego.

W przypadku stosowania na etapie tlenowym sodu jako zasady i zawracaniu ścieków do cyklu warzenia może dojść do poważnego zapchania rur kotła popiołem zawierającym sól. Powodujący zapchanie popiół ciężko usunąć z rur kotła.

Na rys. 4.42 przedstawiono dobudowaną do bielarni instalację do ultrafiltracji wraz z głównymi przepływami. Na schemacie technologicznym ukazano, który strumień poddawane są oczyszczaniu w jednostce do ultrafiltracji. 90% substancji organicznych z etapu tlenowego i 65% substancji organicznych z etapu z wykorzystaniem nadtlenuk poddaje się oczyszczaniu w instalacji do ultrafiltracji. Dzięki recyrkulacji ścieków zawierających nadtlenuk do celów rozcieńczania strumieni z masą celulozową można oszczędzić świeżą wodę. Poza tym w instalacji do obróbki osadu czynnego przed oczyszczaniem ze ścieków usuwa się duże cząsteczki z etapu z nadtlenukiem.



Rysunek 4. 42 Schemat technologiczny zastosowania instalacji do ultrafiltracji w celulozowni Nymölla

Oxygen stage	Etap z wykorzystaniem tlenu
Peracetic acid stage	Etap z wykorzystaniem kwasu nadoctowego
Peroxide stage	Etap z wykorzystaniem nadtlenuku
EDTA	EDTA
A: Pulp	A: Masa celulozowa
Ultrafiltration plant	Instalacja do ultrafiltracji
F	F
E	E
C: Activated sludge plant	C: Instalacja do obróbki osadu czynnego
Permeate	Permeat
Concentrate	Koncentrat
D: Bark boiler	D: Kocioł korowy
Wash filter	Filtr do płukania

Po myciu niebielonej masy celulozowej masa celulozowa trafia do bielarni. Stężenie masy celulozowej wynosi około 30% s.m. Ilość wody w masie celulozowej wynosi około 2,3 m<sup>3</sup>/t powietrznie suchej masy (strumień A na rysunku). Masę rozcieńcza się filtратem z etapów z wykorzystaniem nadtlenuku,

6,7 m<sup>3</sup>/t powietrznie suchej masy (strumień E na rysunku) do 10% suchej masy. Do masy dodaje się tlen i wodorotlenek sodu (strumień 1 na rysunku). Reakcja ta rozpoczyna się i przebiega w wieżach bielących. Płukanie masy celulozowej odbywa się po tych wieżach w dwóch filtrach do płukania. Przed rozpoczęciem płukania do masy celulozowej dodaje się 1 m<sup>3</sup> ługu/t powietrznie suchej masy z etapu z wykorzystaniem nadtlenu (strumień F na rysunku). Do drugiego filtra dodaje się około 9 m<sup>3</sup> ługu do płukania/t powietrznie suchej masy (z etapu B). Filtrat z pierwszego filtra trafia do instalacji do ultrafiltracji.

Następnie w celu usunięcia jonów metali ciężkich, takich jak mangan i żelazo, masa celulozowa poddawana jest obróbce za pomocą EDTA (strumień 2 na rysunku). W celu uzyskania odpowiedniej wartości pH (pH 6) dodaje się kwas siarkowy. Po obróbce za pomocą EDTA masę celulozową płucze się w dwóch szeregowych filtrach do płukania. Do drugiego z filtrów dodaje się około 9 m<sup>3</sup> wody do mycia (głównie świeżej wody, ale w pewnym stopniu również nadmiar wody z papierni)/t powietrznie suchej masy (z etapu B). Filtrat miesza się z innymi ściekami, a następnie poddaje obróbce w instalacji na osad czynny (strumień C na rysunku).

Po obróbce za pomocą EDTA i płukaniu do masy celulozowej dodaje się mieszanę kwasu nadoctowego i nadtlenu wodoru (strumień 3 na rysunku). Podczas etapu z wykorzystaniem kwasu nadoctowego przy pH na poziomie 6 zachodzi reakcja między tym kwasem a masą celulozową. Reakcja między nadtlaniem wodoru a masą celulozową nie zachodzi przy pH równym 6. Reakcja z udziałem kwasu nadoctowego przebiega następnie w wieży kwasu nadoctowego. Po wieży kwasu nadoctowego odczyn pH rośnie w wyniku dodania wodorotlenku sodu. Dodaje się również niewielką ilość tlenu (strumień 4 na rysunku). Rozpoczyna się reakcja między nadtlaniem wodoru i tlenem a masą celulozową. Reakcja ta przebiega następnie w wieżach nadtlenu. Potem powstała w wieży nadtlenu masa celulozowa płukana jest w dwóch szeregowych filtrach do płukania. Do drugiego filtra dodaje się około 9 m<sup>3</sup> ługu do płukania/t powietrznie suchej masy (z etapu B). Filtrat z ostatniego filtra dzieli się na trzy strumienie: a) 6.7 m<sup>3</sup>/t powietrznie suchej masy wykorzystuje się do rozcieńczenia masy celulozowej przed etapem tlenowym (strumień E na rysunku); b) 2.3 m<sup>3</sup>/t powietrznie suchej masy trafia do instalacji do obróbki osadu czynnego wraz z pozostałymi ściekami (strumień C na rysunku) oraz c) 1 m<sup>3</sup>/t powietrznie suchej masy wykorzystuje się do rozcieńczenia masy celulozowej po etapie tlenowym (strumień F na rysunku).

### **Główne korzyści środowiskowe**

Ultrafiltracja i obróbka osadu czynnego służy do usuwania różnych substancji. Za pomocą ultrafiltracji usuwa się zwłaszcza substancje nieulegające biodegradacji. W przeciwnym razie substancje te odprowadzane by były do środowiska. Kiedy instalacje do ultrafiltracji się zatrzymywały, na wlocie do i wylocie z instalacji osadu czynnego rosła ilość ChZT. Wlot i wylot z biologicznej oczyszczalni wykazywał taki sam wzrost. Dzięki usuwaniu różnych substancji organicznych połączenie membrany i oczyszczania biologicznego to doskonały sposób na zmniejszenie ChZT odprowadzanego do zbiorników wodnych.

Średnio co godzinę oczyszczaniu w instalacjach membranowych poddaje się około 400 m<sup>3</sup> ścieków. Ścieki z etapu bielenia tlenem w procesie roztwarzania charakteryzują się średnim ładunkiem ChZT na poziomie około 10 g/l. Codziennie usuwa się 34 tony ChZT (37 kg ChZT/t powietrznie suchej masy celulozowej). Około 30% wprowadzanego ChZT usuwa się za pomocą membran. Pozostałe 30% ChZT poddaje się stężaniu za pomocą ultrafiltracji (do 2% pierwotnej objętości). Koncentrat spala się w kotle korowym (strumień D). Permeat zawiera 70% ChZT ze ścieków z etapu tlenowego (86 kg ChZT na tonę masy celulozowej). Permeat odprowadzany jest do instalacji osadu czynnego wraz ze ściekami z obróbki za pomocą EDTA i nadmiarem wody z etapu z wykorzystaniem nadtlenu (wychwyconej w ramach strumienia C na rysunku 4.42).

W pewnych warunkach ścieki z etapu bielenia tlenem można również poddawać oczyszczaniu wyłącznie przy użyciu środków biologicznych (za pomocą obróbki beztlenowo-tlenowej; patrz podrozdział 3.4.15 i 4.3.16).

### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Instalacja do ultrafiltracji działa stale od 1995 roku. Instalację do ultrafiltracji wybudowano jako dużą instalację rurową wyposażoną w dwie linie (dostawcą membran jest PCI Membranes, UK). Linie są przystosowane do ciągłej produkcji. Membrany zamontowane są w modułach, które rozmieszczone są w grupach i kominach. Każdy komin w ramach linii ultrafiltracji można usunąć

z procesu oczyszczania ścieków i umyć. Pozostałe kominy nadal oczyszczają ścieki. Membrany należy czyścić niemalże raz dziennie.

W omawianym zakładzie w wyniku poważnych problemów związanych z zanieczyszczeniem membran doszło do przestojów instalacji do ultrafiltracji. Zbadano efekt obróbki za pomocą ultrafiltracji, porównując okresy obróbki za pomocą ultrafiltracji z okresami bez takiej obróbki. Dziś ultrafiltracja to doskonała i niezawodna metoda usuwania ładunku ChZT nieulegającego biodegradacji i łączenia z procesami biologicznymi.

W celu uzyskania danych projektowych w zakładzie doświadczalnym trzeba przeprowadzić testy w zakresie ultrafiltracji. Wyniki z badania pilotażowego posłużą do wyboru rodzaju membrany, jej pojemności i odpowiedniego projektu i warunków oczyszczania, takich jak odczyn pH i temperatura. Na pierwszym etapie stosowania membran występują pewne komplikacje, które można usunąć przez dostosowanie wartości pH, przepływu lub wprowadzanie jakiegoś rodzaju odpowiedniej obróbki wstępnej.

### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Zużycie energii na obsługę membran wynosi około 2 kWh/m<sup>3</sup> uzdatnionej wody. Zużycie paliwa do spalania koncentratu wynosi około 0,6 kWh/m<sup>3</sup> uzdatnionej wody. Energia potrzebna do usunięcia 1 kg ChZT wynosi 0,65-0,8 kWh.

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Oczyszczanie za pomocą membran można stosować zarówno w nowych, jak i istniejących zakładach. Decydujące znaczenie dla udanego zastosowania ma wstępna obróbka obejmująca usuwanie włókien, dodawanie substancji chemicznych i zapewnienie wystarczającej pojemności do magazynowania, a także próby pilotażowe dotyczące ścieków poddawanych oczyszczaniu. Obróbka koncentratów z ultrafiltracji ma zasadnicze znaczenie dla zastosowania tych technik. Brak kotła korowego do spalania koncentratów może spowodować ograniczenia w stosowaniu ultrafiltracji w pozostałych zakładach. Większe ilości sodu w filtrowanych koncentraty mogą spowodować synteryzację piasku ze złoża fluidalnego w kotłach korowych i a w konsekwencji również zatrzymanie pracy kotła.

### **Aspekty ekonomiczne**

Koszt inwestycji w przeliczeniu na tonę usuniętego ChZT w 1994 r. był na takim samym poziomie jak w przypadku instalacji osadu czynnego. Konkretnie dane dotyczące zużycia (m<sup>3</sup> uzdatnionej wody) i kosztów bieżących w 2009 r. podano poniżej:

- zużycie energii: 0,10 EUR/m<sup>3</sup> (2 kWh/m<sup>3</sup>);
- koszt substancji chemicznych: 0,15 EUR/m<sup>3</sup>;
- koszt energii w przypadku kotła korowego: 0,03 EUR/m<sup>3</sup>;
- koszt nabycia membran i koszt ich wymiany: 0,10 EUR/m<sup>3</sup>;
- koszty osobowe: 0,03 EUR/m<sup>3</sup> (0,5 pracownika na zmianę i 2,5 pracownika w ujęciu rocznym).

### **Motywacja do wdrożenia techniki**

Motywację do wdrażania zapewniają przepisy w zakresie ochrony środowiska obowiązujące w przypadku celulozowni siarczynowych i dotyczące emisji substancji organicznych do zbiorników wodnych. Operatorzy zakładów traktują ten środek jako ważną metodę do zmniejszania ładunku ChZT odprowadzanego do zbiorników wodnych.

### **Instalacje referencyjne**

W zakładzie Nymölla (SE) ścieki z bielarni oczyszcza się za pomocą oczyszczania membranowego. Inne zastosowanie ultrafiltracji to Domsjö Fabriker AB (SE), patrz podrozdział 4.3.9.

### **Bibliografia**

[ 278, Wickstroem 1997 ], [ 279, TNO 1999 ], [ 280, Wickstroem 2009 ].

### 4.3.13 Odparowywanie ścieków z etapu ekstrakcji alkalicznej na gorąco i spalanie koncentratów w kotle sodowym

Technika ta znajduje zastosowanie głównie w celulozowniach produkujących masę celulozową do przerobu chemicznego i w celulozowniach siarczynowych produkujących masę celulozową do zastosowań chemicznych. W przypadku pozostałych zakładów (np. roztwarzanie chemomechaniczne) technika ta również może być brana pod uwagę.

#### Opis

Technikę ta, stosowaną w celu zmniejszenia ilości słabo biodegradowalnych związków organicznych uwalnianych z instalacji bielenia, składa się z instalacji do odparowywania, z kotła sodowego z filtrem workowym do usuwania pyłu i z kotła do roztwarzania stopu.

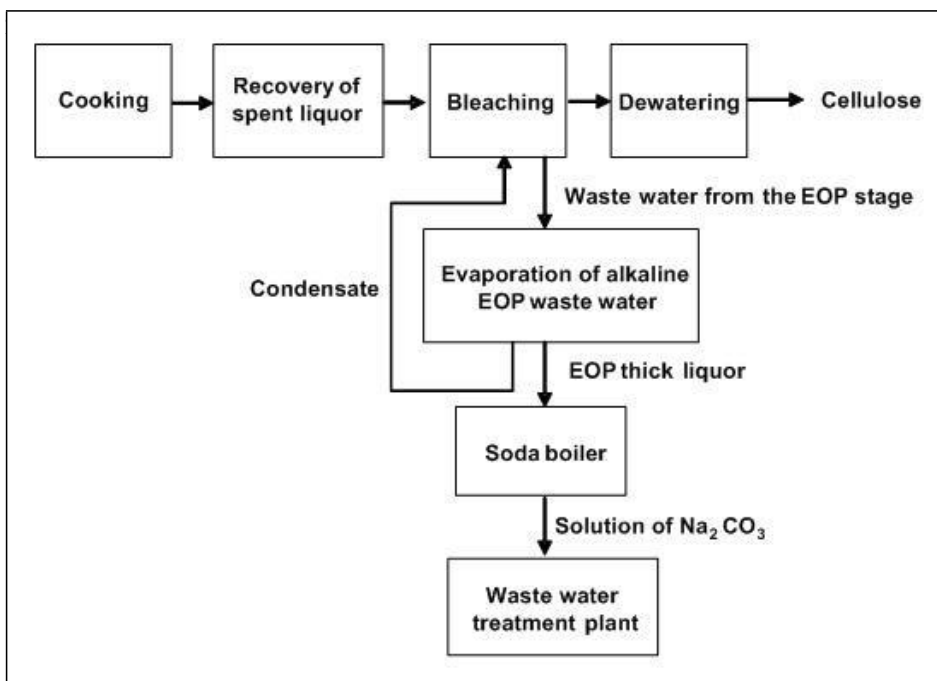
Po warzeniu zrębków drzewnych nie da się zapobiec powstawaniu resztek ligniny. Nie da się jej usunąć poprzez zmianę warunków warzenia. Na przykład dłuższy okres warzenia obniżyłby wydajność masy celulozowej i doprowadziłby do niepożądanego spadku stopnia polimeryzacji celulozy. Dlatego też trzeba przeprowadzić delignifikację resztkowej ligniny poprzez zastosowanie środków bielących o działaniu wybiórczym. Bielenie można rozumieć jako kontynuację fermentacji, odbywającej się głównie w instalacji do warzenia. Normalnie bielenie składa się z wielu etapów (patrz podrozdział 4.1.3.4). Pomiędzy etapami bielenia wprowadza się filtry do płukania, które służą do usuwania zużytych substancji chemicznych i rozpuszczonych produktów reakcji z masy celulozowej. Etap ekstrakcji alkalicznej mający na celu delignifikację i wyodrębnienie hemicelulozy ma miejsce tylko w tych celulozowniach, w których produkuje się miazgę wiskozową i masę specjalną do zastosowań chemicznych. Po ekstrakcji alkalicznej resztki ligniny usuwa się za pomocą jednego lub większej liczby etapów bielenia.

Technikę tę można wyjaśnić na podstawie przykładu, celulozowni produkującej masę celulozową do przerobu chemicznego, Lenzing AG (AT). W zakładzie stosuje się sekwencję bielenia E - O/P - Z - P na pierwszej linii i E/O/P - Z - P na drugiej. Wyjaśnienie symboli zastosowanych do opisu sekwencji bielenia można znaleźć w podrozdziale 3.1.7. W związku z tym z omawianą techniką związane są tylko dwa etapy: „E”, oznaczający „etapu ekstrakcji przy użyciu wodorotlenku sodu (NaOH)” i „E/O/P”, oznaczający „etap ekstrakcji przy użyciu wodorotlenku sodu z późniejszym dodatkiem tlenu w stanie gazowym i roztworu nadtlenu wodoru jako środka wzmacniającego”. Pozostałe symbole dotyczą kolejnych etapów bielenia z wykorzystaniem ozonu i nadtlenu.

Na obu liniach za pomocą ekstrakcji alkalicznej zwiększa się delignifikację resztek ligniny. Do wytwarzania miazgi wiskozowej oprócz niskiej zawartości resztek ligniny potrzebna jest wysoka zawartość alfa-celulozy ( $\alpha$ -celuloza to ta część materiału celulozowego, która jest nierozpuszczalna w 17,5% roztworze wodorotlenku sodu w temperaturze 20 °C w określonych warunkach). W celu zagwarantowania tej konkretnej zawartości  $\alpha$ -celulozy stosuje się ekstrakcję alkaliczną na gorąco (którą można połączyć z oczyszczaniem tlenem i nadtlaniem).



W trakcie ekstrakcji rozpuszczają się nie tylko związki ligniny, które rozpuszczają się w wodorotlenku sodu, lecz również hemiceluloza o małej masie cząsteczkowej oraz kwasy żywiczne i tłuszczowe, które następnie usuwa się w filtrach do płukania. Ekstrakcja alkaliczna na gorąco stanowi ważne źródło ładunku ChZT odprowadzanego z sekwencji bielenia. Ze względu na dużą zawartość pozostałości ligniny ścieki z etapu ekstrakcji alkalicznej na gorąco nie ulegają łatwo biodegradacji w instalacjach osadu czynnego. Dlatego też ścieki te poddawane są stężeniu, a następnie spalane w kotle sodowym (patrz rysunek 4.43).



Rysunek 4. 43 Uproszczony schemat odparowywania i spalania ścieków z etapu EOP

Cooking	Warzenie
Recovery of spent liquor	Odzysk ługu powarzelnego
Bleaching	Bielenie
Dewatering	Odwadnianie
Cellulose	Celuloza
Waste water from the EOP stage	Ścieki z etapu EOP
Condensate	Kondensat
Evaporation of alkaline EOP waste water	Odparowywanie ścieków z alkalicznego etapu EOP
EOP thick liquor	Gęsty ług z etapu EOP
Soda boiler	Kocioł sodowy
Solution of Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	Roztwór Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>
Waste water treatment plant	Oczyszczalnia ścieków

W instalacji do odparowywania dochodzi do stężenia ścieków z etapu EOP wpierw za pomocą trzystopniowej instalacji próżniowej do zawartości suchej masy (s.m.) na poziomie około 50%, a następnie za pomocą koncentratora do poziomu 70% suchej masy. Koncentrat buforowany jest w zbiorniku na ług z etapu EOP, skąd odprowadzany jest do spalania do kotła sodowego. Przykładowy zakład z Austrii niedawno nabył nową instalację do odparowywania, która działa na zasadzie kompresji spalin. W nowej instalacji do odparowywania zateża się 130 ton słabego ługu na godzinę (ścieków z etapu EOP) do stężenia na poziomie 4,5% suchej masy. Następnie ług ten w ilości około 13 t/h (4,5% suchej masy) zateża się do około 49% suchej masy, a następnie odprowadza się do koncentratora, gdzie wyekstrahuje się kolejne 20% wody. Jeden z koncentratorów działa stale w trybie przepłukiwania, natomiast pozostałe dwie jednostki odparowują resztki wody z ługu. Wszystkie parowniki to parowniki płytowe dolnoścące.

Stężenie końcowe gęstego ługu z etapu EOP wynosi około 70% suchej masy.

Związki organiczne w stężonym ługu spala się w kotle sodowym (w komorze kotła stopionego popiołu), gdzie dodatkowo wodorotlenek sodu (NaOH) przetwarza się na węglan sodu ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). Aby konsekwentnie osiągać temperaturę potrzebną do spalania na poziomie około 1000 °C, gwarantującym przepływ stopu, jako paliwo zapasowe dodaje się gaz ziemny. W warunkach maksymalnego obciążenia potrzeba około 1000  $\text{Nm}^3$  gazu ziemnego na godzinę. Gorący gaz odlotowy wytwarza w kotle gorącą parę o ciśnieniu 90 bar i temperaturze 480 °C. Generator pary wodnej można również zasilać wyłącznie gazem ziemnym, co w takim wypadku umożliwi wytwarzanie jedynie 50% normalnego poziomu pary. Aktualne obciążenie kotła sodowego wynosi 8,3 tony gęstego ługu (wysuszonego w piecu) na godzinę (maksymalna pojemność: 11,3 tony gęstego ługu na godzinę). Obszary ogrzewania w kotle są regularnie czyszczone za pomocą napędzanych parą zdmuchiawczy sadzy. Dwutlenek węgla powstały podczas spalania przekształcany jest na węglan sodu. Stężony ług z etapu EOP wstępnie ogrzewa się do temperatury 120 °C, a następnie trafia on do komory spalania. Około 60% węglanu sodowego powstałego podczas spalania gromadzi się w stanie stopionym na podłodze pieca. Stamtąd odprowadzany jest do zbiornika do rozpuszczania stopu.

Pozostała ilość  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  odprowadzana jest wraz z gazami spalinowymi oraz odzyskiwana w lejach ekonomizerów i w filtrze workowym jako pył i popiół. Usunięty popiół i pył trafia do zbiornika do rozpuszczania popiołu. Zarówno zbiornik do rozpuszczania stopu, jak i zbiornik do rozpuszczania popiołu wyposażony jest w mieszadła. Roztwór sody ze zbiornika do rozpuszczenia stopu służy do neutralizacji kwaśnych strumieni ścieków z produkcji wiskozy. Wychwytuje się opary wytwarzane w obszarze zbiornika do rozpuszczania i łączy je z spalinami, a następnie trafiają one do filtrów workowych.

W normalnych warunkach pracy zmierzone poziomy emisji  $\text{NO}_x$  z kotła sodowego są następujące:

około 310 $\text{mg NO}_x/\text{Nm}^3$ (pomiar okresowy)	(wartość graniczna: $\text{NO}_x$ : 350 $\text{mg}/\text{Nm}^3$ );
około 1 $\text{mg pyłu}/\text{Nm}^3$ (pomiar ciągły)	(wartość graniczna: pył: 15 $\text{mg}/\text{Nm}^3$ );
około 22 $\text{mg CO}/\text{Nm}^3$ (pomiar ciągły)	(wartość graniczna: CO: 125 $\text{mg}/\text{Nm}^3$ ).

Wszystkie wartości dotyczą normalnych warunków pracy i referencyjnej zawartości tlenu na poziomie 5%. Pomiar praktycznie nie wykazują żadnych emisji  $\text{SO}_2$ , ponieważ paliwa nie zawierają związków siarki. W nawiasach podano aktualne wartości graniczne w przypadku kotła sodowego. Pomiar pyłu, CO i  $\text{O}_2$  odbywają się w sposób ciągły w istniejącym kotle sodowym. Pomiar  $\text{NO}_x$  przeprowadzany jest raz na trzy lata. W przypadku niedawno nabytego nowego kotła sodowego monitorowanie odbywać się będzie w postaci ciągłego pomiaru  $\text{NO}_x$ . Niski poziom pyłu wykazuje bardzo niewielkie zmiany. Aby uniknąć szczytów CO, dwa razy w tygodniu w czasie krótkiego postoju spalania palnik poddawany jest inspekcji pod kątem obecności niepożądanego inkrustacji żużlem.

### **Główne korzyści środowiskowe**

Odparowywanie i spalanie w kotle sodowym ma na celu wytwarzanie pary z materiałów organicznych, pochodzących z procesu wytwarzania masy celulozowej i jednocześnie służy też eliminowaniu ze ścieków z bielenia dużej części ładunku substancji organicznych. Roztwór sody powstały na dnie kotła sodowego służy do neutralizacji kwaśnych strumieni ścieków, zanim trafią one do oczyszczania biologicznego. Powstałe emisje odprowadzane do atmosfery z kotła sodowego składają się z CO i  $\text{NO}_x$ , ponieważ występują w każdym procesie spalania. Emisje pyłu są na bardzo niskim poziomie, ponieważ wykorzystuje się filtry workowe.

### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Kocioł sodowy zatrzymuje się trzy do czterech razy w roku, aby oczyścić komorę kotła stopionego popiołu. Złogi MgO, które są trudniejsze do stopienia, mogą niekorzystnie wpływać na proces topienia. W okresie eksploatacji przykładowego kotła dochodziło do niewielkich lokalnych wybuchów, ale dało się je kontrolować.

### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Stężenie ChZT ścieków z etapu EOP wynosi około 10 g/l. Zużycie energii w przypadku aktualnie prowadzonego procesu odparowywania (trzystopniowa instalacja próżniowa) wynosi około 7,6

$\text{kWh}_e/\text{m}^3$  ścieków i  $130 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{m}^3$  ścieków lub łącznie  $137,6 \text{ kWh}/\text{m}^3$  ścieków z etapu EOP. Do niedawno nabytej instalacji do odparowywania (kompresja spalin) potrzeba około  $21,8 \text{ kWh}_e/\text{m}^3$  ścieków i  $20,2 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{m}^3$  ścieków z etapu EOP lub łącznie  $42 \text{ kWh}/\text{m}^3$  ścieków z etapu EOP.

Zużycie paliwa do „spalania” (paliwo zapasowe) koncentratów po odparowywaniu wynosi około  $46 \text{ kWh}/\text{m}^3$  gęstego ługu. Ciepło powstałe podczas spalania gęstego ługu z etapu EOP wraz z gazowym paliwem zapasowym wynosi  $113 \text{ kWh}/\text{m}^3$ , co daje wydajność na poziomie 90%.

Sodę powstałą podczas procesu zużywa się do neutralizacji ścieków z całego zakładu. Można by było ją również sprzedać na rynek. Pod uwagę wziąć trzeba emisje do powietrza z kotła sodowego, głównie  $\text{NO}_x$ .

#### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Technika ta może być stosowana zarówno w nowych, jak i istniejących zakładach. Alternatywnym rozwiązaniem zamiast spalania koncentratów z odparowywania w kotle sodowym może być dostarczanie tego materiału do pobliskiego zakładu siarczanowego, gdzie koncentrat można spalić w kotle odzysknicowym jako surowiec alternatywny (biomasę i uzupełniający  $\text{NaOH}$ ). W przypadku zakładów produkujących masę celulozową do przerobu chemicznego do tkanin, w których ścieki składają się głównie z łatwo ulegającej biodegradacji hemicelulozy i celulozy o krótkich włóknach, alternatywna technika polega na oczyszczaniu ścieków w wieloetapowej oczyszczalni biologicznej (z połączonym oczyszczaniem beztlenowym i tlenowym).

#### **Aspekty ekonomiczne**

Trudno jest podać dokładne dane dotyczące kosztów zastosowania tej techniki. Szacunkowy koszt nowej instalacji do odparowywania w zakładzie o średniej wielkości wynosi 16 mln EUR, a w przypadku kotła sodowego około 18 mln EUR, co razem daje około 34 mln EUR za całość wyposażenia technicznego. Koszty mogą być również o 30-50% wyższe.

Koszty eksploatacji w omawianym zakładzie z aktualnym wyposażeniem (stare parowniki i stary kocioł) wynoszą około  $4,35 \text{ EUR}/\text{m}^3$  ścieków, a ze starymi parownikami i nowym kotłem  $2,7 \text{ EUR}/\text{m}^3$  ścieków. Nowe parowniki pozwolą na obniżenie kosztów eksploatacji. Te dane dotyczące kosztów należy w dużej mierze rozumieć jako dane szacunkowe rzeczywistych kosztów, które zależą od konkretnych właściwości technicznych danego zakładu.

#### **Motywacja do wdrożenia techniki**

Główną motywacją do wdrażania tej techniki zapewniają przepisy w zakresie ochrony środowiska obowiązujące w przypadku celulozowni siarczynowych i dotyczące emisji substancji organicznych do zbiorników wodnych. Z omawianego zakładu emisje odprowadza się do wrażliwego zbiornika wodnego. Dozwolone wartości graniczne ładunku organicznego ( $\text{ChZT}/\text{dzień}$ ) odprowadzanego do rzeki są stosunkowo rygorystyczne i wymagają podjęcia dodatkowych środków w istniejącym zakładzie do obróbki osadów czynnych. Operatorzy zakładów traktują ten środek jako ważną metodę do zmniejszania ładunku  $\text{ChZT}$  odprowadzanego do zbiorników wodnych.

#### **Instalacje referencyjne**

Lenzing AG (AT), Tembec Tartas (FR), Borregaard (NO).

#### **Bibliografia**

[ 217, Lenzing 2009 ], [ 218, Karlsen 2008 ].

### **4.3.14 Korzystanie ze zbiorników awaryjnych i buforowych na stężone płyny**

Patrz podrozdział on 3.3.12.

### **4.3.15 Oczyszczanie beztlenowe kondensatów i wysoki ładunek $\text{ChZT}$ w ściekach z bielarni**

## Opis

Patrz podrozdział on 2.9.11.2.2.

## Główne korzyści środowiskowe

Za pomocą wstępnego oczyszczania beztlenowego zmniejsza się ładunek zanieczyszczeń organicznych ze ścieków, redukuje nadmiar powstałych osadów w porównaniu do oddzielnego oczyszczania tlenowego i wykorzystuje naturalną zawartość energetyczną w ładunku zanieczyszczeń organicznych (produkcja biogazu).

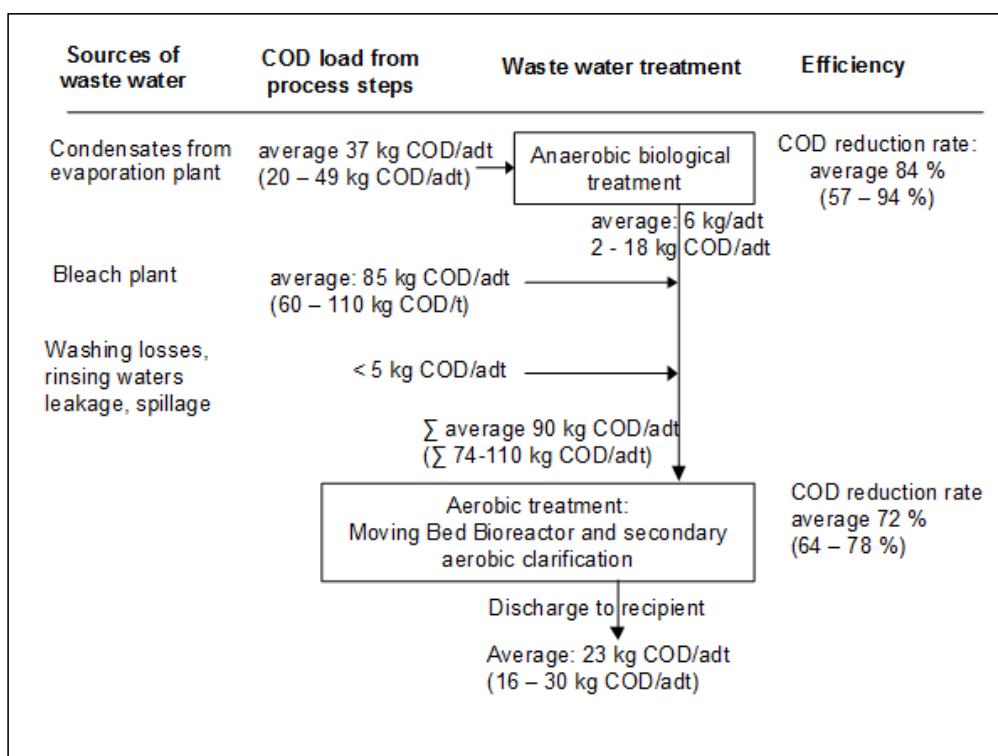
## Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

Na rysunku 4.44 w odniesieniu do głównych źródeł ścieków z celulozowni siarczynowych ukazano zmierzony ładunek ChZT, odpowiedni sposób oczyszczania i osiągnięty poziom skuteczności ich usuwania. Odpędzanie SO<sub>2</sub> z kondensatu ma korzystny wpływ, ponieważ wyższe stężenie SO<sub>2</sub> zakłóciłoby proces biologiczny.

Odpędzanie zanieczyszczonych kondensatów i ich ponowne wykorzystanie w procesie obniża pobór świeżej wody w zakładzie i ładunek substancji organicznych odprowadzany do oczyszczalni ścieków. W kolumnie odpędowej para przepuszczana jest w przeciwnym kierunku przez uprzednio przefiltrowany kondensat z procesu, zawierający zredukowane związki siarki, terpeny, metanol i inne związki organiczne.

Lotne substancje z kondensatu gromadzą się w górnej warstwie pary jako gazy niedające się skondensować i jako metanol, a następnie odprowadza się je z układu. Odizolowane niedające się skroplić gazy z najbardziej stężonych kondensatów trafiają do systemu wychwytywania mocno cuchnących gazów, a następnie są spalane. Odpędzone gazy z umiarkowanie zanieczyszczonych kondensatów gromadzone są w systemie gazowym o małej objętości i wysokim stężeniu, a następnie spalane.

Różnice pod względem obciążenia ChZT kondensatu pomiędzy drewnem drzew iglastych a drewnem drzew liściastych są dość niewielkie.



Rysunek 4. 44 Przykładowy ładunek substancji organicznych i skuteczności ich usuwania w ramach beztlenowego i tlenowego oczyszczania ścieków w Sappi Fine Paper Europe

Sources of waste water

Źródło ścieków

COD load from process steps	Ładunek ChZT z etapów technologicznych
Waste water treatment	Oczyszczanie ścieków
Efficiency	Wydajność
Condensates from evaporation plant	Kondensat z parownika
average 37 kg COD/adt	Średnio 37 kg ChZT/t pow. s.m.
Anaerobic biological treatment	Biologiczne oczyszczanie beztlenowe
COD reduction rate: average 84 % (57-94 %)	Stopień redukcji ChZT: średnio 84% (57-94%)
Bleach plant	Bielarnia
Washing losses, rinsing waters leakage, spillage	Odpady z płukania, wycieki wody do płukania, rozlana ciecz
Aerobic treatment:	Oczyszczanie tlenowe
Moving Bed Bioreactor and secondary aerobic clarification	Reaktor z ruchomym złożem i wtórne klarowanie tlenowe
COD reduction rate: average 72 % (64 - 78 %)	Stopień redukcji ChZT: średnio 72% (64-78%)
Discharge to recipient	Zrzut do odbiorcy
Average: 23 kg COD/adt (16-30 kg COD/adt)	Średnio: 23 kg ChZT/t pow. s.m. (16-30 kg ChZT/t pow. s.m.)
Source: [ 228. Sappi Stockstadt 2009 ]	Źródło: [ 228. Sappi Stockstadt 2009 ]

Aby uzyskać stabilną i stałą wydajność oczyszczalni, dobrze jest kontrolować następujące parametry: dopływ ChZT, który powinien być możliwie jak najbardziej stabilny (co można zwiększyć przez recyrkulację ścieków); stała temperatura i wartość pH ścieków; regulowanie kwasów organicznych i wapnia (najlepiej  $Ca < 200$  mg/l) i wystarczająca ilość składników odżywczych (N, P) na potrzeby wytwarzania biomasy.

Skuteczność usuwania ChZT z oczyszczania beztlenowego wynosi około 85%. Wydajność oczyszczania tlenowego pozostałych ścieków z zakładu charakteryzuje się mniejszą ilością ChZT na poziomie od około 55% do 72%. W zależności od działań zintegrowanych z procesem przeprowadzonych przed oczyszczaniem ścieków i od określonego układu etapów delignifikacji i bielenia można osiągnąć ostateczny ładunek ścieków na poziomie 15-25 kg ChZT/t.

W omawianym zakładzie ukazane na rysunku 4.44 wytwarzanie osadu kształtuje się na poziomie 0,01-0,05 kg suchej masy organicznej/kg redukcji ChZT.

#### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Brak danych

#### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Technika ta może być stosowana zarówno w nowych, jak i istniejących zakładach.

Kondensaty z odparowywania słabego ługu z zakładów siarczynowych zawierają stosunkowo wysokie stężenie substancji organicznych łatwo ulegających biodegradacji. Można je skutecznie oczyszczać w ramach oddzielnego oczyszczania beztlenowego. W kilku zakładach ścieki z dużym ładunkiem ChZT z bielarni również oczyszcza się w instalacji do oczyszczania beztlenowego. Możliwość ta wymaga jednak wcześniejszych badań pilotażowych, mających na celu ocenę ewentualnego zahamowania lub zaburzenia aktywnej biomasy beztlenowej.

#### **Aspekty ekonomiczne**

Brak danych

#### **Motywacja do wdrożenia techniki**

Redukcja ładunku ChZT

#### **Instalacje referencyjne**

Technika jest stosowana przez kilka zakładów w AT, DE, FR i PT.

#### **Bibliografia**

[ 228, Sappi Stockstadt 2009 ]

### **4.3.16 Biologiczne oczyszczanie tlenowe ścieków**

#### **Opis**

Patrz podrozdział on 2.9.11.2.1.

#### **Główne korzyści środowiskowe**

Redukcja emisji substancji organicznych (ChZT, BZT), AOX, fosforu, azotu i środków chelatujących do wody

#### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Biologiczne oczyszczanie tlenowe, takie jak oczyszczanie osadów czynnych w przypadku ścieków z celulozowni siarczynowych, stosowane jest z powodzeniem od ponad 20 lat. Na podstawie czterech przykładów poniżej przedstawiono szczegółowe informacje z praktycznego doświadczenia. W wielu systemach oczyszczania przewidziano środki mające na celu oddzielenie normalnych dopływów i przepływów szczytowych, tak by zagwarantować sprawne funkcjonowanie zakładu. W razie wykrycia stężenia szczytowego ChZT lub nietypowych zmian temperatury i obciążenia hydraulicznego w ściekach wlotowych dana partia ze strumienia ścieków odprowadzana jest do zbiornika awaryjnego lub wyrównawczego, gdzie jest tymczasowo przechowywana i stopniowo odprowadzana do głównego strumienia ścieków. Dzięki tej koncepcji występują stosunkowo niewielkie zmiany emisji, a wydajność oczyszczalni jest na stałym, wysokim poziomie.

Zużycie energii elektrycznej na obróbkę osadów czynnych waha się w granicach 1,2-2 kWh/kg redukcji BZT (napowietrzanie i pompowanie). Ilość osadów powstających podczas oczyszczania osadu czynnego mieści się w zakresie 0,4-0,7 kg s.m./kg redukcji BZT [ 1, Finnish BAT Report 1997 ].

Wydajność oczyszczalni w zależności od zakładu w pewnym stopniu się różni i zależy od rodzaju oczyszczanych ścieków oraz od konstrukcji, sposobu działania, konserwacji i regulacji w zakładzie. W kolejnych czterech przykładach pokazano różne realizowane koncepcje i osiągnięte korzyści dla środowiska.

**Przykład 1: Zintegrowany zakład wykorzystujący do produkcji masy celulozowej wodorosiarczyn magnezu i produkujący cienki papier powlekany, Sappi Alfeld**

**i) Produkcja**

120 000 t powietrznie suchej masy celulozowej produkowanej przy użyciu wodorosiarczynu magnezu rocznie, 355 000 ton cienkiego papieru powlekanego

**ii) Główne ścieki odprowadzane do oczyszczania**

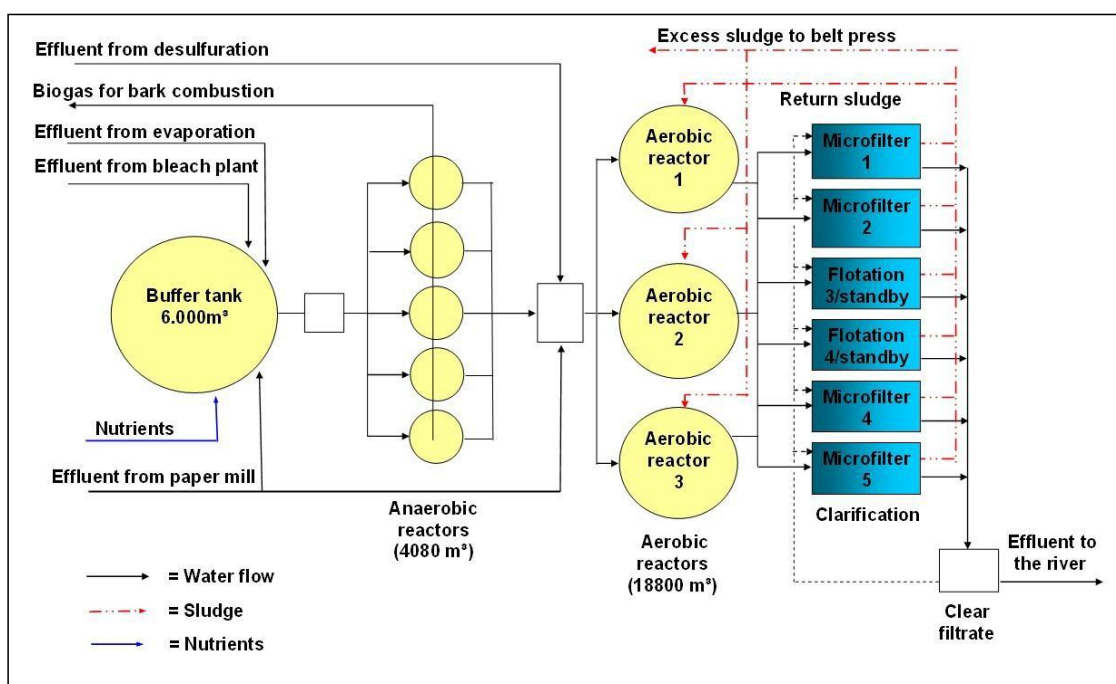
Ładunek ChZT z produkcji masy celulozowej stanowi ponad 95% całkowitego ładunku ChZT wprowadzanych ścieków. Pozostały ładunek ChZT poniżej 5% powstaje w wyniku produkcji papieru. Poddawane oczyszczaniu strumienie ścieków to: ścieki z bielarni (wstępnie oczyszczone), w tym odpady z płukania, kondensat z odparowywania, ścieki z odsiarczania i ścieki z papierni (wstępnie oczyszczone).

**iii) Przepływy przychodzące i ładunek substancji organicznych**

Ścieki z celulozowni to łącznie około 38 m<sup>3</sup>/t powietrznie suchej masy (bielarnia: 28 m<sup>3</sup>/t powietrznie suchej masy, odparowywanie: 6 m<sup>3</sup>/t powietrznie suchej masy, odsiarczanie: 4 m<sup>3</sup>/t powietrznie suchej masy). Ścieki z papierni to około 17 m<sup>3</sup>/t papieru. Ładunek ChZT z celulozowni to łącznie 134 kg ChZT/t powietrznie suchej masy (bielarnia: 89 kg ChZT/t powietrznie suchej masy, odparowywanie: 42 kg ChZT/t powietrznie suchej masy, odsiarczanie: 3 kg ChZT/t powietrznie suchej masy). Ładunek ChZT z papierni to 6 kg/t (średnia z 2008 r.).

**iv) Rodzaj oczyszczania**

Wstępnie oczyszczone ścieki z papierni i te z celulozowni (z wyjątkiem ścieków z odsiarczania) za pomocą różnych rur pompuje się do zbiornika buforowego o objętości 6000 m<sup>3</sup>. Z tego zbiornika buforowego zasila się reaktory UASB (5 reaktorów po 816 m<sup>3</sup>) (patrz rysunek 4.45). Do instalacji osadu czynnego wyposażonej w trzy reaktory tlenowe po 6000 m<sup>3</sup> oraz cztery jednostki do mikrofiltracji i separacji zawiesiny ogółem i osadów trafiają ścieki z etapu beztlenowego oraz ścieki z procesu odsiarczania. Ścieki z papierni można częściowo przekierować bezpośrednio do reaktorów tlenowych, tym samym zwiększając czas retencji hydraulicznej w reaktorach beztlenowych. Jednostki do mikrofiltracji składają się z bębna przykrytego materiałem o wielkości porów na poziomie 100 μm. Udaje się w nich osiągnąć wartości zawiesiny ogółem znacznie poniżej 30 mg/l. Modernizacja wcześniejszych flotatorów (z których dwa nadal działają) miała miejsce w 2009 r. W niedalekiej przyszłości, flotatory będą odgrywać jedynie rolę systemu zapasowego.



Rysunek 4. 45 Schemat technologiczny oczyszczalni ścieków w zintegrowanej celulozowni i papierni produkującej masę celulozową przy użyciu wodorosiarczynu magnezu

Effluent from desulfuration	Ścieki z odsiarczania
Biogas for bark combustion	Biogaz do spalania kory
Effluent from evaporation	Ścieki z odparowywania
Effluent from bleach plant	Ścieki z bielarni
Buffer tank	Zbiornik buforowy
Nutrients	Składniki odżywcze
Effluent from paper mill	Ścieki z papierni
Anaerobic reactors	Reaktory beztlenowe
Aerobic reactor	Reaktor tlenowy
Excess sludge to belt press	Nadmiar osadu na prasie taśmowej
Return sludge	Strumień osadu recykulowanego
Microfilter	Mikrofiltr
Flotation 3/standby	Flotacja 3/tryb czuwania
Flotation 4/standby	Flotacja 4/tryb czuwania
Aerobic reactors	Reaktory tlenowe
Clarification	Klarowanie
Effluent to the river	Ścieki odprowadzane do rzeki
Clear filtrate	Klarowny filtrat
= Water flow	= Przepływ wody
= Sludge	= Osad
= Nutrients	= Składniki odżywcze
Source: Sappi Alfeld Germany, status July 2009	Źródło: Sappi Alfeld Germany, według stanu na lipiec 2009

#### v) Główne parametry konstrukcyjne

Średni ładunek ChZT z etapu beztlenowego wynosi około 11 kg/m<sup>3</sup> dziennie, co w przypadku najnowocześniejszych reaktorów UASB jest wynikiem typowym. Średni ładunek BZT w osadzie z procesu tlenowego wynosi poniżej 0,15 kg/kg zawiesiny dziennie, co w przypadku oczyszczania tlenowego stanowi bardzo dobry wynik.

Tabela 4. 18 Ładunek substancji organicznych z biologicznej oczyszczalni ścieków

Parametry ładunku	Etap beztlenowy		Etap tlenowy		
	t/d	kg/m <sup>3</sup> ·d	t/d	kg/m <sup>3</sup> ·d	kg/kg
Ładunek ChZT, średnio	43,36	10,63	29,11	1 549	0,34
maksymalnie	52,03	12,75	34,94	1 858	0,41
Ładunek BZT, średnio	16,24	3,98	9,12	0,485	0,11
maksymalnie	19,49	4,78	10,95	0,582	0,13

Ładunek osadu = ~ żywność/biomasa lub kg BZT/kg zawiesiny dziennie

#### vi) Dawkowanie składników odżywczych (N i P)

Do ścieków z odparowywania dodaje się roztwór fosforanu amonu. Proces ten regulowany jest za pomocą testów N i P pobieranych co 24 godziny próbek ścieków.

#### vii) Zużycie energii

Zużycie energii elektrycznej w procesie oczyszczania ścieków wynosi około 0,9 kWh/kg redukcji ChZT.

#### viii) Monitorowanie

Według właściwego organu należy monitorować następujące parametry: przepływ wody, jej temperaturę, mętność, odczyn pH i O<sub>2</sub> w sposób ciągły; ChZT, P, N i zawiesinę ogółem codziennie a BZT raz na tydzień, we wszystkich przypadkach na podstawie pobieranych co 24 godziny wymieszanych próbek złożonych.

#### ix) Skuteczność usuwania

ChZT: 82%; BZT: 98%.



**x) Aspekty ekonomiczne**

Całkowita wartość inwestycji w system biologicznego oczyszczania ścieków wyposażony w instalację do odwadniania i suszenia osadów to około 18 mln EUR (obliczenia dotyczące nowego zakładu przy obecnym poziomie cen). Łączne koszty eksploatacji to 0,5 EUR/m<sup>3</sup>, z wyłączeniem opłat za ścieki i kosztów utylizacji odpadów.

**xi) Środek gwarantujący stabilne i sprawne działanie**

Oczyszczalnia ścieków to najnowocześniejsze rozwiązanie wysokiej jakości z systemem kontroli danych. W razie potrzeby flotatory w trybie czuwania są w stanie przejść ścieki z dwóch ultrafiltrów. Zbiornik buforowy przechwytuje ścieki szczytowe. W razie awarii w okolicach celulozowni znajduje się zbiornik mogący pomieścić ilość kwasu z największego zbiornika na kwas. W razie pożaru wody powierzchniowe będą przechowywane w oddzielnym zbiorniku przeciwpowodziowym. Zakład jest nadzorowany w ramach trwającej 24 godziny zmiany. Dzięki tej koncepcji wydajność oczyszczalni jest na stałym, wysokim poziomie.

**xii) Wytwarzanie i oczyszczanie osadów**

Nadmiar osadu biologicznego jest odwadniany wraz z osadem z pierwotnego klarowania, a następnie trafia on do suszarki osadów, gdzie wysusza się go do 85% zawartości suchej masy. Wysuszony osad spala się w kotle korowym.

**xiii) Osiągnięta efektywność środowiskowa**

W tabeli 4.19 zarówno w ujęciu rocznym, jak i miesięcznym przedstawiano uzyskane średnie stężenie i średni ładunek. Wartości te uzyskano na podstawie codziennych średnich próbek ChZT i zawiesiny ogółem. Całkowite dane liczbowe dotyczące N i P również uzyskano na podstawie codziennych średnich próbek. Wartość BZT<sub>5</sub> ustalana jest raz na tydzień.

Dane dotyczące AOX są znacznie poniżej niemieckiej wartości progowej AOX. Z tego względu właściwy organ mierzy stężenie AOX tylko raz w miesiącu.

**Tabela 4. 19 Średnie miesięczne i roczne wartości emisji ze zintegrowanej celulozowni stosującej wodorosiarczyn magnezu po oczyszczeniu biologicznym**

Miesiąc w 2008 r.	Produkcja masy celulozowej (t pow. s.m./dzień)	Dopływ ChZT wpływający (tylko masa celulozowa)		Zmierzone średnie miesięczne stężenie po oczyszczeniu biologicznym i obliczany indywidualny ładunek (celuloza i papier)/t pow. s.m.					
		Przepływ (m <sup>3</sup> /t)	ładunek (kg ChZT/ t pow. s.m.)	ChZT (mg/l)	ChZT (kg/t pow. s.m.)	BZT <sub>5</sub> (mg/l)	BZT <sub>5</sub> (kg/t pow. s.m.)	Zawiesina ogółem (mg/l)	Zawiesina ogółem (kg/t pow. s.m.)
styczeń	348	34	128	242	21	12	1.0	45	4
luty	355	34	126	247	21	9	0.7	56	5
marzec	316	37	133	298	26	15	1.3	117	10
kwiecień	312	38	126	239	22	11	1.0	37	3
maj	288	36	110	268	24	12	1.2	56	3
czerwiec	325	37	119	244	23	10	0.9	27	3
lipiec	336	37	126	272	26	14	1.3	33	3
sierpień	304	39	134	242	24	11	1.0	37	4
wrzesień	305	37	139	238	23	8	0.8	37	4
październik	310	37	140	302	28	11	1.0	87	8
listopad	305	40	136	286	27	11	1.1	101	10
grudzień	252	48	135	258	27	13	1.4	72	7
<b>Średnia roczna (masa celulozowa i papier)</b>	<b>313</b>	<b>38</b>	<b>129</b>	<b>261</b>	<b>24</b>	<b>11</b>	<b>1.1</b>	<b>59</b>	<b>5</b>
<b>*udział w masie, patrz pkt xiv</b>	<b>313</b>	<b>38</b>	<b>129</b>		<b>21</b>		<b>0.3</b>		<b>1.6</b>

W tabeli 4.20 w odniesieniu do jednego zakładu przedstawiono średnie wartości dobowe w typowym miesiącu.

Tabela 4. 20 Średnie wartości dobowe dotyczące emisji ze zintegrowanej celulozowni stosującej wodorosiarczyn magnezu po oczyszczaniu biologicznym

Dzień kwietnia 2008 r.	Produkcja masy celulozowej (t pow. s.m./dzień)	Dopływ ChZT wpływający (tylko masa celulozowa)		Zmierzone średnie miesięczne stężenie po oczyszczaniu biologicznym i obliczony indywidualny ładunek (celuloza i papier)/t pow. s.m.					
		Przepływ (m <sup>3</sup> /t)	ładunek (kg ChZT/t pow. s.m.)	ChZT (mg/l)	ChZT (kg/t pow. s.m.)	BZT <sub>5</sub> (mg/l)	BZT <sub>5</sub> (kg/t pow. s.m.)	Zawiesina ogółem (mg/l)	Zawiesina ogółem (kg/t pow. s.m.)
1 kwietnia	354	33	106	281	24			31	3
2 kwietnia	348	34	99	197	16	6,7	0,5	22	2
3 kwietnia	322	34	112	171	15			30	3
4 kwietnia	316	38	122	188	18			39	4
5 kwietnia	311	38	150	251	23			39	4
6 kwietnia	321	37	146	324	28			61	5
7 kwietnia	305	36	98	288	27			56	5
8 kwietnia	328	34	106	197	17			43	4
9 kwietnia	294	37	102	196	19	12,0	1,1	43	4
10 kwietnia	241	43	119	174	20			32	4
11 kwietnia	256	50	163	185	22			44	5
12 kwietnia	273	42	151	235	24			55	6
13 kwietnia	300	43	158	269	26			69	7
14 kwietnia	332	37	145	309	27			66	6
15 kwietnia	370	33	127	290	22			28	2
16 kwietnia	380	33	131	267	21	10,7	0,8	33	3
17 kwietnia	370	33	119	276	23			20	2
18 kwietnia	370	38	117	256	20			21	2
19 kwietnia	364	33	121	276	22			32	2
20 kwietnia	332	34	97	240	20			21	2
21 kwietnia	311	32	84	205	20			48	5
22 kwietnia	311	40	132	224	23			66	7
23 kwietnia	311	40	155	251	24	12,9	1,2	29	3
24 kwietnia	316	37	153	281	26			27	2
25 kwietnia	348	34	140	309	27			29	3
26 kwietnia	354	35	122	266	23			17	1
27 kwietnia	338	37	121	220	20			25	2
28 kwietnia	316	41	120	185	18			35	3
29 kwietnia	295	41	129	175	18			31	3
30 kwietnia	268	42	147	204	23	10,6	1,2	26	3
<b>Średnia miesięczna (masa celulozowa i papier)</b>	<b>322</b>	<b>37</b>	<b>126</b>	<b>240</b>	<b>22</b>	<b>10,6</b>	<b>1,0</b>	<b>37</b>	<b>3,6</b>
<b>*udział w masie, patrz pkt xiv</b>	<b>322</b>	<b>37</b>	<b>126</b>		<b>19</b>		<b>0,3</b>		<b>0,9</b>

#### xiv) Pobieranie próbek, analiza i interpretacja danych

Odprowadzane z papierni ścieki uwzględniono we wszystkich danych liczbowych przedstawionych w tabelach. Jeśli chodzi o ChZT, to udział celulozowni (patrz \* tabela 4.19) można w przybliżeniu oszacować na poziomie miesięcznych średnich wartości poprzez odjęcie od całości ścieków 3 kg ChZT/t powietrznie suchej masy pochodzącej z produkcji papieru. Po oczyszczaniu ładunek ChZT z tej papierni odpowiada (średnio) około 1,1 kg/t powietrznie suchej masy papieru. W wyliczeniu uwzględniającym 350 000 ton papieru w 2008 r. daje to razem 424 tony ChZT, pochodzące wyłącznie z produkcji papieru. Ładunek ten odejmuje się od całkowitego ładunku ChZT powstałego zarówno z produkcji masy celulozowej, jak i papieru. W tym przypadku z produkcją papieru można powiązać około 3 kg ChZT/t z całkowitego ładunku składników organicznych. W odniesieniu do BZT<sub>5</sub> i zawiesiny ogółem w szacunkowym wyliczeniu zastosowano stosunek objętości ścieków z masy celulozowej do całkowitej ilości ścieków, który wynosi 0,31.

**xv) Normy pomiarowe**

ChZT: DIN 38409-41; BZT: EN 1899-1; zawiesina ogółem: nie podano; składniki odżywcze mierzy się na podstawie testów kuwetowych LANGE.

**Przykład 2: Masa celulozowa produkowana przy użyciu wodorosiarczynu magnezu do sprzedaży na rynek, Biocel Paskov A.S.**

**i) Produkcja**

280 000 ton rocznie masy celulozowej produkowanej przy użyciu wodorosiarczynu magnezu do sprzedaży na rynek, 29% bez chloru pierwiastkowego i 71% bez chloru pierwiastkowego w wersji „light” (podobnie do produkcji bez użycia chloru); 24 000 t rocznie drożdży paszowych, 87 000 t lignosulfonianów rocznie (około 15% całości gęstego ługu idzie na sprzedaż jako lignosulfonian o zawartości 55% s.m. i 45% s.m.).

**ii) Główne ścieki odprowadzane do oczyszczania**

Kondensat z instalacji do odparowywania, ścieki z bielarni. Ładunek ChZT z produkcji produktów ubocznych, drożdży paszowych przyczynia się do powstawania około 2% całkowitego ładunku ChZT ze ścieków.

**iii) Przepływy przychodzące i ładunek substancji organicznych**

Strumienie ścieków z sekcji masy celulozowej to około 33-39 m<sup>3</sup>/t powietrznie suchej masy, pozostałe przepływy (z drożdży) to około 1 m<sup>3</sup> na tonę (masy celulozowej), natomiast dopływ ChZT wynosi 55 kg/t powietrznie suchej masy.

**iv) Rodzaj oczyszczania**

Średnio obciążona instalacja osadu czynnego (patrz rysunek 4.46). Oczyszczanie polega przede wszystkim na oczyszczaniu wstępnym i późniejszym oczyszczaniu biologicznym za pomocą jednego systemu osadu, ale przy użyciu różnych rodzajów napowietrzania według sekwencji: odzysk osadów napowietrzonych – selektor beztlenowy – selektor tlenowy z czystym tlenem – etap oczyszczania osadu aktywowanego tlenem na dwóch liniach (proces dwustopniowy przy użyciu najwyższej czystości tlenu podczas pierwszego etapu, tlen rozpuszcza się przez napowietrzanie powierzchniowe w zamkniętej atmosferze tlenowej), proces przy użyciu osadu czynnego z napowietrzaniem sprężonym powietrzem (dwie linie), proces przy użyciu osadu czynnego z napowietrzaniem powierzchniowym i osadnikami (dwie linie). System umożliwia również spełnienie rygorystycznych wymagań dotyczących ścieków.

**v) Główne parametry konstrukcyjne**

Ładunek osadów jest na poziomie 0,44 kg BZT/kg zawiesiny dziennie; czas retencji w zbiorniku napowietrzającym wynosi około 11 godzin.

**vi) Dawkowanie składników odżywczych (N i P)**

Jako źródło azotu dodaje się wodę amoniakalną z 25% NH<sub>3</sub>, co daje 3,8 t/dzień. Program komputerowy reguluje dozowanie poprzez równoważenie mierzonego stężenia N-NH<sub>4</sub> i N-NO<sub>3</sub> w odpływie i szacunkowej ilości BZT<sub>5</sub> i strumienia dopływającego. Kwas fosforowy dodaje się jako 55% P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, co daje 0,27 t/dzień. Program komputerowy reguluje dawkowanie P poprzez równoważenie mierzonego stężenia P-PO<sub>4</sub> w ściekach i szacunkowej ilości BZT<sub>5</sub> i strumienia dopływającego. Jeżeli zmierzone stężenie N-NH<sub>4</sub> i N-NO<sub>3</sub> lub P-PO<sub>4</sub> w ściekach jest wyższe niż wartość docelowa, dawkowanie substancji odżywczych maleje zgodnie z ustaloną regułą programu komputerowego, który również oblicza i optymalizuje przepływ i ładunek BZT<sub>5</sub> strumienia dopływającego.

**vii) Zużycie energii**

Zużycie energii elektrycznej na obróbkę osadów czynnych wynosi około 1,5 kWh/kg redukcji BZT (napowietrzanie i pompowanie).

**viii) Monitorowanie**

Objęte pomiarami parametry wyjściowe to: ChZT (1/dzień), BZT<sub>5</sub> (1/dzień), AOX (1/dzień), N-NH<sub>4</sub> (3/dzień), N-NO<sub>3</sub> (3/dzień), P-PO<sub>4</sub> (3/dzień), całkowite P (1/tydzień), pH (podczas procesu technologicznego), temperatura (podczas procesu), zawiesina ogółem (1/dzień), łączne rozpuszczone części stałe (105 °C) (1/dzień), łączne rozpuszczone części stałe nieorganiczne (550 °C) (1/dzień),

przewodnictwo (podczas procesu),  $\text{SO}_4^{2-}$ (1/dzień),  $\text{Cl}^-$ (1/dzień). Kontrola procesu za pomocą komputera przyczynia się do zapewnienia sprawnego funkcjonowania oczyszczalni ścieków.

#### ix) Skuteczność usuwania

W 2008 r. skuteczność usuwania kształtowała się na poziomie 80,8% w przypadku ChZT i 99,2% w przypadku BZT<sub>5</sub>.

#### x) Aspekty ekonomiczne

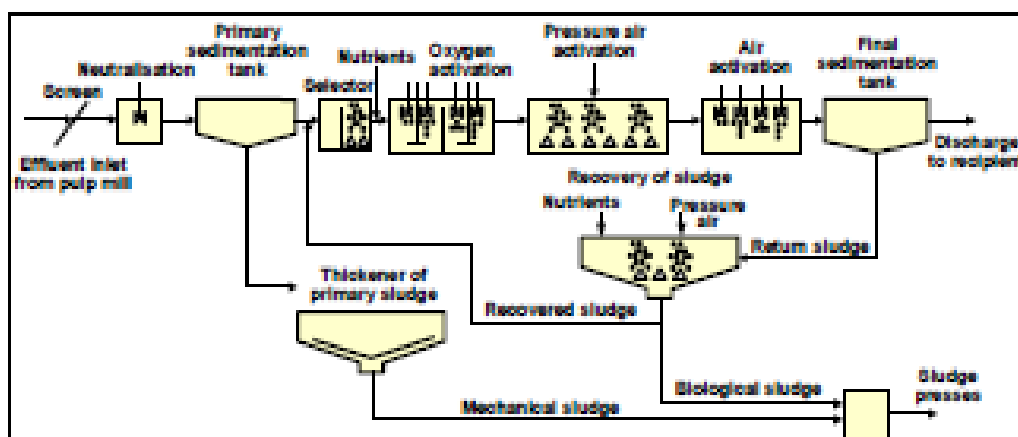
Koszty eksploatacji w 2008 r. wyniosły 18,2 EUR/t powietrznie suchej masy.

#### xi) Środki gwarantujące stabilne i sprawne działanie

Zastosowanie zbiornika wyrównawczego; kontrola poziomu ChZT. W razie wystąpienia przypadkowych emisji ładunku szczytowego substancji organicznych część ścieków o znacznie wyższej zawartości ChZT zostanie przekierowana do zbiornika wyrównawczego, a stamtąd będzie stopniowo pompowana do oczyszczalni ścieków.

#### xii) Wytwarzanie i oczyszczanie osadów

Ilość powstających osadów mieści się w zakresie 0,4-0,7 kg s.m./kg redukcji BZT<sub>5</sub>, a średnia ważona jest na poziomie 0,54 kg s.m./kg redukcji BZT. Zarówno nadmiar osadu z dna zbiornika do odzyskiwania osadu, jak i osady pierwotne, która zagęszcza się w zagęszczaczu grawitacyjnym, pompuje się do zbiornika mieszającego. Następnie osady odwadnia się przez dodawanie flokulantów, wpierv na przenośniku paskowym do odwadniania i następnie na prasie taśmowej (dwie linie). Osad kondycjonowany jest poprzez dodawanie wapna. Osad dostarczany jest do firm, które wykorzystują go do produkcji biogazu lub kompostowania.



Rysunek 4. 46 Schemat technologiczny oczyszczalni ścieków w zintegrowanej celulozowni produkującej masę celulozową do sprzedaży na rynek przy użyciu wodorosiarczynu magnezu

Screen	Sito
Neutralisation	Neutralizacja
Primary sedimentation tank	Osadnik główny
Selector	Selektor
Nutrients	Składniki odżywcze
Oxygen activation	Aktywacja tlenem
Pressure air activation	Aktywacja powietrzem pod ciśnieniem
Air activation	Aktywacja powietrzem
Final sedimentation tank	Osadnik końcowy
Discharge to recipient	Zrzut do odbiorcy
Effluent inlet from pulp mill	Wlot ścieków z celulozowni
Thickener of primary sludge	Zagęszczacz osadów pierwotnych
Recovered sludge	Osady z odzysku
Recovery of sludge	Odzyskiwanie osadów
Nutrients	Składniki odżywcze
Pressure air	Powietrze pod ciśnieniem

Return sludge	Strumień osadu recykulowanego
Biological sludge	Osady biologiczne
Sludge presses	Prasy do osadu
Mechanical sludge	Osady mechaniczne

**xiii) Osiągnięta efektywność środowiskowa**

W tabeli 4.21 podano zmierzone stężenie ścieków i ładunek wyrażony jako wartości roczne i miesięczne. W tabeli 4.22 przedstawiono również średnie wartości dobowe w typowym miesiącu. Wartości te uzyskano na podstawie codziennych średnich próbek ChZT, BZT<sub>5</sub> i zawiesiny ogółem. Wszystkie te analizy wykonywane są raz dziennie na podstawie pobieranych co 24 godziny wymieszanych próbek.

Tabela 4. 21 Średnie miesięczne i roczne wartości emisji z celulozowni produkującej masę celulozową do sprzedaży na rynek, stosującej wodorosiarczyn magnezu po oczyszczeniu biologicznym

Miesiąc w 2008 r.	Produkcja masy celulozowej (t pow. s.m./dzień)	Dopływ		Ładunek dopływający (kg ChZT/t pow. s.m.)	Zmierzone średnie miesięczne stężenie po oczyszczeniu biologicznym i obliczony indywidualny ładunek					
		ChZT (mg/l)	Przepływy (m <sup>3</sup> /t)		ChZT (mg/l)	ChZT (kg/t pow. s.m.)	BZT <sub>5</sub> (mg/l)	BZT <sub>5</sub> (kg/t pow. s.m.)	Zawiesina ogółem (mg/l)	Zawiesina ogółem (kg/t pow. s.m.)
styczeń	760	1 981	34,9	56,6	335	11,4	4	0,13	14	0,48
luty	794	1 967	32,0	53,7	308	9,7	7	0,23	23	0,72
marzec	787	1 995	30,6	52,6	295	9,0	4	0,11	14	0,43
kwiecień	844	1 948	29,9	49,6	295	8,8	6	0,17	19	0,58
maj	817	1 940	32,3	51,9	293	9,5	9	0,28	22	0,70
czerwiec	770	1 886	37,2	52,3	313	11,3	9	0,32	17	0,63
lipiec	832	1 851	36,2	49,0	307	9,4	7	0,26	19	0,68
sierpień	777	1 613	36,9	45,8	260	9,6	5	0,18	17	0,63
wrzesień	828	2 030	33,0	51,1	262	10,1	7	0,22	17	0,57
październik	159*	1 849	162,6	236,6*	308	22,8*	6	0,46*	18	1,28*
listopad	761	1 948	32,5	49,5	315	9,4	8	0,26	19	0,61
grudzień	715	1 884	33,8	49,4	289	9,6	9	0,29	17	0,58
<b>Średnia wartość miesięczna</b>	<b>159* - 844</b>	<b>1 613 - 2 030</b>	<b>30-163</b>	<b>45,8-236,6*</b>	<b>260-335</b>	<b>8,8-22,8*</b>	<b>4-9</b>	<b>0,11-0,46*</b>	<b>14-23</b>	<b>0,43-1,28*</b>
<b>Wartość średnioroczna</b>	<b>737</b>	<b>1 908</b>	<b>44,3</b>	<b>54,9</b>	<b>298</b>	<b>10</b>	<b>7</b>	<b>0,24</b>	<b>18</b>	<b>0,66</b>

Uwaga:  
 (\*) W październiku 2008 r. zamknięto linię do obróbki włókna, przez trzy tygodnie zachowując minimalną produkcję celulozy. Niemniej jednak oczyszczalnia nadal musiała funkcjonować i trzeba do niej było podawać materiał wsadowy, tak by mieć pewność, że biomasa przeżyje dzięki dodawaniu ścieków ze zbiorników wyrównawczych. Z tego względu obliczony ładunek jest dwa razy wyższy niż przez pozostałą część roku.

Tabela 4. 22 Średnie miesięczne i roczne wartości emisji z celulozowni produkującej masę celulozową do sprzedaży na rynek, stosującej wodorosiarczyn magnezu po oczyszczeniu biologicznym

Dzień miesiąca	Produkcja masy celulozowej (t pow. s.m./dzień)	Dopływ		ładunek dopływający (kg ChZT/t pow. s.m.)	Zmierzone średnie miesięczne stężenie po oczyszczeniu biologicznym i obliczany indywidualny ładunek					
		ChZT (mg/l)	Przepły w (m <sup>3</sup> /t)		ChZT (mg/l)	ChZT (kg/t pow. s.m.)	BZT <sub>5</sub> (mg/l)	BZT <sub>5</sub> (kg/t pow. s.m.)	Zawiesi na ogółem (mg/l)	Zawiesina ogółem (kg/t pow. s.m.)
1	236 ECO <sup>(1)</sup>	1 659	91,7	152,3	260	29,26	10	1,13	21	2,36
2	967 ECO <sup>(1)</sup>	1 538	22,9	35,3	223	6,26	12	0,34	29	0,81
3	733 ECO <sup>(1)</sup>	1 764	30,2	53,4	242	9,02	11	0,41	26	0,97
4	798 ECO <sup>(1)</sup>	1 937	27,1	52,6	251	8,42	10	0,34	21	0,70
5	802 ECO <sup>(1)</sup>	2 188	27,3	59,7	310	9,95	7	0,22	10	0,32
6	919 ECO <sup>(1)</sup>	2 298	23,1	53,2	345	9,60	4	0,11	21	0,58
7	857 ECO <sup>(1)</sup>	2 392	24,0	57,5	366	10,57	5	0,14	21	0,61
8	865 ECF	2 198	24,1	53,0	365	10,60	4	0,12	16	0,46
9	821 ECF	2 062	26,2	54,2	286	9,10	7	0,22	18	0,57
10	942 ECF	2 275	23,7	53,9	307	8,73	5	0,14	7	0,20
11	837 ECF	2 049	25,0	51,3	288	8,48	6	0,18	19	0,56
12	667 ECF	1 936	34,2	66,4	314	12,57	6	0,24	14	0,56
13	982 ECO <sup>(1)</sup>	2 006	22,1	44,4	255	6,63	5	0,13	11	0,29
14	973 ECO <sup>(1)</sup>	1 966	21,8	42,9	276	6,93	5	0,13	20	0,50
15	843 ECO <sup>(1)</sup>	1 975	25,4	50,3	296	8,54	3	0,09	37	1,07
16	847 ECO <sup>(1)</sup>	2 029	24,8	50,3	288	9,04	7	0,22	15	0,47
17	816 ECO <sup>(1)</sup>	1 876	25,8	48,4	271	8,77	5	0,16	14	0,45
18	777 ECO <sup>(1)</sup>	1 900	29,4	56,0	274	9,76	5	0,18	9	0,32
19	874 ECO <sup>(1)</sup>	1 596	27,5	44,0	260	8,10	6	0,19	7	0,22
20	804 ECO <sup>(1)</sup>	1 637	29,3	48,1	213	7,49	5	0,18	11	0,39
21	514 ECO <sup>(1)</sup>	1 538	46,6	71,7	180	9,77	5	0,27	37	2,01
22	950 ECO <sup>(1)</sup>	1 570	24,4	38,3	220	6,50	7	0,21	36	1,06
23	727 ECF	1 987	30,1	59,8	253	9,52	11	0,41	21	0,79
24	785 ECF	1 764	28,3	50,0	296	10,13	9	0,31	16	0,55
25	820 ECF	1 728	25,7	44,4	261	8,29	13	0,41	15	0,48
26	850 ECF	2 538	21,0	53,4	329	8,69	14	0,37	25	0,66
27	832 ECO <sup>(1)</sup>	2 103	27,9	58,7	461	14,48	17	0,53	56	1,76
28	826 ECO <sup>(1)</sup>	1 971	25,8	51,0	420	13,90	23	0,76	21	0,69
29	830 ECO <sup>(1)</sup>	2 067	26,9	55,6	320	10,98	11	0,38	15	0,51
30	856 ECO <sup>(1)</sup>	1 959	25,3	49,7	351	11,14	12	0,38	34	1,08
31	912 ECO <sup>(1)</sup>	1 911	23,5	45,0	323	9,79	17	0,52	49	1,49
<b>Mediana</b>	832,0	1 966	25,8	52,59	288	9,10	7	0,22	20	0,57
<b>Maksimum</b>	982	2 538	91,7	152,31	461	29,26	23	1,13	56	2,36
<b>Minimum</b>	236	1 538	21,0	35,32	180	6,26	3	0,09	7	0,20

Uwaga:  
<sup>(1)</sup> W zakładzie oznaczenia „ECO” używa się w odniesieniu do masy celulozowej bielonej przy użyciu małych porcji ClO<sub>2</sub>.

Wartości dotyczące wprowadzanego ładunku ChZT nie dotyczą przestojów. Mierzy się je w dni, podczas których odbywa się produkcja. Natomiast wartości dotyczące ścieków po oczyszczeniu w oczyszczalni ścieków dotyczą wszystkich dni w roku i wszystkich warunków eksploatacji.

Fosfor całkowity mierzony jest tylko raz w tygodniu, a średnia wartość w przypadku ścieków wynosi 1,15 mg/l, przy czym zdarzają wartości szczytowe sięgające do 2 mg/l. W większości przypadków wartości te są powyżej 1 mg P/l. Wydaje się, że wartości te to minimalne wartości potrzebne do normalnego funkcjonowania takiej oczyszczalni ścieków (do prawidłowego rozkładu ChZT i BZT). Gdy poziom fosforu zbliża się do 0 mg/l, można zaobserwować zwiększającą się objętość osadów. Dalsze konsekwencje to spadek zapasów osadów i zmniejszenie wydajności oczyszczalni ścieków. Wyższe emisje P nie są zabronione przez organy ochrony środowiska. Całkowity azot nieorganiczny (suma n-NO<sub>3</sub>-N i NH<sub>4</sub>-N) waha się w granicach średniej dobowej od 0 do 15 mg/l. Zakres średnich miesięcznych kształtuje się pomiędzy 3,6 mg N<sub>norg</sub>/l a 6,8 mg N<sub>norg</sub>/l, natomiast wartości średnioroczne w okolicach 5,2 mg N<sub>norg</sub>/l na podstawie pobieranych co 24 godziny zmieszanych próbek. Stężenie na poziomie około 5 mg/l N<sub>norg</sub> wydaje się być wartością minimalną, potrzebną do prawidłowego funkcjonowania takiej instalacji do obróbki osadu czynnego i do prawidłowego rozkładania substancji organicznych.



**xiv) Pobieranie próbek, analiza i interpretacja danych**

Pobieranie próbek odbywa się raz dziennie za pomocą próbek proporcjonalnych do upływu czasu, a w przypadku substancji odżywczych trzy razy na dzień. Punkty poboru próbek znajdują się przed i po etapach biologicznych oczyszczalni ścieków, a niektóre próbki pobierane są między tymi punktami. Metody stosowane do analizy chemicznej to metody zgodne z ISO EN (skrót od norm Międzynarodowej Organizacji Normalizacyjnej, przeniesionych do norm europejskich). Wyciążenie ładunku emisji dotyczy odpowiedniej produkcji, przepływu i stężenia.

**Przykład 3: Zakład produkujący metodą NSSC papier półchemiczny na warstwę pofalowaną, Stora Enso Oyj, zakład Heinola Fluting**
**i) Produkcja**

285 000 t rocznie papieru półchemicznego na warstwę pofalowaną, zawierającego > 90% masy wyprodukowanej metodą NSSC i <10% masy celulozowej typu CLC. Masa celulozowa CLC oznacza masę wyprodukowaną z czystych ścieków z kartonu.

**ii) Główne ścieki odprowadzane do oczyszczania**

Główne ścieki to kondensaty z instalacji do odparowywania, wody z obiegu z włóknami, dająca się zebrać woda z instalacji do ługu i z elektrowni, wycieki wody ze składowiska odpadów i woda sanitarna.

**iii) Przepływy przychodzące i ładunek substancji organicznych**

Strumień ścieków z produkcji masy celulozowej metodą NSSC i papieru półchemicznego na warstwę pofalowaną wynosi jako średnia roczna około 18 m<sup>3</sup>/t papieru półchemicznego na warstwę pofalowaną. Średnia roczna przychodzącego ładunku ChZT wynosi około 30-35 kg/t papieru półchemicznego na warstwę pofalowaną.

**iv) Rodzaj oczyszczania**

Oczyszczalnia ścieków składa się z osadnika wstępnego, instalacji MBP (proces wykorzystujący minimalną ilość osadów), instalację do obróbki osadu czynnego, osadnika wtórnego oraz flotacji i obróbki osadów (patrz rysunek 4.47).

**v) Główne parametry konstrukcyjne**

Instalację do osadu czynnego zaprojektowano na 25 ton ChZT/d. Czas retencji hydraulicznej w instalacji do osadu czynnego wynosi 4-5 dni. Ładunek osadów wyrażony jako ChZT (ponieważ w zakładzie nie ma wystarczającej ilości danych dotyczących BZT, można było skorzystać z danych dotyczących BZT/kg zawiesiny na dzień) w okresie od roku 2007 do 2009 wynosił około 0.55 ChZT/kg zawiesiny dziennie.

**vi) Dawkowanie składników odżywczych (N i P)**

Docelowa ilość  $\text{NH}_4^+$  wynosi 5 mg/l rozpuszczalnego N na końcu zbiornika do napowietrzania. Docelowa ilość fosforu wynosi <1 mg  $\text{PO}_4\text{-P/l}$  w ściekach w zbiorniku do napowietrzania.

#### **vii) Zużycie energii**

Zużycie energii elektrycznej na cały proces oczyszczania ścieków kształtuje się na poziomie około 0,9 kWh/kg redukcji ChZT lub około 5 200 MWh/rok.

#### **viii) Monitorowanie**

Pięć razy w tygodniu na podstawie zmieszanych próbek pobieranych z klarowanej wody co 24 godziny mierzy się poziom pH, TSS i ChZTCr a informacje na ten temat przekazuje władzom. Poza tym całkowity fosfor mierzy się dwa razy w tygodniu na podstawie pobieranych co 24 godziny zmieszanych próbek. W przypadku  $\text{BZT}_7$  zmieszane próbki pobierane co 24 godziny pobierane i zachowywane są codziennie. Następnie raz na miesiąc miesza się i mierzy około 30 próbek. Próbkę całkowitego azotu pobiera się dwa razy w tygodniu. Następnie raz na miesiąc miesza się i mierzy około 8 próbek. Próbki są proporcjonalne do upływu czasu. Oprócz pomiarów wymaganych przez odpowiednie organy, w celu skontrolowania działania oczyszczalni ścieków przeprowadza się analizy laboratoryjne niektórych próbek. Na potrzeby regulacji, na przykład przepływu wody, odczynu pH, temperatury, zawartości tlenu, fosforanu, azotanu i potencjału redoks pomiary przeprowadza się również podczas procesu technologicznego.

#### **ix) Skuteczność usuwania**

Przez większość czasu skuteczność usuwania w przypadku ChZT kształtuje się na poziomie > 85% (nie określa się skuteczności usuwania  $\text{BZT}_5$ ).

#### **x) Aspekty ekonomiczne**

Koszty eksploatacji wynoszą <10 EUR na tonę papieru półchemicznego na warstwę pofalowaną.

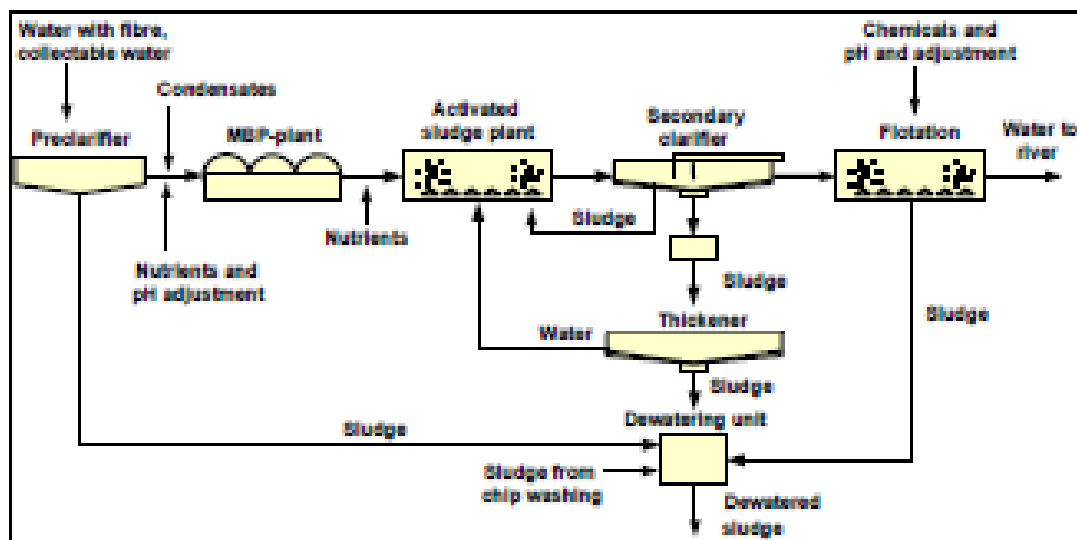
#### **xi) Środek gwarantujący stabilne i sprawne działanie**

Pomiary przeprowadzane podczas procesu technologicznego i zastosowanie dodatkowego zbiornika na emisje wyjątkowe przyczynia się do stabilizacji pracy systemu biologicznego.

Pomiary przeprowadzane podczas procesu technologicznego wykorzystywane są do wykrywania nieprawidłowych emisji. Na przykład pomiary obejmujące strumień wody, odczyn pH, temperaturę, tlen, fosforan, azotan i potencjał redox odbywają się podczas procesu technologicznego. Ze zbiornika wyrównawczego korzysta się w sytuacji, gdy występują emisje wyjątkowe, na przykład w przypadku gdy nadmiar wody obiegowej z papierni papieru na warstwę pofalowaną odprowadzany jest do oczyszczalni ścieków (zwykle wodę obiegową z papierni papieru na warstwę pofalowaną wykorzystuje się do korowania).

#### **xii) Wytwarzanie i oczyszczanie osadów**

W roku 2008 produkowano około 8,4 kg s.m. osadów/tonę papieru półchemicznego na warstwę pofalowaną. W okresie od roku 2006 do 2008 średni poziom produkowanego osadu wynosił około 0,43 kg s.m. osadów/kg redukcji ChZT. Wszystkie frakcje osadu (osadów pierwotnych, osadów biologicznych z zagęszczacza, osadów z flotacji i osadów z przemywania zrębków) łączą się w zbiorniku mieszającym, a osady odwadnia się w prasie taśmowej. Odwodniony osad wykorzystuje się na przykład do budowy składowisk odpadów lub spala.



Rysunek 4. 47 Schemat technologiczny oczyszczalni ścieków w zintegrowanym zakładzie produkującym masę celulozową metodą NSSC i papier półchemiczny na warstwę pofalowaną

Water with fibre, collectable water	Woda z włóknami, woda dająca się zebrać
Preclarifier	Osadnik wstępny
Condensates	Kondensat
MBP-plant	Instalacja MBP (wykorzystująca minimalną ilość osadów)
Nutrients and pH adjustment	Substancje odżywcze i dopasowywanie odczynu pH
Nutrients	Składniki odżywcze
Activated sludge plant	Instalacja do obróbki osadu czynnego
Sludge	Osad
Secondary clarifier	Osadnik wtórny
Chemicals and pH and adjustment	Substancje chemiczne i dopasowywanie odczynu pH
Flotation	Flotacja
Water to river	Woda odprowadzana do rzeki
Sludge	Osad
Thickener	Zagęszczacz
Water	Woda
Dewatering unit	Jednostka odwadniająca
Sludge from chip washing	Osad z płukania zrębków
Dewatered sludge	Odwodniony osad

### xiii) Osiągnięta efektywność środowiskowa

W tabeli 4.23 i 4.24 przedstawiono emisje ścieków w typowym roku (2007) i średnie wartości dobowe w typowym miesiącu (w lutym).

Tabela 4. 23 Średnie miesięczne i roczne wartości emisji po oczyszczeniu ścieków ze zintegrowanego zakładu produkującego masę celulozową metodą NSSC i papier półchemiczny na warstwę pofalowaną

Miesiąc w 2007 r.	Produkcja papieru półchemicznego na warstwę pofalowaną (t/dzień)	Dopyty		ładunek dopywający (kg ChZT/t pow. s.m.)	Zmierzone średnie miesięczne stężenie po oczyszczeniu biologicznym i obliczany indywidualny ładunek					
		ChZT (mg/l)	Przepływ (m <sup>3</sup> /t)		ChZT (mg/l)	ChZT (kg/t pow. s.m.)	BZT <sub>7</sub> (mg/l)	BZT <sub>7</sub> (kg/t pow. s.m.)	Zawiesina ogółem (mg/l)	Zawiesina ogółem (kg/t pow. s.m.)
styczeń	743	5 473	4,8	26,4	685	3,2	19	0,09	48	0,23
luty	771	6 348	5,1	32,2	906	4,4	69	0,33	151	0,73
marzec	807	5 367	4,8	25,6	851	3,8	62	0,28	207	0,93
kwiecień	804	5 161	4,9	25,3	610	2,8	65	0,30	89	0,41
maj	772	4 253	5,5	23,4	540	2,8	44	0,23	83	0,43

czerwiec	770	4 619	4,4	20,3	563	2,4	17	0,07	97	0,41
lipiec	766	4 223	4,5	19,0	413	1,8	18	0,08	105	0,45
sierpień	673	4 070	4,9	20,1	605	3,2	86	0,45	89	0,47
wrzesień	604	5 224	5,5	28,9	979	5,0	53	0,27	87	0,45
październi	744	4 913	5,6	27,3	823	4,3	28	0,15	110	0,57
listopad	785	4 625	5,3	24,5	534	2,6	26	0,13	240	1,15
grudzień	788	4 856	4,9	24,0	505	2,3	49	0,23	192	0,89
<b>Średnia wartość miesięczn a</b>	<b>604-807</b>	<b>4 070-6 348</b>	<b>4,4-5,6</b>	<b>19,0-32,2</b>	<b>413-979</b>	<b>1,8-5,0</b>	<b>17-86</b>	<b>0,07-0,45</b>	<b>48-240</b>	<b>0,23-1,15</b>
<b>Wartość średnioro czna</b>	<b>753</b>	<b>4 928</b>	<b>5,0</b>	<b>24,8</b>	<b>668</b>	<b>3,2</b>	<b>45</b>	<b>0,22</b>	<b>125</b>	<b>0,59</b>

Tabela 4. 24 Dobowe średnie wartości emisji po oczyszczeniu ścieków w typowym miesiącu ze zintegrowanego zakładu produkującego masę celulozową metodą NSSC i papier półchemiczny na warstwę pofalowaną

Dzień (w 2007 r.)	Produkcja papieru pół- chemicznego na warstwę pofalowaną (t/dzień)	Dopływ		Ładunek dopływający (kg ChZT/t pow. s.m.)	Zmierzone średnie miesięczne stężenie i obliczony indywidualny ładunek			
		ChZT (mg/l)	Przepływ (m <sup>3</sup> /t)		ChZT (mg/l)	ChZT (kg/t pow. s.m.)	Zawiesina ogółem (mg/l)	Zawiesina ogółem (kg/t pow. s.m.)
1	774	6 414	5,6	36,1	970	5,3	73	0,4
2	491	6 691	8,4	56,0	930	7,5	130	1,0
3	871	6 653	3,6	24,1	930	3,2	130	0,4
4	785	6 783	4,9	33,1	930	4,4	130	0,6
5	821	6 357	5,0	31,9	900	4,3	120	0,6
6	898	5 962	4,8	28,8	820	3,7	94	0,4
7	796	5 969	5,6	33,4	810	4,3	88	0,5
8	681	5 570	6,1	34,2	770	4,5	130	0,8
9	846	6 368	4,9	31,2	730	3,4	56	0,3
10	831	6 362	4,7	29,7	730	3,3	56	0,2
11	847	6 385	4,1	26,4	730	3,0	56	0,2
12	764	6 269	4,6	28,9	750	3,4	87	0,4
13	631	6 600	6,4	42,3	820	5,2	150	0,9
14	437	5 386	7,1	38,5	850	6,1	150	1,1
15	720	5 592	4,7	26,5	860	4,0	160	0,7
16	797	6 730	4,4	29,9	820	3,6	150	0,7
17	945	6 189	4,3	26,6	820	3,4	150	0,6
18	829	6 254	4,6	28,5	820	3,6	150	0,7
19	767	5 827	5,4	31,4	1 000	5,1	220	1,1
20	785	5 756	5,3	30,3	1 100	5,5	400	2,0
21	907	5 543	4,1	22,5	930	3,5	210	0,8
22	801	4 939	5,4	26,7	870	4,3	180	0,9
23	714	6 554	6,0	39,4	790	4,4	100	0,6
24	707	6 532	5,3	34,4	790	4,0	100	0,5
25	824	6 522	3,7	24,1	790	2,7	100	0,3
26	855	8 133	5,0	40,6	1 000	4,7	150	0,7
27	759	9 254	5,5	50,6	1 300	6,9	270	1,4
28	693	6 896	6,1	41,9	1 700	9,6	420	2,4
<b>Średnia miesięczna</b>	771	6 375	5,2	33,1	902	4,5	150	0,8
<b>Maksimum</b>	945	9 254	8,4	56,0	1 700	9,6	420	2,37
<b>Minimum</b>	437	4 939	3,6	22,5	730	2,7	56	0,23

**xiv) Pobieranie próbek, analiza i interpretacja danych**

Pobieranie próbek odbywa się za pomocą automatycznego próbnika. Pobieranie próbek do badań laboratoryjnych wykonuje się najczęściej raz dziennie. Stosowane metody laboratoryjne to SFS lub SFS-EN. Obliczanie ostatecznych poziomów emisji odbywa się na podstawie stężenia i przepływu ( $\text{g/m}^3 \times \text{m}^3/\text{d}$ ).

#### **Przykład 4: Zakład produkujący masę specjalną przy użyciu zasady amonowej, Tembec Tartas**

Przykład ten dotyczy zakładu siarczynowego, w którym produkuje się głównie masę specjalną, trochę masy włóknistej do produkcji chusteczek i różnych produktów bazujących na wykorzystaniu lignosulfonianów. Biologiczne oczyszczanie tlenowe odbywa się w napowietrzanym zbiorniku. W zakładzie produkuje się masę bez chloru pierwiastkowego. Wykorzystanie tu  $\text{NH}_4$  jako zasady jest unikalne na skalę europejską.

##### **i) Produkcja**

150 000 t powietrznie suchej masy produkowanej przy użyciu wodorosiarczynu i jako zasady amonu rocznie do produkcji gatunków specjalnych, z czego 10-20% to masa włóknista na produkty higieniczne.

##### **ii) Główne ścieki odprowadzane do oczyszczania**

Ścieki z etapu ekstrakcji alkalicznej na gorąco (w większości ładunek ChZT) zatęża się i spala w kotle sodowym, tak samo jak w przypadku materii rozpuszczonej z instalacji do warzenia. Tym samym w opisie poniżej nie uwzględniono tej części ładunku ChZT. Kondensaty z instalacji do odparowywania (23% ładunku ChZT z zakładu) oczyszcza się przede wszystkim w oczyszczalni beztlenowej. Oczyszczane ścieki następnie trafiają do napowietzanego zbiornika. Ścieki z pierwszego etapu D1 z wykorzystaniem dwutlenku chloru (14% ładunku ChZT z zakładu) ulegają biodegradacji. Stosunek ChZT do BZT podczas etapu D1 wynosi 8:10. Ścieków tych aktualnie nie poddaje się oczyszczaniu w oczyszczalni tlenowej, jednak przed ich zrzutem miesza się je z oczyszczonymi ściekami. Ścieki z pozostałej części linii bielenia (63% ładunku ChZT w zakładzie), w tym z etapów E/O-D2, wycieki i nieoczyszczony kondensat oczyszcza się w oczyszczalni tlenowej.

##### **iii) Rodzaj oczyszczania**

Oczyszczanie biologiczne odbywa się przy użyciu napowietzanego zbiornika (patrz rysunek 4.48). Zasady biodegradacji rozpuszczonych substancji organicznych są takie same jak w przypadku instalacji do obróbki osadu czynnego. Pod pewnymi względami napowietrzony zbiornik o niskim ładunku różni się od zbiornika na osad czynny:

- Potrzeba dużo energii elektrycznej (1,5 MWe mocy zainstalowanej).
- Jest to bardzo solidny system, stanowiący skuteczną barierę względem otoczenia (300 000  $\text{m}^3$  lub 8,1 ha z całkowicie zmieszanej komory).
- Gdy ładunek objętościowy BZT jest niski, nie powstaje nadmiar osadu.
- Ze względu na wrażliwość na niskie temperatury implantację najlepiej przeprowadzać w cieplejszym klimacie, tak by uniknąć bardzo niskich temperatur podczas zimy. Z drugiej strony temperatura ścieków nie przekracza  $30\text{ }^\circ\text{C}$ , więc nie ma potrzeby zastosowania układu chłodzenia.

Podczas budowy i eksploatacji należy unikać łączenia strumieni ścieków.

##### **iv) Główne parametry konstrukcyjne**

System zaprojektowano z myślą o bardzo niskim ładunku BZT<sub>5</sub>. Obciążenie objętościowe (stosunek wprowadzanego BZT<sub>5</sub> do objętości reaktora) wynosi 0,08 kg BZT<sub>5</sub>/m<sup>3</sup> dziennie. Czas retencji hydraulicznej to 12 dni.

##### **v) Dawkowanie składników odżywczych (N i P)**

Jako substancję odżywczą dla biomasy dodaje się kwas fosforowy w stosunku P:BZT<sub>5</sub> wynoszącym 0,8%. Nie trzeba dodawać azotu, ponieważ mamy tu do czynienia z instalacją do warzenia na bazie amonu. Odpowiednie zarządzanie wyciekami zawierającymi  $\text{NH}_4$  wymaga częstej kontroli różnych elementów w ramach procesu, które cały czas są doskonałe. Zmienność emisji N można w dużej mierze wyjaśnić niekontrolowanym wprowadzaniem wycieków do systemu oczyszczania.

**vi) Zużycie energii**

Zużycie energii elektrycznej w oczyszczaniu napowietrzonym wynosi około 3 kWh/kg redukcji BZT<sub>5</sub> i 2 kWh/kg redukcji ChZT, ponieważ w tym przypadku, kiedy usuwa się 1 kg BZT<sub>5</sub>, redukcja ChZT wynosi 1,5 kg (prawdopodobnie ze względu na efekt odpędzania).

**vii) Monitorowanie**

ChZT i BZT<sub>5</sub> są monitorowane codziennie na podstawie proporcjonalnych, pobieranych co 24 godziny zmieszanych próbek. Aby utrzymać pH na poziomie 5,5-6,5, odczyn pH kontrolowany jest w sposób ciągły. Fosfor dozowany jest za pomocą pompy wolumetrycznej.

Zużycie fosforu reguluje się codziennie w punkcie dawkowania i raz w tygodniu mierzy się jego poziom w ściekach, a co miesiąc w bilansie masowym. Całkowitą ilość N reguluje się codziennie (na podstawie pobieranych co 24 godziny zmieszanych próbek). AOX kontroluje się co miesiąc (na podstawie pobieranych co 24 godziny próbek) za pośrednictwem metody ISO, a także codziennie w korelacji ze zużyciem ClO<sub>2</sub>. Zużycie energii elektrycznej przez 27 napowietrzaczy, które działają przy stałej mocy, tak by uniknąć niepożądanego osadzania się zawieszony biomasy, kontrolowane jest codziennie.

**viii) Skuteczność usuwania**

Napowietrzony zbiornik + obejście D1: ChZT: 44%; BZT<sub>5</sub>: 88%.

Sam napowietrzony zbiornik: ChZT: 53%; BZT: 88%.

Usuwanie BZT<sub>5</sub> nie jest kompletne, ponieważ większa część BZT<sub>5</sub> zmierzona w wycieku pochodzi z zawiesiny ogółem, która nie jest zachowywana. Jeśli zakładowi udało się w lepszy sposób usunąć pozostałości zawiesiny ogółem, to możliwe do osiągnięcia byłoby stężenie BZT<sub>5</sub> na poziomie 25 mg/l.

**ix) Koszty eksploatacyjne (nie uwzględniono kosztów instalacji beztlenowej)**

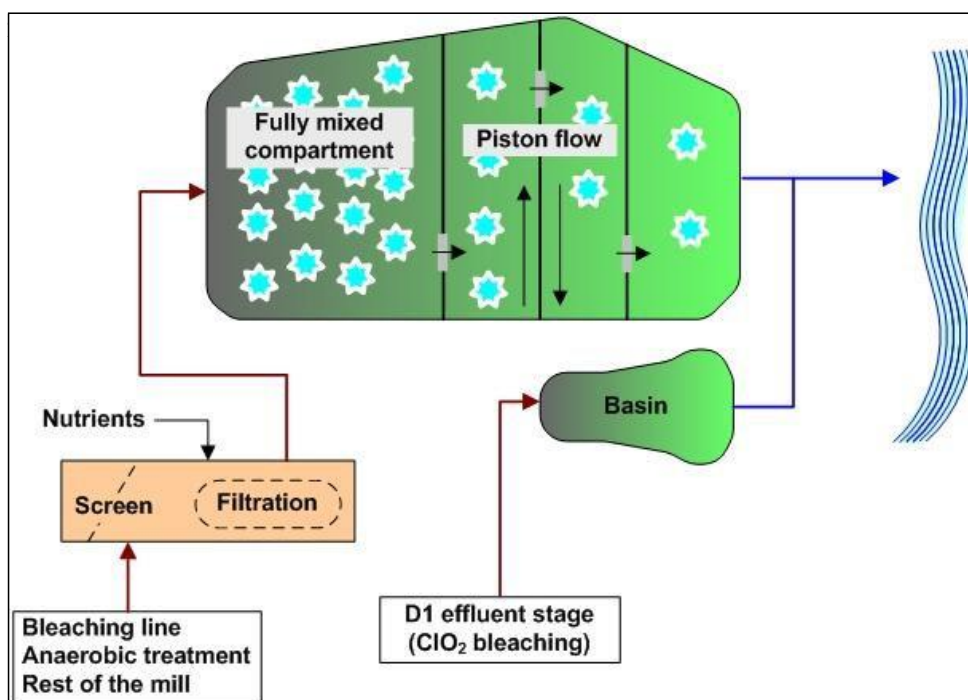
Do głównych kosztów zalicza się zużycie energii elektrycznej przez napowietrzacze powierzchniowe i pompy: 3,7 mln EUR/rok. Substancje chemiczne do neutralizacji i na składniki odżywcze = 1,4 mln EUR/rok.

**x) Środki gwarantujące stabilne i sprawne działanie**

Zastosowanie zbiornika wyrównawczego do przechowywania strumieni ścieków ze szczytowego ładunku ChZT w celu wyrównania ładunku ChZT odprowadzanego do napowietrzanego zbiornika. Koncepcja konstrukcyjna zakładu gwarantuje stosunkowo stabilne warunki pracy. Po pierwsze jest tam „w pełni zmieszana” komora (o dużej objętości i czasie retencji rzędu siedmiu dni) mająca na celu wyrównywanie ładunku BZT i ChZT. Dwie trzecie urządzeń napowietrzających skoncentrowano właśnie w tej pierwszej części, co widać na rysunku 4.48. Po tym etapie ma miejsce drugi „przepływ tłokowy”, podczas którego zachodzi liza biomasy i mineralizacja zawiesin. Konstrukcja ta gwarantuje bardzo wysoką stabilność ładunku odprowadzanego do środowiska niezależnie od tego, co dzieje się w zakładzie.

**xi) Wytwarzanie i oczyszczanie osadów**

Ze względu na długie okresy retencji w bardzo dużych ilościach w napowietrzonym zbiorniku prawie w ogóle nie powstaje nadmiar osadu. Powstający osad jest na poziomie 0,15-0,2 kg/tonę redukcji BZT<sub>5</sub> w porównaniu do około 0,6 kg nadmiaru osadu (w postaci suchych substancji stałych)/kg redukcji BZT<sub>5</sub> w instalacjach osadu czynnego. Osad jest mineralizowany podczas końcowej części, podczas której występuje niedobór rozpuszczalnego BZT (emisje BZT mierzone w ściekach pochodzą z cząstek biomasy lub zawiesiny ogółem).



Rysunek 4. 48 Schemat technologiczny oczyszczalni ścieków (napowietrzonego zbiornika) w celulozowni produkującej masę specjalną przy użyciu wodorosiarczyny amonu

Fully mixed compartment	Komora w pełni zmieszana
Piston flow	Przepływ tłokowy
Basin	Zbiornik
Nutrients	Składniki odżywcze
Screen	Sito
Filtration	Filtrowanie
Bleaching line	Linia bielenia
Anaerobic treatment	Oczyszczanie beztlenowe
Rest of the mill	Pozostała część zakładu
D1 effluent stage (ClO <sub>2</sub> bleaching)	Etap D1 ze ściekami (bielenie ClO <sub>2</sub> )

#### xii) Osiągnięta efektywność środowiskowa

W tabeli 4.25 podano uzyskane stężenie odprowadzanych ścieków, a ładunek wyrażono jako wartości roczne, miesięczne i dobowe. Wartości te uzyskano na podstawie pobieranych co 24 godziny zmieszanych próbek ChZT, BZT<sub>5</sub> i zawiesiny ogółem. Dane dotyczą zmierzonych poziomów stężenia ścieków z napowietrzanego zbiornika w miesiącach od marca do września 2009 r. Ponieważ z terenu tego spływa woda opadowa, w danych uwzględniono okresy rozruchu/przestoju zakładu lub wyjątkowych okoliczności. Dzieje się tak na przykład w marcu, co w konsekwencji ma również wpływ na dane z kwietnia (przebieg/rozruch zakładu).

Zaobserwowane różnice długoterminowe wynikają z tymczasowego nieprawidłowego funkcjonowania instalacji do odparowywania alkalicznego ścieków z pierwszego etapu bielenia (97% dostępność), co prowadzi do zwiększenia ładunku ChZT. Od czasu do czasu ze względów konserwacyjnych dochodzi do przestojów parowników. W tym przypadku ścieki z dużym ładunkiem ChZT przechowuje się w odrębnym zbiorniku i w kolejnym miesiącu stopniowo oczyszcza w napowietrzanym zbiorniku. Sezonowe wahania temperatury to kolejna przyczyna wahań w odprowadzonym ładunku, ponieważ oczyszczanie biologiczne jest bardzo podatne na zmiany temperatury. Krótkoterminowe wahania można przypisać warunkom pogodowym (zwłaszcza nagłemu zwiększeniu przepływu wody w razie dłuższych i bardziej intensywnych opadów deszczu) oraz w niektórych przypadkach niskiemu poziomowi możliwości osadzania się osadu, co prowadzi do strat biomasy odprowadzanych wraz ze ściekami. Zmiana gatunków masy celulozowej produkowanej według sekwencji również może mieć wpływ na wahania emisji.



Tabela 4. 25 Ścieki odprowadzane z celulozowni wodorosiarczynowej, w której jako zasadę stosuje się amon, w przypadku produkcji gatunków specjalnych po oczyszczaniu biologicznym (w napowietrzanym zbiorniku)

Okres uśredniania	Produkcja masy nadającej się na sprzedaż netto (t pow. s.m./dzień)	Dopływ ChZT w (mg/l) i ładunek (kg ChZT/t pow. s.m.)	Zmierzone średnie stężenie po oczyszczeniu biologicznym i obliczany odpowiadający mu indywidualny ładunek					
			ChZT (mg/l)	ChZT (kg/t pow. s.m.)	BZT <sub>5</sub> (mg/l)	BZT <sub>5</sub> (kg/t pow. s.m.)	Zawiesina ogółem (mg/l)	Zawiesina ogółem (kg/t pow. s.m.)
<b>Zakres (min. – maks. wartości)</b>								
Średnia wartość dobową (1)	280 – 490	850 – 2 600 mg/l 50 – 130 kg/t	530 – 1 000	25 – 60	10 – 110	1 – 6	23 – 170	1,5 – 10
Średnia wartość miesięczną (2)	325 – 373	1 337 – 1 972 mg/l 72,7 – 106,3 kg/t	600 - 933	32,1 – 50,1	17 – 94	1,0 - 5,4	46 – 125	4,7 – 7,7
Wartość średnioroczną (2)	350	1 535 mg/l 88,1 kg/t	713	41	57	3,3	96	5,7
<b>Objaśnienia:</b>								
(1) W celu przedstawienia bardziej reprezentatywnego zestawu danych w przypadku średniego dziennego ładunku indywidualnego (np. kg ChZT/t powietrze suchej masy) nie uwzględniono wartości dotyczących produkcji masy na poziomie poniżej 70% średniej dobowej produkcji, odpowiadających 367 t powietrze suchej masy na dzień, ponieważ w przeciwnym razie obliczone wartości mogłyby potencjalnie niesłusznie wskazywać na zmienione efekty działalności środowiskowej zakładu. W rzeczywistości wartości te są raczej wynikiem prostych działań matematycznych (niewielki mianownik). W omawianym przez nas zakładzie, gdy produkcja spada poniżej 275 t powietrze suchej masy dziennie, zmierzone wartości nie są brane pod uwagę do obliczania średnich wartości dobowych. Pod uwagę nie wzięto również bardzo niskiego poziomu (rzędu 5) i wyjątkowo wysokiego poziomu szczytowego (rzędu 6): niski poziom emisji = percentyl 2,5; wysoki poziom emisji = percentyl 97,5. Uwzględnione dane pochodzą z okresu od marca do września 2009 r.								
(2) W przypadku średnich wartości miesięcznych i rocznych w ciągu siedmiu miesięcy pod uwagę brano wszystkie dane.								
Źródło: [ 215, Aubriot 2009 ]								

W poziomach emisji podanych w tabeli 4.25 nie uwzględniono nieoczyszczonego przepływu z etapu z użyciem dwutlenku chloru (D1). Uwzględnienie ich w uzyskanym indywidualnym ładunku emisji powoduje zwiększenie emisji ChZT, BZT i zawiesiny ogółem w sposób następujący: ChZT: 60 kg/t powietrze suchej masy, BZT<sub>5</sub>: 4,5 kg/t powietrze suchej masy, zawiesina ogółem: 6,2 kg/t powietrze suchej masy.

Stężenie zawiesiny cząstek stałych w ściekach jest na stosunkowo wysokim poziomie. Wynika to z niskiej i powolnej zdolności osadzania się pyłu zawieszzonego. Niska zawartość biomasy sprawia, że sedymentacja zawiesiny ogółem staje się bardzo nieskuteczna. Normalny zbiornik do sedymentacji nie działa sprawnie. W konsekwencji wartość BZT jest wyższa niż w zakładach, które skutecznie usuwają zawiesinę ogółem. Normalnie da się osiągnąć wartość BZT poniżej 25 mg/l.

Fosfor całkowity normalnie kształtuje się na poziomie 3 mg/l, a wartości szczytowe na poziomie maksymalnie do 5 mg/l występują tylko w kilku przypadkach. Ponieważ nie ma potrzeby dodawania więcej P niż ilość dająca 0,5-1 mg P/l w ściekach, zakład stopniowo zmniejsza dawkowanie fosforu i zamierza w przyszłości osiągnąć niższe wartości. Średnia wartość dobową całkowitego azotu waha się w granicach od 15 mg/l do 70 mg/l (średnia miesięczna to 25-50 mg/l). Wyższe wartości wynikają z nadmiaru odprowadzanych z procesu związków amonu, zwłaszcza podczas nieprawidłowego funkcjonowania zakładu. Operatorzy nadal mają trudności z kontrolowaniem tych niepożądanych emisji.

Zawartość AOX (całe ścieki łącznie: ścieki z napowietrzanego zbiornika i z etapu D1) waha się w granicach od 1,5 mg/l do 8 mg/l, co stanowi 0,2-0,75 kg/t powietrze suchej masy. Różnice te wynikają z różnych gatunków wytwarzanej masy specjalnej.

### xiii) Pobieranie próbek, analiza i interpretacja danych

Punkty pomiarowe znajdują się na wlocie i wylocie każdej z oczyszczalni ścieków (tlenowej i beztlenowej, do odparowywania ścieków z etapu alkalicznego, z etapu D1). Częstotliwość pobierania próbek w przypadku instalacji beztlenowej (wlot-wylot) to raz dziennie w odniesieniu do ChZT. Do

pobierania złożonych próbek pobieranych co 24 godziny wykorzystuje się automatyczne urządzenie. Poziom BZT ustala się raz na tydzień. napowietrzony zbiornik (wejście-wyjście) kontrolowany jest codziennie w odniesieniu do ChZT, BZT<sub>5</sub>, zawiesiny ogółem i N na podstawie urządzenia do pobierania złożonych próbek co 24 godziny. Metody analizy to normy ISO w odniesieniu do BZT<sub>5</sub> i zawiesiny ogółem oraz szybkie badania w odniesieniu do ChZT i N, które również okresowo poddawane są kontrolom zgodnie z normami ISO. Wyniki szybkich badań regularnie przekazywane są właściwym władzom i wykazują bardzo dużą korelację z metodami ISO.

W tabeli 4.26 przedstawiono poziomy emisji osiągnięte w wybranych celulozowniach w Europie, w których wdrożono kombinację technik zintegrowanych z procesem (patrz podrozdziały 4.3.1-3.4.15 i dodatkowo oczyszczanie pierwotne) oraz biologiczne oczyszczanie ścieków, ale niekoniecznie wszystkie z nich i niekoniecznie w pełni.

**Tabela 4. 26 Przykłady osiągniętych poziomów emisji do wody po oczyszczaniu biologicznym oraz osiągające dobre wyniki celulozownie siarczynowe w Europie**

Przykładowa celulozownia	Zgłoszone osiągnięte poziomy emisji po oczyszczaniu biologicznym (średnie wartości roczne za 2008 rok) (1)							Rodzaj oczyszczania ścieków
	ChZT (kg/t pow. s.m.)	BZT <sub>5</sub> (kg/t pow. s.m.)	AOX (kg/t pow. s.m.)	Zawiesina ogółem (kg/t pow. s.m.)	P łącznie (kg/t pow. s.m.)	N łącznie (2) (kg/t pow. s.m.)	Przepływ (3) (m <sup>3</sup> /t pow. s.m.)	
Zakład 1, DE, zintegrowana produkcja masy papierniczej	25,4	1,2	(TCF) [bez chloru]	1,2	0,04	0,13 (NH <sub>4</sub> -N)	65	beztlenowe +osad czynny z czystym O <sub>2</sub>
Zakład 2, DE, zintegrowana produkcja masy papierniczej	23	0,5	0,002 (TCF)	0,4	0,009	0,085 (N <sub>nirorg</sub> )	26	beztlenowe +osad czynny
Zakład 3, DE, zintegrowana produkcja masy papierniczej	21	0,43	0,0006 (TCF)	3,7	0,011	0,006 (N <sub>nirorg</sub> )	34	beztlenowe +osad czynny
Zakład 1, AT, zintegrowana produkcja masy papierniczej	26	2,9	0,001 (TCF)	1,27	0,060	0,3	34	beztlenowe +osad czynny
Biocel Paskov, CZ, masa papiernicza do sprzedaży na rynek	10	0,24	0,03 (ECF) bez chloru pierwiastkowego	0,61	0,02 (PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> )	0,18 (N <sub>nirorg</sub> )	34	osad czynny
Nymölla, SE, zintegrowana produkcja przy użyciu stosujące metody magnefite	30	0,7 (BZT <sub>7</sub> )	(TCF)	1,0	0,029	0,17	70	membrana (ultrafiltracja) + osad czynny
Lenzing, AT, masa celulozowa do przerobu chemicznego	4	niewykrywalne	<0,002 (TCF)	0,22	<0,1 kg/t	<0,1 kg/t	38	odparowywanie/ spalanie + osad czynny + proszek węglowy + biofiltr

Tembec Tartas, FR, masa specjalna (4)	43 (58)	3,6 (4,1)	0,2 – 0,75 (ECF)	5,4 (6,1)	0,25	2,5 (NH <sub>4</sub> jako zasada)	75	odparowywanie/ spalanie + oczyszczanie beztlenowe + napowietrzany zbiornik, nieoczyszczone z etapu D1 (ClO <sub>2</sub> )
<p>(1) W przypadku zintegrowanych zakładów celulozowo-papierniczych dane dotyczą wyłącznie produkcji masy celulozowej.</p> <p>(2) Całkowity N w przypadku niemieckich zakładów celulozowo-papierniczych zawiera tylko nieorganiczne związki azotu, czyli nie uwzględniono tu organicznych związków N.</p> <p>(3) woda chłodząca i pozostała czysta woda odprowadzana jest oddzielnie i nie uwzględniono jej tutaj.</p> <p>(4) W wartościach w nawiasach uwzględniono nieoczyszczone ścieki z etapu D1. Wartości bez nawiasów dotyczą odptywu z napowietrzanego zbiornika.</p> <p>Źródło: [ 250. Questionnaires 2009 ]</p>								

W wykazie uwzględniono wybrane zakłady, w przypadku których dostępne były dane lub dane takie przekazały one same. Dane z zakładów przekazali eksperci ds. technicznych za pośrednictwem wypełnionych przez nich kwestionariuszy oraz dalszych wyjaśnień w ramach osobistej korespondencji z operatorami. Metoda analizy odpowiada tej stosowanej w danym kraju.

### Oddziaływanie na procesy i środowisko

Na biologiczne oczyszczanie tlenowe zużywa się energię (np. na potrzeby napowietrzaczy i pomp), a z procesu tego powstaje osad, który normalnie przed wykorzystaniem lub utylizacją wymaga oczyszczenia.

### Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki

Oczyszczanie biologiczne można stosować zarówno w nowych, jak i istniejących zakładach.

### Aspekty ekonomiczne

Zobacz dane dotyczące kosztów w czterech przykładowych zakładach powyżej.

### Instalacje referencyjne

W większości celulozowni siarczynowych w Europie stosuje się oczyszczanie tlenowe ścieków. W wielu zakładach kondensat z parownika poddaje się wstępnemu oczyszczaniu w reaktorach beztlenowych (patrz rozdział 4.3.15), a następnie oczyszczaniu tlenowemu opisanej powyżej.

### Bibliografia

Korespondencja osobista z operatorami wielu zakładów siarczynowych.

#### 4.3.17 Oczyszczania ścieków trzeciego stopnia – wytrącanie chemiczne

Patrz podrozdział 2.9.11.3.1.

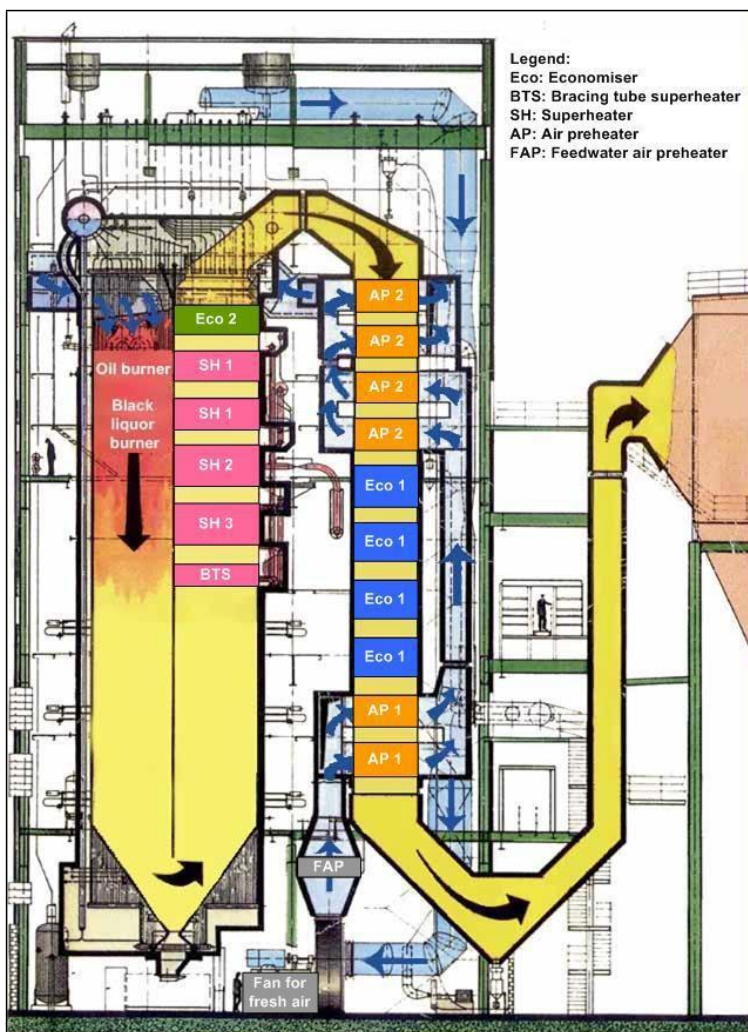
#### 4.3.18 Optymalizacja pracy kotła odzysknicowego poprzez regulowanie warunków spalania

##### Opis

Spalanie zagęszczonego ługu powarzelnego odbywa się w atmosferze utleniającej przy użyciu niewielkiej dodatkowej ilości tlenu (2-7%). Substancje organiczne o nieprzyjemnym zapachu, wydzielane z ługu powarzelnego i słabe gazy z poziomu gruntu w wielu zakładach poddaje się spalaniu w kotle odzysknicowym. Na potrzeby rekompensacji ładunku lub operacji rozruchu dodaje się olej opałowy lub gaz ziemny. Podczas spalania substancje chemiczne do warzenia prawie całkowicie (95-97%) dzielą się na etap stały (popiół MgO) i etap gazowy (SO<sub>2</sub> w gazach odlotowych). Całość MgO to popioły lotne, które wyodrębnia się za pomocą filtrów elektrostatycznych lub multicyklonów, następnie rozpuszcza w wodzie, a potem wykorzystuje do wypłukiwania SO<sub>2</sub> z gazów spalinowych. Odzyskane środki chemiczne do warzenia, tj. MgO i SO<sub>2</sub>, trafiają z powrotem do instalacji do warzenia.

W celu kontrolowania emisji NO<sub>x</sub> stężony ług powarzelny wtryskuje się do kotła poprzez dysze natryskowe i spala podczas dwuetapowego spalania. Niemniej jednak od początku spalanie odbywa się przy nadmiarze tlenu, tak by zagwarantować całkowite spalanie substancji chemicznych i uzyskać stosunkowo wysoką temperaturę. Podczas spalania należy zadbać o to, by czyste MgO powstawało bez cząstek niespalonej sadzy (MgSO<sub>4</sub> + lignosulfoniany + O<sub>2</sub> → MgO + SO<sub>2</sub> + CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O). Reakcja ta wymaga temperatury na poziomie około 1250 °C lub wyższej. Dlatego też podczas procesu odzysku wodorosiarczynu magnezu trzeba kontrolować warunki utleniania (resztkową zawartość tlenu po spalaniu = < 1,5%), tak by zminimalizować powstawanie MgSO<sub>4</sub> i SO<sub>3</sub>, oraz temperaturę w zakresie między 1250 °C a 1300 °C, tak by powstawał czysty popiół o maksymalnym poziomie reaktywności w kontakcie z wodą.

Kocioł odzysknicowy z celulozowni siarczynowych jest podobny do kotłów na paliwa ciekłe o wysokiej zawartości popiołu. Energię cieplną ze spalin wykorzystuje się w konwencjonalnych kotła dwuciągowych. Na rysunku 4.49 przedstawiono przykładowy przepływu gorących spalin przechodzących przez przegrzewacze, ekonomizery i podgrzewacze powietrza, zanim trafią one do filtra elektrostatycznego, a następnie do wielostopniowych płuczek. W celulozowniach siarczynowych stosuje się również inne rodzaje kotłów.



Rysunek 4. 49 Schemat kotła odzysknicowego w celulozowni siarczynowej (M-real Hallein, 1985)

Legend:	Legenda:
Eco: Economiser	Eco: Ekonomizer
BTS: Bracing tube superheater	BTS: Przegrzewacz z rurami usztywniającymi
SH: Superheater	SH: Przegrzewacz
AP: Air preheater	AP: Podgrzewacz powietrza
FAP: Feedwater air preheater	FAP: Podgrzewacz wody zasilającej
Oil burner	Palnik olejowy
Black liquor burner	Palnik na ług powarzelny
Fan for fresh air	Wentylator doprowadzający świeże powietrze

W zależności od typu zainstalowanego kotła przez modyfikację warunków spalania (metody podstawowe) można kontrolować emisje tlenków azotu. W niektórych przypadkach w zależności od rodzaju i konstrukcji kotła można do kotła wprowadzać powietrze chłodzące, tak by schładzać płomień i utrzymywać jego temperaturę w określonym docelowym przedziale (około 1200 °C). Aby osiągnąć tryb pracy charakteryzujący się zoptymalizowanymi emisjami NO<sub>x</sub>, ilość doprowadzanego tlenu należy utrzymywać na możliwie jak najniższym poziomie. Jednak od pewnego momentu pomiary wskazują na wyższe stężenie CO. Jeżeli rośnie ilość tlenu węgla, do komory spalania można wprowadzić więcej tlenu.

Konstrukcja kotła odzysknicowego, np. wtryskiwanie stężonego ługu powarzelnego i optymalizacja mieszania pomiędzy kropelkami ługu powarzelnego a powietrza do spalania, umożliwia obniżenie do pewnego stopnia stężenia CO i NO<sub>x</sub>. Warunki ładunku nie mają znaczącego wpływu na poziom emisji NO<sub>x</sub>.

## Główne korzyści środowiskowe

Technika ta służy do ograniczania emisji NO<sub>x</sub> i ma na celu jednoczesne kontrolowanie emisji CO.

### Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

Bez środków wtórnych da się osiągnąć średnie wartości dobowe emisji NO<sub>x</sub> w granicach od 200 mg/Nm<sup>3</sup> do 300 mg/Nm<sup>3</sup> (zawartość O<sub>2</sub> na poziomie 5%). Możliwości kontrolowania warunków spalania są ograniczone, ponieważ w komorze spalania trzeba zapewnić temperaturę wynoszącą co najmniej 1150-1200 °C. Tak wysoka temperatura powoduje podwyższone stężenie NO<sub>x</sub> przy wylocie z komory spalania. Normalnie da się osiągnąć średnią dobową wartość stężenia CO w granicach 5-20 mg/Nm<sup>3</sup> przy zawartości O<sub>2</sub> na poziomie 5%. Zarówno w odniesieniu do CO, jak i NO<sub>x</sub> występują stosunkowo niewielkie różnice i praktycznie nie dochodzi też do wartości szczytowych.

Wartości emisji podane w tabeli 4.27 dotyczą wszystkich warunków operacyjnych, w tym rozruchu i dodatkowego opalania olejem opałowym lub gazem ziemnym. Podczas rozruchu, przestojów, niestabilnych warunków lub zmiany paliw (np. eksploatacji gazu ziemnego) emisje z kotła odzysknicowego osiągają wartości w górnych przedziałach podanych w tabeli 4.27. Wartości CO i NO<sub>x</sub> mierzy się w sposób ciągły.

Tabela 4. 27 Zmierzone wartości CO i NO<sub>x</sub> z kotłów odzysknicowych w celulozowniach siarczynowych

Celulozownie siarczynowe	Rodzaj wartości	CO (mg/Nm <sup>3</sup> )	NO <sub>x</sub> (jako NO <sub>2</sub> ) (mg/Nm <sup>3</sup> )	NO <sub>x</sub> (jako NO <sub>2</sub> ) (kg/t pow.)	Uwagi
Zakład 1, DE, papiernia [ 254, Kunz 2009 ]	Wartość graniczna	175	450	--	Dane z całego 2008 roku; 23% buk, 77% świerk.
	Średnia roczna	16 (14)	243 (216)	1,16	Referencyjna zawartość tlenu 3%; wartości w nawiasach dotyczą zawartości O <sub>2</sub> na poziomie 5%.
	Minimalna średnia dobowa	5 (4.5)	127 (113)		
	Maksymalna średnia dobowa	41 (36)	296 (263)		
Zakład 2, AT, masa celulozowa do przerobu chemicznego [ 255, Peter 2009 ]	Wartość graniczna	--	325	--	Dane dotyczące wartości minimalnych i maksymalnych z dwóch typowych miesięcy;
	Średnia roczna	7	266	2,5 (**)	średnia roczna dotyczy całego roku 2008; 100% buk;
	Minimalna średnia dobowa	2	240		uruchomienie kotła odzysknicowego: 2007.
	Maksymalna średnia dobowa	15	301		Referencyjna zawartość tlenu wynosi 5%.
Zakład 3, AT, papiernia [ 256, Kogler 2009 ]	Wartość graniczna	--	350(*)	--	Dane dotyczące wartości minimalnych i maksymalnych obejmują dane z trzech
	Średnia roczna	140	175	1,17	typowych dni; średnia roczna dotyczy całego roku 2008;
	Minimalna średnia dobowa	174	189		100% świerk; kocioł odzysknicowy wybudowano w 1985 r. Referencyjna zawartość tlenu wynosi 5%.
	Maksymalna średnia dobowa	189	190		Zakład działa przy niskim stężeniu O <sub>2</sub> (1,5%).
Uwaga: Wszystkie wartości związane ze stężeniem dotyczą suchych spalin w normalnych warunkach eksploatacji (0 °C, 1013 mbar). Wartości graniczne dotyczą średnich wartości dobowych. Dane pochodzą z wizyt w zakładzie w 2009 r. i z osobistej korespondencji z operatorami zakładów. (*) W tym przypadku wartość graniczna dotyczy półgodzinnych wartości średnich. (**) Zakłady produkujące masę celulozową do przerobu chemicznego charakteryzują się niższą wydajnością w przypadku produkcji celulozy dla przemysłu włókienniczego, gdyż muszą spalać więcej suchej substancji na tonę masy celulozowej. W związku z tym przepływ gazu wynosi w przybliżeniu co najmniej 8000 m <sup>3</sup> /t powietrze suchej masy, co wiąże się z większymi emisjami indywidualnego ładunku NO <sub>x</sub> na poziomie około 2,5 kg/t powietrze suchej masy (jako NO <sub>2</sub> ).					

Z danych dotyczących emisji z zakładu 3 w tabeli 4.27 wynika, że dzięki uruchomionemu kotłowi odzysknicowemu z niskim poziomem tlenu (około 1,5%) oraz wyższym emisjom CO (około 140 mg/Nm<sup>3</sup> przy zawartości O<sub>2</sub> na poziomie 5%) można obniżyć emisje NO<sub>x</sub> do nieco poniżej 200 mg/Nm<sub>3</sub> przy zawartości O<sub>2</sub> na poziomie 5% bez konieczności stosowania środków wtórnych.

**Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Technika ta nie wiąże się z żadnymi efektami ubocznymi dla środowiska lub negatywnym oddziaływaniem na inne komponenty środowiska.

**Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Środki te można stosować zarówno w nowych, jak i w istniejących zakładach.

**Aspekty ekonomiczne**

Brak danych

**Motywacja do wdrożenia techniki**

Motywację do wdrażania tej techniki stanowią przepisy w zakresie ochrony środowiska oraz dążenie operatorów do wydajnej eksploatacji kotłów odzysknicowych (całkowite spalanie, regulacja temperatury spalania, niskie emisje).

**Instalacje referencyjne**

Wiele celulozowni działających w Europie wdrożyło i korzysta z opisanych powyżej kotłów odzysknicowych. Nowe siarczynowe kotły odzysknicowe wybudowano ostatnio w Lenzing AG, AT (2007) i w Sappi Saiccor, w Republice Południowej Afryki (2008). W obu zakładach produkuje się celulozę chemiczną (masę celulozową do przerobu chemicznego).

**Bibliografia**

[ 267, Lenzing 2009 ]

**4.3.19 Stopniowe wstrzykiwanie ługu powarzelnego****Opis**

Wstrzykiwanie ługu powarzelnego do kotła podczas różnych etapów ustawionych pionowo zapobiega powstawaniu NO<sub>x</sub>, i zapewnia całkowite spalanie.

**Główne korzyści środowiskowe**

Redukcja emisji NO<sub>x</sub> z kotłów odzysknicowych

**Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Brak danych

**Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Zastosowanie w nowych dużych kotłach odzysknicowych i w przypadku większych modernizacji

**Aspekty ekonomiczne**

Brak danych

**Motywacja do wdrożenia techniki**

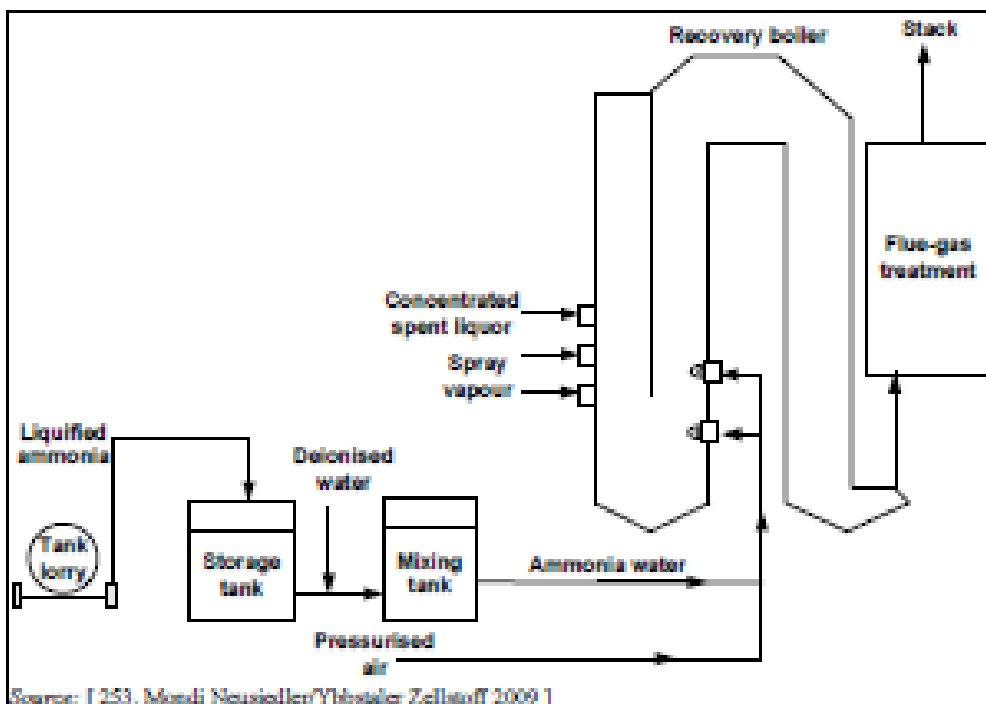
Poprawa dystrybucji ciepła w całym kotle odzysknicowym

**4.3.20 Selektywna redukcja niekatalityczna (wtrysk amoniaku lub mocznika) w kotle odzysknicowym****Opis**

W przypadku emisji z kotłów odzysknicowych w dobrych warunkach mieszania i przy dobrej temperaturze w zakresie 800-1000 °C można dzięki wtryskowi NH<sub>3</sub> osiągnąć redukcję emisji NO<sub>x</sub>. Do redukcji NO<sub>x</sub>, nie potrzeba katalizatora. Dlatego też proces ten określa się jako „selektywną redukcję niekatalityczną” (SNCR). Mimo iż technicznie powinno to być możliwe, w kotłach odzysknicowych w celulozowniach siarczynowych w europejskim przemyśle

papierniczym nie stosuje się „selektywnej redukcji katalitycznej” (SCR).

Instalacja do selektywnej redukcji niekatalitycznej w przypadku kotła odzysknicowego przeznaczonego na masę siarczynową składa się ze stacji magazynowania i dozowania na środki redukujące ( $\text{NH}_3$  lub mocznik), z rur zasilających, urządzenia do wtryskiwania substratów reakcji do odpowiedniej strefy kotła odzysknicowego oraz strefy reakcji, w której zachodzi redukcja  $\text{NO}_x$ . Jeśli modernizacja istniejącego kotła odzysknicowego odbywa się z wykorzystaniem techniki SNCR, komorę spalania trzeba odpowiednio dostosować: na wlotach roztworu wodnego amoniaku i na lancach trzeba wywiercić małe otwory i zamontować rury. Wtryskiwany amoniak reaguje z  $\text{NO}$  do postaci  $\text{N}_2$  i wody. Niewielki odsetek może opuścić strefę reakcji jako niepożądane emisje amoniaku („wyciek amoniaku”). Wstrzyknięcie  $\text{NH}_3$  należy przeprowadzać na odpowiednim etapie, dokładnie mieszając się w optymalnym przedziale temperatury (w omawianym poniżej zakładzie przy temperaturze w granicach 910-920 °C) (patrz rysunek 4.50).



Rysunek 4. 50 Schemat wtrysku amoniaku do kotła odzysknicowego

Recovery boiler	Kocioł odzysknicowy
Stack	Komin
Flue-gas treatment	Oczyszczanie spalin
Concentrated spent liquor	Stężony żug powarzelny
Spray vapour	Spryskiwanie para
Liquified ammonia	Ciekły amoniak
Tank lorry	Cysterna
Storage tank	Zbiornik do magazynowania
Deionised water	Woda dejonizowana
Mixing tank	Zbiornik do mieszania
Ammonia water	Roztwór wodny amoniaku
Pressurised air	Sprężone powietrze
Source: [ 253, Mondi Neusiedler/Ybbstaler Zellstoff 2009 ]	Źródło: [ 253, Mondi Neusiedler/Ybbstaler Zellstoff 2009 ]

### Główne korzyści środowiskowe

Technika SNCR pozwala na zmniejszenie emisji tlenków azotu poprzez dodawanie czynnika redukującego (roztworu wodnego amoniaku lub mocznika). Dalsze szczegółowe informacje można znaleźć poniżej w dalszej części pod nagłówkiem „Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne” (AT, SE).



### Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

Na podstawie przykładów poniżej przedstawiono szczegółowe informacje z praktycznego doświadczenia w zakresie stosowania tej techniki. Eksploatacja i wydajność techniki SNCR w kotłach odzysknicowych w zakładach siarczynowych różni się w pewnym stopniu w zależności od zakładu, w którym technikę taką wdrożono. Występują też różnice pod względem stosowanych czynników redukujących, dawkowania i docelowych wartości do osiągnięcia. Jednak we wszystkich znanych przypadkach technika SNCR spełnia oczekiwania co do wyników i działa bez problemów technicznych. Uznaje się ją za proces stabilny.

#### Przykład: Mondi Neusiedler GmbH i Ybbstaler Zellstoff GmbH

##### i) Informacje podstawowe

W zakładzie stosuje się roztwarzanie wodorosiarczynowe. W 2008 r. produkcja masy celulozowej netto wyniosła 50 000 t powietrznie suchej masy. Stosuje się tu tylko zrębki, a udział procentowy stosowanych gatunków drewna wygląda następująco: 98% świerk i 2% jodła. Jako zasadę stosuje się tlenek magnezu, rok budowy wprowadzenia techniki SNCR to 1993/94, natomiast przepływ gazu wynosi około 6600 Nm<sup>3</sup>/t powietrznie suchej masy (w suchych, normalnych warunkach pracy), co odpowiada około 880 000 Nm<sup>3</sup>/dzień. W celu podtrzymania spalania do płomienia dodaje się niewielkie ilości surowego gazu (1500 Nm<sup>3</sup>/d), a moc cieplna wynosi 21,5 MW<sub>th</sub>. Oprócz stężonego ługu powarzelnego w kotle odzysknicowym spala się również osady biologiczne z oczyszczalni ścieków (60-70 ton osadu biologicznego na dzień o zawartości suchej masy na poziomie 4-6%, a za pomocą pras i osadników odśrodkowych osady odwadnia się do zawartości s.m. rzędu 20%). Udział biomasy w całkowitej masie spalanej w kotle odzysknicowym wynosi około 4-6%. W kotle odzysknicowym na godzinę spala się około 9,5 m<sup>3</sup> stężonego ługu (w tym osady biologiczne).

##### ii) Doświadczenia eksploatacyjne

Do kotła odzysknicowego wprowadzono pewne zmiany mające umożliwić wstrzykiwanie rozcieńczonego amoniaku: na wlotach roztworu wodnego amoniaku trzeba było wywiercić małe otwory i zamontować rury (patrz rysunek 4.50 powyżej). Za pomocą urządzenia do przesyłu gazu amoniak odprowadzany jest do dwuosobowego zbiornika. W zakładzie już wcześniej odbywał się przesył amoniaku, ponieważ amoniak służy także do kondycjonowania wody zasilającej kocioł. Ze zbiornika do przechowywania ciekłego amoniaku (25%) z demineralizowaną wodą miesza się środek redukujący i w ten sposób powstaje 10-11% roztwór wodny amoniaku. Przy 910-920 °C mieszaninę wstrzykuje się do komory spalania. Dozowanie roztworu wodnego NH<sub>3</sub> zależy od stale mierzonej wartości docelowej NO<sub>x</sub>, która z kolei zależy od wymagań określonych przez właściwe organy. Obecna dawka przy średnim przepływie gazów odlotowych na poziomie 35 000-37 000 Nm<sup>3</sup>/h (około 1,5 ml NH<sub>3</sub>/Nm<sup>3</sup>) wynosi około 50 l/h. W ciągu ponad 10 lat działania nie zaobserwowano żadnego negatywnego wpływu na cykl odzysku substancji chemicznych.

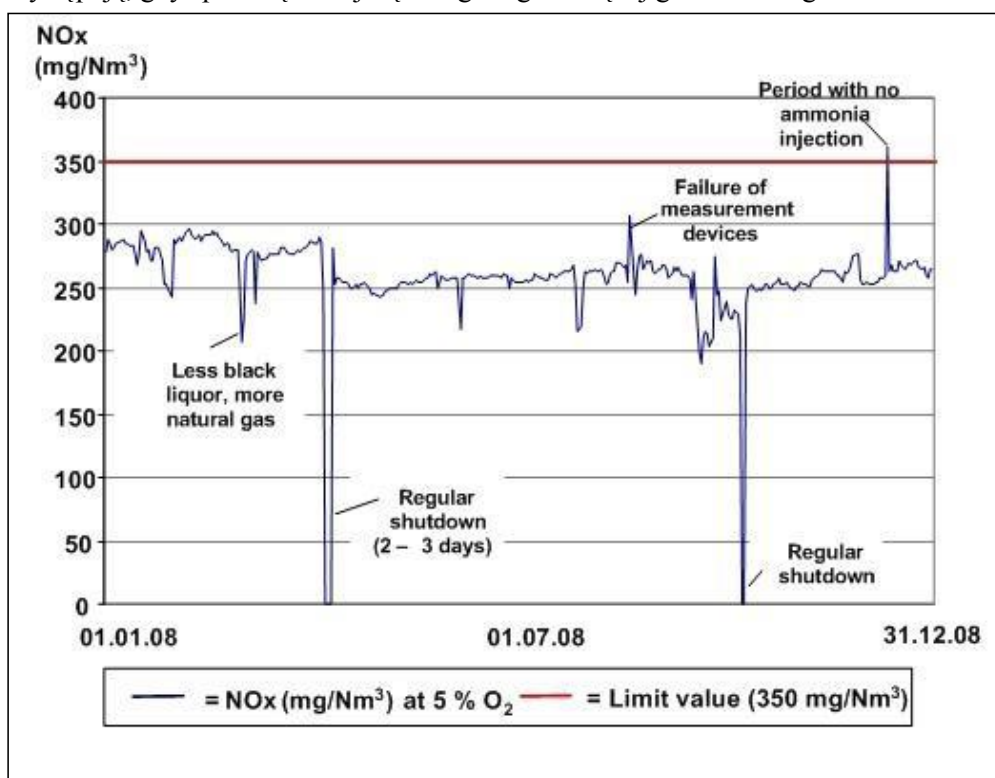
##### iii) Osiągnięta efektywność:

Stężenie NO<sub>x</sub> w gazach odlotowych z kotła odzysknicowego w omawianym zakładzie jest wyższe niż w innych zakładach, ponieważ w kotle odzysknicowym spala się również osady biologiczne z oczyszczalni ścieków. W 1994 r. po uruchomieniu TÜV Bayern, Austria przeprowadził testy efektywności nowej instalacji. Do 1994 roku, tj. przed rozpoczęciem dodawania do kotła odzysknicowego osadów biologicznych, stężenie NO<sub>x</sub> w gazach odlotowych z kotła regeneracyjnego ustalono na poziomie około 220 mg/Nm<sup>3</sup> (5% O<sub>2</sub>). Gdy rozpoczęto spalanie stężonego ługu powarzelnego wraz z 4,5% osadów biologicznych, emisje NO<sub>x</sub> kształtowały się na poziomie około 340-350 mg NO<sub>x</sub> (jako NO<sub>2</sub>)/Nm<sup>3</sup> (zawartość tlenu na poziomie 5%, normalne warunki pracy, suchy gaz). Przez wstrzykiwanie około 80 l roztworu wodnego amoniaku na godzinę średnie stężenie można obniżyć do około 185 mg NO<sub>x</sub>/Nm<sup>3</sup>. W tym czasie stężenie CO wynosiło około 30 mg/Nm<sup>3</sup> (5% O<sub>2</sub>). Przy tej dawce nie udało się ustalić wycieku amoniaku (<1 mg NH<sub>3</sub>/Nm<sup>3</sup>), [ 251, TÜV-Bayern 2009 ].

Aby funkcjonować na poziomie dużo poniżej aktualnej wartości granicznej oraz obniżyć koszty substancji chemicznych, dziś wartość docelowa NO<sub>x</sub> wynosi 250 mg/Nm<sup>3</sup> (5% O<sub>2</sub>). Aby osiągnąć ten poziom, do kotła odzysknicowego wtryskuje się około 50 litrów NH<sub>3</sub> na godzinę, co

odpowiada około 8-9 l  $\text{NH}_3/\text{t}$  powietrznie suchej masy). Z wyników badań i doświadczenia praktycznego wynika, że można osiągnąć nawet niższe wartości [ 251, TÜV-Bayern 2009 ]: 185  $\text{mg NO}_x/\text{Nm}^3$  przy zawartości  $\text{O}_2$  rzędu 5% przy dawce amoniaku na poziomie około 80 l/h, nie stwierdzając przy tym żadnego znacznego wycieku amoniaku.

Normalnie różnice w poziomie  $\text{NO}_x$  są bardzo małe i występują tylko niewielkie wahania na poziomie około 270  $\text{mg}/\text{Nm}^3$ , np. podczas zdmuchiwanie sadzy z powierzchni przegrzewacza (patrz rysunek 4.51). Na rysunku: 4.51 szczytowy poziom z sierpnia wynikał z awarii urządzenia pomiarowego. W ciągu jednego dnia w grudniu przerwano dozowanie amoniaku, aby móc sprawdzić poziom emisji bez SNCR (około 370  $\text{mg}/\text{Nm}^3$ ). W kwietniu i październiku widać trzy dni regularnego przestoju na potrzeby konserwacji kotła odzysknicowego. Niższe szczyty występują, gdy spala się mniej stężonego ługu a więcej gazu ziemnego.



Rysunek 4. 51 Dobowa średnia emisja  $\text{NO}_x$  z kotła odzysknicowego określona przez automatyczny system monitorowania emisji w roku 2008

Period with no ammonia injection	Okres bez wstrzykiwania amoniaku
Failure of measurement devices	Awaria urządzeń pomiarowych
Less black liquor, more natural gas	Mniejsza ilość ługu powarzelnego, więcej gazu ziemnego
Regular shutdown (2-3 days)	Regularny przestój (2-3 dni)
Regular shutdown	Regularny przestój
Limit value	Wartość graniczna
Source: [ 253, Mondi Neusiedler/Ybbstaler Zellstoff 2009 ]	Źródło: [ 253, Mondi Neusiedler/Ybbstaler Zellstoff 2009 ]

Poziom  $\text{NO}_x$  i  $\text{CO}$  mierzy się w sposób ciągły za pomocą automatycznych analizatorów  $\text{NO}_x$  (chemoluminescencyjnych) i  $\text{CO}$  (absorpcja podczerwieni). Pomiar wycieku amoniaku odbywa się okresowo raz na trzy lata, a przeprowadza go audytor zewnętrzny (np. w marcu 2009 r. wyniki pomiaru to 0,3  $\text{mg NH}_3/\text{Nm}^3$ , natomiast w 2006 r. zgodnie z ÖNORM M 6242 stwierdzono 0,4  $\text{mg NH}_3/\text{Nm}^3$ ).

Emisje  $\text{NO}_x$  wyrażone jako średnia roczna to obecnie 262  $\text{mg NO}_2/\text{Nm}^3$  (przy 5%  $\text{O}_2$ ), co w przypadku wtryskiwania amoniaku daje 1,68  $\text{kg NO}_x/\text{t}$  powietrznie suchej masy. W razie braku wtrysku amoniaku emisje  $\text{NO}_x$  kształtują się na poziomie o około 20-30% wyższym.

W tabeli 4.28 podsumowano zmierzone poziomy emisji osiągnięte dzięki zastosowaniu wtrysku amoniaku (metodą selektywnej redukcji niekatalitycznej), zgłoszone w deklaracji dotyczącej emisji za

rok 2008. Jeśli chodzi o wyciek amoniaku, to właściwy organ ustalił wartość graniczną na poziomie  $10 \text{ mg NH}_3/\text{Nm}^3$ , a zmierzone wartości zawsze były poniżej  $1 \text{ mg NH}_3/\text{Nm}^3$  (pomiar według wytycznej VDI nr 3496).

**Tabela 4. 28 Pomiar emisji NO<sub>x</sub> i CO z kotła odzysknicowego w austriackiej celulozowni siarczynowej (21,5 MW<sub>th</sub>)**

	NO <sub>x</sub> (jako NO <sub>2</sub> ) bez SNCR	NO <sub>x</sub> (jako NO <sub>2</sub> ) z SNCR	CO	Produkcja masy celulozowej	Przepływ gazu <sup>(3)</sup>	NO <sub>x</sub> (jako NO <sub>2</sub> )	CO
Jednostka	mg/Nm <sup>3</sup>	mg/Nm <sup>3</sup>	mg/Nm <sup>3</sup>	t pow. s.m./ miesiąc	Nm <sup>3</sup> /t pow. s.m.	kg/t pow. s.m. <sup>(2)</sup>	g/t pow. s.m.
<b>Wartość</b>		<b>350</b>	<b>50</b>				
styczeń	330 – 350	278	8	3 928	6 542	1,82	0,05
luty		287	17	3 824	6 909	1,98	0,12
marzec		273	16	4 085	6 448	1,76	0,10
kwiecień		258	19	3 508	6 517	1,68	0,12
maj		254	21	4 339	6 711	1,70	0,14
czerwiec		257	16	4 282	6 281	1,61	0,10
lipiec		256	25	4 480	6 297	1,61	0,16
sierpień		265	24	4 454	6 284	1,67	0,15
wrzesień		244	34	4 068	6 368	1,55	0,22
październik		247	26	3 654	6 344	1,57	0,16
listopad		260	25	4 299	6 087	1,58	0,15
grudzień		263	33	4 229	6 430	1,69	0,21
<b>Wartość średnioroczna</b>	--	<b>262</b>	<b>22</b>	<b>4 096</b>	<b>6 434</b>	<b>1,69</b>	<b>0,14</b>
<b>Średnia wartość miesięczna</b>	--	<b>244-287</b>	<b>8-33</b>	--	--	<b>1,55-1,98</b>	<b>0,05-0,22</b>
<b>Średnia wartość dobowa (przedział) <sup>(3)</sup></b>	--	<b>200-290</b>	<b>5-45</b>	--	--	--	--
Uwaga:							
(1) Dopuszczalne wartości graniczne emisji i wartości pomiarowe uwzględniające przepływ gazu dotyczą średniej dobowej w normalnych warunkach (0 °C, 1013 mbar, po odjęciu zawartości pary wodnej (suchy gaz)). Referencyjny poziom O <sub>2</sub> : 5%. Zgodnie z austriacką ustawą o ochronie powietrza atmosferycznego 95% wszystkich średnich dobowych nie może przekraczać ustalonej koncentracji masy.							
(2) Ładunek indywidualny (kg/t powietrze suchej masy) oblicza się, mnożąc średnią wartość miesięczną stężenia (mg/Nm <sup>3</sup> ) przez średnią objętość gazów odlotowych (Nm <sup>3</sup> /h) i liczbę godzin pracy (h) miesięcznie. Sumuje się całkowity ładunek roczny obejmujący pełne 12 miesięcy (kg NO <sub>x</sub> ), a następnie dzieli przez roczną produkcję masy celulozowej (t powietrze suchej masy). W 2008 r. kocioł odzysknicowy działał przez 8603 godzin.							
(3) Nie uwzględniono tu przestoju kotła oraz awarii urządzenia pomiarowego i dozowania amoniaku.							

Selektywna redukcja niekatalityczna stosowana jest również w dwóch kotłach odzysknicowych w celulozowni siarczynowej Stora Enso Nymölla ze Szwecji. W zakładzie działa kocioł odzysknicowy o dużej pojemności. Na potrzeby redukcji NO<sub>x</sub> do kotłów odzysknicowego wtryskuje się 35% roztwór mocznika wraz z dodatkami (aminami organicznymi). Te substancje chemiczne są łatwiejsze i bezpieczniejsze w obsłudze, ale również droższe niż amoniak. Do kotła dodaje się około 7-8 kg roztworu mocznika/t powietrze suchej masy, dzięki czemu stężenie NO<sub>x</sub> w gazach spalinowych obniża się o około 20-30%. Doświadczenie pokazuje, że dodanie większej ilości mocznika nie prowadzi do niższych wartości. Wartości NO<sub>x</sub> i CO mierzy się w sposób ciągły i przekazuje do systemu informatycznego stosowanego w zakładzie. Średnia roczna wartość NO<sub>x</sub> w spalinach z niewielkiego kotła odzysknicowego wynosi 150 ppm (lub 308 mg/Nm<sup>3</sup>). Wartość NO<sub>x</sub> z większego kotła kształtuje się na poziomie 115 ppm (lub 236 mg/Nm<sup>3</sup>) przy nieznannej zawartości O<sub>2</sub>.

W przypadku niestosowania roztworu mocznika stężenie w przybliżeniu wyniesie odpowiednio 370-400 mg NO<sub>x</sub>/Nm<sup>3</sup> i 287-308 mg NO<sub>x</sub>/Nm<sup>3</sup>. Oznacza to, że jeśli przerwie się dawkowanie środka redukującego, to emisje NO<sub>x</sub> wzrosną o 20-30%. Pomiaru potencjalnego wycieku amoniaku okresowo dokonuje audytor zewnętrzny. Wartość ta zawsze była poniżej granicy wykrywalności.

### Oddziaływanie na procesy i środowisko

W wyniku zastosowania selektywnej redukcji niekatalitycznej nie powstają żadne odpady stałe ani ciekłe. Do redukcji emisji NO<sub>x</sub> potrzeba chemicznego środka redukującego. W przypadku zakładu Mondi Neusiedler w 2008 r. miesięcznie do kotła odzysknicowego wstrzykiwano średnio 3000 kg amoniaku (25%), co daje razem 34 tony NH<sub>3</sub>/rok (25%) i w konsekwencji obniża poziom NO<sub>x</sub> z około 320 mg/Nm<sup>3</sup> do 250-260 mg/Nm<sup>3</sup> (przy 5% O<sub>2</sub>). Odpowiada to redukcji na poziomie około 60 mg NO<sub>x</sub>/Nm<sup>3</sup>.

Przy dobowej wartości przepływu gazów spalinowych na poziomie 880 000 Nm<sup>3</sup>/dzień redukcja wynosi około 53 kg NO<sub>x</sub>/dzień lub około 19 ton NO<sub>x</sub>/rok. Oznacza to, że zastosowanie ma tu stosunek wprowadzanego amoniaku do ilości redukcji NO<sub>x</sub> na poziomie około 1,8, czyli do redukcji 1 kg NO<sub>x</sub> w gazach spalinowych potrzeba 1,8 kg NH<sub>3</sub> (amoniak, z którego 25% rozcieńcza się do poziomu około 10-11%).

Efektywność metody SNCR ogranicza niepożądany „wyciek amoniaku” w gazach odlotowych, który zwykle ograniczony jest przepisami w zakresie ochrony powietrza i kosztami amoniaku, który trzeba wstrzykiwać do kotła odzysknicowego. W celu utrzymania wycieku amoniaku na możliwie jak najniższym poziomie należy unikać wysokiego stosunku NH<sub>3</sub> do NO<sub>x</sub>. W przypadku zakładu Mondi Neusiedler (redukcja amoniaku do wartości docelowej na poziomie 250 mg NO<sub>x</sub>/Nm<sup>3</sup>) organ właściwy ustalił wartość graniczną wycieku Nm<sup>3</sup> na poziomie 10 mg/Nm<sup>3</sup>. Podczas pomiarów okresowych nie odnotowano żadnych znacznych emisji NH<sub>3</sub>, tj. poziomy emisji normalnie są poniżej 1 mg NH<sub>3</sub>/Nm<sup>3</sup> (na przykład w marcu 2009 r. odnotowano 0,3 mg NH<sub>3</sub>/Nm<sup>3</sup>). Żadnego znaczącego wycieku amoniaku nie odnotowano również w okresach testowych ani podczas specjalnych warunków pracy, podczas których przez ograniczony okres czasu dzięki wstrzyknięciu amoniaku poziomy emisji NO<sub>x</sub> obniżono z około 330-350 mg/Nm<sup>3</sup> do 180-170 mg/Nm<sup>3</sup>, co odpowiada poziomowi redukcji emisji NO<sub>x</sub> o 50%.

### Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki

Z powodu problemów związanych z odkładaniem się kamienia, a w związku z tym ze zwiększonym zapotrzebowaniem na czyszczenie i konserwację możliwości modernizacji istniejących kotłów odzysknicowych mogą być ograniczone. W przypadku zakładów, w których jako zasadę stosuje się amon, nie donoszono o żadnym takim zastosowaniu, ale ze względu na specyficzne warunki w gazach odlotowych selektywna redukcja niekatalityczna nie powinna mieć tu żadnego wpływu. Ze względu na ryzyko wybuchu nie ma to zastosowania do zakładów, w których jako zasadę stosuje się sól.

### Aspekty ekonomiczne

W 1994 r. nakłady inwestycyjne na sprzęt do selektywnej redukcji niekatalitycznej wyniosły 250 000 EUR. W 2009 r. koszty inwestycyjne oszacowano na 400 000 EUR. Ponieważ w 1993 r. proces uznano za innowacyjny, przykładowy zakład w AT na realizację projektu otrzymał dotacje ekologiczne na poziomie około 30%. Koszty eksploatacyjne wynoszą około 2000-3000 EUR kosztów utrzymania rocznie i około 5500 EUR rocznie w przypadku amoniaku (w 2008 r. 1 tona NH<sub>3</sub> przy 25% kosztowała w przybliżeniu 157 EUR). Jeśli chodzi o wytwarzaną tonę masy celulozowej, to koszty eksploatacyjne kształtują się na poziomie około 0,15 EUR/t powietrznie suchej masy.

### Motywacja do wdrożenia techniki

W omawianym zakładzie nie stosowano kotła korowego, ponieważ do roztwarzania masy wykorzystywano wyłącznie pozostałości tartaczne. Dlatego też przewidziano tam spalanie w kotle odzysknicowym odwodnionych osadów biologicznych z oczyszczalni ścieków wraz z zagęszczonym ługiem powarzelnym. W konsekwencji powstałyby wyższe emisje NO<sub>x</sub>. Właściwy organ zwrócił się do firmy o ograniczenie emisji NO<sub>x</sub>. W 1993 r. w ramach kotła odzysknicowego zrealizowano projekt dotyczący selektywnej redukcji niekatalitycznej wraz ze spalaniem odwodnionego osadu biologicznego. Przykładowy zakład 2 w SE stosuje kotły odzysknicowe przy maksymalnej wydajności konstrukcyjnej i przy wysokich temperaturach. Ponad 10 lat temu właściwe organy zwróciły się do niego o wdrożenie działań mających na celu ograniczenie emisji NO<sub>x</sub>.

### Instalacje referencyjne

Mondi Neusiedler GmbH oraz Ybbstaler Zellstoff, AT, Stora Enso Nymölla, SE i Sappi Ehingen, DE, gdzie na jednym z dwóch kotłów odzysknicowych zastosowano selektywną redukcję niekatalityczną.

### Bibliografia

[ 247, TÜV Süd 2009 ], [ 251, TÜV-Bayern 2009 ], [ 253, Mondi Neusiedler/Ybbstaler Zellstoff 2009 ].

### 4.3.21 Filtr elektrostatyczny lub wielostopniowy cyklon i wielostopniowe płuczki Venturiego lub wielostopniowe, dwustronnie ssące skrubery wylotowe na kotle odzysknicowym

#### Opis

Kocioł odzysknicowy stanowi główne źródło emisji  $\text{SO}_2$  i cząstek stałych z celulozowni siarczynowej. Inne źródła punktowe to kocioł na biomasę lub kocioł korowy, bloki parowe lub inne jednostki spalania stosowane w zakładzie (patrz podrozdział 2.6). Związane z procesem rozproszone emisje  $\text{SO}_2$ , które należy wziąć pod uwagę, normalnie są wychwytywane i odprowadzane do kotła odzysknicowego jako powietrze do spalania (patrz rozdział 3.4.22).

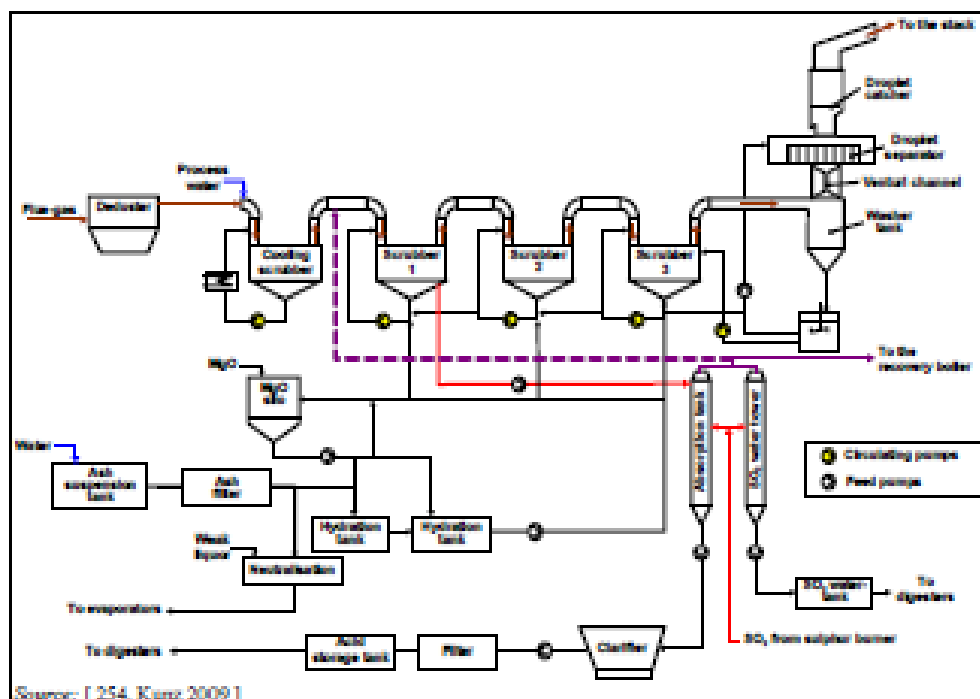
Substancje chemiczne stosowane w instalacji warzenia pojawiają się w spalinach w postaci lekkiego popiołu  $\text{MgO}$  i siarki  $\text{SO}_2$ .  $\text{MgO}$  podlega odzyskowi w płuczce gazowej mokrej, a w rezultacie powstaje zawiesina  $\text{MgOH}$ , która wchodzi w reakcję z  $\text{SO}_2$ , w innej płuczce gazowej mokrej tworząc tym samym świeży ług warzelny. W celulozowniach siarczynowych instalacja odzysku pełni jednocześnie funkcję oczyszczenia spalin i odzysku substancji chemicznych do warzenia.

Oddzielanie pyłu odbywa się w filtrze elektrostatycznym lub wielostopniowym cyklonie. Normalnie zwymiarowane są w taki sposób, by oczyszczony gaz opuszczający filtr uwalniał się maksymalnie w ilości  $50 \text{ mg pyłu/Nm}^3$ .

W przypadku procesu siarczynowego przy użyciu jako zasady magnezu pył zatrzymywany w filtrze elektrostatycznym składa się głównie  $\text{MgO}$ , ale w mniejszym stopniu również ze związków  $\text{Ca}$ ,  $\text{Na}$  lub  $\text{Ca}$ . Popiół  $\text{MgO}$  z odzysku ma postać zawiesiny w wodzie i oczyszcza się go przez płukanie i gaszenie, co daje  $\text{Mg(OH)}_2$ , który następnie wykorzystuje się jako roztwór alkaliczny do płukania w płuczkach wielostopniowych w celu odzyskania składników siarki z substancji chemicznych do warzenia. Po usunięciu pyłu schładza się gazy odlotowe, przepuszczając je przez płuczkę chłodzącą działającą przy użyciu wody, a następnie trafiają one do płuczki na gazy odlotowe, obejmującej trzy etapy lub więcej, podczas których za pomocą tego roztworu alkalicznego wypłukuje się  $\text{SO}_2$ . Roztwór  $\text{Mg(OH)}_2$  jako środek do płukania za pomocą przeciuprądów przenosi się do strumienia gazów spalinowych bogatego w  $\text{SO}_2$  i przekształca w wodorosiarczyn magnezu ( $\text{Mg(HSO}_3)_2$ ). Roztwór ten przepłukuje się w pierwszym skruberze o najwyższym stężeniu  $\text{SO}_2$ . Uruchamia się poszczególne etapy płuczek i reguluje je odpowiednio w zależności od wartości pH. Produkt wychodzący z płuczek rozcieńcza się kwasem. Roztwór bogaty w  $\text{SO}_2$  zawraca się do etapu przygotowywania ługu, gdzie dodaje się uzupełniający  $\text{SO}_2$ .

W przypadku procesu siarczynowego z wykorzystaniem jako zasady amonu zasada ta ( $\text{NH}_3$ ) nie podlega odzyskowi, ponieważ rozkłada się w procesie spalania, tworząc azot. W tym przypadku jako środek płuczający potrzebny jest w 100% świeży roztwór  $\text{NH}_3$ .

Na rysunku 4.52 przedstawiono uproszczony schemat przepływu w instalacji odsiarczania gazów spalinowych wraz z jej uwzględnieniem podczas etapu przygotowywania substancji chemicznych do warzenia.



Rysunek 4. 52 Uproszczony schemat przepływu w instalacji do odsiarczania spalin (wielostopniowe skrubery i płuczka końcowa) i jej uwzględnienie podczas etapu przygotowywania substancji chemicznych do warzenia

<b>Flue-gas</b>	<b>Spaliny</b>
<b>Deduster</b>	<b>Odpylacz</b>
<b>Process water</b>	<b>Woda przemysłowa</b>
<b>Cooling scrubber</b>	<b>Płuczka chłodząca</b>
<b>Scrubber</b>	<b>Płuczka</b>
<b>To the stack</b>	<b>Do komina</b>
<b>Droplet catcher</b>	<b>Łapacz kropel</b>
<b>Droplet separator</b>	<b>Odkraplacz</b>
<b>Venturi channel</b>	<b>Zwężka Venturiego</b>
<b>Washer tank</b>	<b>Zbiornik do płukania</b>
<b>To the recovery boiler</b>	<b>Do kotła odzysknicowego</b>
<b>MgO silo</b>	<b>Silos na MgO</b>
<b>Water</b>	<b>Woda</b>
<b>Ash suspension tank</b>	<b>Zbiornik na zawiesinę z popiołem</b>
<b>Ash filter</b>	<b>Filtr na popiół</b>
<b>Weak liquor</b>	<b>Słaby ług</b>
<b>Hydration tank</b>	<b>Zbiornik hydratacyjny</b>
<b>Neutralisation</b>	<b>Neutralizacja</b>
<b>Absorption tank</b>	<b>Zbiornik wchłaniający</b>
<b>SO<sub>2</sub> water tower</b>	<b>Wieża ciśnień na SO<sub>2</sub></b>
<b>Circulating pumps</b>	<b>Pompy obiegowe</b>
<b>Feed pumps</b>	<b>Pompy zasilające</b>
<b>To digesters</b>	<b>Do komór fermentacyjnych</b>
<b>SO<sub>2</sub> water-tank</b>	<b>Zbiornik wody z SO<sub>2</sub></b>
<b>SO<sub>2</sub> from sulphur burner</b>	<b>SO<sub>2</sub> z palnika siarki</b>
<b>Clarifier</b>	<b>Osadnik</b>
<b>Filter</b>	<b>Filtr</b>
<b>Acid</b>	<b>Kwas</b>
<b>storage tank</b>	<b>Zbiornik do magazynowania</b>
<b>To evaporators</b>	<b>Do parowników</b>
<b>To digesters</b>	<b>Do komór fermentacyjnych</b>
Source: [ 254, Kunz 2009 ]	Źródło: [ 254, Kunz 2009 ]

### Główne korzyści środowiskowe

Dzięki zastosowaniu tej techniki można odzyskać większość substancji chemicznych do warzenia, co daje znaczne oszczędności na surowcach. W ramach odzysku substancji chemicznych (w przypadku procesu siarczynowego z wykorzystaniem jako zasady magnezu) jednocześnie ogranicza się emisję pyłów do poziomu niemalże zerowego, a gazy spalinowe zawierające początkowo dużo  $\text{SO}_2$  w normalnych warunkach roboczych oczyszcza się do poziomu około  $100\text{--}300 \text{ mg SO}_2/\text{Nm}^3$ .

### Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

W celu odzyskania substancji chemicznych z ługu powarzelnego we wszystkich zakładach siarczynowych stosuje się różne rodzaje płuczek do odzysku  $\text{SO}_2$ . Poziom odzysku w przypadku  $\text{SO}_2$  może się wahać w granicach  $99,4\text{--}99,8\%$  w porównaniu do nieoczyszczonych emisji opuszczających kocioł odzysknicowy.

Jeśli chodzi o emisje  $\text{SO}_2$  z kotłów odzysknicowych w celulozowniach siarczynowych, to w większości zakładów należy rozróżnić dwa różne rodzaje warunków pracy: „normalne warunki pracy” oraz okresy „działania kwasu” (płukania i czyszczenia inkrustacji w płuczkach i skrubkach). Ten drugi rodzaj dotyczy trybu roboczego, w ramach którego czyści się skrubery w celu zapobieżenia inkrustacji siarczanu magnezu ( $\text{MgSO}_3$ ). Niepożądany i nie łatwo rozpuszczalny  $\text{MgSO}_3$  powstaje w rurach, zbiornikach i płuczkach, a jeśli nie jest regularnie czyszczony, po pewnym czasie prowadzi do odkładania się kamienia i inkrustacji. Podczas „trybu działania kwasu” gazy spalinowe zawierające  $\text{SO}_2$  odprowadzane są do płuczki, która pracuje bez dodawania  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  do cieczy do płukania, która krąży w skrubkach. Prowadzi to do obniżenia wartości pH i rozpuszczania siarczanu magnezu. Podczas cykli czyszczenia w skrubce rosną emisje, ponieważ nie działa jeden ze skrubków lub końcowa płuczka, co musi zrekompensować skrubek resztkowy. Powszechnie stosowane częstotliwości i przedziały czasowe w trybie działania kwasu to około 12 razy w roku, a w sumie około 96 godzin rocznie, podczas których jedna płuczka lub skrubek nie działa, a pozostałe przejmują odsiarczanie gazów spalinowych. W sumie działanie kwasu może trwać do około ośmiu godzin miesięcznie, natomiast cykl czyszczenia sześć godzin. Normalnie płuczki lub skrubery działające przy wyższych wartościach pH częściej trzeba przepłukiwać kwasem.

Na przykład jeden z niemieckich zakładów poinformował, że w płuczce końcowej po płuczce czterostopniowej, pracującej przy najwyższej wartości pH (etap siarczynowy) maksymalny dopuszczalny czas pracy na jeden proces czyszczenia kwasem w ramach okresu „działania kwasu” wynosi dziewięć godzin i łącznie nie powinien przekraczać 365 godzin rocznie. W pozostałych zakładach w przypadku prewencyjnego przepłukiwania płuczek mogą również występować krótsze odstępy czasu. Wyniki z danych sprawozdawczych z zakładów przedstawiono na rysunku 4.53.

Czyszczenie instalacji odsiarczania gazów spalinowych może się odbywać sekwencyjnie lub poszczególne płuczki można w trakcie czyszczenia całkowicie zamykać. Ta druga opcja prowadzi do wyższych emisji, dlatego też niektóre zakłady musiały zmodernizować swój proces, np. poprzez dodanie dodatkowej płuczki gwarantującej jednoczesne działanie wystarczającej liczby płuczek/skrubków. Pomimo prewencyjnego czyszczenia instalacji do odsiarczania spalin raz lub dwa razy w roku podczas corocznego przestoju zakładu przeprowadza się kompletne prace konserwacyjne lub modernizacyjne urządzenia.

W większości przypadków w razie zgłoszenia emisji jako stężenia ( $\text{mg SO}_2/\text{Nm}^3$ ) pod uwagę brać należy te dwa różne rodzaje warunków działania. Natomiast ładunek indywidualny  $\text{SO}_2$  wyrażony jako  $\text{SO}_2/\text{t}$  powietrznie suchej masy zazwyczaj obejmuje wszystkie tryby pracy w roku, a tym samym obejmuje też wszystkie warunki działania. Na przykład w Niemczech i Austrii obowiązują różne wartości graniczne dotyczące „normalnych warunków pracy” i „wyjątkowych działań związanych z czyszczeniem”.

We wszystkich zakładach siarczynowych, w których jako zasadę wykorzystuje się magnez, stosuje się różne rodzaje opisanych systemów kontroli pyłu/ $\text{SO}_2$ . Jednak odnotowywano różne poziomy skuteczności redukcji w ramach usuwania  $\text{SO}_2$ . Emisje  $\text{SO}_2$  zależą również od konstrukcji i działania płuczek do płukania spalin. Emisje pyłu zależą również od konstrukcji łapacza kropel po etapie płuczki końcowej i od rodzaju stosowanego drewna (patrz przykład 2

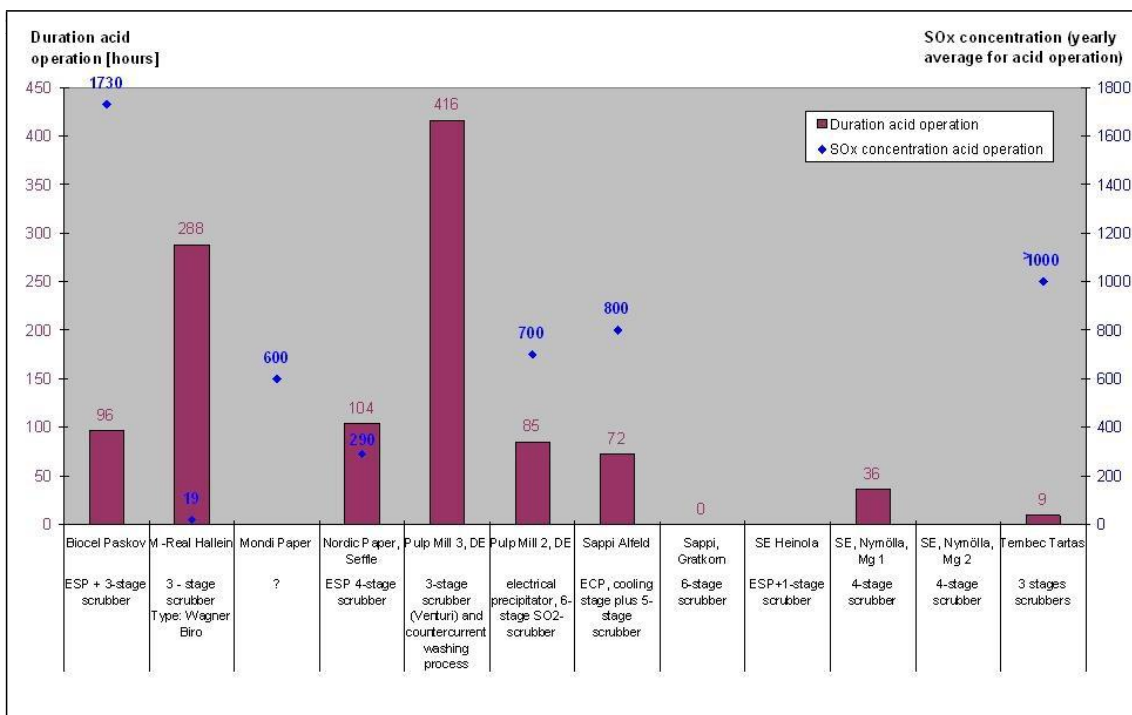
poniżej). Poziomy odprowadzanych emisji dwutlenku siarki są ściśle związane z systemem odzysku ługu powarzelnego (patrz rysunek 4.30). Gazy odlotowe ze spalania zagęszczonego ługu powarzelnego przenoszą znaczne ilości gazu z  $\text{SO}_2$ , który zależy od stopnia siarczynowości ługu powarzelnego. W celu odzyskania większej ilości czystego  $\text{SO}_2$  (a nie tylko wodorosiarczynów) oraz zwiększenia jakości odzyskiwanego surowego kwasu niektóre zakłady wdrożyły etap upłynniania  $\text{SO}_2$  na potrzeby skraplania gazów odlotowych zawierających silny  $\text{SO}_2$  z komór fermentacyjnych (dwa zakłady w DE i AT). Inną, choć bardziej kosztowną techniką służącą do odzyskiwania większej ilości  $\text{SO}_2$  z gazów odlotowych jest oddzielanie siarczanu magnezu i przekształcanie go w oddzielnym piecu na magnez i ciekły  $\text{SO}_2$  (jeden zakład AT). Poza tym za pomocą tego działania ogranicza się zapotrzebowanie na uzupełniający dwutlenek siarki, który w niektórych przypadkach może ograniczać odzysk  $\text{SO}_2$  z gazów spalinowych.

Do kontroli tych emisji potrzebne jest prawidłowe rozmieszczenie i działanie wszystkich urządzeń do kontroli emisji (multicyklonu lub filtra elektrostatycznego, wielostopniowych płuczek).

W normalnych warunkach pracy jako średnią wartość dobową udaje się uzyskać 100-300 mg  $\text{SO}_2/\text{Nm}^3$  z zawartością tlenu na poziomie referencyjnym 5%. Dwutlenek siarki mierzy się w sposób ciągły i doprowadza do komputera, który podczas procesu technologicznego rejestruje profil emisji.

Podczas regularnego płukania i oczyszczania płuczek/skruberów w trybie „działania kwasu” w spalinach rośnie poziom stężenia  $\text{SO}_2$  i jako średnią wartość dobową da się też osiągnąć wartości rzędu 300-500 mg/ $\text{Nm}^3$  oraz czasem wyższe wartości do 650 mg  $\text{SO}_2/\text{Nm}^3$ , a także referencyjny poziom zawartości tlenu na poziomie 5%. Niektóre zakłady podały nieco wyższe emisje  $\text{SO}_2$ , zwłaszcza w trybie czyszczenia. Przedział czasu na czyszczenie płuczek to zazwyczaj raz lub dwa razy w miesiącu, a proces ten trwa od 6 do 12 godzin. Tryb „działania kwasu” nie ma wpływu na emisje pyłu.





Rysunek 4. 53 Zgłoszony czas działania kwasu

Duration acid operation [hours]	Czas działania kwasu [w godzinach]
SOx concentration (yearly average for acid operation)	Stężenie SOx (średnia roczna w przypadku działania kwasu)
Duration acid operation	Czas działania kwasu
SOx concentration acid operation	Działanie kwasu przy stężeniu SOx
ESP + 3-stage scrubber	Filtr elektrostatyczny + trzystopniowa płuczka
3 - stage scrubber Type: Wagner Biro	Trzystopniowa płuczka Rodzaj: Wagner Biro
ESP 4-stage scrubber	Czterostopniowa płuczka z filtrem elektrostatycznym
3-stage scrubber (Verturi) and countercurrent washing process	Trzystopniowa płuczka (Verturiego) i proces płukania przeciwnieprądowego
electrical precipitator, 6- stage SO2-scrubber	filtr elektrostatyczny, sześciostopniowa płuczka SO <sub>2</sub>
ECP, cooling stage plus 5- stage scrubber	ECP, etap chłodzenia oraz pięciostopniowa płuczka
6-stage scrubber	Sześciostopniowa płuczka
ESP+1 -stage scrubber	filtr elektrostatyczny + jednostopniowa płuczka
4-stage scrubber	Czterostopniowa płuczka
3 stages scrubbers	Trzystopniowe płuczki

W wielu zakładach średnia wartość dobowej emisji pyłów kształtuje się na poziomie 5-20 mg/Nm<sup>3</sup> i udaje się też osiągnąć referencyjną zawartość tlenu wynoszącą 5%. W większości przypadków pył podlega okresowym pojedynczym pomiarom.

Jeśli chodzi o emisje pyłów, pod uwagę wziąć trzeba fakt, iż stężony ług powarzelny ulega drobnemu rozproszeniu i odprowadzany jest do komory spalania w kotle odzysknicowym, gdzie mogą powstawać aerozole, takie jak utlenione związki Na i K, których w niektórych przypadkach nie da się w całości oddzielić podczas kolejnego etapu oczyszczania gazów spalinowych na mokro. Oprócz tworzenia się aerozoli (wielkość cząstek <1 μm), które zależą od wprowadzenia wraz z drewnem metali alkalicznych i od temperatury spalania, na skuteczność usuwania pyłu z płuczek wpływ ma wsad świeżej wody do

końcowej płuczki i wydajność ostatniego odkraplacza przed odprowadzeniem do komina oczyszczonego gazu. W niektórych zakładach podane emisje pyłu są nieznacznie wyższe, tj.  $30 \text{ mg/Nm}^3$ , co wynika z wysokiej zawartości potasu w pewnych gatunkach drewna, takich jak na przykład buk. Zawartość potasu w buku jest dwa razy wyższa niż w świerku ( $1045 \text{ mg/kg}$  drewna w porównaniu do  $510 \text{ mg/kg}$  drewna). W przypadku instalacji o wyższej zawartości  $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$  w stężonym ługu powarzelnym (np. w przypadku stosowania głównie drewna bukowego) wydajniejsze pod względem usuwania pyłu są płuczki gazów spalinowych z filtrem do przeciwwrędogo mycia masy, a nie etapy z płuczką Venturiego, [277, Loquenz 2007].

Poniżej podano dwa przykłady wykonania układów kontroli emisji  $\text{SO}_2$ : jeden mniejszy zakład siarczynowy ( $50\,000 \text{ t/rok}$ ) i niedawno wybudowany kocioł odzysknicowy z systemem odzyskiwania substancji chemicznych.

### **Przykład 1: Mondi Neusiedler GmbH i Ybbstaler Zellstoff GmbH**

Mondi Neusiedler z Austrii to przykład małej celulozowni siarczynowej produkującej około  $50\,000$  ton białej masy celulozowej siarczynowej do produkcji papieru z drewna drzew iglastych (84%-88% jasności ISO) i około  $100\,000$  ton cienkiego papieru niepowlekanego. Działa w niej trzystopniowa płuczka z bardzo małą liczbą „trybów z kwasem”, ponieważ zmieniono w niej prace konserwacyjne płuczek i rur, wprowadzając dwa regularne przestoje w ciągu roku. Większe zakłady posiadają o jedną lub dwie płuczki lub skrubery gazów spalinowych więcej i co miesiąc prewencyjnie uruchamiają jedną/jeden z nich w „trybie konserwacji” przy użyciu kwasu. Dane dotyczące takich małych zakładów przedstawiono poniżej.

#### **i) Informacje podstawowe**

W zakładzie stosuje się proces roztwarzania wodorosiarczynowego, bielenia bez użycia chloru (sekwencja bielenia EOP-P-P). Produkcja masy włóknistej netto w 2008 roku wyniosła  $50\,000 \text{ t}$  powietrznie suchej masy. Stosuje się tam tylko zrębki. Odsetek wykorzystywanych gatunków drewna kształtuje się następująco: 98% świerk i 2% jodła). Jako zasadę stosuje tlenek magnezu. Odczyn pH w komorach fermentacyjnych wynosi 2. Rok budowy filtra elektrostatycznego i płuczek: 1987. Przepływ gazu wynosi  $6600 \text{ Nm}^3/\text{t}$  powietrznie suchej masy (w suchych, normalnych warunkach pracy), co daje  $880\,000 \text{ Nm}^3/\text{dzień}$ . Do płomienia w celu podtrzymania spalania dodaje się niewielką ilość gazu ( $1500 \text{ Nm}^3/\text{dzień}$ ).

#### **ii) Zastosowana technika redukcji emisji**

System oczyszczania spalin składa się z filtra elektrostatycznego i trzystopniowego filtra przeciwwrędogo. W zakładzie zainstalowane są trzy płuczki Venturiego. W małym zakładzie taką liczbę uważa się za wystarczającą, ponieważ podczas działania kwasu spada przepływu gazu z kotła odzysknicowego. W trybie konserwacji nie stosuje się żadnej płuczki pracującej bez przerwy. Natomiast mniej więcej raz na miesiąc przez 4-8 godzin kwaśnym roztworem czyści się jedną płuczkę Venturiego, a w tym czasie przy obniżonej wydajności kotła odzysknicowego pracują tylko dwie płuczki. Dodatkowo zakład ma dwa trwające od trzech do czterech dni przestoje na rok, podczas których odbywa się mechaniczne czyszczenie płuczek i ich konserwacja.

#### **iii) Uzyskany poziom emisji**

Zakład podał informacje dotyczące emisji w 2008 r. w „normalnych warunkach pracy” i w okresach „działania kwasu”. Ten drugi rodzaj dotyczy trybu roboczego, w ramach którego czyści się płuczki w celu usunięcia inkrustacji ( $\text{MgSO}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$ ). Podczas „trybu działania kwasu” gazy spalinowe zawierające  $\text{SO}_2$  odprowadzane są do płuczek, które pracują bez dodawania  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  do płynu do płukania. Ciecz do płukania stosowana w skrubkach to wyłącznie woda, częściowo absorbująca  $\text{SO}_2$  z gazów odlotowych, tym samym zmieniając warunki na kwaśne i myjąc przy tym powierzchnię i dysze płuczki. W związku z tym podczas cykli czyszczenia płuczki rosną też emisje. W podanym przykładzie normalnie nie stosuje się trybu działania kwasu, lecz zazwyczaj w sytuacji, gdy wzrośnie poziom emisji. Średnio przez 4-8 godzin raz w miesiącu działają tylko dwie płuczki a trzecia poddawana jest czyszczeniu roztworem kwasu. Wartość graniczna w przypadku  $\text{SO}_2$  w tym okresie wynosi  $600 \text{ mg/Nm}^3$ . W niektórych przypadkach zmierzone wartości emisji mogą osiągnąć poziom  $400\text{-}600 \text{ mg SO}_2/\text{Nm}^3$ . Jeśli zmierzony poziom przekroczy ten limit, zgłasza się go oddzielnie. Łączna liczba

takich przypadków zgłoszonych w 2008 r. to 18 krótkich szczytów (wartości półgodzinne). Średnia roczna indywidualnego ładunku SO<sub>2</sub> (SO<sub>2</sub>/t powietrze suchej masy) obejmuje wszystkie tryby działania stosowane w ciągu roku. Podczas działania kwasu nie stwierdzono żadnych zmian w poziomie pyłu.

**Tabela 4. 29 Emisje do atmosfery przy 5% zawartości tlenu z kotła odzysknicowego w małej austriackiej celulozowni siarczynowej produkującej 50 000 t powietrze suchej masy/rok do produkcji papieru**

Okres referencyjny	SO <sub>2</sub>	Pył	Przepływ gazu	SO <sub>2</sub> (jako SO <sub>2</sub> )	Pył	SO <sub>2</sub>
	Normalne działanie: filtr elektrostatyczny + 3 płuczki					Praca przy użyciu kwasu (0-8 h/miesiąc): filtr elektrostatyczny + 2 płuczki
Jednostka	mg/Nm <sup>3</sup>	mg/Nm <sup>3</sup>	Nm <sup>3</sup> /t	kg/t	kg/t	mg/Nm <sup>3</sup>
Wartość graniczna <sup>(1)</sup>	300	40				600
Wartość średnioroczna	75	1	6 581	0,48	0,004	
Średnia wartość	14 – 179	1		0,09 – 1,14	0,004	
6 miesięcy z niższymi wartościami	14 – 55	1		0,09 – 0,38	0,004	
6 miesięcy z wyższymi wartościami	68 – 179	1 – 5		0,44 – 1,14	0,004	
Średnie wartości	14 – 300	1 – 5	6 087 – 7 275	--	--	0-8 h/miesiąc: 400 – 600

Uwaga:  
<sup>(1)</sup> Dopuszczalne wartości graniczne emisji i wartości pomiarowe uwzględniające przepływ gazu dotyczą średniej dobowej w normalnych warunkach (0 °C, 1013 mbar, po odjęciu zawartości pary wodnej (suchy gaz)). Referencyjna zawartość tlenu wynosi 5%. Zgodnie z austriacką ustawą o ochronie powietrza atmosferycznego 95% wszystkich średnich dobowych nie może przekraczać ustalonej koncentracji masy.

Po gruntownej konserwacji płuczek dwa razy w roku w trakcie regularnego przestoju poziomy emisji SO<sub>2</sub> przez kilka tygodni są na poziomie około 15-20 mg/Nm<sup>3</sup>. Z czasem wartość emisji zaczyna rosnąć do wyższego poziomu. Wartości normalne jako średnia dobowo to 20-100 przez okres 10 miesięcy w roku (w 2008 r.). Poziomy emisji na najwyższym możliwym poziomie mogą przez jeden lub dwa dni pracy osiągnąć 450 mg/Nm<sup>3</sup>. W takim wypadku rura lub część płuczek zapcha się inkrustowanym materiałem, który natychmiast zostanie usunięty. W tym czasie działają tylko dwie płuczki, dlatego też dochodzi do wyższych emisji SO<sub>2</sub>.

Emisje pyłu nie są monitorowane bez przerwy, ponieważ za pomocą filtra elektrostatycznego i trzystopniowej płuczki niemalże w całości poddawane są odzyskowi. W zakładzie tym za pomocą płuczek gazowych mokrych bardzo skutecznie usuwa się pył, wręcz przy niewykrywalnych poziomach.

## Przykład 2: Lenzing AG

Jest to przykład niedawno wybudowanych kotłów odzysknicowych wykorzystywanych przy produkcji masy celulozowej siarczynowej, w tym powiązanej instalacji do odzysku substancji chemicznych (2007). Lenzing AG z Austrii to celulozownia, w której produkuje się masę celulozową do przerobu chemicznego w celu uzyskania włókien wiskozowych. Są też inne podobne zakłady osiągające zbliżony poziom wydajności. Jednak większość z nich podczas „trybu działania kwasu” ma wyższe emisje  $\text{SO}_2$ .

### i) Informacje podstawowe

W zakładzie do wytwarzania masy celulozowej dla przemysłu włókienniczego stosuje się proces wodorosiarczynowy. Produkcja masy celulozowej netto w 2008 r. wyniosła 246 411 bezwzględnie suchych ton/rok lub 273 790 t powietrznie suchej masy/rok. Wykorzystywany gatunek drewna to w 100% buk. Jako zasadę stosuje się magnez. Odczyn pH w komorach fermentacyjnych wynosi 1,2-1,5. Nowy kocioł odzysknicowy wybudowano w roku 2007. Przepływ gazu w nowym kotle kształtuje się na poziomie  $8200 \text{ Nm}^3/\text{t}$  powietrznie suchej masy (w suchych, normalnych warunkach eksploatacji), co daje  $130\,900 \text{ Nm}^3/\text{h}$  (przy 5%  $\text{O}_2$ ). W celu podtrzymania spalania do płomienia dodaje się niewielką ilość gazu ziemnego i oleju opałowego.

Podczas oceny wartości emisji pochodzących z kotła odzysknicowego pod uwagę należy wziąć fakt, iż w zakładzie w sumie działają trzy kotły odzysknicowe o różnym okresie eksploatacji i rodzaju konstrukcji. Charakteryzują się też różną skutecznością usuwania  $\text{SO}_2$ . Najstarszy kocioł będący w szczególnie złym stanie działa w trybie gotowości. Udział nowego kotła odzysknicowego pod względem ładowności wynosi 50%.

### ii) Zastosowana technika redukcji emisji

System oczyszczania spalin do usuwania  $\text{MgO}$  i  $\text{SO}_2$  składa się z czterech jednostek technologicznych: 1) separatora pyłu działającego na sucho (wielostopniowy cyklon), który oddziela suchy  $\text{MgO}$  wykorzystywany do neutralizowania ługu powarzelnego z komór fermentacyjnych, 2) płuczki chłodzącej, nasycającej spaliny wodą i dodatkowo usuwającej i nawadniającej  $\text{MgO}$  do postaci  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ , 3) gazu odlotowego, który opuszcza saturator, trafia do przeciwprądowej czterostopniowej płuczki Venturiego z dwiema płuczkami wodorosiarczynowymi i dwiema płuczkami siarczynowymi (oraz płuczki chłodzącej, schładzającej wprowadzanej spaliny); 4) rzadki osad z  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  wyodrębnia się z wody ze zbiornika klarującego, a następnie wykorzystuje jako ciecz myjącą do płuczek.

System pochłaniania wilgoci (dwustronnie ssąca, wielostopniowa płuczka wylotowa) składa się ze skierowanego w dół wodorosiarczynowego etapu przelotowego o podwójnym przepływie, wyposażonego w pompy obiegowe, natomiast drugi etap to skierowany w górę wodorosiarczynowy etap przelotowy, po którym przeprowadza się dwa (następujące kolejno po sobie) połączone, skierowane w górę, siarczynowe etapy przelotowe. Wstrzykiwany roztwór  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  wchłaniany jest przez spaliny i usuwany za pomocą łapacza kropel wylotowego, z którego zawracany jest do procesu technologicznego. Dwa etapy siarczynowe są połączone, następują kolejno po sobie i odbywają się przy odczynie pH na poziomie 6,9 i 7. Podczas nich  $\text{SO}_2$  i  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  przetwarza się na praktycznie nierozpuszczalny siarczan magnezu ( $\text{MgSO}_3$ ). Każda płuczka Venturiego wyposażona jest w wewnętrzną cyrkulację roztworu  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ . Kryształ ( $\text{MgSO}_3$ ) odprowadzany jest do drugiego etapu wodorosiarczynowego a stamtąd do pierwszego etapu wodorosiarczynowego, gdzie jest przekształcany na  $\text{Mg}(\text{HSO}_3)_2$ , nieklarowany kwas surowy.

Podczas „normalnych warunków pracy” etapy z absorberami uruchamiane są kolejno po sobie. Aby z absorberów usunąć odkładające się inkrustacje, są one regularnie czyszczone podczas „trybu działania kwasu”. Podczas czyszczenia jednego z etapów wodorosiarczynowych poziom odzysku  $\text{SO}_2$  jest czasowo obniżony, a emisje  $\text{SO}_2$  mogą osiągnąć poziom  $650 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ . Normalnie cykl czyszczenia trwa około 12 godzin w przypadku pierwszego etapu siarczynowego i 18 godzin w przypadku drugiego i odbywa się raz lub dwa razy na miesiąc.

### iii) Uzyskany poziom emisji

Zakład podał informacje dotyczące emisji w 2008 r. w „normalnych warunkach pracy” i w okresach „działania kwasu”. W ramach indywidualnego ładunku SO<sub>2</sub>, wyrażonego jako SO<sub>2</sub>/t powietrznie suchej masy jako średnia wartość roczna, uwzględniono wszystkie tryby stosowane w ciągu roku. Poziomy emisji przedstawione w tabeli 4.30 dotyczą wyłącznie najnowszego kotła odzysknicowego, wybudowanego w 2008 r., którego udział, jeśli chodzi o ładunek gęstego ługu, wynosi 50%. Skuteczność usuwania SO<sub>2</sub> podczas „normalnej pracy” wynosi około 99,8%, natomiast w przypadku usuwania pyłu około 95%. Emisje dwutlenku siarki mierzone są w sposób ciągły za pomocą automatycznych analizatorów, a ich średnia wartość dobowa zazwyczaj mieści się w granicach 20-80 mg SO<sub>2</sub>/Nm<sup>3</sup> (5% O<sub>2</sub>).

Wyższe wartości występują podczas trybu pracy z płukaniem kwasem, kiedy to ich średnia dobowa wynosi około 150-350 mg SO<sub>2</sub>/Nm<sup>3</sup>, a ich zmierzona półgodzinna wartość dochodzi do 650 mg SO<sub>2</sub>/Nm<sup>3</sup>. Wyższe wartości stwierdza się podczas 1-2 dni na miesiąc (patrz wyżej). W tym czasie działają tylko trzy płuczki.

**Tabela 4. 30 Emisje do atmosfery z kotła odzysknicowego wyposażonego w pięciostopniowe płuczki w dużej austriackiej celulozowni siarczynowej produkującej rocznie 273-790 ton miazgi wiskozowej dla przemysłu tekstylnego**

	SO <sub>2</sub> (jako SO <sub>2</sub> )	Pył	Przepływ gazu	SO <sub>2</sub> (jako SO <sub>2</sub> )	Pył	SO <sub>2</sub> (jako SO <sub>2</sub> )	Pył
	Normalne działanie: multicyklony + 4 płuczki					Działanie kwasu (1-2 dni na miesiąc): cyklony	
Jednostka	mg/Nm <sup>3</sup>	mg/Nm <sup>3</sup>	kNm <sup>3</sup> /t	kg/t pow.	kg/t pow.	mg/Nm <sup>3</sup>	mg/Nm <sup>3</sup>
<b>Wartość graniczna</b> <sup>(1)</sup>	<b>300</b>	<b>50</b>		--	--	<b>650</b>	<b>50</b>
styczeń	53	22	130,3				
luty	35	22	124,5				
marzec	31	22	131,7				
kwiecień	64	22	142,6				
maj	67	22	138,6				
czerwiec	85	22	129,4				
lipiec	45	22	121,4				
sierpień	27	22	124,1				
wrzesień	33	22	133,5				
październik	56	22	123,9				
listopad	59	22	133,7				
grudzień	57	22	135,9				
<b>Wartość średnioroczna</b>	<b>52</b>	<b>22</b>	<b>130,9</b>	<b>0,42</b>	<b>0,18</b>		
<b>Średnia wartość miesięczna</b>	<b>27 – 85</b> (w tym wszystkie tryby działania)	<b>22</b>					
<b>Średnia wartość</b>	<b>20 – 80(*)</b>	<b>22</b>				<b>150 – 350</b>	<b>22</b>
Uwaga: ( <sup>1</sup> ) Dopuszczalne wartości graniczne emisji i wartości pomiarowe uwzględniające przepływ gazu dotyczą średniej dobowej w normalnych warunkach (0 C, 1013 mbar, po odjęciu zawartości pary wodnej (suchy gaz)). Referencyjna zawartość tlenu wynosi 5%. Zgodnie z austriacką ustawą o ochronie powietrza atmosferycznego wszystkie średnie dobowe nie mogą przekraczać ustalonej koncentracji masy. (*) Średnie wartości dobowe dotyczą „normalnych warunków działania” w roku 2008. W przypadku trybu działania kwasu średnie wartości dobowe podano w kolumnie po prawej. Podczas „trybu działania kwasu” zmierzone poziomy emisji półgodzinnych mogą dochodzić do wartości na poziomie 650 mg SO <sub>2</sub> /Nm <sup>3</sup> . Źródło: [ 267, Lenzing 2009 ]							

Ocenę danych pomiarowych przeprowadza się za pomocą systemu komputerowego podczas procesu technologicznego. Pomiary poziomu O<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> i CO odbywają się podczas procesu technologicznego. Raz w roku zewnętrzne laboratorium przeprowadza pomiar poziomu pyłu. Zapisuje się ilość paliwa i oblicza odpowiedni przepływ gazu. Mnożąc stwierdzony przepływ gazu (Nm<sup>3</sup>/h) i liczbę godzin pracy, uzyskuje się ładunek odprowadzany do atmosfery.

Należy zwrócić uwagę, że w przypadku wytwarzania masy celulozowej do przerobu chemicznego wydajność masy celulozowej jest mniejsza niż w przypadku wytwarzania masy papierniczej. W konsekwencji ilość powstającego gęstego ługu jest większa, jak również indywidualny strumień gazu (Nm<sup>3</sup>/t powietrznie suchej masy). Oddziaływanie to trzeba wziąć pod uwagę przy porównywaniu indywidualnego ładunku odprowadzanego do powietrza atmosferycznego z różnych kotłów

odzysknicowych z celulozowni siarczynowych.

W zakładzie tym całkowite emisje pyłu z kotła odzysknicowego po opuszczeniu płuczek wynoszą około 0,2 kg/t powietrznie suchej masy. Główną przyczyną wyższych emisji pyłów jest to, że zawartość potasu w drewnie bukowym jest dwa razy wyższa niż w przypadku świerku (1045 mg/kg drewna w porównaniu do 510 mg/kg drewna). W komorze spalania powstaje  $K_2SO_4$  w stanie gazowym, który przez hartowanie w kotle przekształca się w aerozol. Aerozolu siarczanu potasu nie da się usunąć nawet za pomocą opisanej powyżej pięciostopniowej płuczki gazowej mokrej. Emisję pozostałych pyłów można ograniczyć tylko poprzez obniżenie temperatury w komorze spalania. Analiza rozkładu wielkości cząstek uwolnionego pyłu wykazała bardzo małe rozmiary cząstek: 70-95% pyłu charakteryzuje się wielkością cząstek rzędu 0,8  $\mu m$  lub  $<0,8 \mu m$ . Analiza składu chemicznego uwolnionego pyłu wykazała wysoki odsetek K i Na i niewielką ilość Mg, ale magnez wykorzystuje się w skrubkach w postaci roztworu absorbującego. Ponad 50% pyłu to siarczany, natomiast potas ma zdecydowanie największy udział wśród kationów.

**Osiągnięte emisje z przykładowych europejskich celulozowni, w których uruchomiono filtry elektrostatyczne lub multicyklony**

W tabeli 4.31 przedstawiono emisje z kotłów odzysknicowych w celulozowniach siarczynowych, w których wdrożono ograniczenie emisji pyłów (filtr elektrostatyczny lub multicyklony) i wielostopniowe płuczki lub skrubery do odzysku  $SO_2$  i nieorganicznego pyłu ze spalin. Dane w tabeli pochodzą z wypełnionych kwestionariuszy i osobistej korespondencji z operatorami zakładu. W całkowitych emisjach nie uwzględniono kotłów pomocniczych ani kotłów korowych. W wykazie uwzględniono wybrane zakłady o dużej efektywności, w przypadku których dostępne były dane lub dane takie przekazały one same, a w związku z tym wykaz ten nie jest wyczerpujący. Pobieranie próbek i analizy przeprowadzono zgodnie z działaniami służącymi poprawie jakości, mającymi zastosowanie w danym kraju. Dalsze szczegółowe dane dotyczące monitorowania można znaleźć w podrozdziale 2.2.2.2. Emisje składników gazowych ustalano za pomocą standardowych metod pomiarowych, tj. urzędowo zatwierdzonych instrumentów pomiarowych. Można zatem stwierdzić, że w pewnych przypadkach ilość etapów instalacji odsiarczania ma mniejszy wpływ na poziom emisji niż konstrukcja płuczek (okrąg wewnętrzny i zewnętrzny, przepływ w górę/w dół, łapacze kropel) lub etap działania (pH, prędkość przepływu, stężenie roztworu do płukania, rzeczywiste obciążenie w porównaniu do maksymalnej pojemności nominalnej) czy też etap konserwacji absorbera (sekwencje i tryby czyszczenia). Wydajne systemy gwarantują bliski kontakt między roztworem absorbującym a przepływem spalin. Stosunkowo krótkie odstępy czasu na „tryb czyszczenia” płuczki mogą prowadzić do nieco wyższych emisji  $SO_2$  i odwrotnie.

**Tabela 4. 31 Przykłady emisji do powietrza atmosferycznego z kotłów odzysknicowych z niektórych celulozowni w Europie, z wyłączeniem emisji z kotłów pomocniczych (rok referencyjny: 2008)**

Zakład	Pył <sup>(1)</sup> (mg/Nm <sup>3</sup> )	Średnia dobowo $SO_2$ <sup>(2)</sup> zakres (mg/Nm <sup>3</sup> )		Wartość średnioroczna a $SO_2$ <sup>(3)</sup> (mg/Nm <sup>3</sup> )	$SO_2$ z kotłów odzysknicowych <sup>(4)</sup> (kg $SO_2$ - S/t pow. s.m.)	Rodzaj odsiarczania: liczba etapów, rodzaj (płuczka Venturiego, skruber)
		Normalne działanie	Tryb czyszczenia			
2, DE	22	107	500/1 000	144	0,56	filtr elektrostatyczny + pięciostopniowa płuczka
2, DE	4	brak danych		131	0,77	filtr elektrostatyczny + pięciostopniowa płuczka
1, AT	brak danych	15 – 80	200 – 300	brak danych	0,31	filtr elektrostatyczny + trzystopniowe płuczki
2, AT	1	15 – 100	200 – 300	75	0,48	filtr elektrostatyczny + trzystopniowe płuczki
3, AT	22	20 – 80	150 – 350	52	0,21	Multicyklon, filtr mokry + czterostopniowe płuczki
1, SE	0	brak danych		brak danych	0,36	filtr elektrostatyczny + sześciostopniowa płuczka
1, PT	27	brak danych		16	0,1	filtr elektrostatyczny + pięciostopniowa płuczka

1, CZ	10-13	13 – 329	brak danych	156	0,56	filtr elektrostatyczny + trzystopniowe płuczki Venturiego
<p>Uwaga:</p> <p>(1) Pomiary emisji pyłu odbywają okresowo. Dane dotyczą średniej w okresie pobierania próbek (np. 6-8 godzin). W miarę możliwości podano zakres mierzonych wartości. Referencyjna zawartość tlenu wynosi 5-6%.</p> <p>(2) Dane dotyczą normalnych warunków działania i nie uwzględniają awarii pomiarów lub sprzętu. W stosownych przypadkach w odniesieniu do normalnej pracy i „trybu działania kwasu”, który normalnie ma miejsce w przybliżeniu raz na miesiąc w celu oczyszczenia płuczek, dane podano oddzielnie.</p> <p>(3) Średnia wartość roczna z pomiarów ciągłych; referencyjna zawartość tlenu wynosi 5-6%.</p> <p>(4) Wylczenie na podstawie przepływu spalin, liczby dni pracy instalacji, stężenia i produkcji netto (w tonach powietrznie suchej masy celulozowej). Średnie roczne wartości indywidualnego ładunku dotyczą SO<sub>2</sub>-S a nie SO<sub>2</sub>.</p> <p>Źródło: [ 236, COM 2009 ]</p>						

### Oddziaływanie na procesy i środowisko

Nie przewiduje się żadnych znaczących negatywnych efektów wzajemnych powiązań pomiędzy różnymi komponentami środowiska. W przypadku procesu siarczynowego z wykorzystaniem magnezu zanieczyszczenia w gazach odlotowych są odzyskiwane i ponownie wykorzystywane jako substancje chemiczne do warzenia. Z wyodrębnionego popiołu lotnego (głównie MgO i w mniejszym stopniu Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O i CaO oraz ich siarczany i chlorki, krzemiany i związki żelaza) w wodzie powstaje zawiesina, ulega hydrolizie, a powstały Mg(OH)<sub>2</sub> odzyskuje się z dolnej części zbiorników hydratacyjnych. Nadmiar strumienia składa się przede wszystkim ze związków nieorganicznych i odprowadzany jest do oczyszczalni ścieków.

### Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki

Środki służące do ograniczania emisji SO<sub>2</sub> można uznać za technikę zintegrowaną z procesem, ponieważ płyny stosowane w płuczkach (Mg(OH)<sub>2</sub>) i wypłukany SO<sub>2</sub> jest ponownie wykorzystywany w tym procesie jako substancje chemiczne do warzenia. Technikę tę można stosować zarówno w nowych, jak i w istniejących zakładach.

### Aspekty ekonomiczne

Brak danych

### Motywacja do wdrożenia techniki

Odzyskiwanie SO<sub>2</sub> ze spalania ługu powarzelnego jest niezbędne do przygotowywania ługu warzelnego i przeprowadza się je zarówno ze względów ekonomicznych, jak i ekologicznych. Jednak w celu dodatkowego ograniczenia możliwości zakwaszania SO<sub>2</sub> zazwyczaj wdraża się wydajniejsze systemy. Takie wydajniejsze systemy charakteryzują się dodatkowym etapem z płuczką do absorpcji SO<sub>2</sub>.

### Instalacje referencyjne

Podobne systemy stosuje wiele różnych zakładach w Europie.

### Bibliografia

[ 236, COM 2009 ], [ 267, Lenzing 2009 ] [ sprawozdanie SEPA 4008, 1992 ], [ dane z różnych wizyt na miejscu 2009 ].

## 4.3.22 Wychwytywanie gazów o nieprzyjemnym zapachu i rozproszonych emisji SO<sub>2</sub> oraz proces spalania w kotle odzysknicowym lub mycia w płuczkach

### Opis

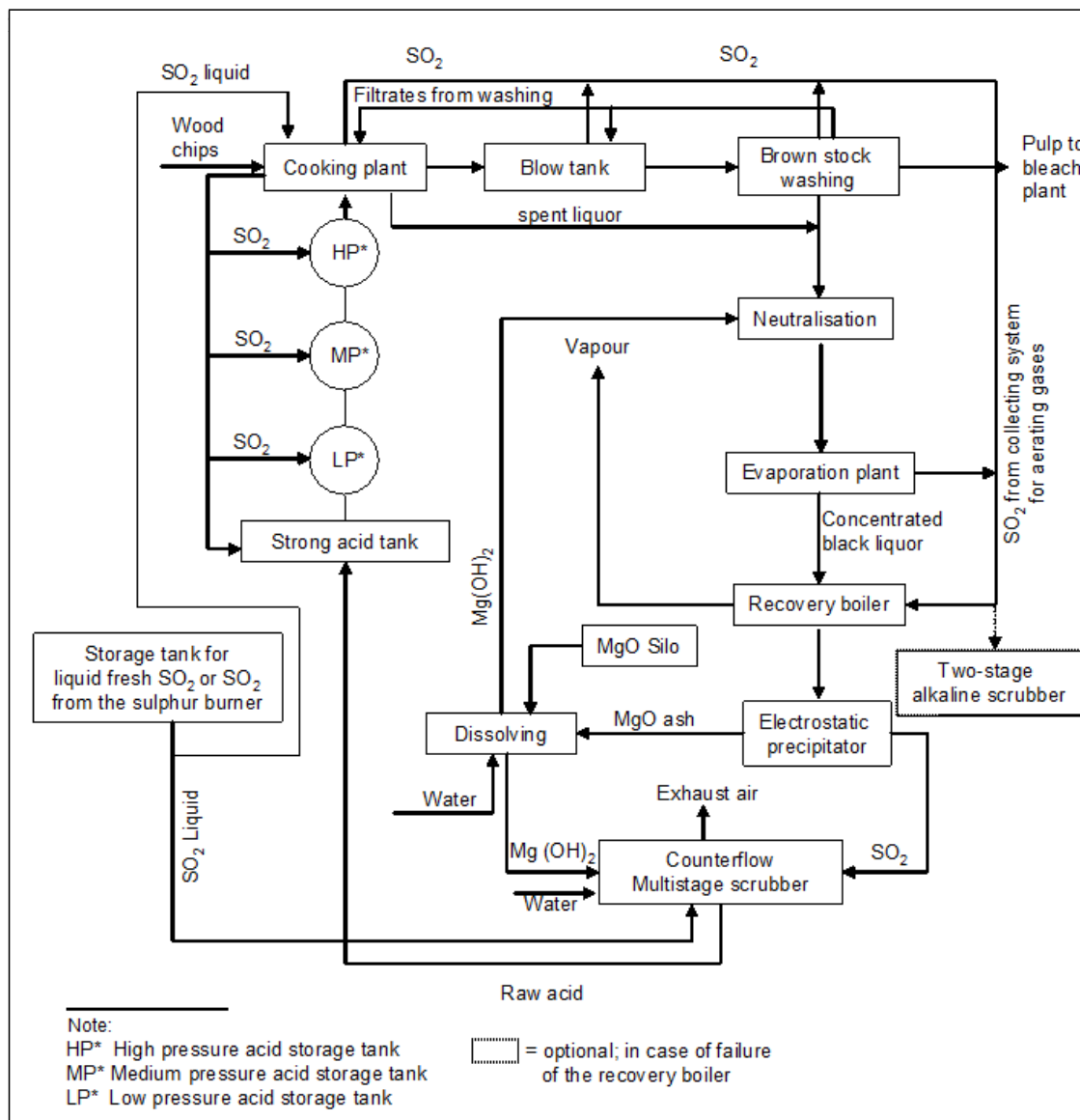
Oprócz kotła odzysknicowego i kotła korowego istnieją też inne istotne potencjalne emisje SO<sub>2</sub> powstające w trakcie procesu: emisje nieorganizowane – czyli nieukierunkowany gaz z produkcji kwaśnego ługu, z komór fermentacyjnych, dyfuzorów lub zbiorników wydmuchowych – zawierają wysokie stężenie SO<sub>2</sub>. Emisje o niższym stężeniu SO<sub>2</sub> mogą wydostawać się z mycia masy celulozowej. Im wyższe stężenie SO<sub>2</sub> w ługu warzelnym, tym większe potencjalne emisje nieorganizowane z procesu. Na przykład gazy odprowadzane z instalacji do warzenia (patrz rysunek 4.54) mają znaczną zawartość dwutlenku siarki wprowadzonego do komory fermentacyjnej jako

substancja chemiczna do warzenia. Zazwyczaj w zbiornikach wchłaniających o różnych poziomach ciśnienia są one wychwytywane i odzyskiwane zarówno ze względów ekonomicznych, jak i ekologicznych. Emisje  $\text{SO}_2$  z procesów mycia i przesiewania oraz z otworów wentylacyjnych z niektórych etapów z wykorzystaniem parowników również można poddać odzyskowi za pomocą wychwytywania gazów i wprowadzania ich do kotła odzysknicowego jako powietrza do spalania. Wówczas z gazów spalinowych z kotła odzysknicowego za pomocą wielostopniowych płuczek przeciwprądowych odzyskuje się dwutlenek siarki i zwraca do ponownego wykorzystania jako substancję chemiczną do warzenia (patrz rysunek 4.54). Nadmiar strumienia można skierować do jedno- lub dwustopniowej płuczki alkalicznej ( $\text{NaOH}$ ), funkcjonującej jako pewnego rodzaju system rezerwowy, który w razie awarii kotła odzysknicowego można napęlić gazami spalinowymi zawierającymi  $\text{SO}_2$ . Taka możliwość oczyszczania gazu nie jest dostępna w przypadku celulozowni, w których jako zasadę stosuje się wapń i w których nie działa instalacja do odzysku, lecz z całości ługu powarzelnego siarczynowego wytwarza się jakieś produkty. Do działań służących kontroli rozproszonych emisji  $\text{SO}_2$  zalicza się proces odzysku i ponownego wykorzystania gazu  $\text{SO}_2$  z odpędzania ługu powarzelnego siarczynowego po odparowywaniu jako substancji chemicznych do warzenia. Niewielkie ilości  $\text{SO}_2$  (o dużej objętości i niskim stężeniu) trafiają do system(-ów) z płuczkami. Oznacza to, że w przypadku zakładu, w którym jako zasadę wykorzystuje się wapń i stosuje koncepcję biorafinerii, emisje rozproszone z sekcji komór fermentacyjnych i z instalacji etanolu powinny być na tym samym poziomie co emisje z zakładu, w którym stosuje się zasadę rozpuszczalną i system odzysku.

Gazy o nieprzyjemnym zapachu powstają w wyniku takich samych procesów jak w przypadku gazów zawierających  $\text{SO}_2$ , które uwalniane są z tych procesów w tym samym czasie. W wielu zakładach zainstalowano system do wychwytywania różnych gazów wentylacyjnych z różnych procesów. Zdecydowana większość tych rozproszonych gazów wychwytywana jest przez system wychwytywania słabych gazów i wykorzystywana w kotle odzysknicowym.

Gazy o nieprzyjemnym zapachu powstają w instalacji do warzenia, w instalacji odparowywania, w dyfuzorach i podczas mycia masy celulozowej. Ograniczanie gazów o nieprzyjemnym zapachu odbywa się przede wszystkim poprzez wychwytywanie najważniejszych gazów niezorganizowanych i odprowadzaniu ich do spalania w kotle odzysknicowym, w którym gazy spalinowe oczyszcza się za pomocą wielostopniowych płuczek gazów spalinowych. Inne środki wiążą się z zastosowaniem uszczelki wodnych w rurze przeciwprężnej wychodzącej z komór fermentacyjnych lub płuczek gazów spalinowych przeznaczonych na emisje niezorganizowane z komór fermentacyjnych. Na rysunku 4.54 przedstawiono obwód  $\text{SO}_2$  w zakładzie siarczynowym i główne źródła emisji rozproszonych  $\text{SO}_2$ , wychwytywanych i spalanych w kotle odzysknicowym (na rysunku 4.54 nie uwzględniono sytuacji zakładów wykorzystujących jako zasadę wapń, w których nie ma kotła odzysknicowego. W takich zakładach stosuje się inne techniki ograniczania rozproszonych gazów zawierających  $\text{SO}_2$ ).





Rysunek 4. 54 Obwód SO<sub>2</sub> w zakładzie siarczynowym i główne źródła emisji rozproszonych SO<sub>2</sub>, wychwytywanych i spalanych w kotle odzysknicowym

SO <sub>2</sub> liquid	SO <sub>2</sub> w stanie ciekłym
Wood chips	Zrębki
Cooking plant	Instalacja warzelnicza
Filtrates from washing	Filtrat z płukania
Blow tank	Zbiornik wydmuchowy
Brown stock washing	Mycie masy celulozowej
Pulp to bleach plant	Masa celulozowa do bielarni
spent liquor	Ług powarzelnny
Strong acid tank	Zbiornik na silny kwas
Vapour	Para
Neutralisation	Neutralizacja
SO <sub>2</sub> from collecting system for aerating gases	SO <sub>2</sub> z systemu wychwytywania gazów napowietrzających
Concentrated black liquor	Stężony ług powarzelnny
Recovery boiler	Kocioł odzysknicowy
MgO Silo	Silos na MgO
Two-stage alkaline scrubber	Dwustopniowa płuczka alkaliczna
Electrostatic precipitator	Filtr elektrostacyjny
MgO ash	Popiół MgO

Dissolving	Rozpuszczanie
Water	Woda
Exhaust air	Spaliny
Counterflow Multistage scrubber	Wielostopniowy filtr przeciwprądowy
Water	Woda
Storage tank for liquid fresh SO <sub>2</sub> or SO <sub>2</sub> from the sulphur burner	Zbiornik magazynujący na świeży SO <sub>2</sub> w stanie ciekłym lub SO <sub>2</sub> z palnika siarki
SO <sub>2</sub> Liquid	SO <sub>2</sub> w stanie ciekłym
Raw acid	Surowy kwas
Note:	Uwaga:
HP* High pressure acid storage tank	HP* Zbiornik wysokociśnieniowy do magazynowania kwasu
MP* Medium pressure acid storage tank	MP* Zbiornik średniociśnieniowy do magazynowania kwasu
LP* Low pressure acid storage tank	LP* Zbiornik niskociśnieniowy do magazynowania kwasu
= optional; in case of failure of the recovery boiler	= opcjonalnie; w razie awarii kotła odzysknicowego

### Główne korzyści środowiskowe

Wychwytywanie gazów wentylacyjnych z instalacji do warzenia, z mycia masy celulozowej i sekcji odparowywania prowadzi do znacznego ograniczenia emisji SO<sub>2</sub>, które w przeciwnym razie trafiłyby do środowiska. Pozwala to również na oszczędności, jeśli chodzi o zużycie zawierających SO<sub>2</sub> uzupełniających substancji chemicznych.

### Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

Dobrze zaprojektowane i obsługiwane systemy wychwytywania gazów zawierających SO<sub>2</sub> gazów ze wszystkich istotnych etapów procesu powinny umożliwiać odzyskanie niemalże wszystkich nieorganizowanych emisji SO<sub>2</sub> z zakładu. Urządzenia i rury próżniowe powinny być monitorowane automatycznie, tak by natychmiast wykrywać ewentualne awarie systemu wychwytywania gazów i zgłaszać je pracownikom ze sterowni. Istnieją zakłady, w których system zapasowy działa w trybie gotowości, tak by faza rozruchu była bardzo krótka. Jeśli system wychwytywania gazu obsługiwany jest właśnie w taki sposób, do środowiska nie powinny trafiać żadne większe, dające się zmierzyć rozproszone emisje SO<sub>2</sub>.

### Oddziaływanie na procesy i środowisko

W wyniku stosowania tej techniki nie powstają żadne znaczne negatywne efekty wzajemnych powiązań pomiędzy różnymi komponentami środowiska. Energia potrzebna do zasilania urządzeń próżniowych systemu wychwytywania gazu rekompensowana jest oszczędnościami na substancjach chemicznych (świeże SO<sub>2</sub>).

### Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki

Technika ta może być stosowana we wszystkich zakładach, zarówno nowych, jak i już istniejących, choć z perspektywy czasu wdrożenie tej techniki jest pod względem technicznym i ekonomicznym bardziej wymagające (wymaga bardziej skomplikowanej instalacji urządzeń wentylacyjnych i zmiany rur).

### Aspekty ekonomiczne

Brak danych

### Motywacja do wdrożenia techniki

Główną motywacją do wdrażania tej techniki stanowią krajowe przepisy dotyczące emisji do powietrza i ochrony zdrowia pracowników (maksymalne dopuszczalne emisje w miejscu pracy). Zawierające SO<sub>2</sub> spaliny z procesu technologicznego zazwyczaj poddawane są odzyskowi zarówno ze względów ekonomicznych (SO<sub>2</sub> to substancja chemiczna wykorzystywana do warzenia), jak i ze względów ekologicznych.

### Instalacje referencyjne

Wszystkie celulozownie siarczynowe w Niemczech i Austrii, w których jako zasadę stosuje się magnez

## Bibliografia

Brak danych

### 4.3.23 Środki zapobiegające występowaniu niekontrolowanych warunków eksploatacyjnych oraz środki mające na celu ograniczenie konsekwencji wypadków

Jako przykład tego, w jaki sposób zapobiegać występowaniu niekontrolowanych warunków eksploatacyjnych w celulozowniach siarczynowych, w tym podrozdziale opisano środki bezpieczeństwa dotyczące dostaw i magazynowania SO<sub>2</sub> (patrz również podrozdział 4.1.6).

#### Opis

Do celów rekompensowania strat w obwodzie substancji chemicznych celulozowni siarczynowej potrzeba uzupełniającego dwutlenku siarki. Zapotrzebowanie na ogół udaje się zaspokoić poprzez zaopatrzenie w SO<sub>2</sub> w stanie ciekłym. Przeważnie przechowywany jest on w odpowiednich zbiornikach. Cały obszar celulozowni, na którym przechowuje się, przetwarza i wykorzystuje SO<sub>2</sub> w stanie ciekłym (w tym również w instalacjach do napełniania i przechowywania, a w niektórych przypadkach również do skraplania dwutlenku siarki, w tym również rurociągi na SO<sub>2</sub> w stanie ciekłym) podlega kontroli w ramach analizy bezpieczeństwa, która w razie zmian jest regularnie aktualizowana. W przypadku dalszych obszarów w zakładzie, na których stosuje się SO<sub>2</sub>, przeprowadza się badanie kontrolne (np. instalacja do oczyszczania gazów o nieprzyjemnym zapachu, hala na komory fermentacyjne, obszar na zbiorniki i spaliny odprowadzane do instalacji do odsiarczania). W ramach kontroli bezpieczeństwa sprawdza się również potencjalne zagrożenia związane z transportem kolejną SO<sub>2</sub> w stanie ciekłym. Opinię publiczną informuje się o zagrożeniach związanych z dwutlenkiem siarki i odpowiednim sposobie postępowania podczas niekontrolowanego działania zakładu.

Do sposobów ograniczania zagrożeń związanych z przechowywaniem, magazynowaniem, przenoszeniem i stosowaniem SO<sub>2</sub> oraz wzorców odpowiedzialnego postępowania w tym zakresie zalicza się następujące urządzenia i środki techniczne:

- węże o podwójnych ściankach lub przymocowane na stałe rury na SO<sub>2</sub>;
- bezpieczne dostawy energii elektrycznej;
- korzystanie z automatycznych analizatorów SO<sub>2</sub>;
- zrównoważone pod względem środowiska oczyszczanie SO<sub>2</sub> w razie awarii normalnej pracy (ssanie i oczyszczanie lub rezerwowo magazyn).

Oprócz tych środków można wdrożyć też następujące działania organizacyjne:

- regularne kontrole i prace konserwacyjne wszystkich zespołów technicznych, w których przechowuje się, przenosi i używa SO<sub>2</sub> w stanie ciekłym;
- plan alarmowy uwzględniający odpowiednie środki podejmowane w razie niekontrolowanych wydarzeń;
- wykwalifikowany personel odpowiedzialny za działania podejmowane w razie poważnych awarii;
- szkolenie pracowników;
- informacje dla opinii publicznej.

Ewentualnie zamiast wykorzystywania SO<sub>2</sub> w stanie ciekłym można stosować również siarkę pierwiastkową. W takim przypadku w palniku siarki spalana jest siarka pierwiastkowa, do małego kotła odzysknicowego odprowadzana jest uwalniana energia cieplna, a w wieżach absorpcyjnych wyodrębnia się SO<sub>2</sub> (patrz podrozdział 4.1.6). Zapobiega to również wszelkim potencjalnym zagrożeniom związanym z przenoszeniem stężonego SO<sub>2</sub> w stanie ciekłym.

#### Główne korzyści środowiskowe

Bez tych środków nie uda się osiągnąć natychmiastowego ograniczenia emisji. Prawdopodobieństwo wystąpienia poważnej awarii, a także skutki niekontrolowanego działania instalacji są jednak w dużej mierze ograniczone.

#### Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

---

Opisany system bezpieczeństwa dostaw i magazynowania SO<sub>2</sub> z powodzeniem stosują na przykład zakłady Sappi Fine Paper w Alfeld i Ehingen (DE).

**Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Nie przewiduje się żadnych efektów wzajemnych powiązań pomiędzy różnymi komponentami środowiska.

**Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Można je stosować zarówno w nowych, jak i starych zakładach.

**Aspekty ekonomiczne**

Brak danych

**Motywacja do wdrożenia techniki**

Motywację do wdrażania tej techniki stanowi dążenie do eksploatacji celulozowni przy mniejszym ryzyku występowania zagrożeń dla środowiska i okolicznych znaczenie terenów.

**Instalacje referencyjne**

Podobne systemy stosuje wiele różnych zakładów w Europie.

**Bibliografia**

Brak danych

### 4.3.24 Ograniczanie zużycia energii (efektywność energetyczna)

Jeśli chodzi o efektywność energetyczną, przydatne informacje można znaleźć w dokumencie referencyjnym na temat najlepszych dostępnych technik w zakresie efektywności energetycznej [268, COM 2009]. Środki na rzecz oszczędności energii w skrócie przedstawiono poniżej, rozróżniając wykorzystanie energii cieplnej lub pary od wykorzystania energii elektrycznej.

#### Opis

W celu zmniejszenia zużycia świeżej pary i energii elektrycznej oraz w celu zwiększenia wytwarzanej ich ilości w zakładzie dostępnych jest wiele różnych działań.

#### I. Działania na rzecz ograniczania strat energii cieplnej i niskiego jej zużycia:

- i. wysoka zawartość suchej masy w korze,
- ii. kotły parowe o wysokiej wydajności, np. niskie temperatury spalin,
- iii. wydajne wtórne systemy grzewcze, np. gorąca woda o temperaturze ok. 85°C,
- iv. szczelnie zamknięta instalacja wodna,
- v. stosunkowo dobrze zamknięta bielarnia,
- vi. wysokie stężenie masy (technika dla średniego lub wysokiego stężenia),
- vii. wykorzystanie wtórnej energii cieplnej do ogrzewania budynków,
- viii. dobra kontrola procesów,
- ix. system zarządzania energią,
- x. optymalizacja zintegrowanej sieci wymienników ciepła.

#### II. Środki na rzecz obniżania zużycia energii elektrycznej:

- i. możliwie jak najwyższe stężenie podczas przesiewania i czyszczenia,
- ii. regulacja prędkości różnych dużych silników,
- iii. wydajne pompy próżniowe,
- iv. odpowiednio dobrany rozmiar rur, pomp i wentylatorów,
- v. zoptymalizowane poziomy zbiorników.

#### III. Działania na rzecz zwiększenia ilości wytwarzanej energii elektrycznej:

- i. wysokie ciśnienie w kotłach,
- ii. ciśnienie pary na wylocie w turbinie przeciwprężnej na tak niskim poziomie, jak to technicznie możliwe,
- iii. turbina kondensacyjna do produkcji energii elektrycznej z nadmiaru pary,
- iv. turbina o wysokiej wydajności,
- v. podgrzewanie powietrza i paliwa wprowadzanego do kotłów.

Efektów tego rodzaju działań energooszczędnych często nie da się łatwo wykazać w postaci wartości zużycia energii, ponieważ poprawa zależy od sytuacji w zakładzie przed ich wdrożeniem.

#### Główne korzyści środowiskowe

Techniki mające na celu oszczędzanie energii służą do ograniczania zużycia energii cieplnej i energii elektrycznej. Dzięki nim można zaoszczędzić zasoby i ograniczyć emisje pośrednie i ilość odpadów powstających w związku z wytwarzaniem energii. Im mniej zużywa się energii, tym mniej zużywa się również paliw kopalnych i paliw innego rodzaju, a także powstaje mniej emisji do powietrza, w tym dwutlenku węgla.

#### Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

Orientacyjne poziomy zużycia energii w przypadku stosowania wyżej wymienionych środków służących oszczędzaniu energii można znaleźć w tabeli 4.32.

Tabela 4. 32 Orientacyjne poziomy zużycia energii cieplnej i elektrycznej z procesu technologicznego brutto w przypadku różnych rodzajów celulozowni siarczynowych

Rodzaj celulozowni siarczynowej	Orientacyjny poziom zużycia energii cieplnej z procesu technologicznego brutto w kWh/t pow. s.m.	Orientacyjny poziom zużycia energii elektrycznej w kWh/t pow. s.m.	Uwagi
Produkcja bielonej masy celulozowej siarczynowej lub masy produkowanej metodą magnefitę do produkcji papieru (masy nadającej się do pompowania)	2 100 – 2 400	400 – 700	Poziomy te dotyczą produkcji masy nadającej się do pompowania. Na suszenie masy dodatkowo zużyto by ok. 780-840 kWh energii cieplnej/t pow. s.m. i 100 kWh energii elektrycznej/t pow. s.m.
Produkcja bielonej masy celulozowej siarczynowej lub masy do produkcji papieru (masy nadającej się do pompowania)	2 900 – 3 200	500 – 800	Poziomy te dotyczą masy powietrznie suchej, czyli uwzględniono tu także suszarkę do suszenia masy. W razie uwzględnienia procesów zużywających parę na produkty uboczne zużycie energii może odpowiednio wzrosnąć.
Produkcja bielonej masy celulozowej siarczynowej do produkcji wiskozy	3 200 – 3 500	700 – 800	Poziomy te dotyczą powietrznie suchej masy (przy uwzględnieniu suszarek) i obejmują etap bielarnia ozonem.

W odniesieniu do orientacyjnych poziomów zużycia energii podanych w tabeli 4.32 powyżej pod uwagę wzięto poniższe granice systemu:

- (1) Poziomy zużycia energii dotyczą całej produkcji netto w zakładach i uwzględniono w nich również pompy, mieszadła i sprężone powietrze. Pod uwagę wzięto także peryferyjne podsystemy do obróbki wody nieoczyszczonej i ścieków, osadów i odrzutów, takich jak na flotatory do flotacji drobnopęcherzykowej, lub prasy śrubowe do odrzutów lub osadów oraz oczyszczalnię ścieków.
- (2) Dane te ukazują zużycie energii brutto i nie uwzględniono w nich faktu, że poprzez spalanie części lub całości ługu powarzelnego większość zakładów wytwarza znaczną część energii samodzielnie. Poza tym kilka zakładów ze spalania kory, osadów itp. produkuje również parę, czego także nie wzięto pod uwagę w odniesieniu do energii brutto.
- (3) W zakresach tych uwzględniono wszystkie rodzaje procesów związanych z roztwarzaniem siarczynowym, począwszy od placu drzewnego, a skończywszy albo na zbiorniku do magazynowania (w przypadku zakładów zintegrowanych) masy najadającej się do pompowania (gotowej do użycia), albo na suszarce do suszenia masy celulozowej (w przypadku na masy do sprzedaży na rynek).
- (4) W danych dotyczących zużycia energii nie uwzględniono pierwotnej energii doprowadzanej w postaci paliw do produkcji energii, natomiast przedstawiono w nich poziom zużycia energii cieplnej i elektrycznej z procesów technologicznych.
- (5) W przypadku energii cieplnej wartości związane ze zużyciem dotyczą pojemności cieplnej wykorzystywanej pary.

### Oddziaływanie na procesy i środowisko

Nie zaobserwowano żadnego negatywnego oddziaływania na środowisko.

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Nadaje się do stosowania w zasadzie we wszystkich celulozowniach siarczynowych.

#### **Aspekty ekonomiczne**

W 2008 r. koszty energii elektrycznej zazwyczaj stanowiły około 15% całkowitych kosztów produkcji masy celulozowej. Paliwa kopalne stanowią około 11% całkowitych kosztów. Tym samym oszczędność energii poprawia konkurencyjność zakładów.

#### **Motywacja do wdrożenia techniki**

Zużycie energii jest jednym z kluczowych czynników wpływających na koszty w przypadku wszystkich celulozowni. W przypadku gdy zwrot z inwestycji na to pozwala, wymagania gospodarcze nakłaniają do poszukiwania oszczędności.

#### **Instalacje referencyjne i bibliografia**

Wiele celulozowni siarczynowych w Europie

#### **4.3.25 Techniki redukcji hałasu**

Patrz podrozdział on 2.9.13.

### **4.4 Nowe techniki**

Bezpośrednio lub pośrednio celulozownie siarczynowe opierają swoją działalność na leśnych surowcach odnawialnych. Prace rozwojowe mające na celu zminimalizowanie oddziaływania na środowisko ze strony zakładów dzielą się na dwie dziedziny:

1. przekształcania produktów ubocznych na energię w postaci energii elektrycznej, pary wodnej i ogrzewania sieciowego;
2. opracowywanie technologii biorafinerii: do celulozowni dostarcza się drewno, wodę, energię elektryczną i pozostałe surowce, a poza masą celulozową zakład bezpośrednio lub pośrednio może dostarczać inne produkty, które mogą zastąpić produkty bazujące na oleju.

Ze względu na panujące w branży w ostatnich latach wysokie koszty energii dla globalnego przemysłu leśnego stopniowe odchodzenie od paliw kopalnych stanowi konieczność ekonomiczną. Biorafinerie postrzegane są jako bardzo obiecująca droga umożliwiająca osiągnięcie celów w zakresie ochrony środowiska i zrównoważonego rozwoju. Koncepcja biorafinerii ma potencjał, aby zapewnić maksymalne korzyści ekonomiczne i środowiskowe poprzez efektywne wykorzystanie wszystkich składników drewna. Niemniej jednak w przypadku niektórych koncepcji do rozwiązania pozostaje kwestia stosunkowo wysokich emisji do wody.

Przekształcanie zakładów siarczynowych w biorafinerie na potrzeby połączonej produkcji biopaliw, biomateriałów, substancji biochemicznych, białek i bioenergii ma w dłuższej perspektywie duże możliwości, również w przypadku gdy całość celulozy przekształca się na substancje chemiczne i z zakładu w ogóle nie dostarcza się celulozy. Jednak konieczny jest znaczny rozwój procesów, produktów i rynków. W Europie rozpoczęto już kilka inicjatyw w tym kierunku.

## 5 ROZTWARZANIE MECHANICZNE I CHEMOMECHANICZNE

W roztwarzaniu mechanicznym włókna drzewne oddziela się od siebie przy użyciu energii mechanicznej stosowanej w macierzy drewna, powodując stopniowy rozpad wiązań pomiędzy włóknami i powstawanie wiązek włókien, pojedynczych włókien lub ich fragmentów. To właśnie dzięki tej mieszance całych włókien i ich fragmentów masa mechaniczna charakteryzuje się korzystnymi właściwościami drukowania. Roztwarzanie mechaniczne polega na zachowaniu głównej części ligniny w celu uzyskania wysokiej wydajności przy dopuszczalnych właściwościach wytrzymałościowych i jasności. Masa mechaniczna charakteryzuje się niską odpornością na starzenie, co powoduje skłonność do odbarwiania.

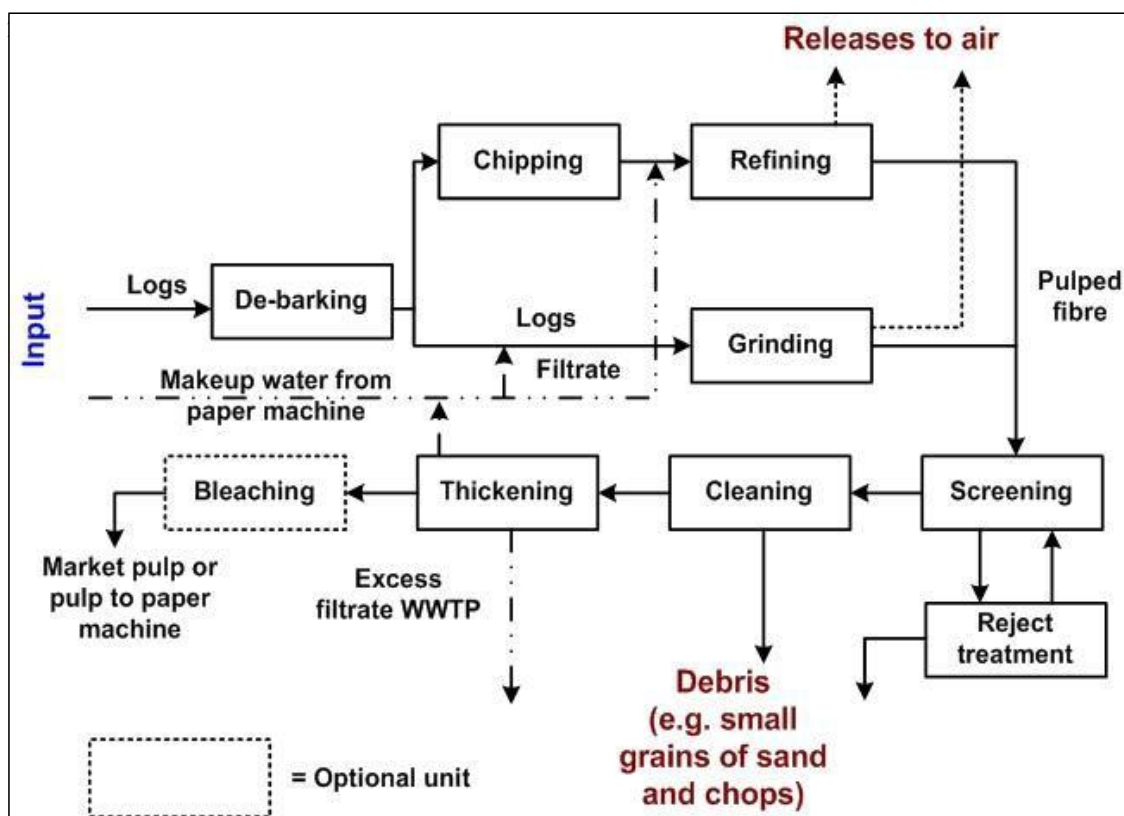
Do głównych procesów i technik zalicza się produkcja ścieru drzewnego, ciśnieniowego ścieru drzewnego, masy termomechanicznej, masy chemomechanicznej i masy chemotermomechanicznej. Główne procesy roztwarzania, surowce, wydajność drewna i zastosowania końcowe różnych rodzajów masy podsumowano w tabeli 5.1.

Tabela 5.1 Główne procesy roztwarzania, surowce, wydajność drewna i zastosowania końcowe różnych rodzajów masy

Proces	Surowce	Wydajność	Typowe zastosowania
Ścier drzewny	Świerk i jodła (drewno drzew iglastych)	95 – 98,5 %	Papier drukowy i papier do pisania oraz papier gazetowy
Masa termomechaniczna	Świerk i jodła (drewno drzew iglastych)	93 – 97,5 %	Papier drukowy i papier do pisania oraz papier gazetowy
Masa chemomechaniczna	Świerk, ale również osika i buk, NaOH, Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> and H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	80 – 90 %	Papier drukowy i papier do pisania, chusteczki i kartonowe opakowania
Masa chemotermomechaniczna	Świerk, ale również osika i buk, NaOH, Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub> and H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	90 – 94 %	Papier drukowy i papier do pisania, chusteczki i kartonowe opakowania

Na rysunku 5.1 przedstawiono zarys głównych etapów podczas roztwarzania mechanicznego





Rysunek 5.1 Główne etapy podczas roztwarzania mechanicznego

Releases to air	Emisje do atmosfery
Chipping	Zrębkowanie
Refining	Uszlachetnianie
Input	Materiał wsadowy
Logs	Bale
De-barking	Korowanie
Logs	Bale
Grinding	Mielenie
Pulped fibre	Rozwłóknione włókna
Filtrate	Filtrat
Makeup water from paper machine	Woda uzupełniająca z maszyny papierniczej
Bleaching	Bielenie
Thickening	Zagęszczanie
Cleaning	Oczyszczanie
Screening	Przesiewanie
Market pulp or pulp to paper machine	Masa do sprzedaży na rynek lub masa kierowana do maszyny papierniczej
Excess filtrate WWTP	Oczyszczalnia na nadmiar filtratu
Reject treatment	Oczyszczanie odpadów
Debris (e.g. small grains of sand and chops)	Odrzut (np. małe ziarna piasku i ścinki)
Optional unit	Moduł opcjonalny

Istnieją dwa główne procesy wykorzystywane do produkcji w ramach roztwarzania mechanicznego. W roztwarzaniu ścieru drzewnego lub ciśnieniowego ścieru drzewnego bale drewna dociska się do obracającego się kamienia rozdrabniarki (ścieraka), jednocześnie dodając wodę. Rafinerowa masa mechaniczna, taka jak ta z roztwarzania termomechanicznego i chemotermomechanicznego, powstaje w wyniku rozwłókniania zrębków między metalowymi tarczami rafinera (młyna). Elementy wywołujące oddziaływanie mechaniczne – grys na kamieniu

rozdrabniarki do roztwarzania i krawędzie występów noży na stalowej tarczy w rafinerze – gwarantują w powstałej masie typową mieszankę włókien i ich fragmentów. Ścier drzewny charakteryzuje się wyższym odsetkiem drobnego materiału i uszkodzonych włókien, co zapewnia masie dobre właściwości optyczne i odpowiednią powierzchnię papieru. Im łagodniejsza obróbka w rafinerach, tym wyższa wydajność produkowanych nienaruszonych długich włókien, gwarantująca tym samym większą wytrzymałość masy celulozowej, co z kolei cenione jest we wsadzie włóknistym w przypadku produktów wymagających wysokiej zadrukowalności.

Na właściwości i użyteczność masy celulozowej wpływ może mieć zwiększenie czasu przebywania w obróbce i temperatura obróbki, a w przypadku rafinacji również obróbka chemiczna zrębków. Ze względu na zapotrzebowanie na wyższą temperaturę ścierania lub jakość masy celulozowej (np. w przypadku długich włókien) zazwyczaj wzrasta również zużycie energii. Ze względu na niższą wydajność roztwarzania w wyniku obróbki chemicznej podnosi się poziom zanieczyszczeń. Jej wpływ na zużycie energii zależy od gatunku drewna (drzew iglastych lub liściastych) i od wybranego układu chemicznego. Proces chemotermomechaniczny, podczas którego za pomocą chemikaliów wstępnie zmiękcza się drewno, generalnie uważany jest za technikę roztwarzania mechanicznego, ponieważ przed etapem mechanicznym substancje chemiczne zasadniczo tylko zmiękczejają ligninę, zamiast całkowicie ją rozpuścić, jak ma to miejsce we rzeczywistych procesach roztwarzania chemicznego.

W przeważającej mierze roztwarzanie mechaniczne zintegrowane jest produkcją papieru. We wsadzie włóknistym zazwyczaj znajduje się masa mechaniczna i ma ona zwiększyć nieprzezroczystość i drukowność, a w przypadku niektórych produktów (np. papier graficzny lub plansza graficzna) – sztywność i masę produktu papierowego.

## 5.1 Stosowane procesy i techniki

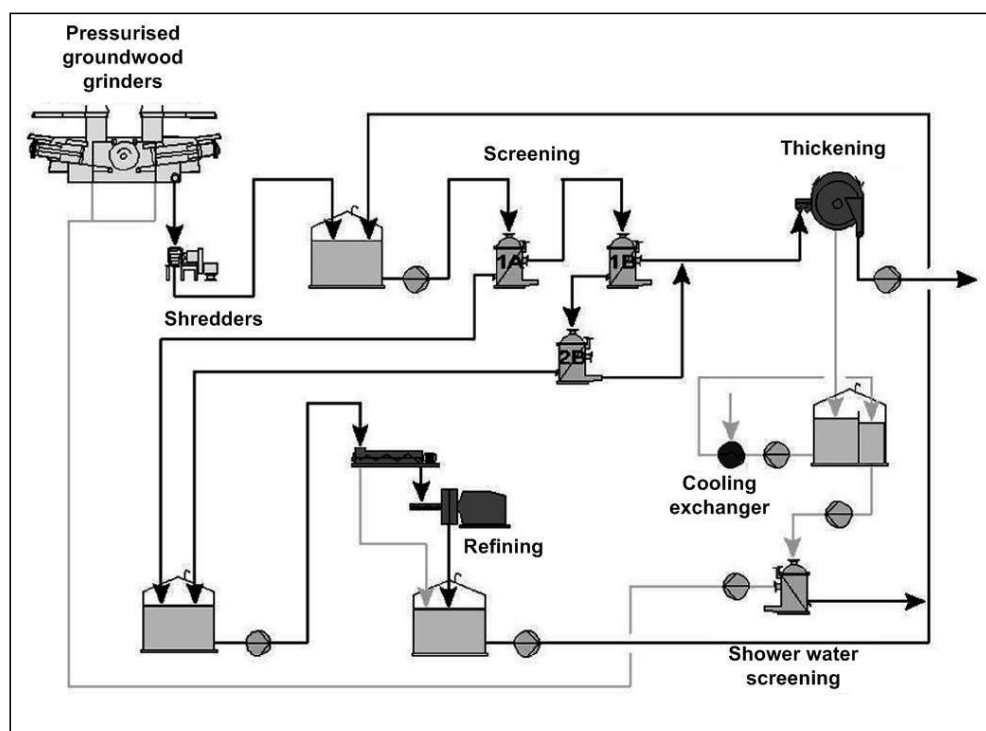
### 5.1.1 Obróbka drewna

Kłody potrzebne do procesu roztwarzania ścieru drzewnego uzyskuje się poprzez przerzedzanie lasów i zazwyczaj mają 8-30 cm średnicy. W przypadku przechowywania drewna do roztwarzania mechanicznego należy zapobiegać jego wysuszeniu, np. poprzez przechowywanie w wodzie lub spryskiwanie stosów bali. Może to wymagać umieszczenia na placu drzewnym systemów gromadzenia wody, tak by uniknąć emisji substancji organicznych, łącznie określanych jako ChZT, oraz substancji toksycznych. Przed rozpoczęciem obróbki kłód trzeba usunąć korę. Podczas korowania papierówki korowanie zazwyczaj odbywa się w beczkach poprzez działanie sił tarcia pomiędzy toczonymi balami. Podczas korowania na przenośniku wylotowym beczki do korowania często do odładzania i mycia drewna używa się wody (patrz sekcja 2.3.1).

### 5.1.2 Roztwarzanie ścieru drzewnego

Proces roztwarzania ścieru drzewnego składa się z linii włókien, systemu do obróbki odpadów i systemów pomocniczych, do których zalicza się przechowywanie substancji chemicznych (patrz sekcja 2.3.2) oraz pary pomocniczej i wytwarzania energii (patrz sekcja 2.6).

Główne procesy podczas wytwarzania ścieru drzewnego przedstawiono na schemacie przepływów na rysunku 5.2, w tym przypadku jest to proces roztwarzania ciśnieniowego ścieru drzewnego. Zakłady produkujące ścier drzewny to w praktyce zawsze zakłady zintegrowane z papiernią, a w związku z tym masy zwykle nie suszy się tam w maszynie do suszenia.



Rysunek 5.2 Schemat przepływów w zakładzie produkującym ciśnieniowy ścier drzewny

Pressurised groundwood grinders	Ścieraki do ciśnieniowego ścieru drzewnego
Screening	Przesiewanie
Thickening	Zagęszczanie
Shredders	Rozdrabniacz
Refining	Uszlachetnianie
Cooling exchanger	Wymiennik chłodzący

Shower water screening	Płukanie wodą natryskową
Source: [ 153, J.Sundholm 1998 ]	Źródło: [ 153, J.Sundholm 1998 ]

### 5.1.2.1 Rozdrabnianie

Początkowe rozwłóknianie odbywa się w rozdrabniarkach poprzez dociskanie kłód drewna do specjalnych, obracających się kamieni do rozdrabniania, gdzie włókna drzewne umieszczone są równoległe do osi kamieni, a wytwarzana masa celulozowa ma stężenie na poziomie około 2%. Stosowane kamienie rozdrabniarki to z reguły kamienie typu ceramicznego i trzeba je co jakiś czas ostrzyć.

Prawie cała energia elektryczna zużywana podczas procesu rozdrabniania przekształcana jest na energię cieplną. Ponieważ energia zużywana podczas rozdrabniania zamienia się w energię cieplną, drewno jest ogrzane, natomiast w obecności wystarczającej ilości wody zmiękczone są wiązania ligniny, z rozdrabnianej powierzchni drewna uwalniane są włókna a drewno rozkłada się na pojedyncze włókna. Ilość zużytej energii odpowiada jakości produktu (wytrzymałości, nieprzezroczystości, etc.). Kamienie do rozdrabniania chłodzi się wodą natryskową, której używa się również do rozkładania włókien i przenoszenia do następnych etapów procesu. Z tego względu dla tego procesu zasadnicze znaczenie ma dostępność wody (rozpraszanie ciepła i redukcja tarcia włókien).

Zapotrzebowanie na energię (kWh/t) w przypadku ścieru drzewnego stanowi istotny parametr procesu, np. wzrost tego zapotrzebowania zawsze wiąże się z lepszymi właściwościami wytrzymałościowymi, ale również z mniejszą zdolność odwadniania (chudością masy).

Doskonałe właściwości wytrzymałościowe rafinerowej masy mechanicznej, zwłaszcza masy termomechanicznej, ze względów konkurencyjności spowodowały dalszy rozwój tradycyjnego procesu rozdrabniania. Opracowano proces roztwarzania ciśnieniowego ścieru drzewnego, podczas którego proces rozdrabniania odbywa się w nadciśnieniu (do około 3 bar). Umożliwia to przeprowadzanie tego procesu przy użyciu wody sitowej o temperaturze rzędu 95 °C oraz przy temperaturze w korycie rozdrabniarki na poziomie 125 °C. Bardziej intensywne zmiękczenie ligniny wynikające z tych temperatur zapewnia lepszą jakość ścieru drzewnego (wyższą wytrzymałość), ale znacznie wyższe są też wymagania techniczne i finansowe. W konsekwencji, gdy masa celulozowa nie jest pod ciśnieniem, powstaje para niskiego ciśnienia. Odzyskiwana para o niskim ciśnieniu wykorzystywana jest głównie do wytwarzania ciepłej wody przemysłowej. Drugą, stosunkowo niedrogą metodą służącą do poprawy jakości ścieru drzewnego jest proces rozdrabniania termicznego. Podczas tego procesu mniejsze są straty ciepła wynikające z odparowywania w strefie rozdrabniania, a temperatura procesu optymalizowana jest za pomocą zbiornika wodnego o głębokość rzędu 200-500 mm, wewnątrz którego kłody drewna przemieszczają się na powierzchni kamieni, a rozdrabniarką można sterować w warunkach rozwłókniania zbliżonych do optymalnych.

### 5.1.3 Rafinerowa masa mechaniczna

Cel procesu rafinowania jest taki sam, jak w przypadku wytwarzania ścieru drzewnego (patrz sekcja 5.1.2), czyli rozluźnianie wiązań ligniny i fibrylacja włókien drzewnych.

Podczas roztwarzania rafinerowej masy mechanicznej w rafinerze zrębki rozdrabnia się między stalowymi tarczami wyposażonymi w kształtki żłobkowane (noże). W zależności od wymaganej jakości masy celulozowej rafinowanie można powtórzyć podczas drugiego etapu rafinera, a czasem nawet trzeciego. Siły wywierane przez noże powodują rozpadanie się zrębków na pęki włókien, pojedyncze włókna i ich fragmenty. Podczas dalszej obróbki następuje również modyfikacja ścian pojedynczych włókien. Większość włożonej energii (praca tarcia) zamienia się w ciepło, które ze zrębków uwalnia część wilgoci. Aby zapobiec zapłonowi drewna w strefie rozwłókniania, konieczne jest dodawanie wody chłodzącej (rozcieńczającej). Rafinerzy zazwyczaj pracują przy wysokim stężeniu (25-50%). Duża ilość pary wodnej, uwalnianej podczas procesu rozwłókniania zwykle gromadzi się w układzie rekuperacji ciepła i zostaje przeznaczona do dalszego wykorzystania.

W pierwotnym procesie wytwarzania rafinerowej masy mechanicznej, mało dzisiaj stosowanym, zrębki poddawano rozwłóknianiu przy ciśnieniu atmosferycznym. Z powodu niskiej temperatury powstawała duża ilość uszkodzonych włókien, ale własności optyczne masy rafinerowej masy mechanicznej były względnie dobre. W celu poprawy jakości masy wprowadzono modyfikacje procesu służące zmiękczeniu drewna w strefie rozwłókniania. Polegają one na wstępnym podgrzewaniu zrębków lub utrzymywaniu w rafinerze zwiększonego ciśnienia. Procesy te umożliwiają wytworzenie masy o nieco wyższej wytrzymałości i zmniejszonej ilości drzazg przy prawie niezmiennym poziomie właściwości optycznych.

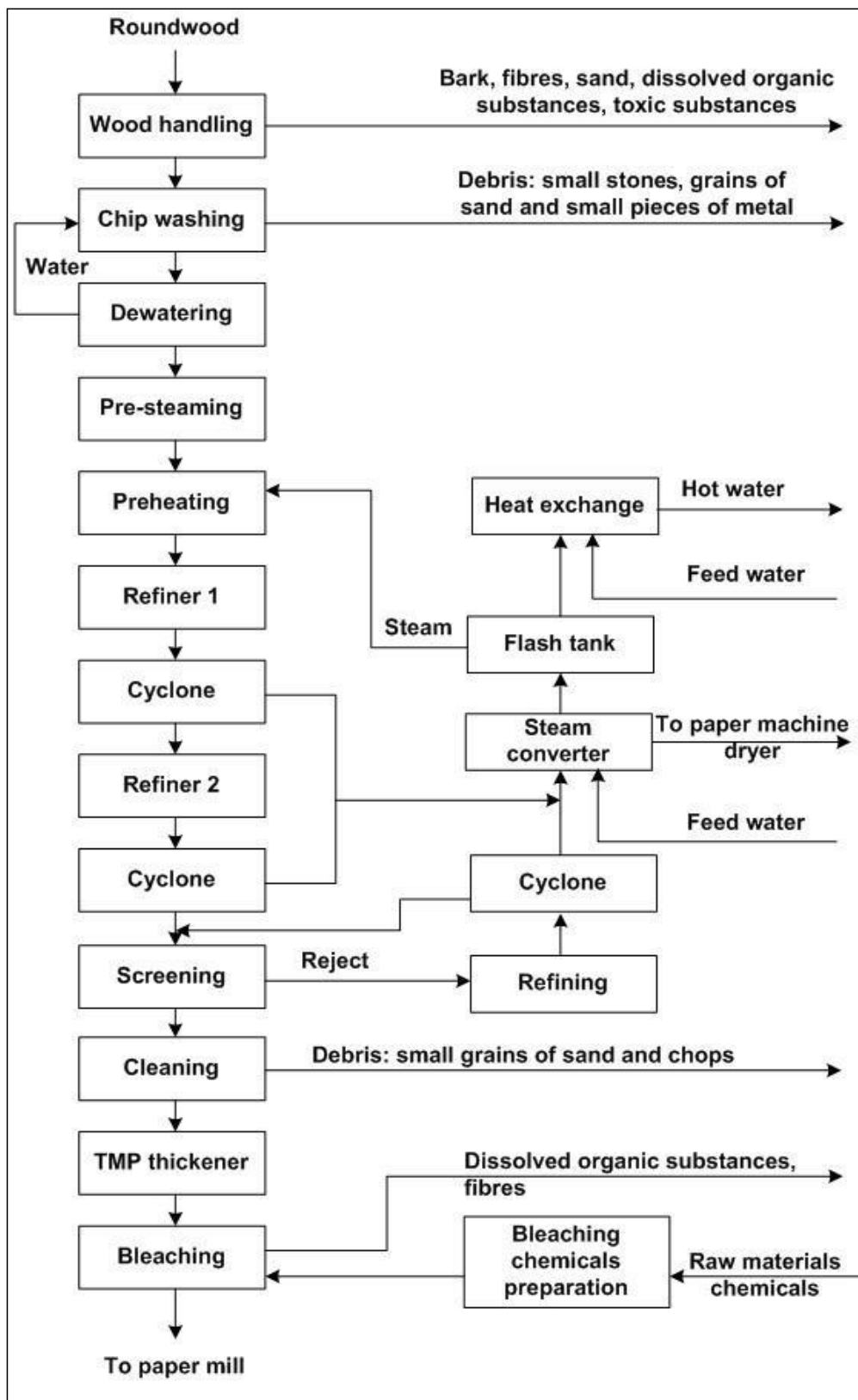
Znacznie lepszą poprawę właściwości wytrzymałościowych i redukcję zawartości drzazg uzyskuje się w procesie roztwarzania termomechanicznego (patrz sekcja 5.1.4), w którym zrębki poddawane są zarówno ogrzewaniu, jak i rozwłóknianiu pod podwyższonym ciśnieniem.

Zmiękczenie drewna wzmaga się również w wyniku łagodnej, wstępnej obróbki zrębków chemikaliami, co także polepsza właściwości masy uzyskanej poprzez rozwłóknianie przy ciśnieniu atmosferycznym lub przy nadciśnieniu (proces chemotermomechaniczny, patrz sekcja 5.1.5).

Ostrzejsza obróbka chemiczna i rozwłóknianie przy ciśnieniu atmosferycznym pozwala uzyskać masę o wysokiej wytrzymałości zarówno z drewna drzew iglastych, jak i liściastych. Te rodzaje masy mechanicznej (chemomechanicznej) są porównywalne z rodzajami masy półchemicznej.

### 5.1.4 Roztworzenie masy termomechanicznej

Proces wytwarzania masy termomechanicznej składa się z linii produkcji włókien i z układów pomocniczych. Do takich układów pomocniczych zalicza się np. obróbkę odrzutów, magazynowania niektórych substancji chemicznych (patrz podrozdział 2.3.2) czy odzysk energii cieplnej (patrz podrozdział 5.3.9). Główne procesy jednostkowe w procesie wytwarzania masy termomechanicznej przedstawiono na rysunku 5.3.



Rysunek 5.3 Schemat procesu wytwarzania termomechanicznej i związanych z nim emisji

Roundwood	Drewno okrągłe (okrągłaki)
Bark, fibres, sand, dissolved organic substances, toxic substances	Kora, włókna, piasek, rozpuszczone substancje organiczne, substancje toksyczne
Wood handling	Obróbka drewna
Chip washing	Mycie zrębków
Debris: small stones, grains of sand and small pieces of metal	Odrzut: drobne kamyczki, ziarna piasku i drobne kawałki metalu
Water	Woda
Dewatering	Odwadnianie
Pre-steaming	Parowanie wstępne
Preheating	Ogrzewanie wstępne
Steam	Para
Flash tank	Zbiornik separatora cieczerwogazowego
Heat exchange	Wymiana ciepła
Hot water	Gorąca woda
Feed water	Woda zasilająca
Refiner 1	Rafiner 1
Cyclone	Cyklon
Refiner 2	Rafiner 2
Steam converter	Przetwornica pary
To paper machine dryer	Do suszarni maszyny papierniczej
Feed water	Woda zasilająca
Screening	Przesiewanie
Reject	Odrzut
Refining	Rafinowanie
Cleaning	Oczyszczanie
Debris: small grains of sand and chops	Odrzut: małe ziarna piasku i ścinki
TMP thickener	Zagęszczacz masy termomechanicznej
Bleaching	Bielenie
Dissolved organic substances, fibres	Rozpuszczone substancje organiczne, włókna
Bleaching chemicals preparation	Przygotowanie substancji chemicznych do bielenia
Raw materials chemicals	Surowce, chemikalia
To paper mill	Do papierni
Source: [ 131, SEPA report 1997 ]	Źródło: [ 131, raport SEPA 1997 ]

W tej części szczegółowiej opisano jedynie proces termomechaniczny, tj. główne procesy jednostkowe, które należy odróżnić od procesu roztwarzania ścieru drzewnego z punktu widzenia wpływu na środowisko. Przesiewanie, oczyszczanie, obróbkę odrzutu, zagęszczanie i bielienie masy mechanicznej opisano w odpowiednich fragmentach podrozdziałów: 5.1.6 i 5.1.7.

W procesie wytwarzania termomechanicznego wymyte i przesortowane zrębki poddawane są wstępnej obróbce termicznej, a ich rozdrabnianie i rozwłóknianie odbywa się w młynach tarczowych pod zwiększonym ciśnieniem.

Pewną ilość drewna mogą stanowić wióry z tartaków i ścier drzewny. Wióry tartaczne, jak i inne zrębki z zewnątrz wymagają jedynie przesiewania i magazynowania. W przypadku stosowania nieokorowanego drewna okrągłego (okrągłaków) trzeba je najpierw okorować i następnie porąbać na zrębki. Zrębki przeznaczone do produkcji masy mechanicznej nie mogą zawierać kamieni, piasku, kawałków metalu i innych twardych zanieczyszczeń, które mogą powodować zdzieranie lub niszczenie tarcz młynów. Dlatego w większości przypadków w celu usunięcia zanieczyszczeń poddaje się je myciu. W konsekwencji z mycia zrębków pozostają odpady stałe zawierające drobne kamyki, ziarna piasku i drobne kawałki metalu. Niewielka ilość ścieków od czasu do czasu odprowadza się jako nadmiar.

Po myciu i zrębkowaniu zrębki poddawane są wstępnemu ogrzewaniu parą wodną, a następnie rozwłókniane albo w układzie jednostopniowym w podwyższonej temperaturze i ciśnieniu, albo w układzie dwustopniowym, w którym po stopniu pierwszym następuje drugi stopień rozwłókniania przy ciśnieniu zwiększonym lub atmosferycznym. Rozwłóknianie odrzutów z sortowania zazwyczaj odbywa się w młynach drugiego stopnia, a czasem podczas drugiego etapu rafinera.

Znaczna część stosunkowo dużej ilości energii elektrycznej potrzebnej do procesu roztwarzania rafinerowej masy mechanicznej jest przetwarzana w energię cieplną w postaci pary wodnej, która pochodzi z odparowywania wilgoci zawartej w zrębkach i wody rozcieńczającej z młynów. Ze względu na konieczność utrzymywania podwyższonego ciśnienia (do 6 barów) można odzyskać sporą ilość generowanej pary wodnej i przeznaczyć ją do dalszego użytku, np. do suszenia papieru. Energię z powstałej pary wodnej można odzyskiwać również w postaci gorącej wody. Po rafinowaniu odprowadzana jest masa celulozowa i poddawana rozcieńczaniu, sortowaniu i oczyszczaniu. Po przesortowaniu przeprowadza się jej odwadnianie, a masa o stężeniu w granicach od 3 do 10% przechowywana jest w dużych wieżach magazynowych. Zwiększony stopień wykorzystania energii mechanicznej zamiast zastosowania chemicznego rozpuszczania powoduje wyraźnie większą fragmentację włókien i powstawanie frakcji drobnej. Ze względu na jakość jako surowiec wykorzystuje się wyłącznie świeże drewno. W przypadku przechowywania drewna do roztwarzania mechanicznego należy zapobiegać jego wysuszeniu, np. poprzez przechowywanie w wodzie lub spryskiwanie stosów bali. Może to wymagać umieszczenia na placu drzewnym systemów gromadzenia wody, tak by uniknąć emisji substancji organicznych, łącznie określanych jako ChZT oraz substancji toksycznych. Wykorzystywanie zrębków w procesach wytwarzania mas mechanicznych w młynach sprawia, że metody te są nieco bardziej uniwersalne z punktu widzenia zaopatrzenia w surowiec.

Ponieważ straty drewna podczas wytwarzania masy termomechanicznej są bardzo niskie, a większość surowca drzewnego przetwarzana jest na masę celulozową, wartość opałowa ścieków z zakładu produkującego masę termomechaniczną jest zbyt niska, aby poddawać je odzyskowi w taki sam sposób jak w celulozowni chemicznej (ług czarny). Po biologicznym oczyszczeniu ścieków z procesu odprowadza się rozpuszczone w wodzie substancje organiczne z drewna, albo z zakładu produkującego masę mechaniczną, albo z maszyn papierniczych.

Ze względu na możliwość ponownego wykorzystania ciepła z młynów do produkcji pary wodnej i efektywniejszego zużycia energii masa termomechaniczna prawie zawsze wytwarzane jest w powiązaniu z produkcją papieru. Tylko w jednym zakładzie produkuje się masę termomechaniczną do sprzedaży na rynek i stosuje suszenie masy na maszynach suszących.



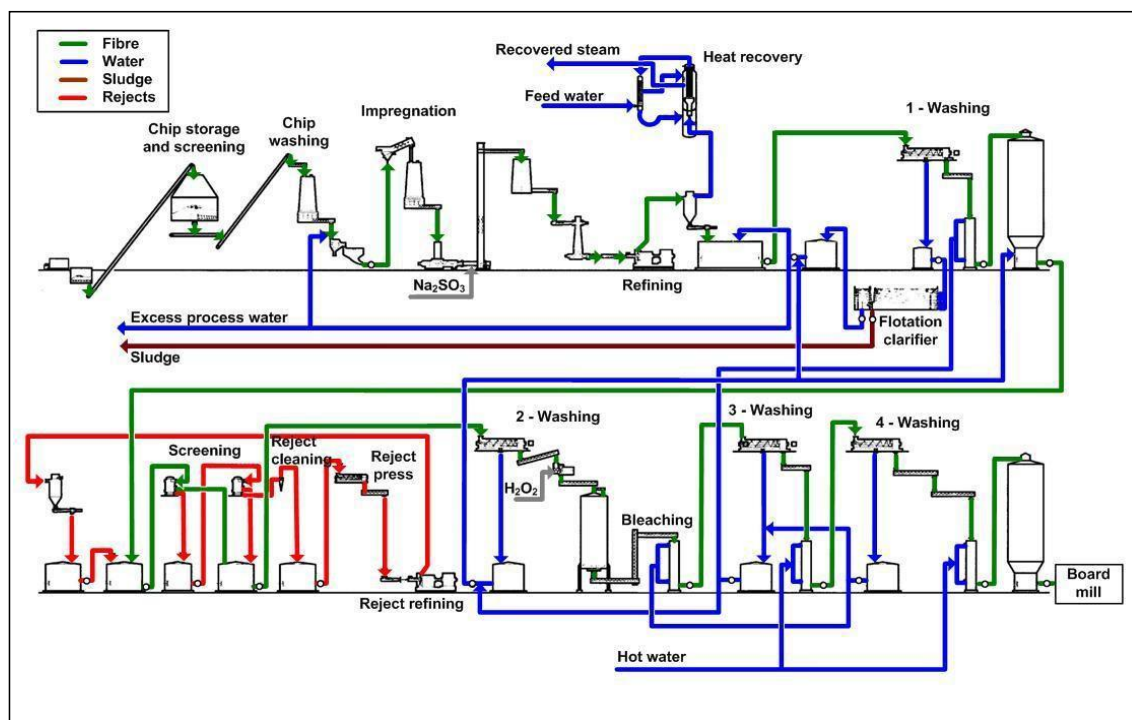
### 5.1.5 Roztworzenie chemotermomechaniczne i chemomechaniczne

Do celów wytwarzania masy chemotermomechanicznej zakład termomechaniczny musi być wyposażony w instalację do impregnowania zrębków za pomocą środków chemicznych (patrz rysunek 5.4). Zrębki z drewna drzew iglastych zazwyczaj impregnuje się za pomocą słabego roztworu siarczynu sodu, natomiast drewno drzew liściastych wymaga mocniejszego alkalicznego roztworu impregnującego.

Łagodna obróbka chemiczna zrębków może wzmacniać mięknięcie drewna, a dzięki rafinowaniu przy ciśnieniu atmosferycznym (chemiczna rafinerowa masa mechaniczna) i podwyższonym (masa chemotermomechaniczna) umożliwia wytwarzanie masy celulozowej o właściwościach odmiennych od normalnej rafinerowej masy mechanicznej i masy termomechanicznej. Wytwarzanie chemotermomechaniczne łączy w sobie proces termomechaniczny i proces sulfonowania zrębków. Wstępna obróbka chemiczna obniża wydajność w wyniku rozpuszczania niektórych substancji organicznych, w szczególności związków na bazie żywicy. W odniesieniu do różnych gatunków drewna stosuje się różne rodzaje obróbki, a właściwości masy chemotermomechanicznej można w dużej mierze zmieniać poprzez zmianę ilości i rodzaju substancji chemicznych. Proces wytwarzania chemicznej rafinerowej masy mechanicznej i masy chemotermomechanicznej często stosuje się w celu uzyskania masy o pożądanych właściwościach (niski poziom nieprzyjemnych zapachów, sztywność, absorpcja, itp.) lub w przypadku przetwarzania drewna innego niż świerk lub jodła. Stosowanie alkalicznych roztworów nadtlenu do obróbki wstępnej zrębków, przede wszystkim do produkcji bielonej masy chemotermomechanicznej z drewna drzew liściastych, umożliwia stosowanie substancji żrącej w szerokim zakresie i w zależności od zastosowanej dawki takiej substancji obniża też poziom zużycia energii do rafinowania o 10%-20% w porównaniu do konwencjonalnej impregnacji (np. wstępnego kondycjonowania rafinerowej masy mechanicznej).

Za pomocą metod roztwarzania chemomechanicznego produkuje się masę celulozową o dostatecznej wytrzymałości i akceptowalnych właściwościach optycznych i można jej używać jako głównego składnika włóknistego we wsadzie włóknistym na papier drukowy, kartonowe opakowania i papier higieniczny.

Proces wytwarzania masy chemomechanicznej składa się z linii produkcji włókien i z układów pomocniczych. Do takich układów pomocniczych zalicza się np. obróbka odrzutów, magazynowania substancji chemicznych (patrz podrozdział 2.3.2), odzysk energii cieplnej czy też wytwarzanie pomocniczej energii elektrycznej, np. z pozostałości po drewnie (patrz podrozdział 2.6). Główne procesy jednostkowe w procesie wytwarzania masy chemotermomechanicznej przedstawiono na rysunku 5.4.



Rysunek 5. 4 Schemat głównych procesów jednostkowych w procesie wytwarzania masy chemotermomechanicznej

<b>Fibre</b>	<b>Włókna</b>
<b>Water</b>	<b>Woda</b>
<b>Sludge</b>	<b>Osad</b>
<b>Rejects</b>	<b>Odrzut</b>
<b>Chip storage and screening</b>	<b>Przechowywanie i przesiewanie zrębków</b>
<b>Chip washing</b>	<b>Mycie zrębków</b>
<b>Impregnation</b>	<b>Impregnacja</b>
<b>Recovered steam</b>	<b>Odzyskana para wodna</b>
<b>Feed water</b>	<b>Woda zasilająca</b>
<b>Heat recovery</b>	<b>Odzysk energii cieplnej</b>
<b>1 - Washing</b>	<b>1. Mycie</b>
<b>Excess process water</b>	<b>Woda technologiczna</b>
<b>Sludge</b>	<b>Osad</b>
<b>Refining</b>	<b>Rafinowanie</b>
<b>Flotation clarifier</b>	<b>Wyławnicz flotacyjny</b>
<b>Screening</b>	<b>Przesiewanie</b>
<b>Reject cleaning</b>	<b>Czyszczenie odrzutów</b>
<b>Reject press</b>	<b>Prasa na odrzuty</b>
<b>Reject refining</b>	<b>Rafinowanie odrzutów</b>
<b>2 - Washing</b>	<b>2. Mycie</b>
<b>Bleaching</b>	<b>Bielenie</b>
<b>3 - Washing</b>	<b>3. Mycie</b>
<b>4 - Washing</b>	<b>4. Mycie</b>
<b>Board mill</b>	<b>Fabryka tektury</b>
<b>Hot water</b>	<b>Gorąca woda</b>
<i>Source: courtesy of a Finnish mill, 1998</i>	<i>Źródło: Zakład z Finlandii, 1998</i>

Wytwarzanie chemotermomechaniczne łączy w sobie proces termomechaniczny i proces impregnacji zrębków chemikaliami. W tej części szczegółowej opisano jedynie proces chemotermomechaniczny, tj. główne procesy jednostkowe (np. impregnację, kilka etapów mycia), które należy odróżnić od procesu roztwarzania termomechanicznego. Przesiewanie, oczyszczanie, obróbkę odrzutu, zagęszczanie i bielenie masy mechanicznej opisano

w odpowiednich fragmentach podrozdziałów 5.1.6 i 5.1.7.

Po operacjach korowania, zrębkowania, mycia i odwadniania zrębków wpraw odbywa się ich podgrzewanie, a następnie prasowanie w prasie na zrębki. Potem przeprowadzana jest impregnacja, która odbywa się w śrubowej kolumnie impregnacyjnej, gdzie zrębki są zanurzone w alkalicznym roztworze chemikaliów. Późniejszy etap ze zbiornikiem na reakcje chemiczne umożliwia substancjom chemicznym przenikanie w głąb zrębków. Do drewna drzew iglastych najczęściej stosuje się siarczyn sodu ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ), a do drewna drzew liściastych przede wszystkim nadtlenek w środowisku alkalicznym ( $\text{NaOH}$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ).

Po zaimpregnowaniu chemicznym zrębki są przez krótki okres przechowywane w wysokiej temperaturze, a następnie trafiają one do jednostopniowego lub kilkustopniowego układu młynów (z obrotowymi tarczami mielącymi), działającego analogicznie jak procesie termomechanicznym.

Proces chemomechaniczny opracowano jako wysoce wydajny proces do obróbki gatunków drzew liściastych, głównie do produkcji kartonów, chusteczek i cienkiego papieru. Ostrzejsza obróbka chemiczna i rozwłóknianie przy ciśnieniu atmosferycznym pozwala uzyskać masę o wysokiej wytrzymałości zarówno z drewna drzew iglastych, jak i liściastych. Zaimpregnowane chemicznie zrębki poddaje się gotowaniu w temperaturach w zakresie 70-170 °C. Czas gotowania zależy od zastosowanej technologii i może wynosić od 15 minut do paru godzin. Różne rodzaje drewna poddawane są różnego rodzaju obróbce. W wyniku intensywnego rozpuszczania materiału organicznego gwałtownie pogarszają się właściwości optyczne takie jak nieprzezroczystość, a wydajność spada do wartości poniżej 90%. Masa chemomechaniczna może stanowić jedynie niewielką część wsadu włóknistego do produkcji papieru drukowego.

Zarówno wzrost temperatury podczas rozwłókniania, jak i stosowanie chemikaliów (do obróbki alkalicznej) przyczynia się do wzrostu ilości substancji zanieczyszczających środowisko, a w konsekwencji obniża się też wydajność. W większości przypadków wstępna obróbka chemiczna powoduje wzrost zużycia energii. Stopień i sposób tego oddziaływania zależy od gatunku drewna i stosowanego systemu chemicznego.

Ze względu na możliwość ponownego wykorzystania ciepła z młynów do produkcji pary wodnej, a tym samym efektywnego wykorzystania energii produkcja masy chemotermomechanicznej często jest zintegrowana z produkcją papieru lub tektury. Czasami jednak masę chemotermomechaniczną wytwarza się jako masę do sprzedaży na rynek i wtedy zostaje ona poddana suszeniu w suszarkach pneumatycznych do zawartości suchej substancji na podstawie 90%.

### 5.1.6 Sortowanie i oczyszczanie

Wszystkie rodzaje masy mechanicznej zawierają składniki niepożądane, takie jak: duże, niewystarczająco rozwłóknione fragmenty (np. odrzuty z sortowania zgrubnego) i drzazgi zawierające wiele pęczków włókien. Grube włókna i drzazgi trzeba usunąć i odprowadzić do obróbki, a następnie zawrócić do strumienia masy celulozowej, ponieważ obniżają one wytrzymałość i jakość drukową papieru.

Proces przesiewania w roztwarzaniu mechanicznym ma inny cel niż w roztwarzaniu chemicznym, gdzie z linii włókien można usunąć odrzuty. Proces ten polega natomiast przede wszystkim na oddzieleniu materiału, a po rafinacji odrzutów na zawracaniu go do głównej linii włókien (patrz rysunek 5.2).

Instalacja sortowania składa się z różnych stopni mających za zadanie zmniejszyć obciążenie następnymi instalacjami i odzyskać większość przydatnych składników zawartych w odrzutach. Wyszortowanie odrzutu jest zadaniem łatwym, ale usunięcie drzazg wymaga bardziej skomplikowanych technik. W zależności od metody wytwarzania zawartość drzazg w niesortowanej masie mechanicznej może sięgać 5%. Celem sortowania jest usunięcie z głównego strumienia masy celulozowej drzazg i odprowadzenie ich do rafinera na odrzuty. Długie i elastyczne włókna z rafinera na odrzuty zawracane są do głównego strumienia masy celulozowej zwykle przed głównym etapem przesiewania.

Odrzuty zgrubne, np. w produkcji klasycznego ściaru drzewnego, usuwane są z głównego strumienia masy za pomocą wibrujących płaskich sit wyposażonych w płyty perforowane lub za pomocą sortowników ciśnieniowych (na przykład w produkcji klasycznego ściaru drzewnego). Do rozdrabniania odrzutu stosuje się młyny bijakowe lub rozwłókniacze wirowe. Zatrzymane grube drzazgi zwykle dodaje się do odrzutów z układu sortowania drobnego, po czym następuje ich oddzielanie na drodze filtracji w sortownikach ciśnieniowych, zatrzymujących drzazgi o określonej wielkości w zależności od wymagań dla danego rodzaju papieru.

Proces sortowania odbywa się przy wysokim poziomie rozcieńczenia (poniżej 1% zawartości suchej masy). Po sortowaniu drobnym następuje oddzielanie włókien od innych cząstek różniących się ciężarem właściwym (w centriklinarach).

Odrzuty z ostatniego stopnia sortowania poddaje się zagęszczaniu i obróbce w urządzeniach specjalnie do tego przeznaczonych, np. w młynach do odrzutu, po czym zawraca się je do układu sortowania (sortowniki drugiego stopnia i centriklinery). Masa przyjęta w stopniach obróbki odrzutu może być zawrócona do głównej linii masy. Odrzuty końcowe (materiał piaszczysty) odprowadza się z procesu jako odpady stałe. W zależności od sposobu obróbki odrzutów zawartość w nich suchej masy może wahać się pomiędzy 5% a 30% [14, CEPI 1997]. Wielkość odrzutu z sortowania może sięgać 30% masy wejściowej, a w przypadku ściaru drzewnego zapotrzebowanie na energię do sortowania, zagęszczania i mielenia jest znaczne (do około 25% całkowitej energii). Odrzuty końcowe odprowadza się z procesu jako odpady stałe.

Przesortowana i oczyszczona masa mechaniczna poddawana jest zagęszczaniu na filtrach tarczowych lub bębnoch zagęszczających i magazynowana w zbiornikach i wieżach magazynowych.

### **Rozwłóknianie odrzutu**

W celu zawrócenia do głównej linii masy odsortowanych i oczyszczonych odrzutów poddaje się je rozwłóknianiu między wirującymi tarczami rafinującymi. Początkowo w strefie rozbijania rafinera zachodzi rozrywanie grubych pęczków, tak by zbyt gruby materiał rozbić na pojedyncze włókna. Pod wpływem siły odśrodkowej przechodzą one przez wąską szczelinę i podlegają intensywnej obróbce przy wysokim stężeniu masy (30-45%).

Odrzut z sortowników to zazwyczaj frakcja masy celulozowej, której ilość może się wahać w granicach 30-50%, natomiast zużycie energii wynosi około 10-40% całkowitego jednostkowego zapotrzebowania w procesie wytwarzania masy mechanicznej. Aby sprostać wymaganiu sprawnego odzyskiwania i zawracania odrzutu, linie technologiczne wytwarzania masy termomechanicznej mogą być przystosowane do rozwłókniania np. 40-50% odrzutu wyliczonego z wydajności całej linii masy.

Końcowe odrzuty z sortowania i oczyszczania, których nie można zawrócić do linii masy, odprowadza się z procesu jako odpady stałe lub spala w kotle.

### **5.1.7 Bielenie masy mechanicznej**

Wraz ze wzrostem popytu na papier i tekturę o wysokiej białości coraz bardziej powszechne staje się bielenie masy mechanicznej. Proces bielenia masy mechanicznej zasadniczo różni się od bielenia masy celulozowej, ponieważ bazuje na metodach oszczędzających ligninę, a nie na metodach prowadzących do jej usuwania. Celem bielenia masy mechanicznej jest przekształcenie grup chromoforowych polimerów ligninowych w postać bezbarwną. Dlatego też w wyniku bielenia przede wszystkim wzrasta poziom białości masy przy minimalnych stratach substancji suchej i zachowaniu całkowitej wydajności drewna. Jest to efekt nietrwały, z biegiem czasu w pewnym stopniu można zaobserwować żółknięcie papieru. Ponieważ nie da się uzyskać trwałej białości, bielona masa mechaniczna w większym stopniu nadaje się do produkcji papieru gazetowego i na czasopisma niż do produkcji papieru przeznaczonego na książki i dokumenty. W zależności od wymaganej końcowej białości masy bielenie z oszczędzaniem ligniny odbywa się w jednym lub dwóch stopniach. Stopnie bielenia różnią się według stosowanych środków bielących.

### **Bielenie redukujące z użyciem podsiarczynu sodu ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ )**

Podczas bielenia podsiarczynem (symbol: Y) materiał organiczny zawarty w masie ulega rozpuszczeniu w niewielkim stopniu i dlatego też nie przyczynia się znacząco do wzrostu ilości rozpuszczonej masy organicznej (ChZT) w ściekach. Podsiarczyn, znany również jako hydrosulfit/ditionit sodu, służy do drobnych korekt jasności (wymagających 1-5 kg ditionitu na tonę masy) w celu uzyskania pełnego wybielenia, przy czym zwykle zużywa się do 12 kg ditionitu na tonę masy. Efektem tej techniki są minimalne straty wydajności i wzrost białości, który sięga 12 jednostek od początkowego poziomu 58-70% ISO do około 70-76% ISO [1, Finnish BAT Report 1997]. Przebieg procesu bielenia można przyspieszyć poprzez odpowiednią wartość pH w zakresie 5,6-6,5 i temperaturę sięgającą 70 °C. Wybielenie odbywa się w wieżach wybielających z górnym przepływem, a ma to na celu zapobieżenie kontaktu z powietrzem. Reakcja ta zachodzi bardzo szybko a typowy czas retencji wynosi 10-30 minut. Obecny w masie reszkowy podsiarczyn może powodować korozję metalowych elementów w dalszej części procesu produkcyjnego. Reakcja ta może zachodzić również z różnymi barwnikami we wsadzie włóknistym w maszynie papierniczej. Aby zapobiec degradacji podsiarczynu w wyniku działania jonów metalu w większości fabryk stosuje się środki chelatujące (np. EDTA, DTPA).

W konwencjonalnym procesie bielenia za pomocą podsiarczynu stężenie masy wynosi 3-5%. Zastosowanie pomp do masy o średnim stężeniu umożliwiło efektywniejsze prowadzenie procesu bielenia przy stężeniu na poziomie 10-12%. Ze względu na ograniczony wzrost białości, który możliwy jest dzięki bieleniu podsiarczynem, a także ze względu na wysoki poziom białości wymagany we współczesnej produkcji papieru bielenie podsiarczynem traci na znaczeniu i w wielu zakładach zostało zastąpione bieleniem nadtlentkiem.

### **Bielenie utleniające z użyciem nadtlenu wodoru ( $\text{H}_2\text{O}_2$ )**

W procesie bielenia nadtlentkiem (symbol: P) spadek wydajności wynosi około 2-3% i wynika głównie z obecności dużej ilości alkaliów, które powodują rozpuszczanie substancji organicznych zawartych w drewnie oraz wzrost ładunku ChZT w wodzie przemysłowej.

Bielenie nadtlentkiem ma wpływ na właściwości masy. Poza wzrostem białości poprawiają się właściwości wytrzymałościowe, zmniejsza się zawartość związków na bazie żywicy i substancji ekstrakcyjnych i wzrasta zdolność absorpcji wody. W zależności od gatunku drewna, stosując maksymalną ekonomicznie dawkę nadtlenu, można uzyskać wzrost białości sięgający 20 jednostek do 78-84% ISO [1, Finnish BAT Report 1997]. Za pomocą różnych gatunków drewna (sosna, osika, topola, brzoza itp.) można uzyskać jeszcze wyższy poziom jasności sięgający 40 jednostek. Za pomocą współczesnych technik bielenia nadtlentkiem przy wysokim stężeniu (25-35% s.m., symbol:  $\text{P}_{\text{HC}}$ ) górna granica białości w przypadku masy mechanicznej z drewna drzew iglastych waha się w granicach 82-84% ISO, a w przypadku drewna drzew liściastych można uzyskać maksymalnie 86% ISO. Możliwy do osiągnięcia poziom jasności zależy również od początkowej jasności masy celulozowej, która z kolei zależy od materiały wsadowego i rodzaju procesu. Decydujące znaczenie ma tu w szczególności nie tylko gatunek drewna, lecz także stopień degradacji papierówki.

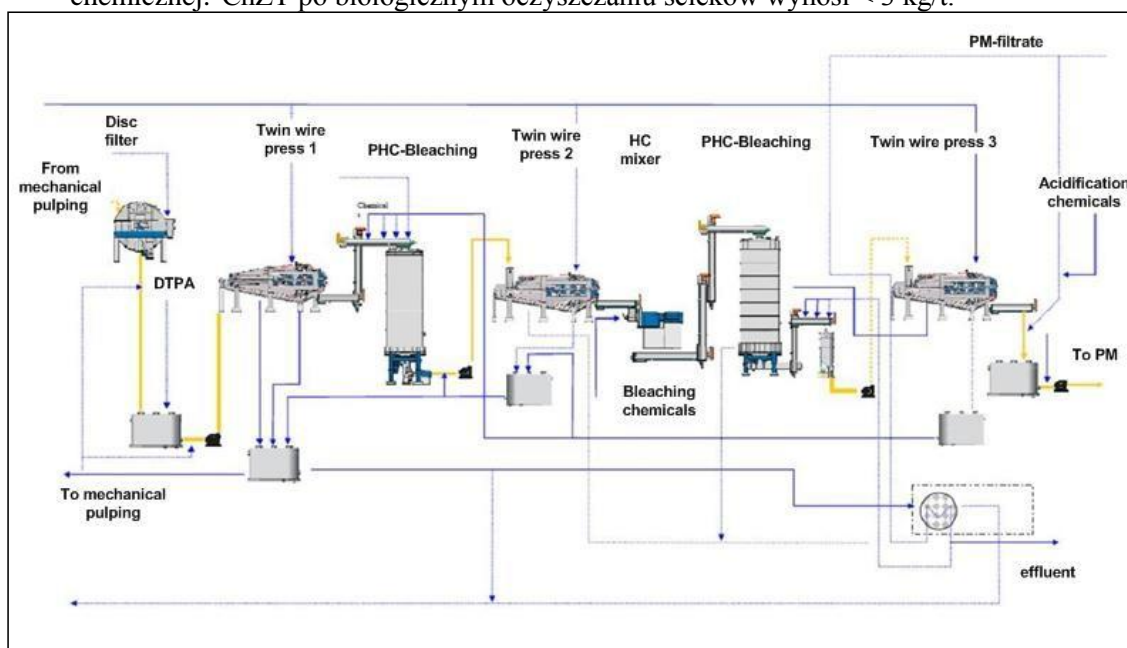
Obecność metali ciężkich sprzyja rozpadowi nadtlenu, a w konsekwencji powoduje niższy poziom białości i wyższe zużycie nadtlenu. W związku z tym zarówno przed bieleniem, jak i w trakcie tego procesu dodaje się krzemian sodu (szkło wodne,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) i środki chelatujące (np. EDTA, DTPA) tworzące związki kompleksowe z metalami ciężkimi (Fe, Mn, Cu, Cr), które zapobiegają przebarwieniom masy i rozkładowi nadtlenu. EDTA i DTPA zawierają azot, który pojawi się w ściekach. Efektywnym sposobem zmniejszenia zawartości problematycznych metali ciężkich w masie a tym samym redukcji wymaganej dawki środków chelatujących, jak również podnoszenia skuteczności nadtlenu, jest włączenie stopnia mycia masy po roztwarzaniu i przed bieleniem. Końcowym stopniem procesu jest zakwaszanie bielonej masy za pomocą dodatku kwasu siarkowego, dwutlenku siarki, chlorowodoru lub dwutlenku węgla do pH na poziomie 5-7 w zależności od poziomu pH maszyny papierniczej. Nowoczesny proces bielenia nadtlentkiem odbywa się przy stężeniu wynoszącym 25-35%.

Bielenie nadtlentkiem ma wpływ na właściwości masy celulozowej, w szczególności gdy bielenie masy odbywa się przy użyciu dużych ilości chemikaliów. Oprócz wzrostu poziomu jasności

może poprawić się też jej wytrzymałość, zwłaszcza w przypadku masy celulozowej z drewna drzew liściastych, a poza tym maleje też zawartość substancji ekstrakcyjnych.

W przypadku wysokiego końcowego poziomu jasności i w razie dodawania dużej ilości nadtlenu można zastosować dwuetapowe bielenie nadtleniem. W takim wypadku po drugim etapie bielenia, który przeważnie przeprowadza się przy wysokim stężeniu, na etapie płukania wypłukuje się reszkowy nadtlenek i zwraca go do pierwszego etapu bielenia. Ze względu na rozcieńczenie zwracanego do procesu filtratu spada poziom stężenia, a bielenie na pierwszym etapie należy prowadzić przy średnim poziomie stężenia (10-15%). Dzięki dwustopniowemu bieleniu nadtleniem można zaoszczędzić 10-20% substancji chemicznych w porównaniu do jedностopniowego bielenia przy wysokim stężeniu.

Przykład współczesnego systemu bielenia nadtleniem przy wysokim stężeniu ukazano na rysunku 5.5. Widać na nim sekwencję bielenia dwustopniowego z wykorzystaniem  $P_{MC}$ - $P_{HC}$  i maksymalnym końcowym poziomem jasności > 82% ISO. Firma produkuje papier powlekany o niskiej gramaturze na bazie bielonego klasycznego ścieru drzewnego i dodatku zakupionej masy chemicznej. ChZT po biologicznym oczyszczaniu ścieków wynosi < 3 kg/t.



Rysunek 5.5 Współczesny systemu bielenia nadtleniem przy wysokim stężeniu w papierni produkującej papier powlekany o niskiej gramaturze na bazie bielonego klasycznego ścieru drzewnego

From mechanical pulping	Z roztrzawania mechanicznego
Disc filter	Filtr tarczowy
Twin wire press 1	Prasa dwuwałowa 1
PHC-Bleaching	Bielenie nadtleniem przy wysokim stężeniu (PHC)
Twin wire press 2	Prasa dwuwałowa 2
HC mixer	Mieszadło do materiału o wysokim stężeniu
PHC-Bleaching	Bielenie nadtleniem przy wysokim stężeniu (PHC)
Twin wire press 3	Prasa dwuwałowa 3
PM-filtrate	Filtrat z PM
Acidification chemicals	Substancje chemiczne do zakwaszania
DTPA	DTPA
Bleaching chemicals	Substancje chemiczne do bielenia
To mechanical pulping	Do roztrzawania mechanicznego
To PM	Do PM
effluent	Ścieki
Source: Machine supplier, 2009	Źródło: Dostawca maszyn, 2009

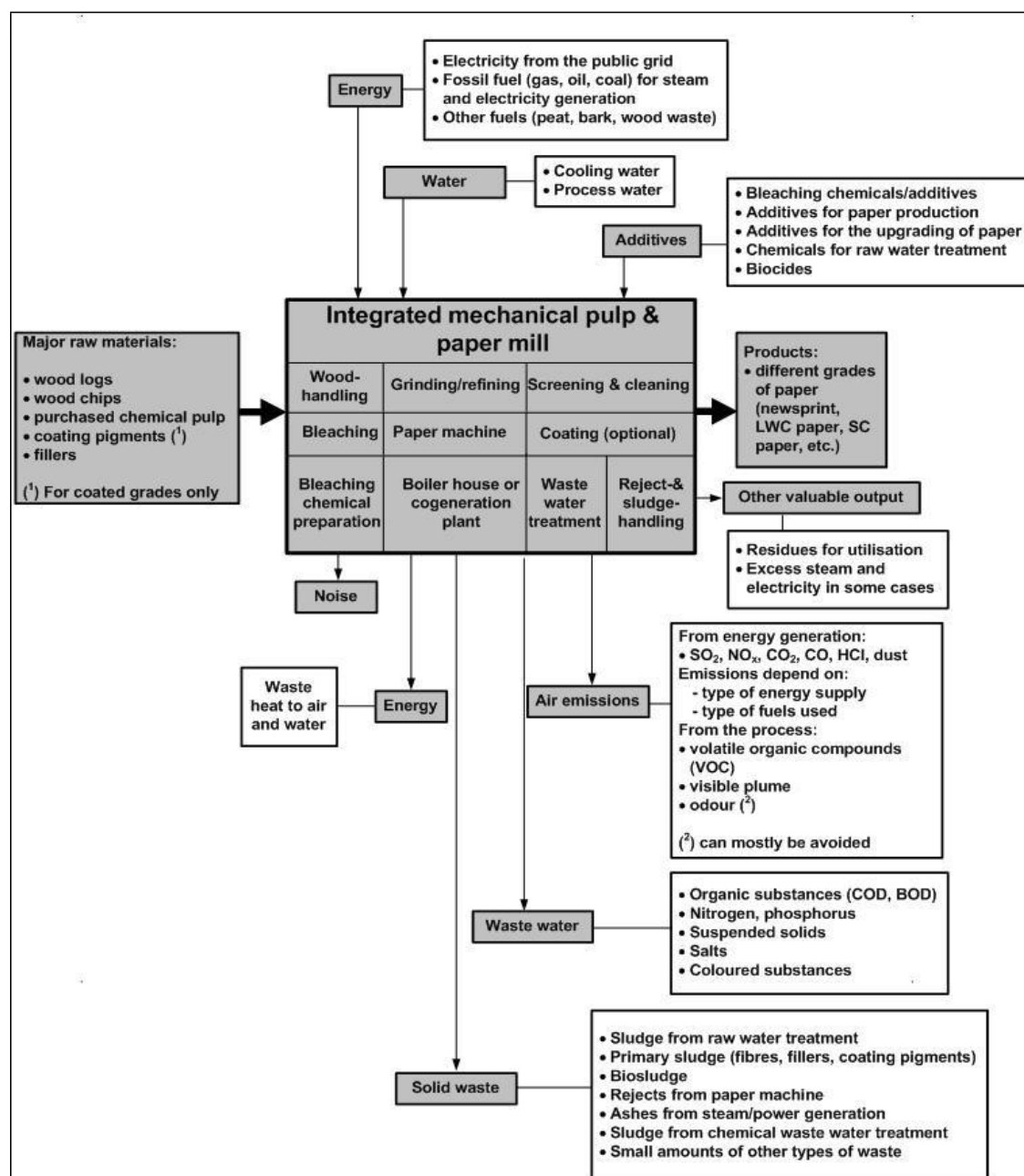
Za pomocą bielenia nadtlenkiem można uzyskać wyższy końcowy poziom jasności niż w przypadku bielenia podsiarczynem, ale mniejsza jest wówczas nieprzezroczystość. W niektórych przypadkach w celu osiągnięcia najwyższego poziomu jasności masy celulozowej bardziej korzystne może być połączenie bielenia utleniającego i redukującego. Na przykład w celu uzyskania 80% ISO masy chemotermomechanicznej stosuje się etapy PP-PY-YP.

W niektórych zakładach podczas bielenia nadtlenkiem zamiast NaOH jako alkalia stosuje się  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  czy też  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  (np. SCA Laakirchen, MD Papier Plattling). Zastosowanie NaOH zamiast  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  zapewnia emisje ChZT niższe o około 30% przy jednoczesnym zachowaniu wysokiego poziomu jasności.

## 5.2 Aktualne poziomy zużycia i emisji

### 5.2.1 Przegląd mediów wejściowych/wyjściowych w przypadku produkcji masy mechanicznej i chemomechanicznej

Na rysunku 5.6 przedstawiono ogólny zarys wykorzystywanych na potrzeby procesu surowców i energii, a także powstających w jego ramach produktów i pozostałości do dalszego wykorzystania, głównych emisji i odpadów stałych z celulozowni i papierni mechanicznych. Obecność niektórych substancji wymienionych na rysunku zależy głównie od gatunku papieru i jego pożądanych właściwości a także rodzaju zaopatrzenia w energię.



Rysunek 5. 6 Ogólny zarys strumieni masowych w zintegrowanej wytwórni masy mechanicznej i papieru

Energy	Energia
• Electricity from the public grid	• Energia elektryczna z sieci publicznej
• Fossil fuel (gas, oil, coal) for steam and electricity generation	• Paliwo kopalne (gaz, ropa, węgiel) do produkcji pary wodnej i energii



	<b>elektrycznej</b>
• <b>Other fuels (peat, bark, wood waste)</b>	• <b>Pozostałe paliwa (torf, kora, odpady stałe)</b>
Water	Woda
• <b>Cooling water</b>	• <b>Woda chłodząca</b>
• <b>Process water</b>	• <b>Woda przemysłowa</b>
Additives	Dodatki
• <b>Bleaching chemicals/additives</b>	• <b>Substancje chemiczne/dodatki do bielenia</b>
• <b>Additives for paper production</b>	• <b>Dodatki do produkcji papieru</b>
• <b>Additives for the upgrading of paper</b>	• <b>Dodatki do poprawy jakości papieru</b>
• <b>Chemicals for raw water treatment</b>	• <b>Substancje chemiczne do uzdatniania wody nieoczyszczonej</b>
• <b>Biocides</b>	• <b>Produkty biobójcze</b>
Integrated mechanical pulp & paper mill	Zintegrowana wytwórnia masy mechanicznej i papieru
Wood handling	Obróbka drewna
Grinding/refining	Rozdrabnianie/rozwłóknianie
Screening & cleaning	Przesiewanie i oczyszczanie
Bleaching	Bielenie
Paper machine	Maszyna papiernicza
Coating (optional)	Powlekanie (opcjonalnie)
Bleaching chemical preparation	Przygotowanie substancji chemicznych do bielenia
Boiler house or cogeneration plant	Kotłownia lub elektrociepłownia
Waste water treatment	Oczyszczanie ścieków
Reject-& sludge handling	Obróbka odrzutów i osadu
Major raw materials:	Główne surowce:
• wood logs	• bale drewna
• wood chips	• zrębki
• purchased chemical pulp	• zakupiona masa chemiczna
• coating pigments (1)	• pigmenty do mieszanek powlekających (1)
• fillers	• wypełniacze
(1) For coated grades only	(1) Tylko do gatunków papieru powlekanego
Products:	Produkty:
• different grades of paper (newsprint, LWC paper, SC paper, etc.)	• różne rodzaje papieru (papier gazetowy, papier powlekany o niskiej gramaturze, papier gładzony itp.)
Other valuable output	Inne wartościowe produkty
• <b>Residues for utilisation</b>	• <b>resztki do zużytkowania</b>
• <b>Excess steam and electricity in some cases</b>	• <b>nadmiar pary wodnej i energii elektrycznej (w pewnych przypadkach)</b>
Noise	Hałas
Waste heat to air and water	Ciepło odpadowe odprowadzane do powietrza i wody
Energy	Energia
Air emissions	Emisje do powietrza
From energy generation:	Z produkcji energii:
• <b>SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, HCl, dust</b>	• <b>SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub>, CO, HCl, pył</b>
Emissions depend on:	Na emisje wpływ ma:
-type of energy supply	-rodzaj zaopatrzenia w energię
- type of fuels used	- rodzaj stosowanych paliw
From the process:	Z procesu:
• <b>volatile organic compounds (VOC)</b>	• <b>lotne związki organiczne (LZO)</b>
• <b>visible plume</b>	• <b>widoczna smuga</b>
• <b>odour (2)</b>	• <b>nieprzyjemny zapach (2)</b>
(2) can mostly be avoided	(2) Przeważnie da się mu zapobiec.
Waste water	Ścieki
• <b>Organic substances (COD, BOD)</b>	• <b>Substancje organiczne (ChZT, BZT)</b>
• <b>Nitrogen, phosphorus</b>	• <b>Azot, fosfor</b>

• <b>Suspended solids</b>	• <b>Zawiesiny</b>
• <b>Salts</b>	• <b>Sole</b>
• <b>Coloured substances</b>	• <b>Substancje kolorowe</b>
Solid waste	Odpady stałe
• <b>Sludge from raw water treatment</b>	• <b>Osad z oczyszczania ścieków</b>
• <b>Primary sludge (fibres, fillers, coating pigments)</b>	• <b>Osad pierwotny (włókna, wypełniacze, pigmenty do mieszanek powlekających)</b>
• <b>Biosludge</b>	• <b>Osad biologiczny</b>
• <b>Rejects from paper machine</b>	• <b>Odrzuty z maszyny papierniczej</b>
• <b>Ashes from steam/power generation</b>	• <b>Popiół z produkcji pary/energii elektrycznej</b>
• <b>Sludge from chemical waste water treatment</b>	• <b>Osady po oczyszczaniu ścieków</b>
• <b>Small amounts of other types of waste</b>	• <b>Niewielkie ilości odpadów innego rodzaju</b>

W tabeli 5.2 zestawiono poziomy zużycia i emisji zużywanych surowców i emisji powstających w całym zakładzie. Celulozownie mechaniczne przeważnie są zintegrowane z papierniami. Bardzo często do produkcji danego rodzaju papieru potrzebna jest mieszanka różnych surowców włóknistych, np. do produkcji masy chemicznej, masy mechanicznej i masy z odbarwionej makulatury oraz względnie dużych ilości wypełniaczy i pigmentów pigmenty do mieszanek powlekających, co ma miejsce w przypadku papieru drukowego.

Całkowite poziomy zużycia i emisji w zintegrowanej papierni wytwarzającej powlekany papier drukowy drzewny (papier powlekany o bardzo niskiej gramaturze i bardzo cienkiej powłoce, papier powlekany o niskiej gramaturze i papier powlekany o wysokiej gramaturze) z procesu termomechanicznego podano w tabeli 5.2. Zakład ten jako wsad włóknisty stosuje mieszankę surowców takich jak materiał włóknisty w 60% składający się z masy termomechanicznej wytwarzanej na miejscu i w 40% z masy kupowanej (bielona masa siarczanowa i w niewielkiej ilości masa z odbarwionej makulatury). Zakład produkuje łącznie 370 000 ton papieru drukowego rocznie. Ścieki oczyszczane są w ramach dwustopniowego oczyszczania biologicznego (osad czynny). W przypadku zakładu zintegrowanego w 100% stosującego masę termomechaniczną emisje będą wyższe, ponieważ główne emisje związane są z produkcją masy termomechanicznej.

W tabeli 5.2 i 5.3 podano typowe poziomy zużycia i emisji odpowiednio w niemieckim i fińskim zakładzie i dotyczą one zintegrowanych wytwórni masy mechanicznej i papieru. Zaprezentowano je w celu umożliwienia dokonania szybkiego przeglądu używanych materiałów i wskazania przewidywanego wpływu na środowisko. Nie są to dane reprezentatywne w takim sensie, że przedstawiają wszystkie wartości występujące w Europie, stanowią raczej studia przypadków dla tego typu zakładów.

**Tabela 5.2 Wartości średnioroczne (rok referencyjny: 1997) dotyczące poziomów zużycia i emisji z zakładu z Niemiec do produkcji papieru drukowego drzewnego (papier powlekany o bardzo niskiej gramaturze i bardzo cienkiej powłoce, papier powlekany o niskiej gramaturze i papier powlekany o wysokiej gramaturze)**

Materiał wsadowy			Produkt wyjściowy		
Surowce	Wartość	Jednost	Produkt	Wartość	Jednost
Zrębki tartaczne <sup>(1)</sup>	361	kg/t	Papier drukowy	1 000	kg/t
Masa celulozowa zakupiona <sup>(1)</sup>	259	kg/t	Nadmiar energii	132	kWh/t
Pigmenty (kaolin, talk, CaCO <sub>3</sub> ) <sup>(1)</sup>	343,5	kg/t	<b>Emisje</b>		
Substancje chemiczne/dodatki do bielenia <sup>(2)</sup>	27	kg/t	CO <sub>2</sub> <sup>(3)</sup>		kg/t
Dodatki do produkcji papieru <sup>(2)</sup>	4,6	kg/t	CO <sub>2</sub> , regeneracyjny <sup>(3)</sup>		kg/t
Dodatki do uszlachetniania papieru <sup>(2)</sup>	57,3	kg/t	NO <sub>x</sub> <sup>(3)</sup>		g/t
Substancje chemiczne do uzdatniania wody nieoczyszczonej	4,2	kg/t	CO <sup>(3)</sup>		g/t
Produkty biobójcze	brak	kg/t	SO <sub>2</sub> <sup>(3)</sup>		g/t
			Pyły <sup>(3)</sup>		g/t
<b>Energia</b>			ChZT	2,7	kg/t
Gaz ziemny	294	kWh/t	BZT <sub>5</sub>	0,17	kg/t
Olej opałowy	~3,2	kWh/t	Zawiesiny		g/t
Zakupiona energia elektryczna	1 852	kWh/t	AOX	<0,4	g/t
Zakupiona para wodna	1 140	kWh/t	Azot	24	g/t
			Fosforan	4,3	g/t
<b>Zapotrzebowanie na wodę</b>			Strumień ścieków	14,1	m <sup>3</sup> /t
Woda powierzchniowa	22	m <sup>3</sup> /t	Woda chłodząca	12	m <sup>3</sup> /t
Woda studzienna	4,4	m <sup>3</sup> /t	<b>Odpady</b>		
Woda pitna (urządzenia sanitarne)	0,2	m <sup>3</sup> /t	Odrzuty i osady (wysuszone do 75% zawartości wilgoci)	46	kg/t
			Trociny	8,8	kg/t
			Kawałki metalu	2,5	kg/t
			Odpady niebezpieczne (np. zużyty olej, mieszaniny rozpuszczalników)	0,3	kg/t

- (1) Materiał włóknisty dotyczy 1 t absolutnie suchej masy, tzn. bez zawartości wilgoci. W rzeczywistości średnia zawartość wilgoci w surowcu wynosi 50% w przypadku zrębków, 9% w przypadku zakupionej masy celulozowej siarczanowej, 45% w przypadku odbarwionej masy makulaturowej i 0,2% w przypadku pigmentów. Zawartość wilgoci w gotowym produkcie wynosi około 4-5%.
- (2) Dodatki wyrażono jako roztwory handlowe zawierające różne ilości wody. Użyte do bielenia substancje chemiczne to: 30 kg/t H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, 15 kg/t NaOH, 15 kg/t krzemianu sodu i 3 kg/t DTPA. Użyto następujących dodatków: 43 kg/t syntetycznych środków wiążących (lateks), < 8 kg/t skrobi, 1 kg/t środka retencyjnego (poliakryloamid), środki utrwalające, poliDADMAC, stabilizatory twardości, różne środki bakteriobójcze.
- (3) Emisje do powietrza można obliczyć na podstawie wielkości emisji generowanych przez zewnętrzną elektrownię (działającą na zasadzie elektrociepłowni) dostarczającą do papierni energię elektryczną i parę wodną. Całość potrzebnej w zakładzie termomechanicznym energii elektrycznej i 75% energii cieplnej potrzebnej dla całego terenu pochodzi z zewnątrz. Gaz ziemny używany jest do suszenia podczerwienią, natomiast olej opałowy służy wyłącznie do ogrzewania budynków.

Typowe całkowite poziomy zużycia i emisji z zakładu chemotermomechanicznego podano w tabeli 5.3. Wartości te dotyczą zakładu niezintegrowanego, wybudowanego w 1985 r., w którym zmodernizowano część urządzeń. Zdolność produkcyjna wynosi 110 000 t bielonej masy chemotermomechanicznej (CSF 400) na papier higieniczny rocznie. Wartości podane w nawiasach odpowiadają typowym poziomom w zakładach chemotermomechanicznych. Ścieki oczyszcza się w oczyszczalni biologicznej (osad czynny).

Tabela 5.3 Średnie roczne poziomy zużycia i emisji z fińskiego zakładu chemotermomechanicznego

Materiał wsadowy			Produkt wyjściowy		
Surowce	Wartość (*)	Jednostk	Produkt	Wartość (*)	Jednostk
Drewno	1 090	kg/t	Masa	1 000	kg/t
Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	25 (20 – 30)	kg/t	Nadmiar energii	600 – 1 200 <sup>(1)</sup>	kWh/t
DTPA	2 (1 – 2.5)	kg/t	<b>Emisje</b>		
Substancje chemiczne do bielenia (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )	10 – 40	kg/t	NO <sub>x</sub>	250	g/t
Substancje chemiczne do uzdatniania wody	0 – 2	kg/t	SO <sub>2</sub>	240	g/t
Krzemian sodu	8 – 30	kg/t	Pył	50	g/t
			ChZT	15 (12 – 25)	kg/t
			BZT <sub>5</sub>	1 (0.5 – 2)	kg/t
			Zawiesiny	0.5 (0.1 – 2)	kg/t
<b>Energia</b>			AOX	0	g/t
Odpady drewna	600	kWh/t	N ogółem	400 (300 – 500)	g/t
Olej opałowy	200	kWh/t	P ogółem	10 (5 – 50)	g/t
Zakupiona energia elektryczna	1 800 (1 500 – 3 000)	kWh/t	Ścieki	20 (10 – 30)	m <sup>3</sup> /t
			Woda chłodząca	0 – 20	m <sup>3</sup> /t
			<b>Odpady</b>		
<b>Zapotrzebowanie na wodę</b>			Odrzuty i osady	30 (15 – 40)	kg/t
Woda powierzchniowa	20 (10 – 30)	m <sup>3</sup> /t	Popioły	7	kg/t
			Odpady niebezpieczne (np. zużyty olej,	10	kg/t

(\*) Wartości podane w nawiasach odpowiadają typowym poziomom w zakładach chemotermomechanicznych.  
<sup>(1)</sup> Podane wartości dotyczą zakładu, w którym nie odbywa się suszenie, tzn. ze zintegrowaną produkcją masy i papieru. Energię cieplną można wykorzystać w maszynie papierniczej.

## 5.2.2 Poziomy zużycia i emisji wynikające z działania linii technologicznych

Z punktu widzenia ochrony środowiska w centrum uwagi znajdują się ścieki odprowadzane z procesu wytwarzania masy mechanicznej i chemomechanicznej, względnie wysokie zużycie energii wytwarzanej często na miejscu oraz odrzuty i osady z różnych części procesu, a przede wszystkim z oczyszczalni ścieków.

Poniżej przedstawiono najważniejsze aspekty zużycia surowców i emisji zanieczyszczeń (odpadów) do wody, powietrza i gleby, jak również aspekty związane z energią, pod uwagę biorąc przy tym następujące aspekty:

- zużycie drewna,
- zużycie wody,
- emisje ścieków,
- emisje do atmosfery z młynów, produkcji energii i z kotłów korowych (informacje na temat poziomów emisji z kotłów pomocniczych i z kotłów korowych można znaleźć w podrozdziale 2.6.2),
- wytwarzanie odpadów stałych,
- zużycie substancji chemicznych,
- zużycie energii,
- hałas.

Rozpatrując przedstawione wartości dotyczące emisji i zużycia, należy pamiętać o tym, że na skutek stosowania w różnych Państwach Członkowskich różnych metod pomiarów nie da się ich dokładnie porównać (patrz podrozdział 2.2.1).

### 5.2.2.1 Zużycie drewna

W procesie wytwarzania ścieru drzewnego ze względu na konstrukcję ścieraków dostarczane drewno musi mieć postać bali. W procesach wytwarzania masy termomechanicznej i chemotermomechanicznej drewno przerabiane jest w postaci zrębów, dlatego w obu procesach można korzystać zarówno z okrągłaków, jak i zrębów pochodzących z tartaków lub z fabryk płyt drewnopochodnych.

W przypadku gdy straty są niskie, głównie w postaci rozpuszczonej substancji organicznej (zasadniczo ligniny i hemicelulozy), proces wytwarzania masy mechanicznej charakteryzuje się wysoką wydajnością (patrz tabela 5.1).

Zużycie drewna w przypadku ścieru drzewnego wynosi zwykle od 2,4 do 2,6 m<sup>3</sup>/t powietrznie suchej masy, od 2,3 do 2,8 m<sup>3</sup>/t powietrznie suchej masy w przypadku masy termomechanicznej oraz od 2,8 do 3,0 m<sup>3</sup>/t powietrznie suchej masy w przypadku masy chemotermomechanicznej [14, CEPI 1997]. Jednostka drewna w postaci m<sup>3</sup>/t powietrznie suchej masy w niektórych krajach funkcjonuje jako jednostka handlowa. Stosuje się ją w celu wyrażenia ilości drewna okrągłego bez kory wykorzystywanego do wytwarzania masy celulozowej. Nie jest to synonim wydajności, ponieważ nie uwzględnia różnic w gęstości drewna (+/- 15% w ramach jednego gatunku drewna i do 50% pomiędzy różnymi gatunkami). Gdy drewno wyrażone w m<sup>3</sup>/t powietrznie suchej masy się różni, nie jest jasne, czy różnice te spowodowała wydajność (tony drewna/t masy) czy też gęstość drewna (t/m<sup>3</sup>).

### 5.2.2.2 Zużycie wody

W procesie wytwarzania masy mechanicznej układy wodne są zwykle całkowicie zamknięte po to, aby utrzymać wysoką temperaturę. Świeżą wodę wykorzystuje się tylko do uszczelniania i chłodzenia, natomiast do uzupełniania ubytku wody powstającego w wyniku odprowadzania jej z obiegu wraz z masą (5-10 m<sup>3</sup>/t masy) oraz odrzutami i osadami wykorzystuje się zwykle nadmiar wody sklarowanej z maszyny papierniczej. W przypadku zakładu termomechanicznego źródłami emisji do wody są procesy przygotowywania drewna, oczyszczania i bielienia (patrz rysunek 5.3).

Większość zakładów masy mechanicznej to zakłady zintegrowane, tzn. że ich gospodarka wodna i energetyczna jest ściśle powiązana z papiernią, która produkuje różne gatunki papieru powlekanego i niepowlekanego. Typowe zakresy całkowitego zużycia wody w procesach wytwarzania ścieru drzewnego, masy termomechanicznej i chemotermomechanicznej pokazano w tabeli 5.4.

**Tabela 5.4 Zużycie wody podczas roztwarzania mechanicznego**

Proces roztwarzania	m <sup>3</sup> /t powietrznie suchej masy i
Ścier drzewny	5 – 20 <sup>(1)</sup>
Masa termomechaniczna	4 – 20 <sup>(1)</sup>
Masa	9,5 – 30 <sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Górna granica zakresu obejmuje zużycie wody w papierni w przypadku produkcji zintegrowanej (patrz podrozdział 5.3.6), natomiast dolna granica zakresu dotyczy wyłącznie roztwarzania.

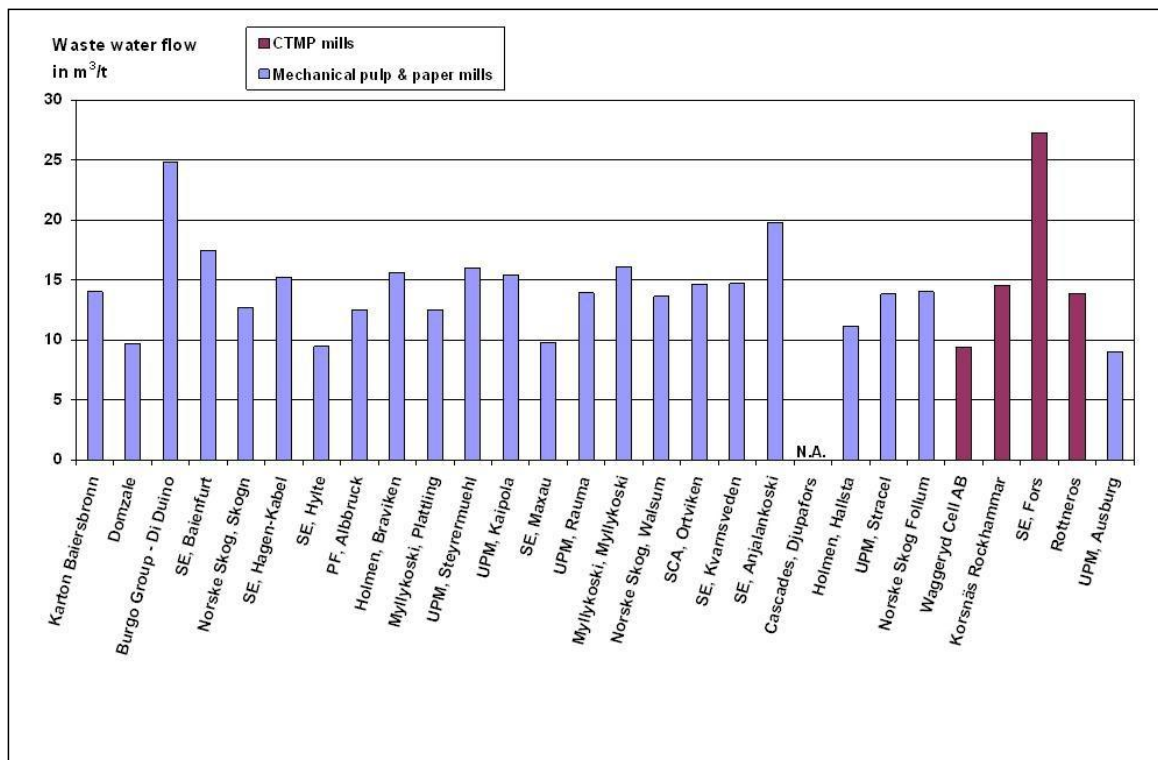
W przypadku gdy objętość zbiorników na wodę sitową jest wystarczająca, tzn. nie ma konieczności uzupełniania jej wodą świeżą w celu utrzymania poziomu w zbiornikach, wymagane zużycie świeżej wody wynosi 10 m<sup>3</sup> na tonę masy.

Jeśli końcowy produkt musi mieć niską zawartość substancji ekstrakcyjnych (tak jak ma to miejsce w przypadku masy na tektury lub masy włóknistej w płatkach) lub frakcji drobnej (masy włóknistej w płatkach), zużycie świeżej wody może być nieco wyższe lub konieczne może być przeprowadzenie dodatkowych etapów płukania. Z drugiej strony zastosowanie wewnętrznego procesu oczyszczania wody sitowej z pierwszego stopnia mycia z wykorzystaniem odpowiednich technologii (np. odparowywania, flokulacji/flotacji, wirówek) gwarantuje mniejsze zużycie wody na poziomie poniżej 10 m<sup>3</sup>/t. Dzięki procesowi flokulacji-flotacji usuwane są substancje ekstrakcyjne i frakcja drobna oraz około 40-50% ładunku ChZT. W najnowszych instalacjach do oddzielania cząstek stałych ze ścieków wykorzystuje się parowniki, a czysty kondensat zawraca się do ponownego wykorzystania w procesie.

### 5.2.2.3 Strumień ścieków i emisje do wody

#### Strumień ścieków

Na rysunku 5.7 przedstawiono indywidualne strumienie ścieków z zakładów produkujących masę i papier metodą mechaniczną i chemomechaniczną, które odesłały wypełnioną ankietę EIIPCB. Zintegrowane mechaniczne zakłady celulozowo-papiernicze (produkujące np. ścier drzewny, rafinerową masę mechaniczną, masę termomechaniczną) odprowadzają od 9,4 do 20 m<sup>3</sup>/t ścieków (z wyjątkiem jednego zakładu, który odprowadza do 25 m<sup>3</sup>/t). Produkowany gatunek (np. standardowy lub o podwyższonym poziomie jasności) nie wpływa znacząco na ilość ścieków odprowadzanych z instalacji produkcyjnych. Zakłady chemotermomechaniczne podały strumień w granicach od 9 do 27.2 m<sup>3</sup>/t powietrznie suchej masy.

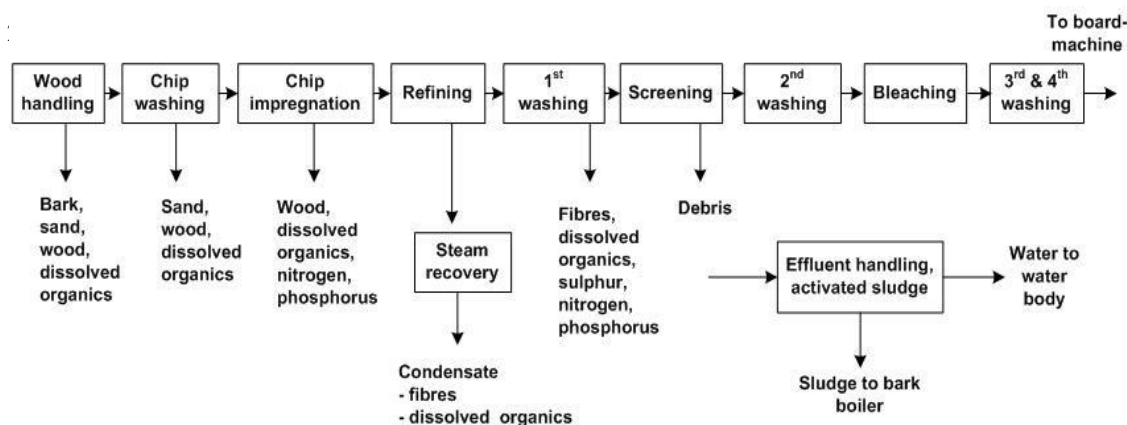


Rysunek 5. 7 Indywidualny strumień ścieków odprowadzanych z poszczególnych celulozowni i papierni mechanicznych i chemomechanicznych

Waste water flow in m³/t	Strumień ścieków w m³/t
<b>CTMP mills</b>	<b>Zakłady chemotermomechaniczne</b>
<b>Mechanical pulp &amp; paper mills</b>	<b>Celulozownie i papiernie mechaniczne</b>
Source: EIPPCB data collection/questionnaires, data from 2006 and 2008, [ Swedish Statistics 2008 ], [ 248, Hamm 2007 ]	Źródło: Dane z EIPPCB/kwestionariuszy za lata od 2006 do 2008, [ Szwedzkie statystyki 2008 ], [ 248, Hamm 2007 ]

### Źródła ścieków i parametry zanieczyszczeń

Na rysunku 5.8 przedstawiono źródła emisji do wody i głównych niebezpiecznych substancji odprowadzanych z zakładu chemotermomechanicznego. Stosuje się tu rygorystyczne systemy przeciwprądowe, tzn. do płukania w ostatniej prasie wykorzystuje się czystą wodę i odprowadza ją do strumienia włókien w systemach przeciwprądowych. Z procesu odprowadza się wysoko obciążony filtrat z etapu płukania. Włókna można poddać odzyskiwaniu a filtrat wstępnemu oczyszczaniu za pomocą flotacji lub filtracji, zanim trafi on do oczyszczania zewnętrznego. Woda uszczelniająca i chłodząca jest gromadzona i wykorzystywana jako woda technologiczna lub odprowadzana do wód powierzchniowych.



Rysunek 5. 8 Źródła emisji do wody z zakładu chemotermomechanicznego

<b>Wood handling</b>	<b>Obróbka drewna</b>
Bark, sand, wood, dissolved organics	Kora, piasek, drewno, rozpuszczone substancje organiczne
<b>Chip washing</b>	<b>Mycie zrębków</b>
Sand, wood, dissolved organics	Piasek, drewno, rozpuszczone substancje organiczne
<b>Chip impregnation</b>	<b>Impregnacja zrębków</b>
Wood, dissolved organics, nitrogen, phosphorus	Drewno, rozpuszczone substancje organiczne, azot, fosfor
<b>Refining</b>	<b>Rafinowanie</b>
<b>Steam recovery</b>	<b>Odzyskiwanie pary wodnej</b>
<b>Condensate</b>	<b>Kondensat</b>
fibres	Włókna
dissolved organics	Rozpuszczone substancje organiczne
<b>1<sup>st</sup> washing</b>	<b>Pierwsze płukanie</b>
Fibres, dissolved organics, sulphur, nitrogen, phosphorus	Włókna, rozpuszczone substancje organiczne, siarka, azot, fosfor
<b>Screening</b>	<b>Przesiewanie</b>
<b>Debris</b>	<b>Odrzut</b>
<b>2<sup>nd</sup> washing</b>	<b>Drugie płukanie</b>
<b>Bleaching</b>	<b>Bielenie</b>
<b>3<sup>rd</sup> &amp; 4<sup>th</sup> washing</b>	<b>Trzecie i czwarte płukanie</b>
<b>Effluent handling, activated sludge</b>	<b>Obróbka ścieków, osad czynny</b>
<b>Water to water body</b>	<b>Woda odprowadzana do zbiornika wodnego</b>
<b>Sludge to bark boiler</b>	<b>Osady odprowadzane do kotła korowego</b>
<b>To board- machine</b>	<b>Do kartoniarki</b>

W emisjach do wody dominują substancje organiczne zużywające tlen, które zostały utracone w fazie wodnej w postaci rozpuszczonych i rozproszonych substancji organicznych. Wydajność na poziomie 86-97% oznacza, że w trakcie przetwarzania dochodzi do utraty 30-140 kg/t drewna w postaci stałej i w postaci rozpuszczonych substancji. Na wydajność wpływ ma temperatura rozdrabniania, wykorzystanie substancji żrących (podczas impregnacji lub bielenia) i zużycie wody (m<sup>3</sup>/t masy). Jeśli chodzi o ilość rozpuszczonych substancji stałych, nie bez znaczenia jest również gatunek drewna, wahania sezonowe i warunki przechowywania drewna. Podczas rozdrabniania mechanicznego stabilność celulozy i ligniny pozostaje niezmienną, ale w wodzie technologicznej rozpuszczają się i rozkładają proste węglowodany, hemiceluloza, lignina, substancje ekstrakcyjne (np. kwasy tłuszczowe i kwasy żywiczne), białka i substancje nieorganiczne, w tym azot i fosfor. Wraz z malejącą wydajnością i wzrostem temperatury rośnie ładunek substancji organicznych w wodzie odprowadzanej z procesu rozdrabniania.



W tabeli 5.5 podano typowe zmierzone ładunki indywidualne, takie jak BZT<sub>5</sub>, ChZT i substancje odżywcze (fosfor i azot) w przypadku różnych mas celulozowych, w tym również z odpowiadającym im poziomem wydajności.

**Tabela 5.5** Typowe ładunki indywidualne w ściekach z mechanicznego roztwarzania świerka pospolitego (*Picea abies*) przed oczyszczaniem

Proces roztwarzania	Wydajność (%)	BZT <sub>5</sub> (kg/t)	ChZT (kg/t)	Azot (g/t)	Fosfor (g/t)
Ścier drzewny	95 – 98,5	8,5 – 10	20 – 30	80 – 100	20 – 25
Ciśnieniowy ścier	95 – 96	10 – 13	30 – 50	90 – 110	20 – 30
Wysokociśnieniowy	95 – 96	11 – 14	45 – 55		
Rafinerowa masa	95 – 96	10 – 15	40 – 60	90 – 110	20 – 30
Masa	93 – 97,5	13 – 22	50 – 80	100 – 130	30 – 40
Masa	90 – 94	17 – 30	60 – 100	110 – 140	35 – 45
<b>Bielona masa chemotermomech.:</b>					
<b>Bielone drewno iglaste</b>	91 – 93 <sup>(1)</sup>	25 – 50 <sup>(1)</sup>	80 – 130 <sup>(1)</sup>	130 – 400 <sup>(1)</sup>	50 – 60 <sup>(1)</sup>
<b>Bielone drewno liściaste</b>	86 – 92 <sup>(2)</sup>	50 – 80 <sup>(2)</sup>	120 – 200 <sup>(2)</sup>	brak danych	brak danych

(1) Dane liczbowe w nawiasach opierają się na informacjach z osobistej korespondencji z fińskimi zakładami chemotermomechanicznymi. BZT<sub>7</sub> przekształcono na BZT<sub>5</sub> według wzoru  $BZT_7/1,16 = BZT_5$  zaproponowanego w [1, Finnish BAT Report 1997].

W przypadku bielenia masy alkalicznym nadtlaniem ilość uwalnianych zanieczyszczeń organicznych znacząco wzrasta, a wynika to z działania alkaliów podczas bielenia. Utrata wydajności związana z bieleniem nadtlaniem wynosi 15-30 kg/tonę, co odpowiada dodatkowemu ładunkowi mierzonemu jako ChZT rzędu 10-30 kg O<sub>2</sub>/tonę. Wyższe wartości przedstawione w tabeli dotyczą masy mechanicznej bielonej nadtlaniem. W wytwórniach masy termomechanicznej stosujących do bielenia wyłącznie podsiarczyn poziomy ChZT w odniesieniu do natężenia przepływu wody z wytwórni rzędu 3-4 m<sup>3</sup>/t (bez uwzględnienia maszyny papierniczej) wynosiły 2500-3000 mg O<sub>2</sub>/l.

Wytwórnia ścieru informowała o stężeniach ChZT przed oczyszczalnią w granicach 1700-2000 mg O<sub>2</sub>/l.

Rozpuszczalne w wodzie jest około 20-30% kory (określonej jako kora sucha), z czego 50-60% stanowią związki fenolowe, a około 25% – rozpuszczalne węglowodany. W zależności od sposobu składowania drewna w ściekach z instalacji do korowania można również znaleźć kwasy karboksylowe i alkohole. Niektóre związki odprowadzane z zakładu, np. kwasy żywiczne wchodzące w skład substancji ekstrakcyjnych, które mogą być wymywane z kory podczas przygotowywania drewna, obecne w ściekach przed ich oczyszczaniem, wykazują toksyczny wpływ na organizmy żyjące w wodzie. Ścieki z korowalni zazwyczaj poddawane są oczyszczaniu w zewnętrznej oczyszczalni ścieków wraz z pozostałymi ściekami.

Dodatki stosowane w procesie wytwarzania papieru mogą stanowić mierzalną część ładunku zanieczyszczeń organicznych w oczyszczonych ściekach, ponieważ nie ulegają łatwo rozkładowi.

Emisje substancji barwnych mogą niekorzystnie wpływać na organizmy żyjące w odbiornikach wodnych, ponieważ zmniejszają przejrzystość wody.

Ładunek zanieczyszczeń w oczyszczonych ściekach z zakładów zależy głównie od parametrów projektowych i eksploatacyjnych tych procesów i obiegu wody, rodzaju i stopnia bielenia (papier o najwyższym stopniu jasności powoduje wyższy ładunek ChZT niż standardowe gatunki papieru) i od zastosowanej instalacji oczyszczania ścieków. Skuteczność biologicznego oczyszczania ścieków w wytwórniach masy mechanicznej jest zbliżona do skuteczności

oczyszczania w celulozowniach chemicznych. Niemniej jednak redukcja ChZT jest zwykle wyższa – na poziomie 70-90%. Co więcej w kilku zakładach stosuje się trzeci stopień oczyszczania, po którym następuje dalszy spadek ładunku zanieczyszczeń. Dotyczy to w szczególności zanieczyszczeń związanych z zawiesiną ogólną.

Tabela 5. 6 Emisje z celulozowni mechanicznych po oczyszczaniu biologicznym

Proces roztwarzania	Przepływ (m <sup>3</sup> /t)	BZT <sub>5</sub> (kg/t)	ChZT (kg/t)	P łącznie (g/t)	N łącznie (g/t)	Zawiesina ogółem (kg/t)
Masa chemotermomechaniczna	9 – 30	brak danych	12 – 25	2 – 10	150 – 200	0,5 – 1,5
Masa termomechaniczna	10 – 25	niewiele danych	2,5 – 7,2 <sup>(1)</sup>	2 – 16	20 – 500	0,06 – 0,7

<sup>(1)</sup> Wartość ChZT zależy również od składu produktów – wyższy udział nadtlenu wodoru w bielonej masie termomechanicznej zwykle po oczyszczaniu powoduje wzrost końcowego ładunku ChZT.

Źródło: Szwedzkie statystyki z celulozowni i papierni, 2008; Kwestionariusze EIPPCB, lata referencyjne: 2006 i 2008.

W kolejnych podrozdziałach podano bardziej szczegółowe informacje na temat wielkości emisji i poszczególnych parametrów ścieków mających znaczenie dla mechanicznego i chemomechanicznego roztwarzania. Dane w miarę możliwości podano jako ładunek (kg/t powietrznie suchej masy), stężenie (mg/l), średnie roczne i dobowe. Wartości prezentowane są w postaci zgłoszonej przez zakłady (np. przy uwzględnieniu dokładności z określoną liczbą miejsc po przecinku, bez uwzględnienia czynnika niepewności w pobliżu granicy wykrywalności). Przy interpretacji zadeklarowanych danych dotyczących stężenia należy uwzględnić odpowiednie strumienie ścieków. Ze względu na działania podejmowane w niektórych zakładach w celu obniżenia poziomu zużycia wody i uszczelnienia obiegu wody stężenie zanieczyszczeń mogło wzrosnąć. Zakłady o wyższym poziomie stężenia niekoniecznie mają większy ładunek emisji.

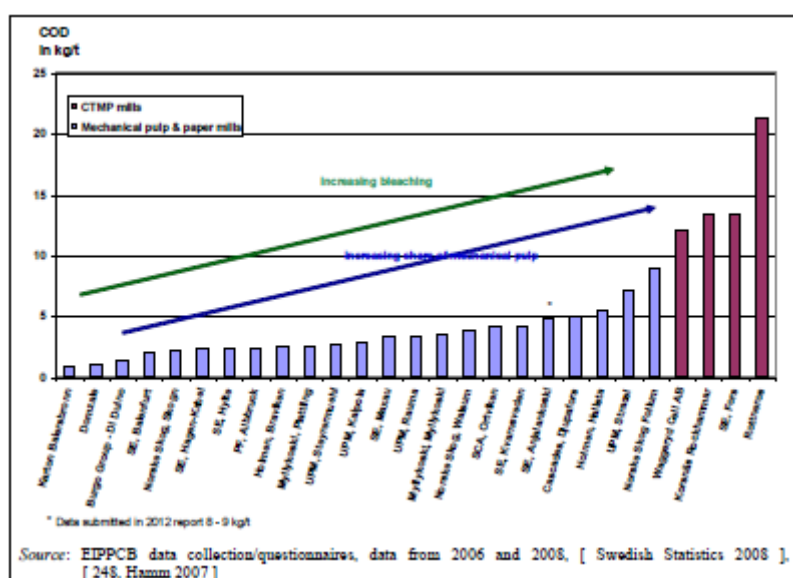
#### Chemiczne zapotrzebowanie na tlen

Na rysunku 5.9 ukazano zadeklarowane średnie wartości roczne emisji ChZT z poszczególnych zakładów. Zakres zgłaszanych poziomów ładunku kształtował się na poziomie od 0,87 do 7,13 kg/t powietrznie suchej masy w przypadku celulozowni i papierni mechanicznych oraz od 12,00 do 21,34 kg/t powietrznie suchej masy w przypadku zakładów chemotermomechanicznych.

Na rysunku 5.9 jako średnie wartości roczne po oczyszczaniu ścieków podano indywidualny ładunek ChZT z celulozowni i papierni mechanicznych i chemomechanicznych.

Wartości podane przez zakłady mechaniczne mieszczą się w zakresie od 0,87 do 7,13 kg/t, a w przypadku intensywnie bielonej masy mechanicznej – nawet do 8-9 kg/t. Niższe wartości ChZT (0,87-1,0 kg/t) dotyczą zakładów, które produkują głównie kartony z bielonego i niebielonego ścieru drzewnego, używają także zakupionej masy chemicznej i działają w nich biologiczna oczyszczalnia ścieków.

Kolejną grupą zakładów są te produkujące papier graficzny (np. papier powlekany o niskiej gramaturze, papier powlekany o bardzo niskiej gramaturze i bardzo cienkiej powłoce) za pomocą różnych źródeł włókna jako wsadu włóknistego (głównie bielony ścier drzewny lub ciśnieniowy ścier drzewny, czasami trochę włókien celulozy pochodzących z recyklingu, a częściowo także zakupiona masa chemiczna), przy czym bielenie masy odbywa się tylko na jednym etapie lub ewentualnie dwóch z nadtlenkiem wodoru lub w ramach połączonego bielenia przy użyciu nadtlenu i podsiarczynu. Emisje ChZT z tej grupy różnią się i wahają od 1,3 do 4,5 kg/t. Grupa zakładów wykorzystująca bieloną masę termomechaniczną (około 30-60%), częściowo włókna celulozy pochodzące z recyklingu z odbarwionej makulatury lub też bielony ścier drzewny i trochę zakupionej masy celulozowej wykazuje emisje w zakresie od 2,0 do 4,5 kg/t. Zakłady termomechaniczne, które w 80-100% bazują na masie termomechanicznej, w większości przypadków bielonej nadtlenkiem wodoru, deklarowały najwyższe emisje ChZT w granicach od 4,5 do 9 kg/t powietrznie suchej masy. Uzyskany poziom jasności (% ISO) produktu końcowego (papier powlekany maszynowo wykańczany, papier powlekany o niskiej gramaturze) odpowiada w pewnym stopniu odprowadzanemu ładunkowi ChZT. Pod uwagę wziąć tu trzeba również wsad włóknisty, układ procesu i stosowaną metodę oczyszczania ścieków. Poziomy ChZT w dużej mierze zależy od wykorzystania masy mechanicznej.



Rysunek 5. 9 Średnie wartości roczne indywidualnych ładunków ChZT z poszczególnych celulozowni mechanicznych i chemomechanicznych

COD in kg/t	ChZT w kg/t
CTMP mills	Zakłady chemotermomechaniczne
Mechanical pulp & paper mills	Celulozownie i papiernie mechaniczne
increasing bleaching	Wzrost bielenia
increasing share of mechanical pulp	Wzrost udziału masy mechanicznej
* Data submitted in 2012 report 8 - 9 kg/t	* Dane przekazane w sprawozdaniu z 2012 r. na poziomie 8-9 kg/t
Source: EIPPCB data collection/questionnaires, data from 2006 and 2008, [ Swedish Statistics 2008 ], [ 248, Hamm 2007 ]	Źródło: Dane z EIPPCB/kwestionariuszy za lata od 2006 do 2008, [ Szwedzkie statystyki 2008 ], [ 248, Hamm 2007 ]

Zakres emisji przedstawionych na rysunku 5.9 odzwierciedla te wahania w odniesieniu do masy włóknistej, udziału i rodzaju masy mechanicznej, poziomu bielenia i stosowanego sposobu oczyszczania ścieków. Górna granica zakresu ChZT w odniesieniu do celulozowni i papierni mechanicznych wynika z funkcjonowania celulozowni i papierni mechanicznych wykorzystujących w dużej mierze ( $\geq 95\%$ ) intensywnie bieloną masę termomechaniczną w prawie wszystkich produkowanych gatunkach papieru.

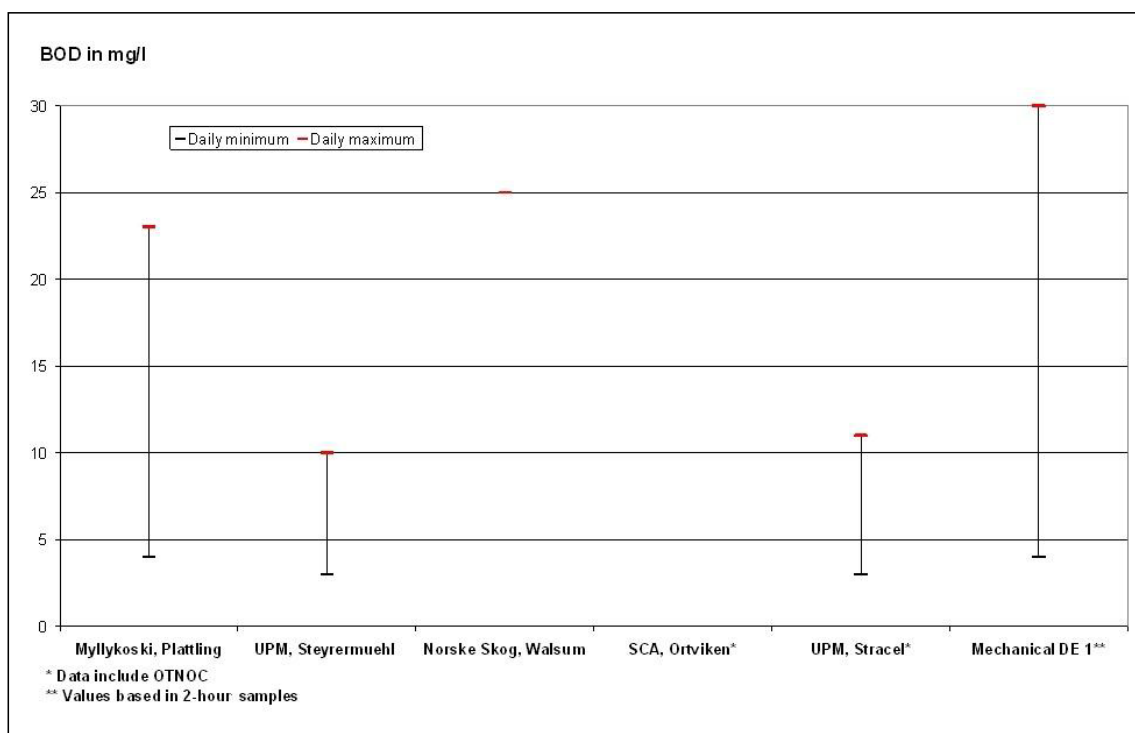
Trzy z czterech zakładów chemotermomechanicznych, które wypełniły kwestionariusz EIPPCB, średniorocznie odprowadzają ładunek substancji organicznych w granicach od 12 do 13,5 kg ChZT/t.

W przypadku zakładów chemotermomechanicznych istnieje kilka możliwych sposobów oczyszczania ścieki: oczyszczanie osadów czynnych w ramach jednego lub dwóch etapów z oczyszczaniem chemicznym lub bez; wewnętrzne oczyszczanie w ramach pierwszego etapu z wykorzystaniem wody sitowej, a następnie oczyszczanie osadów czynnych z pozostałych ścieków; odparowywanie i spalanie najbardziej zanieczyszczonych ścieków i oczyszczanie osadów czynnych z pozostałych ścieków; połączenie beztlenowego i tlenowego oczyszczania ścieków.

Obecnie oczyszczanie osadu czynnego to najczęściej stosowana technika, a jeśli właściwie ją zaprojektowano, możliwa jest redukcja BZT na poziomie 98% natomiast ChZT na poziomie 85%. Oczyszczanie beztlenowe stosuje się dużo częściej w przypadku ścieków z zakładów chemotermomechanicznych, ponieważ systemy beztlenowe są stosunkowo wrażliwe na zakłócenia spowodowane przez zawierające siarkę ścieki z zakładów chemotermomechanicznych. Ścieki z zakładów produkujących masę chemotermomechaniczną z drewna drzew liściastych przy użyciu alkalicznego nadtlenu do impregnacji zrębków można skutecznie oczyszczać na etapach beztlenowych, co widać w kilku niedawno powstałych instalacjach. Wytworzony biogaz można wykorzystać do produkcji energii elektrycznej w kotle korowym, a w przypadku celulozowni produkujących masę do sprzedaży na rynek – w suszarce pneumatycznej.

W Europie powstaje coraz więcej zakładów papierniczych, które w jednym miejscu produkują i stosują nie jeden rodzaj masy celulozowej, lecz wiele rodzajów takiej masy. Na przykład papiernia produkująca głównie papier gazetowy i papier gładzony może stosować kombinację surowców, takich jak masa mechaniczna (ścier drzewny i masa termomechaniczna), masa z odbarwionej makulatury i pewna ilość zakupionej masy chemicznej. W tego rodzaju zakładach system wodny pomiędzy różnymi procesami jest ściśle powiązany.

Wartości krótkoterminowe wykazane w odniesieniu do emisji BZT ukazano na rys. 5.10.



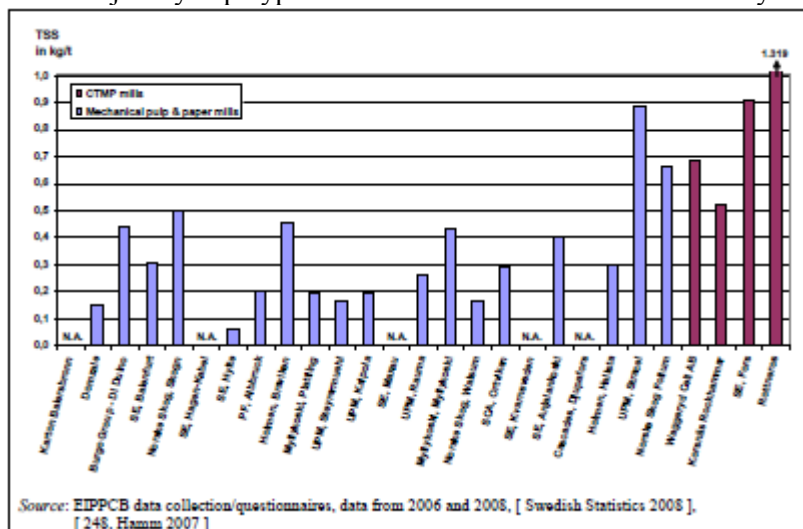
Rysunek 5. 10 Średnie wartości krótkoterminowe dotyczące emisji BZT z celulozowni mechanicznych

BOD in mg/l	BZT w mg/l
Daily minimum	Minimalna wartość dobowa

Daily maximum	Maksymalna wartość dobowa
* <b>Data include OTNOC</b>	* <b>W danych uwzględniono warunki inne niż normalne.</b>
** <b>Values based in 2-hour samples</b>	** <b>Wartości na podstawie dwugodzinnych próbek</b>
Source: EIPPCB questionnaires from 2007/2009	Źródło: Kwestionariusze EIPPCB z lat 2007/2009

### Zawiesina ogółem

Ogólny zarys indywidualnych całkowitych ładunków zawiesiny przedstawiono na rysunku 5.11. Zakres poziomów ładunku kształtował się na poziomie od 0,056 do 0,88 kg/t powietrze suchej masy w przypadku celulozowni i papierni mechanicznych oraz od 0,52 do 1,32 kg/t powietrze suchej masy w przypadku zakładów chemotermomechanicznych.



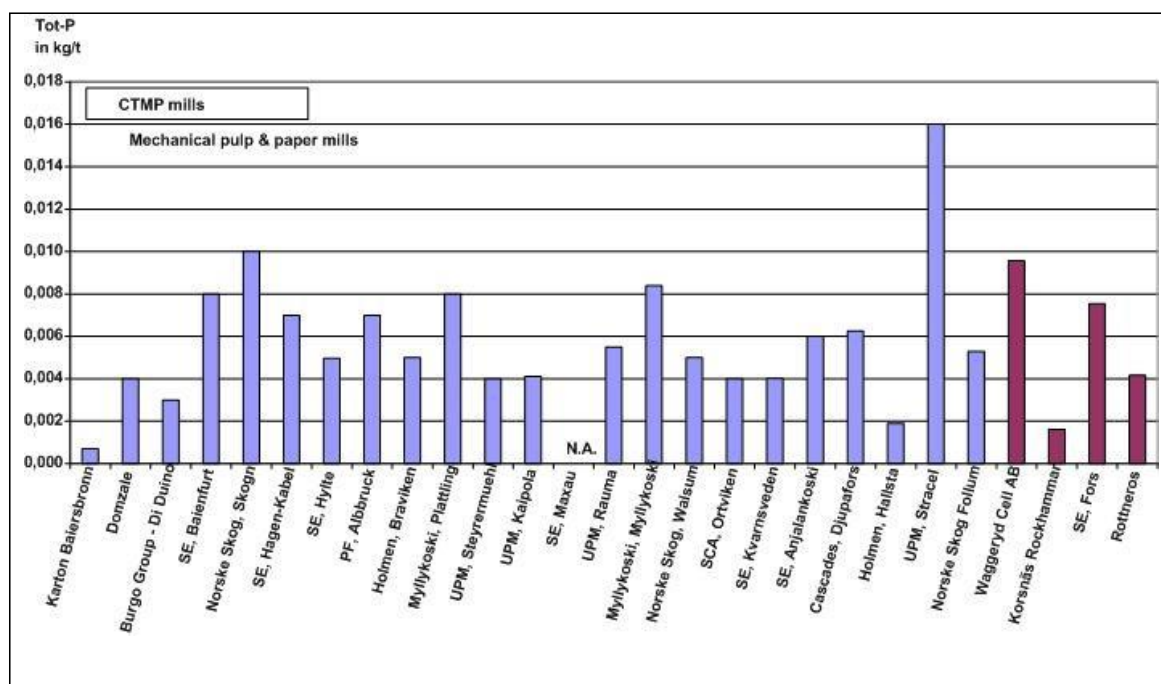
Rysunek 5. 11 Średnie wartości roczne indywidualnych ładunków zawiesiny ogółem z poszczególnych celulozowni mechanicznych i chemomechanicznych

TSS in kg/t	Zawiesina ogółem w kg/t
CTMP mills	Zakłady chemotermomechaniczne
Mechanical pulp & paper mills	Celulozownie i papiernie mechaniczne
N.A.	brak danych
Source: EIPPCB data collection/questionnaires, data from 2006 and 2008, [ Swedish Statistics 2008 ], [ 248, Hamm 2007 ]	Źródło: Dane z EIPPCB/kwestionariuszy za lata od 2006 do 2008, [ Szwedzkie statystyki 2008 ], [ 248, Hamm 2007 ]

### Składniki odżywcze

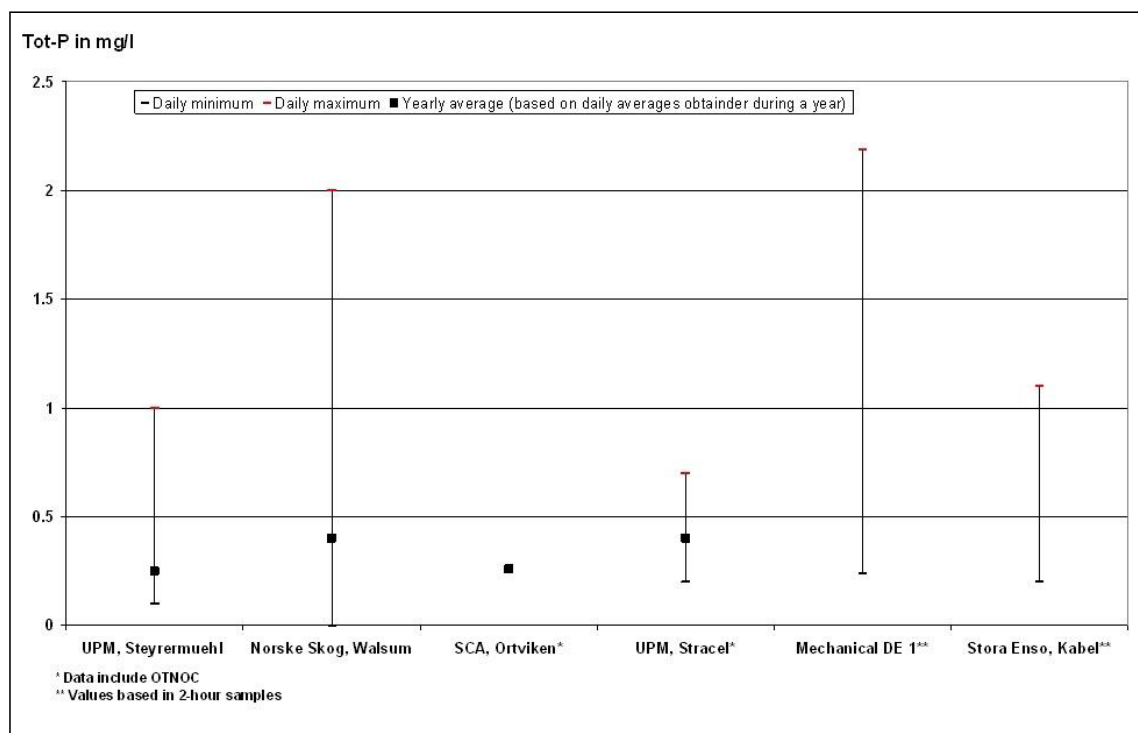
Ładunek azotu powstający w procesie wytwarzania masy mechanicznej pochodzi z drewna i środków chelatujących (np. EDTA, DTPA) stosowanych w procesie bielienia. W wyniku dodatku 2-3 kg EDTA/tonę masy powstaje dodatkowy ładunek azotu wielkości 150-220 g azotu/tonę masy. Ładunek fosforu zależy od drewna. Emisje składników odżywczych (azotu i fosforu) są niskie i niegroźne, o ile odprowadzana woda zostanie poddana oczyszczaniu w ramach procesu z osadem czynnym. Dlatego też przed takim oczyszczaniem normalnie dodaje się składniki odżywcze (N i P).

Na rysunku 5.12 i 5.14 przedstawiono ogólny zarys indywidualnych ładunków fosforu i azotu z poszczególnych zakładów, natomiast na rysunku 5.13 i 5.15 – średnie wartości krótkookresowe. Ładunki podane w odniesieniu do celulozowni i papierni mechanicznych w przypadku całkowitego fosforu wahają się w granicach od 0,001 do 0,016 kg/t powietrze suchej masy, natomiast w przypadku całkowitego azotu – od 0,001 do 0,839 kg/t powietrze suchej masy. Wartości z zakładów chemotermomechanicznych wahają się od 0,002 do 0,010 kg/t powietrze suchej masy w przypadku całkowitego fosforu oraz od 0,145 do 0,184 kg/t powietrze suchej masy w przypadku całkowitego azotu.



Rysunek 5.12 Średnie wartości roczne P łącznie z poszczególnych celulozowni mechanicznych i chemomechanicznych

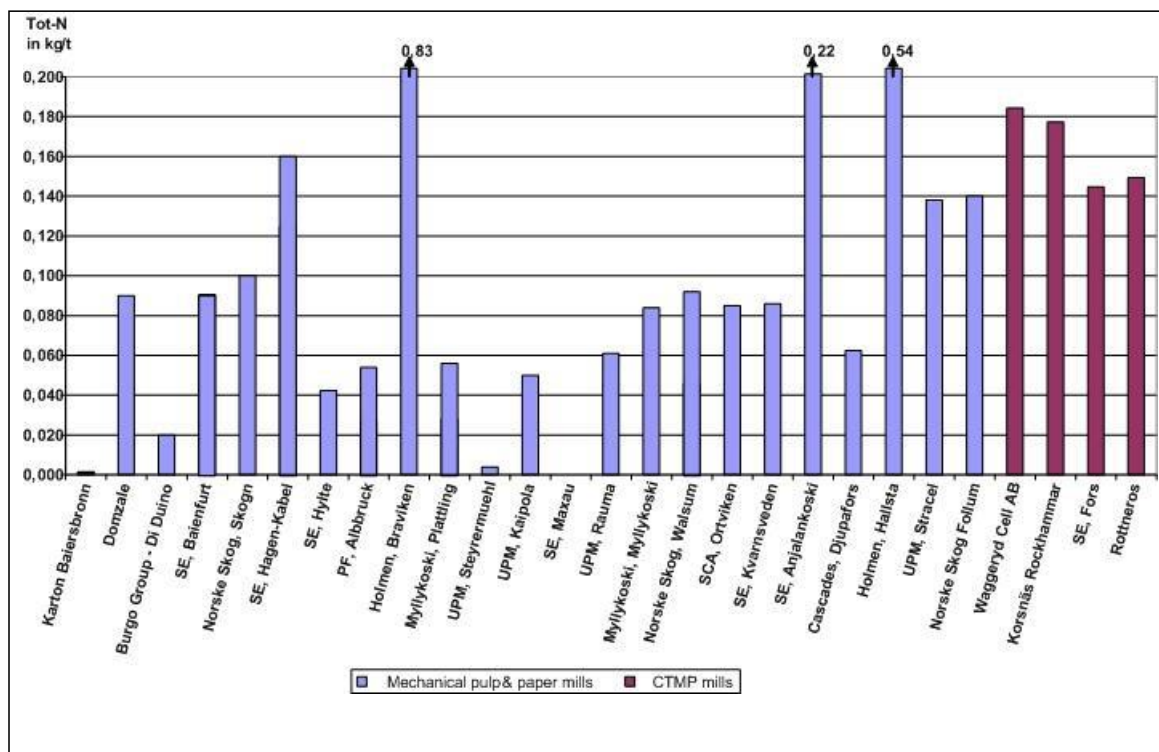
CTMP mills	Zakłady chemotermomechaniczne
Mechanical pulp 4 paper mills	Celulozownie i papiernie mechaniczne
N.A.	brak danych
Source: EIPPCB data collection/questionnaires, data from 2006 and 2008, [ Swedish Statistics 2008 ], T 248. Hamm 2007 ]	Źródło: Dane z EIPPCB/kwestionariuszy za lata od 2006 do 2008, [ Szwedzkie statystyki 2008 ], [ 248, Hamm 2007 ]



Rysunek 5.13 Średnie wartości krótkoterminowe dotyczące emisji całkowitego P z celulozowni mechanicznych

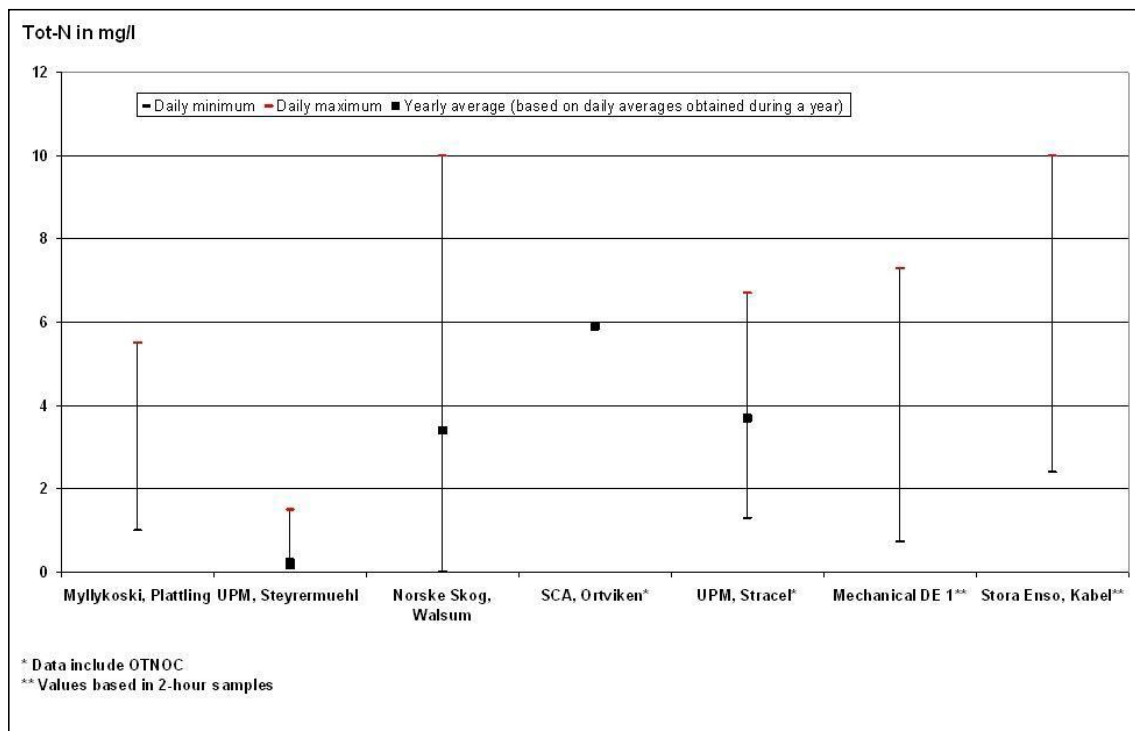
Tot-P in mg/l	P łącznie w mg/l
Daily minimum	Minimalna wartość dobową
Daily maximum	Maksymalna wartość dobową
Yearly average (based on daily	Średnia roczna (na podstawie średnich

averages obtained during a year)	dobowych otrzymanych w ciągu roku)
* Data include OTNOC	* W danych uwzględniono warunki inne niż normalne.
** Values based in 2-hour samples	** Wartości na podstawie dwugodzinnych próbek
Source: EIPPCB questionnaires from 2007/2009	Źródło: Kwestionariusze EIPPCB z lat 2007/2009



Rysunek 5.14 Średnie wartości roczne N łącznie z poszczególnych celulozowni mechanicznych i chemomechanicznych

Tot-N in kg/t	N łącznie w kg/t
Mechanical pulp & paper mills	Celulozownie i papiernie mechaniczne
CTMP mills	Zakłady chemotermomechaniczne
Source: EIPPCB data collection/questionnaires, data from 2006 and 2008, [ Swedish Statistics 2008 ], [ 248. Hamm 2007 ]	Źródło: Dane z EIPPCB/kwestionariuszy za lata od 2006 do 2008, [ Szwedzkie statystyki 2008 ], [ 248, Hamm 2007 ]



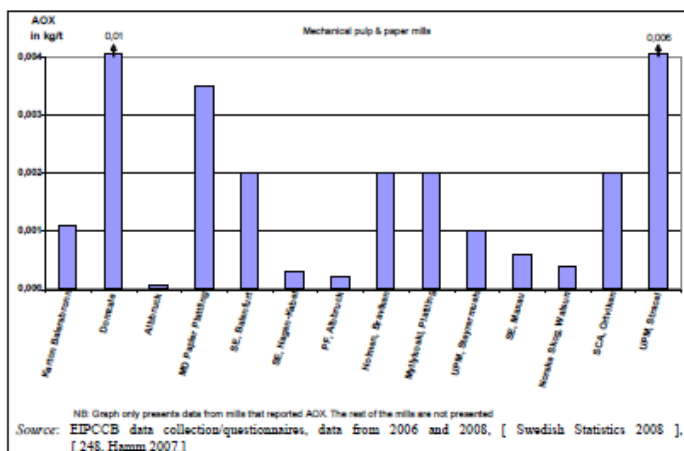
Rysunek 5. 15 Średnie wartości krótkoterminowe dotyczące emisji całkowitego N z celulozowni mechanicznych

Tot-N in mg/l	T łącznie w mg/l
Daily minimum	Minimalna wartość dobową
Daily maximum	Maksymalna wartość dobową
Yearly average (based on daily averages obtained during a year)	Średnia roczna (na podstawie średnich dobowych otrzymanych w ciągu roku)
* Data include OTNOC	* W danych uwzględniono warunki inne niż normalne.
** Values based in 2-hour samples	** Wartości na podstawie dwugodzinnych próbek
Source: EIPPCB questionnaires from 2007/2009	Źródło: Kwestionariusze EIPPCB z lat 2007/2009



### Adsorbowalne związki chloroorganiczne (AOX)

Ogólny zarys indywidualnych ładunków AOX z poszczególnych zakładów przedstawiono na rysunku 4.28. Odnotowane ładunki w przypadku celulozowni i papierni mechanicznych wahają się w granicach od 0,000 2 do 0,010 kg/t powietrze suchej masy.



Rysunek 5.16 Średnie wartości roczne dotyczące ładunku AOX z poszczególnych celulozowni mechanicznych i chemomechanicznych

AOX in kg/t	AOX w kg/t
Mechanical pulp & paper mills	Celulozownie i papiernie mechaniczne
NB: Graph only presents data from mills that reported AOX. The rest of the mills are not presented	Uwaga: Na wykres przedstawiono wyłącznie dane z zakładów, które zadeklarowały AOX. Pozostałych zakładów nie uwzględniono.
Source: EIPCCB data collection/questionnaires, data from 2006 and 2008, [ Swedish Statistics 2008 ], [ 248, Hamm 2007 ]	Źródło: Dane z EIPCCB/kwestionariuszy za lata od 2006 do 2008, [ Szwedzkie statystyki 2008 ], [ 248, Hamm ]

#### 5.2.2.4 Emisje do powietrza

##### Lotne związki organiczne (LZO)

Emisje do powietrza z roztwarzania mechanicznego częściowo zawierają LZO. LZO z celulozowni mechanicznych są całkowicie naturalne, tzn. pochodzą z drewna. Ich zapach to głównie zapach świeżego drewna. LZO pochodzą z części drewna często nazywanej żywicą lub substancjami ekstrakcyjnymi (mierzonej w procentach i za pomocą metod ekstrakcji, na przykład za pomocą chlorku metylenu = dichlorometanu). Związki te mają tendencję do parowania lub rozpuszczają się w wysokich temperaturach lub też rozpuszczają się w wyniku obróbki alkalicznej. Świeży świerk zawiera 1-2% chlorku metylenu (z czego <1% uznaje się za LZO); niebieloną masę mechaniczną: 0,3-0,5%; bieloną masę mechaniczną/chemotermomechaniczną: <0,1%; świeża sosna: 3-5% (do 8% w przypadku południowych gatunków sosny). Badania drewna drzew iglastych wykazały, że 90% terpenów ulega rozkładowi na placu drzewnym i w stosach zrębków. Po 14 tygodniach przechowywania terpeny przedostają się do atmosfery w postaci emisji rozproszonych. Źródła emisji LZO to wentylacja powietrza z kadzi z płukania zrębków i z pozostałych kadzi oraz płuczek natryskowych, w których skrapla się parę wodną z odzysku energii cieplnej z procesu termomechanicznego, zanieczyszczoną lotnymi składnikami drewna.

Emisje LZO zależą od gatunku używanego drewna, od jakości i świeżości drewna, od czasu przechowywania na placu drzewnym i od zastosowanych technik roztwarzania drewna.

W zależności od rodzaju surowca do emitowanych substancji pochodzących z

drewna można zaliczyć kwasy octowe, kwasy mrówkowe, metanol, pineny i terpeny (te dwie ostatnie substancje pochodzą z drewna drzew iglastych).

W tabeli 5.7 przedstawiono podane przez niemiecki zakład termomechaniczny stężenie substancji organicznych przed oczyszczaniem zewnętrznym.

**Tabela 5. 7 Emisje lotnych związków organicznych z niemieckiego zakładu termomechanicznego przed oczyszczaniem**

Etap procesu	Emisji substancji organicznych
Płuczka natryskowa (płuczka początkowa)	- całkowity węgiel organiczny: 6 000 mg/m <sup>3</sup> (najwyższa wartość indywidualna: 9 600 mg/m <sup>3</sup> ) - pineny <sup>(1)</sup> : 13 000 mg/m <sup>3</sup>
Płukanie zrębków	- całkowity węgiel organiczny: 300 mg/m <sup>3</sup> - pineny <sup>(1)</sup> : 500 mg/m <sup>3</sup>
Odprowadzanie powietrza ze skrzyń	- całkowity węgiel organiczny: 150 mg/m <sup>3</sup> - pineny <sup>(1)</sup> : 50 mg/m <sup>3</sup>

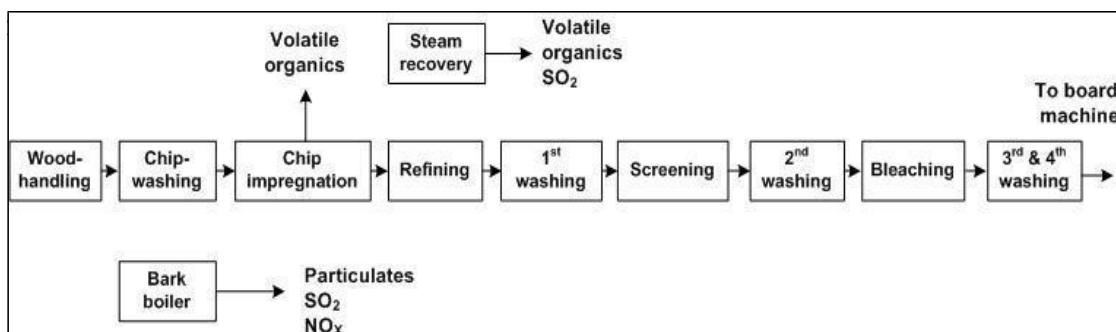
<sup>(1)</sup> W większości pineny (o wzorze C<sub>10</sub>H<sub>16</sub>), ale w tym również inne lotne substancje organiczne klasy III według niemieckich instrukcji technicznych dotyczących kontroli jakości powietrza.

Analiza lotnych związków organicznych z instalacji termomechanicznej jest bardzo trudna, ponieważ spaliny zawierają parę wodną, a nawet krople wody. Na przykład podczas pomiaru całkowitego węgla detektor płomieniowo-jonizacyjny (FID) podaje błędne wyniki. Dokładniejsze informacje można uzyskać za pomocą analizy w podczerwieni z transformatą Fouriera (FTIR).

W zależności od stosowanej technologii wytwarzania masy LZO wydzielane z włókna mogą się w dużej mierze różnić. Ilość kwasów organicznych emitowanych z procesów chemotermomechanicznych to niewielka część tych pochodzących z systemu termomechanicznego, ponieważ kwasy zachowuje się głównie w alkalicznej fazie wodnej. Na przykład w zakładzie stosującym drewno drzew iglastych przed oczyszczaniem odnotowano 200 g terpenów na tonę masy. Ogólnie rzecz biorąc, w przypadku linii masy zawierającej system płuczek emisji LZO wynoszą 1 kg/t masy. W przypadku stosowania drewna drzew liściastych można spodziewać się około 0,4 kg na tonę LZO (źródło: Andritz, 2009).

Niektóre LZO mogą wydostawać się wraz z emisjami z oczyszczania ścieków. Większość rozproszonych emisji pochodzi ze stosów zrębków podczas ich przechowywania.

Na rysunku 5.17 przedstawiono ogólny zarys emisji do atmosfery z zakładu chemotermomechanicznego.



**Rysunek 5. 17 Emisje do atmosfery z zakładów chemotermomechanicznych**

Volatile organics	Lotne związki organiczne
Steam recovery	Odzyskiwanie pary wodnej
Volatile organics SO <sub>2</sub>	Lotne związki organiczne SO <sub>2</sub>
Wood- handling	Obróbka drewna
Chip- washing	Mycie zrębków

Chip impregnation	Impregnacja zrębków
Refining	Rafinowanie
1st washing	Pierwsze płukanie
Screening	Przesiewanie
2nd washing	Drugie płukanie
Bleaching	Bielenie
3rd & 4th washing	Trzecie i czwarte płukanie
To board- machine	Do kartoniarki
Bark boiler	Kocioł korowy
Particulates	Cząstki

Emisje do atmosfery z linii masy włókna pochodzą głównie z bielenia i odzysku pary wodnej (LZO) oraz z kotłów korowych, w których spala się pozostałości drewna (pyły, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) (patrz podrozdział 2.6.2).

Dostępne są różne możliwości ograniczania emisji LZO:

- odzysk terpenów z zanieczyszczonych kondensatów na potrzeby spalania;
- spalanie gazu wylotowego w elektrowni w zakładzie lub w oddzielnym kotle.

W Europie nie ma żadnych celulozowni ani papierni, które zadeklarowały jakieś specjalne działania kontrolne w zakresie ograniczania emitowanych nieprzyjemnych zapachów związanych z emisjami LZO. W innych zakładach, na przykład w papierni UPM-Kymmene, Blandin Paper Mill i w papierni New Page, Duluth Paper Mill, za pomocą regeneracyjnego utleniania termicznego (RTO) kontroluje się LZO odprowadzane z głównego komina rozdrabniarki (zakład produkujący ciśnieniowy ścier drzewny) i z otworu wentylacyjnego z komory rozdrabniarki [188, Pöyry 2010]. Nie udało się zgromadzić bardziej szczegółowych danych.

### **Emisje z produkcji energii**

Podobnie jak w pozostałych zakładach celulozowo-papierniczych z roztwarzania mechanicznego powstają emisje odprowadzane do powietrza, które nie są związane z procesem, lecz głównie z wytwarzaniem energii ze spalania różnych rodzajów biopaliw i paliw kopalnych (patrz podrozdział 2.6). W typowej zintegrowanej papierni stosującej masę mechaniczną w elektrowni powstaje wysokoprężna para wodna. W przeciwnieprężnym turbogeneratorze część tej energii przekształcana jest w energię elektryczną, a reszta służy do suszenia papieru. Elektrownie opalane paliwami stałymi wyposażone są w filtry elektrostatyczne do usuwania z gazów spalinowych cząstek stałych. Emisje dwutlenku siarki można ograniczyć poprzez odpowiedni dobór paliw. W zależności od lokalnych warunków w Europie działają papiernie zużywające różne ilości energii dostarczanej z zewnątrz.

### **Emisje z kotłów do spalania kory**

W wytwórniach rafinerowej masy mechanicznej usunięta z drewna kora zazwyczaj spalana jest w kotłach korowych. Razem z korą można spalać część odrzutów i osadów. Istnieje również pewna liczba fabryk niestosujących jako surowca drewna okrągłego, lecz zrębki tartaczne.

#### **5.2.2.5 Wytwarzanie odpadów stałych**

Odpady stałe, usuwane z procesów wytwarzania masy mechanicznej składają się z kory i odpadów drzewnych powstających podczas korowania, mycia i sortowania zrębków (około 1,5% odrzutu), odpadów włókien (osad z osadnika wstępnego), popiołu z produkcji energii i nadmiernego osadu z zewnętrznej biologicznej oczyszczalni ścieków. Odpady zawierające drewno zazwyczaj poddawane są spalaniu w kotłach do spalania kory (kotłach korowych). Popioły zwykle są wyrzucane lub wykorzystywane w przemyśle materiałów budowlanych.

Największa frakcja odpadów składa się z różnego rodzaju osadów, głównie z zawierających włókna osadów z osadników wstępnych i nadmiernego osadu z biologicznej oczyszczalni ścieków. Ilość odpadów przeznaczonych do wywozu na składowisko można zredukować poprzez optymalizację pracy pras do odwadniania osadów. Na potrzeby transportu lub spalania należy usunąć możliwie jak najwięcej wody. Wykorzystanie nadmiaru energii cieplnej do suszenia zapewnia dodatkową wartość dodaną i ogranicza koszty. Przy poziomie suchości poniżej 35% osad będzie miał dodatnią wartość opałową (patrz podrozdział 2.9.6.1.4).

Sposoby dalszego wykorzystania osadów zależą od ich ilości i jakości. Osad z osadników wstępnych można wykorzystać jako dodatkowy materiał do produkcji cegieł. Można go być spalić w zakładzie lub poza nim. W celu ułatwienia dalszej obróbki osadów i odrzutów zasadnym rozwiązaniem jest rozdzielanie różnych rodzajów osadów.

Analiza chemiczna osadu z osadników wstępnych i nadmiernego osadu z biologicznej oczyszczalni ścieków z niemieckiego mechanicznego zakładu celulozowo-papierniczego dała rezultaty przedstawione w tabeli 5.8.

Tabela 5. 8 Skład osadu z osadników i nadmiernego osadu z instalacji do obróbki osadu czynnego

Parametr	Jednostka	Osad z osadnika	Nadmiar osadu
Zawartość s.m.	%	47,9	31,7
Substancje stałe	% s.m.	33,2	48,3
LZO	% s.m.	19	23
Arsen	mg/kg s.m.	1,6	2,3
Ołów	mg/kg s.m.	41	22
Kadm	mg/kg s.m.	<0,67	<0,67
Chrom całkowity	mg/kg s.m.	24	17
Miedź	mg/kg s.m.	238	71
Nikiel	mg/kg s.m.	5,7	7,5
Rtęć	mg/kg s.m.	0,08	0,09
Cynk	mg/kg s.m.	141	135

Źródło: Sprawozdanie z niemieckiej celulozowni mechanicznej (produkującej ścier drzewny i masę termomechaniczną)

W każdym zakładzie powstaje niewielka ilość odpadów niebezpiecznych. Odpady takie zawierają pozostałości oleju i tłuszczów, zużyty olej hydrauliczny i transformatorowy, zużyte baterie i inne zużyte urządzenia elektryczne, rozpuszczalniki, farby, produkty biobójcze, pozostałości chemiczne itp.

#### 5.2.2.6 Zużycie chemikaliów

Główne substancje chemiczne stosowane w procesach roztwarzania masy mechanicznej to chemikalia bielące, a w przypadku masy chemotermomechanicznej – chemikalia do impregnacji zrębków.

W procesie bielenia z użyciem podsiarczynu sodu ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$ ) maksymalna jego ilość dodawana do masy wynosi od 8 do 12 kg na tonę masy. W większości zakładów dodaje się także środka chelatującego (np. EDTA, DTPA).

Za pomocą nadtlenku wodoru przeprowadza się bielenie utleniające, a odbywa się ono w zakresie pH 10-10,5. Do regulacji poziomu pH wykorzystuje się wodorotlenek sodu (NaOH). Maksymalna ekonomiczna ilość nadtlenku wynosi 3-4% (roztwór 50%) w stosunku do ilości masy. Dodawany jest również krzemian sodu (1,5-4% w stosunku do ilości masy) pełniący rolę bufora pH i stabilizatora nadtlenku. Wykorzystuje się również środki chelatujące (np. EDTA, DTPA) tworzące związki kompleksowe z metalami ciężkimi (Fe, Mn, Cu, Cr), które zapobiegają przebarwieniom masy i rozkładowi nadtlenku. Dawka środków chelatujących wynosi około 5 kg na tonę masy. EDTA i DTPA są odporne na degradację i zawierają azot, który pojawi się w ściekach. Końcowym etapem bielenia jest zakwaszanie masy kwasem siarkowym lub dwutlenkiem siarki do odpowiedniego poziomu pH.

W niektórych zakładach podczas bielenia nadtlenkiem zamiast NaOH jako alkalia stosuje się  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  czy też  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  (np. SCA Laakirchen, MD Papier Plattling). Zastosowanie NaOH zamiast  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  zapewnia emisję ChZT niższe o około 30% przy jednoczesnym zachowaniu wysokiego poziomu jasności.

Ilość wykorzystywanych substancji chemicznych w dużej mierze się różni, ponieważ w dużym stopniu zależy od zastosowanej technologii bielenia masy mechanicznej. Na przykład w procesie bielenia redukującego z użyciem podsiarczynu sodu w ogóle nie stosuje się  $\text{H}_2\text{O}_2$ , NaOH,  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  ani  $\text{H}_2\text{SO}_4/\text{SO}_2$ . Ponadto ważną rolę odgrywa tu jakość drewna. Początkowa białość masy wytwarzanej ze zrębków z wiórów tartacznych może być niższa (do 5% ISO białości) niż białość masy wytwarzanej ze zrębków przygotowanych ze świeżych bali drewna (okrąglaków). Dlatego też w tym drugim przypadku zużycie substancji chemicznych potrzebnych do uzyskania porównywalnej białości będzie niższe. W przypadku masy ze świeżej papierówki wystarczy zastosować proces bielenia redukującego, w którym powstaje mniejsza ilość zanieczyszczeń. W tabeli 5.9 przedstawiono zużycie substancji chemicznych w kg/t do produkcji bielonych rodzajów masy mechanicznej.

Tabela 5. 9 Zużycie podstawowych substancji chemicznych w kg/t do produkcji bielonych rodzajów gatunków masy mechanicznej

Substancje	Ilość chemikaliów zużywanych do produkcji ścieru drzewnego i ciśnieniowego ścieru drzewnego (kg/t)	Ilość chemikaliów zużywanych do produkcji masy termomechanicznej (kg/t)	Ilość chemikaliów zużywanych do produkcji masy chemotermomechanicznej (kg/t)
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	0 – 12	0 – 12	-
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	0 – 40	0 – 50	0 – 40
NaOH <sup>(1)</sup>	5 – 30	0 – 40	0 – 60
Alternatywne alkalia: np. Mg(OH) <sub>2</sub>			
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	0 – 40	0 – 40	0 – 40
EDTA/DTPA	0 – 5	0 – 5	0 – 5
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /SO <sub>2</sub>	nie dotyczy	nie dotyczy	0 – 10
Na <sub>2</sub> SO <sub>3</sub>	nie dotyczy	nie dotyczy	25 – 30
Uwaga: ( <sup>1</sup> ) Wartość docelowa na potrzeby zwiększenia jasności ISO ma decydujący wpływ na zastosowanie NaOH.			

W zintegrowanych celulozowniach mechanicznych w zależności od produktu końcowego papieru (patrz sekcja 6.2.2.3) można stosować różne dodatki chemiczne (substancje pomocnicze do określonych technologii i produktów), np. środki dyspergujące, środki retencyjne, utrwalacze, odpieniacze, środki do dyspersji biologicznej lub produkty biobójcze, wybielacze optyczne, środki czyszczące itp.

### 5.2.2.7 Zużycie energii

Jednostkowe zużycie energii w procesach wytwarzania masy mechanicznej zależy od zastosowanego procesu technologicznego, od właściwości surowca (gatunku drewna) i w dużej mierze również od wymagań jakościowych (chudość masy, czyli odwadnialność) względem produktu finalnego. Parametrem używanym zwykle do określania jakości masy jest wartość odwadnialności (CSF = Canadian Standard Freeness) charakteryzująca jej podatność na odwadnianie. Niska wartość odwadnialności oznacza małą prędkość odwadniania i wysoki stopień fibrylacji masy. W procesie wytwarzania masy o niższej odwadnialności (lepszych właściwościach wytrzymałościowych) wzrasta ilość energii potrzebnej do ścierania drewna lub rozwłókniania zrębków (rafinowania). Za pomocą ilości włożonej energii można regulować nie tylko odwadnialność masy, ale także zakres długości włókien od długich do frakcji drobnej oraz ich elastyczność (miętkość). Pożądana odwadnialność, białość i inne właściwości masy zależą od rodzaju wytwarzanego z niej papieru czy tektury, do produkcji której stosuje się masę mechaniczną, a także od udziału masy mechanicznej we wsadzie włóknistym. Najczęściej jest to papier drzewny drukowy, np. papier powlekany o niskiej gramaturze, papier gładzony na czasopisma (odwadnialność 20-60 ml CSF) i papier gazetowy (odwadnialność 80-150 ml CSF). Masa mechaniczna stanowi także półprodukt do wytwarzania tektury (odwadnialność 450-550 ml CSF), chusteczek (300-400 ml CSF) i masy włóknistej (500-550 ml CSF). Im niższa odwadnialność (CSF), tym wyższe zużycie energii elektrycznej.

Praca związana z uwalnianiem włókien z drewna stanowi tylko część pracy włożonej w proces ścierania czy rozwłókniania. Pod wpływem tarcia reszta energii zostaje przekształcona w ciepło. Pewną jej ilość można odzyskać w postaci gorącej wody lub pary wodnej i wykorzystać do suszenia produktu końcowego.

Największy potencjał z punktu widzenia odzyskiwania energii z roztwarzania mechanicznego ma ta część procesu, która prowadzona jest pod zwiększonym ciśnieniem. Możliwości odzyskiwania energii zależą od rodzaju rafinerów i konstrukcji zakładu termomechanicznego. Na przykład niektóre systemy wymagają dodania drugiego i ewentualnie trzeciego stopnia rozwłókniania przy ciśnieniu atmosferycznym, w którym odzysk energii cieplnej jest

trudniejszy. Udział procentowy możliwej do odzyskania energii nie jest wartością stałą w całym zakresie odwadnialności, ponieważ np. wytworzenie masy o niższej odwadnialności wymaga wydłużenia procesu rozwłókniania w rafinerach ciśnieniowych, co prowadzi do zwiększenia ilości odzyskiwanej energii. Typowe zakresy zużycia energii i stopnia jej odzyskiwania pokazano w tabeli 5.10. W odniesieniu do chudości i jednostkowego zużycia energii w procesie występują znaczne różnice. Źródła danych są stare, ale wartości nadal są poprawne i odpowiadają dzisiejszej praktyce (źródło: UPM, 2010).

**Tabela 5. 10 Zużycie energii i stopień jej odzyskiwania w roztwarzaniu mechanicznym**

Masa mechaniczna i odwadnialność (ml CSF)	Zużycie energii (kWh/t masy celulozowej)	Możliwa do odzyskania energia	
		w postaci gorącej wody (%)	w postaci pary wodnej pod wysokim ciśnieniem
Ścier drzewny 350-30	1 100-2 200	20	0
Ciśnieniowy ścier	1 100-2 200	30	20
Wysokociśnieniowy ścier drzewny 350-30	1 110-2 300	30	20
Rafinerowa masa mechaniczna 350-30	1 600-3 000	30	20
Masa termomechaniczna 400-30	1 800-3 600	20	40-80
Masa chemotermomech. 700-30	1 000-4 300	20	40-45

Uwaga: Zużycie energii dotyczy masy wysuszonej w piecu (100%). Wartości te mają wyłącznie charakter orientacyjny i mogą się różnić o  $\pm 10\%$ , a dotyczą wielu różnych gatunków masy celulozowej i produktów końcowych. CSF = parametr odwadnialności masy (Canadian Standard Freeness).  
Źródło: [ TEKES, 1997 ]

Ilość energii stosowanej do rozwłókniania podczas roztwarzania mechanicznego odpowiada wymogom co do jakości produktu końcowego, takich jak objętość właściwa, wytrzymałość, nieprzezroczystość i gładkość powierzchni. Na przykład zużycie energii w procesie wytwarzania ścieru drzewnego ścieru, przy jednoczesnym braku jej regeneracji, waha się od około 1 100 kWh przy CSF na poziomie 350 ml do około 2 200 kWh przy CSF na poziomie 30 ml. Podczas wytwarzania ciśnieniowego ścieru drzewnego (PGW) zużycie energii wynosi od około 1 100 kWh/t przy CSF rzędu 300 ml do około 2 300 kWh/t przy CSF na poziomie 30 ml, ale do 30% zużytej energii brutto można odzyskać w postaci gorącej wody poprzez wymianę ciepła z gorącą masą. Tyle samo energii i w takiej samej postaci można odzyskać w procesie wytwarzania rafinerowej masy mechanicznej, natomiast w procesie wytwarzania masy termomechanicznej 40-80% energii można odzyskać w postaci pary wodnej i o 10-20% więcej w postaci gorącej wody. Proces ten prowadzony przy ciśnieniu około 6 barów daje 2 tony pary wodnej na 1 tonę masy lub około jednej tony pary wodnej na 1 MWh zużyty przez młyn. Ogólnie rzecz biorąc, ilość odzyskanej pary wodnej zależy od zużytej energii jednostkowej i wynosi około 2 tony na tonę masy przy ciśnieniu od 2 do 4 barów.

Generalnie na proces wytwarzania masy termomechanicznej zużywa się więcej energii niż na proces wytwarzania ścieru drzewnego. Na przykład wytworzenie ścieru drzewnego przeznaczonego do produkcji papieru gładzonego i papieru gazetowego wymaga całkowitego zużycia energii na poziomie odpowiednio około 2 200 kWh/t i 1 600 kWh/t, podczas gdy produkcja masy termomechanicznej pochłania odpowiednio około 3 600 kWh/t i 2 500 kWh/t. Jednak wyższy odzysk ciepła w procesie termomechanicznym może normalnie prowadzić do zmniejszenia ogólnego zużycia energii w porównaniu do roztwarzania ścieru drzewnego. Aby porównać wydajność energetyczną w różnych procesach roztwarzania, pod uwagę wziąć trzeba odzysk energii cieplnej w procesie roztwarzania termomechanicznego i wykorzystanie masy siarczanowej i materiału wypełniającego we wsadzie włóknistym na produkt końcowy.

Na podstawie uproszczonego wyliczenia widać, w jaki sposób wybór wsadu wpływa na zużycie

energii elektrycznej podczas produkcji papieru powlekanego o niskiej gramaturze lub papieru powlekanego maszynowo wykańczany. Czytelnik powinien pamiętać o tych aspektach przy porównywaniu konkretnych wartości zużycia energii elektrycznej w zintegrowanych celulozowniach i papierniach mechanicznych.

Przykłady zastosowanych wsadów włóknistych do produkcji papieru powlekanego o niskiej gramaturze i papieru powlekanego maszynowo wykańczanego podano w tabeli 5.11.

**Tabela 5. 11 Przykłady zastosowanych wsadów włóknistych do produkcji papieru powlekanego o niskiej gramaturze i papieru powlekanego maszynowo wykańczanego**

Gatunek masy celulozowej	Wsad włóknisty A	Wsad włóknisty B	Wsad włóknisty C
Zakupiona masa chemiczna	33	10	0
Masa termomechaniczna	34	57	67
Wypełniacze i pigmenty do mieszanek powlekających	33	33	33

Źródło: [ 169, Nilsson et al. 2007, p. 31 ]

Na podstawie porównania zużycia energii elektrycznej pokazanego w tabeli 5.12 można stwierdzić, że wsad włóknisty C o najwyższym udziale masy mechanicznej wiąże się ze znacznie wyższym zużyciem energii elektrycznej na tonę papieru, mimo iż założono, że rafinerie i maszyny papiernicze w przykładach A-C są takie same. Dla uproszczenia pod uwagę nie wzięto tu wykorzystujących energię elektryczną podprocesów innych niż roztwarzanie mechaniczne i praca maszyny papierniczej.

**Tabela 5. 12 Zużycie energii w przypadku różnych rodzajów wsadu włóknistego**

Linia technologiczna	Wsad włóknisty A (%)	Wsad włóknisty B (%)	Wsad włóknisty C (%)
Masa termomechaniczna	3 600 kWh/t masy termomechanicznej	3 600 kWh/t masy termomechanicznej	3 600 kWh/t masy termomechanicznej
Maszyna papiernicza	800 kWh/t papieru	800 kWh/t papieru	800 kWh/t papieru
Masa termomechaniczna	2 000 kWh/t papieru	2 900 kWh/t papieru	3 200 kWh/t papieru

Źródło: [ 169, Nilsson et al. 2007 ]

W tabeli 5.13 przedstawiono zużycie energii w postaci ciepła i energii elektrycznej w zakładzie termomechanicznym ze Szwecji produkującym rocznie 500 000 t papieru gazetowego, natomiast w tabeli 5.14 ukazano bilans energetyczny z tego samego zakładu. Źródło danych ma 15 lat, ale nadal uznawane jest za aktualne. Dane te należy traktować wyłącznie jako dane szacunkowe opisujące zużycie energii i bilans energetyczny w przykładowym zakładzie celulozowo-papierniczego stosującym masę termomechaniczną i produkującym głównie papier gazetowy. Dzisiaj odzysk energii cieplnej często bywa wyższy, a w wielu zakładach stosuje się energooszczędne technologie z użyciem rafinerów.

**Tabela 5. 13 Zużycie energii w zakładzie zintegrowanym o zdolności produkcyjnej na poziomie 500 000 t papieru gazetowego z masy termomechanicznej rocznie**

Dział	Energia cieplna (MJ/t pow. s.m.)	Energia elektryczna (kWh/t)
Obróbka drewna	150	50
Rafinowanie	0	2 110 <sup>(1)</sup>
Płukanie i przesiewanie	0	50
Bielenie	0	75
Przygotowanie substancji	0	5
Przesiewanie masy bielonej	0	35
Kocioł energetyczny	0	25
<b>łącznie w celulozowni</b>	<b>150</b>	<b>2350</b>
Przygotowanie masy	0	235
Maszyna papiernicza	5 300 <sup>(1)</sup> ( <sup>2</sup> )	350



<b>Łącznie w papierni</b>	<b>5 300</b>	<b>585</b>
<b>Oczyszczanie ścieków</b>	<b>0</b>	<b>39</b>
<b>Łącznie w przeliczeniu na tonę papieru</b>	<b>5 450</b>	<b>2 974</b>

(1) Fiński zakład zintegrowany, stosujący masę termomechaniczną zgłosił wyższe zużycie energii elektrycznej w zakresie od 2 400 kWh/t na etapie rafinacji (w tym również odrzutów) oraz niższą wartość na poziomie 4 800 MJ/t powietrznie suchej masy w odniesieniu do zużycia energii cieplnej w maszynie papierniczej (fińskie komentarze).

(2) Szwedzki zakład produkujący papier gazetowy podał zapotrzebowanie na energię cieplną na poziomie około 4 GJ/t do suszenia papieru, jednak za pomocą przyszłej instalacji z prasami szerokostrefowymi (ze stałym elementem odwadniającym) zapotrzebowanie to zostaną zmniejszone o około 10%.

Źródło: [ 130, SEPA report 1997 ]

**Tabela 5. 14 Bilans energetyczny zakładu zintegrowanego ze Szwecji, produkującego rocznie 500 000 t papieru gazetowego z masy termomechanicznej**

<b>Dział</b>	<b>Energia cieplna (MJ/t pow. s.m.)</b>	<b>Energia elektryczna (kWh/t)</b>
<b>Celulozownia</b>		
Odzyskana para wodna, tylko do celów	+1 500	
Kotłownia, para technologiczna (tylko własna kora)	+1 500	
Turbogenerator		+100
Dostawy z zewnątrz	0	+2 289
Zużycie	-150	-2 350
Oczyszczanie ścieków	0	-39
<b>Nadmiar energii z celulozowni</b>	<b>+2 850</b>	<b>0</b>
<b>Papiernia</b>		
Zużycie	-5 300	-585
Dostawy z zewnątrz <sup>1)</sup>	+2 450	+585
<b>Całkowite dostawy z zewnątrz</b>	<b>2 450</b>	<b>2 874</b>

<sup>(1)</sup> Z punktu widzenia fińskiej papierni odzyskiwanie energii cieplnej w procesie termomechanicznym jest na znacznie wyższym poziomie. W zintegrowanej papierni rocznie wytwarzającej z masy termomechanicznej 250 000 t papieru gazetowego ilość odzyskiwanego ciepła (regenerowanej pary wodnej) wynosi 3 450 MJ/t powietrznie suchej masy. Tym samym w tym przypadku nie ma potrzeby korzystania z zewnętrznych źródeł

Bilans energetyczny i stopień odzyskiwania ciepła zależy między innymi od cen energii w danym kraju. Jeśli energia elektryczna z sieci publicznej jest względnie tania, wówczas zakłady mogą ograniczyć się tylko do wytwarzania pary wodnej w małych kotłowniach (np. w kotłach korowych) na potrzeby maszyny papierniczej i kupować energię elektryczną na potrzeby wytwórni masy termomechanicznej. Energia odzyskiwana z młynów wystarczy do wytworzenia ciepła dla drugiej maszyny papierniczej. W krajach, gdzie energia elektryczna jest droższa, występuje tendencja do budowy większych przyzakładowych elektrowni do produkcji energii, w wyniku czego powstaje nadmiar wytwarzanego ciepła (mniejszy stopień jego odzyskiwania).

W tabeli 5.15 zebrano dane na temat zużycia energii w niezintegrowanej wytwórni chemotermomechanicznej z Finlandii.

**Tabela 5. 15 Bilans energetyczny w niezintegrowanej wytwórni chemotermomechanicznej z Finlandii (CSF 400 ml)**

<b>Dział</b>	<b>Energia cieplna (MJ/t pow. s.m.)</b>	<b>Energia elektryczna (kWh/t)</b>
<b>Celulozownia</b>		
Odzyskana para wodna, tylko do celów	+2 700	
Dostawy z zewnątrz	0	+1 650
Zużycie	0	-1 600
Oczyszczanie ścieków	0	-50
<b>Nadmiar energii z celulozowni</b>	<b>+2 700</b>	<b>0</b>
<b>Suszarnia masy</b>		
Zużycie	-5 600	-150

Kocioł parowy (odpady drzewne i olej opałowy)	+2 900	+150
<b>Całkowite dostawy z zewnątrz</b>	<b>2 900</b>	<b>1 800</b>

W tabeli 5.16 podano przykładowe dane dotyczące jednostkowego zużycia energii w niektórych zintegrowanych celulozowniach i papierniach mechanicznych (papier drzewny powlekany i niepowlekany) pochodzące z kwestionariuszy wypełnianych przez operatorów. Dane dotyczą całych zakładów, tj. uwzględniono w nich różne rodzaje masy mechanicznej o różnym udziale w procesie, w niektórych przypadkach udział w procesie przetwarzania włókna celulozy z recyklingu, w maszynie papierniczej i w ramach działań wspierających, takich jak oczyszczanie ścieków i wody nieoczyszczonej. W przypadku tych zakładów nie określono, jakie wdrożono działania mające na celu oszczędzanie energii.

**Tabela 5. 16 Przykłady jednostkowego zużycia energii w niektórych zintegrowanych celulozowniach i papierniach mechanicznych (lata referencyjne: 2006 i 2008)**

Produkowany gatunek papieru	Energia cieplna (kWh/t) (1)	Energia elektryczna (kWh/t)	Energia całkowita (kWh/t)	Wsad włóknisty
Papier powlekany maszynowo wykańczany, papier powlekany o niskiej gramaturze	1 534 <sup>(2)</sup>	2 642	4 175	Papier termomechaniczny w 100% bielony nadtlaniem wodoru (31% wypełniacze i pigmenty)
Papier powlekany o niskiej gramaturze	1 306	2 091	3 397	70% masa mechaniczna (ścier drzewny, masa termomechaniczna), 30% zakupiona masa chemiczna
Papier powlekany o niskiej gramaturze	1 626	1 514	3 140	53% masa mechaniczna, 40% zakupiona masa chemiczna, 7% papier do recyklingu
Papier powlekany o niskiej gramaturze	1 775	1 217	2 992	55% masa mechaniczna (ścier drzewny, masa termomechaniczna), 45% zakupiona masa chemiczna
Papier powlekany o niskiej gramaturze, papier gładzony	1 025	1 375	2 400	50% papier do recyklingu, 35% masa mechaniczna, 15% zakupiona masa chemiczna
Tektura pudełkowa	1 495	1 197	2 692	65% masa mechaniczna (ścier drzewny), 35% zakupiona masa chemiczna
Uwaga:				
(1) Dane na temat zużycia energii cieplnej nie dotyczą ciepła wykorzystywanego do produkcji energii elektrycznej. Nie uwzględniono również zużycia energii podczas produkcji masy celulozowej chemicznej. Aby przeliczyć (kWh) na (MJ), trzeba pomnożyć (kWh) przez 3,6.				
(2) Z rafinerów masy termomechanicznej z 1 534 kWh/t energii cieplnej udaje się odzyskać 1 182 kWh/t ciepła (41% odzysku wytwarzanej energii cieplnej w postaci pary wodnej). Ciepło doprowadzone do procesu netto wynosi zatem tylko 352 kWh/t.				

Podczas interpretowania tych danych czytelnik powinien w szczególności wziąć pod uwagę aspekty omówione w podrozdziale 2.5 oraz fakt, że na zużycie energii znaczny wpływ ma rodzaj masy mechanicznej (np. termomechaniczna lub ścier drzewny), stosowany wsad włóknisty, czyli udział masy mechanicznej, udział zakupionej masy chemicznej i włókien pochodzących z odzysku w postaci składników masy celulozowej, a także udział procentowy wypełniaczy i pigmentów do mieszanek powlekających.

W zależności od indywidualnych właściwości danego gatunku w recepturach na papier drzewny występują duże różnice w odniesieniu do udziału masy mechanicznej i zakupionej masy chemicznej. Poza tym wiele wyrobów z papieru z asortymentu papieru z masy mechanicznej zawiera również odzyskane włókna. Na przykład udziały masy mechanicznej w całkowitym wsadzie włóknistym wykorzystywanym w zakładzie UPM-Kymmene do produkcji papieru drzewnego niepowlekanego (papier gazetowy, papier gładzony) i powlekanego (papier powlekany maszynowo wykańczany, papier powlekany o niskiej i średniej gramaturze) waha się w granicach odpowiednio od 0 do 90% i od 34% do 97% w zależności od gatunku papieru i

względnej jakości papieru. Najwyższy udział zakupionej masy chemicznej w produkowanym w zakładzie UPM papierze gładzonym wynosi około 20% a w papierze powlekany o średniej gramaturze ponad 40%.

Tak szeroki zakres składu surowcowego niekoniecznie prowadzi do istotnych zmian w jednostkowym zużyciu energii w produkcji papieru drzewnego: Zużycie energii elektrycznej do produkcji masy termomechanicznej normalnie jest wyższe niż w przypadku produkcji ciśnieniowego ścieru drzewnego/klasycznego ścieru drzewnego) i znacznie wyższe niż w przypadku papieru do recyklingu (włókna celulozy pochodzące z recyklingu). Natomiast masa termomechaniczna ma tę zaletę, że można w jej przypadku przeprowadzić odzyskiwanie pary, tym samym znacznie zmniejszając zapotrzebowania na ciepło netto w kolejnym procesie w ramach zintegrowanej produkcji papieru.

Podsumowanie orientacyjnych poziomów zużycia energii do roztwarzania mechanicznego i chemomechanicznych przedstawiono w tabeli 5.17.

**Tabela 5.17 Orientacyjne poziomy zużycia energii cieplnej i elektrycznej w różnych zintegrowanych celulozowniach i papierniach mechanicznych, produkujących papier drzewny i karton**

Rodzaj zakładu produkującego papier i tekturę (wsad włóknisty)	Orientacyjny poziom zużycia energii cieplnej netto w kWh <sub>th</sub> /t <sup>(1)</sup>	Orientacyjny poziom zużycia energii elektrycznej w kWh <sub>e</sub> /t <sup>(1)(2)</sup>
Papier drzewny gładzony, powlekany maszynowo wykańczany, powlekany o niskiej gramaturze (80-100% masy termomechanicznej lub włókna w końcowym papierze)	800 – 3 300 <sup>(3)</sup>	1 700 – 2 900
Papier drzewny powlekany o niskiej (>50% masy mechanicznej, różny poziom udziału zakupionej masy chemicznej, włókna celulozy z recyklingu odbarwionej makulatury, a także wypełniacze i pigmenty do mieszanek powlekających)	1 300 – 3 000	1 200 – 2 700
Papier drzewny gładzony	300 – 1 700	1 900 – 2 600
Papier drzewny gazetowy (>50% masy mechanicznej)	400 – 900	2 500 – 3 000
Gatunki bazujące na ciśnieniowym ścierze drzewnym	1 000 – 2 000	1 800 – 2 300
Tektura pudełkowa z papieru drzewnego (>50% masy mechanicznej)	1 500 – 3 000	1 200 – 2 600
Masa chemotermomechaniczna (w odniesieniu do tony masy)	≈ 0 – 300	2 300 – 3 000

(1) Ergooszczędne techniki, wsad włóknisty, proces roztwarzania, gatunek drewna, a zwłaszcza wymagania jakościowe masy celulozowej mają znaczący wpływ na zużycie energii w mechanicznych zakładach celulozowo-papierniczych (niższa wartość chudości (CSF), wyższe zużycie energii elektrycznej).

(2) W przypadku produkcji papieru na bazie masy mechanicznej jako składniki masy celulozowej wykorzystać można również włókna z recyklingu i zakupioną masę chemiczną. Im wyższa zawartość masy mechanicznej, tym wyższe zużycie energii elektrycznej na tonę papieru, co odzwierciedla górna granica podanego zakresu.

(3) W danych liczbowych nie uwzględniono możliwości zastosowania odzyskanej energii wtórnej, na przykład w postaci pary wodnej odzyskanej z rafinerów masy termomechanicznej. Energia cieplna odzyskiwana z masy termomechanicznej pochodzi z energii elektrycznej wykorzystywanej w procesie termomechanicznym. W przypadku gdy w celulozowniach i papierniach stosujących masę termomechaniczną para wodna odzyskiwana z rafinerów byłaby równa rzeczywistemu zużyciu energii cieplnej, bilans cieplny całego zakładu celulozowo-papierniczego mógłby w konsekwencji zapewnić znacznie niższe zużycie energii cieplnej, tj. niższe o około 400 kWh/t (w przypadku wysokiego udziału masy termomechanicznej i zaawansowanego odzysku ciepła).

W odniesieniu do orientacyjnych poziomów zużycia energii podanych w tabeli 5.17 powyżej pod uwagę wzięto poniższe granice systemu:

- (1) Poziomy zużycia energii dotyczą całej produkcji netto w zakładach i uwzględniono w nich również pompy, mieszadła i sprężone powietrze. Pod uwagę wzięto także peryferyjne podsystemy do obróbki wody nieoczyszczonej i ścieków, osadów i odpadów, takich jak flotatory do flotacji drobnopęcherzykowej lub prasy śrubowe do odpadów lub osadów oraz oczyszczalnia ścieków.

- (2) W poziomie zużycia energii pod uwagę wzięto zużywaną w procesie technologicznym energię cieplną i elektryczną do wytwarzania masy celulozowej i papieru (ilość uwzględnionej masy to ilość potrzebna do produkcji papieru w zakładzie). W przypadku gdy w zakładzie wykorzystuje się i produkuje włókna z recyklingu odbarwionej makulatury, pod uwagę wzięto też zużycie energii w procesie obróbki włókna celulozy z recyklingu. W przypadku stosowania masy chemicznej nie uwzględniono zużycia energii podczas produkcji masy celulozowej chemicznej.
- (3) Wartości te dotyczą wszystkich procesów rozpoczynających się na placu drzewnym i na przenośniku na materiał wsadowy do rozwłókniania zakupionej masy chemicznej (o ile się ją stosuje) i kończących się po ostatniej przewijarko-krajarce, czyli przed zakończeniem przekształcania.
- (4) Wartości dotyczące jednostkowego zużycia energii dotyczą zapotrzebowania na ciepło technologiczne netto, czyli pobór energii cieplnej jest pomniejszany o ilość odzyskanej i ponownie wykorzystanej energii cieplnej (dotyczy to głównie rafinerów do masy termomechanicznej i chemotermomechanicznej).
- (5) W danych dotyczących zużycia energii nie uwzględniono pierwotnej energii doprowadzanej w postaci paliw do produkcji energii, natomiast przedstawiono w nich poziom zużycia energii cieplnej i elektrycznej z procesów technologicznych. Zużycie energii powodują też elektryczne suszarki promiennikowe.
- (6) Wartości dotyczące zużycia energii cieplnej dotyczą pojemności cieplnej wykorzystywanej pary wodnej i dolnej wartości opałowej gazu w przypadku suszarek promiennikowych lub suszarni powietrznych. W zużyciu energii cieplnej uwzględniono gazowe suszarki promiennikowe, jeśli urządzenia takie są stosowane.

#### 5.2.2.8 Hałas

Najwięcej hałasu emituje korowalnia, w nieco mniejszym stopniu – maszyna papiernicza i młyny. W celu kontrolowania hałasu korowalnię należy starannie izolować. Hałas może również występować w sąsiedztwie fabryki, a pochodzi on z pojazdów transportujących olbrzymie ilości surowców i produktów (patrz podrozdział 2.9.13).

### 5.3 Techniki, które należy uwzględnić przy ustalaniu najlepszych dostępnych technik BAT

W niniejszym rozdziale omówiono techniki (lub ich kombinacje) oraz ich monitorowanie mające potencjał do osiągnięcia wysokiego poziomu ochrony środowiska w działaniach w zakresie niniejszego dokumentu. Opisane techniki obejmują zarówno stosowane technologie, jak i sposób, w jaki dana instalacja jest zaprojektowana, wykonana, konserwowana, eksploatowana i wycofywana z eksploatacji.

Obejmują one systemy zarządzania środowiskowego, techniki zintegrowane z procesem oraz rozwiązania stosowane po jego zakończeniu. Rozważane są również procedury mające na celu uniknięcie generowania odpadów oraz zarządzanie nimi, w tym procedury dotyczące minimalizacji ilości odpadów i ich recyklingu, a także techniki służące obniżaniu zużycia surowców, wody i energii dzięki optymalizacji i ponownemu wykorzystaniu. Do opisanych technik zaliczają się również środki stosowane w celu zapobiegania wpływowi lub ograniczania wpływu na środowisko w wyniku wypadków i innych zdarzeń, a także środki związane rekultywacją terenu. Obejmują one także środki w zakresie zapobiegania emisjom i ograniczania ich w innych niż normalne warunkach działania (takich jak rozruch i zamykanie zakładu, wycieki, nieprawidłowe funkcjonowanie, chwilowe przestoje i ostateczne zaprzestanie eksploatacji).

Załącznik III do dyrektywy zawiera szereg kryteriów ustalania BAT, a informacje przedstawione w niniejszym rozdziale uwzględnią te aspekty. W miarę możliwości na potrzeby zarysowania informacji dotyczących każdej z technik, umożliwienia porównania technik i oceny względem definicji BAT zawartej w dyrektywie w sprawie emisji przemysłowych w tabeli 5.18 wykorzystano standardową strukturę tabeli.

Niniejsza sekcja nie musi zawierać wyczerpującej listy technik, które można stosować w branży. Mogą istnieć lub być na etapie opracowywania inne techniki, które można uwzględnić przy ustalaniu technik BAT w odniesieniu do danej instalacji.

**Tabela 5. 18 Informacje na temat poszczególnych technik opisanych w tym rozdziale**

<b>Nagłówki w punktach</b>
Opis
Opis techniczny
Główne korzyści środowiskowe
Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne
Oddziaływanie na procesy i środowisko
Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki
Aspekty ekonomiczne
Motywacja do wdrożenia techniki
Instalacje referencyjne
Bibliografia

W niniejszym podrozdziale przedstawiono wszystkie odpowiednie techniki, które są dostępne na rynku w momencie pisania niniejszego opracowania (2013) i służą do zapobiegania i ograniczania emisji/ powstawania odpadów oraz ograniczania zużycia energii i surowców zarówno w przypadku nowych, jak i istniejących instalacji. Wykaz technik nie stanowi wyczerpującej listy i może być rozszerzany podczas wprowadzania zmian w niniejszym dokumencie. Techniki te obejmują techniki zintegrowane z procesem oraz rozwiązania stosowane po jego zakończeniu, a także możliwości poprawy służące do zagwarantowania zintegrowanego procesu zapobiegania i kontroli zanieczyszczeń.

### 5.3.1 Ograniczanie emisji z placu drzewnego

Bale drewna wykorzystywane do roztwarzania mechanicznego zazwyczaj są zraszane wodą, aby zapobiec ich wysuszeniu. Może to wymagać umieszczenia na placu drzewnym systemów gromadzenia wody, tak by uniknąć niekontrolowanej emisji substancji organicznych, łącznie określanych jako ChZT oraz substancji toksycznych (patrz podrozdział 2.9.2.1).

### 5.3.2 Korowanie na sucho

Patrz podrozdział 2.9.2.2.

### 5.3.3 Minimalizacja strat odrzutu podczas usuwania zanieczyszczeń z procesu roztwarzania mechanicznego

#### Opis

Najczęstszym rodzajem zanieczyszczeń w procesie roztwarzania mechanicznego jest piasek, który jeśli nie zostanie z niego usunięty, może spowodować szybsze zużycie sprzętu technologicznego i zakłócenia w procesie wytwarzania papieru. W surowcu drzewnym znajdują się też inne ewentualne zanieczyszczenia, na przykład kawałki metalu lub nieodpowiedni materiał drzewny, np. zgniłe drewno lub drewno o właściwościach znacznie odbiegających od właściwości drewna używanego w procesie roztwarzania.

Minimalizacja strat odrzutu zaczyna się na etapie pozyskiwania drewna. Nieodpowiedni surowiec drzewny należy oddzielić już na tym etapie. Drewno i zrębki należy poddawać obróbce na placu drzewnym o utwardzonej powierzchni, tak by zapobiec dostawaniu się do surowca żwiru i piasku. Podczas procesu rąbania na zrębki należy usunąć kawałki metalu. Piasek, który w pewnym stopniu zazwyczaj może dostać się do tego procesu, usuwany jest za pomocą hydrocyklonów. Hydrocyklony wykorzystuje się również do usuwania materiału włóknistego o słabej zdolności wiązania.

Materiał odrzucony z hydrocyklonów składa się z małych cząstek sztywnych włókien o małej powierzchni właściwej, tzw. ścinek, i z cząstek piasku, jeśli jakieś ewentualnie w procesie nadal pozostały.

Oddzielanie zanieczyszczeń od masy celulozowej normalnie odbywa się przy użyciu sortowników wirowych lub sortowników wirowych bezsitowych (centriklinerów), w których od włókien oddzielone są cząstki cięższe, lub też przy użyciu sortowników ciśnieniowych wyposażonych w otwory lub szczeliny, za pomocą których oddziela się zbyt duży materiał.

Odrzuty z centriklinerów zawierają również duże ilości materiału włóknistego. Materiał ten odzyskuje się przez dodanie kilku centriklinerów w kaskadach. Za pomocą takiego układu można zaoszczędzić znaczne ilości surowca i ograniczyć ładunek zawiesiny odprowadzanej do oczyszczania ścieków. Niektóre zakłady zastanawiają się, czy na linii masy stosować centriklinery, i rozważają możliwość zastosowania jako alternatywy wąskich koszy z sortownikami szczelinowymi o wysokiej wydajności frakcjonowania.

#### Główne korzyści środowiskowe

Ograniczenie strat włókien poprzez działania prewencyjne i wydajne etapy oczyszczania.

#### Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

Za pomocą odpowiedniego płukania ze zrębków można usunąć piasek i inne elementy ściernie, ponieważ zanieczyszczenia powodują szybsze zużycie maszyn, w szczególności segmentów z rafinerami, i przysparzają zakładom dodatkowych kosztów. Zakłady nad przenośnikami na zrębki normalnie mają zainstalowane pułapki magnetyczne do wychwytywania metali, które wyławiają metale ze strumienia zrębków, jednak nie są skuteczne w przypadku metali

niemagnetycznych. Metale niemagnetyczne mogą spowodować uszkodzenie maszyn i przestoje produkcyjne zakładów.

Główną wadą stosowania hydrocyklonów jest niskie stężenie masy (0,5-0,7%), co odpowiada ilości wody na poziomie 150-200 m<sup>3</sup>/t powietrznie suchej masy. Większość tej wody da się zawrócić i ponownie wykorzystać w celulozowni do innych celów. Wiele zakładów na linii roztwarzania i na wlocie do skrzyni wlewowej maszyny papierniczej korzysta z hydrocyklonów. Działa też wiele różnych zakładów, które hydrocyklony stosują tylko na maszynach papierniczych.

#### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Zmniejszenie strat włókien podczas usuwania zanieczyszczeń ma wpływ na ograniczenie całkowitego zużycia energii na tonę masy włóknistej.

#### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Etapy oczyszczania można dodawać zarówno w nowych, jak i istniejących zakładach.

#### **Aspekty ekonomiczne**

Brak danych

#### **Motywacja do wdrożenia techniki**

Motywację do wdrażania tej techniki stanowi chęć zwiększenia wydajności surowca i efektywności energetycznej oraz zabezpieczenia maszyn i urządzeń przed uszkodzeniem.

#### **Instalacje referencyjne**

Liczne zakłady działające w Europie

#### **Bibliografia**

[ 14, CEPI 1997 ].

### **5.3.4 Minimalizacja ilości odpadów i osadów odprowadzanych na składowisko poprzez ich spalanie z odzyskiwaniem energii**

#### **Opis i główne korzyści środowiskowe**

Końcowe odrzuty po oczyszczaniu, straty włókna i osady powstające podczas wytwarzania masy celulozowej i papieru oraz uzdatniania wody przed ich ostatecznym usunięciem z zakładu lub dalszą obróbką muszą zostać odwodnione. Odbywa się to w prasach sitowych lub ślimakowych. Celem odwadniania jest usunięcie z osadów możliwie jak największej ilości wody. Dostępnych jest kilka różnych rodzajów urządzeń przeznaczonych do tego celu:

- prasy taśmowe (prasy dwusitowe),
- prasy ślimakowe,
- wirówki dekantujące.

W wielu instalacjach działają prasy taśmowe działające niezawodnie i gwarantujące wysoką zawartość suchej substancji: 40-50% przy odwadnianiu osadu włóknistego i 25-40% przy odwadnianiu mieszanego osadu włóknisto-biologiczno-chemicznego.

Prasy ślimakowe można wykorzystywać w dwojaki sposób: zarówno do zwiększania zawartości suchej substancji po odwodnieniu na prasie taśmowej, dzięki czemu można uzyskać wzrost zawartości suchej substancji o około 10%, jak i do bezpośredniego odwadniania, kiedy wymagana suchość przewyższa suchość uzyskiwaną na prasie taśmowej.

Odwodnione odrzuty i osady można spalić. Zwiększa się tym samym ilość wartości opałowej materiałów poddawanych w spalarniach odzyskowi energii. Poprzez spalanie dodatkowo zmniejsza się ilość odpadów odprowadzanych z roztwarzania mechanicznego na składowiska, a z frakcji odpadów odzyskuje zawartą w nich energię. Spalanie kory przeprowadza się w kotłach korowych lub w instalacjach do współspalania wykorzystujących paliwa mieszane. Kocioł ze

złożem fluidalnym jest obecnie najlepszym urządzeniem do wspólnego spalania, szczególnie osadów o niskiej zawartości suchej substancji (patrz podrozdział 2.6.1.2.3). Takie kotły fluidalne mogą w 100% działać na bazie osadu, chociaż częstsze jest zastosowanie paliwa pomocniczego (takiego jak węgiel lub ropa naftowa). Zapotrzebowanie na paliwo pomocnicze zależy od zawartości suchej substancji i popiołu w osadzie. Na ogół do zapewnienia spontanicznego spalania potrzebna jest zawartość suchej substancji na poziomie co najmniej 35-40%.

Szczegółowe omówienie spalania z odzyskiwaniem energii można znaleźć w podrozdziałach 2.6 i 2.9.7.

### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

W wielu celulozowniach i papierniach wykorzystuje się procesy odwadniania. W branży powszechne zastosowanie znajdują techniki takie jak spalanie w kotłach korowych czy też innego rodzaju spalarniach (patrz podrozdziały 2.6.1, 2.9.7 i 3.5.10).

Wartość opałowa odrzutów i osadów i ogólne wyniki spalania można poprawić poprzez zastosowanie udoskonalonego urządzenia odwadniającego, takiego jak prasy ślimakowe. Docelowy poziom suchości przy zawartości popiołu poniżej 30% powinien wynosić 45%, natomiast na przykład przy 50% zawartości popiołu – powinien sięgać 65-70%. Jednak w zależności od zakładu mieszanka osadów i ich właściwości mogą się znacznie różnić, a różne osady mają różne właściwości odwadniające. Na przykład nadmiar osadu z oczyszczania biologicznego ma stosunkowo słabe właściwości odwadniające (18-22% s.m.), o ile nie zmieszano go z innymi materiałami. Natomiast osad z osadnika wstępnego jest łatwiejszy do odwodnienia (35-55% s.m.) i można go też mieszać z innymi materiałami w celu uzyskania lepszych możliwości odwadniania.

Gdy ilość osadów jest wysoka a proporcjonalna ilość wszystkich paliw przekracza 30%, rozdrabnianie osadów a następnie paletyzacja lub brykietowanie może stanowić ekonomiczne rozwiązanie służące do zwiększania ich gęstości objętościowej w sposób wystarczający do ułatwienia spalania. Osad i pozostałe paliwa stałe można podawać na zmianę lub dodatkowo poprzez obróbkę za pomocą ogrzewania wstępnego. Do suszenia pośredniego wykorzystuje się generowaną w zakładzie parę nisko- lub średniociśnieniową, którą w najlepszym razie można wykorzystać również do innych celów jako parę niskociśnieniową. W ramach bezpośredniego suszenia jako źródło ciepła wykorzystuje się spaliny.

Poprawa ogólnej wydajności spalania zależy od konkretnego przypadku. Można ją osiągnąć przez dodanie etapu wydajnego wstępnego odwadniania niektórych paliw stałych, za pomocą mechanicznego odwadniania materiałów spalania lub przez suszenie ich energią cieplną. Na ogół, gdy początkowa zawartość wilgoci w paliwie mieści się w zakresie 45-50%, w gospodarce cieplnej udaje się odnotować poprawę na poziomie 10-15% przez zwiększenie suchej masy do 55-60%. Możliwe jest też suszenie osadów do 80% suchej masy.

### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

W wyniku procesu odwadniania osadów zwiększają się emisje do wody a osady skutecznie poddaje się oczyszczaniu w biologicznej oczyszczalni ścieków. Jeśli odwodnione lub wysuszone odrzuty i osady poddawane są spalaniu, udaje się odzyskać pewną ilość energii. Użytkowa wartość energetyczna zależy od osiągniętej przed spalaniem zawartości suchej masy oraz składu i mieszanki materiału do spalania. Ogólnie rzecz biorąc, zawartość energii z odrzutów i osadów przekraczająca ilość energii potrzebnej do odparowywania wilgoci z odrzutów stanowi nadwyżkę energii. Zazwyczaj jako odpady stałe ze spalarni pozostaje wyłącznie popiół, który albo trafia na wysypisko śmieci, albo wykorzystuje się do innych celów (np. w budownictwie).

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Ze względów ekonomicznych i środowiskowych suszenie odrzutów i osadów stosuje się tylko wtedy, gdy dostępny jest nadmiar energii cieplnej, a do tego celu można wykorzystać dodawane ciepło (patrz podrozdział 2.9.6.1.4). Spalanie pozostałości z procesu oraz odpadów ma zastosowanie zarówno do nowych, jak i do istniejących zakładów.



**Aspekty ekonomiczne**

Brak danych

**Motywacja do wdrożenia techniki**

Motywację do stosowania tej techniki stanowi chęć ograniczenia odpadów odprowadzanych na wysypiska śmieci.

**Instalacje referencyjne**

Liczne zakłady działające w Europie

W celu osiągnięcia wysokiego poziomu suchości do odwadniania osadu coraz częściej wykorzystuje się wydajne prasy. W branży tej powszechne zastosowanie znajdują techniki takie jak spalanie w kotłach korowych czy też innego rodzaju spalarniach (patrz podrozdziały 2.6.1, 2.9.7 i 3.5.10).

**Bibliografia**

[ 75, Pöyry 1997 ], [ 71, Pöyry 1992 ].

**5.3.5 Skuteczne mycie i sterowanie procesem****Opis**

Przemywanie masy włóknistej za pomocą filtrów lub pras do płukania ma na celu przede wszystkim oddzielenie materiału organicznego rozpuszczonego z włókien podczas uszlachetniania. Proces mycia jest w zasadzie podobny do procesu mycia podczas roztwarzania chemicznego, ale wymagania względem efektywności w jego przypadku zwykle niższe. W niektórych zakładach przed uszlachetnianiem stosuje się również etap mycia (w zakładach stosujących wstępnie podgrzewane drewno drzew iglastych, łącząc podgrzewanie pod ciśnieniem, wysoką kompresję i impregnację w celu poprawy właściwości masy celulozowej).

Ze względu na słabą zdolność formowania wstęgi na bębnie nie można używać instalacji do płukania, takich jak te stosowane do roztwarzania chemicznego (na przykład instalacje do płukania z przemieszczeniem materiału). Zamiast nich w przypadku masy mechanicznej zastosowanie ma tu technika płukania z rozcieńczeniem i ekstrakcją. Wodą do mycia masę rozcieńcza się do niskiej lub średniej gęstości, a następnie na wydajnych maszynach odwadnia do wysokiego stężenia. Można to przeprowadzić na prasach śrubowych, dwusitowych lub dwuwalcowych. Skuteczność mycia, obliczona z ilości odzyskanego materiału organicznego, sięga zwykle 65-70%. Odpowiada to typowemu myciu jednostopniowemu. Po ulepszeniu procesu mycia, tzn. poprzez zainstalowanie większej liczby ustawionych w szeregu urządzeń myjących, możliwa do uzyskania skuteczność może wynieść nawet 90%.

**Główne korzyści środowiskowe**

Ulepszenie procesu mycia umożliwia skoncentrowanie materiału organicznego w tej mniejszej objętości ścieków i zmniejsza przenoszenie ChZT do maszyny papierniczej. W ten sposób można poprawić zadrukowalność maszyny papierniczej/kartoniarki i zmniejszyć zapotrzebowanie na substancje chemiczne do produkcji papieru. Może to stanowić atut wówczas, w przypadku gdy ścieki na dalszym etapie oczyszcza się oddzielnie, bez łączenia ich ze ściekami z papierni, np. metodą beztlenową.

**Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Płukanie stało się standardową techniką w przypadku większości zintegrowanych celulozowni mechanicznych, w których działa bielarnia bazująca na zastosowaniu nadtlenu. Wszystkie działające na rynku zakłady chemotermomechaniczne wyposażone są w instalacje do obszernego płukania wielostopniowego.

**Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Brak jakichkolwiek efektów wzajemnych powiązań pomiędzy różnymi komponentami

środowiska. W większości przypadków lepsze płukanie przed oczyszczaniem generuje wyższe emisje ChZT.

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Zarówno w zintegrowanych systemach termomechanicznych, jak i chemotermomechanicznych wydajne płukanie stosuje się w celu zmniejszenia ilości substancji szkodliwych przenoszonych do maszyny papierniczej/kartoniarki, ale wymagane jest ono również do produkcji masy chemotermomechanicznej do sprzedaży na rynek.

### **Aspekty ekonomiczne**

Brak danych

### **Motywacja do wdrożenia techniki**

Za pomocą udoskonalonego płukania można poprawić zadrukowalność maszyny papierniczej/kartoniarki, ograniczyć przypadki złamania arkuszy, zwiększyć odstępy czasu między procesami czyszczenia przewodów, filców i rolek w maszynie papierniczej i zmniejszyć zapotrzebowanie na substancje chemiczne do produkcji papieru. W ten sposób można także stworzyć lepsze warunki do oczyszczania beztlenowego strumienia ścieków chemotermomechanicznych. Aspekty jakościowe gotowych produktów kartonowych i papierowych oraz redukcja kosztów operacyjnych to inne powody do rozpatrzenia tej techniki.

### **Instalacje referencyjne**

Kilka zakładów działających w Europie i Ameryce Północnej.

### **Bibliografia**

[ 14, CEPI 1997 ], [ 75, Pöyry 1997 ].

## **5.3.6 Recykulacja wody w zakładach celulozowo-papierniczych**

### **Opis**

Stopień recykulacji wody w ramach procesu technologicznego wytwarzania masy w dużym stopniu zależy od przydatności określonej frakcji wody do ponownego użytku i od dozwolonego poziomu zanieczyszczeń gromadzących się w procesie. W każdym przypadku muszą istnieć punkty spustowe do kanałów ściekowych służące do odprowadzania zanieczyszczeń do oczyszczalni ścieków. W zakładach niezintegrowanych do uzupełniania ubytków wody używa się wody świeżej. W fabrykach zintegrowanych większą część zapotrzebowania na wodę pokrywa woda podsitowa z maszyny papierniczej.

W ramach procesu wytwarzania masy mechanicznej kandydatami do strumienia powrotnego są rozmaite filtry, odcieki z pras i podobne odcieki pochodzące z obróbki zrębków lub masy oraz mętna bądź klarowna woda podsitowa z wyławiaczy włókien. W miarę możliwości zgodnie z ich przydatnością strumienie te trafiają do odpowiednich miejsc. Odpowiedni stopień recyklingu wody w procesie wytwarzania masy zależy od wielu czynników. Niepożądane substancje gromadzące się w strumieniach powstają podczas wstępnej obróbki drewna lub zrębków, podczas mielenia i bielienia, a częściowo także w fabrykach zintegrowanych, gdzie trafiają wraz z dopływającym przeciwpądowo strumieniem wody podsitowej z maszyny papierniczej, wykorzystywanej do roztwarzania.

W tych miejscach procesu, w których tworzą się substancje rozpuszczone, występuje również konieczność rozcieńczenia w celu skutecznego usunięcia niepożądanych związków z drewna lub masy. W przeciwnym razie trafią one do następnych stadiów procesu, wpływając nań niekorzystnie. Poza tym podczas recyklingu i odprowadzania wody, aby utrzymać równowagę ekonomiczną, konieczny może się okazać jakiś kompromis. Na przykład poprzez odprowadzanie z procesu roztwarzania wody bardziej klarownej zamiast mętnej można lepiej wyłapać materiał włóknisty z masy, ale wiąże się to również z zatrzymaniem większej ilości niechcianych substancji żywicznych. O wyborze właściwego rozwiązania w zakresie ponownego użycia wody decyduje np. barwa wody technologicznej, jej pH, zawartość

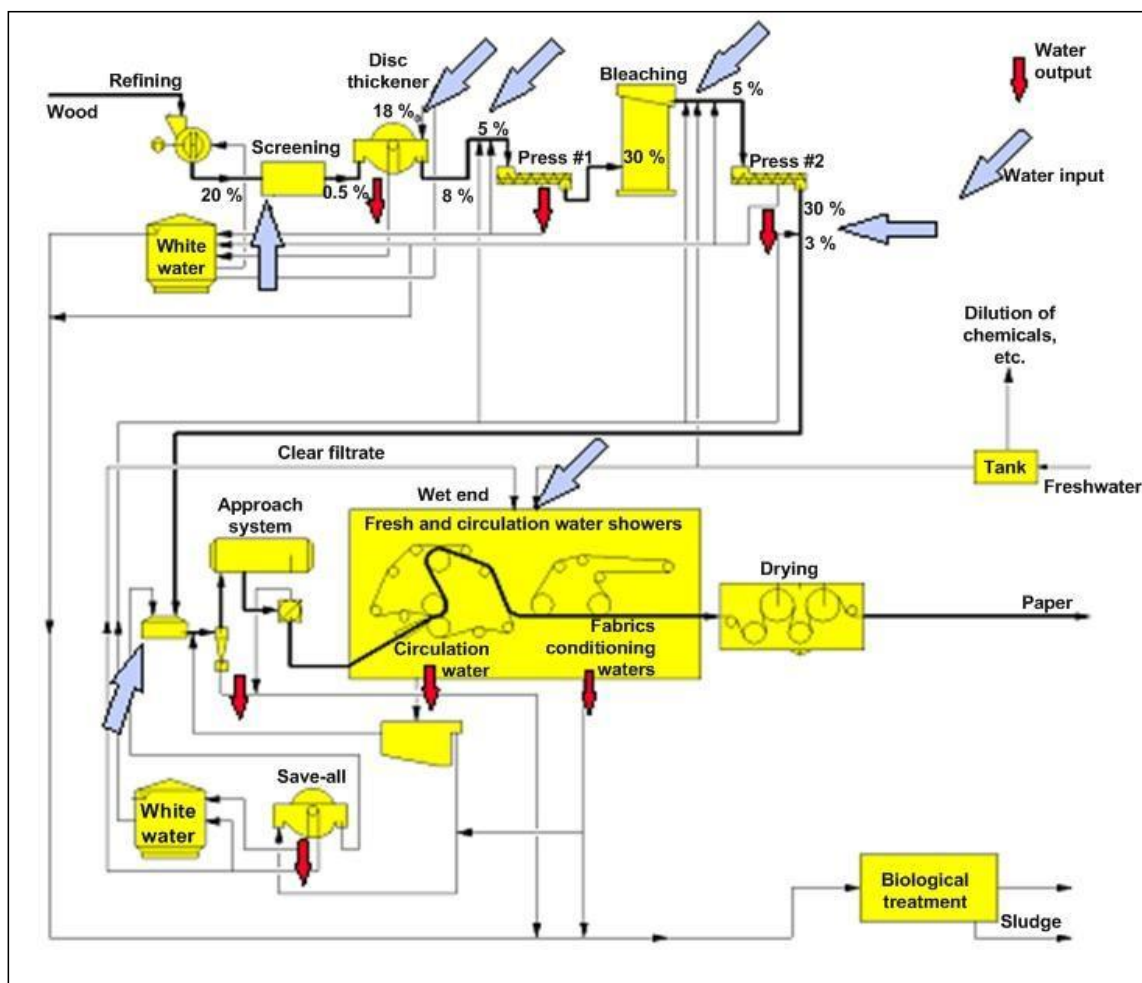
substancji rozpuszczonych i zawiesiny, a także pozostałości środków chemicznych dodawanych podczas roztwarzania, a mogących wywoływać niepożądane reakcje chemiczne lub przyczyniać się do wzrostu zużycia chemikaliów.

Zasady postępowania w dążeniu do zmniejszenia zużycia wody i do ponownego jej wykorzystywania podczas roztwarzania to:

- stosowanie przeciwprądowego przepływu wody, tam gdzie jest to możliwe (np. oddzielenie między celulozownią mechaniczną, bieleniem nadtleniem a maszyną papierniczą);
- wykorzystanie filtrów tarczowych do filtrowania wody podsitowej z maszyny papierniczej i jako wody technologicznej w celulozowni mechanicznej;
- polepszanie odzyskiwania włókien poprzez odprowadzanie ścieków klarownych zamiast mętnych i (w fabrykach zintegrowanych) wykorzystanie nadmiaru wody podsitowej z papierni podczas roztwarzania;
- dostosowanie objętości zbiorników wyrównawczych, zwłaszcza objętości wody podsitowej, do zmiennych potrzeb wynikających z fluktuacji w trakcie prowadzenia procesu czy też przy jego uruchamianiu bądź zatrzymywaniu;
- przed suszeniem lub odprowadzaniem do maszyny papierniczej poddawanie jej zagęszczaniu do wysokich stężeń, co jest rozwiązaniem efektywnym zarówno w fabrykach niezintegrowanych, jak i zintegrowanych;
- zasilanie natrysków do czyszczenia urządzeń wodą sklarowaną, a także jej ewentualne wykorzystanie jako wody do spłukiwania.

Na rysunku 5.18 przedstawiono główne źródła wody (dopływy) i punkty jej odprowadzania (odpływy) w zintegrowanym zakładzie celulozowo-papierniczym. Jak pokazano na rysunku, woda świeża wprowadzana jest w procesie wytwarzania papieru głównie za pośrednictwem natrysków w części formującej i części prasowej maszyny papierniczej, po czym pod prąd trafia do rozmaitych operacji mycia i rozcieńczania.

Obiegi wodne są wyraźnie rozdzielone poprzez stopnie zagęszczania, po których masa jest rozcieńczana pewną ilością świeżej wody w celu wyregulowania jej stężenia (udział procentowy podany na rys. 5.18 dotyczy stężenia). Zanim masa trafi do układu doprowadzającego na maszynę papierniczą, jest ona również rozcieńczana czystą wodą.



Rysunek 5. 18 Główne dopływy i odpływy wody w zintegrowanym mechanicznym zakładzie celulozowo-papierniczym

Refining	Rafinowanie
Wood	Drewno
Screening	Przesiewanie
Disc thickener	Zagęszczarka tarczowa
Bleaching	Bielenie
Water output	Odpływ wody
Press #2	Prasa nr 2
Water input	Dopływ wody
Dilution of chemicals, etc.	Rozcieńczanie substancji chemicznych itp.
Tank	Zbiornik
Freshwater	Świeża woda
Clear filtrate	Klarowny filtrat
Approach system	Układ doprowadzania masy
Wet end	Część mokra
Fresh and circulation water showers	Natryski zasilane wodą świeżą i obiegową
Circulation water	Woda obiegowa
Fabrics conditioning waters	Woda do kondycjonowania sit
Drying	Suszenie

Paper	Papier
White water	Woda podsitowa
Save-all	Wyławiacz włókien
Biological treatment	Oczyszczanie biologiczne
Sludge	Osad
Source: [ 26, Edelman et al. 1997 ]	Źródło: [ 26, Edelman et al. 1997 ]

#### **Główne korzyści środowiskowe**

Dzięki zaawansowanemu zamknięcie obiegu wody mniejszy jest strumień ścieków i straty włókien odprowadzanych do ścieków. Stopień redukcji wody zależy od gatunku papieru/kartonu. W zakładach zintegrowanych wydajna gospodarka wodna obejmuje ponowne wykorzystanie w przeciwprądach wody podsitowej z maszyny papierniczej.

#### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Omawiane zasady można stosować bez znaczącego wpływu na proces roztwarzania. W tabeli 5.19 przedstawiono osiągnięte poziomy zużycia wody w niektórych przykładowych zakładach w odniesieniu do różnych gatunków celulozy i papieru. Szczególne środki kontroli systemu wodnego wskazano tylko wtedy, jeśli je podano.

Tabela 5. 19 Osiągnięte poziomy zużycia wody w niektórych przykładowych zakładach produkujących papier drzewny przy użyciu różnych rodzajów wsadu włóknistego

Instalacje referencyjne	Rodzaj roztwarzania i mieszanek	Wytwarzane gatunki papieru	Zużycie wody (m <sup>3</sup> /t pow. s.m.) <sup>(1)</sup>	Środki stosowane na potrzeby gospodarki wodnej
SCA Ortviken, SE	100% masa termomechaniczna	papier powlekany, udoskonalony papier gazetowy	15	wewnętrzne czyszczenie wody podsitowej i recykling wody technologicznej
Holmen Hallsta, SE	79% masa termomechaniczna, 12% ścier drzewny, 9% odbarwiona masa makulaturowa	czasopisma, papier gładzony, papier na książki i papier gazetowy	11	brak danych
UPM Stracel, FR	100% masa termomechaniczna	papier powlekany maszynowo wykańczany + papier powlekany o niskiej gramaturze	13.8	
Mylykoski Plattling, DE	33% ścier drzewny, 21% zakupiona masa chemiczna, 7% odbarwiona masa makulaturowa, 39% wypełniacz i pigmenty	papier powlekany o niskiej gramaturze	12.5	dwa obiegi wody z flotacją rozpuszczonym powietrzem w przypadku wody technologicznej w instalacji do odbarwiania
SE Maxau, DE	masa termomechaniczna, ciśnieniowy ścier drzewny, ścier drzewny, włókna celulozy z recyklingu odbarwionej makulatury	papier gładzony klasy A i B, papier gazetowy	9.8	brak danych
UPM Augsburg, DE	35% ścier drzewny, 50% włókna celulozy z recyklingu odbarwionej makulatury, 15% zakupiona masa chemiczna	papier powlekany o niskiej gramaturze, papier gładzony	9.0	brak danych

<sup>(1)</sup> Wartości ukazujące zużycie wody dotyczą zarówno roztwarzania, jak i produkcji papieru.

Więcej dostępnych danych na temat zużycia wody w zintegrowanych zakładach celulozowo-papierniczych czytelnik może znaleźć w podrozdziale 5.2.2.2, a zwłaszcza na rysunku 5.7, zawierającym również informacje dotyczące strumieni wody w zakładach chemotermomechanicznych.

Celulozownie mechaniczne z nielicznymi wyjątkami przeważnie są zintegrowane z papierniami. Oznacza to, że woda dla celulozowni zwykle pochodzi z maszyny papierniczej, natomiast ścieki z takich zakładów kierowane są do kanalizacji, gdzie mieszają się ścieki zarówno z celulozowni, jak z maszyny papierniczej, a następnie razem poddawane są oczyszczaniu.

Osiągalna objętość właściwa w przypadku zużycia wody w zintegrowanych celulozowniach i papierniach mechanicznych bazuje na papierze graficznym: 9-15 m<sup>3</sup>/t papieru (np. papier

powlekany maszynowo wykańczany, papier powlekany o niskiej gramaturze, papier gazetowy, papier gładzony klasy A i papier gładzony klasy B). Rozsądny stopień zamknięcia obiegu wody zależy również od warunków lokalnych. Na rozwiązania techniczne mogą mieć wpływ czynniki takie jak klimat, dostępność, źródło i jakość świeżej wody a także rodzaj, jakość i wrażliwość cieku wodnego, do którego odprowadzane są ścieki.

W celulozowniach mechanicznych, w których działa również linia produkcyjna odbarwionej masy makulaturowej, pewna część wsadu włóknistego może charakteryzować się nieco mniejszym zapotrzebowaniem na wodę świeżą niż w przypadku czysto mechanicznej produkcji celulozy i papieru.

Zaleca się monitorowanie natężenia połączonego strumienia ścieków z celulozowni oraz monitorowanie w laboratorium zawiesiny i rozpuszczonych ciał stałych, odczynu pH, temperatury i zawartości substancji organicznych w postaci ChZT. Podczas procesu technologicznego można korzystać również z mierników zawiesiny lub stopnia mętności.

### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Dzięki efektywnemu ponownemu wykorzystaniu wody podczas roztwarzania bardziej rozpuszczone lub koloidalne substancje można przechowywać wraz z masą celulozową. Trzeba to zrekompensować w maszynie papierniczej, tak by uniknąć na przykład zwiększenia ryzyka zerwania wstęgi papieru, zmian pod względem retencji wstęgi papieru w części mokrej lub odwodnienia arkuszy.

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Stopień redukcji wody zależy od gatunku papieru/kartonu. Aby uniknąć negatywnych konsekwencji dla samego procesu i produktu, należy oszacować przydatność określonych strumieni wody technologicznej do ponownego wykorzystania lub recyklingu.

W celu utrzymania na minimalnym poziomie ilości świeżej wody uzupełniającej i odprowadzanych ścieków istniejące zakłady ewentualnie muszą również zadbać o równowagę pojemności swoich zbiorników na filtrat, wodę podsitową i masę celulozową.

Bilans wody i energii często przeprowadza się równocześnie, ponieważ temperatura wody podczas roztwarzania rośnie wraz ze stopniem zamknięcia obiegu wody.

### **Aspekty ekonomiczne**

Ponieważ większość celulozowni mechanicznych to zakłady zintegrowane z papierniami, działania na rzecz poprawy stopnia ponownego wykorzystania wody zwykle wiążą się z redukcją zużycia wody zarówno podczas roztwarzania, jak i podczas produkcji papieru.

Inwestycje potrzebne w przypadku zakładu zintegrowanego, produkującego 700 t powietrznie suchej masy rocznie i zamierzającego obniżyć poziom zużycia wody świeżej z 20 m<sup>3</sup>/t do 10 m<sup>3</sup>/t to około 10-12 mln EUR.

### **Motywacja do wdrożenia techniki**

Motywację do wdrażania tej techniki stanowi chęć ograniczenia ładunku hydraulicznego i ładunku zawiesiny. Bardziej skoncentrowane ścieki można oczyszczać wydajniej przy niższych nakładach inwestycyjnych i niższych kosztach eksploatacji.

### **Instalacje referencyjne**

Z wydajnej recykulacji wody korzysta wiele nowoczesnych zakładów. Niemniej jednak z wyżej wymienionych środków korzysta również wiele starych zakładów.

### **Bibliografia**

[ 14, CEPI 1997 ], [ 26, Edelman et al. 1997 ].

### 5.3.7 Zamiana NaOH na Ca(OH)<sub>2</sub> lub Mg(OH)<sub>2</sub> jako alkalia do bielenia nadtlenkiem

#### Opis

Zamiana NaOH na Ca(OH)<sub>2</sub> lub Mg(OH)<sub>2</sub> jako alkalia do bielenia nadtlenkiem

#### Główne korzyści środowiskowe

Ograniczenie emisji ChZT

#### Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

W niektórych zakładach stosowana jest właśnie ta technika (np. w SCA Laakirchen, MD Papier Plattling). Dzięki niej możliwe jest osiągnięcie niższych o około 30% ładunków emisji ChZT.

#### Oddziaływanie na procesy i środowisko

Brak danych

#### Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki

Możliwość zastosowania do uzyskania najwyższych poziomów jasności może być ograniczona.

#### Aspekty ekonomiczne

Brak danych



### 5.3.8 Oczyszczanie ścieków w zakładzie chemotermomechanicznym – zamykanie obiegów wody poprzez odparowywanie i spalanie koncentratu

#### Opis i główne korzyści środowiskowe

W przypadku zakładów chemotermomechanicznych istnieje kilka alternatywnych rozwiązań oczyszczania ścieków i opisano je poniżej.

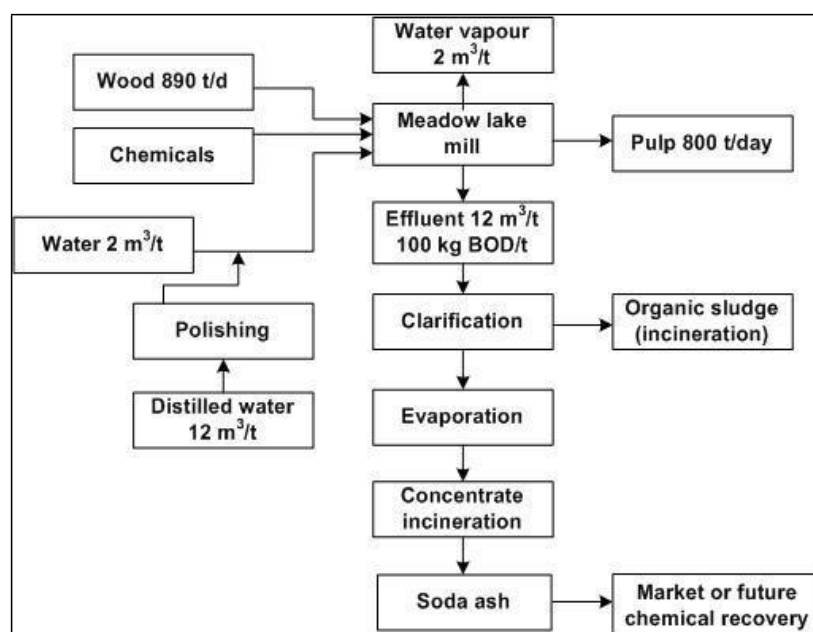
- Oczyszczanie osadu czynnego podczas jednego lub dwóch etapów z wykorzystaniem obróbki chemicznej lub bez niej (patrz podrozdział 3.5.12). W momencie pisania (2013) metoda z użyciem osadu czynnego jest najpowszechniej stosowaną metodą, a w przypadku odpowiedniego jej zaprojektowania – również bardzo wydajną. Łatwo można osiągnąć redukcję BZT na poziomie 98% i ChZT na poziomie 85%. Wadą tej metody jest dość wysokie stężenie składników odżywczych w ściekach. Dlatego też w niektórych zakładach chemotermomechanicznych pod koniec procesu oczyszczania trzeba było wdrożyć dodatkową obróbkę chemiczną (patrz podrozdział 3.3.14).
- Wewnątrzzakładowa obróbka chemiczna wody podsitowej na pierwszym etapie mycia oraz oczyszczanie osadu czynnego z pozostałej części. Istnieje jeden zakład chemotermomechaniczny, w którym za pomocą substancji chemicznej odbywa się oczyszczanie wody podsitowej, dzięki czemu na kolejnym etapie flotacji możliwe jest usunięcie substancji ekstrakcyjnych i frakcji drobnej. Jednocześnie odnotowano też ograniczenie ChZT rzędu 40-50%. Wadą tej metody są stosunkowo wysokie koszty substancji chemicznych.
- Połączenie oczyszczania beztlenowego i tlenowego ścieków. Stwierdzono tylko jeden zakład ze Szwecji (SCA, Östrand), w którym stosowaną tę technikę. W SCA Östrand zrezygnowano z oczyszczania beztlenowego. Zamiast tego od 2004 roku ścieki z zakładu chemotermomechanicznego wykorzystującego drewno drzew iglastych oczyszcza się tu wraz ze ściekami z produkcji masy siarczanowej w ramach oczyszczania tlenowego. Odparowywanie najbardziej zanieczyszczonych ścieków i spalanie koncentratu oraz oczyszczanie osadu czynnego z pozostałej części to inna dostępna możliwość. Na świecie w kilku zakładach z powodzeniem wdrożono nowe techniki odparowywania, zapewniające możliwość przesyłania koncentratu do układu odzyskiwania w celulozowni siarczanowej. W takim wypadku koncentrat spala się w kotle odzysknicowym z sąsiadującej celulozowni siarczanowej. W tym przypadku, jeśli trzeba podnieść pojemność masy celulozowej, a oczyszczalnia biologiczna staje się zbyt mała, jako rozwiązanie alternatywne najbardziej nadaje się odparowywanie. Czysty kondensat z takiej instalacji do odparowywania można wykorzystać w zakładzie chemotermomechanicznym jako wodę technologiczną, tym samym znacznie zmniejszając zużycie świeżej wody. Odparowywanie to również dobra alternatywa, w przypadku gdy konieczne jest zastosowanie oczyszczania trzeciego stopnia, czyli w przypadku gdy w ściekach trzeba obniżyć stężenie składników odżywczych.
- Odparowywanie wszystkich ścieków i spalanie koncentratu w kotle odzysknicowym. Dzięki temu rozwiązaniu ścieki w stanie płynny ograniczone są do zera. Dawna celulozownia Millar Western Pulp (Meadow Lake) w Saskatchewan w Kanadzie rocznie produkuje teraz do 325 000 ton powietrznie suchej bielonej masy chemotermomechanicznej, znacznie powyżej swojej początkowej konstrukcyjnej zdolności produkcyjnej na poziomie 240 000 t powietrznie suchej masy. Zakład rozpoczął działalność w 1992 r. Problem związany z odprowadzaniem ścieków do szlaków żeglugowych udało się ostatecznie rozwiązać poprzez budowę instalacji, z której odprowadzane ścieki w stanie ciekłym są na poziomie zerowym. Ścieki w całości trafiają do oczyszczania, a 80% jako woda destylowana wraca do ponownego wykorzystania w procesie. Pozostałe 20% wody trafia do suszenia produktu końcowego masy, odparowywania ścieków i zbiorników na oczyszczoną wodę. W systemie oczyszczania ścieków wykorzystuje się konwencjonalne jednostkowe procesy odparowywania, zateżnienia i spalania. W zakładzie chemotermomechanicznym drewno drzew liściastych (osikę) przekształca się za pomocą roztwarzania nadtlenkiem alkalicznym (APP) do postaci najdrobniejszej tkanki i masy celulozowej na papier do pisania. Poniżej opisano zastosowany w nich system z emisjami ścieków na poziomie zerowym, ponieważ zawiera

on wiele innowacji, które leżą w ogólnym interesie całej branży. Otworzył on drzwi do wykorzystania w innych zastosowaniach przemysłowych, w których zbiornik wodny nie jest w stanie skutecznie przyjąć odprowadzanych do niego emisji przemysłowych.

System recyklingu wody w zakładzie Meadow Lake składa się z sześciu procesów jednostkowych, które pokazano na rysunku 5.19 i 5.20:

- usuwanie zawiesiny (osadniki Krofta z możliwością wykorzystania osadniki w postaci zbiorników);
- odparowywanie poprzez mechaniczną rekompresję pary (1,5 razy większa pojemność niż przewidziany strumień w celu zapewnienia elastyczności i możliwości przyspieszenia przepływu);
- stężanie na bazie pary wodnej;
- spalanie koncentratu;
  - polerowanie destylatu do wykorzystania w zakładzie do celów ogólnych;
  - oczyszczanie wody uzupełniającej z jeziora.

Jak pokazano na rysunku 5.19, w wyniku odparowywania dochodzi do utraty wyłącznie tej wody, która wymaga wymiany, a poziom ten wynosi około 2 m<sup>3</sup>/t powietrznie suchej masy.



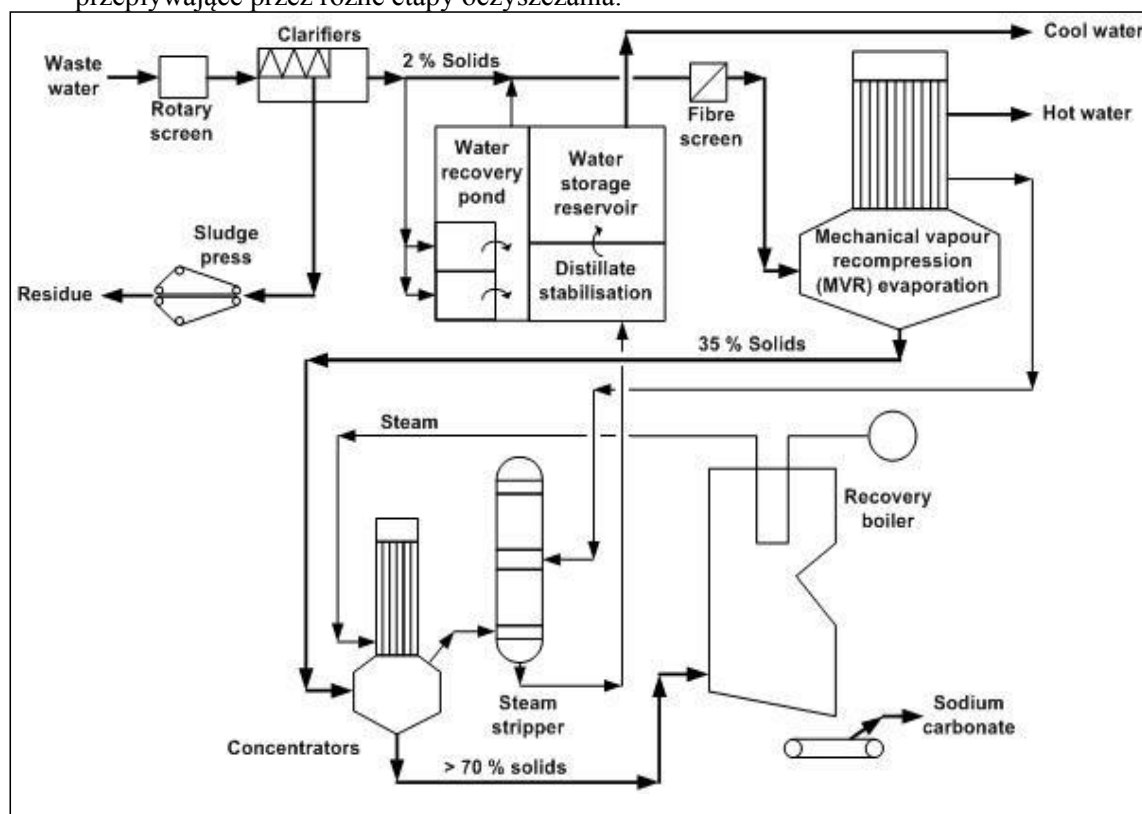
Rysunek 5. 19 System recyklingu wody w zakładzie Meadow Lake, produkującym białoną masę chemotermomechaniczną

Wood 890 t/d	Drewno 890 t/d
Chemicals	Chemikalia
Water vapour 2 m <sup>3</sup> /t	Para wodna 2 m <sup>3</sup> /t
Meadow lake mill	Zakład Meadow Lake
Pulp 800 t/day	Masa celulozowa 800 t dziennie
Effluent 12 m <sup>3</sup> /t 100 kg BOD/t	Ścieki 12 m <sup>3</sup> /t 100 kg BZT/t
Water 2 m <sup>3</sup> /t	Woda 2 m <sup>3</sup> /t
Polishing	Polerowanie
Clarification	Klarowanie
Organic sludge (Incineration)	Osad organiczny (spalanie)
Distilled water 12 m <sup>3</sup> /t	Woda destylowana 12 m <sup>3</sup> /t
Evaporation	Odparywanie
Concentrate incineration	Spalanie koncentratu

Soda ash	Soda amoniakalna
Market or future chemical recovery	Rynek lub przyszły odzysk substancji chemicznych

Technologia odparowywania wykorzystywana jest do zamykania obiegu wody i uzyskiwania zerowego stanu ścieków [44, Evans 1992].

Na rysunku 5.20 przedstawiono koncepcję obróbki ścieków, w tym główne strumienie wody przepływające przez różne etapy oczyszczania.



Rysunek 5. 20 Koncepcja procesu obróbki z emisjami ścieków w stanie płynnym na poziomie zerowym w zakładzie Meadow Lake produkującym białą masę chemotermomechaniczną

Waste water	Ścieki
Rotary screen	Sito bębnowe
Clarifiers	Osadniki
2% Solids	2% suchej masy
Cool water	Chłodna woda
Hot water	Gorąca woda
Fibre screen	Sito na włókna
Water recovery pond	Zbiornik do odzysku wody
Water storage reservoir	Zbiornik do magazynowania wody
Distillate stabilisation	Stabilizacja destylatu
Mechanical vapour recompression (MVR) evaporation	Odparowywanie poprzez mechaniczną rekompresję pary
35% Solids	35% suchej masy
Sludge press	Prasa do osadu
Residue	Pozostałości
Steam	Para
Recovery boiler	Kocioł odzysknicowy
Sodium	Sód
Sodium carbonate	Węglan sodu
Steam stripper	Parowa kolumna odpędowa
> 70% solids	> 70% suchej masy

Concentrators	Koncentratory
Source: [ 155, Ward et al. 1993 ]	Źródło: [ 155, Ward et al. 1993 ]

Wszystkie strumienie wody technologicznej pompuje się do oczyszczania wstępnego, które służy do usuwania zawiesiny. Wychwycone substancje stałe poddaje się odwadnianiu i spalaniu. Klarowaną wodę można przechowywać w zewnętrznych zbiornikach, które zapewniają rezerwowe miejsce na materiał podczas transportu między celulozownią i parownikami.

Klarowana woda trafia do parowników z mechaniczną rekompresją pary (MVR), gdzie stężenie zawiesiny ogółem zwiększa się z 2,5% do 35%. Destylat z parowników MVR podzielony jest na wewnętrzne frakcje, tak by zapobiec zanieczyszczeniu czystego destylatu, który stanowi 85% produkowanego destylatu. Frakcja destylatu, w której jest najwięcej LZO, przez odpędzanie w parowej kolumnie odpędowej pozbawiana jest większości takich substancji organicznych, odprowadzanych do spalania w kotle odzysknicowym. Destylat z parownika w większości można wykorzystać w temperaturze 65 °C bezpośrednio w celulozowni. Niemniej jednak istnieją pewne wymagania dotyczące temperatury wody, która musi mieć 20-30 °C. Aby ją zagwarantować, część destylatu poddawana jest schładzaniu i w zbiorniku do stabilizacji biologicznej usuwa się drobne frakcje lotnych substancji organicznych.

W dwóch koncentratorach parowych poziom ciał stałych w koncentracie z parowników MVR zwiększa się do 70% suchej masy i spala w kotle do odzysku substancji chemicznych. Stop z pieca odzysknicowego schładza się i zestala na przenośniku, a następnie utylizuje w bunkrze.

### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

System recyklingu wody nie powoduje żadnych strat w produkcji celulozy i nie ma żadnego negatywnego wpływu na jakość masy. Firma opracowała unikalne metody zaangażowania pracowników w podejmowanie decyzji zarządczych. Szkolenie było kluczowe dla pomyślnego rozruchu zakładu w Meadow Lake. Przed rozruchem starano się, by nowi pracownicy odbyli co najmniej trzymiesięczne szkolenie dotyczące pracy na swoich stanowiskach. Dzięki stałym szkoleniom mającym na celu rozwój kwalifikacji udało się utrzymać najwyższy poziom siły roboczej pod względem technologii i praktyk stosowanych w pracy. Bezpieczeństwo jako najwyższy priorytet zagwarantowało zaangażowanie pracowników w ten kluczowy program utrzymujący wysokie morale i niskie składki ubezpieczeniowe. Regularnie powstają małe zespoły i mają one możliwości i kompetencje do wprowadzania zmian w procesie, w przypadku których można wykazać jakieś korzyści.

W zakładzie o zerowych emisjach ścieków niezwykle istotną rolę odgrywa monitorowanie procesów i urządzeń. Działają w nim różne programy badawcze, takie jak dynamiczne monitorowanie stopnia skażenia i korozji oraz certyfikat systemu zarządzania jakością ISO 9002. Aby uważnie pilnować zakładu, dodatkowo korzysta się również z usług laboratorium analitycznego. Jednym z przykładów jest program monitorowania metali, w ramach którego w systemie śledzi się jony i umożliwia aktywne funkcjonowanie, tak by wywołać korozję, zanieczyszczenia i osadzanie się kamienia.

### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Nie było dostępnych informacji na temat bilansu energetycznego w porównaniu do konwencjonalnego systemu. Obieg odpadów stałych nie jest jeszcze zamknięty, ale w konwencjonalnych systemach także nie ma to miejsca. Nieznane są wzajemne powiązania pomiędzy różnymi komponentami środowiska.

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Zamykanie zakładu chemotermomechanicznego możliwe jest zarówno w przypadku nowych, jak i istniejących zakładów. Jedynym ograniczeniem są wysokie koszty kapitałowe odparowywania i funkcjonowania kotła odzysknicowego (tak jak w Meadow Lake). Omawiana koncepcja powstała w zakładzie zbudowanym od podstaw w 1992 r. i wymaga dużo miejsca, którego istniejące zakłady często nie mają. Rozwiązanie to będzie zależę od lokalnych warunków i często różni się w przypadku zakładów produkujących masę chemotermomechaniczną do sprzedaży na rynek rynku w porównaniu do zakładów ze zintegrowaną produkcją chemotermomechaniczną. W przypadku stosowania parowników bielenie masy chemotermomechanicznej trzeba zmodyfikować. Na przykład z powodu odkładania się kamienia nie można stosować krzemianów sodu.

### **Aspekty ekonomiczne**

System charakteryzuje się kosztami operacyjnymi, które w porównaniu do konwencjonalnych systemów z wodą do bielonej masy chemotermomechanicznej i systemów wtórnego oczyszczania ścieków są konkurencyjne. Po okresie optymalizacji koszty operacyjne oczyszczania ścieków w Meadow Lake są obecnie niższe od kosztów konwencjonalnego oczyszczania wtórnego. Niemniej jednak na etapie rozruchu powstały wysokie koszty inwestycyjne z powodu odparowywania materiałów ponadgabarytowych i nieograniczonych rozmiarów zakładu odzysku i miejsca do przechowywania ścieków (przez trzy dni). Atrakcyjność metody zerowych emisji w stanie ciekłym jest większa dzięki potencjalnemu odzyskowi substancji chemicznych i energii, z którego można korzystać w celu ograniczenia kosztów produkcji i amortyzowania kosztów kapitałowych. Dane na temat konkretnych kosztów nie są dostępne. Zmiany w przepisach dotyczących ścieków w stanie ciekłym nie mają wpływu na zakłady z zerowymi emisjami ścieków, co stanowi korzyść ekonomiczną.

### **Motywacja do wdrożenia techniki**

W zakładzie Meadow Lake wody nie jest dużo, a zbiornik wodny, do którego ewentualnie można by odprowadzać ścieki, jest niewielki. W celu zapewnienia wystarczającej ilości wody do rozcieńczania na potrzeby odprowadzanych zgodnie z zakładu ścieków i umożliwienia przepływu rzeki przez cały rok konwencjonalny układ oczyszczania ścieków wymagałby wiercenia studni do pozyskiwania wody z podziemnej warstwy wodonośnej. Taki wariant był nie do zaakceptowania przez właścicieli firmy i podjęto decyzję o wdrożeniu technologii zerowych emisji ścieków.

W sytuacji gdy trzeba spełnić bardziej rygorystyczne limity dotyczące emisji ścieków, bardziej akceptowalna może być właśnie koncepcja zerowych emisji ścieków. Poza rozwiązaniem problemu emisji ChZT dzięki odparowywaniu/spalaniu poprzez ponowne wykorzystanie przez kondensatu z parowników możliwe będzie znacznie mniejsze zużycie świeżej wody, w przypadku dodania instalacji do kaustykacji zapewniając również możliwość odzyskiwania substancji żrących. Zamykanie cyklu chemicznego nie tylko zagwarantuje ograniczenie ilości soli nieorganicznych odprowadzanych do zbiornika wodnego, lecz przyczyni się również do obniżenia kosztów operacyjnych.

### Instalacje referencyjne

Przykładowe zakłady to zakład produkujący bieloną masę chemotermomechaniczną w Meadow Lake i zakład Tembec Chetwynd produkujący bieloną masę chemotermomechaniczną z Kanady, Stora Enso Fors (Szwecja), M-Real Joutseno i Kaskinen (Finlandia), Klabin (Brazylia) i Sun Paper Yanzhou (Chiny).

### Bibliografia

[ 43, Evans 1991 ], [ 44, Evans 1992 ], [ 45, Evans et al. 1993 ], [ 53, Fromson et al. 1993 ], [ 136, Sweet et al. 1993 ], [ 155, Ward et al. 1993 ].

## 5.3.9 Szeroki zakres odzysku wtórnej energii cieplnej rafinerów termomechanicznych i chemotermomechanicznych oraz ponowne wykorzystanie odzyskanej pary do suszenia papieru lub masy celulozowej

### Opis

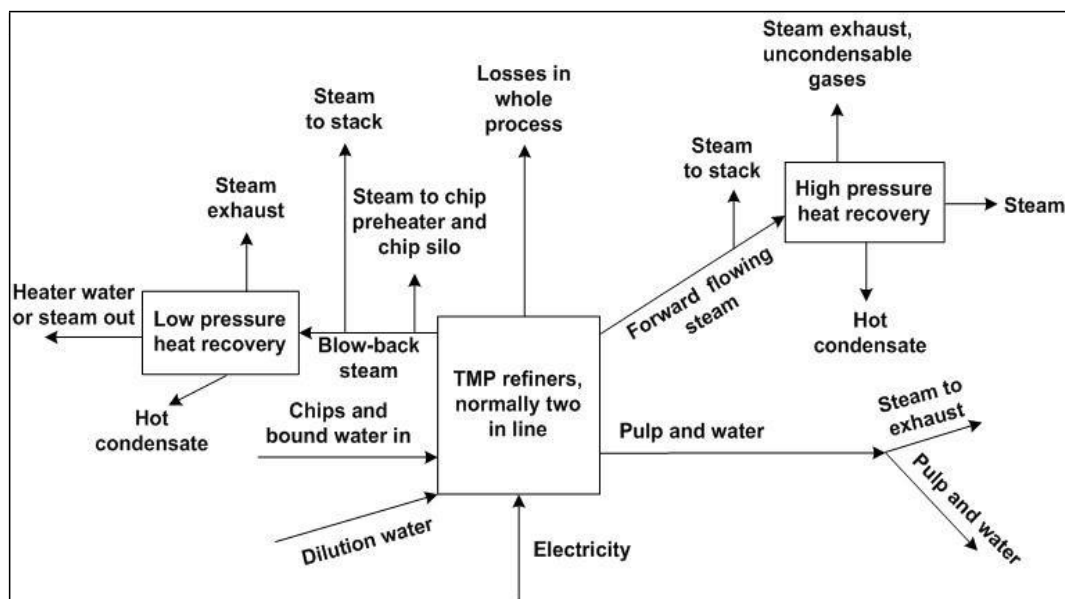
Efektywność pracy rafinerów termomechanicznych jest stosunkowo niska. Prawie cała energia elektryczna zużywana podczas procesu rozdrabniania przekształcana jest na energię cieplną. Większość energii pozostaje w szczelinie płyty zawierającej ciepło utajone parowania wody (wytwarzanie pary wodnej). Energię cieplną można również znaleźć w podgrzanej wodzie i podgrzanym materiale włóknistym.

„Odzysk energii cieplnej” oznacza ponowne wykorzystanie całości ciepła powstałego w procesie termomechanicznym. Zakład termomechaniczny składa się z głównych rafinerów termomechanicznych, przy czym może to być tylko jedna główna linia rafinerów (np. w procesie krótkiego czasu retencji – RTS) bądź też dwie lub trzy w szeregu, a także z rafinerów na odrzuty, których liczba zazwyczaj jest w granicach od jednego do dwóch.

Z punktu widzenia odzysku ciepła różne rodzaje rafinerów można podzielić na dwie grupy:

- rafinerie charakteryzujące się wyższym ciśnieniem na wylocie niż na wlocie: rafinerie wyposażone w jedną tarczę (SD) i rafinerie wyposażone w tarcze stożkowe (CD);
- rafinerie charakteryzujące się takim samym ciśnieniem na wejściu i na wyjściu: rafinerie wyposażone w podwójne tarcze i rafinerie dwutarczowe (DD).

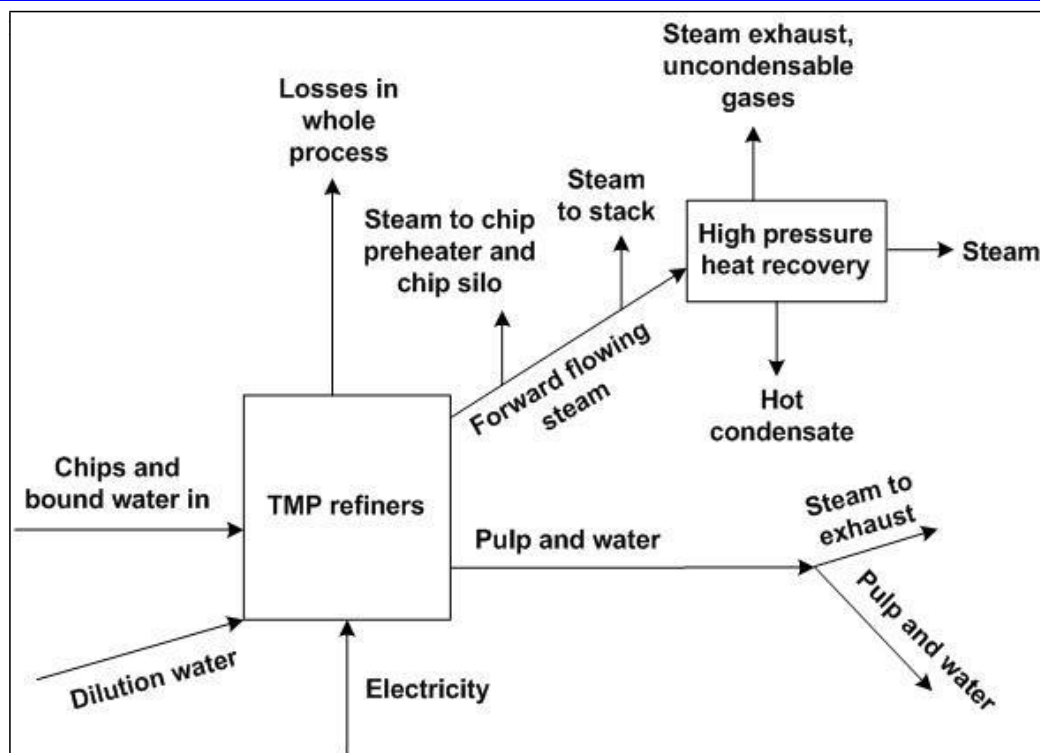
Na rysunku 5.21 przedstawiono przepływ energii i masy w rafinerze z jedną tarczą lub z tarczami stożkowymi, w przypadku którego wprowadzane do niego zrębki i wodę przy użyciu energii elektrycznej przekształca się w masę mechaniczną i energię cieplną. Wytworzone ciepło można odzyskać w postaci pary wodnej pod wysokim ciśnieniem, pary z przepływu wstecznego gazów, którą można odzyskać w postaci pary niskociśnieniowej, a także w postaci podgrzanej wody. Poza tym na rysunku w sposób schematyczny oznaczono straty ciepła. Ilość pary wodnej z przepływu wstecznego zależy od ciśnienia na wlocie i w obudowie, jak również od rodzaju segmentów stosowanych w rafinerze. Typowe poziomy ciśnienia w rafinerach z jedną tarczą i z tarczami stożkowymi to 1 bar na wlocie i 4 bar w obudowie.



Rysunek 5. 21 Przepływy energii i masy oraz przepływy energii związanej w przepływach masowych w rafineriach z jedną tarczą lub z tarczami stożkowymi

Steam exhaust	Wylot pary wodnej
Steam to stack	Para do komina
Losses in whole process	Straty w całym procesie
Steam to chip preheater and chip silo	Para do podgrzewacza zrębków i do silosu na zrębki
Steam to stack	Para do komina
Steam exhaust, uncondensable gases	Wylot pary, nieskrapające się gazy
High pressure heat recovery	Odzysk ciepła wysokociśnieniowego
Steam	Para
Hot condensate	Gorący kondensat
Steam to exhaust	Para do wylotu
Pulp and water	Masa celulozowa i woda
Forward flowing steam	Para w przepływie naprzód
Pulp and water	Masa celulozowa i woda
Electricity	Energia elektryczna
TMP refiners, normally two in line	Rafinerie termomechaniczne, normalnie dwa na linii
Blow-back steam	Przepływ wsteczny pary
Chips and bound water in	Wprowadzane do procesu zrębki i związana woda
Dilution water	Woda do rozcieńczenia
Hot condensate	Gorący kondensat
Heater water or steam out	Odprowadzana z procesu woda lub para z podgrzewacz
Low pressure heat recovery	Odzysk ciepła niskociśnieniowego

Na rysunku 5.22 przedstawiono te same zasady w odniesieniu do rafinerów z podwójnymi tarczami i rafinerów dwutarczowych. W tym przypadku widać, że nie ma tu odzysku pary z przepływu wstecznego ani odzysku ciepła niskociśnieniowego.



Rysunek 5. 22 Przepływy energii i masy oraz przepływy energii związanej w przepływach masowych w rafinerach z podwójnymi tarczami i rafinerach dwutarczowych

Losses in whole process	Straty w całym procesie
Steam to chip preheater and chip silo	Para do podgrzewacza zrębków i do silosu na zrębki
Steam to stack	Para do komina
Steam exhaust, uncondensable gases	Wylot pary, nieskrapające się gazy
High pressure heat recovery	Odzysk ciepła wysokociśnieniowego
Steam	Para
Hot condensate	Gorący kondensat
Pulp and water	Masa celulozowa i woda
Steam to exhaust	Para do wylotu
Forward flowing steam	Para w przepływie naprzód
Pulp and water	Masa celulozowa i woda
TMP refiners	Rafinerie termomechaniczne
Chips and bound water in	Wprowadzane do procesu zrębki i związana woda
Electricity	Energia elektryczna
Dilution water	Woda do rozcieńczania

Typowe ciśnienie na wlocie i w obudowie w rafinerach z podwójnymi tarczami i rafinerach dwutarczowych wynosi 4 bar. Zazwyczaj na głównej linii rafinerów wykorzystuje się energię w zakresie od 1,7 MWh/t do 2,5 MWh/t.

Typowe teoretyczne wartości maksymalne w przypadku przepływów dającej się odzyskać energii przedstawiono w tabeli 5.20. Definicje źródeł odzysku energii czytelnik może znaleźć na rysunku 5.21 i 5.22.

Tabela 5. 20 Szacunkowy względny rozkład odzyskiwanej pary wodnej i energii cieplnej z mocy zastosowanego rafinera na głównej linii rafinerów

Źródło odzysku energii	Rafiner z jedną tarczą i z tarczami stożkowymi (udział procentowy)	Rafiner z podwójnymi tarczami i rafiner dwutarczowy (udział procentowy)



Odzysk pary wodnej pod wysokim ciśnieniem	61	79
Kondensat pary wodnej pod wysokim ciśnieniem	11	15
Odzysk ciepła niskociśnieniowego	20	Nie dotyczy
Kondensat pod niskim ciśnieniem	2	Nie dotyczy
Ciepło niepodlegające odzyskowi	6	6
<p>Uwaga: W celu jednoznacznego określenia wydajności odzysku energii cieplnej należy określić, które przepływy ciepła uwzględniono w wyliczeniu i jaką temperaturę referencyjną w odniesieniu do zawartości energii zastosowano na potrzeby wyliczenia.</p> <p>Odsetek względnego odzysku ciepła oznacza stosunek odzyskanej energii bez uwzględnienia poziomu egzergii.</p> <p>Źródło: Załącznik 1 do [169, Nilsson et al. 2007]</p>		

W nowoczesnym zakładzie rafinerii na odrzuty pracują pod ciśnieniem. Stosunek odrzutów to zazwyczaj 40% a energia wykorzystywana do rafinacji odrzutów to zazwyczaj 1 MWh/t. Typowy odzysk energii w rafinerii na odrzuty to 16-24% w porównaniu do rafinerii na głównej linii. Parę wodną pod wysokim ciśnieniem powstałą w rafineriach termomechanicznych oddziela się od włókien za pomocą cyklonów lub separatorów mechanicznych, a następnie przed odparowywaniem czystej pary wodnej skrapla w reboilerze.

Skażony kondensat można wykorzystać jako wodę do rozcieńczania w rafinerii w celu zwiększenia ilości wytwarzanej pary lub do podgrzewania wody obiegowej. Niskociśnieniową parę wykorzystuje się w skraplaczu powierzchniowym do podgrzewania wody obiegowej, a zanieczyszczony kondensat odprowadza się do płukania zrębków lub do zbiornika na nieoczyszczone odrzuty w ramach procesu termomechanicznego.

Konieczność odzysku różnych rodzajów energii (pary wodnej o niskim i wysokim ciśnieniu, wody o różnej temperaturze) różni się w zależności od zakładu. Najważniejszy jest odzysk pary wodnej pod wysokim ciśnieniem. Zwykle odzyskaną parę wodną pod wysokim ciśnieniem wykorzystuje się w sekcji suszenia maszyny papierniczej. Użyteczność odzysku ciepła wysokociśnieniowego jest ograniczona przez konieczność czyszczenia wymienników ciepła, a także rozruch i przestoje zakładu termomechanicznego oraz maszyn papierniczych. Dlatego też, jeśli szukamy najlepszej średniej długookresowej, wartość ta w przypadku odzysku pary wysokociśnieniowej wynosi niecałe 5% poniżej maksymalnej wartości przedstawionej w tabeli 5.20.

#### **Główne korzyści środowiskowe**

Dzięki odzyskowi energii cieplnej z rafinerii i ponownemu wykorzystaniu w procesie można zaoszczędzić zasoby (paliwo do wytwarzania energii) oraz ograniczyć związane z tym emisje i odpady z kotłów parowych (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, pył, CO<sub>2</sub>).

#### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Systemy odzysku energii cieplnej w nowopowstających zakładach termomechanicznych to już standardowe urządzenia. Po uruchomieniu zakładu termomechanicznego do brudnej pary przenosi się nadmierna ilość włókien. W takim wypadku parę należy skierować do płuczki atmosferycznej.

#### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Brak negatywnego oddziaływania. Odzysk energii jest wydajny pod względem kosztów.

#### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Technikę można stosować zarówno w nowopowstałych, jak i już istniejących zakładach. W przypadku starszych rafinerii termomechanicznych może nie być możliwości zwiększenia w nich ciśnienia w celu wykorzystania brudnej pary w reboilerze. Wysokie ciśnienie rozdrabniania może powodować straty w jasności, w przypadku gdy dojdzie do przekroczenia pewnej temperatury z powodu tworzenia się w ligninie jednostek strukturalnych decydujących o barwie. Stosunkowo skomplikowany system odzysku ciepła musi być zintegrowany

z istniejącym systemem sterowania, co przydaje się do nadzorowania wydajności i bezpieczeństwa. Profilaktyka zapobiega niepotrzebnym i kosztownym przestojom i stratom wydajności wynikającym z blokowania lub uszkodzenia kotła przez korozję.

#### **Aspekty ekonomiczne**

Specjalnie w odniesieniu do odzysku ciepła efektywność ekonomiczną należy oceniać osobno dla każdej sytuacji. W zależności od cen energii czas zwrotu z inwestycji wynosi około jednego roku.

#### **Motywacja do wdrożenia techniki**

Redukcja kosztów poprzez oszczędność energii (pary). Możliwe jest też zwiększenie zdolności wytwarzania pary.

#### **Instalacje referencyjne**

Technika ta jest standardową praktyką we wszystkich nowych i niedawno przebudowanych zakładach (nie zainstalowało jej tylko kilka zakładów w Europie).

#### **Bibliografia**

Załącznik 1 do [ 169, Nilsson et al. 2007 ], [ 249, Blum et al. 2007 ]

### **5.3.10 Optymalne pod względem emisji spalanie odpadów stałych i odzyskiwanie energii**

#### **Opis**

W wytwórniach masy mechanicznej przeważnie zintegrowanych z wytwórniami papieru powstaje wiele odpadów stałych, takich jak np.: kora, resztki drewna, odpadowy osad z masy i odrzuty z sortowania, które trzeba zutilizować. Korę można w zakładzie wykorzystać jako paliwo do kotła pomocniczego, ale powstały osad jest trudniejszy do utylizacji. Opłacalną alternatywą jest jego spalanie. Ponieważ osady są odpadem o niższej wartości opałowej niż typowe paliwa stałe, takie jak kora lub drewno, ich spalanie rzadko odbywa się w kotłach przeznaczonych wyłącznie dla nich.

W praktyce zakłady wykorzystujące korę, drewno, torf lub węgiel do wytwarzania pary i energii elektrycznej uzyskują efektywność ekonomiczną, spalając w tych samych kotłach osady z wytwórni masy i z papierni razem z paliwami stałymi o wysokiej wartości opałowej (patrz podrozdział 2.6.1). Należy również podkreślić, że osady, których stężenie nie przekracza 50%, a zawartość popiołu nie jest niska, zawsze wymagają dodatku paliwa pomocniczego, tak by poprzez spalanie poprawnie je zutilizować.

Przyjazna dla środowiska i najbardziej odpowiednia do spalania osadów i odrzutów technologia jest taka sama jak w przypadku spalania drewna, kory i torfu. Istnieją jednak pewne specyficzne cechy odróżniające przygotowanie i spalanie osadu.

Kotły zapewniają parę wykorzystywaną bezpośrednio jako parę technologiczną do ogrzewania i suszenia, ale w coraz większej liczbie przypadków wykorzystuje się je również do produkcji energii elektrycznej (patrz podrozdział 2.6.1.2). Jednak w przypadku gdy kocioł jest mały, a jego głównym zadaniem jest utylizacja osadu przy użyciu minimalnej ilości paliwa pomocniczego, kotły nie są w stanie ekonomicznie wytworzyć niczego poza parą niskiego ciśnienia do ogrzewania modułów w procesie lub budynków.

Podczas spalania osadów w celulozowniach i papierniach, aby spełnić wymagania środowiskowe, trzeba zastosować odpowiedni kocioł, a czasem szereg procesów w ramach wstępnej obróbki paliwa (patrz podrozdział 2.6.1.1).

Podczas spalania osadu z papieru i odrzutów można wykorzystywać zarówno konwencjonalne kotły z rusztem mechanicznym, jak i kotły ze złożem fluidalnym. Technologia złoża fluidalnego dzięki większej elastyczności, wyższej wydajności i niskim emisjom jest jednak

---

bardziej uniwersalna. W branży celulozowo-papierniczej stosowane są kotły ze złożem barbotowanym (BFBC) i kotły ze złożem cyrkulującym (CFBC) (patrz sekcja 2.6.1.2.3).

Wartość opałowa kory usuwanej na mokro czy torfu o wilgotności na poziomie 40-60% wynosi 4.5-10,5 MJ/kg. Natomiast mechanicznie odwadniane osady charakteryzują się niższą wartością opałową rzędu 2,5-6,0 MJ/kg ze względu na często wyższą wilgotność i zawartość popiołu. Wartość opałowa suchego odpadu z wytwórni masy może sięgać 20 MJ/kg. Im wyższa wilgotność paliwa, tym niższa całkowita efektywność ekonomiczna kotła i znacznie trudniejsze warunki eksploatacji, chyba że zastosowano wydajną technologię. Kocioł ze złożem fluidalnym jest mniej wrażliwy na wilgotność paliwa niż kocioł z rusztem. Ponieważ niektóre osady z papierni często zawierają 20-30% popiołu, a w najgorszym przypadku nawet 60% (odpady z odbarwialni makulatury), ich spalanie w kotłach mechanicznych może powodować problemy eksploatacyjne, takie jak np. spowodowane przez popiół zapychanie się rusztów).

Wartość opałową osadu i ogólną wydajność spalania można poprawić, stosując ulepszoną technologię odwadniania i suszenia (patrz podrozdział 5.3.4).

Emisje z kotłów ze złożem fluidalnym mogą w większym stopniu sprostać ostrym wymaganiom niż emisje z kotłów z rusztem. Układy ze złożem fluidalnym zapewniają ograniczenie emisji SO<sub>2</sub> i NO<sub>x</sub> na miejscu, a w dodatku są prostsze i sprawniejsze niż kotły rusztowe.

Więcej informacji na temat dostępnych działań wstępnych i wtórnych służących do ograniczenia emisji SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO i pyłu zawieszzonego a także osiągniętych poziomów emisji czytelnik może znaleźć w rozdziale 2.9.7.

### **Główne korzyści środowiskowe**

Emisje z nowoczesnych kotłów ze złożem fluidalnym do spalania odrzutów z roztwarzania i osadu wraz z paliwami pomocniczymi można skutecznie kontrolować i optymalizować.

### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Dane na temat osiągniętych poziomów emisji z zakładów funkcjonujących z wykorzystaniem technik kontroli emisji (w tym wszelkich warunków referencyjnych i stosowanych metod monitorowania) czytelnik może znaleźć w rozdziale 2.9.7.

Gdy większość paliwa do kotła stanowi osad, wydajność gospodarki cieplnej netto jest niska. W zakładach, w których do produkcji pary lub energii elektrycznej wykorzystuje się również inne paliwa, przez spalanie wraz z nim osadu jako paliwa o niewielkim udziale procentowym można uzyskać lepszą wydajność procesu.

Dzięki zastosowaniu pracujących podczas procesu technologicznego mierników ze związkami gazowymi możliwe jest ciągle monitorowanie emisji. Ze względu na ich lepszą trwałość i niższy koszt stały się one bardziej powszechne. Korzystne jest również wielopunktowe monitorowanie temperatury i poziomu tlenu w kotle.

### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Zmniejszenie ilości odpadów poprzez spalanie przyczynia się do zwiększenia emisji do atmosfery. Jednak emisje te kontrolowane są przez zastosowanie przyjaznych dla środowiska technik spalania i kontroli emisji, które minimalizują emisję pyłów, SO<sub>2</sub> i NO<sub>x</sub>.

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Kotły ze złożem fluidalnym do spalania odpadów drzewnych lub utylizacji ciał stałych można montować i modernizować zarówno w nowych, jak i istniejących zakładach. Sterowalność procesu spalania i elastyczność z punktu widzenia wykorzystania innego paliwa stałego i jego odmiany przewyższa te właściwości w przypadku kotłów z rusztem.

Modernizacja kotłów rusztowych w połączeniu z modernizacją technologii odzysku ciepła i zewnętrznego oczyszczania gazów odlotowych może przyczynić się do poprawy wyników ekonomicznych i środowiskowych, lecz i tak nie uda się tu osiągnąć poziomu systemów ze złożem fluidalnym.

### **Aspekty ekonomiczne**

Modyfikacja istniejącego kotła korowego do spalania osadów i odrzutów w przypadku zintegrowanego zakładu produkującego 700 t powietrznie suchej masy dziennie wiąże się z kosztem rzędu 0,5-0,7 mln EUR, pod warunkiem że kocioł dysponuje już dodatkową wydajnością do spalania tych odpadów. Dodatkowy koszt eksploatacyjny w przypadku spalania pozostałości wynosi 250 000-350 000 EUR rocznie.

Oddzielny kocioł na osady i odrzuty w przypadku zakładu tej samej wielkości to koszt rzędu 5-7 mln EUR, a koszty jego eksploatacji to 500 000-600 000 EUR rocznie.

### **Motywacja do wdrożenia techniki**

Motywację do wdrażania tej techniki stanowi chęć ograniczenia skali utylizacji materiału organicznego na składowiskach.

### **Instalacje referencyjne**

Liczne zakłady w północnej i zachodniej Europy

### **Bibliografia**

[ 1, Finnish BAT Report 1997 ], [ 14, CEPI 1997 ], [ 104, Paper and Timber 1993 ].

### 5.3.11 Zastosowanie wystarczająco dużych zbiorników buforowych do magazynowania stężonych lub gorących cieczy produkcyjnych

#### Opis

Zastosowanie dużych zbiorników buforowych na gorące cieczy podczas produkcji ścieru drzewnego lub masy termomechanicznej w większości przypadków jest nieużyteczne, ponieważ masy te produkują się prawie wyłącznie w zakładach zintegrowanych, gdzie większą część wody technologicznej wykorzystywanej podczas procesów roztwarzania stanowi nadmiar wody obiegowej z maszyny papierniczej czy tekturkowej. Zużycie wody w procesie wytwarzania ścieru i masy termomechanicznej jest niskie w porównaniu z jej zużyciem w papierni, tak więc zwykle z linii papierniczej do ścieków w sposób ciągły odprowadza się nadmiar zanieczyszczonej wody. Zamiast dużych zbiorników buforowych w zakładach produkujących ścier drzewny i masę termomechaniczną często przed biologicznym oczyszczaniem ścieków wykorzystuje się zbiorniki wyrównawcze, a ma to na celu obniżenie szczytowego obciążenia hydraulicznego i organicznego oraz wyrównanie w możliwie jak największym stopniu napływu do biologicznej oczyszczalni ścieków.

Inaczej przedstawia się sytuacja w wytwórniach masy chemotermomechanicznej, ponieważ wiele z tych zakładów to fabryki niezintegrowane produkujące masę do sprzedaży na rynek. Analogicznie do roztwarzania innych rodzajów masy mechanicznej w procesie tym powstają różnego rodzaju wody odciekowe, które krążą wewnątrz procesu technologicznego. W zakładach zintegrowanych do układu wodnego wytwórni chemotermomechanicznej jako uzupełnienie dostarczany jest nadmiar wody podsitowej z maszyny papierniczej, natomiast w zakładach niezintegrowanych zużywa się świeżą wodę. W przypadku prowadzenia operacji bielenia stopień ponownego wykorzystania wody zwiększa się w wyniku użycia filtratów z bielenia do, np. impregnacji zrębków. Nadmiar zanieczyszczonej wody, np. z mycia zrębków, i nadmiar wody podsitowej, jak również czasami wodę z międzystopniowego mycia podczas rozwłókniania zrębków odprowadza się do ścieków.

W procesie wytwarzania masy chemotermomechanicznej, w odróżnieniu od procesów wytwarzania masy celulozowej, jest mniej przesłanek przemawiających za stosowaniem dużych zbiorników do magazynowania wody. Wprowadzając zasadę typowego przepływu wody w przeciwnym celu zmniejszenia zużycia wody świeżej, bilans ciągle wymaga odprowadzania ścieków. Niemniej jednak istnieje konieczność posiadania zbiorników o wystarczającej pojemności w celu dostarczenia wody tam, gdzie występuje maksimum jej zapotrzebowania, szczególnie do rozcieńczania i mycia masy. Dzieje się tak głównie podczas uruchamiania linii wytwarzania masy, podczas krótkookresowych wahań w bilansie produkcji masy i papieru lub w razie zaniechania wytwarzania masy niebielonej przy zachowaniu procesu bielenia.

Z powodu chemicznej obróbki zrębków ścieki z wytwórni chemotermomechanicznej są bardziej zanieczyszczone niż ścieki z wytwórni ścieru drzewnego i masy termomechanicznej. Z tego względu konieczne jest bardziej skrupulatne zarządzanie poziomem zbiorników w celu zminimalizowania szczytowych ładunków odprowadzanych do oczyszczalni ścieków. Podczas wytwarzania masy termomechanicznej i chemotermomechanicznej w procesie rozwłókniania zrębków następuje przekształcanie energii elektrycznej w energię w postaci pary wodnej, co powoduje zmniejszenie akumulacji ciepła w wodzie w układzie roztwarzania masy. W zakładach skutecznie wykorzystujących parę wodną do podgrzewania wody lub suszenia masy czy też papieru maleje konieczność sporadycznego wydmuchiwanie pary. W innych zakładach za pomocą wody i odprowadzania tej gorącej frakcji do ścieków poprzez utrzymywanie większej objętości wody w procesie produkcji redukuje się potrzebę chłodzenia pary.

#### Główne korzyści środowiskowe

Zbiorniki buforowe i zbiorniki wyrównawcze służą do ograniczania przepływów szczytowych i ładunków emisji oraz wycieków stężonych strumieni ścieków. Tymczasowe zamknięcie i przechowywanie a następnie stopniowe uwalnianie do biologicznego oczyszczania ścieków służy

do utrzymywania i poprawiania wydajności oczyszczalni zewnętrznej.

### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Dzięki udoskonalonemu zamknięciu obiegu wody można w większym stopniu kontrolować zanieczyszczone i ciepłe lub gorące strumienie odprowadzane do ścieków. Wewnątrzzakładową optymalizację mającą na celu odpowiedni transport stężonych lub gorących strumieni można przeprowadzić przez udoskonalenie lub zmianę procedur operacyjnych lub zwiększenie objętości zbiorników do magazynowania cieczy.

Aby mieć pod kontrolą niepożądane wycieki, w przypadku kluczowych kadzi na wodę potrzebne są sondy poziomu wody, w szczególności do kontrolowania wycieków w wyniku przepełnienia.

### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Brak jakichkolwiek efektów

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Ocenę i optymalizację zbiorników o wymaganej objętości można przeprowadzić zarówno w nowych, jak i istniejących zakładach. W przypadku istniejących zakładów dane operacyjne z różnych rodzajów produkcji pomagają w ustalaniu odpowiednich procedur zarządzania zbiornikami i konieczności zwiększenia objętości zbiorników.

### **Aspekty ekonomiczne**

Inwestycja w bardzo dużym stopniu zależy od konkretnego przypadku. Przy szacowaniu zapotrzebowania na 2 000 m<sup>3</sup> wody dodatkowej lub objętości masy oraz kilku dodatkowych zbiorników, rurociągów, elektryfikacji i oprzyrządowania potrzeba dodatkowych nakładów inwestycyjnych rzędu 100 000-250 000 EUR. Koszty operacyjne są niskie i obejmują głównie koszty konserwacji i kontroli.

### **Motywacja do wdrożenia techniki**

Środki te są konieczne, ponieważ pozwalają one na lepszą kontrolę wahań w procesie roztwarzania i zapobiegają zakłóceniom i uszkodzeniu biologicznej oczyszczalni ścieków. Poza tym konieczność ich wprowadzenia wynika też z wymogów prawnych.

### **Instalacje referencyjne**

Liczne nowoczesne zakłady na całym świecie

### **Bibliografia**

[ 14, CEPI 1997 ].

## **5.3.12 Biologiczne oczyszczanie tlenowe ścieków**

### **Opis**

Patrz podrozdział 2.9.11.2.1.

### **Główne korzyści środowiskowe**

Redukcja emisji substancji organicznych (ChZT, BZT), AOX, fosforu, azotu i środków chelatujących do wody

### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Proces najpowszechniej wykorzystywany do oczyszczania ścieków z celulozowni mechanicznych to proces z osadem czynnym. Najczęściej stosuje się proces dwuetapowy. Niektóre zakłady na pierwszym etapie stosują czysty tlen, po którym następuje „normalny” drugi etap napowietrzania. Niektóre zakłady przeprowadzają pierwszy etap przy wysokim ładunku a następnie drugi ze zbiornika do napowietrzania przy niższym ładunku. Do tego rodzaju ścieków wykorzystuje się również bioreaktor z błoną biologiczną i z ruchomym złożem. Jeden z zakładów poinformował, że po oczyszczeniu osadu czynnego w systemie

dwustopniowym stosuje etap biofiltracji. W zasadzie ścieki z celulozowni mechanicznych można skutecznie oczyszczać w warunkach beztlenowych, ponieważ stężenie w ściekach często przekracza 2 000 mg ChZT/l. Jednak w większości przypadków ścieki z zakładów celulozowo-papierniczych oczyszcza się za pomocą metod tlenowych, z wyjątkiem zakładów chemotermomechanicznych lub innych stężonych strumieni ścieków, w przypadku których czasem stosuje się oczyszczanie beztlenowe (patrz podrozdział 5.3.8).

Wydajność oczyszczalni w zależności od zakładu w pewnym stopniu się różni i zależy od rodzaju oczyszczanych ścieków oraz od konstrukcji, sposobu działania, konserwacji i regulacji w zakładzie. Typowe wartości mieszczą się w zakresie 95-98% w przypadku usuwania BZT (normalnie powyżej 95%) i 80-90% w przypadku usuwania ChZT. W dobrze zaprojektowanym i eksploatowanym zakładzie emisje zawiesiny ogółem kształtują się w granicach od 10 do 20 mg/l a BZT od 5 do 15 mg/l (blisko granicy wykrywalności) w obu przypadkach jako średnia wartość roczna (patrz tabela 5.21).

W tabeli 5.21 podsumowano osiągnięte poziomy emisji do wody po oczyszczaniu biologicznym w wielu celulozowniach i papierniach mechanicznych w Europie osiągających dobre wyniki i ukazano w niej też różne realizowane koncepcje oczyszczania. Zakłady funkcjonują w różnych warunkach technologicznych i różnych konfiguracjach układów wody.

O ile dostępne były odpowiednie dane, wskazywano również stosowane mieszanki włókna, techniki roztwarzania lub bielienia, powstające produkty (np. docelowy poziom jasności ISO) i stosowany system oczyszczania ścieków. Instalacje referencyjne papiernicze to zakłady produkujące papier gazetowy, papier do drukowania i karton.

Zakłady te wprowadziły wewnętrzną gospodarkę wodną i stosują skuteczne metody oczyszczania biologicznego. Skuteczność oczyszczania w tych przykładowych zakładach w przypadku ChZT wynosi >80-90%. Oczyszczalnie biologiczne projektowane i wykorzystywane są przeważnie jako zakłady o niskim ładunku z osadem czynnym lub z porównywalnymi systemami, takimi jak bioreaktory z błoną biologiczną i z ruchomym złożem, po których czasem następuje etap z osadem czynnym. W wykazie uwzględniono wybrane zakłady, w przypadku których dostępne były dane lub dane takie przekazały one same, a w związku z tym wykaz ten nie jest wyczerpujący. Metoda analizy zastosowanej odpowiada metodzie stosowanej w danym kraju, ale przeważnie stosuje się standardowe metody. W Szwecji i Finlandii wartości BZT podaje się jako BZT<sub>7</sub>. Wszystkie wartości to średnie wartości roczne. Dane w tabeli 5.21 podane w nawiasach to wartości stężenia (mg/l). Kilka zakładów prowadzi pomiary całkowitego węgla organicznego jako substytut parametru ChZT lub dodatkowo oprócz niego. W miarę możliwości te wartości całkowitego węgla organicznego przedstawiono w tabeli w nawiasach kwadratowych.

Tabela 5. 21 Średnie roczne emisje do wody po oczyszczeniu biologicznym z celulozowni mechanicznych w Europie

Instalacje referencyjne (źródła danych)	ChZT [całkowity węgiel org.] w kg/t pow. s.m. i (mg/l)	BZT <sup>5</sup> lub 7 w kg/t pow. s.m. i (mg/l)	Zawiesina ogółem z filtra kat. GF/A w kg/t pow. s.m. i (mg/l)	AOX w kg/t pow. s.m. i (mg/l)	N ogółem w g/t pow. s.m. i (mg/l)	P ogółem w g/t pow. s.m. i (mg/l)	Przepływ in m <sup>3</sup> /t pow. s.m.	Rodzaj oczyszczania	Uwagi
<b>Zintegrowane wytwórnie masy mechanicznej i papieru</b>									
UPM-Kymmene Austria, Steyrermühl (Kwestionariusz 2009)	2,74 [1,03] (155 [58])	0,1 (5)	0,16 (9,2)	0,001 (0,06)	4 (0,23)	4 (0,25)	16	jednostopniowy osad czynny	23% masy termomechanicznej, 61% odbarwiona masa makulaturowa, reszta: wypełniacze/pigmenty; 38% papier gładzony klasy B i 62% papier gazetowy; początkowy ładunek ChZT: 19,1 kg ChZT/t; usuwanie ChZT: 85%
MD Albruck (Kwestionariusz 2009)	1,24 (99)	0,08 (6,5)	0,1 (8)	0,000 5 (0,04)	21 (1,68)	5,8 (0,46)	12,5	złoże biologiczne, reaktor z ruchomym złożem, jednostopniowy osad czynny	70:30 ścier drzewny: ciśnieniowy ścier drzewny, masa chemiczna, 36% wypełniacze i pigmenty; papier powlekany o bardzo niskiej gramaturze i bardzo cienkiej powłoce, papier powlekany o niskiej, średniej lub wysokiej gramaturze, (80% ISO); usuwanie ChZT: 88%
Braviken (Raport środowiskowy)	2,4 (160)	b.d.	0,4 (27)	b.d.	75 (5)	5 (0,33)	15	b.d.	głównie papier gazetowy, masa termomechaniczna/włókna celulozy pochodzące z recyklingu odbarwionej makulatury
SE Hagen Kabel (Kwestionariusz 2007)	2,3 (190)	0,1 (6)	b.d.	0,000 3 (0,02)	80 (5,3)	7 (0,5)	15	beztlenowe, złoże biologiczne, osad czynny	55% masa mechaniczna (ścier drzewny, masa termomechaniczna), 45% zakupiona masa chemiczna, papier powlekany o niskiej gramaturze
SE Baienfurt (Kwestionariusz 2007)	2,0 (83)	0,11 (5)	0,3 (14)	0,002 (0,08)	45 (2,3)	8 (0,4)	17,5	osad czynny	65% masa mechaniczna (ścier drzewny), 35% zakupiona masa chemiczna, tektura pudełkowa
MD Paper Plattling (Kwestionariusz 2009)	2,5 (72 – 305)	0,23 (4 – 23)	0,19 (1 – 57)	0,02 (0,1 – 0,4)	28 (1 – 5,5)	8 (0,1 – 2,2)	12,5	reaktor z ruchomym złożem jednostopniowy osad czynny	33% ścier drzewny, 7% odbarwiona masa makulaturowa, masa chemiczna, 39% wypełniacze i pigmenty; papier powlekany o niskiej gramaturze; usuwanie ChZT: 82%



Stora Enso, Anjalankoski (Kwestionariusz 2009 oraz fińskie dane statystyczne z 2008 r.)	4,8 (b.d.)	0,1 (b.d.)	0,4 (b.d.)	b.d.	220 (dodatki chemiczne)	6 (b.d.)	19,8	reaktor z ruchomym złożem	77% ciśnieniowy ścier drzewny i 23% masa termomechaniczna, papier i karton o wysokim poziomie jasności (maks. 93% ISO, 2-3 etapy); usuwanie ChZT: brak danych
--	---------------	---------------	---------------	------	-------------------------------	-------------	------	---------------------------------	---

Instalacje referencyjne (źródła danych)	ChZT [całkowity węgiel org.] w kg/t pow. s.m. i (mg/l)	BZT <sub>5</sub> lub 7 w kg/t pow. s.m. i (mg/l)	Zawiesina ogółem z filtra kat. GF/A w kg/t pow. s.m. i (mg/l)	AOX w kg/t pow. s.m. i (mg/l)	N ogółem w g/t pow. s.m. i (mg/l)	P ogółem w g/t pow. s.m. i (mg/l)	Przepływ in m <sup>3</sup> /t pow. s.m.	Rodzaj oczyszczania	Uwagi
Norske Skog Walsum (Kwestionariusz 2009)	3,8 (277)	0,18 (13)	0,16 (12)	0,0004 (<0,03)	46 (3,4)	5 (0,4)	13,6	reaktor z ruchomym złożem + jednostopniowy osad czynny	~ 40% masa termomechaniczna, masa chemiczna; ~40% wypełniacze i pigmenty; 100% papier powlekany o niskiej gramaturze; usuwanie ChZT: 88%
Norske Skog Skogn (Kwestionariusz 2009)	2,2 (190)	b.d.	0,5 (15)	b.d.	100 (5)	10 (0,5)	12,7	jednostopniowy osad czynny	70% masa termomechaniczna, 30% odbarwiona masa makulaturowa; papier gazetowy; usuwanie ChZT: 90%
Mylykoski Paper Oy (Kwestionariusz 2009 oraz fińskie dane statystyczne z 2008 r.)	3,4 (b.d.)	0,14 (b.d.)	0,4 (b.d.)	b.d.	80 (b.d.)	8 (b.d.)	16,1	jednostopniowy osad czynny	100% ścier drzewny i ciśnieniowy ścier drzewny, masa chemiczna; wypełniacze i pigmenty; 62%, papier gładzony klasy A, 38% papier powlekany o średniej gramaturze (78-80% ISO); usuwanie ChZT: brak danych
Sappi Kirkniemi mill (dane statystyczne z 2009 r.)	1,4 (145)	0,06 (6)	0,6 (6)	b.d.	31 (3,5)	1,6 (0,2)	9,8	osad czynny + etap chemiczny z flotacją	ścier drzewny i ciśnieniowy ścier drzewny 31%, masa chemiczna 21%, wypełniacze i pigmenty 39%; usuwanie ChZT 89%
SCA Ortviken, SCA Graphic Sundsvall AB (Kwestionariusz 2009)	4,1 (280)	0,15 (10)	0,29 (20)	0,002 (0,12)	85 (5,9)	4 (0,26)	14,6	reaktor z ruchomym złożem + jednostopniowy osad czynny	100% masa termomechaniczna; trochę masy chemicznej, wypełniacze i pigmenty; papier gazetowy (28%), papier gazetowy lepszej jakości (15%), papier powlekany o niskiej gramaturze (57%); usuwanie ChZT: 91%
<b>Zakłady chemotermomechaniczne (w przypadku zintegrowanej produkcji indywidualny ładunek emisji dotyczy wyłącznie produkowanej masy)</b>									
Rottneros AB, Rockhammars Bruk (szwedzkie statystyki)	12 (b.d.)	b.d.	0,5 (b.d.)	b.d.	182 (b.d.)	2 (b.d.)	15	b.d. (masa chemotermomech. do sprzedaży na rynek)	b.d.
Waggeryd Cell AB (szwedzkie statystyki 2007)	13 (b.d.)	b.d.	0,9 (b.d.)	b.d.	117 (b.d.)	8 (b.d.)	9	b.d. (masa chemotermomech. do sprzedaży na rynek)	b.d.
Stora Enso, Fors Bruk (szwedzkie statystyki 2007)	15 (b.d.)	b.d.	0,9 (b.d.)	0,001 (b.d.)	133 (b.d.)	8 (b.d.)	27	b.d. (zintegrowana produkcja)	b.d.

Uwaga: b.d. = brak danych

Źródła: [ 244, Pulp and Paper TWG 2007 ], [ 248, Hamm 2007 ], [ 138, PP TWG 2009 ], [ TWG comments 2010 ], [ Statistical data Swedish EPA 2008 ].

Produkcja papieru na czasopisma na podstawie masy termomechanicznej intensywnie bielonej nadtlenkiem, o niskim stopniu domieszki masy celulozowej siarczanowej (np. w niektórych zakładach papierniczych produkujących papier powlekany o niskiej gramaturze) ma w przypadku masy termomechanicznej wpływ na ostateczne emisje substancji organicznych (mierzone jako ChZT). Wzrost zapotrzebowania na rynku na papier o wysokim poziomie jasności i nowe ulepszone produkty papiernicze będzie generować większy ładunek ChZT bazujący na ligninie, odprowadzany do oczyszczalni ścieków. Pomimo wysokiej wydajności oczyszczalni ścieków ładunek ChZT po oczyszczaniu może w niektórych przypadkach osiągnąć 5-6 kg/t. W przypadku wysoce bielonej masy mechanicznej (70-100% z włókien w końcowym papierze) poziomy ChZT mogą dochodzić nawet do 8 kg/t.

### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Na biologiczne oczyszczanie tlenowe zużywa się energię (np. na potrzeby napowietrzaczy i pomp), a z procesu tego powstaje osad, który normalnie przed wykorzystaniem lub utylizacją wymaga oczyszczenia.

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Proces ten można stosować zarówno w nowych, jak i istniejących mechanicznych zakładach celulozowych (i papierniczych).

Tlenowe oczyszczalnie ścieków stosowane jest od wielu lat we wszystkich typach celulozowniach i papierniach mechanicznych, osiągających dzięki temu dobre wyniki.

### **Aspekty ekonomiczne**

W zintegrowanej celulozowni mechanicznej inwestycje wymagane na zupełnie nową instalację do oczyszczania metodą osadu czynnego wynoszą około 10-12 mln EUR. W kosztach tych uwzględniono także niezbędne oczyszczenia wstępne i transport osadu. Powstałe koszty operacyjne kształtują się na poziomie 0,9-1,2 mln EUR rocznie.

W istniejących zakładach działania mające na celu ograniczenie przepływu wody najlepiej przeprowadzać przed budową nowej oczyszczalni ścieków, tak by ograniczyć koszty inwestycyjne.

### **Motywacja do wdrożenia techniki**

Proces osadu czynnego najlepiej stosować w sytuacji, gdy potrzebne jest oczyszczenie o wysokiej lub bardzo wysokiej wydajności.

### **Instalacje referencyjne**

Liczne zakłady na całym świecie w przypadku wszystkich rodzajów ścieków

### **Bibliografia**

[ 1, Finnish BAT Report 1997 ], [ 14, CEPI 1997 ], [ 131, SEPA report 1997 ].

## 5.4 Nowe techniki

### 5.4.1 Nowe energooszczędne procesy termomechaniczne

#### Opis

Ponieważ istnieje silna korelacja między zużywaną energią a jakością uzyskiwanej masy celulozowej, ograniczenie zużycia energii w produkcji masy termomechanicznej zawsze pociąga za sobą jakąś stratę w jakości masy celulozowej, na przykład w odniesieniu do długości włókien, rozdarć czy też wytrzymałości na rozciąganie. Dlatego też przy porównywaniu koncepcji konstrukcji o niskim poziomie zużycia energii nie da się określić optymalnego procesu termomechanicznego pod względem oszczędności energii bez jednoczesnego określenia wymagań jakościowych.

Główne czynniki mające wpływ na zużycie energii podczas produkcji masy termomechanicznej to sposób oddziaływania sił w ramach rozwłókniania drewna i włókien oraz sposób reagowania na te siły ze strony drewna i włókien. W energooszczędnych procesach termomechanicznych wykorzystuje się wyższą intensywność rafinacji, wstępną obróbkę zrębków, trzeci etap rafinacji dodatkowej, rafinację o niskim stężeniu, nowe wzory tarcz i zoptymalizowane warunki technologiczne. Niektóre przykłady energooszczędnych zastosowań w roztwarzaniu termomechanicznym podano poniżej:

#### *a) rafinacja termomechaniczna o wysokiej prędkości i wysokiej intensywności*

Przykładowo można tu wymienić rafiner o krótkim czasie retencji, który zazwyczaj pracuje przy prędkości do 2 300 obrotów na minutę (rpm) i przy nadciśnieniu na poziomie 5,5 bar. Pierwsza taka instalacja powstała w 1996 r. w zakładzie Perlen Papier AG w Szwajcarii. Możliwe są tu konkretne oszczędności energii rzędu 15%, przy jednoczesnym zachowaniu akceptowalnej jakości masy. Inne przykłady to Norske Skog Walsum (DE), Norske Skog Golbey (FR), Holmen Halstavik (SE), Iggesund Paperboard, UK), UPM-Kymmene Stracel (FR) i Norske Skog Follum (NO).

#### *b) Obróbka wstępna zrębków*

Firma Andritz opracowała metodę wstępnej obróbki za pomocą urządzenia RT Pressafiner, umożliwiającego oczyszczanie zrębków przed rafinacją na linii głównej. Na przykład w procesie termomechanicznym przy użyciu RT zrębki wpierv są macerowane w ciśnieniowej prasie RT Pressafiner, a następnie trafiają na linię główną rafinerów. Oczyszczanie za pomocą RT stosuje się na przykład w Holmen Braviken, SE, przed jednostopniową rafinacją za pomocą rafinerów z podwójnymi tarczami, natomiast w Ameryce Północnej w połączeniu z dwóch rafinerów z jedną tarczą o krótkim czasie retencji. Obniżenie zużycia energii wynosi 10%, czyli 100-180 kWh/t. Zakłady termomechaniczne używające tego rodzaju wstępnej obróbki zrębków są w stanie ograniczyć ładunek ścieków poprzez wprowadzenie etapu płukania (przenośnik ślimakowy) przed rafinacją i bieleniem, dzięki czemu w masie celulozowej o około 30% obniża się ładunek ChZT i zawartość ekstraktu (mierzonego jako chlorek metylenu). Odcięk z prasy o małej objętości, lecz bardzo wysokim stężeniu można poddać specjalnej obróbce ścieków.

#### Stan aktualny

Prawie wszystkie zainstalowane nowe linie termomechaniczne to konstrukcje niskoenergetyczne. W niektórych zakładach w Szwecji i w Norwegii stosuje się rafinację za pomocą rafinerów z podwójnymi tarczami. Rafinerie z podwójnymi tarczami zużywają o 300 kWh/t energii mniej niż normalne rafinerie z jedną tarczą, ale zmieniają się również właściwości masy celulozowej (nieprzezroczystość, wytrzymałość).

#### Oddziaływanie na środowisko

Doświadczenie płynące z zastosowania techniki rafinacji na pełną skalę przy wysokiej intensywności (prędkości) i wysokiej temperaturze wskazuje na fakt, iż w porównaniu do konwencjonalnych procesów termomechanicznych (np. w procesie o krótkim czasie retencji) możliwe są oszczędności energii rzędu 15%, o ile wymagania względem produktu pozwalają na inną jakość włókna. W przypadku innego energooszczędnego procesu termomechanicznego

odnotowano oszczędności energii na poziomie 10-20% (np. w procesie termomasy), nie przekraczając przy tym określonego poziomu jakości.

### Aspekty ekonomiczne

Brak danych. Oszczędności energii należy zrównoważyć w odniesieniu do kosztów inwestycyjnych. Można oczekiwać, że ze względu na pozostały jeszcze okres eksploatacji obecnego sprzętu i instalacji nowa technologia będzie wdrażana stopniowo.

### Bibliografia

Papermaking Science and Technology, Book 5, Mechanical Pulping, 2009, Red. Bruno Lönnberg, rozdział 7, Thermomechanical Pulping, str. 214-221, Paperi ja Puu Oy.

*W odniesieniu do obróbki wstępnej zrębków*

'Review: reduction of energy consumption in refining through mechanical pretreatment of wood chips', Gorski, D., Engstrand, P., Hill, J., Johansson, L., International Mechanical Pulping Conference, Sundsvall (2009).

## 5.4.2 Nowe energooszczędne procesy chemotermomechaniczne

### Opis

Również w przypadku roztwarzania chemotermomechanicznego główne prace badawcze koncentrują się na ograniczaniu energii zużywanej podczas rafinacji. Do produkcji konwencjonalnej masy chemotermomechanicznej z osiki przy odwadnialności na poziomie 250 ml CSF nadal potrzeba 1 350-1 500 kWh/t powietrznie suchej masy. Zastosowanie żrących substancji przed rafinerem wstępnym powoduje spadek zużywanej na potrzeby rafinacji energii i poprawia właściwości wytrzymałościowe.

W odróżnieniu od konwencjonalnego procesu chemotermomechanicznego w procesie P-RC APMP (łagodne wstępne kondycjonowanie zrębków, chemiczne, alkaliczne roztwarzanie mechaniczne rafinerami przy użyciu nadtlenu) przed rafinacją wykorzystuje się alkaliczne roztwory nadtlenu, co pozwala na zastosowanie przed rafinacją większego wsadu alkaliów, w wyniku czego maleje zużycie energii wykorzystywanej do rafinacji nawet do 1 050-1 200 kWh/t powietrznie suchej masy przy jednoczesnym zachowaniu takiego samego poziomu odwadnialności (chudości). Poza tym wysoka wydajność wstępnej obróbki zrębków zapewnia dobrze zaimpregnowane i elastyczne włókna, które na drugim etapie i na etapie rafinacji odrzutów można za pomocą rafinerów o niskim stężeniu rozwłóknić do wymaganego poziomu chudości, dzięki czemu zużycie energii spada o kolejne 100-150 kWh/t powietrznie suchej masy przy jednoczesnym zachowaniu właściwości wytrzymałościowych.

### Stan aktualny

W większości najnowszych instalacji do produkcji bielonej masy chemotermomechanicznej z drewna drzew liściastych stosuje się technologię P-RC APMP, który wykazuje duże możliwości w zakresie oszczędności energii. Poza tym w zakładach przemysłowych na drugim etapie i podczas etapu rafinacji odrzutów wdrożono rafinację o niskim stopniu stężenia i osiągnięto oczekiwane rezultaty.

### Bibliografia

Enhancing fibre development at reduced energy consumption using TMP subprocesses and targeted chemical application – pilot and commercial scale results, Jan Hill, Marc Sabourin, Lars Johansson, Johann Aichinger – opublikowane w IMPC 2009.

Minimizing TMP Energy Consumption using a Combination of Chip Pretreatment, RTS and Multiple Stage Low Consistency Refining, Marc Sabourin IMPC 2007.

## 5.4.3 Zastosowanie enzymów podczas rafinacji termomechanicznej

### Opis

Dodanie enzymów (np. celulazy) do zrębków pomiędzy pierwszym a wtórnym rafinerem może

---

doprowadzić do hydrolizy hemicelulozy i poprawić poziom chudości włókien celulozowych. Umożliwiłyby to skrócenie czasu potrzebnego na obróbkę w rafinerze wtórnym.

### **Stan aktualny**

Do tej pory technika ta została przetestowana w kilku badaniach laboratoryjnych i na skalę półprzemysłową. Poza tym przeprowadzono też badania krótkoterminowe (1-2 tygodnie), a odbyły się one na linii termomechanicznej w zakładzie UPM-Kymmene/Rauma.

### **Oddziaływanie na środowisko**

Główną korzyścią dla środowiska w wyniku zastosowania tej techniki byłoby ograniczenie zużycia energii elektrycznej w drugim rafinerze dzięki krótszemu czasowi rafinacji. Przeprowadzone do tej pory badania wskazują, że w rafinerach na odrzuty możliwe są oszczędności energii na poziomie nawet 10-15%.

W celu zapewnienia odpowiedniego czasu kontaktu (np. 2 godziny) między działaniem enzymu a zrębkowaniem konieczne by było zapewnienie instalacji, które gwarantują odpowiedni czas retencji, umożliwiające przepływ masy włóknistej między rafinerem wstępnym a rafinerem wtórnym.

### **Bibliografia**

[ 211, Technical University of Denmark and Novozymes 2007 ]

## 6 PRZERÓB MAKULATURY

Włókna wtórne stały się niezastąpionym surowcem dla przemysłu papierniczego, stanowiąc ponad 40 % wszystkich surowców. Wpłynęły na to niższa cena w porównaniu z odpowiadającymi im klasami masy rynkowej oraz promocja recyklingu makulatury w wielu europejskich państwach. Średni wskaźnik wykorzystania makulatury w Europie wynosi ok. 50 % (tj. stosunek udziału wykorzystania makulatury do całkowitej produkcji papieru). W celu zapewnienia wytrzymałości i innych właściwości wytwarzanego papieru konieczne jest dodanie pewnej ilości włókien pierwotnych, od czego zależy utrzymanie obiegu włókien.



## 6.1 Stosowane procesy i techniki

Linie do przerobu makulatury różnią się w zależności od klasy papieru oraz od stosowanego składu masy papierniczej. Procesy przerobu włókien wtórnych (RCF) można na ogół podzielić na dwie główne kategorie:

- procesy z zastosowaniem wyłącznie oczyszczania mechanicznego, tzn. bez odbarwiania, obejmujące produkcję takich wyrobów, jak: papier na warstwę płaską, papier na warstwę pofalowaną, niepowlekana tektura i karton;
- procesy z zastosowaniem oczyszczania mechanicznego i odbarwiania, obejmujące produkcję takich wyrobów, jak: papier gazetowy, bibułka higieniczna, papier do drukowania i kopiowania, papier do druku czasopism (papier SC/LWC), powlekana tektura i karton lub rynkowa odbarwiona masa makulaturowa.

Celem wszystkich tych linii jest rozwłóknianie, deflokulacja i oczyszczanie, tzn. skuteczne oddzielanie materiału włóknistego od zanieczyszczeń i substancji skażających. Instalacje do przerobu makulatury składają się z podobnych „bloków”, przeznaczonych do określonych celów. Typowe etapy przerobu makulatury opisano poniżej.

### 6.1.1 Sortowanie, obróbka i składowanie makulatury

#### Źródła i rodzaje makulatury

Papier pozyskuje się głównie z trzech źródeł: (i) ścinek z procesów przerobu i innych rodzajów makulatury ze źródeł przemysłowych; (ii) opakowań ze źródeł komercyjnych, takich jak supermarkety, domy handlowe, zakłady przemysłowe, bądź zadrukowanego papieru (niesprzedane czasopisma i gazety oraz papier do drukowania z biur publicznych i prywatnych); (iii) papieru z gospodarstw domowych i małych przedsiębiorstw.

Zbiórkę zużytego papieru i tektury do recyklingu przeprowadzają organizacje miejskie lub prywatne, które w większości przypadków dostarczają ten surowiec do punktów skupu. W punktach skupu papier sortuje się na klasy. Mogą one działać niezależnie lub znajdować się w bezpośrednim sąsiedztwie papierni. Elementy niepapierowe, takie jak tworzywa sztuczne, a także papier i tektura, które mogą zakłócić proces produkcji, m.in. papier odporny na działanie wody, są usuwane w miarę możliwości przed dostarczeniem do papierni.

W celu ułatwienia handlu papierem i skutecznego zorganizowania jego zbiórki, sortowania i wykorzystania jako surowca do produkcji papieru Konfederacja Europejskiego Przemysłu Papierniczego opublikowała w 2000 r. wykaz standardowych klas, pn. „Europejski wykaz standardowych klas papieru odzyskanego i tektury odzyskanej”, który przybrał następnie formę Normy Europejskiej [28, Europejski Komitet Normalizacyjny 643, 2001 r.]. W wykazie tym znajduje się ogólny opis 57 standardowych klas papieru do recyklingu, z wyszczególnieniem jaki – pod względem jakościowym – rodzaj papieru do nich na ogół należy lub jaki rodzaj papieru do nich nie należy, jak również określono minimalny poziom dozwolonych zanieczyszczeń.

#### System identyfikacji makulatury

W 2008 r. Konfederacja Europejskiego Przemysłu Papierniczego wprowadziła Europejski System Identyfikacji Papieru Odzyskanego, którego celem jest zademonstrowanie i poprawa możliwości identyfikacji makulatury w całym łańcuchu dostaw. Wielu dostawców makulatury zarejestrowało się na stronie internetowej Europejskiego Systemu Identyfikacji Papieru Odzyskanego i uzyskało unikalny kod identyfikacyjny dla swoich przedsiębiorstw i papieru dostarczanego do składów makulatury. Kod dostawcy umożliwia identyfikację dostawcy makulatury, który z kolei zna poprzedniego dostawcę i tak dalej. Możliwa jest więc identyfikacja makulatury na każdym etapie, tzn. od źródła, z którego makulatura pochodzi, do etapu rozwłókniania w papierni.

### **Składowanie i sortowanie makulatury na miejscu**

Makulatura jest zazwyczaj dostarczana do papierni w postaci rol związanych drutem lub taśmą z metalu lub tworzywa sztucznego, albo dociera luzem. Role są rozpakowywane poprzez przecięcie drutu lub taśmy. Drut i taśma są gromadzone i sprzedawane odpowiednio jako odpady metalowe lub odzyskane tworzywo sztuczne. Do wielu zakładów makulatura dociera także luzem w dużych kontenerach lub na wywrotkach. Makulatura jest przechowywana w składach makulatury lub w budynkach zintegrowanych z papiernią.

Jeśli makulatura jest dostarczana do papierni luzem, w zakładzie można przeprowadzić sortowanie ręczne. Oprócz przenośnika pochyłego, taśmy sortowniczej o regulowanej prędkości pracy, która jest na ogół montowana na wyższym poziomie, żadne inne pomocnicze urządzenia mechaniczne nie są potrzebne. Przy taśmie sortowniczej pracuje kilka osób, których zadaniem jest ręczne usuwanie materiałów, które nie nadają się do wykorzystania, tzn. odpadów. Odpady te zawierają elementy niepapierowe, takie jak drewno, metal, szkło, tworzywo sztuczne, jak również produkty papierowe i tekturowe, które mogą zakłócić proces produkcji. Pracownicy wrzucają je do przeznaczonych do tego kontenerów, które znajdują się pod taśmą sortowniczą. Za ich dalsze wykorzystanie i usunięcie odpowiada operator papierni.

Usprawnienie zbiórki i sortowania makulatury doprowadzi do poprawy jej jakości. Pozwoli to na ograniczenie zużycia energii elektrycznej, wody i materiałów pomocniczych, a także zmniejszenie wytwarzania odpadów podczas przetwarzania makulatury.

## **6.1.2 Główne procesy**

### **Rozwłóknianie suchej makulatury**

Makulatura jest doprowadzana do rozwłóknacza razem z gorącą wodą, wodą podsitową lub wodą obiegową i w wyniku mieszania mechanicznego i hydraulicznego ulega rozdzieleniu na włókna. Po rozwłóknieniu stężenie zawiesiny jest odpowiednie do prowadzenia dalszej obróbki. W przypadku procesów z zastosowaniem odbarwiania, takich jak te, które przeprowadza się w odniesieniu do papieru gazetowego, bibułki higienicznej, papieru do drukowania i kopiowania, papieru do druku czasopism, rynkowej odbarwionej masy makulaturowej, dodaje się określone substancje chemiczne, jak np. NaOH, jako środki rozwłókniające. Oddzielanie farby drukowej rozpoczyna się na ogół już na etapie rozwłókniania. Dla różnych rodzajów surowców i produktów dostępne są różne rozwiązania techniczne. Istnieją trzy typy rozwłóknaczy: niskostężeniowe (LC: 4 – 6 % masy suchej), wysokostężeniowe (HC: 15 – 20 % masy suchej) i bębnowe. Mogą one pracować w trybie okresowym lub ciągłym. Zanieczyszczenia i pęczki można oddzielać w trybie ciągłym z zastosowaniem osadnika zanieczyszczeń (np. płyty sitowej, instalacji do usuwania odpadów z rozwłóknacza) i odprowadzane do przenośnika odrzutów. Celem jest uniknięcie ich rozdrobnienia na mniejsze cząstki lub nagromadzenia w rozwłókniaczu. Coraz częściej stosuje się rozwłókniacze wtórne w celu dalszego rozwłóknienia, deflokulacji oraz usunięcia zanieczyszczeń ciężkich (HW) i lekkich (LW). Urządzenia te sprzedawane są pod różnymi nazwami, jednak działają podobnie. Po etapie rozwłókniania w rozwłókniaczach bębnowych, które należą do najczęściej wykorzystywanych rozwłóknaczy, następuje sortowanie w bębnie sortującym, będące pierwszym etapem oczyszczania.

Do rozwłókniania używa się zwykle wody obiegowej doprowadzanej z maszyny papierniczej (będącej zazwyczaj wodą podsitową), z obiegu w układzie przygotowania masy lub odbarwiania.

### **Mechaniczne usuwanie zanieczyszczeń**

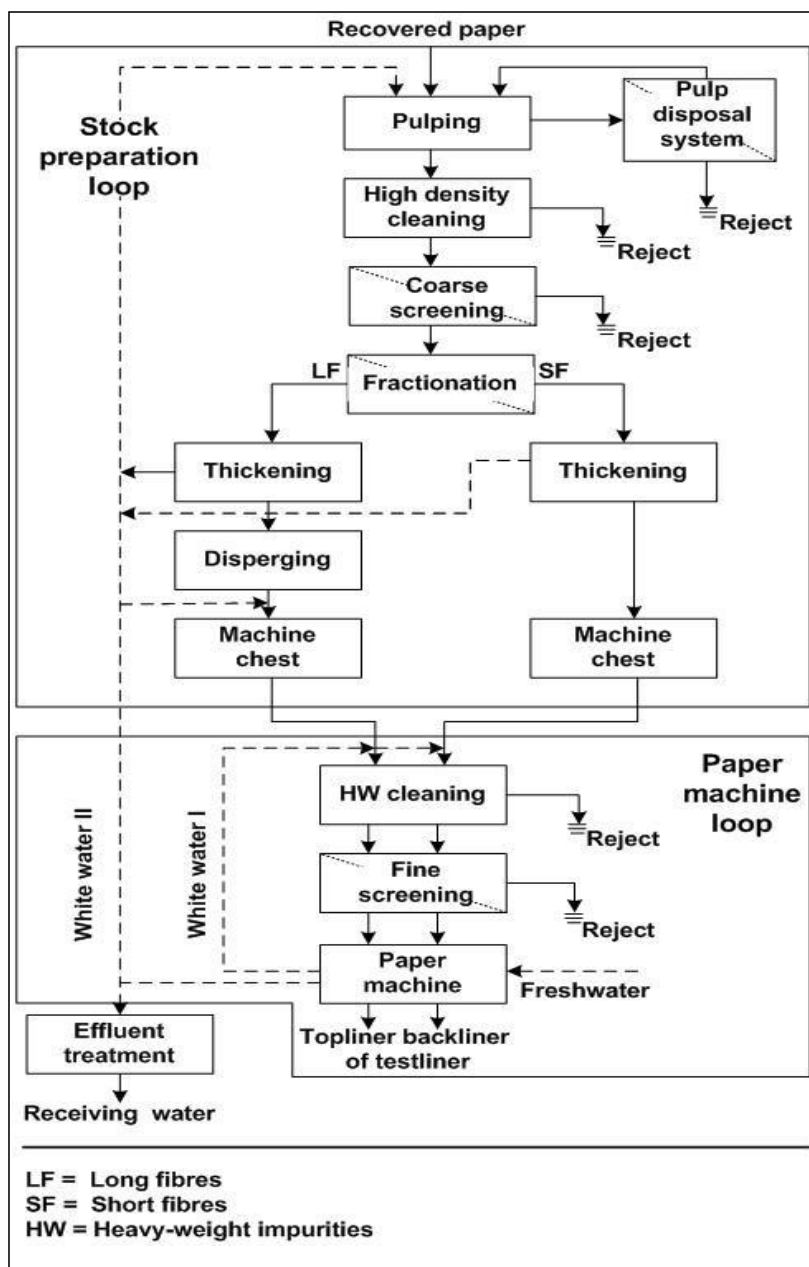
Zanieczyszczenia mechaniczne są usuwane na zasadzie różnic właściwości fizycznych między włóknami a zanieczyszczeniami, takich jak wielkość i ciężar właściwy zanieczyszczeń w porównaniu z włóknami i wodą. Zasadniczo stosuje się wyposażenie typu sitowego o różnych wymiarach otworów sita (okrągłych lub szczelinowych) oraz różnorodne typy hydrocyklonów (sortowniki wysokostężeniowe, odśrodkowe itp.).

Częściowo oczyszczona zawiesina masy jest pompowana z rozwłóknacza do hydrocyklonów (wysokostężeniowych), w których siła odśrodkowa powoduje oddzielenie mniejszych cząstek zanieczyszczeń ciężkich. Odrzuty z hydrocyklonów, a także z rozwłóknacza (o dużej zawartości składników nieorganicznych) muszą być na ogół składowane na wysypiskach. Odrzuty zarówno z instalacji do usuwania odpadów z rozwłóknacza, jak i z rozwłóknacza są często poddawane rozdrabnianiu przed odseparowaniem metali. Materiał organiczny jest często spalany w spalarni, aby wykorzystać wartość opałową odrzutów.

Następnym etapem procesu jest usuwanie zanieczyszczeń, które są większe niż otwory płyt perforowanych sortowników ciśnieniowych. Wybór rodzaju sortownika zależy od końcowego produktu i jakości stosowanej zawiesiny włóknistej. Sortowanie zgrubne (przy stężeniu 3 – 4 %), mające na celu usunięcie dużych zanieczyszczeń podczas przygotowania masy, może różnić się od sortowania drobnego w układzie doprowadzenia masy do wlewu maszyny papierniczej (stężenie 1 %). Zastosowane urządzenia działają na podobnej zasadzie, różnią się jednak tym, że w optymalnych warunkach pracy oddzielane są cząstki o różnej wielkości. Zasadniczo skuteczniejsze jest sortowanie przy niższym stężeniu zawiesiny, lecz wymaga ono bardziej rozbudowanych instalacji i większego zużycia energii. Odrzuty muszą zostać usunięte lub spalone.

W zależności od jakości zawiesiny, jaka ma być uzyskana, ciąg przygotowania masy makulaturowej musi być wyposażony w dodatkowe urządzenia, takie jak: frakcjonatory, dyspergatory lub młyny. Frakcjonator rozdziela masę na dwie frakcje, pozwalając na obróbkę włókien krótkich i długich zawiesiny masy w inny sposób. Energochłonne procesy dyspergowania mogą być stosowane w celu rozproszenia drobnych zanieczyszczeń oraz zmniejszenia wielkości widzialnych drobnych zanieczyszczeń. Mogą one również nieco poprawić wiązania włókno-włókno (lepsze właściwości wytrzymałościowe) w wytwarzanym papierze. W celu poprawienia właściwości optycznych i wytrzymałościowych papieru ciąg przygotowania masy makulaturowej może być także wyposażony w młyny. Mielenie wiąże się ze znacznym zapotrzebowaniem na energię.

Przykładowy schemat procesów przerobu makulatury do produkcji papieru na tekturę falistą (w tym przypadku papieru na warstwy płaskie), który obejmuje oczyszczanie mechaniczne, przedstawiono na ryc. 6.1. Należy podkreślić, że z reguły każda instalacja jest indywidualnie wyposażona w urządzenia jednego lub kilku dostawców w zależności od klas stosowanej makulatury, wymagań w stosunku do jakości produktu końcowego, warunków pracy maszyny papierniczej oraz lokalnych przepisów ochrony środowiska.



Rysunek 6. 1 Schemat przykładowej instalacji do przerobu makulatury i przygotowania masy do produkcji papieru na tekturę falistą (dwuwarstwowy papier na warstwy płaskie)

Recovered paper	Makulatura
Stock preparation loop	Obieg w układzie przygotowania masy
Pulping	Rozwłóknianie
Pulp disposal system	Układ usuwania odpadów z rozwłókniacza
Reject	Odrzuty
High density cleaning	Oczyszczanie wysokostężeniowe
Coarse screening	Sortowanie zgrubne
Fractionation	Frakcjonowanie
LF	Fracja długowłóknista
SF	Fracja krótkowłóknista
Thickening	Zagęszczanie
Disperging	Dyspergowanie

Machine chest	Kadź maszynowa
HW cleaning	Usuwanie zanieczyszczeń ciężkich
Paper machine loop	Obieg maszyny papierniczej
White water II	Woda podsitowa II
White water I	Woda podsitowa I
Fine screening	Sortowanie drobne
Paper machine	Maszyna papiernicza
Freshwater	Świeża woda
Topliner/backliner of testliner	Wierzch/spód papieru na warstwy płaskie
Effluent treatment	Oczyszczanie ścieków
Receiving water	Odbiornik wody
LF = Long fibres	LF = Frakcja długowłóknista
SF = Short fibres	SF = Frakcja krótkowłóknista
HW = Heavy-weight impurities	HW = zanieczyszczenia ciężkie

Makulatura stanowi surowiec do wytwarzania papieru na warstwy płaskie i pofalowane tektury falistej w ok. 150 zakładach w Europie. Pod względem tonażu jest to najważniejszy rynek tektury w Europie (materiały opakowaniowe stanowią 26 % całkowitej produkcji papieru i tektury przy średnim europejskim wykorzystaniu masy pochodzącej z recyklingu na poziomie 86 %).

#### **Procesy z zastosowaniem odbarwiania na drodze flotacji (opcjonalnie)**

Usuwanie farby drukowej jest konieczne w przypadku zakładów wytwarzających papier o klasach, dla których jasność jest ważnym parametrem, np. papier gazetowy, papier do drukowania i do pisania, bibułka higieniczna lub wierzchnia warstwa makulaturowej tektury pudełkowej. Głównym celem odbarwiania jest zwiększenie jasności i czystości masy, a także obniżenie zawartości zanieczyszczeń lepkich. Należy zwrócić uwagę na to, że różnica między masą odbarwioną a nieodbarwioną polega na procesie jej otrzymania, a nie na samym produkcie. Ponadto w kilku papierniach wytwarzających karton biały działa linia odbarwiania do produkcji warstwy białej.

Kompletna instalacja do odbarwiania makulatury obejmuje także wspomniane wyżej podstawowe operacje jednostkowe, rozwłóknianie, sortowanie i oczyszczanie w celu usunięcia dużych zanieczyszczeń (zanieczyszczenia niepapierowe, takie jak: kamyki, piasek, cząstki metali, sznurki, szkło, tekstylia, drewno, folie z tworzyw sztucznych i zszywki). Poza oczyszczaniem mechanicznym zawiesiny przeprowadza się chemiczną obróbkę wstępną w rozwłókniaczu i usuwanie farby drukowej w komorach flotacyjnych. Podstawowym warunkiem skutecznego usunięcia farby drukowej jest uwolnienie jej cząstek z włókien i utrzymywanie ich w stanie zdyspergowanym. W tym celu dodaje się NaOH i krzemian sodowy (w pewnych przypadkach, np. papieru biurowego lub bibułki higienicznej, można zrezygnować z dodawania NaOH). Mydła lub kwasy tłuszczowe zazwyczaj stosuje się jako środki powierzchniowo czynne, nadając cząstkom farby drukowej charakter hydrofobowy. W niektórych przypadkach dodaje się także nadtlenek wodoru oraz środki chelatujące na etapie rozwłókniania (zwykle nie ma potrzeby dodawania środków chelatujących w procesie bielienia masy makulaturowej). Zdyspergowane cząstki farby drukowej są następnie oddzielane od zawiesiny włókien za pomocą (wieloetapowych) technik flotacji. Zasady odbarwiania metodą flotacji są następujące: do zawiesiny masy wprowadzane jest powietrze w postaci drobnych pęcherzyków; cząstki farby drukowej gromadzą się na powierzchni pęcherzyków powietrza dzięki ładunkowi powierzchniowemu; piana zawierająca farbę drukową jest zgarniana z powierzchni. W zależności od wielkości i konstrukcji komory flotacyjnej, w celu uzyskania odpowiedniego czasu przebywania zawiesiny umożliwiającego usunięcie farby, instalacja może obejmować kilka komór połączonych w serię. Aby zmniejszyć straty włókien zgarnianych ze szlamem, piana z pierwotnych komór jest często poddawana obróbce w komorach wtórnych w układzie kaskadowym. Piana zawierająca farbę oraz odrzuty jest odwadniana oddzielnie w wirówkach, po czym następuje odwadnianie w prasach sitowych i ślimakowych do uzyskania zawartości masy suchej na poziomie do 60 %. Osad z odbarwiania jest spalany lub przygotowany do odzyskania przy wykorzystaniu innych technik.

Po odbarwieniu masa jest zagęszczana i w niektórych przypadkach myta z zastosowaniem pras sitowych, zagęszczarek (tarczowych), pras ślimakowych i filtrów myjących. Po tych etapach oczyszczania masa może jeszcze zawierać niewielkie pozostałości zanieczyszczeń, takie jak: pozostałości cząstek farby drukowej, wosk oraz zanieczyszczenia lepkie, które pochodzą, np. z klejów przylepcowych (PSA). Zanieczyszczenia te mogą być zdyspergowane w dyspergatorach do takiego stopnia, że ich cząstki są niewidoczne gołym okiem. Przed dyspergowaniem zawartość masy suchej musi być zwiększona z ok. 5 – 12 % do 25 – 30 %, ponieważ proces dyspergowania wymaga występowania silnego tarcia i wysokiej temperatury. Dyspergatory są urządzeniami podobnymi do młynów opisanych w pkt 4.1.2. Po procesie dyspergowania zawiesina jest ponownie rozcieńczana.

Kolejność operacji może być różna w zależności od zakładu, a niektóre z etapów mogą być powtarzane.

Przykładową instalację obejmującą flotację do przygotowania masy makulaturowej do produkcji papieru gazetowego przedstawiono na ryc. 6.3.

### **Procesy z odbarwianiem metodą mycia i usuwaniem popiołu (opcjonalnie)**

Odbarwianie metodą flotacji jest efektywne w przypadku usuwania cząstek o wielkości od 5 do 100  $\mu\text{m}$ . Cząstki farby drukowej, które są mniejsze niż optymalny zakres dla odbarwiania metodą flotacji, mogą być usunięte metodą mycia, która w zasadzie polega na wieloetapowym odwadnianiu. Podczas mycia, oprócz cząstek farby drukowej, usuwane są wypełniacze i cząstki drobne. Papier powlekany charakteryzuje się bardzo dużą wrażliwością na zawartość zanieczyszczeń w niepowlekanym papierze podłożowym i w związku z tym do ich produkcji wymagana jest szczególnie dobrze oczyszczona masa makulaturowa. Dlatego też nowoczesna instalacja do przygotowania masy na papier LWC obejmuje dwa etapy flotacji oraz może również obejmować etap odbarwiania metodą mycia.

Jeżeli wymagane jest usunięcie popiołu, jak w przypadku bibułki higienicznej lub rynkowej odbarwionej masy makulaturowej do produkcji bibułki higienicznej z makulatury, instalacja musi zawierać etap mycia. Etap ten przedstawiono na ryc. 6.4.

### **Bielenie (opcjonalnie)**

Przed wprowadzeniem do kadzi magazynowej masa jest często poddawana bieleniu z zastosowaniem środków chemicznych do bielenia. Najczęściej stosuje się nadtlenek (P), podsiarczyn sodowy (Y) lub kwas formamidynosulfonowy (FAS). Bielenie utleniające z użyciem nadtlenu wodoru można przeprowadzić już na etapie rozwłókniania. Środki chemiczne do bielenia dodawane są zazwyczaj bezpośrednio do dyspergatora w celu utrzymania lub podwyższenia jasności masy. Sama reakcja przebiega w wieży bielącej zapewniającej wystarczający czas przebywania. Ewentualny wzrost jasności masy zależy od surowca oraz jej obróbki wstępnej. Bielenie nadtlakiem wodoru jest prowadzone w obecności NaOH, krzemianu sodowego i niekiedy środków chelatujących. W przypadku „prawie” bezdrzewnej wtórnej masy włóknistej można zastosować tak zwane niekonwencjonalne środki chemiczne do bielenia, tzn. tlen i ozon. Na koniec masa jest doprowadzana do kadzi magazynowych lub mieszadłowych. W celu zapewnienia ciągłości procesu kadzie służą jako zbiorniki buforowe między układem przygotowania masy a maszyną papierniczą. Do kadzi mieszadłowych dodawane są odpowiednie środki chemiczne oraz regulowane jest prawidłowe stężenie zawiesiny w celu zapewnienia właściwego formowania wstęgi w maszynie papierniczej.

### **Oczyszczanie wody obiegowej**

Woda pochodząca z etapów odwadniania może być klarowana w instalacji do mikroflotacji. Woda obiegowa jest ponownie używana w procesie. W instalacji do mikroflotacji uzyskuje się osad, który jest zagęszczany wraz innymi osadami, odzyskiwany do wykorzystania na inne sposoby lub spalany. W przypadku odbarwiania metodą mycia całkowite zużycie wody obniża się również w wyniku zwracania wody myjącej. W takim przypadku zawiesiny są z niej usuwane w osobnej komorze flotacyjnej.

### **Ostateczne oczyszczanie i odwadnianie**

Zanim silnie rozcieńczona zawiesina masy zostanie doprowadzona do wlewu maszyny papierniczej muszą zostać usunięte pozostałe w niej zanieczyszczenia. Do tego celu stosuje się różnego rodzaju sortowniki.

W celu uzyskania pożądanego stężenia zawiesiny oraz oddzielenia obiegów wodnych masa jest odwadniana/zagęszczana z zastosowaniem filtrów tarczowych lub pras sitowych i ślimakowych.

### **Obróbka odrzutów i osadów**

W procesie przerobu makulatury uzyskuje się różne ilości rozmaitego rodzaju odrzutów i osadów, które należy poddać obróbce. Przebiega ona w układzie do przerobu osadów i odrzutów. Do minimalizacji ilości odrzutów przyczynia się również maksymalizacja odzysku włókien.

### **6.1.3 Przykłady układów do przerobu makulatury**

Różne właściwości produktu wymagają różnej czystości i jasności masy makulaturowej. W związku z tym koncepcje procesu przerobu makulatury są uzależnione od tych właściwości. Na przykład w produkcji wielu klas tektur nie jest konieczne odbarwienie. Natomiast w przypadku produkcji cienkiego papieru produkowanego na szybkobieżnych maszynach lub, gdy wymagana jest wysoka jasność papieru, konieczny jest bardzo efektywny, wieloetapowy proces. Stopień złożoności całego procesu zależy od stosowanej zawiesiny oraz od klasy wytwarzanego papieru. W związku z tym opisywanie „jednego typowego” układu do przerobu makulatury mija się z celem.

Poniżej bardziej szczegółowo opisano główne układy stosowane do przerobu makulatury:

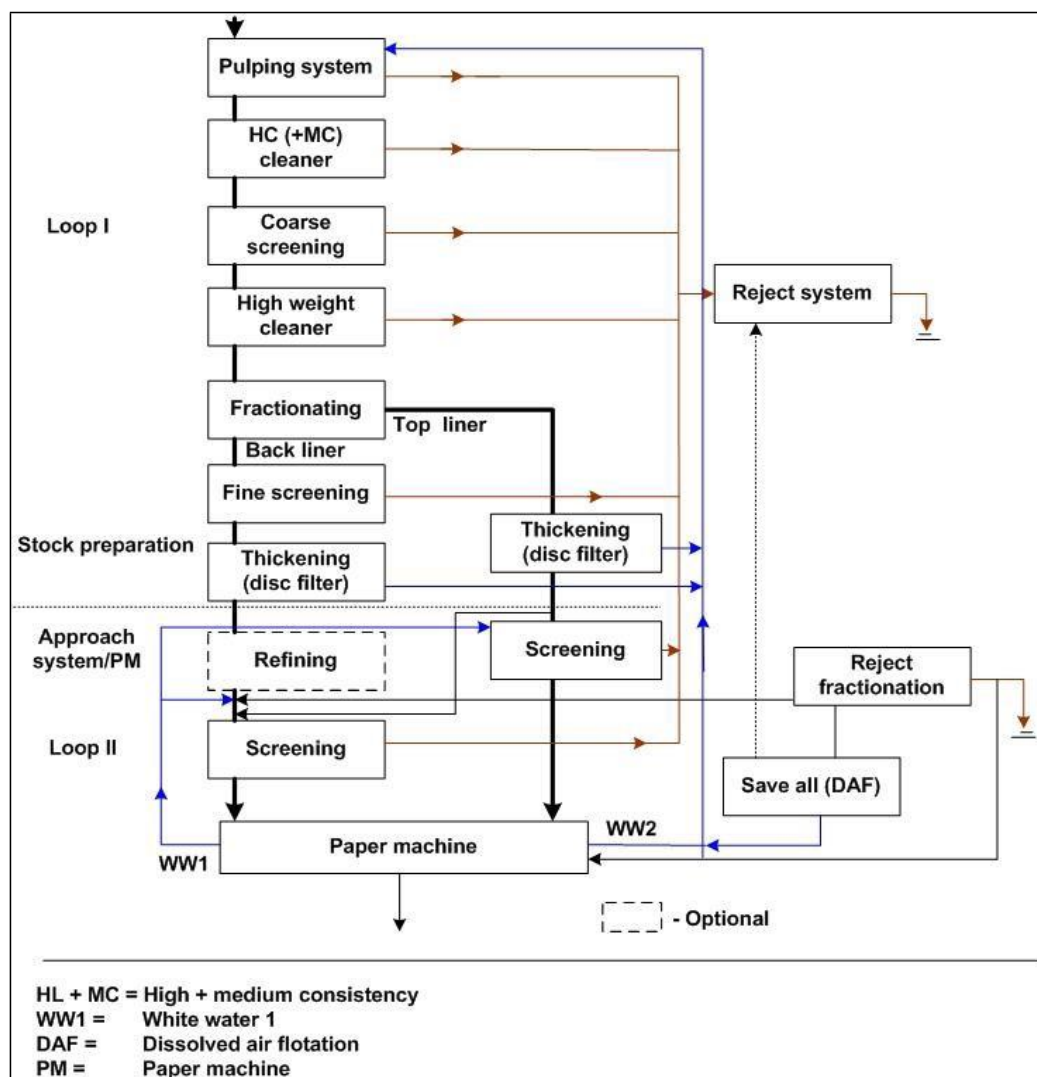
- przygotowanie masy makulaturowej do wytwarzania papieru i tektury opakowaniowej (papier na warstwy płaskie i pofalowane);
- przygotowanie masy makulaturowej do wytwarzania papieru gazetowego i zwykłej klasy papieru do drukowania i do pisania;
- przygotowanie masy makulaturowej do wytwarzania papieru LWC/SC i wysokiej klasy papieru do drukowania i do pisania;
- przygotowanie masy makulaturowej do wytwarzania bibułki higienicznej i rynkowej odbarwionej masy makulaturowej (DIP).

W związku ze stosowaniem różnych zawiesin układy przerobu makulatury mogą różnić się między sobą. Wynika to z innego oddziaływania na środowisko ścieków i odpadów z punktu widzenia zapotrzebowania na energię i świeżą wodę.

#### **6.1.3.1 Papier i tektura opakowaniowa**

W procesie wytwarzania papieru i tektury opakowaniowej, tj. papieru na warstwy płaskie i pofalowane tektury falistej, stosowane jest wyłącznie oczyszczanie mechaniczne, tzn. nie jest potrzebny proces odbarwienia. Zwykle do produkcji tych papierów stosuje się makulaturę z supermarketów oraz makulaturę mieszaną. Na ryc. 6.2 przedstawiono proces przygotowania włókien wtórnych papieru na warstwę płaską. Proces przygotowania masy papieru na warstwę płaską może obejmować bardziej skomplikowany układ składający się z dwóch obiegów (ryc. 6.2) lub tańszy, złożony tylko z jednego obiegu. Układ dwuobiegowy umożliwia łatwiejsze sterowanie procesem, czego wynikiem jest poprawa efektywności maszyny papierniczej. Opisywany układ obejmuje etap sortowania na doprowadzeniu masy i stanowi wyłącznie środek bezpieczeństwa (funkcja nadzoru). Podczas rozwłókniania oddzielane są duże zanieczyszczenia i wstępnie regulowana jest wielkość flokuł (kłaczków). Następujący po nim wieloetapowy układ oczyszczania i sortowania usuwa zanieczyszczenia ciężkie (np. piasek), płaskie składniki szkodliwe, zanieczyszczenia lepkie, drobne cząstki piasku i prowadzi do deflokulacji masy o dobrej jednorodności optycznej. Niektóre zakłady stosujące układy wytwarzania papieru na warstwę płaską i papieru flutingowego pracują z całkowicie zamkniętymi obiegami wodnymi. W innych zakładach zostały ponownie otwarte zamknięte obiegi wodne z powodu trudności w eksploatacji i problemów związanych z wyciekami. Zamknięte obiegi wodne pracują zadowalająco, z punktu widzenia dających się regulować warunków pracy instalacji i

dobrej jakości produktu, jeżeli ok. 3 – 4 m<sup>3</sup> wody obiegowej na tonę gotowej masy poddaje się oczyszczaniu w zintegrowanej oczyszczalni biologicznej (por. pkt 6.3.4 i 2.9.14).



Rysunek 6. 2 Przykład ogólnej koncepcji przygotowania masy papieru na warstwę płaską (układ dwuobiegowy)

Loop I	Obieg I
Pulping system	Układ rozwłókniania
HC (+MC) cleaner	Sortownik wysokostężeniowy (+ średniostężeniowy)
Coarse screening	Sortowanie zgrubne
High weight cleaner	Usuwanie zanieczyszczeń ciężkich
Reject system	Układ usuwania odrzutów
Fractionating	Fracjonowanie
Top liner	Warstwa górna
Back liner	Warstwa spodnia
Fine screening	Sortowanie drobne
Thickening (disc filter)	Zagęszczanie (filtr tarczowy)
Thickening (disc filter)	Zagęszczanie (filtr tarczowy)
Stock preparation	Przygotowanie masy
Approach system/PM	Układ doprowadzania masy do maszyny papierniczej
Refining	Mielenie



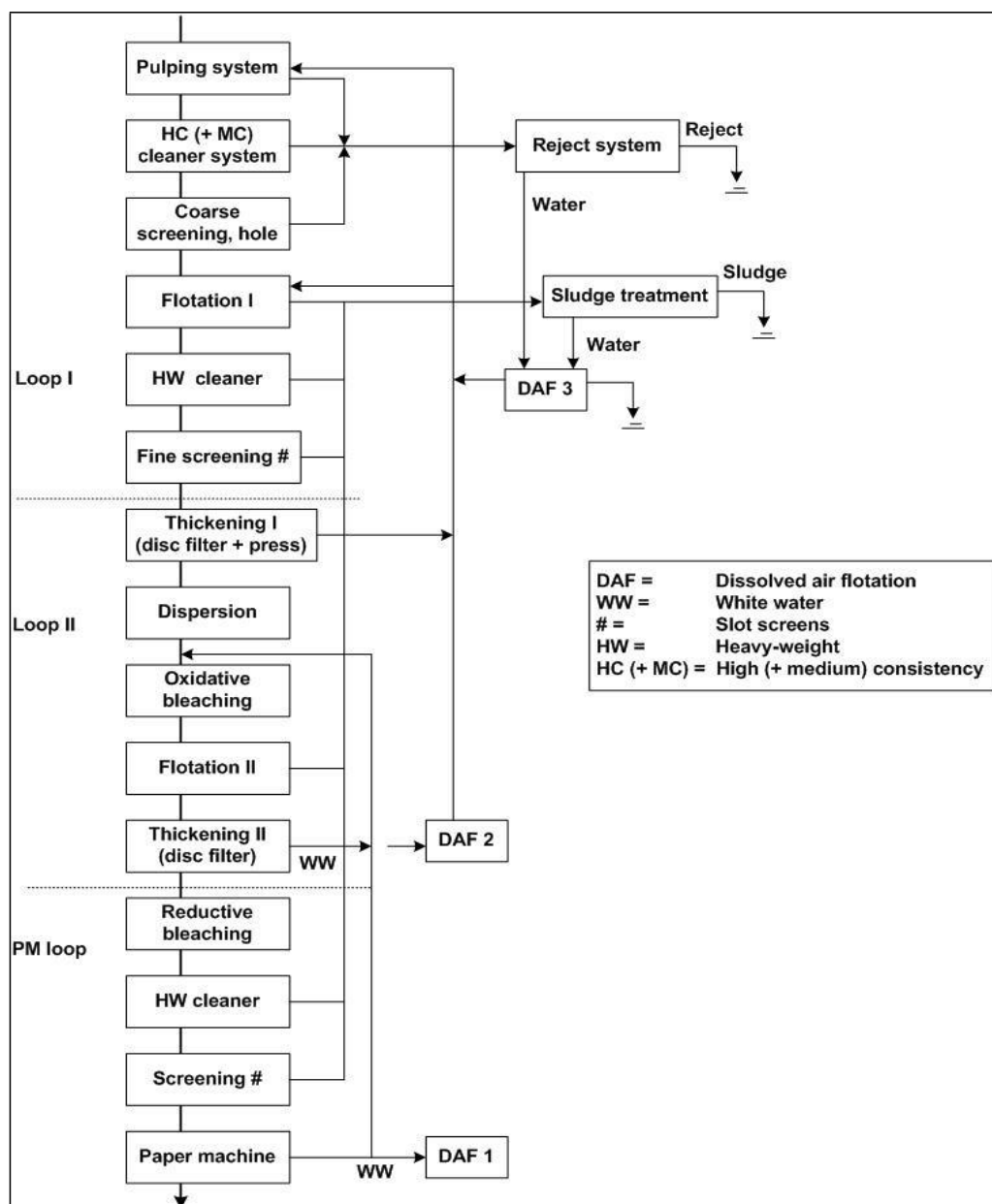
Screening	Sortowanie
Loop II	Obieg II
Paper machine	Maszyna papiernicza
WW1	Woda podsitowa 1
WW2	Woda podsitowa 2
Reject fractionation	Frakcjonowanie odrzutów
Save all (DAF)	Wylawianie włókien (flotacja drobnopęcherzykowa)
Optional	Opcjonalnie
HC + MC = High + medium consistency	HC + MC = Sortownik wysokostężeniowy + średniostężeniowy
WW1 = White water 1	WW1 = Woda podsitowa 1
DAF = Dissolved air flotation	DAF = Flotacja drobnopęcherzykowa
PM = Paper machine	PM = Maszyna papiernicza

Przygotowanie masy makulaturowej dla różnych klas papieru opakowaniowego przebiega podobnie. Produkcja wysokiej klasy tektury na pudełka składane wymaga zazwyczaj bardziej skomplikowanego wyposażenia niż produkcja papieru na warstwę płaską, która natomiast wymaga większych nakładów niż fluting.

### 6.1.3.2 Papier gazetowy oraz zwykłej klasy papier do drukowania i do pisania

Układ przedstawiony na ryc. 6.3 jest przykładem możliwego ustawienia na potrzeby produkcji masy na papier gazetowy. Stosowanym surowcem jest typowa odbarwiona masa składająca się z mieszaniny gazet i czasopism w stosunku 50:50. Stosunek starego papieru gazetowego (ONP) do starych czasopism (OMG) w makulaturze do odbarwienia może być jednak różny, w zależności od położenia geograficznego. Na przykład w Europie Środkowej stosunek OMG:ONP wynosi na ogół ~ 60:40, natomiast w Skandynawii i w Zjednoczonym Królestwie – 30:70 do 40:60.

Układ przedstawiony na ryc. 6.3 charakteryzuje się dwustopniową flotacją (flotacja wstępna w obiegu I i flotacja końcowa w obiegu II) oraz dwustopniowym bieleniem połączonym z międzystopniowym dyspergowaniem. Bielenie utleniające (nadtlenkiem wodoru) rozjaśnia masę włóknistą i ogranicza występowanie drobnych zanieczyszczeń na papierze. W przypadku produkcji ulepszonego papieru gazetowego, od którego wymaga się wyższej jasności, po etapie zagęszczania może następować etap bielenia redukującego z użyciem podsiarczynu oraz kwasu formamidynosufonowego. W przypadku stosowania masy makulaturowej do produkcji papieru graficznego, szczególnie ważna jest konstrukcja obiegu wodnego oraz układu oczyszczania wody. Istnieją również inne możliwości konfiguracji linii do produkcji papieru gazetowego. Na ryc. 6.3 przedstawiono tylko wewnętrzne obiegi wodne. W większości przypadków ścieki są usuwane wraz z osadami z odbarwiania z flotacji I i II, które są odwadniane na etapie oczyszczania osadów wraz z cząstkami stałymi z sortowników i z sortowania. Filtrat jest doprowadzany do oczyszczalni biologicznej, której nie przedstawiono na ryc. 6.3.



Rysunek 6. 3 Przykładowa koncepcja ogólna układu przy produkcji (ulepszono) papieru gazetowego, papieru SC lub LWC

Pulping system	Układ rozwłókniania
Reject system	Układ usuwania odrzutów
Reject	Odrzuty
HC (+ MC) cleaner system	Sortowanie wysokostężeniowe (+ średniostężeniowe)
Coarse screening, hole	Sortowanie zgrubne, okrągłe otwory sita
Water	Woda
Sludge treatment	Obróbka osadów
Sludge	Osady
Water	Woda
DAF 3	Flotacja drobnopęcherzykowa 3
Flotation I	Flotacja I
Loop I	Obieg I
HW cleaner	Usuwanie zanieczyszczeń ciężkich

Fine screening #	Sortowanie drobne #
Thickening I (disc filter + press)	Zagęszczanie I (filtr tarczowy + prasa)
Dispersion	Dyspersja
Loop II	Obieg II
Oxidative bleaching	Bielenie utleniające
Flotation II	Flotacja II
Thickening II (disc filter)	Zagęszczanie II (filtr tarczowy)
WW	Woda podsitowa
DAF 2	Flotacja drobnopęcherzykowa 2
Reductive bleaching	Bielenie redukujące
PM loop	Obieg maszyny papierniczej
HW cleaner	Usuwanie zanieczyszczeń ciężkich
Screening #	Sortowanie #
Paper machine	Maszyna papiernicza
WW	Woda podsitowa
DAF 1	Flotacja drobnopęcherzykowa 1
DAF = Dissolved air flotation	DAF = Flotacja drobnopęcherzykowa
WW = White water	WW = Woda podsitowa
# = Slot screens	# = Sortowniki z sitami szczelinowymi
HW = Heavy-weight	HW = Zanieczyszczenia ciężkie
HC (+ MC) = High (+ medium) consistency	HC (+ MC) = Sortownik wysokostężeniowy (+ średniostężeniowy)

Bardzo ważne jest uporządkowane rozdzielanie poszczególnych obiegów wody w oparciu o zasadę przeciwprądu. Linie do odbarwiania mogą mieć różne konfiguracje i mogą obejmować dwa, trzy lub, w niektórych przypadkach, cztery obiegi. Na ryc. 6.3 przedstawiono układ przygotowania masy obejmujący dwa obiegi z wydzielonym obiegiem wodnym maszyny papierniczej. Wewnętrzne oczyszczanie obiegów wody, które są rozdzielone etapami zagęszczania, prowadzi się z zastosowaniem flotacji drobnopęcherzykowej (DAF) w celu kontroli ładunków substancji koloidalnych i anionowych w wodzie obiegowej oraz utrzymania zawartości cząstek drobnych i popiołu na dopuszczalnym poziomie. Osady z linii produkcyjnej oraz z komór flotacyjnych są doprowadzane do dalszego oczyszczania. Duże odrzuty wydzielone w ciągu produkcyjnym są zagęszczane w układzie usuwania odrzutów.

Ulepszony papier gazetowy jest wytwarzany zwykle w układach dwuobiegowych, w których uzyskuje się jasność na poziomie ok. 63 % według ISO (dzięki bieleniu redukującemu), niską zawartość drobnych zanieczyszczeń (dzięki flotacji końcowej II) i niską zawartość zanieczyszczeń lepkich (dzięki dodatkowemu oczyszczaniu w sortownikach szczelinowych). Natomiast zwykły papier gazetowy może być wytwarzany w układzie jednoobiegowym, tzn. bez flotacji końcowej. W konsekwencji poziom jasności produktu jest niższy (ok. 58 % według ISO), posiada on więcej drobnych zanieczyszczeń oraz wyższą zawartość popiołu. Jeśli wykorzystywane są klasy makulatury trudne do odbarwienia, np. papier fleksograficzny, może okazać się, że do osiągnięcia wyższych poziomów jasności konieczne będzie zastosowanie flotacji dwuobiegowej i etapu bielenia.

Włókna wtórne są stosowane również do wytwarzania niższych klas papieru do drukowania i do pisania. Na ogół jest to papier drzewny przeznaczony do użytku biurowego jako papier do kopiowania lub artykuły papiernicze. Koncepcja procesu może być podobna jak w przypadku ulepszanego papieru gazetowego z zastosowaniem flotacji (por. ryc. 6.3).

### 6.1.3.3 Papier LWC/SC

W czasie przerobu makulatury z gospodarstw domowych na rynkową odbarwioną masę makulaturową przeznaczoną do wytwarzania wyższej jakości drzewnego papieru graficznego, takiego jak papier

klasy SC i LWC, należy spełnić dokładne wymagania. Obejmują one niską zawartość składników szkodliwych, wysoką jakość powierzchni (tzn. brak drzazg, pęczków włókien w celu zapewnienia gładkości powierzchni) oraz odpowiednie właściwości optyczne (np. jasność, czystość) gotowego produktu.

W skład zawiesiny wchodzi na ogół odzyskany papier gazetowy i czasopisma, z przewagą czasopism. Papier SC to papier do drukowania wytwarzany masowo na szybkobieżnych maszynach. Jednym z głównych kryteriów w procesie przerobu makulatury z gospodarstw domowych (odbarwionej zawiesiny) na papier do drukowania jest stała jakość. Dlatego też bardzo ważne są etapy sortowania, oczyszczania i dyspergowania. W związku z wysokimi wymaganiami w odniesieniu do jasności i czystości konieczny jest dwuobiegowy układ z flotacją w każdym obiegu oraz dwustopniowe bielenie (bielenie w wieży wysokostężeniowej wraz z końcowym bieleniem redukującym). W procesach tych wykorzystuje się także wybielacze optyczne.

Ogólna koncepcja instalacji do odbarwiania może przypominać koncepcję przedstawioną dla ulepszonego papieru gazetowego, którą pokazano na ryc. 6.3. W tej koncepcji przygotowania masy problem składników szkodliwych (zanieczyszczenia koloidalne, odpady anionowe), które mogą zakłócać czuły mechanizm retencji na sicie maszyny papierniczej, jest rozwiązywany przez odpowiednią konstrukcję obiegu wody/oczyszczania wody w układzie przygotowania masy. W układzie tym obiegi wody są wyraźnie rozdzielone; pierwszy z nich, zwykle alkaliczny, rozciąga się od rozwłóknacza do etapu zagęszczania masy przed dyspergowaniem. Drugi obieg kończy się na etapie zagęszczania przed drugim etapem bielenia. Etapy zagęszczania masy oraz dokładne rozdzielanie obiegów wody zapewniają obniżenie zawartości zanieczyszczeń w wodzie obieguj. Koncepcja rozdzielania obiegów wodnych opiera się na zasadzie, że szkodliwe zanieczyszczenia nie mogą przedostawać się do całego układu wodnego. Filtrat z zagęszczania zawierające zanieczyszczenia anionowe i koloidalne są oczyszczane drogą mikroflotacji opartej na zasadzie flokulacji i wytrącania.

Wymagane właściwości powierzchni papieru można osiągnąć dzięki dodatkowemu etapowi mielenia, powodującego zmniejszenie wymiarów długich włókien mas termomechanicznych występujących w makulaturze z gospodarstw domowych. Mielenie powoduje poprawę gładkości i drukowności papieru. Mielenie może odbywać się po etapie bielenia redukującego w podobny sposób, jak przedstawiono to na ryc. 6.3.

Jeżeli w gotowej masie zawartość popiołu może przekraczać 8 – 10 %, nie ma potrzeby stosowania filtra myjącego. Zastosowanie filtra myjącego powoduje względnie duże straty. W związku z tym, ze względów ekonomicznych korzystne jest unikanie mycia.

#### 6.1.3.4 Bibułka higieniczna

Bibułka higieniczna musi spełniać różne wymagania w zależności od klasy papieru, a w rezultacie musi posiadać różne właściwości. Podstawowymi wymaganiami są:

- a) wysoka chłonność i miękkość;
- b) bezwonność;
- c) może być konieczne osiągnięcie zgodności z „przepisami dotyczącymi kontaktu z żywnością” i „przepisami dotyczącymi kosmetyków”;
- d) wysoki poziom czystości i jasności.

W związku z tym przerób makulatury na bibułkę higieniczną może różnić się od przerobu innych klas papieru.

#### **Chłonność i miękkość**

W celu uzyskania wysokiej chłonności i miękkości włókna muszą być wolne od popiołu i drobnych cząstek. Zawartość drobnych cząstek i popiołu dla makulatury (klasy 2,05 + 2,06) może wynosić do

35 – 45 %. Elementy te muszą zostać usunięte metodą mycia. W konsekwencji uzysk podczas przerobu makulatury spada do 53 – 58 % (uwzględniając straty z powodu grubych zanieczyszczeń), a stosunkowo dużą ilość odpadów trzeba poddać obróbce i oczyszczaniu w tych zakładach. Istnieją jednak zakłady (np. zakład w Niederbipp w Szwajcarii), w których wszystkie odrzuty, łącznie z osadami, są spalane na miejscu, a ciepło spalania wykorzystywane jest do wytwarzania pary zużywanej w zakładzie, dzięki czemu ogranicza się ilość odpadów. Stanowi je popiół ze spalania, który w postaci zagregowanej jest wykorzystywany w przemyśle materiałów budowlanych (cement). W kilku zakładach stosuje się ponadto zasadę ponownego wykorzystywania popiołu jako materiału włóknistego/wypełniającego przez inne papiernie. Bezpośredni wpływ zawartości popiołu na ilość odpadów stałych, powstających podczas przerobu makulatury, musi być uwzględniony podczas porównywania danych dotyczących ilości odpadów stałych. Usuwanie popiołu wymaga starannego zaprojektowania przebiegu procesu, a zwłaszcza obiegów wodnych. Zawartość substancji organicznych i cząstek stałych w obiegu wodnym jest proporcjonalna do jakości makulatury.

### **Won**

Aby otrzymać bezwoną bibułkę higieniczną, woda w obiegu maszyny papierniczej nie może zawierać kwasów organicznych, siarczków i innych substancji złownnych. Konieczne może być zastosowanie większej ilości świeżej wody w obiegu maszyny papierniczej. Woda w obiegu tym spływa w przeciwnym kierunku do strumienia materiału włóknistego, tj. w kierunku układu rozwłókniania.

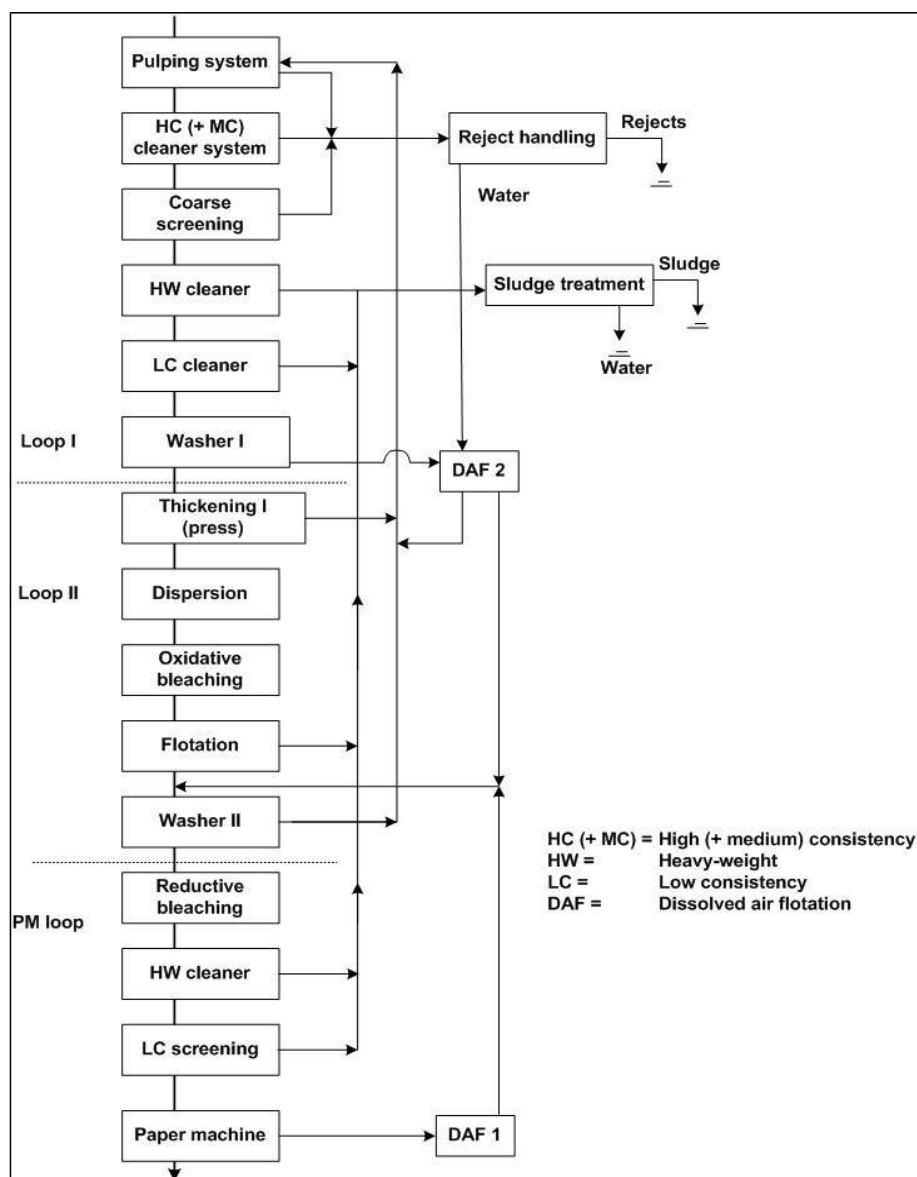
### **Przepisy dotyczące kontaktu z żywnością i kosmetyków**

Aby spełnić wymagania dotyczące kontaktu z żywnością oraz kosmetyków, konieczne jest osiągnięcie wysokich poziomów czystości. Mogą też istnieć ograniczenia dotyczące rodzajów substancji chemicznych, których można używać, oraz pozostałości substancji chemicznych w produkcie końcowym, zwłaszcza takich, które mogą migrować na żywność lub skórę.

### **Optyczna czystość i jasność**

Aby zachować wysokie poziomy czystości i jasności, konieczne jest stosowanie czystej wody na późniejszych etapach procesu, w związku z czym zużycie świeżej wody w zakładzie może się nieznacznie zwiększyć.

Na ryc. 6.4 przedstawiono uproszczony schemat linii do przerobu makulatury. Głównymi punktami węzłowymi układu są: rozwłóknierz wysokostężeniowy z układem sortowania w postaci perforowanej płyty, służący do zatrzymywania i natychmiastowego usuwania grubych zanieczyszczeń. Odrzuty są następnie poddawane dalszej obróbce w sortowniku z bębniem sitowym, a następnie zagęszczane za pomocą prasy ślimakowej do odrzutu. Przyjęta masa jest oczyszczana w sortownikach wysokostężeniowych, a następnie niskostężeniowych, w których usuwane są głównie zanieczyszczenia metalowe, takie jak spinacze do papieru i zszywki. Masa jest następnie poddawana wieloetapowemu oczyszczaniu i sortowaniu. Jak we wszystkich układach do przerobu makulatury, podstawową zasadą w rozwłóknianiu, oczyszczaniu i sortowaniu jest zapewnienie usunięcia odrzutów i zanieczyszczeń na wczesnym etapie.



Rysunek 6. 4 Przykład ogólnej koncepcji linii do przerobu makulatury w wytwarzaniu bibułki higienicznej

Pulping system	Układ rozwłókniania
Reject handling	Układ usuwania odrzutów
Rejects	Odrzuty
HC (+ MC) cleaner system	Sortowanie wysokostężeniowe (+ średniostężeniowe)
Coarse screening	Sortowanie zgrubne
Water	Woda
HW cleaner	Usuwanie zanieczyszczeń ciężkich
Sludge treatment	Obróbka osadów
Sludge	Osady
Water	Woda
LC cleaner	Sortowanie niskostężeniowe
Washer I	Filtr myjący I
Loop I	Obieg I
Loop II	Obieg II
Thickening I (press)	Zagęszczanie I (prasa)
DAF 2	Flotacja drobnopęcherzykowa 2

Dispersion	Dyspersja
Oxidative bleaching	Bielenie utleniające
Flotation	Flotacja
Washer II	Filtr myjący II
Reductive bleaching	Bielenie redukujące
HW cleaner	Usuwanie zanieczyszczeń ciężkich
LC screening	Sortowanie niskostężeniowe
Paper machine	Maszyna papiernicza
PM loop	Obieg maszyny papierniczej
DAF 1	Flotacja drobnopęcherzykowa 1
HC (+ MC) = High (+ medium) consistency	HC (+ MC) = Sortownik wysokostężeniowy (+ średniostężeniowy)
HW = Heavy-weight	HW = Zanieczyszczenia ciężkie
LC = Low consistency	LC = Sortowniki niskostężeniowe
DAF = Dissolved air flotation	DAF = Flotacja drobnopęcherzykowa

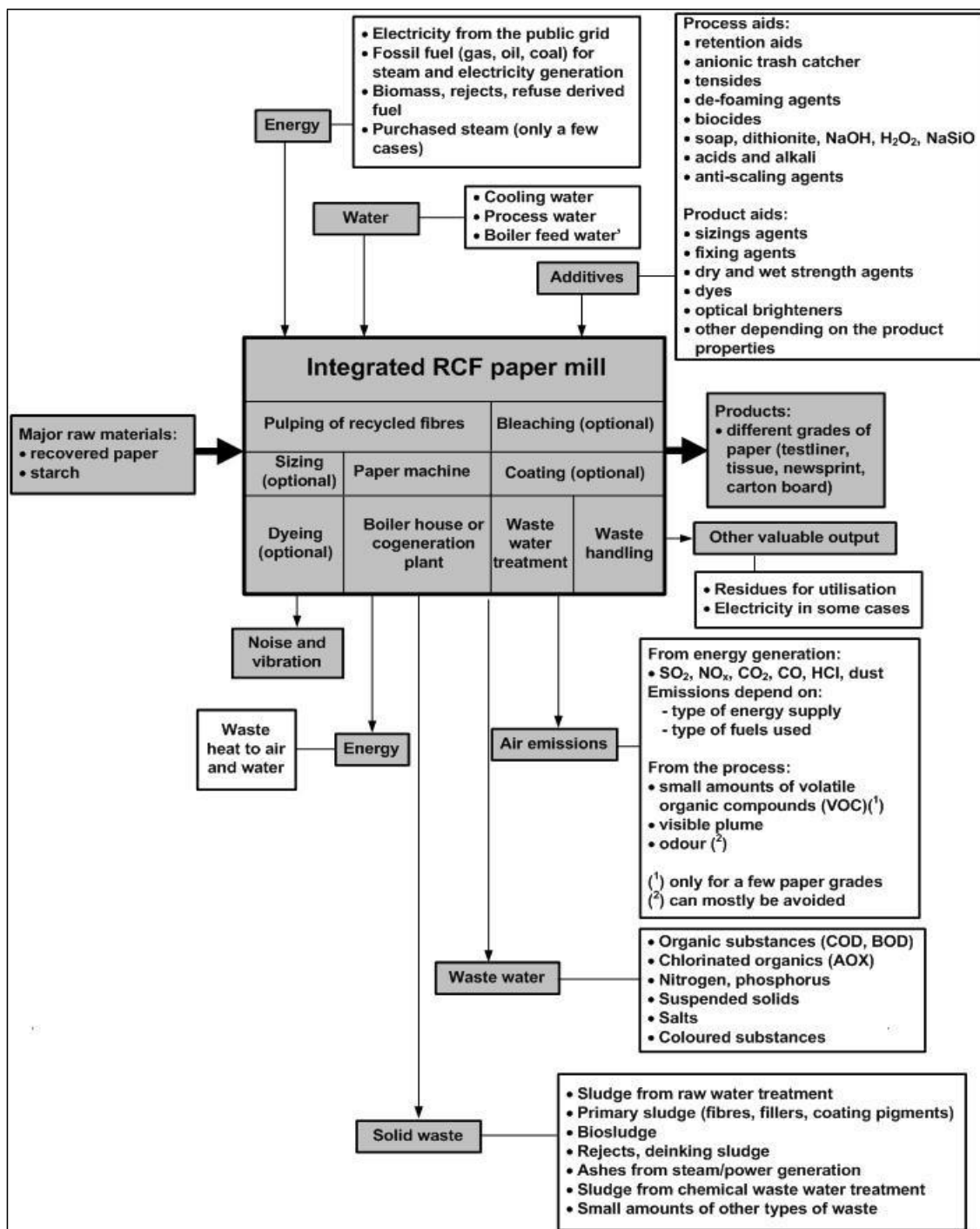
Mycie jest prowadzone przy niskim stężeniu zawiesiny i wymaga efektywnego wykorzystania i zawracania wody myjącej. Woda obiegowa musi być oczyszczana, a zawarta w niej farba drukowa i inne cząstki stałe muszą być usuwane za pomocą flotacji drobnopęcherzykowej lub innej skutecznej techniki oczyszczania wody. Etap „Filtr myjący I” służy usuwaniu popiołu, cząstek drobnych i małych cząstek farby drukowej. Po tym etapie następuje zagęszczanie masy na prasie sitowej do stężenia ok. 30 %. Filtrat z procesu mycia jest oczyszczany w komorze flotacji drobnopęcherzykowej z dodatkiem kationowych flokulantów. Popiół i cząstki drobne są usuwane, a woda jest zawracana do układu. Masa jest podgrzewana za pomocą spirali grzejnej i poddawana dyspergowaniu, podczas którego następuje oddzielenie pozostałej jeszcze na włóknach farby drukowej i równocześnie mieszanie ze środkami bielącymi (na tym etapie stosuje się bielenie utleniające lub redukujące). Na etapie flotacji usuwa się oddzielone podczas dyspergowania cząstki farby drukowej oraz drobne zanieczyszczenia i zanieczyszczenia lepkie. Po etapie „Filtr myjący II” może następować drugi etap bielenia, po którym masa jest doprowadzana albo do wieży magazynowej, albo do układu ostatecznego sortowania i oczyszczania w ciągu doprowadzenia masy do maszyny papierniczej. Zasadniczym punktem w zakładach wytwarzających bibułę higieniczną z makulatury jest obróbka odrzutów i osadów, w związku ze względnie dużą ilością osadów o zawartości węgla organicznego na poziomie ok. 50 %, pochodzących z różnych źródeł (przygotowanie masy makulaturowej, flotacja drobnopęcherzykowa, maszyna do produkcji bibułki higienicznej, biologiczna oczyszczalnia ścieków).

Dodatkowe informacje dotyczące wytwarzania bibułki higienicznej z włókien pierwotnych znajdują się w pkt 7.1.11.3.

## 6.2 Obecne poziomy zużycia i emisji w papierniach przerabiających makulaturę

### 6.2.1 Przegląd wielkości wejściowych/wyjściowych w produkcji papieru z makulatury

Przegląd wprowadzanych surowców i energii oraz odprowadzanych produktów, pozostałości poddawanych dalszej utylizacji, a także znaczących zrzutów (emisje, odpady itp.) papierni przerabiających makulaturę przedstawiono na ryc. 6.5. Obecność niektórych substancji zależy głównie od klasy wytwarzanego papieru i jego właściwości oraz od rodzaju doprowadzanej energii.



Rysunek 6.5 Przegląd obiegu masy w zintegrowanej papierni przerabiającej makulaturę



Energy	Energia
• Electricity from the public grid	• Elektryczność z sieci publicznej
• Fossil fuel (gas, oil, coal) for steam and electricity generation	• Paliwa kopalne (gaz, ropa naftowa, węgiel) do wytwarzania pary i energii elektrycznej
• Biomass, rejects, refuse derived fuel	• Biomasa, odrzuty, paliwo odpadowe
• Purchased steam (only a few cases)	• Zakupiona para (tylko w niewielu przypadkach)
Water	Woda
• Cooling water	• Woda chłodząca
• Process water	• Woda obiegowa
• Boiler feed water	• Woda zasilająca kocioł
Additives	Dodatki
Process aids:	Środki wspomagające przebieg procesów:
• retention aids	• środki retencyjne
• anionic trash catcher	• środek wychytujący odpady anionowe
• tensides	• środki powierzchniowo czynne
• de-foaming agents	• środki do zwalczania piany
• biocides	• biocydy
• soap, dithionite, NaOH, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , NaSiO	• mydło, ditionin, NaOH, H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , NaSiO
• acids and alkali	• kwasy i zasady
• anti-scaling agents	• środki antyosadowe
Product aids:	Środki wspomagające produkcję:
• sizings agents	• środki klejące
• fixing agents	• środki utrwalające
• dry and wet strength agents	• środki podnoszące odporność na suchość i wilgoć
• dyes	• barwniki
• optical brighteners	• rozjaśniacze optyczne
• other depending on the product properties	• inne, w zależności od właściwości produktu
Integrated RCF paper mill	Zintegrowana papiernia przerabiająca makulaturę
Pulping of recycled fibres	Rozwłóknianie włókien wtórnych
Bleaching (optional)	Bielenie (opcjonalnie)
Sizing (optional)	Zaklejanie (opcjonalnie)
Paper machine	Maszyna papiernicza
Coating (optional)	Powlekanie (opcjonalnie)
Dyeing (optional)	Barwienie (opcjonalnie)
Boiler house or cogeneration plant	Kotłownia lub instalacja kogeneracyjna
Waste water treatment	Oczyszczanie odpadów
Waste handling	Obróbka odpadów
Major raw materials:	Główne surowce
• recovered paper	• makulatura
• starch	• skrobia
Products:	Produkty:
• different grades of paper (testliner, tissue, newsprint, carton board)	• papier różnych klas (papier z warstw płaskich, bibułka higieniczna, papier gazetowy, tektura pudełkowa)
Other valuable output	Inne wartościowe produkty uboczne
• Residues for utilisation	• Odpady do utylizacji
• Electricity in some cases	• Energia elektryczna (w niektórych

	przypadkach)
Noise and vibration	Hałas i drgania
Energy	Energia
Waste heat to air and water	Emisje ciepła odpadowego do atmosfery i wody
Air emissions	Emisje do atmosfery
From energy generation:	Z wytwarzania energii:
•SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , CO <sub>2</sub> , CO, HCl, dust Emissions depend on:	• SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , CO <sub>2</sub> , CO, HCl, pył Emisje zależą od:
- type of energy supply	- sposobu zasilania
- type of fuels used	- rodzaju stosowanego paliwa
From the process:	Z procesu:
•small amounts of volatile organic compounds (VOC) <sup>(1)</sup>	• małe ilości lotnych związków organicznych (LZO) <sup>(1)</sup>
•visible plume	• widoczne opary
•odour <sup>(2)</sup>	• woń <sup>(2)</sup>
<sup>(1)</sup> only for a few paper grades <sup>(2)</sup> can mostly be avoided	<sup>(1)</sup> wyłącznie w przypadku niektórych klas papieru <sup>(2)</sup> w większości przypadków można uniknąć
Waste water	Ścieki
•Organic substances (COD, BOD)	• Substancje organiczne (ChZT, BZT)
•Chlorinated organics (AOX)	• Chlorowane związki organiczne (AOX)
•Nitrogen, phosphorus	• Azot, fosfor
•Suspended solids	• Zawiesiny
•Salts	• Sole
•Coloured substances	• Substancje zabarwione
Solid waste	Odpady stałe
•Sludge from raw water treatment	• Osady z oczyszczania wody
•Primary sludge (fibres, fillers, coating pigments)	• Osady pierwotne (włókna, wypełniacze, pigment z powłok)
•Biosludge	• Osady biologiczne
•Rejects, deinking sludge	• Odrzuty, osady z odbarwiania
•Ashes from steam/power generation	• Popiół z wytwarzania pary/energii elektrycznej
•Sludge from chemical waste water treatment	• Osady z chemicznego oczyszczania ścieków
•Small amounts of other types of waste	• Małe ilości innego rodzaju odpadów

Jak przedstawiono na ryc. 6.5, surowce do produkcji papieru z makulatury obejmują głównie energię (energię elektryczną, paliwa kopalne i inne), makulaturę, wodę oraz pewne dodatki chemiczne. Znaczne ilości wody zużywa się w postaci wody obiegowej oraz wody chłodzącej. Podczas wytwarzania papieru stosuje się różne dodatki, jak środki wspomagające przebieg procesów oraz środki służące poprawie właściwości produktu (środki wspomagające produkcję papieru). Wpływ przerobu makulatury na środowisko obejmuje głównie emisje do wody, wytwarzanie odpadów stałych oraz emisje do atmosfery, które są związane przede wszystkim z wytwarzaniem energii w drodze spalania paliw kopalnych i innych w kotłach parowych lub elektrociepłowniach.

Proces wytwarzania papieru w papierni przerabiającej makulaturę można podzielić na trzy części: przygotowanie masy, układ doprowadzenia do maszyny papierniczej, poprawa właściwości wytwarzanego papieru. Przygotowanie masy i maszyna papiernicza są ze sobą ściśle powiązane układem wody obiegowej (por. pkt 6.2.2.2).

W tab. 6.1 przedstawiono poziomy zużycia i emisji typowe dla przygotowania masy do produkcji różnych klas papieru. Choć dane odnoszą się do rzeczywistych przypadków, mają one jedynie charakter przykładowy. Duże różnice w składzie makulatury można odnotować w Europie. Wywierają one wpływ na koncepcję przygotowania masy. Dane zestawione w tab. 6.1 odnoszą się wyłącznie do przygotowania masy, tzn. nie obejmują one kolejnego etapu, na którym wykorzystuje się maszynę papierniczą. Wyjątek stanowią obiegi wodne, które zawsze odnoszą się do całego zakładu. Dzieje się tak, ponieważ obiegi wodne między przygotowaniem masy a maszyną papierniczą są zwykle połączone ze sobą do tego stopnia, że ich rozdzielenie mija się z celem.

Tabela 6.1 Poziomy zużycia i emisji typowe dla przygotowania masy do produkcji różnych klas papieru

Zużycie surowców i emisje do wody, odpady	Papier opakowaniowy	Papier gazetowy	Papier LWC/SC	Bibułka higieniczna, masa rynkowa
<b>Główny rodzaj makulatury</b> (zależy od dostępności i ceny makulatury oraz od jakości produktu końcowego)	Mieszana makulatura i tektura, makulatura opakowania ze sklepów i domów handlowych	Makulatura nadająca się do odbarwiania (stary papier gazetowy i stare czasopisma)	Makulatura nadająca się do odbarwiania (stary papier gazetowy i stare czasopisma)	Makulatura nadająca się do odbarwiania (stary papier gazetowy + czasopisma); bezdrzewna makulatura biurowa
<b>Zużycie energii</b> <sup>(1)</sup> - elektrycznej - ciepłej (np. para)	150 – 250 kWh/t 0 MJ/t (w przypadku stosowania dyspersji, konieczne jest ogrzewanie)	300 – 420 kWh/t 450 – 900 MJ/t (=0,2 – 0,4 t pary/t)	400 – 600 kWh/t 650 – 1 200 MJ/t (=0,3 – 0,5 t pary/t)	400 – 500 kWh/t 650 – 1 100 MJ/t (=0,3 – 0,5 t pary/t)
<b>Środki chemiczne</b> <sup>(2)</sup> - Rozwódnianie  - Flotacja I  - Flotacja II  - Bielenie  - Flokulanty używane do wewnętrznego klarowania wody obiegowej i obróbki osadu	Biocyd  -  -  -  0 kg/t (wewnętrzne klarowanie w obiegu maszyn papierniczych – woda podsitowa II)	0,5 – 1,0 % H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 0,5 – 1,0 % NaOH 1 – 2 % Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>  0,3 – 0,6 % mydła  0,2 – 0,4 % mydła (NaOH+kwasy tłuszczowe) 1 – 2 % H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 0,5 – 1,2 % NaOH 1 – 1,8 % Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> 1,4 – 1 % ditioninu do 0,2 % NaOH Środki wspomagające flokulację: 0,5 – 1 kg/t	0,5 – 1,0 % H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 0,5 – 1,2 % NaOH 1 – 2 % Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>  0,3 – 0,6 % mydła  0,2 – 0,4 % mydła (NaOH+kwasy tłuszczowe) 1 – 2,5 % H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 0,5 – 1,5 % NaOH 1 – 2 % Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> 0,4 – 1 % ditioninu do 0,2 % NaOH Środki wspomagające flokulację: 1,6 – 2,6 kg/t Flokulanty: 1,5 – 2,5 kg/t	0,0 – 1,0 % H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>  0,3 – 0,6 % mydła  -  1 – 2 % H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 0,5 – 1,2 % NaOH 1 – 1,8 % Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> 0,4 – 1 % ditioninu do 0,2 % NaOH Środki wspomagające flokulację: 1,8 – 2,8 kg/t
<b>Woda</b> - Strumień wody <sup>(4)</sup> - Emisje przed biologiczną oczyszczalnią ścieków	0 – 30 m <sup>3</sup> /t papieru Zawiesina ogólna <sup>(5)</sup> : zwykle poniżej 200 mg/l ChZT: 27 – 36 kg/t (6 750 – 9 000 mg/l) AOX: < 4 g/t	8 – 20 m <sup>3</sup> /t papieru Zawiesina ogólna <sup>(5)</sup> : zwykle poniżej 200 mg/l ChZT: 17 – 27 kg/t (1 700 – 2 700 mg/l) AOX: < 10 g/t	8 – 30 m <sup>3</sup> /t papieru Zawiesina ogólna <sup>(5)</sup> : zwykle poniżej 200 mg/l ChZT: 17 – 27 kg/t (1 700 – 2 700 mg/l) AOX: < 10 g/t	8 – 50 m <sup>3</sup> /t papieru Zawiesina ogólna <sup>(5)</sup> : zwykle poniżej 200 mg/l ChZT: 26 – 45 kg/t (2 600 – 4 500 mg/l) AOX: < 10 g/t
<b>Odpady</b> - stałe (suche) <sup>(6)</sup> - zawartość substancji organicznych	50 – 100 kg/t papieru 70 – 80 %	15 – 25 % strat 170 – 190 kg/t papieru 35 – 45 %	20 – 35 % strat 450 – 550 kg/t papieru 20 – 40 %	500 – 600 kg/t papieru 40 – 50 %

(<sup>1</sup>) Podstawowym czynnikiem różnicującym zużycie energii jest zastosowanie dyspergatora, który zużywa 60 – 100 kWh/t. Ponadto należy uwzględnić straty: proces, w którym występują większe straty wymaga zastosowania bardziej wydajnych maszyn o wyższym jednostkowym zużyciu energii. Liczba etapów procesu przygotowania masy/wytwarzania również ma swój wpływ. W przypadku wytwarzania klas graficznych papieru wysokiej jakości, zużycie energii może być wyższe niż w przypadku standardowych klas.

(<sup>2</sup>) Zużycie wszystkich środków chemicznych jest podawane w przeliczeniu na 100 % substancji czynnych, a nie preparatów handlowych, zawierających różne ilości wody, z wyjątkiem Na<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>, którego zużycie jest podawane dla preparatu handlowego. Zakresy da się wyjaśnić różnicami jakości użytej makulatury, ilością farby drukowej do usunięcia i jakością produktu, jaką należy osiągnąć.

(<sup>3</sup>) Zużycie flokulantów zależy przede wszystkim od liczby komór mikroflotacyjnych służących oczyszczaniu wody obiegowej i od ilości osadu, który należy odvodnić. Strumienie filtratów z filtrów myjących są duże, w związku z czym konieczne jest zastosowanie znacznej ilości flokulantów, w przypadku ich oczyszczania.

(<sup>4</sup>) Dane dotyczące strumieni wody obejmują wodę zużywaną w całym zakładzie, tzn. przygotowanie masy i maszynę papierniczą. Strumień wody oznacza wodę odprowadzaną z oczyszczania biologicznego i nie obejmuje wody stosowanej do uszczelnień.

(<sup>5</sup>) Zwykle przed odprowadzeniem ścieków do oczyszczania zainstalowana jest komora mikroflotacyjna. Powoduje to odciążenie oczyszczania wstępnego lub umożliwia jego pominięcie. Bez komory mikroflotacyjnej ilość zawiesiny ogólnej (TSS) zależy od urządzeń do odwadniania osadów i odrzutów.

(<sup>6</sup>) Łącznie z osadem z oczyszczania wody obiegowej (komory mikroflotacyjne).

*Źródło: Doświadczenia eksploatacyjne dostarczone przez dostawcę, 1998 r. i zmiany na podstawie uwag od operatorów, 2010 r.*

Papiernie często wytwarzają wyroby papierowe składające się z mieszaniny włókien różnego rodzaju. Zintegrowane papiernie przerabiające makulaturę są często tylko częściowo zintegrowane, tzn. część masy jest wytwarzana na miejscu, a część to masa zakupiona. W Europie prawie wszystkie papiernie przerabiające makulaturę są zintegrowane, z wyjątkiem dwóch zakładów wytwarzających rynkową odbarwioną masę makulaturową (Greenfield SAS we Francji). Istnieje kilka zintegrowanych zakładów dysponujących nadmiarem mocy przerobowych makulatury do produkcji odbarwionej masy rynkowej.

Zużycie surowców oraz emisje do środowiska z przerobu makulatury są omówione po kolei poniżej.

## 6.2.2 Poziomy zużycia i emisji poszczególnych instalacji

Przedmiotem naszego zainteresowania są następujące aspekty związane z wytwarzaniem papieru z włókien wtórnych:

- zużycie makulatury;
- wykorzystanie wody;
- wykorzystanie dodatków chemicznych;
- zapotrzebowanie na energię;
- emisje ścieków;
- wytwarzanie odpadów stałych pochodzących z przygotowania masy, klarowania wody obiegowej i oczyszczania ścieków;
- emisje do atmosfery pochodzące z wytwarzania energii;
- emisje do atmosfery pochodzące ze spalania osadów i odpadów (opcjonalnie);
- hałas i drgania powodowane przez maszynę papierniczą (lokalnie);
- wycieki z wywarek i oczyszczalni ścieków (lokalnie).

### 6.2.2.1 Zużycie makulatury

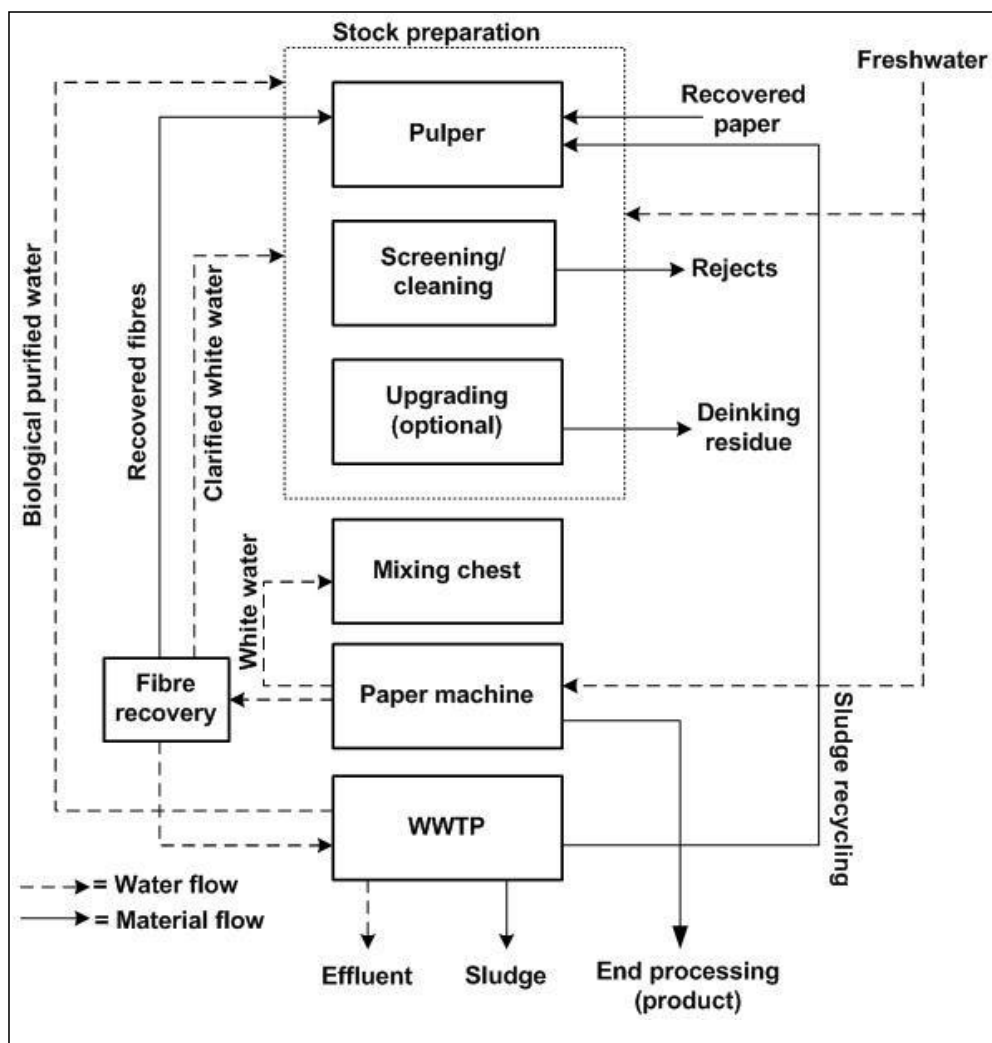
W procesie wytwarzania różnych rodzajów papieru, takich jak „brązowe” papiery opakowaniowe czy „białe” papiery drukowe, stosuje się różne ilości i odmiany włókien wtórnych. Na przykład do wyprodukowania jednej tony papieru na tekturę falistą (warstwę pofalowaną tektury falistej) zużywa się ok. 1 100 kg makulatury, papieru gazetowego – 1 200 – 1 350 kg makulatury, zaś papieru na bibułkę higieniczną i rynkową odbarwioną masę makulaturową – ok. 2 000 kg makulatury. Zgodnie z Europejskim wykazem znormalizowanych odmian makulatury [ 28, Europejski Komitet Normalizacyjny 643, 2001 r. ] makulaturę klasyfikuje się z grubsza na cztery grupy odpowiadające odmianom zwykłym, średnim, lepszym i mocnym, które dzielą się na podkategorie. Gorsze odmiany makulatury zawierają więcej zanieczyszczeń i muszą być oczyszczane intensywniej niż odmiany lepsze, w celu spełnienia wymagań stawianych produktowi. Lepsze odmiany stosowane są głównie do wytwarzania papieru graficznego lub bibułki higienicznej, podczas gdy gorsze odmiany makulatury wykorzystuje się powszechnie jako surowce do wytwarzania papieru opakowaniowego. Ponieważ

bardzo ważna jest stała jakość zawieszin masy, ilościowe i jakościowe zmiany zawartości zanieczyszczeń powinny być możliwie jak najmniejsze. Dlatego też metody pozyskiwania i sortowania są tak samo ważne, jak prace techniczne na rzecz opracowywania nowych procesów przerobu włókien wtórnych.

W ciągu ostatniej dekady udział zanieczyszczeń w makulaturze wzrósł w wyniku stałego wzrostu recyklingu makulatury, tendencji w kierunku coraz częstszego wykorzystywania opakowań wieloskładnikowych, reklamom łatwych do przenoszenia opakowań z tworzyw sztucznych w czasopiśmie, a także skojarzonemu pozyskiwaniu makulatury wraz z innymi frakcjami odpadów. Tendencja w kierunku coraz częstszego wykorzystywania wypełniaczy i pigmentów w produkcji papieru doprowadziła do powszechnego wzrostu stężeń węglanu wapnia w obiegach zamkniętych wody obiegowej w papierniach przerabiających makulaturę.

#### **6.2.2.2 Zużycie wody i strumień ścieków**

Wytwórnice papieru i tektury zużywają na ogół duże ilości wody. Z kolei w większości papierni przerabiających makulaturę znaczna część wody jest wykorzystywana ponownie i zwracana do procesu, ograniczając jednostkową ilość wody zużywanej do wytwarzania papieru. W papierniach w Europie wykorzystywana jest zarówno woda gruntowa, jak i powierzchniowa. W zależności od klasy wytwarzanego papieru, woda jest wstępnie oczyszczana, by spełnić wymagania określone dla wody obiegowej. W razie potrzeby należy usunąć żelazo, mangan, a czasami algi i zawieszinę za pomocą flokulacji, kompleksowania i/lub filtracji (por. pkt 2.4.1). Woda znajduje różne zastosowania w przemyśle papierniczym, a mianowicie jest stosowana jako woda obiegowa, chłodząca oraz jako woda zasilająca kocioł (więcej szczegółowych informacji znajduje się w pkt 7.1.3; obiegi wodne i odzyskiwanie włókien). Jak to przedstawiono na ryc. 6.6, w procesie produkcji woda jest zwracana wielokrotnie.



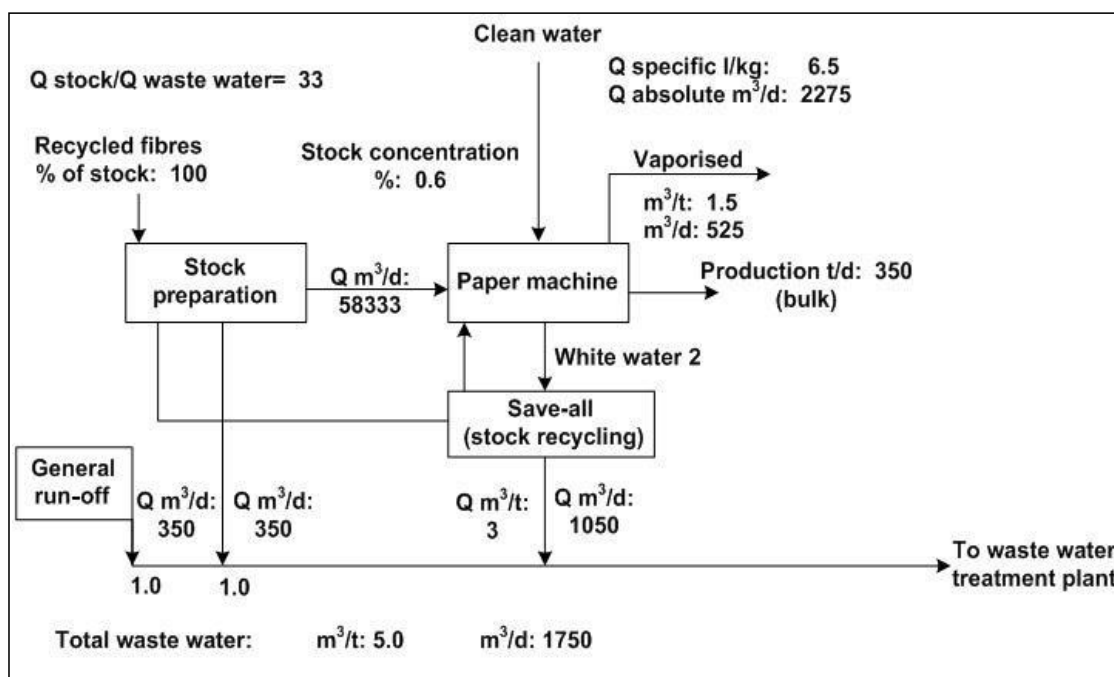
Rysunek 6. 6 Podstawowy schemat procesu przygotowania makulatury do wytwarzania papieru i tektury

Stock preparation	Przygotowanie masy
Pulper	Rozwłókniacz
Recovered paper	Makulatura
Freshwater	Świeża woda
Screening/cleaning	Sortowanie/oczyszczanie
Rejects	Odrzuty
Upgrading (optional)	Uzlachetnianie (opcjonalnie)
Deinking residue	Odpady z odbarwiania
Biological purified water	Woda oczyszczona biologicznie
Recovered fibres	Włókna wtórne
Clarified white water	Sklarowana woda podsitowa
Mixing chest	Kadź mieszadłowa
White water	Woda podsitowa
Fibre recovery	Wyławianie włókien
Paper machine	Maszyna papiernicza
WWTP	Oczyszczalnia ścieków
Sludge recycling	Zawracanie osadów
Water flow	Strumień wody
Material flow	Strumień materiałów
Effluent	Ścieki
Sludge	Osady

End processing (product)

Wykańczanie (produkt)

Wszystkie wytwórnie papieru i tektury zawracają wodę oddzieloną w części sitowej (woda podsitowa). Woda podsitowa jest zawracana bez oczyszczania jako rozcieńczalnik do kadzi mieszadłowej (obieg krótki) lub, po oczyszczeniu w wyławiaczu włókien, jest ponownie wykorzystywana tam, gdzie woda musi spełniać wyższe wymagania jakościowe. Nadmiar wody z wyławiacza włókien w układzie przygotowania masy jest odprowadzany w celu utrzymania bilansu wody i usunięcia niepożądanych substancji, które nie powinny przedostawać się do układu doprowadzenia masy do maszyny papierniczej. Osiągalny wskaźnik recyklingu zależy od jakościowych wymagań produkcji oraz od jakości oczyszczonej wody obiegowej/ścieków. Ponadto duży wpływ na graniczną ilość wody, którą można zawrócić do obiegu bez uszczerbku dla przebiegu procesu i jakości produktu, ma jakość konstrukcji obiegów wodnych. Na ryc. 6.7 oraz 6.8 przedstawiono przykłady układów wodno-masowych, obiegów wodnych i bilansu wody w zintegrowanych papierniach przerabiających makulaturę na papier biały i brązowy.

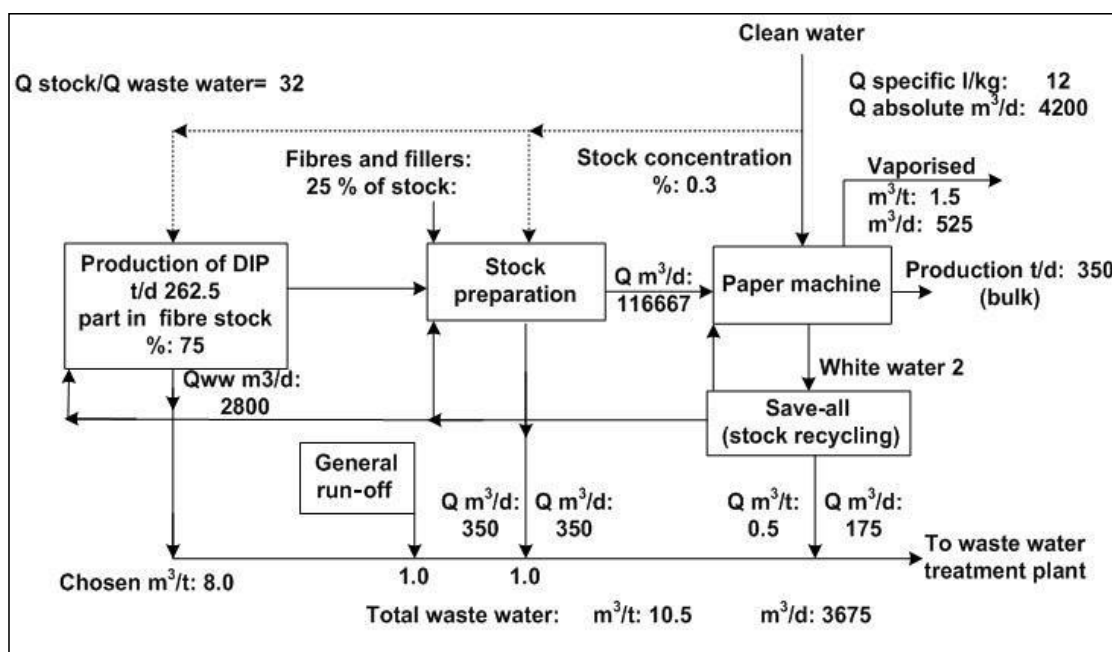


Rysunek 6. 7 Przykład obiegu wodnego zintegrowanej papierni przerabiającej makulaturę na warstwę pofalowaną tektury falistej bez odbarwiania

Q stock/Q waste water = 33	Q masy/Q ścieków = 33
Clean water	Czysta woda
Recycled fibres, % of stock: 100	Włókna wtórne, % w masie: 100
Stock concentration	Stężenie masy
Q specific l/kg: 6.5	Q jednostkowe 1/kg: 6,5
Q absolute m <sup>3</sup> /d: 2 275	Q absolutne m <sup>3</sup> /dobę: 2 275
Vaporised	Odparowanie
Stock preparation	Przygotowanie masy
Paper machine	Maszyna papiernicza
Production t/d: 350 (bulk)	Produkcja t/dobę: 350 (masowo)
White water 2	Woda podsitowa 2
Save-all (stock recycling)	Wyławianie włókien (zawracanie masy)
General run-off	Ogólny odpływ
To waste water treatment plant	Do oczyszczalni ścieków
Total waste water:	Ścieki ogółem:

Przykład w znacznym stopniu zamkniętego obiegu w produkcji papieru z nieodbarwianych włókien wtórnych wskazuje, że świeża woda jest używana tylko po stronie maszyny papierniczej (oraz w niewielkich ilościach do przygotowania dodatków chemicznych oraz wody zasilającej kocioł). Woda podsitowa jest zawracana do układu przygotowania masy i wykorzystywana do rozwłókniania makulatury, a także na różnych etapach mechanicznego oczyszczania masy. Część strumienia jest odprowadzana do oczyszczalni ścieków. Około 1,5 m<sup>3</sup>/t papieru odparowuje w części suszącej maszyny papierniczej. W przykładzie przedstawionym na ryc. 6.7 woda przed odprowadzeniem jest wykorzystywana w procesie 33 razy.

Na ryc. 6.8 przedstawiono przykład w znacznym stopniu zamkniętego obiegu wodnego w zintegrowanej produkcji papieru o wysokiej zawartości rynkowej odbarwionej masy makulaturowej (DIP).



Rysunek 6. 8 Przykład zoptymalizowanego układu masowo-wodnego w zintegrowanej produkcji odbarwionej masy makulaturowej

Q stock/Q waste water = 32	Q masy/Q ścieków = 32
Fibres and fillers: 25 % of stock:	Włókna i wypełniacze: 25 % masy:
Stock concentration %: 0.3	Stężenie masy (%): 0,3
Clean water	Czysta woda
Q specific l/kg: 12	Q jednostkowe 1/kg: 12
Q absolute m <sup>3</sup> /d: 4200	Q absolutne m <sup>3</sup> /dobę: 4 200
Vaporised	Odparowanie
Production of DIP t/d 262.5	Produkcja odbarwionej masy makulaturowej t/dobę 262,5
part in fibre stock %: 75	Udział w masie włóknistej (%): 75
Stock preparation	Przygotowanie masy
Paper machine	Maszyna papiernicza
Production t/d: 350 (bulk)	Produkcja t/dobę: 350 (masowo)
White water 2	Woda podsitowa 2
Save-all (stock recycling)	Wyławianie włókien (zawracanie masy)
General run-off	Ogólny odpływ
To waste water treatment plant	Do oczyszczalni ścieków
Chosen m <sup>3</sup> /t: 8.0	Wybrane m <sup>3</sup> /t: 8,0



Total waste water:	Ścieki ogółem:
--------------------	----------------

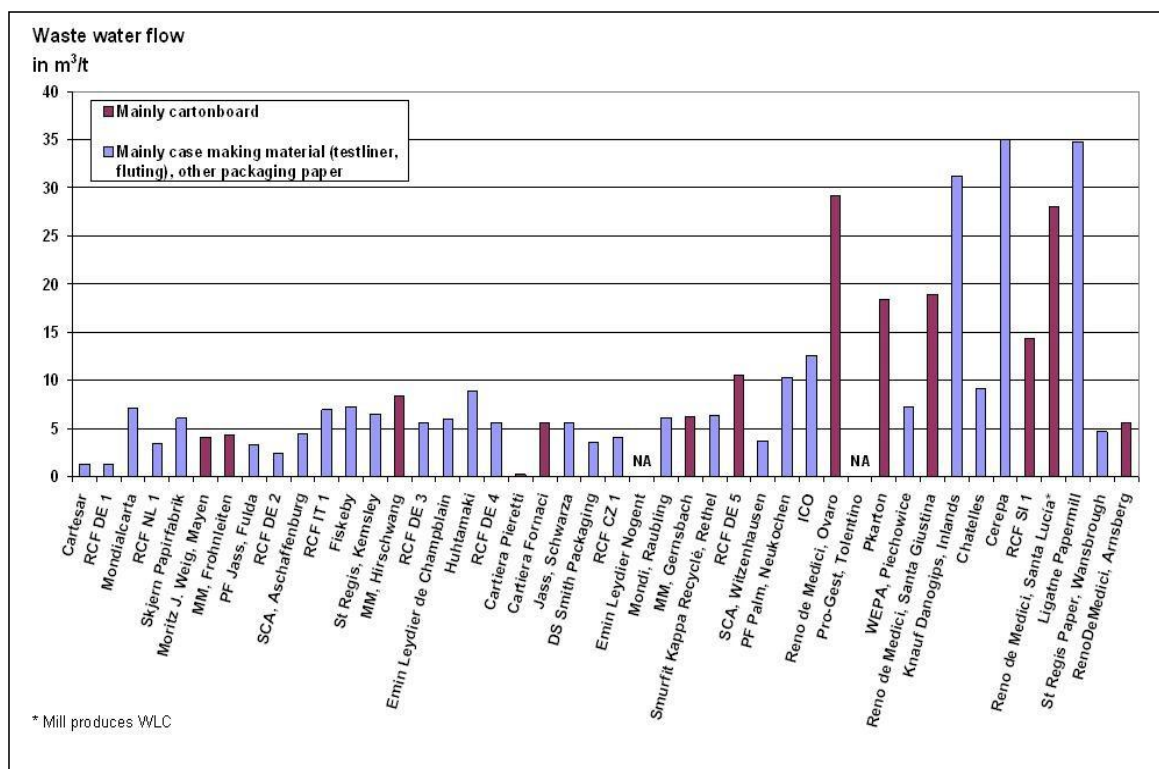
Woda obiegowa przepływa w przeciwnym kierunku do strumienia materiałów, tzn. woda podsitowa jest zwracana do odbarwialni i do przygotowania masy. Nadmiar wody podsitowej z różnych części zakładu jest odprowadzany. Ma to na celu zapobieganie przedostawaniu się niepożądanych substancji do układu doprowadzenia masy do maszyny papierniczej, gdzie wymagana jest woda o wyższej jakości, oraz zbilansowanie ilości wody zużywanej w układzie. W maszynie papierniczej używana jest czysta woda, aby spełnić wysokie wymagania stawiane wodzie w tym stadium procesu wytwarzania papieru. Stosunek ilościowy między zawieszoną włókniną doprowadzaną do maszyny papierniczej a odprowadzonymi ściekami wynosi 32:1, tzn. woda jest wykorzystywana w obiegu 32 razy. W celu uniknięcia ewentualnych wad wielokrotnego wykorzystania wody cały układ zakładu włókna-woda-dodatki musi być analizowany i optymalizowany. W niektórych zakładach stosuje się (częściowe) usuwanie zanieczyszczeń wewnątrz procesu do wymaganego poziomu, aby spełnić wymagania jakościowe ustalone dla określonej klasy papieru lub instalacji.

W tab. 6.2 podsumowano jednostkowe zużycie wody dla różnych papierni przerabiających makulaturę.

Tabela 6.2 Zużycie wody w papierni przerabiającej makulaturę na papier i tekturę

Rodzaj produktu	Jednostkowe zużycie wody (m <sup>3</sup> /t) <sup>(1)</sup>
Powlekana i niepowlekana tektura na pudełka składane	5 – 30
Papier na warstwy pofalowane tektury falistej oraz opakowania	1,5 – 35
Papier gazetowy	9 – 20
Bibułka higieniczna	9,5 – 50
Papier do pisania i drukowania	9,5 – 55
<sup>(1)</sup> Około 1,5 m <sup>3</sup> wody na tonę papieru odparowuje w części suszącej maszyny papierniczej, tzn. nie występuje ona w postaci ścieków. <i>Źródło:</i> Ankiety Europejskiego Biura IPPC wypełnione przez operatorów celulozowni i papierni (lata referencyjne: 2006 i 2008)	

Na ryc. 6.9 przedstawiono jednostkowy strumień ścieków w papierniach przerabiających makulaturę bez odbarwiania. Większość papierni, które wzięły udział w badaniu, wytwarzających głównie papier na tekturę falistą odprowadza poniżej 10 m<sup>3</sup>/t; wiele zakładów (11 zakładów) odprowadza nawet poniżej 5 m<sup>3</sup>/t. Tylko w nielicznych przypadkach strumienie ścieków przekraczają 10 m<sup>3</sup>/t. Niektóre papiernie z tej grupy zakładów wykorzystują całkowicie zamknięty obieg wodny, eliminując wytwarzanie ścieków (ok. 10 zakładów). Ich operatorzy nie wypełnili jednak ankiety, dlatego nie zostały one uwzględnione na ryc. 6.9.



Źródło danych: Ankiety Europejskiego Biura IPPC wypełnione przez operatorów celulozowni i papierni (lata referencyjne: 2006 i 2008)

Rysunek 6. 9 Jednostkowy strumień ścieków europejskich papierni przerabiających makulaturę bez odbarwiania

Waste water flow in m <sup>3</sup> /t	Strumień ścieków (m <sup>3</sup> /t)
Mainly cartonboard	Głównie karton
Mainly case making material (testliner, fluting), other packaging paper	Głównie papier na tekturę falistą (warstwy płaskie tektury falistej, papier flutingowy), inny papier opakowaniowy
* Mill produces WLC	* Zakład produkuje tekturę makulaturową z białym pokryciem
NA	Brak danych

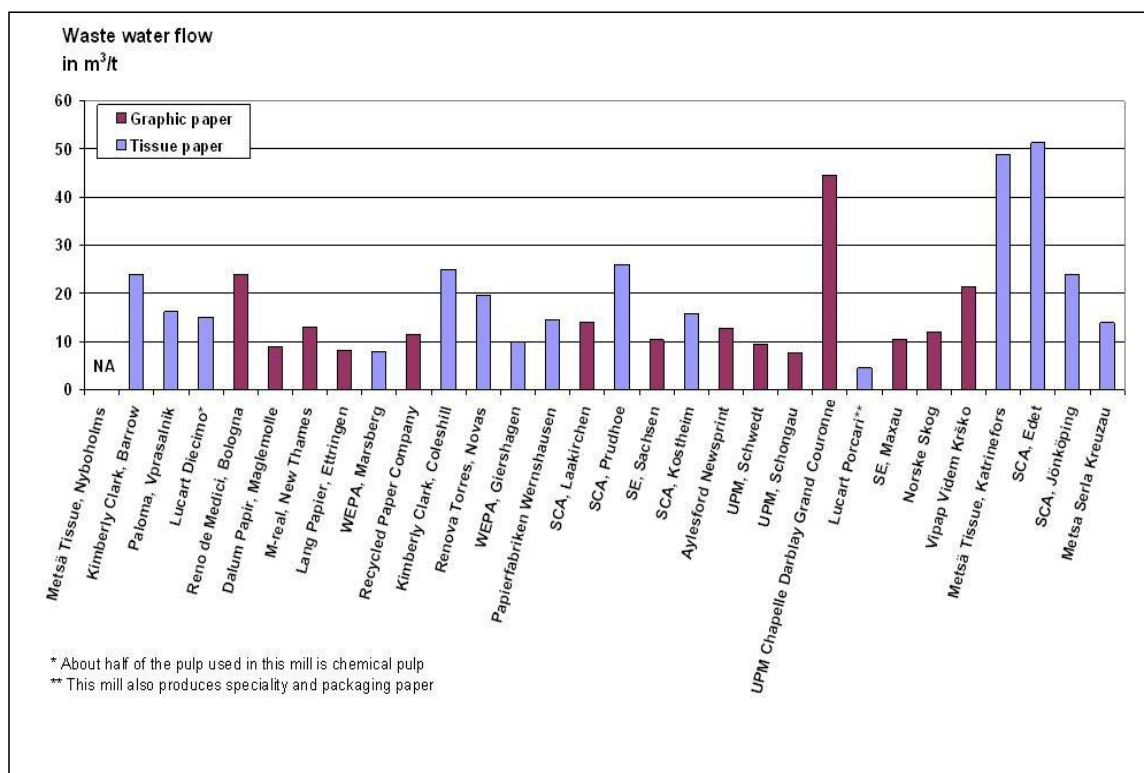
Producenci nieodbarwianej tektury pudełkowej odprowadzają najczęściej od 4 m<sup>3</sup>/t do 10 m<sup>3</sup>/t (z wyjątkiem pięciu zakładów).

Na ryc. 6.10 przedstawiono jednostkowy strumień ścieków wielu zakładów przerabiających makulaturę z odbarwianiem. Najmniejszy strumień ścieków odnotowany w przypadku zakładów wykorzystujących w 100 % makulaturę wyniósł 8 m<sup>3</sup>/t, zarówno dla papieru graficznego, jak i bibułki higienicznej.

Większość producentów wytwarzających papier graficzny z makulatury odprowadza poniżej 15 m<sup>3</sup>/t. Tylko w przypadku kilku zakładów odnotowano wyższe i znacznie wyższe wartości w tym zakresie (trzy zakłady). Tylko w jednym zakładzie strumień ścieków przekroczył 25 m<sup>3</sup>/t.

W przypadku większości producentów wytwarzających bibułkę higieniczną z makulatury odnotowano strumienie poniżej 25 m<sup>3</sup>/t (z wyjątkiem trzech zakładów). Najwyższą wartością w tym zakresie było 50 m<sup>3</sup>/t (zakład pośredniczący w odprowadzaniu ścieków). W odniesieniu do jednostkowej objętości ścieków należy dokonać rozróżnienia między papierniami przerabiającymi makulaturę na papier graficzny a papierniami przerabiającymi makulaturę na bibułkę higieniczną. Z wyjątkiem kilku przypadków, jednostkowa ilość ścieków jest nieco wyższa w produkcji bibułki higienicznej, niż w produkcji papieru graficznego z makulatury (głównie z powodu niższych gramatur produkowanego

papieru – do 12 g/m<sup>2</sup>, wyższej czystości produktu, częstszych zmian klasy lub kolorów, a także często wolniejszej pracy maszyn papierniczych).



Rysunek 6. 10 Jednostkowy strumień ścieków europejskich papierni przerabiających makulaturę z odbarwianiem

Waste water flow in m <sup>3</sup> /t	Strumień ścieków (m <sup>3</sup> /t)
Graphic paper	Papier graficzny
Tissue paper	Papier na bibułkę higieniczną
NA	Brak danych
* About half of the pulp used in this mill is chemical pulp	* Około połowę masy stosowanej w tym zakładzie stanowi masa chemiczna
** This mill also produces speciality and packaging paper	** Zakład ten produkuje także papier specjalistyczny i opakowaniowy

### 6.2.2.3 Stosowanie dodatków chemicznych

W przemyśle papierniczym i tekturowym stosuje się różne dodatki chemiczne, aby poprawić właściwości produktu. Ilość i rodzaj dodatków różnią się w zależności od klasy papieru i zainstalowanych urządzeń. Dodatki chemiczne stosowane w przemyśle papierniczym można podzielić na te, które są stosowane w celu optymalizacji określonych właściwości papieru zgodnie z wymaganiami klienta oraz na dodatki wspomagające proces. Te ostatnie ułatwiają przerób papieru, aby usprawnić przebieg procesu. Więcej szczegółowych informacji na temat stosowania dodatków chemicznych oraz przykłady najważniejszych dodatków i ich zastosowanie podano w pkt 2.3.2, w którym opisano przechowywanie środków chemicznych i obchodzenie się z nimi, a także w pkt 7.2.2.3 poświęconym stosowaniu środków chemicznych.

W tab. 6.3 przedstawiono substancje stosowane do odbarwiania. Wykazują one niewielkie powinowactwo do celulozy i można przypuszczać, że będą one obecne w osadach z odbarwiania.

Tabela 6.3 Typowe dawki substancji chemicznych stosowane w procesie odbarwiania, łącznie z bielaniem

Dodatki chemiczne	Zużycie (kg/t odbarwionej masy)
Wodorotlenek sodu	2 – 10
Krzemian sodu	12 – 25
Mydło	3 – 8
Talk	0 – 15
Nadtlenek wodoru	5 – 25
Środek chelatujący (DTPA) <sup>(1)</sup>	0 – 3
Ditionin sodu	6 – 10
Kwas siarkowy	8 – 10
Bentonit <sup>(2)</sup>	0 – 4
Enzymy	Brak danych
<p>(1) Zazwyczaj nie ma potrzeby stosowania środków chelatujących w przerobie makulatury/bielenia, chyba że stężenia jonów Fe i Mn są zbyt wysokie.</p> <p>(2) Może być stosowany jako środek usuwający zanieczyszczenia lepkie, stabilizator, dodatek wykorzystywany przy oczyszczaniu w obiegu wodnym (flotacja) lub jako środek retencyjny.</p> <p>Źródło: [ 1, Fińskie sprawozdanie ze stosowania najlepszych dostępnych technik, 1997 r. ], [ uwagi Stora Enso, 2010 r. ].</p>	

Często zdarza się, że dodatki chemiczne nie są całkowicie zużywane podczas procesu lub zatrzymywane we wstęgach papieru, w szczególności jeśli chodzi o dodatki wspomagające proces. Pewna ich ilość jest odprowadzana ze ściekami. Nadmiar dodatków jest również odprowadzany z układu z odrzutami i z osadami (por. ryc. 2.8). Niektóre z tych dodatków wywierają niekorzystny wpływ na funkcjonowanie oczyszczalni ścieków i/lub na jakość oczyszczonej wody w przypadku, gdy nie zostały rozłożone lub wydzielone w oczyszczalni ścieków. W niektórych państwach członkowskich organy ds. jakości wód wymagają przedstawienia do wglądu danych dotyczących ilości i rodzaju stosowanych dodatków. Na przykład zakłady w Holandii muszą przedłożyć odpowiednie informacje o rodzaju i składzie stosowanych dodatków. Informacje te są następnie wykorzystywane w metodologii oceny [ 121, RIZA, 1998 r. ], która określa wpływ dodatków na środowisko wodne. Mogą być stosowane tylko te dodatki, które uzyskały pozytywną ocenę lub są zatrzymywane z zastosowaniem odpowiedniej techniki.

#### 6.2.2.4 Zapotrzebowanie na energię

Papiernie przerabiające makulaturę na papier i tekturę potrzebują znacznych ilości pary do podgrzewania wody, masy, powietrza i dodatków chemicznych do temperatury wymaganej do przeprowadzenia procesu, a przede wszystkim do suszenia papieru. Ponadto potrzebne są znaczne ilości energii elektrycznej do napędu maszyn, pomp, wytwarzania próżni, wentylacji i oczyszczania ścieków. W papierniach energia stanowi główny składnik kosztów operacyjnych. Ponieważ włókna wtórne przeszły już przez urządzenia do przygotowania masy na etapie produkcji papieru pierwotnego, rozwłóknianie makulatury wymaga stosunkowo mniejszych nakładów energii do przerobu, niż potrzeba do przeprowadzenia rozwłókniania chemicznego, a w szczególności rozwłókniania mechanicznego.

W papierniach przerabiających makulaturę para jest zwykle wytwarzana na miejscu. Istnieje również możliwość zakupu energii elektrycznej z sieci publicznej. Papiernie mają zwykle zapotrzebowanie zarówno na parę, jak i energię elektryczną, co sprzyja prowadzeniu elektrociepłowni (CHP) (por. pkt 2.6.1.2.2). Bywa, że elektrociepłownie papierni wytwarzają więcej energii elektrycznej, niż w rzeczywistości potrzeba do przeprowadzenia procesu produkcyjnego. Nadmiar energii elektrycznej może być dostarczany do sieci publicznej.

W tab. 6.4 zestawiono pewne szczegółowe dane liczbowe dotyczące zużycia energii na przygotowanie masy z makulatury do produkcji bibułki higienicznej i papieru gazetowego. Dotyczą one tylko

przygotowania masy, nie zaś maszyny papierniczej. Dane dotyczące maszyny papierniczej znajdują się w pkt 7.2.2.4 poświęconym zapotrzebowaniu na energię. Wszystkie dane odnoszą się do urządzeń z 1998 r. i koncepcji układu przygotowania masy dla układów o wysokiej jakości. Wartości przedstawiają rzeczywiste przykłady układów przygotowania masy (*Źródło*: Valmet, obecnie Metso). Wybrane koncepcje procesu na ogół różnią się do pewnego stopnia między poszczególnymi zakładami. Główne części składowe układów są jednak potrzebne w każdej papierni przetwarzającej makulaturę. W związku z tym mogą one stanowić wskazówkę, co do zakresu zapotrzebowania na energię, jakiego można oczekiwać dla tego rodzaju papierni przetwarzających makulaturę. Więcej danych na ten temat przedstawiono w tab. 6.4, w której znajdują się szersze zakresy zużycia energii w produkcji papieru gazetowego i bibułki higienicznej.

**Tabela 6. 4 Rzeczywiste przykłady zużycia energii w produkcji bibułki higienicznej i papieru gazetowego z makulatury**

Parametry techniczne	Bibułka higieniczna z odbarwionej masy makulaturowej (200 t/dobę)	Papier gazetowy z odbarwionej masy makulaturowej (1 000/dobę)
<b>Surowiec</b>	Stare czasopisma/mieszana makulatura biurowa	Stary papier gazetowy/stare czasopisma
<b>Uzysk (stosunek ilości produktu papierowego do wykorzystanego surowca)</b>	55 – 60 %	80 %
<b>Jednostkowe zużycie energii ogółem (szacunkowe)</b>	230 kWh/t odbarwionej masy makulaturowej <sup>(1)</sup> W innym zakładzie odnotowano 380 kWh/t w produkcji bibułki higienicznej z odbarwionej masy makulaturowej	300 kWh/t odbarwionej masy makulaturowej <sup>(2)</sup>
<b>Jednostkowe zużycie pary o niskim ciśnieniu ogółem</b>	0,3 t pary/t odbarwionej masy makulaturowej	0,3 t pary/t odbarwionej masy makulaturowej
<b>Jednostkowe zapotrzebowanie na energię dla głównych procesów jednostkowych</b>		
Przenośnik zasilający	1 kWh/t odbarwionej masy makulaturowej	0,4 kWh/t
Rozwłóknianie wysokostężeniowe <sup>(1)</sup>	39 kWh/t odbarwionej masy makulaturowej (wysokostężeniowe rozwłóknianie ciągłe z sortowaniem zgrubnym)	16 kWh/t (rozwłókniacz bębnowy)
Sortowanie zgrubne	Niewymagane	18,5 kWh/t
Sortownik średniostężeniowy	Energia pompowania	Energia pompowania
Usuwanie piasku (piasecznik)	Energia pompowania	Energia pompowania
Sortowanie drobne	17 kWh/t odbarwionej masy makulaturowej	22 kWh/t
Flotacja I	18 kWh/t odbarwionej masy makulaturowej	33 kWh/t
Filtr myjący I	8 kWh/t odbarwionej masy makulaturowej	Bez mycia
Filtr tarczowy (zagęszczanie) Dyspergowanie (z zagęszczaniem)	Niewymagane 55 kWh/t odbarwionej masy makulaturowej <sup>(2)</sup>	1 kWh/t 67 kWh/t <sup>(2)</sup>
Flotacja drobnopęcherzykowa	Brak danych (trudno obliczyć w kWh/t odbarwionej masy makulaturowej)	Brak danych (trudno obliczyć w kWh/t odbarwionej masy makulaturowej)

Flotacja II	5 kWh/t odbarwionej masy makulaturowej	19 kWh/t
Filtr myjący II	10 kWh/t odbarwionej masy makulaturowej	Bez mycia
Prasa do osadu	Brak danych (nie stanowi głównego wyposażenia)	Brak danych (nie stanowi głównego wyposażenia)
Wszystkie pompy	Nieujęte <sup>(3)</sup>	91 kWh/t <sup>(4)</sup>
<p>Uwaga: Wartości są zwykle podawane w kW mocy zainstalowanej. W przypadku wyliczenia jednostkowego zużycia energii na podstawie tych danych, należy założyć pewne przybliżenie do sytuacji rzeczywistej.</p> <p>(<sup>1</sup>) Wysokostężeniowe rozwłóknianie ciągłe; w wielu zakładach stosuje się standardowe rozwłóknianie wysokostężeniowe okresowe, którego zapotrzebowanie na energię jest wyższe.</p> <p>(<sup>2</sup>) Podane wartości przedstawiają dane liczbowe będące raczej poniżej średniej. W przypadku najwyższej jakości, w niektórych zakładach powszechne jest zużycie do 70 – 80 kWh/t. Zapotrzebowanie na energię elektryczną do zagęszczania i dyspergowania podawane jest zazwyczaj na poziomie 85 – 90 kWh/t (por. dane liczbowe poniżej).</p> <p>(<sup>3</sup>) W wyposażeniu do przygotowania masy do wyrobu bibułki higienicznej nie uwzględniono pomp i mieszadeł.</p> <p>(<sup>4</sup>) Poza pompami w układzie flotacji uwzględniono wszystkie pompy i mieszadła.</p>		

Zużycie energii zależy od zastosowanych surowców, układu przygotowania masy, zainstalowanych urządzeń oraz właściwości produktu, jakie należy osiągnąć (inne, bardziej typowe przykłady przedstawiono w tab. 6.1 i w dalszej części niniejszego punktu).

Porównując dane liczbowe dotyczące zużycia energii należy pamiętać o aspektach wymienionych poniżej (por. pkt 2.5.1).

- Uzysk z procesu różni się w zależności od wykorzystanych surowców i produktu końcowego, który należy wytworzyć.
- Państwo i obszar, z których pozyskuje się makulaturę w znacznym stopniu wpływają na jakość surowca.
- W związku z niższą jakością makulatury, niektóre papiernie muszą podejmować dodatkowe działania w układzie przygotowania masy.
- Przedstawiając dane dotyczące zużycia energii zwykle uwzględnia się tylko główne wyposażenie, tzn. pompy i mieszadła nie zawsze stanowią część tego układu. Niemniej jednak są one istotne z punktu widzenia zapotrzebowania na energię.
- Udział pomp i mieszadeł w całkowitej zainstalowanej mocy wynosi od 20 % do 30 %. Koncepcje procesu zakładające ograniczenie liczby pomp przynoszą – pod względem energetycznym – efekt odwrotny do zamierzonego. W przedstawionym w tab. 6.4 przykładzie dotyczącym papieru gazetowego produkowanego z makulatury, udział pomp w zapotrzebowaniu na energię ogółem wynosi 30 %.
- Nie uwzględniono również peryferyjnych podsystemów wody, osadów i odrzutów, takich jak flotacja drobnopęcherzykowa, prasy ślimakowe do odrzutów, czy prasy do osadów, ponieważ nie są one uważane za główne wyposażenie. Zapotrzebowanie tych urządzeń na energię powinno być dodane do podanych danych liczbowych.
- Istnieje różnica między zainstalowaną mocą (główne wyposażenie), a średnim zapotrzebowaniem na moc, która jest rzeczywiście wykorzystywana. Rzeczywiste zużycie mocy z reguły stanowi 70 – 75 % zainstalowanej mocy. Różnica ta zmienia się w zależności od etapu procesu i dostawy wyposażenia.
- Przerób surowca na gotowy produkt często wiąże się z produkcją bibułki higienicznej. Dlatego też wiele wytwórni bibułki higienicznej zalicza zużycie energii w przerobie do zużycia energii ogółem.

Dalsze szczegółowe dane liczbowe dotyczące jednostkowego zapotrzebowania na energię dla procesów jednostkowych w ciągu przygotowania masy podczas przerobu makulatury bez odbarwiania (dwuwarstwowy papier na warstwy płaskie) podano w pkt 6.3.10.3, który poświęcono modernizacji ciągów przygotowania masy.

W tab. 6.5 i 6.6 podano dane dotyczące jednostkowego zużycia energii (SEC) i bilansu energetycznego wytwórni produkującej papier gazetowy w 100 % z makulatury. Zużycie energii jest podzielone na ciepło i energię elektryczną. Przykład odnosi się do szwedzkiego zakładu o zdolności produkcyjnej papieru gazetowego wynoszącej 500 000 t/rok.

**Tabela 6. 5** Jednostkowe zużycie energii w zintegrowanym szwedzkim zakładzie o zdolności produkcyjnej papieru gazetowego z odbarwionej masy makulaturowej wynoszącej 500 000 t/rok (w 1995 r.)

Instalacja	Para technologiczna [MJ/TSP]	Energia elektryczna [kWh/TSP]
<b>Wytwórnia masy</b>		
Odbarwianie	200	175
Mycie i sortowanie	0	50
Bielenie	0	75
<b>Wytwórnia masy ogółem</b>	<b>200</b>	<b>300</b>
Przygotowanie masy	0	235
Maszyna papiernicza	5 300	350
<b>Papiernia ogółem</b>	<b>5 300</b>	<b>585</b>
<b>Oczyszczanie ścieków</b>	<b>0</b>	<b>32</b>
<b>Wytwórnia masy i papiernia ogółem</b>	<b>5 500</b>	<b>917</b>

*Źródło:* [ 130, Sprawozdanie SEPA, 1997 r. ]

W tab. 6.6 przedstawiono dane liczbowe dotyczące bilansu energetycznego tego samego zakładu.

**Tabela 6. 6** Bilanse energetyczne dwóch zintegrowanych wytwórni produkujących papier gazetowy z makulatury o zdolności produkcyjnej wynoszącej 500 000 t/rok oraz 250 000 t/rok

Oddział	Ciepło [MJ/TSP]	Energia elektryczna (kWh/TSP)
<b>Wytwórnia masy</b>		
Generator turbinowy	0	0
Dostawy zewnętrzne	+ 200	+ 332
Zużycie	- 200	- 300
Oczyszczanie ścieków	0	- 32
<b>Nadmiar energii z wytwórni</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>Papiernia</b>		
Zużycie	- 5 300	- 585
Dostawy zewnętrzne	+ 5 300	+ 585
<b>Dostawy zewnętrzne ogółem</b>	<b>5 500</b>	<b>917</b>

*Źródło:* [ 130, Sprawozdanie SEPA, 1997 r. ]

W tab. 6.7 i 6.8 przedstawiono dane dotyczące jednostkowego zużycia energii dla całych papierni przerabiających makulaturę, które uzyskano z ankiet wypełnionych przez operatorów niemieckich papierni przerabiających makulaturę. Dane odnoszą się do całego zakładu, tzn. obejmują przerób makulatury, maszynę papierniczą i działania wspomagające, takie jak oczyszczanie wody surowej i ścieków. Nie określono, które środki służące oszczędzaniu energii zostały wdrożone w zakładach. Interpretując te dane należy w szczególności zwrócić uwagę na aspekty omówione w pkt 2.5. Oprócz zastosowanych środków służących oszczędzaniu energii, zużycie energii zależy także od wykorzystanej zawiesiny włóknistej oraz od wytwarzanych produktów i ich jakości. Dlatego też interpretacja wartości dotyczących jednostkowego zużycia energii w całych papierniach przerabiających makulaturę jest jeszcze trudniejsza.

Tabela 6. 7 Dane dotyczące jednostkowego zużycia energii w niemieckich papierniach przerabiających makulaturę bez odbarwiania (rok referencyjny: 2006; rok referencyjny w szczególności dla wiersza tabeli dotyczącego papieru gazetowego: 2011)

Produkowana klasa papieru	Ciepło technologiczne (kWh/t) <sup>(1)</sup>	Energia elektryczna (kWh/t)	Energia ogółem (kWh/t)	Wykorzystanie włókien
Tektura na pudełka składane	1 447	420	1 867	100 % makulatury
Tektura na pudełka składane	1 492	468	1 960	85 % makulatury, 10 % masy mechanicznej, 5 % zakupionej masy chemicznej
Tektura na pudełka składane	1 535	490	2 025	94 % makulatury, 4 % masy mechanicznej, 2 % zakupionej masy chemicznej
Warstwa pofalowana i płaska tektury falistej, karton	1 223	372	1 595	100 % makulatury
Warstwa pofalowana tektury falistej, tektura	1 667 2 676	366 660	2 033 3 336	98 % makulatury, 2 % zakupionej masy chemicznej
Tektura na pudełka składane	1 140	545	1 685	100 % makulatury
Warstwa płaska tektury falistej	1 414	355	1 769	100 % makulatury
Warstwa pofalowana tektury falistej	1 214	461	1 675	100 % makulatury
Warstwa płaska i pofalowana tektury falistej	1 758	500	2 258	100 % makulatury
Warstwa płaska i pofalowana tektury falistej	1 184	432	1 616	100 % makulatury
Warstwa płaska i pofalowana tektury falistej	1 566	399	1 965	100 % makulatury

<sup>(1)</sup> W danych liczbowych dotyczących zużycia ciepła nie uwzględniono ciepła do produkcji energii elektrycznej. Aby przeliczyć (kWh) na (MJ), należy pomnożyć (kWh) przez 3,6.  
Źródło: [ 248, Hamm, 2007 r. ]

Tabela 6. 8 Dane dotyczące jednostkowego zużycia energii w niemieckich papierniach przerabiających makulaturę z odbarwianiem (rok referencyjny: 2011)

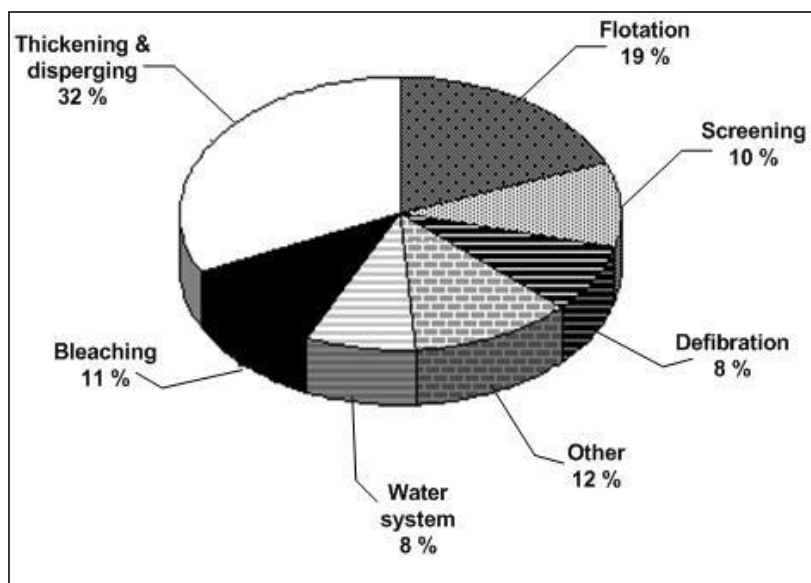
Produkowana klasa papieru	Ciepło technologiczne (kWh/t) <sup>(2)</sup>	Energia elektryczna (kWh/t)	Energia ogółem (kWh/t)	Wykorzystanie włókien
---------------------------	--	-----------------------------	------------------------	-----------------------



Papier gazetowy, papier SC	1 146	927	2 073	100 % makulatury
Głównie papier gazetowy	1 232	959	2 191	100 % makulatury
Papier gazetowy	1 113	1 285	2 398 <sup>(1)</sup>	85 % makulatury, 15 % ścieru
Papier gazetowy, papier SC	1 400	1 430	2 830 <sup>(1)</sup>	52 % makulatury, 42 % masy mechanicznej z młyna, 6 % zakupionej masy chemicznej
Bibułka higieniczna	1 600	1 000	2 600	75 % makulatury, 25 % zakupionej masy chemicznej
Bibułka higieniczna	2 793	1 377	4 170	Nieznany udział makulatury i zakupionej masy chemicznej
Bibułka higieniczna	1 942	758	2 700	Nieznany udział makulatury i zakupionej masy
Bibułka higieniczna	2 589	1 158	3 747	Nieznany udział makulatury i zakupionej masy
<sup>(1)</sup> Należy zauważyć, że jednostkowe zużycie energii w papierniach przerabiających makulaturę jest wprost proporcjonalne do udziału i rodzaju masy mechanicznej w zawieszynie. Przerób masy mechanicznej z młyna i ścieru wymaga znacznie więcej mocy, niż przerób makulatury. <sup>(2)</sup> W danych liczbowych dotyczących zużycia ciepła nie uwzględniono ciepła do produkcji energii elektrycznej. Aby przeliczyć (kWh) na (MJ), należy pomnożyć (kWh) przez 3,6. Źródło: [248, Hamm, 2007 r.]				

Zasadniczo zużycie energii w procesie przerobu makulatury zależy w dużej mierze od przebiegu, rodzaju i liczby etapów procesu potrzebnych do uzyskania określonej jakości produktu. Z większym zużyciem energii wiąże się w szczególności poprawa jasności i ograniczenie liczby drobnych zanieczyszczeń. Na przykład, podczas gdy w procesie standardowego odbarwiania masy zużywa się ok. 300 – 350 kWh/t energii elektrycznej, wytwarzanie wysokiej jakości odbarwionej masy do produkcji papieru gazetowego o wyższej jasności (według ISO) wymaga 400 – 500 kWh/t. Ten znaczny wzrost zapotrzebowania na energię wynika z włączenia etapu bielenia nadtlakiem z dyspergatorem i dodatkową flotacją wtórną do wytwarzania ulepszanego papieru gazetowego w miejsce standardowego.

Na ryc. 6.11 przedstawiono udział głównych instalacji w jednostkowym zużyciu energii na przerób makulatury w wytwórni papieru gazetowego. Flotacja obejmuje dwa etapy; na sortowanie składa się sortowanie wstępne i sortowanie wtórne; w części „pozostałe” uwzględniono wentylację, suszarkę do części odbarwionej masy makulaturowej, układy klarowania wody itp.; układ wodny nie obejmuje klarowania wody. Bielenie jest prowadzone w dyspergatorze.



Rysunek 6. 11 Jednostkowe zużycie energii na przerób makulatury w wytwórni papieru gazetowego

Thickening & dispersing 32 %	Zagęszczanie i dyspergowanie 32 %
Flotation 19 %	Flotacja 19 %
Screening 10 %	Sortowanie 10 %
Defibration 8 %	Rozwłóknianie 8 %
Other 12 %	Pozostałe 12 %
Water system 8 %	Układ wodny 8 %
Bleaching 11 %	Bielenie 11 %

Z ryc. 6.11 przedstawiającej zużycie energii na głównych etapach procesu wynika, że około jednej trzeciej energii zużywa się na zagęszczanie i dyspergowanie. W odniesieniu do niektórych instalacji odnotowano następujące zużycie energii: rozwłókniacz konwencjonalny: 25 – 80 kWh/t, rozwłókniacz bębnowy: 15 – 20 kWh/t, rozwłókniacz wtórny: 15 – 40 kWh/t [ UBA, 19/1994 ]. Zużycie energii na przeprowadzenie zagęszczania przed dyspergowaniem wynosi ok. 30 kWh/t. Ogrzewanie zawiesiny do 90 °C i praca dyspergatora wymagają ok. 60 – 100 kWh/t. Do przeprowadzenia flotacji potrzeba ok. 27 – 33 kWh/t. Zużycie energii w procesie flotacji zależy od liczby komór flotacyjnych, konstrukcji rurociągów w zakładzie oraz rodzaju zastosowanych wtryskiwaczy powietrza. Prasy sitowe i prasy ślimakowe do odwadniania masy zużywają ok. 10 kWh/t.

W danych dotyczących zużycia energii elektrycznej zazwyczaj nie uwzględnia się działań przetwórczych. W niektórych wytwórniach bibułki higienicznej zalicza się je jednak do odnotowywanych wartości zużycia energii, ponieważ przerób surowca na gotowy produkt wiąże się najczęściej z produkcją bibułki higienicznej. Dlatego też często niejasne jest, czy wytwórnie bibułki higienicznej uwzględniają zużycie energii na procesy przerobu w zgłaszanych danych dotyczących energii, przez co interpretacja tych danych jest jeszcze trudniejsza. Inne papiernie nigdy nie uwzględniają takiego zużycia w zgłaszanych danych dotyczących energii.

### 6.2.2.5 Emisje ścieków

Emisje ścieków z papierni przerabiających makulaturę są uzależnione od jakości surowców (makulatury), wymagań, które produkt musi spełnić oraz od zastosowanego układu oczyszczania ścieków. Stosowane dodatki chemiczne, wewnętrzne zarządzanie procesem, dobre gospodarowanie oraz stan techniczny instalacji również wywierają wpływ na uzyskiwane poziomy emisji.

Ścieki z papierni przerabiających makulaturę to przede wszystkim nadmiar wody z maszyny papierniczej lub ciągu przygotowania masy. Powszechną praktyką jest odprowadzanie ścieków w miejscach, w których woda obiegowa jest najbardziej zanieczyszczona (np. filtrat z odwadniania

osadów z odbarwiania). Woda obiegowa jest zanieczyszczana podczas oczyszczania, odbarwiania i wyławiania włókien. Do ścieków z papierni przerabiających makulaturę zalicza się:

- wodę z procesu oddzielania odrzutów w sortownikach sitowych i odśrodkowych;
- filtry z filtrów myjących, zagęszczarek i obróbki osadów;
- nadmiar wody podsitowej, w zależności od tego, jak często woda jest zawracana do układu.

Ścieki z większości zakładów są odprowadzane bezpośrednio do wód powierzchniowych po oczyszczeniu biologicznym na miejscu. Ścieki z innych zakładów są odprowadzane do komunalnej oczyszczalni ścieków po wstępnym klarowaniu mającym na celu usunięcie zawiesiny. W tab. 6.9 zestawiono dane dotyczące średnich wartości emisji do wody, wyłącznie po wstępnym oczyszczeniu ścieków z papierni przerabiających makulaturę, które odprowadzają ścieki do komunalnych oczyszczalni. Dane pochodzą z pomiarów przeprowadzonych przez właściwe organy ds. inżynierii wodnej oraz pomiarów własnych wykonanych przez zakłady w 1994/95 r.

**Tabela 6.9 Średnie emisje do wody z papierni przerabiających makulaturę po wstępnym oczyszczeniu ścieków i przed odprowadzeniem do oczyszczalni komunalnej**

Parametr	Bez odbarwiania		Z odbarwianiem	
	mg/l (min. – maks.)	kg/t (min. – maks.)	mg/l (min. – maks.)	kg/t (min. – maks.)
BZT <sub>5</sub> <sup>(1)</sup>	1 900	4,7	550	10
ChZT	3 800 (570 – 9 000)	9,4 (1,2 – 24)	1 100 (440 – 1 900)	20 (7 – 40)
Kjeldahl-N <sup>(2)</sup>	16 (10 – 40)	0,05 (0,02 – 0,1)	20 (13 – 25)	0,35 (0,19 – 0,62)
Objętość odprowadzanych ścieków		5,5 (0,4 – 15,5) m <sup>3</sup> /t		15 (9 – 39) m <sup>3</sup> /t <sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Wartość BZT<sub>5</sub> oszacowano przy założeniu, że ChZT = 2\*BZT<sub>5</sub>.

<sup>(2)</sup> Zawartość azotu określona metodą Kjeldahla jest sumą azotu organicznego i nieorganicznego. Część azotu organicznego może ulegać hydrolizie podczas oczyszczania ścieków; uzyskany azot w formie amonowej jest substancją odżywcza dla biomasy w oczyszczalni ścieków.

<sup>(3)</sup> W 2011 r. najmniejsza objętość odprowadzanych ścieków wyniosła 6 m<sup>3</sup>/t (Źródło: Stora Enso).

Źródło: [ 23, Holenderski dokument referencyjny dotyczący najlepszych dostępnych technik, 1996 r. ]

W tab. 6.10 przedstawiono dane dotyczące emisji przed przeprowadzeniem oczyszczania biologicznego na miejscu i po nim. Dane pochodzą z pomiarów przeprowadzonych przez właściwe organy ds. inżynierii wodnej oraz pomiarów własnych wykonanych przez zakłady w 1994/95 r.

**Tabela 6.10 Średnie emisje do wody z papierni przerabiających makulaturę, które odprowadzają ścieki do zbiorników wodnych po oczyszczeniu wstępnym i biologicznym na miejscu**

Parametr	Bez odbarwiania		Z odbarwianiem	
	mg/l (min. – maks.)	kg/t (min. – maks.)	mg/l (min. – maks.)	kg/t (min. – maks.)
BZT <sub>5</sub> przed oczyszczeniem <sup>(1)</sup>	1 800 <sup>(2)</sup>	12,3	770 <sup>(2)</sup>	8,3
BZT <sub>5</sub> po oczyszczeniu	10 (3 – 28)	0,06 (0,01 – 0,13)	9	0,09
ChZT przed oczyszczeniem <sup>(1)</sup>	3 200 <sup>(2)</sup>	22	1 900 <sup>(2)</sup>	21
ChZT po oczyszczeniu	150 (60 – 270)	0,77 (0,29 – 1,12)	290	3,1
Kjeldahl-N <sup>(3)</sup>	5,6 (3 – 13)	0,03 (0,01 – 0,04)	7,8	0,08
Pogótem	1,5 (0,5 – 1,8)	0,01	Brak danych	Brak danych
Ilość zawiesiny ogólnej	25 (17 – 40)	0,13 (0,06 – 0,21)	Brak danych	Brak danych

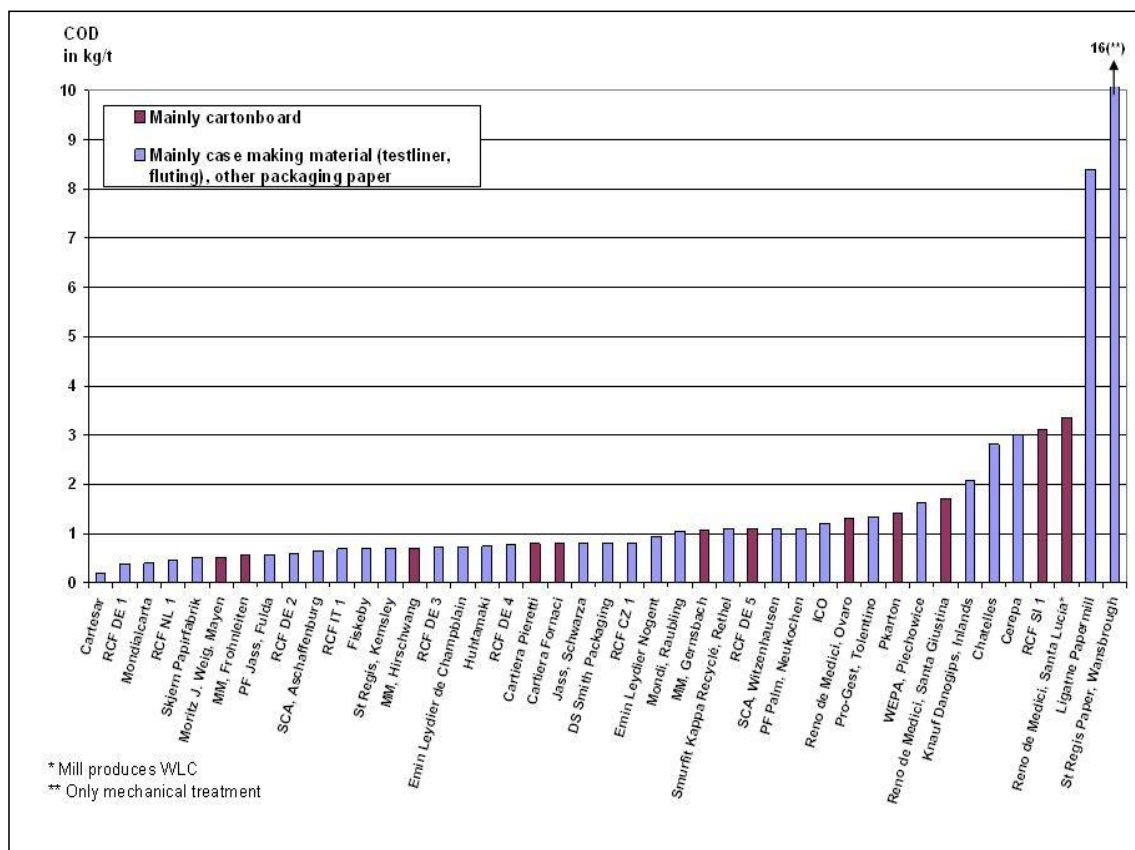
<b>Objętość odprowadzanych ścieków</b>		5,7 (3,1 – 11) m <sup>3</sup> /t		11 m <sup>3</sup> /t
<p>(1) Dane dotyczące doprowadzania BZT były niedostępne. W związku z tym dane te obliczono w oparciu o dane dotyczące ładunku ścieków z jednego zakładu bez odbarwialni oraz z jednego – z odbarwialnią.</p> <p>(2) Doświadczenia Myllykoski z 2011 r. w odniesieniu do papierni przetwarzających makulaturę z odbarwianiem wskazują na to, że również odnotowuje się wyższe wartości BZT<sub>5</sub> i ChZT przed oczyszczeniem: BZT<sub>5</sub> przed oczyszczeniem: 770 – 1 150 mg/l, ChZT przed oczyszczeniem: 1 900 – 2 800 mg/l. Podobne doświadczenia były zgłaszane przez Mondi Austria w 2011 r. w odniesieniu do papierni przetwarzających makulaturę bez odbarwiania: BZT przed oczyszczeniem: 3 750 mg/l, ChZT przed oczyszczeniem: 6 250 mg/l.</p> <p>(3) Zawartość azotu określona metodą Kjeldahla po oczyszczeniu ścieków jest jedynie wskaźnikiem ilości azotu organicznego w ściekach i nie obejmuje całkowitego ładunku azotu, na który składają się utlenione związki azotu, azotany i azotyny.</p>				

### Chemiczne zapotrzebowanie tlenu (ChZT)

Emisje ChZT pochodzą z przerobu surowców oraz wprowadzania dodatków chemicznych, które nie są zatrzymywane w papierze. Odbarwianie (i bielenie) makulatury uwalnia często wyższe emisje ChZT, niż w przypadku papierni przerabiających makulaturę bez odbarwiania.

Na ryc. 6.12 i 6.13 przedstawiono jednostkowy ładunek ChZT w postaci średniorocznych wartości po oczyszczeniu ścieków z papierni przerabiających makulaturę z odbarwianiem i bez odbarwiania.

Ponad połowa papierni przerabiających makulaturę bez odbarwiania, które wzięły udział w ankietach Europejskiego Biura IPPC, odprowadza poniżej 1 kg ChZT/t, a tylko pięć zakładów odprowadza ładunki substancji organicznych powyżej 1,5 kg ChZT/t w ujęciu średniorocznym. Niektóre papiernie z tej grupy zakładów wykorzystują całkowicie zamknięty obieg wodny, eliminując wytwarzanie ścieków. Ich operatorzy nie wypełnili jednak ankiety, dlatego nie zostały one uwzględnione na ryc. 6.12. Uwzględnienie tych zakładów obniżyłoby średni jednostkowy ładunek ChZT odprowadzany z tych zakładów.



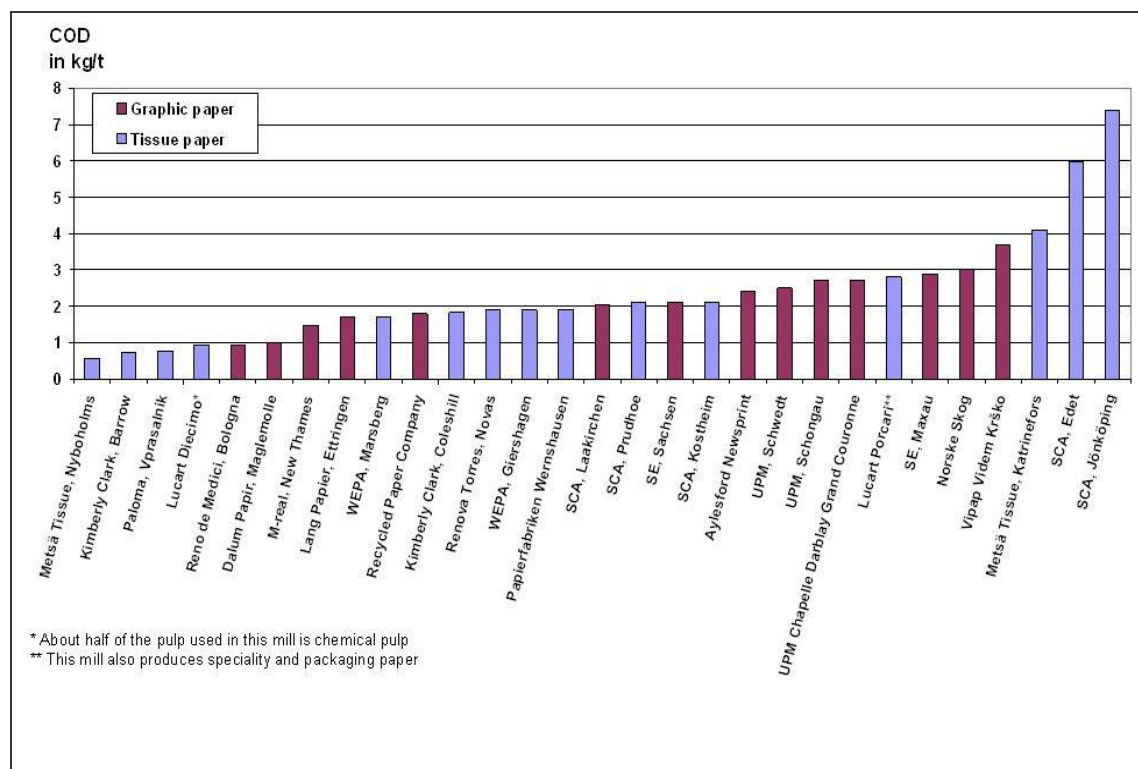
**Rysunek 6. 12** Jednostkowy ładunek ChZT w ujęciu średniorocznym po oczyszczeniu ścieków z papierni przerabiających makulaturę bez odbarwiania

<b>COD in kg/t</b>	<b>ChZT (kg/t)</b>
Mainly cartonboard	Głównie karton
Mainly case making material (testliner, fluting), other packaging paper	Głównie papier na tekturę falistą (warstwy płaskie tektury falistej, papier flutingowy), inny papier opakowaniowy
* Mill produces WLC	* Zakład produkuje tekturę makulaturową z białym pokryciem
** Only mechanical treatment	** Tylko oczyszczanie mechaniczne

Pośród papierni przerabiających makulaturę bez odbarwiania największą grupę stanowią zakłady wytwarzające papier na tekturę falistą (warstwy płaskie i pofalowane tektury falistej oraz papier flutingowy). Drugą co do wielkości grupę stanowią zakłady wytwarzające kartony lub tektury na pudełka składane. W produkcji kartonu wykorzystuje się różne gatunki makulatury i ciągi przygotowania masy w zależności od rodzaju produkowanej warstwy końcowego kartonu wielowarstwowego. Jedną z nich (np. warstwa wierzchnia) może składać się z odbarwionych włókien wtórnych. Poziomy emisji do wody związane z zastosowaniem najlepszych dostępnych technik w tych zakładach są jednak na tym samym poziomie, co emisje z innych papierni przerabiających makulaturę bez odbarwiania, które zostały uwzględnione na ryc. 6.12.

Istnieją przykłady papierni przetwarzających makulaturę na tekturę na pudełka składane, w których stosuje się procesy odbarwiania, aby osiągnąć wyższą jakość produktów wytwarzanych z makulatury niższej jakości. Zakłady te oraz wszelkie inne klasy kartonu produkowanego przede wszystkim z zastosowaniem odbarwiania (> 50 % odbarwionej masy) powinny zostać odniesione do zakładów przedstawionych na ryc. 6.13.

Jak widać na ryc. 6.13, ponad połowa papierni przerabiających makulaturę z odbarwianiem, które wzięły udział w ankietach, odprowadza poniżej 2,5 kg ChZT/t, a tylko cztery zakłady odprowadzają ładunki organiczne powyżej 3 kg ChZT/t w ujęciu średniorocznym. Podobne wyniki osiągają papiernie przerabiające makulaturę na papier graficzny i bibułkę higieniczną.



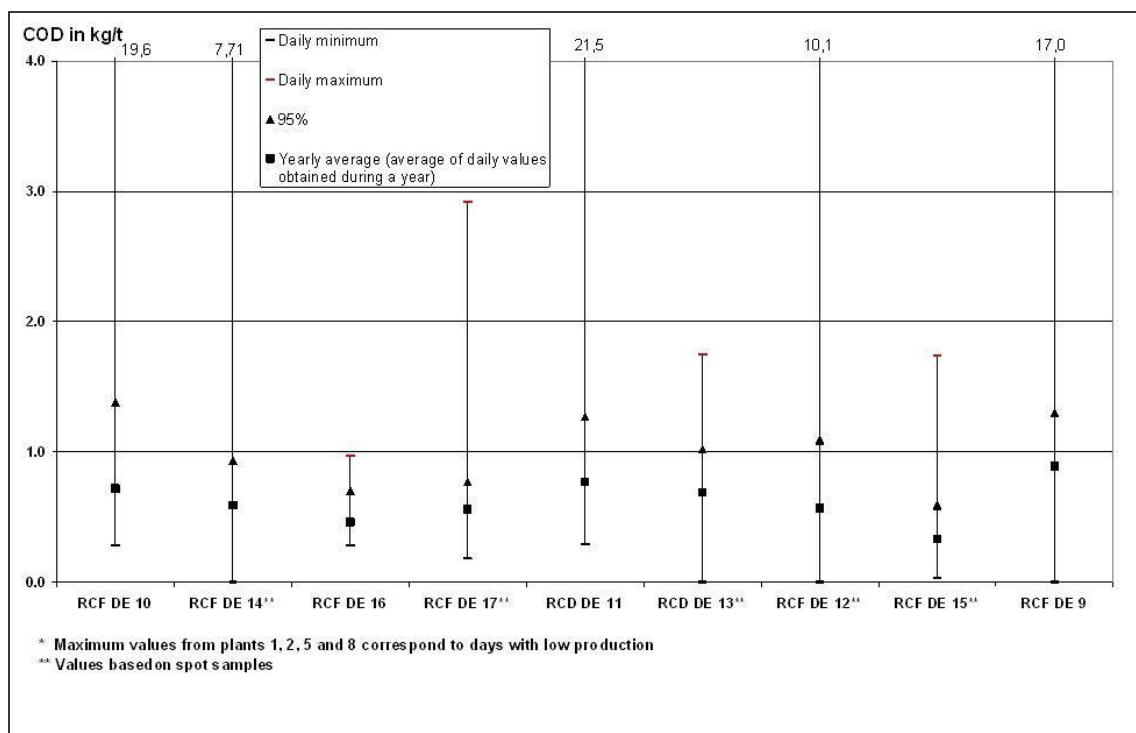
Rysunek 6.13 Jednostkowy ładunek ChZT w ujęciu średniorocznym po oczyszczeniu ścieków z papierni przerabiających makulaturę z odbarwianiem

COD in kg/t	ChZT (kg/t)
Graphic paper	Papier graficzny
Tissue paper	Papier na bibułkę higieniczną
* About half of the pulp used in this mill is chemical pulp	* Około połowę masy stosowanej w tym zakładzie stanowi masa chemiczna
** This mill also produces speciality and packaging paper	** Zakład ten produkuje także papier specjalistyczny i opakowaniowy

Zawiesina stosowana w wytwórniach papieru graficznego składa się głównie z włókien wtórnych i w niektórych przypadkach ze zintegrowanej wytworzonej masy mechanicznej (np. masy termomechanicznej, ścieru). Natomiast zawiesina stosowana w papierniach przerabiających makulaturę na bibułkę higieniczną składa się przede wszystkim z włókien wtórnych i często z danej zakupionej masy chemicznej. Emisje do wody związane ze stosowaniem najlepszych dostępnych technik wykazują niewielkie różnicowanie między papierniami przerabiającymi makulaturę na papier graficzny i bibułkę higieniczną, z wyjątkiem ilości ścieków (por. ryc. 6.10).

W papierniach przerabiających makulaturę na bibułkę higieniczną występuje możliwość różnicowania udziału makulatury w zawieszynie. Istnieją papiernie produkujące bibułkę higieniczną w 100 % z włókien pierwotnych, jak również inne wykorzystujące w 100 % włókna wtórne oraz wszelkie inne rodzaje mieszanin włókien, tj. z 10 – 100 % udziałem włókien wtórnych. Wyższy udział zakupionej masy chemicznej może spowodować obniżenie emisji ChZT po oczyszczeniu biologicznym w porównaniu do zakładów, które produkują bibułkę higieniczną w 100 % z makulatury.

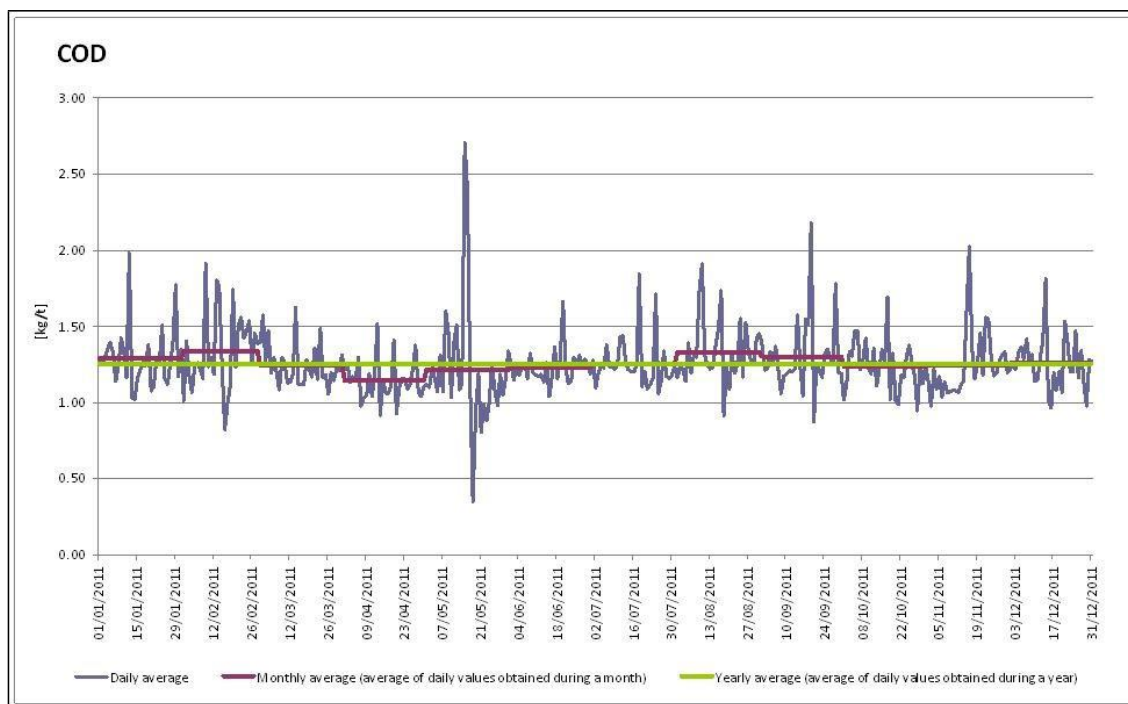
W odniesieniu do krótkookresowych średnich wartości ChZT, wartości krótkookresowe odnotowane w papierniach przerabiających makulaturę bez odbarwiania przedstawiono na ryc. 6.14.



Rysunek 6. 14 Krótkookresowe średnie wartości emisji ChZT z papierni przerabiających makulaturę bez odbarwiania

COD in kg/t	ChZT (kg/t)
Daily minimum	Minimalna dzienna wartość
Daily maximum	Maksymalna dzienna wartość
Yearly average (average of daily values obtained during a year)	Średnia roczna wartość (średnia z wartości dziennych uzyskanych w ciągu roku)
RCF DE	Zakład RCF w Niemczech
RCD DE	Zakład RCD w Niemczech
* Maximum values from plants 1,2,5 and 8 correspond to days with low production	* Maksymalne wartości z zakładów nr 1, 2, 5 i 8 odpowiadają dniom, w których poziom produkcji był niski
** Values based on spot samples	** Wartości oparte na próbkach punktowych

Ponieważ w wyniku procesu gromadzenia danych dotyczących krótkookresowych średnich wartości dla papierni przerabiających makulaturę z odbarwianiem nie uzyskano wystarczającej ilości reprezentatywnych danych, na ryc. 6.15 przedstawiono różne poziomy ładunku ChZT osiągnięte w jednym zakładzie (RCF 18 w Niemczech) w ciągu roku.



Rysunek 6. 15 Dienne ładunki ChZT osiągnięte w ciągu roku w papierni przerabiającej makulaturę z odbarwianiem (RCF 18 w Niemczech)

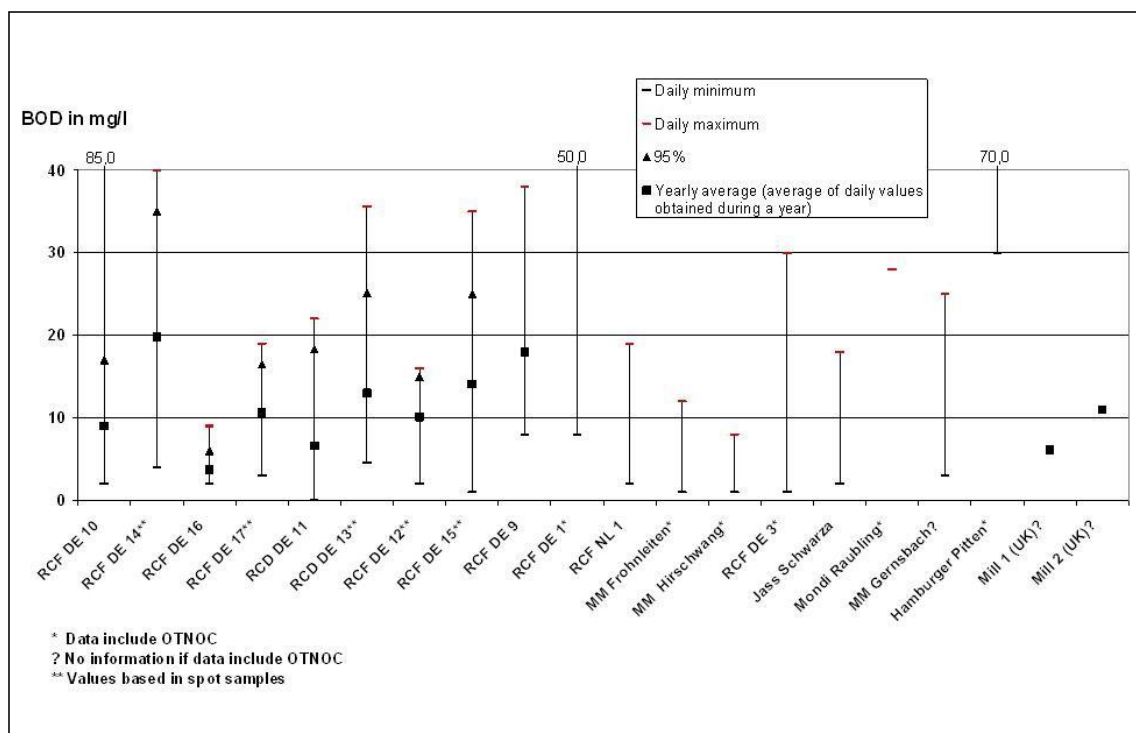
<b>COD</b>	<b>ChZT</b>
Daily average	Średnia dzienna wartość
Monthly average (average of daily values obtained during a month)	Średnia miesięczna wartość (średnia z wartości dziennych uzyskanych w ciągu miesiąca)
Yearly average (average of daily values obtained during a year)	Średnia roczna wartość (średnia z wartości dziennych uzyskanych w ciągu roku)

#### Biologiczne zapotrzebowanie tlenu (BZT<sub>5</sub> lub BZT<sub>7</sub>)

Dane dotyczące emisji BZT<sub>5</sub> po oczyszczeniu biologicznym nie wskazują na znaczne różnice między przerobem makulatury z odbarwianiem i bez odbarwiania. W dobrze pracującej oczyszczalni ścieków stężenia BZT<sub>5</sub> po oczyszczeniu są poniżej 20 mg/l niezależnie od stężenia na doprowadzeniu. Poziomy BZT wynoszące ok. 5 mg/l są trudne do zmierzenia w sposób dokładny i powtarzalny. Należy je interpretować jako wartości bliskie granic wykrywalności. Według doniesień emisje BZT<sub>5</sub> po oczyszczeniu biologicznym kształtują się na poziomie 0,01 – 0,13 kg/t papieru i kartonu [23, Holenderski dokument referencyjny dotyczący najlepszych dostępnych technik, 1996 r.]. Różnice w jednostkowym ładunku BZT są spowodowane głównie zróżnicowaniem strumienia wody.

Na ryc. 6.16 przedstawiono krótkookresowe średnie wartości emisji BZT z papierni przerabiających makulaturę bez odbarwiania.

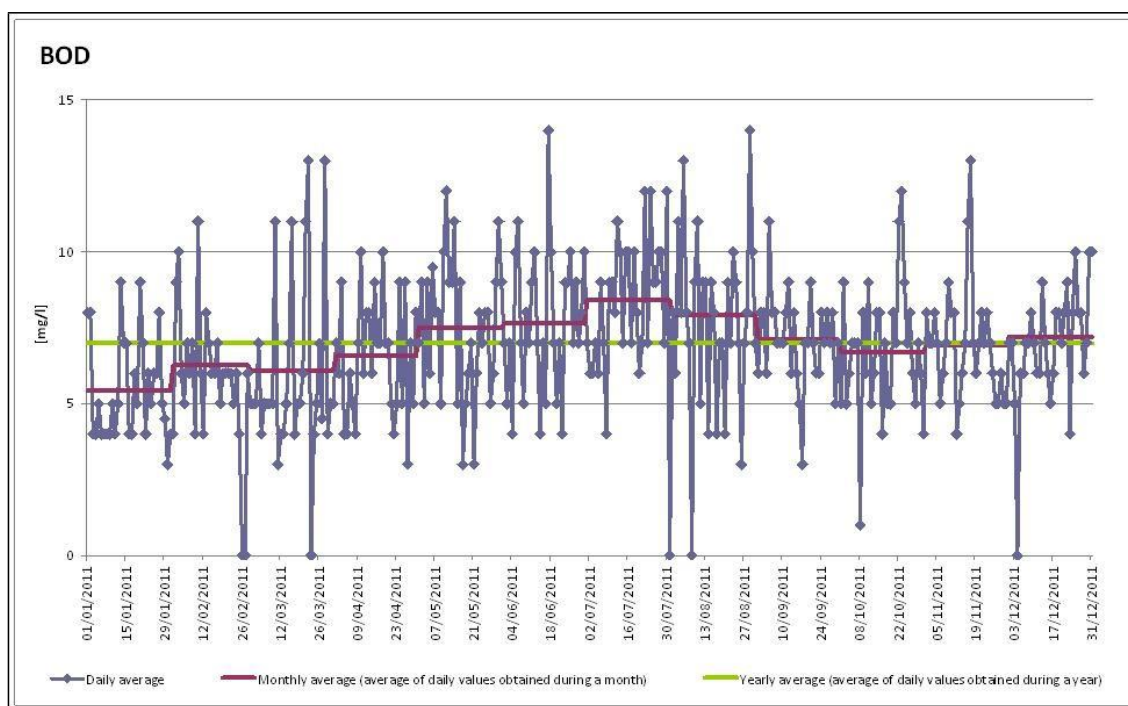




Rysunek 6. 16 Krótkookresowe średnie wartości emisji BZT z papierni przetwarzających makulaturę bez odbarwiania

<b>BOD in mg/l</b>	<b>BZT (mg/l)</b>
Daily minimum	Minimalna dzienna wartość
Daily maximum	Maksymalna dzienna wartość
Yearly average (average of daily values obtained during a year)	Średnia roczna wartość (średnia z wartości dziennych uzyskanych w ciągu roku)
* Data include OTNOC	* Dane obejmują inne niż normalne warunki pracy
? No information if data include OTNOC	? Brak informacji o tym, czy dane obejmują inne niż normalne warunki pracy
** Values based in spot samples	** Wartości oparte na próbkach punktowych

Ponieważ w wyniku procesu gromadzenia danych dotyczących krótkookresowych średnich wartości dla papierni przetwarzających makulaturę z odbarwianiem nie uzyskano wystarczającej ilości reprezentatywnych danych, na ryc. 6.17 przedstawiono różne poziomy dziennych stężeń BZT osiągnięte w jednym zakładzie (RCF 18 w Niemczech) w ciągu roku.



Rysunek 6. 17 Dienne stężenia BZT osiągnięte w ciągu roku w papierni przetwarzającej makulaturę z odbarwianiem (RCF 18 w Niemczech)

<b>COD</b>	<b>BZT</b>
Daily average	Średnia dzienna wartość
Monthly average (average of daily values obtained during a month)	Średnia miesięczna wartość (średnia z wartości dziennych uzyskanych w ciągu miesiąca)
Yearly average (average of daily values obtained during a year)	Średnia roczna wartość (średnia z wartości dziennych uzyskanych w ciągu roku)

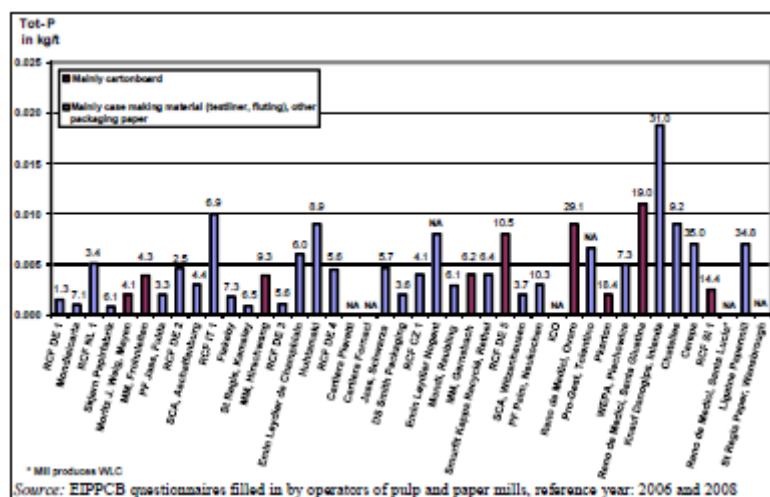
### Substancje odżywcze

Ścieki z papierni przetwarzających makulaturę zawierają przeważnie niskie stężenia substancji odżywczych w postaci azotu i fosforanu. Dlatego też, aby dostarczyć składników odżywczych niezbędnych do rozwoju mikroorganizmów, które są odpowiedzialne za biodegradację zanieczyszczeń organicznych, konieczne jest wprowadzanie kontrolowanych dawek fosforanów i amoniaku do biologicznego oczyszczania ścieków. Aktywna biomasa musi być teoretycznie zasilana substancjami odżywczymi w następującym stosunku:  $BZT_5:N:P = 100:5:1$ . W praktyce często osiąga się niższe dawki składników odżywczych (por. pkt 2.9.11.2.3). W odniesieniu do niektórych zakładów odnotowano jednak, że potrzebne są wyższe dawki, aby zapewnić skuteczne działanie oczyszczalni ścieków pod względem usuwania BZT/ChZT.

Organiczne związki azotu (azot oznaczony metodą Kjeldahla) mogą również pochodzić z niektórych dodatków chemicznych. Podczas biologicznego oczyszczania część z nich może być hydrolizowana do amoniaku i utleniana do azotanów w napowietrzanych zbiornikach. Zakładając, że w celu zapewnienia optymalnego działania układu oczyszczania ścieków dawki wprowadzane są w sposób kontrolowany, można osiągnąć stężenia  $N_{ogółem}$  oraz  $P_{ogółem}$  odpowiednio na poziomie 5 – 15 mg/l i 1 – 2 mg/l (średnie dzienne wartości).

Na ryc. 6.18 i 6.19 przedstawiono jednostkowy ładunek  $P_{ogółem}$  w ujęciu średniorocznym po oczyszczeniu ścieków z papierni przetwarzających makulaturę odpowiednio z odbarwianiem i bez odbarwiania.

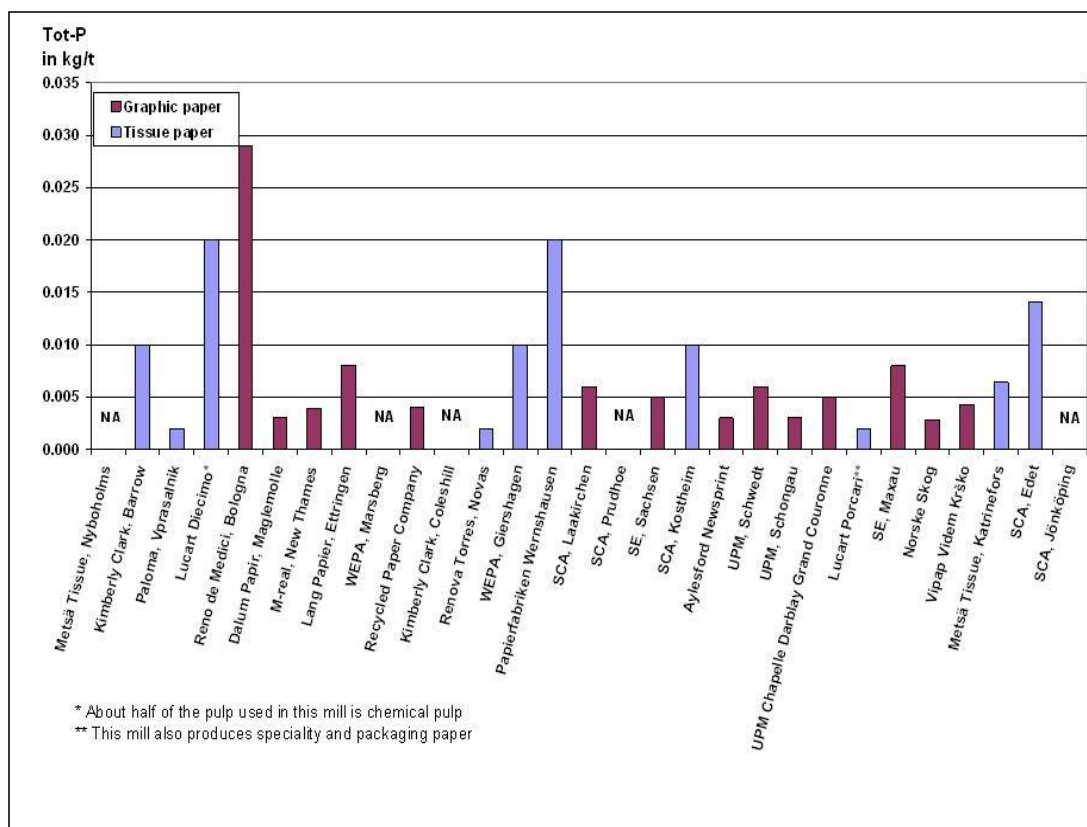
Jak widać na ryc. 6.18, większość papierni przerabiających makulaturę **bez** odbarwiania, które wzięły udział w ankietach Europejskiego Biura IPPC, odprowadza poniżej – lub znacznie poniżej – 0,01 kg  $P_{ogółem}/t$ , np. w czterech zakładach odnotowano średnie roczne wartości na poziomie 0,001 kg  $P_{ogółem}/t$ . Z 24 zakładów, w których także odnotowano wartości stężenia, tylko w trzech przekroczono 1 mg/l  $P_{ogółem}$  w ujęciu średniorocznym (1,12 mg/l; 1,5 mg/l; 1,92 mg/l). W dziewięciu zakładach odnotowano wartości  $P_{ogółem}$  na poziomie  $\leq 0,5$  mg/l w ujęciu średniorocznym.



Rysunek 6. 18 Jednostkowy ładunek  $P_{ogółem}$  w ujęciu średniorocznym po oczyszczeniu ścieków z papierni przerabiających makulaturę bez odbarwiania, z oznaczeniem strumienia ścieków

Tot-P in kg/t	$P_{ogółem}$ (kg/t)
Mainly cartonboard	Głównie karton
Mainly case making material (testliner, fluting), other packaging paper	Głównie papier na tekturę falistą (warstwy płaskie tektury falistej, papier flutingowy), inny papier opakowaniowy
* Mill produces WLC	* Zakład produkuje tekturę makulaturową z białym pokryciem
Source: EIPPCB questionnaires filled in by operators of pulp and paper mills, reference year: 2006 and 2008	Źródło: Ankiety Europejskiego Biura IPPC wypełnione przez operatorów celulozowni i papierni (lata referencyjne: 2006 i 2008)
NA	Brak danych

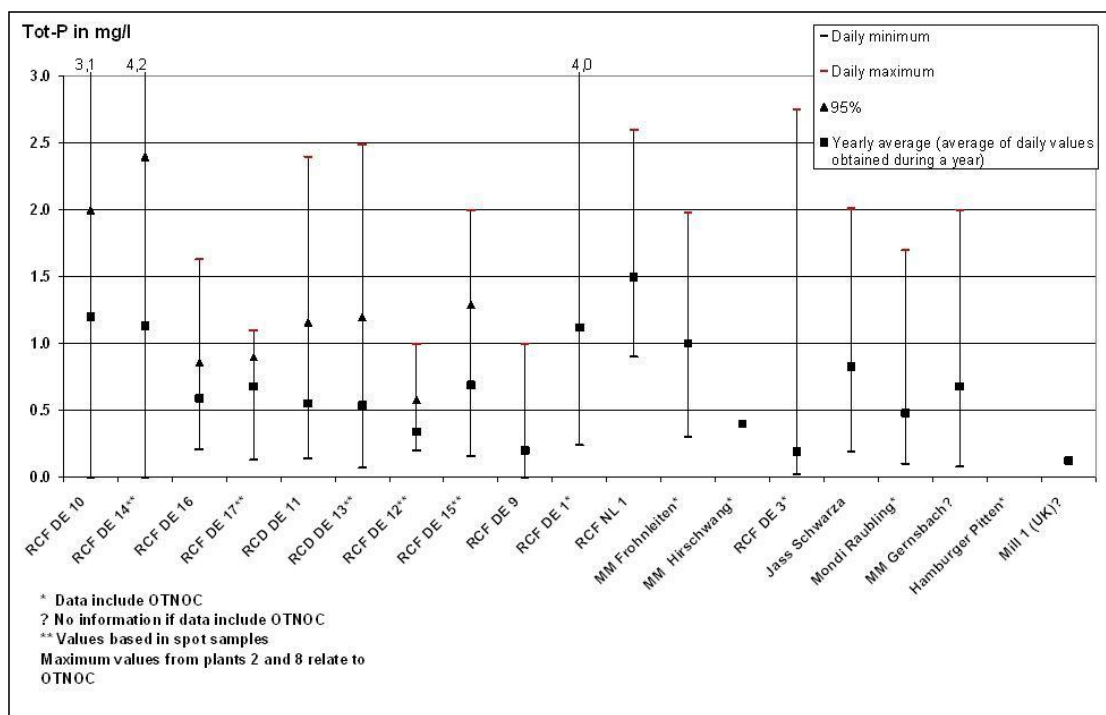
Jak widać na ryc. 6.19, poza czterema papierniami przerabiającymi makulaturę **z** odbarwianiem wszystkie, które wzięły udział w ankietach Europejskiego Biura IPPC, odprowadzają poniżej – lub znacznie poniżej – 0,01 kg  $P_{ogółem}/t$ . Ponadto w 12 zakładach odnotowano średnie roczne wartości na poziomie  $\leq 0,005$  kg  $P_{ogółem}/t$ . Z 15 zakładów, w których także odnotowano wartości stężenia, tylko w trzech przekroczono 1 mg/l  $P_{ogółem}$  w ujęciu średniorocznym (1,1 mg/l; 1,2 mg/l; 1,3 mg/l). W sześciu zakładach odnotowano wartości  $P_{ogółem}$  na poziomie  $\leq 0,5$  mg/l w ujęciu średniorocznym.



Rysunek 6.19 Jednostkowy ładunek  $P_{ogółem}$  w ujęciu średniorocznym po oczyszczeniu ścieków z papierni przerabiających makulaturę z odbarwianiem

Tot-P in kg/t	$P_{ogółem}$ (kg/t)
Graphic paper	Papier graficzny
Tissue paper	Papier na bibułkę higieniczną
* About half of the pulp used in this mill is chemical pulp	* Około połowę masy stosowanej w tym zakładzie stanowi masa chemiczna
** This mill also produces speciality and packaging paper	** Zakład ten produkuje także papier specjalistyczny i opakowaniowy

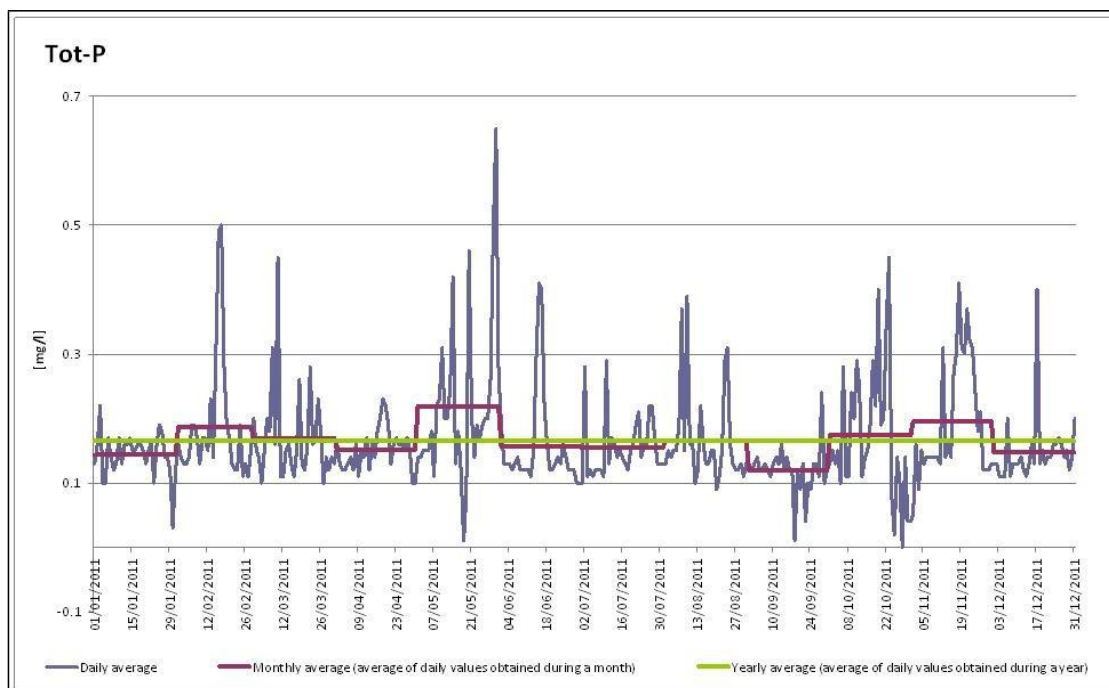
W odniesieniu do krótkookresowych średnich wartości  $P_{ogółem}$ , wartości krótkookresowe odnotowane w papierniach przerabiających makulaturę bez odbarwiania przedstawiono na ryc. 6.20.



Rysunek 6. 20 Krótkookresowe średnie wartości emisji  $P_{ogółem}$  z papierni przerabiających makulaturę bez odbarwiania

Tot-P in mg/l	$P_{ogółem}$ (mg/l)
Daily minimum	Minimalna dzienna wartość
Daily maximum	Maksymalna dzienna wartość
Yearly average (average of daily values obtained during a year)	Średnia roczna wartość (średnia z wartości dziennych uzyskanych w ciągu roku)
* Data include OTNOC	* Dane obejmują inne niż normalne warunki pracy
? No information if data include OTNOC	? Brak informacji o tym, czy dane obejmują inne niż normalne warunki pracy
** Values based in spot samples	** Wartości oparte na próbkach punktowych
Maximum values from plants 2 and 8 relate to OTNOC	Wartości maksymalne z zakładów nr 2 i 8 odnoszą się do innych niż normalne warunków pracy

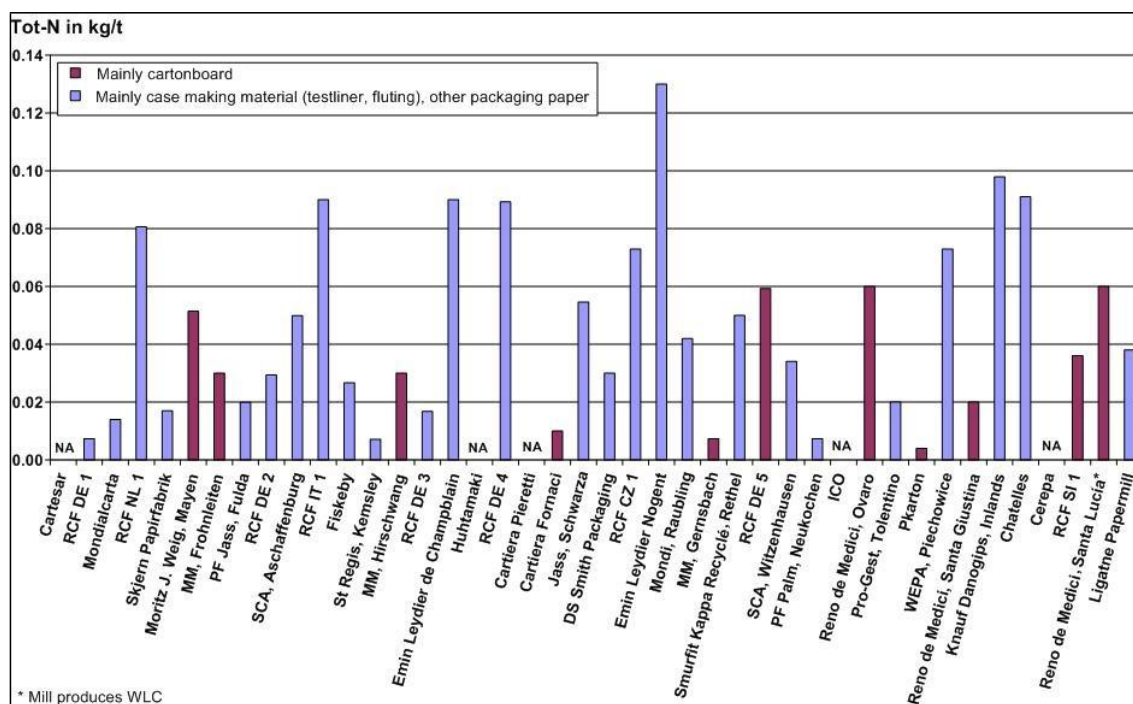
Ponieważ w wyniku procesu gromadzenia danych dotyczących krótkookresowych średnich wartości dla papierni przerabiających makulaturę z odbarwianiem nie uzyskano wystarczającej ilości reprezentatywnych danych, na ryc. 6.21 przedstawiono różne poziomy dziennych stężeń  $P_{ogółem}$  osiągnięte w jednym zakładzie (RCF 18 w Niemczech) w ciągu roku.



Rysunek 6. 21 Dienne stężenia  $P_{ogółem}$  osiągnięte w ciągu roku w papierni przerabiającej makulaturę z odbarwianiem (RCF 18 w Niemczech)

Tot-P	$P_{ogółem}$
Daily average	Średnia dzienna wartość
Monthly average (average of daily values obtained during a month)	Średnia miesięczna wartość (średnia z wartości dziennych uzyskanych w ciągu miesiąca)
Yearly average (average of daily values obtained during a year)	Średnia roczna wartość (średnia z wartości dziennych uzyskanych w ciągu roku)

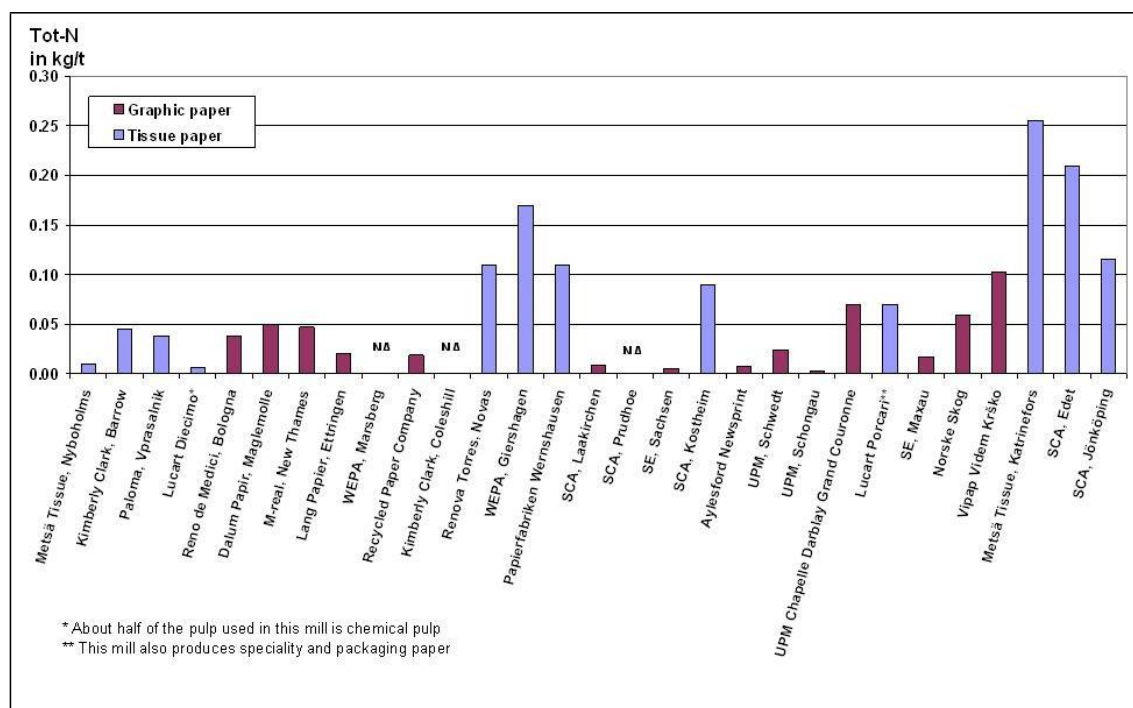
Jak widać na ryc. 6.22, 12 papierni przerabiających makulaturę **bez** odbarwiania, które wzięły udział w ankietach Europejskiego Biura IPPC, odprowadza poniżej 0,02 kg  $N_{ogółem}/t$ , a w czterech zakładach odnotowano ładunki emisji N na bardzo niskim poziomie 0,004 kg  $N_{ogółem}/t$ . W kolejnych 17 zakładach odnotowano ładunki emisji N między 0,02 a 0,08  $N_{ogółem}/t$ . Z 25 zakładów, w których także odnotowano wartości stężenia, tylko w jednym przekroczone 10 mg  $N_{ogółem}/l$  w ujęciu średniorocznym (23,7 mg/l).



Rysunek 6. 22 Jednostkowy ładunek  $N_{ogółem}$  lub  $TN_b$  w ujęciu średniorocznym po oczyszczeniu ścieków z papierni przerabiających makulaturę bez odbarwiania

Tot-N in kg/t	$N_{ogółem}$ (kg/t)
Mainly cartonboard	Głównie karton
Mainly case making material (testliner, fluting), other packaging paper	Głównie papier na tekturę falistą (warstwy płaskie tektury falistej, papier flutingowy), inny papier opakowaniowy
* Mill produces WLC	* Zakład produkuje tekturę makulaturową z białym pokryciem
NA	Brak danych

Jak widać na ryc. 6.23, 15 papierni przerabiających makulaturę z odbarwianiem, które wzięły udział w ankietach Europejskiego Biura IPPC, odprowadza poniżej 0,05 kg  $N_{ogółem}/t$ , z których w dziewięciu odnotowano ładunki emisji N na poziomie  $\leq 0,02$  kg  $N_{ogółem}/t$  w ujęciu średniorocznym. W 11 zakładach odnotowano ładunki emisji N na poziomie  $\geq 0,05$  kg  $N_{ogółem}/t$ . Z 13 zakładów, w których także odnotowano wartości stężenia, tylko w jednym przekroczone 10 mg  $N_{ogółem}/l$  w ujęciu średniorocznym (17 mg/l).

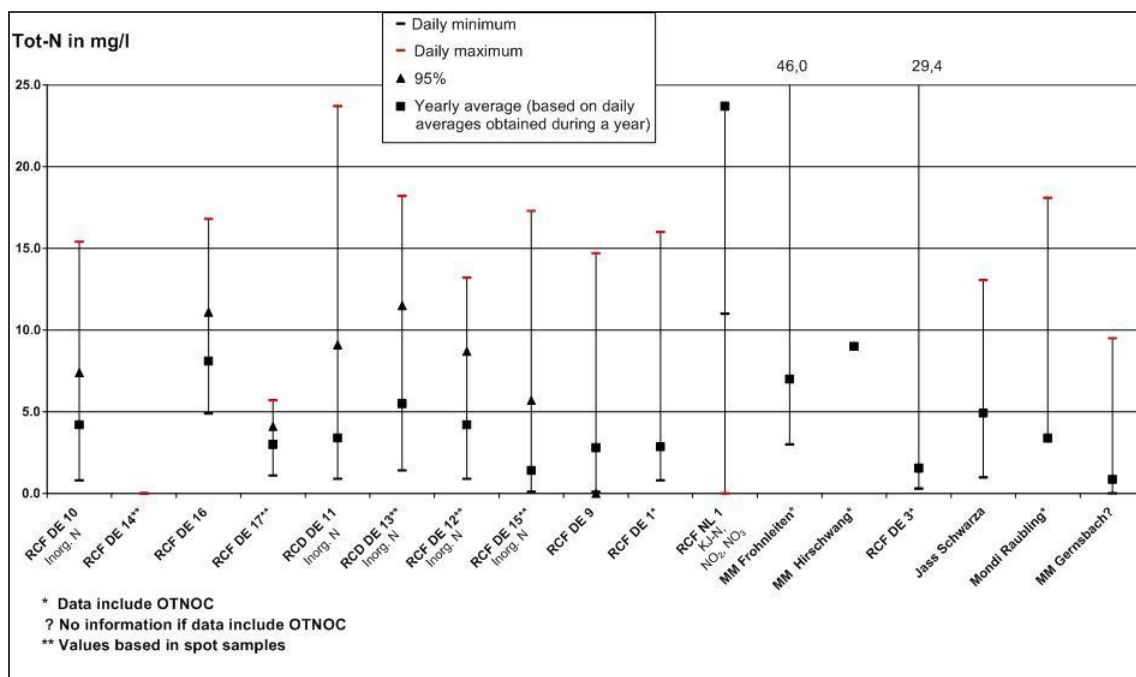


Rysunek 6.23 Jednostkowy ładunek  $N_{ogółem}$  lub  $TN_b$  w ujęciu średniorocznym po oczyszczeniu ścieków z papierni przetwarzających makulaturę z odbarwianiem

Tot-N in kg/t	$N_{ogółem}$ (kg/t)
Graphic paper	Papier graficzny
Tissue paper	Papier na bibułkę higieniczną
NA	Brak danych
* About half of the pulp used in this mill is chemical pulp	* Około połowę masy stosowanej w tym zakładzie stanowi masa chemiczna
**This mill also produces speciality and packaging paper	** Zakład ten produkuje także papier specjalistyczny i opakowaniowy

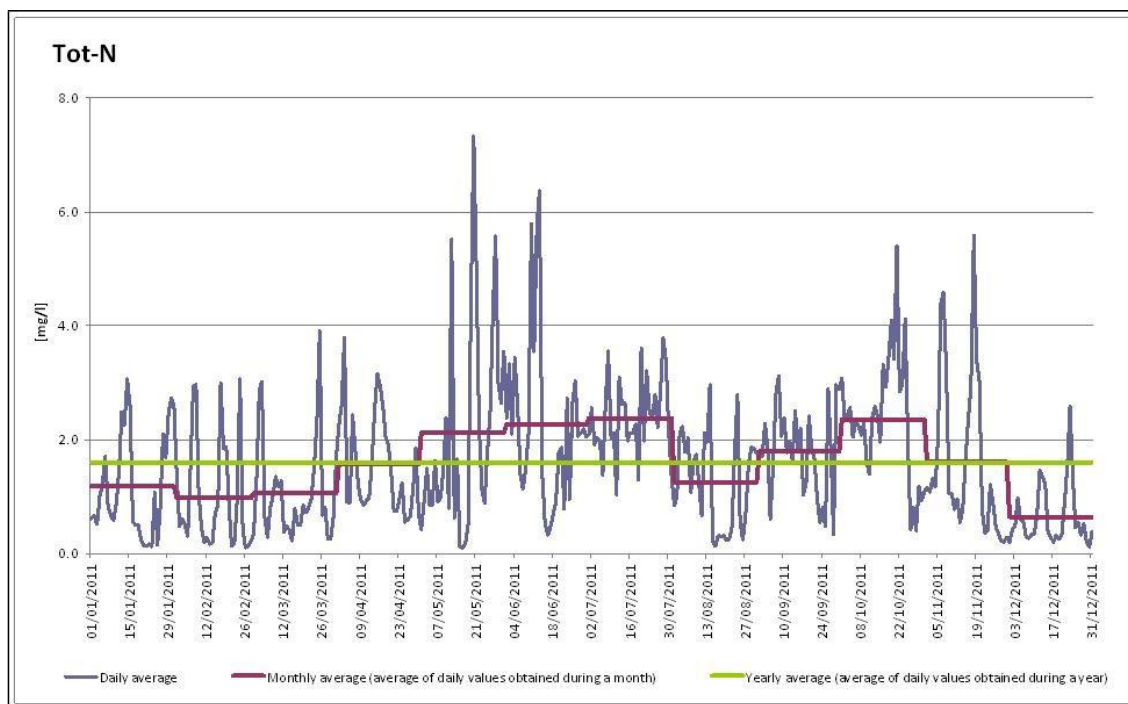
W odniesieniu do krótkookresowych średnich wartości  $N_{ogółem}$ , wartości krótkookresowe odnotowane w papierniach przetwarzających makulaturę bez odbarwiania przedstawiono na ryc. 6.24.



Rysunek 6. 24 Krótkookresowe średnie wartości emisji  $N_{ogółem}$  z papierni przerabiających makulaturę bez odbarwiania

Tot-N in mg/l	$N_{ogółem}$ (mg/l)
Daily minimum	Minimalna dzienna wartość
Daily maximum	Maksymalna dzienna wartość
Yearly average (average of daily values obtained during a year)	Średnia roczna wartość (średnia z wartości dziennych uzyskanych w ciągu roku)
* Data include OTNOC	* Dane obejmują inne niż normalne warunki pracy
? No information if data include OTNOC	? Brak informacji o tym, czy dane obejmują inne niż normalne warunki pracy
** Values based in spot samples	** Wartości oparte na próbkach punktowych

Ponieważ w wyniku procesu gromadzenia danych dotyczących krótkookresowych średnich wartości dla papierni przerabiających makulaturę z odbarwianiem nie uzyskano wystarczającej ilości reprezentatywnych danych, na ryc. 6.25 przedstawiono różne poziomy dziennych stężeń  $N_{ogółem}$  osiągnięte w jednym zakładzie (RCF 18 w Niemczech) w ciągu roku.



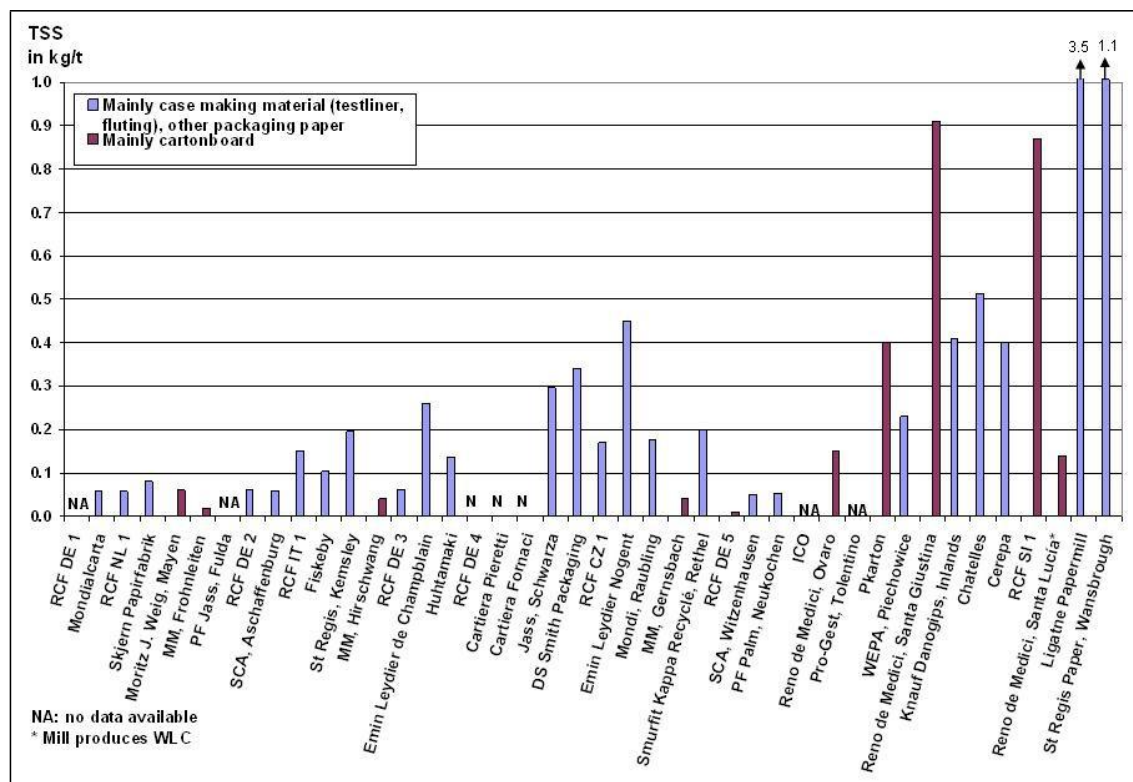
Rysunek 6. 25 Dienne stężenia *Nogótem* osiągnięte w ciągu roku w papierni przerabiającej makulaturę z odbarwianiem (RCF 18 w Niemczech)

Tot-N	<i>Nogótem</i>
Daily average	Średnia dzienna wartość
Monthly average (average of daily values obtained during a month)	Średnia miesięczna wartość (średnia z wartości dziennych uzyskanych w ciągu miesiąca)
Yearly average (average of daily values obtained during a year)	Średnia roczna wartość (średnia z wartości dziennych uzyskanych w ciągu roku)

### Zawiesina ogólna

Ze względu na cechy ścieków z papierni, istnieje tendencja do gromadzenia się spęczniałego osadu w układach oczyszczania osadem czynnym. Doświadczenia w stosowaniu środków kontroli mających na celu uniknięcie takiego niepożądanego zjawiska są jednak dobrze udokumentowane (por. pkt 2.9.11.2.3) i stosowane w wielu zakładach.

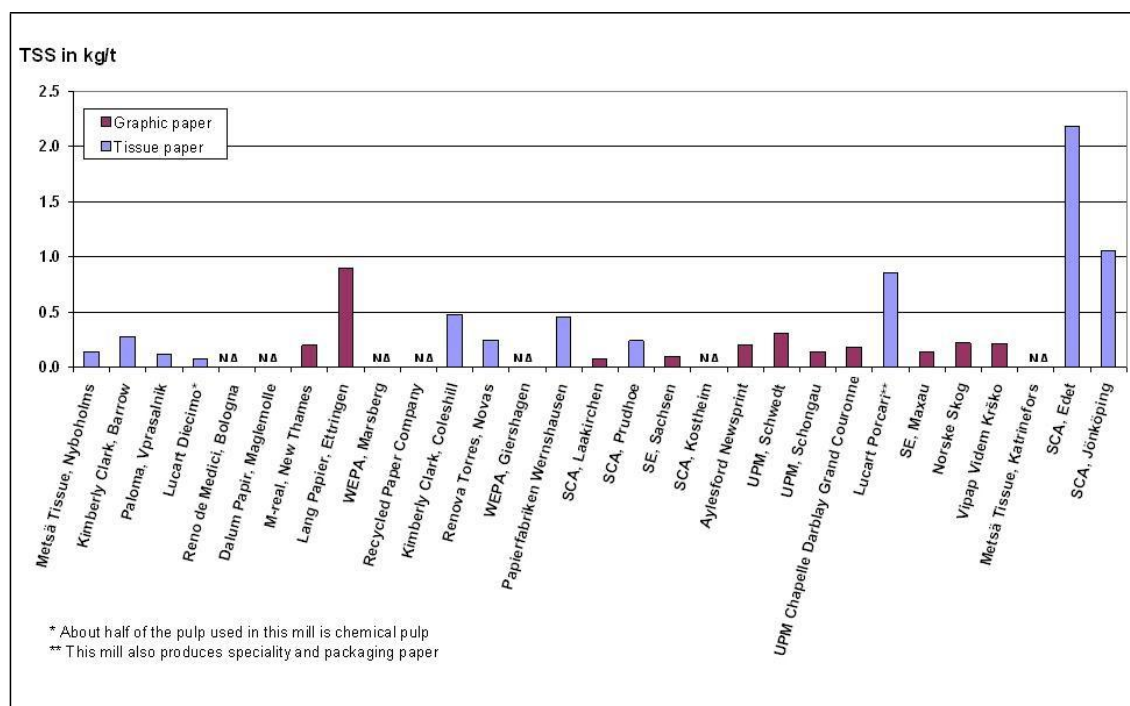
Jak widać na ryc. 6.26, 22 papiernie przerabiające makulaturę **bez** odbarwiania, które wzięły udział w ankietach Europejskiego Biura IPPC, odprowadzają poniżej  $\leq 0,20$  kg zawiesiny ogólnej/t, z których w 13 odnotowano ładunki emisji zawiesiny ogólnej na poziomie  $\leq 0,1$  kg w ujęciu średniorocznym. W pięciu zakładach odnotowano emisje zawiesiny ogólnej na poziomie  $\geq 0,5$  kg zawiesiny ogólnej/t. Z 21 zakładów bezpośrednio odprowadzających ścieki, w których także odnotowano wartości stężenia, w sześciu przekroczone 20 mg zawiesiny ogólnej/l i tylko w trzech przekroczone 30 mg zawiesiny ogólnej/l (31; 32 i 53 mg zawiesiny ogólnej/l) w ujęciu średniorocznym.



Rysunek 6. 26 Jednostkowy ładunek zawiesiny w ujęciu średniorocznym po oczyszczeniu ścieków z papierni przerabiających makulaturę bez odbarwiania

TSS in kg/t	Zawiesina ogólna (kg/t)
Mainly case making material (testliner, fluting), other packaging paper	Głównie papier na tekturę falistą (warstwy płaskie tektury falistej, papier flutingowy), inny papier opakowaniowy
Mainly cartonboard	Głównie karton
NA	Brak danych
NA: no data available	NA: brak dostępnych danych
* Mill produces WLC	* Zakład produkuje tekturę makulaturową z białym pokryciem

Jak widać na ryc. 6.27, 13 papierni przerabiających makulaturę z odbarwianiem, które wzięły udział w ankietach Europejskiego Biura IPPC, odprowadza poniżej  $\leq 0,25$  kg zawiesiny ogólnej/t, z których w siedmiu odnotowano ładunek emisji zawiesiny ogólnej na poziomie  $\leq 0,15$  kg zawiesiny ogólnej/t w ujęciu średniorocznym. W czterech zakładach odnotowano emisje zawiesiny ogólnej na poziomie  $\geq 0,5$  kg zawiesiny ogólnej/t. Z 15 zakładów, w których także odnotowano wartości stężenia, tylko w dwóch przekroczone 20 mg zawiesiny ogólnej/l w ujęciu średniorocznym (31 i 33 mg/l).



Rysunek 6. 27 Jednostkowy ładunek zawiesiny w ujęciu średniorocznym po oczyszczeniu ścieków z papierni przerabiających makulaturę z odbarwianiem

TSS in kg/t	Zawiesina ogólna (kg/t)
Graphic paper	Papier graficzny
Tissue paper	Papier na bibułkę higieniczną
* About half of the pulp used in this mill is chemical pulp	* Około połowę masy stosowanej w tym zakładzie stanowi masa chemiczna
**This mill also produces speciality and packaging paper	** Zakład ten produkuje także papier specjalistyczny i opakowaniowy

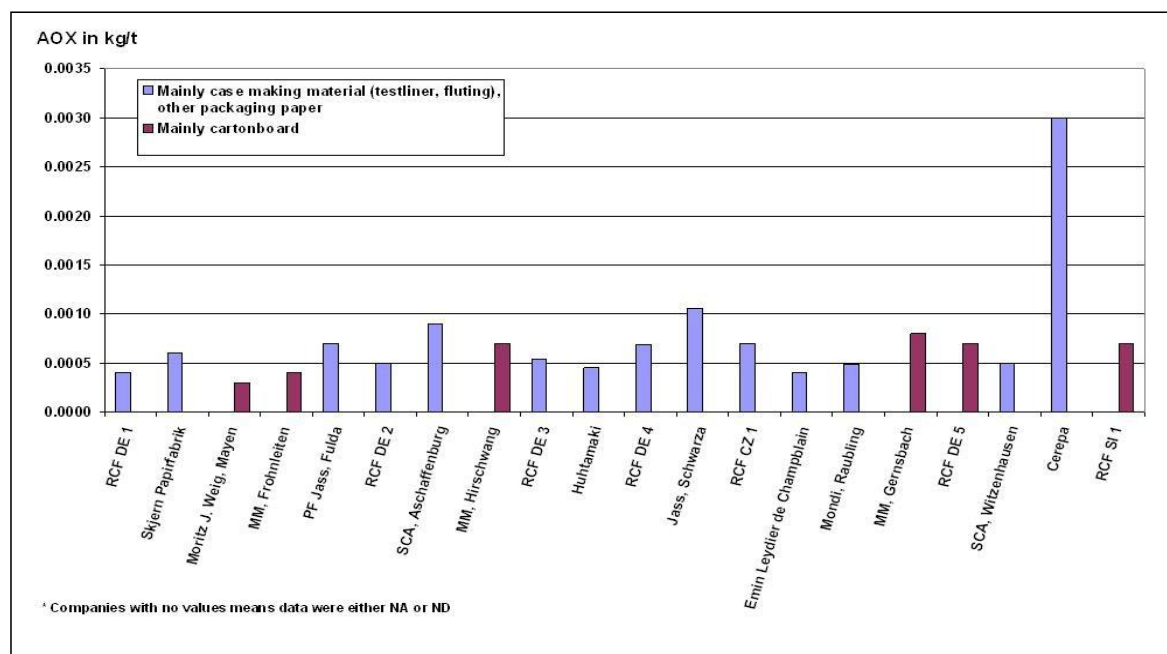
### Metale ciężkie

Stężenia metali ciężkich w ściekach z papierni są ogólnie niskie. Nie obserwuje się znaczącego wzrostu w tym zakresie w przypadku stosowania włókien wtórnych. Niemniej jednak sporadyczne pomiary w holenderskich odbarwiarniach wykazały, że niektóre ścieki z procesu odbarwiania mogą zawierać miedź i cynk w podwyższonym stężeniu. W takim przypadku uważa się, że głównym źródłem metali ciężkich jest zawarta w makulaturze farba drukowa. Metale ciężkie sporadycznie pojawiające się w ściekach występują głównie w postaci trwałych związków organicznych (Źródło: Luttmer, 1996 r., za: [ 23, Holenderski dokument referencyjny dotyczący najlepszych dostępnych technik, 1996 r. ]).

### AOX i inne mikrozanieczyszczenia organiczne

Źródłem ulegających adsorpcji organicznych związków halogenowych są niektóre dodatki chemiczne (szczególnie środki podnoszące odporność na wilgoć), makulatura zawierająca śladowe ilości halogenów organicznych pochodzących z masy bez chloru pierwiastkowego oraz farby drukowe. Ponieważ bielenie chlorem zostało już praktycznie wyeliminowane, ilość związków zawierających AOX, pochodzących z makulatury, znacznie się obniżyła. Na rynku dostępne są również środki podnoszące odporność na wilgoć o obniżonej zawartości AOX, pozwalające na dalsze ograniczenie emisji AOX. Oczyszczanie osadem czynnym prowadzi do dalszego ograniczenia tych emisji o 30 – 50 %. Jest to jednak możliwe częściowo dzięki usuwaniu tych związków podczas oczyszczania ścieków. Pomiary okolicznościowe w holenderskich papierniach przerabiających makulaturę (z odbarwianiem lub bez odbarwiania) wykazały, że średnie stężenia AOX kształtują się na poziomie 0,2 mg/l.

Na ryc. 6.28 przedstawiono zestawienie jednostkowych ładunków AOX dla poszczególnych zakładów. Odnotowane ładunki wahają się od 0,3 g/t do 3,0 g/t.



Rysunek 6. 28 Średnie roczne wartości ładunków AOX dla poszczególnych papierni przerabiających makulaturę bez odbarwiania

AOX in kg/t	AOX (kg/t)
Mainly case making material (testliner, fluting), other packaging paper	Głównie papier na tekturę falistą (warstwy płaskie tektury falistej, papier flutingowy), inny papier opakowaniowy
Mainly cartonboard	Głównie karton
Companies with no values means data were either NA or ND	Brak wartości przy zakładzie oznacza, że dane były niedostępne lub że danych nie określono

Mikrozanieczyszczenia organiczne, takie jak chlorofenole lub polichlorowane bifenylole, mogą być wykrywalne w bardzo niskich stężeniach w niektórych ściekach z papierni przerabiających makulaturę, w zależności od pochodzenia zastosowanych surowców (makulatura, farby drukowe i dodatki). W sporadycznych pomiarach w holenderskich papierniach przerabiających makulaturę wykryto, że poziom chlorofenoli wynosi do 1 µg/l (0,1 – 0,7 µg/l), zaś polichlorowane bifenylole występują jedynie w śladowych ilościach (wartości poniżej granicy wykrywalności do 0,11 µg/l) [23, Holenderski dokument referencyjny dotyczący najlepszych dostępnych technik, 1996 r.].

### Sole

Sole, głównie siarczany i chlorki, są wprowadzane przede wszystkim z makulaturą i niektórymi dodatkami, jak alun. W niektórych obszarach, na przykład tam, gdzie woda powierzchniowa jest podstawowym źródłem wody pitnej lub w związku z zachowaniem jakości wody, przykładą się wagę do rzutu soli. W zależności od rodzajów makulatury użytej jako surowiec oraz od stopnia zamknięcia obiegów wodnych, zaobserwowano stężenia siarczanów na poziomie do 1 000 mg/l, nawet jeśli nie użyto siarczanu glinu.

W ściekach z niektórych papierni przerabiających makulaturę można także wykryć bor, nawet jeśli nie dodano go w czasie przerobu makulatury i wytwarzania papieru (Źródło: Assocarta, 2011 r.). Może on dostawać się do obiegu włókien wtórnych z procesów przerobu, takich jak produkcja tektury falistej i pudeł. Nie stosuje się żadnej specjalnej metody oczyszczania w celu ograniczenia ilości boru.

### 6.2.2.6 Wytwarzanie odpadów stałych

Większość zanieczyszczeń usuwanych podczas przerobu makulatury kończy jako odpady. Głównymi materiałami odpadowymi są odpady z instalacji do usuwania odpadów z rozwłókniacza, odrzuty, różnego rodzaju osady oraz – w przypadku spalania odpadów na miejscu – popioły i pył pofiltracyjny. Głównymi źródłami odpadów stałych w papierniach przerabiających makulaturę są następujące procesy: przygotowanie masy, klarowanie wody obiegowej oraz oczyszczanie ścieków. W zależności od użytego surowca, sposobu prowadzenia procesu oraz oczyszczania wody obiegowej i ścieków, powstają różne ilości i rodzaje odpadów (odrzuty, osady).

Odpady muszą być poddane obróbce (zagęszczeniu i odwodnieniu) w celu uzyskania w nich wysokiej zawartości masy suchej. Osiągalne poziomy masy suchej w odrzutach i osadach zestawiono w tab. 6.11 i 6.12.

**Tabela 6. 11 Osiągalne poziomy masy suchej w odrzutach oraz odpowiadające im zużycie energii dla różnej zawartości włókien**

Stosowane maszyny do obróbki odpadów	Prasy hydrauliczne do odrzutów	Prasy pneumatyczne do odrzutów
Osiągalne poziomy masy suchej przy: zawartości włókien na poziomie < 70 % zawartości włókien na poziomie < 30 %	50 – 65 % 60 – 70 %	55 – 58 % 60 – 63 %
Zużycie energii [kWh/t]	15 – 20	8 – 12
<i>Źródło:</i> Dane od dostawcy maszyn, 1998 r. oraz uwagi Technicznej Grupy Roboczej, 2011 r.		

**Tabela 6. 12 Osiągalne poziomy masy suchej w osadach oraz odpowiadające im zużycie energii dla różnej zawartości włókien**

Stosowane maszyny do obróbki osadów	Prasy sitowe łącznie ze wstępnym zagęszczeniem	Prasy ślimakowe łącznie ze wstępnym zagęszczeniem
Osiągalne poziomy masy suchej przy: zawartości popiołu na poziomie < 50 % zawartości popiołu na poziomie > 50 %	50 % 55 %	55 % 60 %
Zużycie energii [kWh/t] (łącznie ze wstępnym zagęszczeniem)	10 – 15	18 – 20
<i>Źródło:</i> Dane od dostawcy maszyn, 1998 r. oraz uwagi Technicznej Grupy Roboczej, 2011 r. Dane pochodzące z zastosowań przemysłowych przekazane przez CTP, Francja, 2011 r. Jeśli osad z odbarwiania i osad papierowy zmiesza się z osadem biologicznym, osiągalny poziom masy suchej jest niższy.		

Odpady można podzielić z grubsza na ciężkie i grube odrzuty, lekkie i drobne odrzuty oraz osady. W zależności od pochodzenia i właściwości osady można dalej podzielić na osady z odbarwiania, osady z komór mikroflotacyjnych z klarowania wody obiegowej oraz osady z oczyszczania ścieków (osad pierwotny, osad nadmierny z oczyszczania biologicznego). Osiągalne poziomy masy suchej po odwodnieniu i zagęszczeniu wynoszą 60 – 70 % dla grubych odrzutów, 50 – 60 % dla drobnych odrzutów i ok. 50 – 60 % dla osadów.

Ilość odpadów wytwarzanych w papierniach przerabiających makulaturę wynika z odmiany papieru użytego jako surowiec do recyklingu, z koncepcji przygotowania masy na potrzeby przerobu włókien wtórnych oraz z właściwości i klasy papieru. W tabeli 6.13 podano średnie ilości odpadów odnoszące się do wprowadzonego surowca, w zależności od głównych klas papieru oraz odmiany makulatury.

Tabela 6. 13 Ilość odpadów odnosząca się do wprowadzonego surowca (%), w zależności od odmiany zastosowanej makulatury oraz klasy produkowanego papieru

Produkt	Odmiana makulatury	Straty ogółem	Odrzuty		Osady		
			Grube/ ciężkie	Drobne / lekkie	Odbarwienie	Klarowanie wody obiegowej	Ścieki
Papier graficzny	Gazety, czasopisma; odmiana lepsza	15 – 20 20 – 35	1 – 2 < 2	3 – 5 < 3	8 – 13 10 – 20	2 – 5 1 – 5	~ 1
Bibułka higieniczna	Makulatura biurowa, akta; odmiana zwykła i średnia	28 – 40	1 – 2	3 – 5	8 – 13	15 – 25	~ 1
Rynkowa odbarwiona masa makulaturowa	Makulatura biurowa	32 – 40	< 1	4 – 5	12 – 15	15 – 25	~ 1
Papier na warstwy płaskie tektury falistej /papier flutingowy	Makulatura z domów handlowych, makulatura z gospodarstw domowych; odmiany mocne	4 – 9 3 – 6	1 – 2 < 1	3 – 6 2 – 4	–	0 – (1) 0 – (1)	~ 1
Tektura	Makulatura z domów handlowych, makulatura z gospodarstw domowych	4 – 9	1 – 2	3 – 6	–	0 – (1)	~ 1

Według [ 8, Borschke i in., 1997 r. ] ilość osadu z oczyszczania ścieków obliczono zakładając, że ilość usuniętego osadu nadmiernego (w postaci masy suchej), który powstaje w czasie oczyszczania, wynosi 0,6 kg/kg BZT<sub>5</sub> usuniętego, co jest powszechną wartością w przypadku zakładów stosujących metodę oczyszczania osadem czynnym. W związku z tym, w zależności od odmiany makulatury i koncepcji procesu, można oczekiwać, że osad nadmierny z oczyszczania biologicznego wyniesie ok. 10 kg/t papieru (w postaci masy suchej).

Na ogół przy produkcji nieodbarwianych klas papieru wytwarza się mniej odpadów stałych, niż przy produkcji odbarwianych klas papieru. W tej pierwszej grupie więcej odpadów stałych wytwarza się zazwyczaj przy produkcji papieru do drukowania i pisania z makulatury, niż przy produkcji papieru gazetowego. W przypadku produkcji bibułki higienicznej z makulatury konieczne jest wyplukiwanie wypełniaczy i cząstek drobnych w drodze odbarwiania metodą mycia. W procesie tym powstaje znacznie więcej odpadów do obróbki, niż w przypadku innych odbarwianych klas papieru.

### Odrzuty

Odrzutami są zanieczyszczenia zawarte w makulaturze i składają się na nie głównie pęczki włókien (drzazg), zszywki, a także elementy metalowe z segregatorów, piasek, szkło, tworzywa sztuczne i kleje. We wszystkich papierniach przetwarzających makulaturę również z odpadami z instalacji do usuwania odpadów z rozwłóknacza trzeba postępować jak z frakcjami odpadów. Odrzuty są usuwane w możliwie największym stopniu i na możliwie najwcześniejszym etapie procesu przygotowania masy. Stanowią one ok. 6,5 % zakupionej makulatury i nie nadają się do ponownego wykorzystania, dlatego też są składowane na wysypiskach lub spalane. Jeżeli zagęszczone odpady są spalane w spalarni spełniającej wymogi w zakresie ochrony środowiska, np. w piecu fluidalnym wytwarzającym parę zużywaną w punktach poboru pary w zakładzie, ilość odpadów ogranicza się do popiołu, który może być wykorzystany w przemyśle budowlanym lub składowany. Możliwość wykorzystania

popiołów uzyskanych w wyniku spalania zależy jednak od zapotrzebowania rynku na ten materiał. Spalanie odrzutów na miejscu jest wykonalne tylko w dużych zakładach, które wytwarzają większe ilości odpadów stałych (por. także pkt 6.3.14). W tab. 6.14 przedstawiono typowy skład odrzutów z przerobu makulatury (różnice między surowcami i produktami).

Tabela 6. 14 Skład odrzutów z przerobu makulatury na papier na tekturę falistą (4 – 6 % odrzutów)

Parametr	Udział pojedynczej frakcji <sup>(1)</sup>	Średnie wartości z jednego zakładu
Zawartość wody	45 %	33,3 %
Tworzywa sztuczne	25,9 %	
Włókna	27 %	
Szkło i kamienie	0,11 %	
Metale	0,88 %	
Substancje organiczne	1,05 %	
Cl pochodzący z tworzyw sztucznych	5,45 % <sup>(2)</sup>	
Cl związany z paliwem	1,43 %	1,21
Wartość opałowa H <sub>U</sub> (100 % masy suchej)	23 800 kJ/kg	25 335
Wartość opałowa H <sub>U</sub> (55 % masy suchej)	11 991 kJ/kg	12 828 kJ/kg

Uwaga: Do odmian przerabianej makulatury zalicza się głównie „makulaturę pozyskiwaną” z gospodarstw domowych i domów handlowych oraz odpady tektury falistej.

<sup>(1)</sup> Średnia z 18 pojedynczych próbek pobranych w niemieckich papierniach przerabiających makulaturę.

<sup>(2)</sup> Testy przeprowadzone przez hiszpański instytut badawczy CIEMAT na odrzutach z różnych odpadów makulatury wykazały, że zawartość Cl jest niższa niż 1 %, Cl w odniesieniu do 100 % suchej masy (Źródło: CIEMAT, sprawozdanie CG/VE-11/IF-05: Valorización energética de residuos de papelera, 2005 r.)

### Osady z klarowania wody obiegowej (odpady papieru)

Ten rodzaj osadów powstaje głównie podczas wyławiania włókien w obiegach wody podsitowej oraz w mechanicznej oczyszczalni ścieków. Odpady papieru składają się przede wszystkim z krótkich włókien i wypełniaczy (po ok. 50 %), w zależności od rodzaju przerabianej makulatury. W przemyśle tekturowym i w procesie produkcji papieru na tekturę falistą są one często zwracane do procesu. Odpady papierowe nie spełniają wymagań jakościowych w zakresie recyklingu, obowiązujących w produkcji wyrobów wyższych klas, dlatego też są spalane lub dostarczane do zakładu utylizacji odpadów. W zależności od tego, czy zastosowano wcześniej proces odbarwiania, osad może zawierać pewną ilość farby drukowej i cząstki pigmentów. Wyławianie włókien przyczynia się do minimalizacji ilości odpadów. Typowy skład odpadów papieru z wyławiania włókien i mechanicznego oczyszczania ścieków przedstawiono w tab. 6.15.

Tabela 6. 15 Skład osadów z wyławiania włókien i z chemiczno-mechanicznego oczyszczania ścieków

Parametr	Jednostka	Zakres wartości
Zawartość masy suchej	%	29,4 – 52,7
Stale substancje organiczne	% masy suchej	25,5 – 76,1
Ołów	mg/kg masy suchej	10 – 210
Kadm	mg/kg masy suchej	0,01 – 0,98
Chrom <sub>ogółem</sub>	mg/kg masy suchej	8,8 – 903
Miedź	mg/kg masy suchej	19,9 – 195
Nikiel	mg/kg masy suchej	< 10 – 31,3
Rtęć	mg/kg masy suchej	0,1 – 0,89
Cynk	mg/kg masy suchej	34,2 – 1 320



Uwaga: Podsumowanie pełnych wyników analizy chemicznej odpadów stałych z wytwarzania papieru przeprowadzonej w niemieckim instytucie badań nad papierem PTS w Monachium.

Źródło: [ 132, Podręcznik dotyczący odpadów stałych, 1996 r. ]

### Osady z odbarwiania

Odpady te zawierają głównie krótkie włókna, powłoki, wypełniacze, cząstki farby drukowej, substancje ekstrakcyjne i dodatki stosowane do odbarwiania. Cząstki farby drukowej stanowią potencjalne źródło metali ciężkich, lecz jak widać w tab. 6.16, ładunki zanieczyszczeń w typowych osadach z odbarwiania są porównywalne z ładunkami zawartymi w osadach z biologicznych oczyszczalni ścieków, z nieznacznie wyższą zawartością substancji, takich jak miedź i cynk. Występuje stosunkowo znaczne zróżnicowanie zawartości zanieczyszczeń w makulaturze, a w konsekwencji w osadach z jej odbarwiania.

Tabela 6. 16 Typowe zawartości zanieczyszczeń w osadach z odbarwiania z papierni przerabiających makulaturę w porównaniu z osadami z komunalnych oczyszczalni ścieków

Składnik	Jednostka	Zawartość na kg masy suchej			
		Osady z odbarwiania a <sup>(1)</sup>	Osady z odbarwiania <sup>(2)</sup>	Osady z odbarwiania <sup>(3)</sup>	Osady z komunalnej oczyszczalni ścieków <sup>(1)</sup>
Kadm (Cd)	mg	< 0,1	< 0,67	0,02 – 1,54	< 0,1
Rtęć (Hg)	mg	< 0,1	0,08	0,1 – 0,89	< 0,1
Miedź (Cu)	mg	350	238	64,2 – 345	40
Cynk (Zn)	mg	350	141	34,2 – 1 320	250
Ołów (Pb)	mg	35	41	9,5 – 79,4	30
Nikiel (Ni)	mg	5	5,7	< 10 – 31,3	10
Chrom (Cr)	mg	20	24(Cr <sub>ogółem</sub> )	4,8 – 96,6	10
Polichlorowane bifenylo	µg	95	ND	< 300	5
Chlorofenole	µg	75	ND	ND	120
Lotne substancje stałe	% masy suchej	ND	33,2	32,7 – 63,6	48

Uwaga: ND = nie określono.

(<sup>1</sup>) [ 23, Holenderski dokument referencyjny dotyczący najlepszych dostępnych technik, 1996 r. ].

(<sup>2</sup>) Reprezentatywne próbki z niemieckiej papierni.

(<sup>3</sup>) Podsumowanie pełnych wyników analizy chemicznej odpadów stałych z wytwarzania papieru przeprowadzonej w niemieckim PTS, opublikowanych w [ 132, Podręczniku dotyczącym odpadów stałych, 1996 r. ].

Osady z odbarwiania są na ogół spalane lub dostarczane do zakładu utylizacji odpadów. Popiół ze spalarni osadów z odbarwiania może służyć jako surowiec do produkcji materiałów budowlanych. Odnotowano jeden przypadek dostarczania przez zakład papieru i osadów z odbarwiania do wytwórni tektury lub papieru flutingowego, które zostaną wykorzystane jako surowiec.

### Osady z oczyszczania ścieków

Osady te powstają w biologicznych blokach biologicznej oczyszczalni ścieków i są albo zawracane do produkcji (papier na tekturę falistą i tektura), albo zagęszczane, odwadniane, a następnie spalane (na miejscu lub poza zakładem), albo dostarczane do zakładu utylizacji odpadów. Dyrektywa Rady 99/31/WE w sprawie składowania odpadów [ 265, Dyrektywa 1999/31/WE, 1999 r. ] zawiera przepisy zniechęcające do składowania odpadów o wysokiej zawartości substancji organicznych, które mają na celu zmniejszenie ilości odpadów ulegających biodegradacji wysyłanych na składowiska. Typowy skład i potencjał zanieczyszczający osadów z biologicznej oczyszczalni ścieków przedstawiono w prawej kolumnie tab. 6.16 oraz w tab. 5.8.

### 6.2.2.7 Emisje do atmosfery

#### Emisje do atmosfery z wytwarzania energii

Emisje do atmosfery z wytwórni papieru i tektury pochodzą głównie z wytwarzania energii (parowej i elektrycznej), a w mniejszym stopniu z samego procesu produkcji (por. pkt 2.6.2). W przypadku spalania gazu głównymi zanieczyszczeniami są: CO<sub>2</sub> oraz NO<sub>x</sub>, a w przypadku spalania ropy naftowej lub węgla: CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, pył i niewielkie stężenia metali ciężkich.

Para jest zwykle wytwarzana na miejscu w kotłach parowych. W wielu przypadkach energia elektryczna jest kupowana z sieci, a więc emisje występują w elektrowni zewnętrznej. Stosunek zużycia energii elektrycznej do pary w papierniach umożliwia wytwarzanie ciepła i energii elektrycznej w układzie kogeneracji (CHP). Wiele papierni stosuje CHP. Wówczas wszystkie emisje do atmosfery związane ze zużyciem energii występują na miejscu. Typowe wartości emisji ze zlokalizowanych na miejscu skojarzonych wytwórni ciepła i energii elektrycznej przedstawiono w pkt 2.9.6.3, a dla wytwarzania pary w wyniku spalania różnego rodzaju paliw (gazu, węgla, ropy naftowej) – w pkt 2.6.2.

Z części suszącej maszyny papierniczej mogą być uwalniane niewielkie emisje lotnych substancji organicznych (mierzone jako węgiel organiczny). Ich źródłem jest odparowanie dodatków chemicznych w części suszącej maszyny papierniczej (głównie środki chemiczne do powlekania) lub bezpośrednie suszenie po powlekanii (emisje metanu), lecz w większości przypadków nie stanowią one problemu (niskie stężenia).

#### Emisje do atmosfery ze spalania na miejscu osadów lub odrzutów (opcjonalnie)

Podczas przerobu makulatury i wytwarzania papieru powstaje szereg odpadów o wysokiej zawartości substancji organicznych (np. papier, odrzuty, osady z odbarwiania, osady biologiczne). Ponieważ w wielu państwach członkowskich składowanie takich frakcji odpadów na wysypiskach jest źle widziane lub zabronione, coraz więcej zakładów spala swoje odrzuty i osady na miejscu w spalarniach, wytwarzając parę, którą można wykorzystać w procesach produkcji. Nieodłączną częścią spalania są emisje do atmosfery. W tab. 6.17 zestawiono przykłady zmierzonych emisji ze spalania różnego rodzaju odpadów z papierni przerabiającej makulaturę.

W lewej kolumnie podano zmierzone wartości średnie z papierni przerabiającej makulaturę na papier opakowaniowy (bez odbarwiania). W prawej kolumnie przedstawiono zmierzone wartości emisji ze spalania różnych rodzajów osadów z odbarwialni (osady z oczyszczania wody surowej i ścieków, osady z klarowania wody obiegowej oraz odrzuty i osady z odbarwiania) przed zastosowaniem środków do obniżenia emisji NO<sub>x</sub> i po ich zastosowaniu. Wartości te porównano z niemieckimi normami prawnymi.

Tabela 6. 17 Zmierzone wartości emisji ze spalania odrzutów i osadów z dwóch niemieckich papierni przerabiających makulaturę

Parametr	Jednostka	Wartości zmierzone (średnie roczne z 1997 r.) Odrzuty z papierni przerabiającej makulaturę na papier opakowaniowy (bez odbarwiania) <sup>(1)</sup>	Wartości zmierzone (średnie roczne z 2008 r.) Odrzuty i osady z odbarwiania z papierni przerabiającej makulaturę na papier gazetowy <sup>(2)</sup>	Wartości graniczne zgodnie z niemieckimi przepisami (średnie dzienne wartości) <sup>(3)</sup>
Pył	mg/Nm <sup>3</sup>	3,2	5	10
SO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	26,0	1	50
NO <sub>x</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	195	190	200
CO	mg/Nm <sup>3</sup>	14,1	2	50
HCl	mg/Nm <sup>3</sup>	1,7	3	10

HF	mg/Nm <sup>3</sup>	0,06	ND	1
Cogótem	mg/Nm <sup>3</sup>	1,4	1	10
Cd, Tl	µg/Nm <sup>3</sup>	< 17,0	ND	50
Hg	µg/Nm <sup>3</sup>	5	< 10	30
Sb, As, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Sn Diodsyny/Furany	µg/Nm <sup>3</sup>	71,0	< 20	500
	ng I-TEQ/Nm <sup>3</sup>	0,097	0,004	0,1

(<sup>1</sup>) Dane dotyczące emisji ze spalania odrzutów w wielotrzonowej spalarni; układ oczyszczania gazów odlotowych jest wyposażony w dwustopniową płuczkę wodną do usuwania zanieczyszczeń kwasowych (głównie SO<sub>2</sub> i HCl). W celu zminimalizowania emisji dioksyn do zawracanego strumienia gazów odlotowych wtryskiwana jest mieszanina węgla aktywnego i zeolitu. Zmniejszenie emisji NO<sub>x</sub> uzyskano dzięki selektywnej redukcji niekatalitycznej stosując amoniak, który jest wtryskiwany do komory spalania. Emisje pyłu zmniejszono przy wykorzystaniu elektrofiltra.

(<sup>2</sup>) Spalanie w kotle fluidalnym. Zmniejszenie zawartości NO<sub>x</sub> uzyskano dzięki selektywnej redukcji niekatalitycznej, tzn. wtryskując amoniak; emisje pyłu obniżono przy wykorzystaniu filtrów workowych.

(<sup>3</sup>) Zgodnie z XVII Rozporządzeniem w sprawie wdrożenia Federalnej ustawy o ochronie przed emisjami (Rozporządzenie w sprawie spalarni odpadów i podobnych materiałów palnych) z 23 listopada 1990 r. [nowelizacja 14 sierpnia 2003 r.]

Uwaga: ND = Nie określono.

Wszystkie wartości odnoszą się do warunków normalnych i zawartości tlenu na poziomie 11 % objętości.

Źródło: [ Landesdirektion Leipzig, Abt. Umwelt, Stałe monitorowanie emisji. Sprawozdanie roczne z 2008 r. ]

### Wyziewy z wyparek i z oczyszczalni ścieków

Szczególnie w przypadku zamykania obiegów wodnych, ograniczając zużycie wody poniżej ok. 4 m<sup>3</sup>/t można stwierdzić w sąsiedztwie papierni występowanie wyziewów, których źródłem są niższe kwasy organiczne i H<sub>2</sub>S. W papierniach o mniejszym stopniu zamknięcia obiegu można również stwierdzić występowanie nieprzyjemnych wyziewów. Mogą one wynikać ze zbyt długiego czasu retencji wody obiegowej w układzie wodnym (rurociągach, kadziach itp.) lub powstawania osadów powodujących wydzielanie siarkowodoru. W takim przypadku można uniknąć wyziewów stosując odpowiednie środki inżynierii procesowej (por. pkt 2.9.14 na temat ograniczania wyziewów). Oczyszczalnia ścieków w papierniach przerabiających makulaturę może być również źródłem znacznych ilości wyziewów. Można ich uniknąć dzięki odpowiedniej konstrukcji oczyszczalni ścieków i jej właściwej obsłudze.

### Gruby pył z obróbki surowców (lokalnie)

Makulatura jest składowana w przeznaczonych do tego składach na terenie papierni. Podczas transportu makulatury do rozwłóknacza może powstawać pył, zwłaszcza jeżeli makulatura jest dostarczana luzem w dużych kontenerach lub na wywrotkach. Zapobieganie powstawaniu takiego pyłu jest raczej kwestią bezpieczeństwa pracy niż ochrony środowiska. Zagadnienie to nie będzie opisane w dalszej części niniejszego dokumentu.

Źródłem emisji pyłu jest również załadunek i rozładunek surowców pylistych (np. talku w proszku, bentonitu) z silosów. Można ich uniknąć stosując filtry włókninowe podczas obróbki tych towarów.

### 6.2.2.8 Hałas i drgania z maszyn papierniczych

Maszyny papiernicze mogą w swoim sąsiedztwie powodować występowanie uciążliwości związanych z hałasem. Wiele fabryk podejmuje działania zmierzające do obniżenia poziomu wytwarzanego hałasu. Więcej szczegółowych informacji na temat poziomów hałasu pochodzącego z maszyn papierniczych znajduje się w pkt 2.9.13 na temat ograniczania hałasu. Oprócz hałasu mogą niekiedy pojawiać się na poziomie lokalnym uciążliwości związane z drganiami (o niskiej częstotliwości).

### 6.3 Techniki, które należy uwzględnić przy określaniu najlepszych dostępnych technik

W niniejszym punkcie opisano techniki (lub ich kombinacje), dzięki którym można osiągnąć wysoki poziom ochrony środowiska działań w ramach niniejszego dokumentu, a także powiązane z nimi monitorowanie. Opisane techniki obejmą zarówno stosowaną technologię, jak i sposób, w jaki instalacje są zaprojektowane, skonstruowane, utrzymane, eksploatowane i wycofywane z eksploatacji.

W niniejszym punkcie omówiono systemy zarządzania środowiskowego, techniki zintegrowane z procesem i środki stosowane na wyjściu, jak również zapobieganie powstawaniu odpadów i zarządzanie nimi, w tym procedury minimalizacji ilości odpadów i ich recyklingu, a także techniki mające na celu ograniczenie zużycia surowców, wody i energii poprzez optymalizację ich wykorzystania i ponownego wykorzystania. Opisane techniki obejmują ponadto środki stosowane w celu zapobieżenia lub ograniczenia oddziaływania na środowisko wypadków i zdarzeń, a także środki remediacji terenu. Techniki te obejmują ponadto środki podjęte w celu zapobieżenia lub ograniczenia emisji w innych niż normalne warunkach pracy (takich jak rozruch i wyłączenie, wycieki, niesprawność, chwilowe przestoje i ostateczne zaprzestanie eksploatacji).

W załączniku III do dyrektywy wymieniono szereg kryteriów określania najlepszych dostępnych technik, a informacje przedstawione w niniejszym punkcie stanowią omówienie tych aspektów. W miarę możliwości wykorzystano typowy układ w tab. 6.18. Służy on przedstawieniu informacji na temat każdej techniki, aby umożliwić porównanie tych technik i ich ocenę w odniesieniu do definicji terminu „najlepsze dostępne techniki” określonej w Dyrektywie w sprawie emisji przemysłowych.

Przedstawiona w niniejszym punkcie lista technik, które mogą być stosowane w sektorze, nie jest listą zamkniętą. Możliwe, że istnieją lub zostaną opracowane inne techniki, które można uwzględnić przy ustalaniu najlepszych dostępnych technik dla danej instalacji.

**Tabela 6. 18 Informacje na temat każdej techniki opisanej w niniejszym rozdziale**

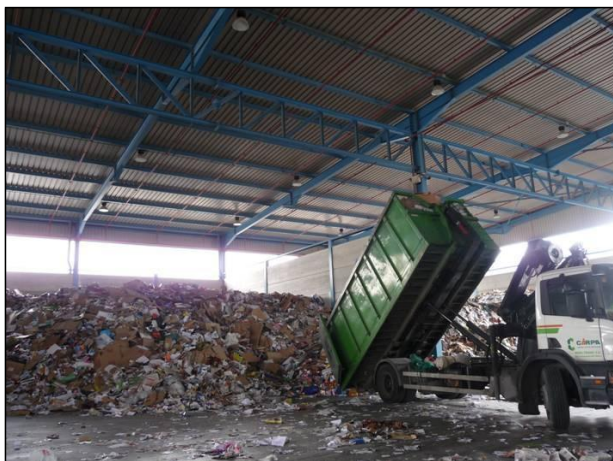
Nazwy punktów
Opis
Opis techniczny
Osiągnięte korzyści dla środowiska
Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne
Oddziaływanie na procesy i środowisko
Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki
Aspekty ekonomiczne
Motywacja do wdrożenia
Instalacje referencyjne
Bibliografia

Większość zakładów przerabiających makulaturę jest zintegrowana z produkcją papieru (w Europie istnieją tylko dwa niezintegrowane zakłady przetwarzające nieodbarwioną masę makulaturową). W związku z tym przerób makulatury (rozwłóknianie i przygotowanie masy) oraz produkcja papieru i związane z nią procesy nakładają się w pewien sposób na siebie. Informacje na temat zintegrowanych zakładów przerabiających makulaturę znajdują się również w rozdziale 7.

### 6.3.1 Dobre gospodarowanie w czasie obróbki i składowania makulatury

#### Opis

Posortowaną makulaturę dostarcza się do papierni albo luzem na samochodach ciężarowych, albo w postaci rol. W tym pierwszym przypadku zdarza się, że makulatura jest składowana w specjalnych zasobnikach lub zadaszonych obiektach (por. ryc. 6.29), ale może być również składowana na otwartej, niezadaszonej przestrzeni.



Rysunek 6. 29 Rozładunek i składowanie makulatury luzem w zadaszonym obiekcie

Zarówno papiernie przerabiające makulaturę z odbarwianiem, jak i bez odbarwiania otrzymują makulaturę na miejscu i tam ją sortują. Przeprowadzanie sortowania i końcowego sortowania na miejscu może być korzystne, ponieważ takie rozwiązanie pozwala na większą kontrolę jakości sortowanej makulatury.

Większość papierni przerabiających makulaturę otrzymuje posortowane role określonych klas. W składach makulatury role są składowane zwykle na zewnątrz, na otwartym powietrzu, na utwardzonej betonem powierzchni z kanalizacją deszczową (por. ryc. 6.30). W niektórych przypadkach są one składowane także pod dachem. Makulatura składowana na zewnątrz jest narażona na działanie czynników atmosferycznych, takich jak wiatr, deszcz, śnieg, mróz, czy promienie słoneczne. Zagrożeniami, które należy uwzględnić, są odprowadzenie wody opadowej, a także wody użytej do gaszenia w razie pożaru. Konieczne jest zastosowanie pewnej formy izolacji, umożliwiającej oczyszczenie zanieczyszczonej wody odpływowej.



Rysunek 6. 30 Składowanie makulatury na zewnątrz, na powierzchni utwardzonej betonem

Pod dachem składowuje się makulaturę wyżej jakości, a więc droższe klasy papieru, lub gdy czas składowania jest dłuższy. Zapobiega to również utracie surowców i minimalizuje ryzyko ich rozwiania przy silnym wietrze.

W niektórych zakładach role składowane są na zewnątrz pod dachem, aby chronić materiał przed niekorzystnym działaniem czynników atmosferycznych (wilgocią, procesami rozkładu mikrobiologicznego itp.). Taką sytuację przedstawiono na ryc. 6.31.



Rysunek 6. 31 Składowanie makulatury w rolach pod dachem

### Główne korzyści środowiskowe

W przypadku stosowania środków dobrego gospodarowania, obróbka i składowanie makulatury nie wywierają znaczących negatywnych skutków na środowisko, bezpieczeństwo, czy zdrowie publiczne.

### Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

Posortowane role makulatury określonych klas składowuje się zazwyczaj na otwartym powietrzu, a w niektórych przypadkach również pod dachem. Makulaturę składowaną na zewnątrz, na otwartym powietrzu, należy umieszczać na utwardzonej betonem powierzchni z kanalizacją deszczową i/lub izolacją od strumieni zanieczyszczonej wody. Podczas opadów deszczu, w takich niezadaszonych składach makulatury pewne ilości wody ulegają zanieczyszczeniu. Zaleca się gromadzenie zanieczyszczonej wody opadowej i jej oczyszczanie w oczyszczalni ścieków; wolną od zanieczyszczeń wodę opadową, np. z dachów, można odprowadzić oddzielnie.

W innych zakładach, w czasie sporadycznych obfitych opadów deszczu zanieczyszczona opadowa woda odpływowa ze składu makulatury omija oczyszczalnię ścieków, zwłaszcza gdy zakład nie jest przystosowany do nagłego wzrostu natężenia przepływającej wody. Wiąże się to jednak z niekontrolowanym zrzutem zanieczyszczonej wody opadowej do zbiorników ściekowych, a przechowywanie jej w międzyczasie w pewnym rodzaju zbiorniku izolacyjnym ogranicza ładunek zanieczyszczeń wprowadzanych do zbiorników wodnych.

Aby zapobiec niedrożności kanalizacji podczas opadów deszczu, należy zabezpieczyć powierzchniowy system odprowadzania wody i kanalizację przed dostaniem się substancji stałych ze składu makulatury (np. arkuszy papieru lub resztek papieru) poprzez zamontowanie i utrzymanie sit.

W niektórych zakładach role składowane są na zewnątrz pod dachem, aby chronić materiał przed niekorzystnym działaniem czynników atmosferycznych (wilgocią, procesami rozkładu mikrobiologicznego itp.). Taką sytuację przedstawiono na ryc. 6.31. Jako przykład można podać papiernię UPM Steyrmühl w Austrii.

Teren składu makulatury jest zwykle ogrodzony od wiatru. Aby ograniczyć poziom niezorganizowanych emisji pyłu, obszar składowania jest regularnie oczyszczany. Pozwala to również zapobiec nawiewaniu resztek papieru i zgniataniu papieru przez pojazdy na terenie zakładu, co może być źródłem dodatkowych emisji pyłu, zwłaszcza w porze suchej.

#### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Środki dobrego gospodarowania nie wywierają żadnych negatywnych skutków. W wyniku prowadzenia sortowania na miejscu powstaną dodatkowe odpady, za które odpowiedzialny będzie zakład, i które w innym razie gromadziłyby się w składach poza zakładem.

#### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Środki/techniki mogą być stosowane w nowych i istniejących zakładach.

#### **Aspekty ekonomiczne**

Brak informacji.

#### **Motywacja do wdrożenia**

Wymagania właściwych organów i zezwolenia.

#### **Instalacje referencyjne**

W papierni UPM Steyrermühl w Austrii makulaturę różnego rodzaju składowuje się pod dachem. W większości zakładów w Niemczech makulaturę składowaną na otwartym powietrzu umieszcza się na utwardzonej betonem powierzchni z kanalizacją deszczową. Zgromadzona zanieczyszczona opadowa woda odpływowa jest oczyszczana w biologicznej oczyszczalni ścieków.

### **6.3.2 Oddzielanie wody uszczelniającej i chłodzącej od zanieczyszczonej wody obiegowej i ponowne wykorzystanie tej wody**

#### **Opis i główne korzyści środowiskowe**

Środek ten ogranicza zużycie świeżej wody i stanowi część optymalnej gospodarki wodnej w papierniach. Gospodarka wodna w papierniach jest zadaniem skomplikowanym, obejmującym wiele aspektów. W celu dokonania przeglądu poniżej zestawiono w skrócie główne zasady stosowania wewnętrznych środków mających na celu ograniczenie zużycia świeżej wody oraz zrzutów z papierni przerabiających makulaturę. W każdym przypadku podano odniesienia do punktów niniejszego dokumentu, w których można znaleźć bardziej szczegółowe informacje.

- Zastosowanie odpowiednich technik do rozdzielenia mniej zanieczyszczonej wody od zanieczyszczonej wody obiegowej. Środkami, które należy wziąć pod uwagę, są oddzielenie i ponowne wykorzystanie wody chłodzącej oraz ponowne wykorzystanie mniej zanieczyszczonej wody uszczelniającej i obiegowej używanej w układzie próżniowym.
- Ograniczenie zużycia świeżej wody poprzez zawracanie wody podsitowej w różnych punktach w zależności od wymaganej jakości wody. Punktami o szczególnym znaczeniu, gdy ogranicza się zużycie świeżej wody, są rozcieńczanie surowców włóknistych i wypełniaczy, rozcieńczanie środków wspomagających przebieg procesów oraz środków służących poprawie właściwości produktu, układ wody stosowanej do natrysków, układ próżniowy oraz woda uszczelniająca do pomp i mieszadeł (por. pkt 6.3.3 i pkt 7.3.1).
- Ograniczenie zużycia świeżej wody poprzez dokładne rozdzielenie obiegów wodnych wraz z przepływami przeciwnymi (por. pkt 6.3.3).
- Otrzymywanie wody sklarowanej z wody podsitowej, jako zamiennika świeżej wody, zachodzące zwykle w wyławiaczach włókien z zastosowaniem sit łukowych, filtrów wielotarczowych (por. pkt 7.1.3) lub flotacji drobnopęcherzykowej (por. pkt 6.3.11).
- Środki mające na celu ograniczenie możliwych negatywnych skutków rosnącego stopnia recyklingu wody obiegowej (por. pkt 7.3.2).

- W niektórych przypadkach stosuje się dalsze oczyszczanie wody sklarowanej (por. pkt 7.3.3). Tak oczyszczona woda spełnia względnie wysokie wymagania jakościowe.

Oddzielenie czystej wody chłodniczej od ścieków technologicznych i jej ponowne wykorzystanie do innych celów jest sposobem na ograniczenie zużycia świeżej wody. Wodę chłodzącą należy każdorazowo przetrzymywać oddzielnie od zanieczyszczonych ścieków z maszyny papierniczej i nie powinno się jej mieszać z wodą obiegową przed oczyszczeniem. W celu ochrony zaleca się, aby substancje stałe były usuwane przy zastosowaniu mikrosita lub innego wylawiacza. Tam, gdzie frakcje wody chłodzącej są odprowadzane do kanałów ściekowych, należy unikać doprowadzania ich do kanałów odprowadzających zanieczyszczoną wodę obiegową, aby zapewnić skuteczność oczyszczania ścieków i ograniczyć jego koszty.

Najpowszechniejsze urządzenie do wytwarzania próżni, tzn. pompa z pierścieniem wodnym, zużywa znaczne ilości wody uszczelniającej. Na przykład wydajny układ próżniowy pompy z pierścieniem wodnym może potrzebować ok. 1 m<sup>3</sup>/t wody uszczelniającej. Woda uszczelniająca będzie zanieczyszczona włóknami, a jej temperatura wzrasta, gdy przechodzi ona przez pompę z pierścieniem wodnym. Zapotrzebowanie pomp z pierścieniem wodnym na świeżą wodę, jako wodę uszczelniającą i obiegową, można w znacznym stopniu obniżyć, zawracając ją z pomp poprzez wymiennik ciepła lub wieżę chłodniczą. Możliwe jest też działanie układów pompy z pierścieniem wodnym przy zamkniętym obiegu wodnym, jeśli istnieje możliwość wykorzystania wieży chłodniczej do schłodzenia wody uszczelniającej. W takim przypadku nie jest konieczne stosowanie świeżej wody, ale wymaga się kontrolowania ewentualnych problemów związanych z osadzaniem się kamienia wskutek wytrącania węglanu wapnia. Niekiedy wodę stosowaną do pomp z pierścieniem wodnym, przed doprowadzeniem do wymiennika ciepła, trzeba poddać klarowaniu przy wykorzystaniu np. sita łukowego. Konieczna może być również regulacja pH w tym obiegu. W celu uniknięcia zbędnych przelewów zawracanej wody w czasie zrywu lub innych sytuacji zachwiania równowagi w przerobie masy może być potrzebne zwiększenie pojemności zbiorników wody obiegowej. Wzrost pojemności wiąże się zwykle z zainstalowaniem dodatkowych zbiorników, rurociągów i pomp.

Zamiast pomp z pierścieniem wodnym, do odwadniania w części pras sitowych można wykorzystać bezwodne układy próżniowe. W układach tych wykorzystuje się turbosprężarki o zmiennej prędkości, nie jest konieczne stosowanie wody uszczelniającej, a także układy te charakteryzują się wyższą energooszczędnością (por. pkt 2.9.6.2.1).

### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Oddzielanie mniej zanieczyszczonej wody od zanieczyszczonej wody i jej zawracanie jest powszechnie stosowane w wielu europejskich zakładach. Różny jest jednak stopień zawracania wody.

Dzięki odpowiedniemu zawracaniu wody uszczelniającej możliwe jest ograniczenie zużycia świeżej wody przez pompy z pierścieniem wodnym do < 1 m<sup>3</sup>/t. Równocześnie można odzyskać część energii, jeśli zastosowano wymienniki ciepła. W bezwodnych układach próżniowych nie ma konieczności wykorzystywania wody uszczelniającej (por. pkt 2.9.6.2.1).

### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Brak negatywnych skutków. Możliwe jest ograniczenie zużycia energii, zwłaszcza gdy zamiast pomp z pierścieniem wodnym stosuje się bezwodne układy próżniowe.

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Oddzielanie i ponowne wykorzystanie czystej wody chłodzącej oraz wody z układów próżniowych (wody uszczelniającej) może być stosowane w nowych i istniejących zakładach. Oddzielenie czystej wody chłodzącej od ścieków technologicznych i jej ponowne wykorzystanie jest stosunkowo łatwe do przeprowadzenia w nowych instalacjach, w przeciwieństwie do istniejących zakładów. Powszechnie stosuje się jednak oddzielanie wody chłodzącej i jej zawracanie po ochłodzeniu. To samo dotyczy zawracania wody uszczelniającej.



### Aspekty ekonomiczne

Zawracanie wody chłodzącej i uszczelniającej wymaga na ogół poczynienia dodatkowych inwestycji w rurociągi, pompy i filtrację wody. Zwiększenie pojemności magazynowej wody wiąże się zazwyczaj z koniecznością zainstalowania dodatkowych zbiorników. Brak danych dotyczących kosztów jednostkowych.

Poza kosztami wprowadzenia opisanych środków, można oczekiwać pewnych oszczędności, np. niższe koszty surowej wody (oczyszczanie) i niższe zużycie energii.

### Motywacja do wdrożenia

Ograniczenie zużycia świeżej wody dzięki zastosowaniu recyrkulacji mniej zanieczyszczonej wody jest z ekonomicznego punktu widzenia rozwiązaniem rozsądnym. W wielu państwach odprowadzanie mniej zanieczyszczonej frakcji wody chłodzącej i uszczelniającej wraz z zanieczyszczonej wodą obiegową jest źle widziane.

### Instalacje referencyjne

Wiele zakładów w Europie.

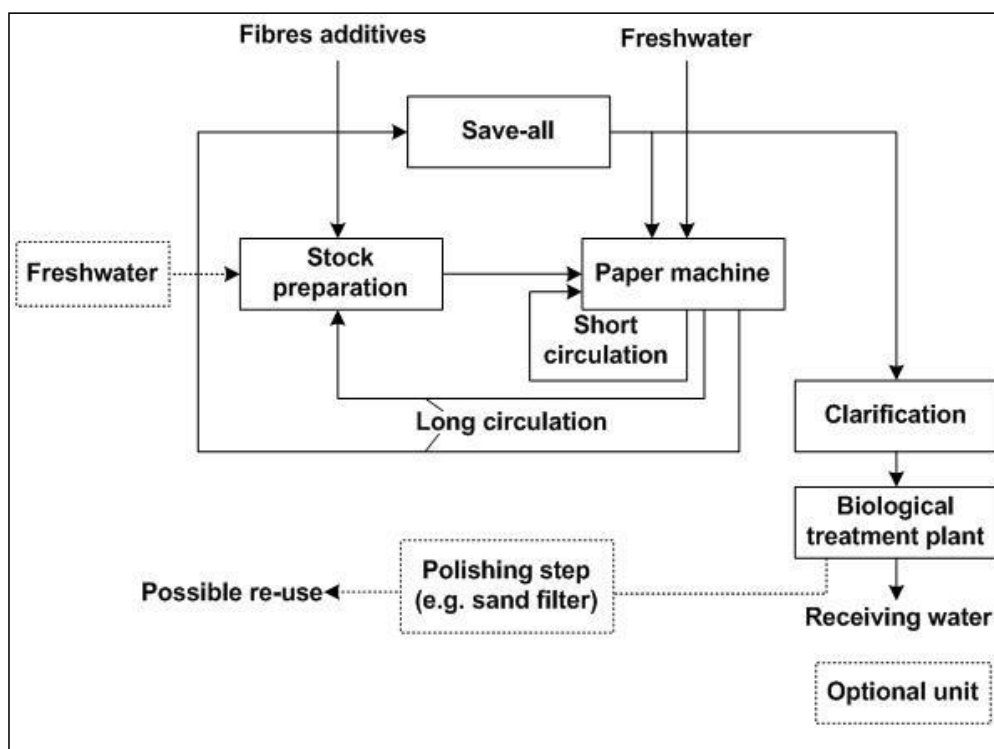
### Bibliografia

[ 14, Konfederacja Europejskiego Przemysłu Papierniczego, 1997 r. ], [ 74, Pöyry, 1994 r. ], [ 163, J. Lahtinen i in., 2009 r. ].

## 6.3.3 Optymalna gospodarka wodna, rozdzielanie i układ obiegów wodnych, strumienie przeciwprądu i wewnętrzne klarowanie wody

### Opis

Obiegi wodne w produkcji papieru z makulatury mogą być nastawione na minimalizację zużycia świeżej wody (por. także pkt 2.9.3 i 2.9.4). W dzisiejszych układach obiegów wodnych woda obiegowa jest wykorzystywana wielokrotnie. Taką sytuację przedstawiono na ryc. 6.32. Takie rozwiązanie wymaga stałego monitorowania jakości wody obiegowej.



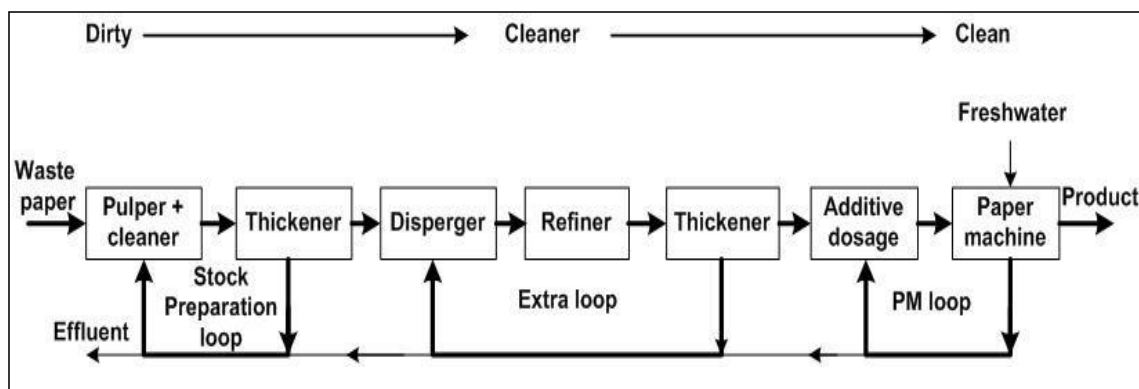
Rysunek 6. 32 Schemat obiegów wodnych w papierniach

Fibres additives	Włókna i dodatki
Freshwater	Świeża woda
Save-all	Wyławianie włókien
Freshwater	Świeża woda
Stock preparation	Przygotowanie masy
Paper machine	Maszyna papiernicza
Short circulation	Obieg krótki
Long circulation	Obieg długi
Clarification	Klarowanie
Biological treatment plant	Biologiczna oczyszczalnia
Receiving water	Odbiornik wody
Polishing step (e.g. sand filter)	3-ci st. oczyszczania (np. filtr piaskowy)
Possible re-use	Możliwe ponowne wykorzystanie
Optional unit	Jednostka opcjonalna

We wszystkich papierniach wykorzystuje się nieoczyszczoną, wzbogaconą we włókna wodę podsitową z maszyny papierniczej do rozcieńczania masy w kadzi mieszadłowej, znajdującej się przed maszyną papierniczą (obieg krótki lub pierwszy), albo do przygotowania masy (obieg długi lub drugi). Główną zasadą ponownego wykorzystania wody obiegowej jest wsteczny przepływ wody obiegowej w układach: przepływ wody podsitowej z papierni do celulozowni powinien odbywać się w przeciwnym kierunku do przepływu włókien. W zintegrowanym zakładzie celulozy i papieru dział masy celulozowej, dział bielenia (jeśli taki istnieje) i papiernia mają swój własny obieg wody podsitowej, z którego nadmiar wody jest zawracany do poprzedniego działu, w którym wymagania jakościowe dla wody są mniej restrykcyjne. Nadmiar wody podsitowej z maszyny papierniczej jest wykorzystywany zamiast świeżej wody w dziale bielenia, a nadmiar wody z działu bielenia jest używany zamiast świeżej wody w celulozowni.

Duże znaczenie ma zminimalizowanie użycia wody podsitowej przepływającej w tym samym kierunku, co produkt, tzn. z instalacji bielenia do maszyny papierniczej. Osiąga się to przez usunięcie jak największej ilości wody ze strumienia włókien, zanim wpłynie on do układu bielenia i ponownie zanim dotrze do układu maszyny papierniczej. W ten sposób minimalizuje się przepływ związków zakłócających przebieg procesu do układów, w których wykorzystuje się względnie czystą wodę obiegową.

Rozdzielanie obiegów wodnych jest przeprowadzane za pomocą urządzeń zagęszczających, takich jak odwadniające prasy ślimakowe i sitowe lub na etapie mycia, tzn. etapie zagęszczania. Na ryc. 6.33 przedstawiono układ zaproponowany dla holenderskiej papierni, która sprawdza potencjalne możliwości zamknięcia obiegu wodnego. W tym przykładzie obliczono, że ilość ChZT wytwarzanego na etapie przygotowania masy, która dociera do obiegu maszyny papierniczej, może być ograniczona dwukrotnie, a nawet czterokrotnie. Dodatkowa zagęszczarka ułatwia poprawę rozdziału „brudnego” przygotowania masy od „czystej” maszyny papierniczej, a więc przyczynia się do znacznego zmniejszenia ilości substancji organicznych doprowadzanych do obiegu maszyny papierniczej.



Rysunek 6. 33 Układ obiegów wodnych w papirni z rozdzieleniem poszczególnych obiegów i przepływem przeciwnym

Dirty	Brudna
Cleaner	Czystsza
Clean	Czysta
Waste paper	Makulatura
Pulper + cleaner	Rozwłókniacz + sortownik
Effluent	Ścieki
Stock Preparation loop	Obieg w układzie przygotowania masy
Thickener	Zagęszczarka
Disperger	Dyspergator
Refiner	Młyn
Extra loop	Obieg dodatkowy
Thickener	Zagęszczarka
Additive dosage	Dozowanie dodatków
PM loop	Obieg maszyny papierniczej
Paper machine	Maszyna papiernicza
Freshwater	Świeża woda
Product	Produkt

Część wody podsitowej (por. ryc. 6.32) jest oczyszczana w wyławiaczach włókien (por. pkt 7.1.3) z zastosowaniem filtracji (filtry wielotarczowe, filtry bębnowe oraz w niektórych przypadkach ultrafiltracja, por. pkt 7.3.3) lub flotacji (flotacja drobnopęcherzykowa, DAF, por. pkt 6.3.11). Sklarowana woda jest następnie wykorzystywana w miejsce świeżej wody na przykład do natrysków czyszczących odzież maszynową (sita, filce). Nadmiar sklarowanej wody obiegowej jest odprowadzany do oczyszczalni ścieków. W niektórych przypadkach część oczyszczonych ścieków jest ponownie wykorzystywana jako woda obiegowa, np. w przerobie makulatury na papier na warstwę pofalowaną i płaską tektury falistej oraz, w mniejszym stopniu, na papier gazetowy.

W wielu papirniach świeża woda jest używana wyłącznie jako woda zasilająca kocioł, do rozcieńczania dodatków chemicznych oraz w tych punktach maszyny papierniczej, w których jest potrzebna wysokiej jakości woda pozbawiona substancji stałych, np. do rur natryskowych i natrysków formatowych.

Zamykanie obiegów wodnych ma jednak zarówno zalety, jak i wady. Zwiększone zamknięcie obiegu wodnego prowadzi do znacznego wzbogacania wody obiegowej w substancje koloidalne i rozpuszczone związki organiczne i nieorganiczne, które mogą powodować poważne zakłócenia procesu produkcyjnego, jeżeli nie zostaną podjęte żadne środki zapobiegawcze (por. pkt 7.3.2). W tab. 6.19 zestawiono niektóre z zalet i wad zamykania obiegów wodnych.

Tabela 6. 19 Niektóre zalety i wady zamykania obiegów wodnych w papierniach

Zalety	Wady
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ograniczenie zużycia wody.</li> <li>• Ograniczenie potrzeby wstępnego oczyszczania świeżej wody.</li> <li>• Ograniczenie ilości ścieków do oczyszczania. Można zbudować mniejszą oczyszczalnię (niższe koszty inwestycyjne i operacyjne). Zanieczyszczenia są bardziej skoncentrowane, co często pozwala na osiągnięcie wyższej efektywności oczyszczania i tym samym niższych poziomów emisji.</li> <li>• Przekroczenie dozwolonego poziomu przepływu nie zakłóca wzrostu produkcji.</li> <li>• Ograniczenie ilości włókien w stratach wypełniaczy.</li> <li>• Podwyższona temperatura procesu, co prowadzi do poprawy odwadniania wstęgi papieru.</li> <li>• Ograniczenie zapotrzebowania na energię.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gromadzenie się (zawieszonych) substancji stałych.</li> <li>• Gromadzenie się substancji organicznych i nieorganicznych.</li> <li>• Nasilenie problemów związanych z wyziewami wskutek gromadzenia się substancji organicznych.</li> <li>• Wyższy stopień skomplikowania procesów.</li> <li>• Problemy z korozją.</li> <li>• Wzrost zużycia dodatków.</li> <li>• Zatykanie się urządzeń.</li> <li>• Problemy związane z jakością produktu.</li> <li>• Tworzenie się kamienia i śluzu.</li> <li>• Wzrost temperatury wody obiegowej (co może być również zaletą, por. lewa kolumna).</li> </ul>
<p><i>Źródło: [ 23, Holenderski dokument referencyjny dotyczący najlepszych dostępnych technik, 1996 r. ]</i></p>	

W całkowicie zamkniętych obiegach wodnych (dających się zastosować wyłącznie w produkcji papieru na warstwę płaską i pofalowaną) mogą występować dodatkowe problemy operacyjne, które należy kontrolować, w tym:

- znaczne obniżenie zawartości tlenu w wodzie obiegowej, osiagającej warunki beztlenowe, związane z powodowaną przez mikroorganizmy redukcją siarczanów do siarkowodoru i powstawanie złownych, niskocząsteczkowych kwasów tłuszczowych;
- wzmożony wzrost mikroorganizmów i większe zapotrzebowanie na środki służobójcze;
- agresywna korozja spowodowana wysoką temperaturą i wysoką zawartością chlorków, siarczanów i kwasów organicznych;
- znaczne emisje złownych związków organicznych z części suszącej maszyny papierniczej do otoczenia papierni;
- pogorszenie jakości wytwarzanego papieru pod wpływem związków złownych.

Większość z tych problemów występuje przy poziomie zużycia świeżej wody poniżej 4 – 6 m<sup>3</sup>/t papieru (co odpowiada przepływowi ścieków na poziomie 2,5 – 4,5 m<sup>3</sup>/t), jeśli nie podejmie się żadnych działań zapobiegawczych.

W celu zmniejszenia ładunku organicznego w wodzie obiegowej, aby obniżyć i usprawnić kontrolę ewentualnych wad zamkniętych obiegów wody obiegowej, w kilku europejskich papierniach zainstalowano oczyszczalnię biologiczną typu „in-line” (por. pkt 6.3.4). W celu kontroli tych problemów niektóre papiernie wytwarzające „papier brązowy” ponownie otworzyły już całkowicie zamknięte obiegi wodne i obecnie pracują, odprowadzając niewielką ilość ścieków na poziomie 2,5 – 4,5 m<sup>3</sup>/t wytwarzanego papieru.

Z powodu odpowiedniego stosunku BZT<sub>5</sub>/ChZT, ścieki mogą być oczyszczane bardzo skutecznie w oczyszczalniach beztlenowo-tlenowych (por. pkt 6.3.7).

#### **Główne korzyści środowiskowe**

Dzięki tej technice można zaoszczędzić znaczne ilości świeżej wody, która jest potrzebna tylko jako uzupełnienie w układzie maszyny papierniczej.

Środki mające na celu obniżenie zużycia wody wraz ze zoptymalizowanym rozdzieleniem i układem obiegów wodnych, a także klarowaniem wody obiegowej nie zwiększają stężenia niepożądanych substancji w obiegu wodnym maszyny papierniczej, utrzymując w ten sposób płynność procesu. Osiągalna stopa redukcji zużycia świeżej wody zależy głównie od sytuacji sprzed wprowadzenia usprawnień i zastosowanego później układu ściekowego. Uzyskana poprawa oddziaływania na środowisko powinna być rozważana jako tożsama z zastosowanym oczyszczaniem ścieków. Całkowite rozdzielanie obiegów wodnych stwarza dobre możliwości do oczyszczania typu „in-line”, w celu usuwania substancji zakłócających proces (tzw. „oczyszczanie przez nerkę”). Więcej informacji na temat oczyszczania przez nerkę znajduje się w pkt 6.3.4, 6.3.9, 7.3.3 i 7.4.1.

Środki umożliwiające obniżenie emisji do wód powierzchniowych są często ściśle związane ze zmniejszeniem zużycia świeżej wody. Zamknięcie obiegu wodnego skutkuje zmniejszeniem przepływu ścieków o zwiększonych poziomach stężenia. W wyniku tego może poprawić się skuteczność oczyszczania ścieków. Strumienie skoncentrowanych ścieków mogą być na ogół oczyszczane skuteczniej i niekiedy można osiągnąć mniejszy poziom odprowadzanego ładunku ChZT.

### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

W papierniach przerabiających makulaturę bez odbarwiania nie jest konieczne stosowanie świeżej wody na etapie przygotowania masy. Ponieważ we wszystkich tych zakładach produkcja masy i papieru odbywa się w tym samym miejscu (produkcja zintegrowana), zastosowanie świeżej wody jest konieczne w części maszyny papierniczej.

W produkcji nieodbarwianego papieru na warstwy pofalowane i płaskie oraz niektórych rodzajów kartonu możliwe jest osiągnięcie jednostkowego zużycia świeżej wody na poziomie 4 – 8 m<sup>3</sup>/t wytwarzanego papieru. Doświadczenia pokazują, że zużycie świeżej wody na tym poziomie nie zakłóca płynności pracy maszyn papierniczych i nie obniża jakości papieru. Doświadczenia płynące z nowych i istniejących zakładów są dobre, a obecna konstrukcja maszyn papierniczych przemawia za stosowaniem tej techniki. Szereg zakładów wytwarzających papier na warstwy pofalowane przy takim poziomie zużycia wody osiąga wysokie normy jakości produktów. Niewielki przepływ wody zwiększa ChZT wody obiegowej do zakresu stężeń, który jest szczególnie odpowiedni do beztlenowego oczyszczania ścieków, co daje możliwość wytwarzania biogazu.

W wielu papierniach zawraca się częściowy strumień biologicznie oczyszczonej wody obiegowej do obiegu wodnego, w szczególności w zakładach, które wytwarzają papier na warstwy pofalowane i płaskie. Niektóre zakłady stosujące w znacznym stopniu zamknięte obiegi wodne napotykają na trudności w związku z gromadzeniem się wapnia w wodzie obiegowej, powodując wytrącanie węglanu wapnia oraz osadzanie kamienia na rurociągach, sitach i filcach. W niektórych papierniach zastosowano niedawno rozwiązanie mogące sprostać temu wyzwaniu (por. pkt 6.3.5). Na przykład w papierni wytwarzającej papier LWC i papier na warstwę płaską z białym pokryciem zawraca się oczyszczaną w warunkach beztlenowych wodę obiegową jako zamiennik świeżej wody po kontrolowanym wytrąceniu węglanu wapnia (Leipa w Schwedt w Niemczech).

Istnieje również kilka możliwości zastosowania oczyszczania beztlenowo-tlenowego w „bionerkach”, które stanowią integralną część oczyszczania wody obiegowej (np. RCF 6 w Niemczech; UIPSA, Durango McKinley w Stanach Zjednoczonych), por. pkt 6.3.4. Istnieje kilka papierni przerabiających makulaturę bez odbarwiania, w których działa całkowicie zamknięty układ wodny.

W przygotowaniu masy czystość wody obiegowej nie jest tak istotna, jak czystość wody podsitowej maszyny papierniczej. Dlatego też na etapie przygotowania masy wykorzystuje się w bardzo dużym stopniu nadmiar sklarowanej wody podsitowej z papierni i wewnętrznie sklarowaną wodę podsitową.

W papierniach przerabiających makulaturę z odbarwianiem stopień zamknięcia układu wodnego jest bardziej ograniczony ze względu na właściwości papieru, jakie należy osiągnąć (jasność, czystość). W najbardziej wydajnych zakładach osiąga się niewielkie strumienie ścieków na poziomie ok. 6 – 8 m<sup>3</sup>/t. Ścieki w tych zakładach były powszechnie oczyszczane z zastosowaniem układów tlenowych. Od ok.

2007 r. z powodzeniem stosuje się oczyszczanie beztlenowe ścieków w papierniach przerabiających makulaturę na bibułkę higieniczną, a ostatnio także ścieków w wytwórniach papieru gazetowego. W tym ostatnim przypadku duży ładunek ChZT jest przypisywany procesowi odbarwiania. Zastosowanie tego energooszczędnego rozwiązania stało się możliwe dzięki skoncentrowanym strumieniom i nowym konstrukcjom reaktorów do dużych obciążeń (por. pkt 6.3.8).

W przypadku papierni przetwarzającej makulaturę na bibułkę higieniczną może okazać się konieczne zastosowanie większej ilości wody do efektywnego mycia filców maszyn.

Więcej danych dotyczących zużycia wody w działających zakładach znajduje się w pkt 6.2.2.2, 6.3.7 i 6.3.8.

Konieczna jest kontrola ewentualnych wad zamknięcia układu wodnego (por. pkt 7.3.2). W przeciwnym razie gromadzenie się zawiesin, a także rozpuszczonych substancji organicznych i nieorganicznych w układzie wody podsitowej może spowodować negatywne skutki.

### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Temperatura wody obiegowej wzrasta wskutek jej wzmożonego ponownego wykorzystywania, dlatego też można ograniczyć zużycie pary do podgrzewania wody obiegowej. Każdy zakład musi znaleźć optymalną równowagę wodną wraz ze środkami mającymi na celu uniknięcie, ograniczenie lub kontrolę ewentualnych wad zamknięcia układu wodnego. W związku z wyższym stężeniem w obiegach konieczne może być dodatkowe beztlenowe oczyszczanie biologiczne. Zastosowanie metod beztlenowego oczyszczania ścieków powoduje zmniejszenie zapotrzebowania na paliwa kopalne w produkcji papieru (por. pkt 6.3.7).

Instalacja obiegów wodnych poprzez wstawienie zagęszczarek, które oddzielają wodę obiegową od włókien, prowadzi do znacznej zmiany składu wody w obiegu maszyny papierniczej pod względem zawartości substancji organicznych i nieorganicznych (np. śmieci anionowe). Doprowadzi to do zmiany efektywności dodatków w części mokrej. Konieczne jest uwzględnienie oraz kontrola wzrostu zasolenia (zawartości jonów) spowodowanego wzbogaceniem substancji mineralnych w obiegach wodnych i jego wpływu na efektywność środka retencyjnego, skrobi i innych dodatków.

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Opisane środki gospodarki wodnej można wprowadzić zarówno w nowych, jak i istniejących zakładach. Zastosowanie redukcji w niektórych starszych zakładach, w których zużycie świeżej wody może być większe, może spowodować problemy z korozją w zależności od jakości materiałów, z których wykonane są maszyny i rurociągi. W takim przypadku konieczna jest stopniowa wymiana takich urządzeń. Istniejące oczyszczalnie ścieków trzeba dostosować do innych wielkości strumieni i ładunków.

Przepływ wsteczny wody podsitowej w układzie przeciwpądowym do przepływu włókien może być stosowany tylko w zintegrowanych zakładach celulozy i papieru/kartonu. Poza nielicznymi przypadkami zakłady przetwórstwa papieru są zintegrowane z papiernią.

### **Aspekty ekonomiczne**

Minimalizacja zużycia świeżej wody powoduje obniżenie kosztów oczyszczania tej wody i oczyszczania ścieków. Stosowane środki zależą od warunków panujących w poszczególnych papierniach. Koszty tego środka zależą od liczby i charakteru koniecznych zmian w układzie obiegu wodnego i rodzaju wymaganych instalacji dodatkowych. Dlatego też niemożliwe jest wskazanie kosztów jednostkowych. Potrzebna jest dostateczna pojemność magazynowa do gromadzenia wody podsitowej.

### **Motywacja do wdrożenia**

Podstawą do wdrożenia koncepcji zwracania wody obiegowej jest obniżenie ładunku ścieków ze zintegrowanych papierni przerabiających makulaturę. Zamykanie obiegu wodnego jest warunkiem

wstępnym efektywnego oczyszczania ścieków (niższe koszty inwestycyjne i operacyjne oraz wyższa efektywność oczyszczania). Podstawą do wprowadzania środków mających na celu zmniejszenie zużycia wody jest:

- zmniejszenie kosztów świeżej wody (w niektórych państwach),
- zmniejszenie kosztów oczyszczania ścieków,
- zmniejszenie opłat za ścieki,
- na poziomie lokalnym – ograniczenie poboru wód gruntowych.

### Instalacje referencyjne

Opisane środki wdrożono w wielu papierniach przerabiających makulaturę w Europie.

### Bibliografia

[ 14, Konfederacja Europejskiego Przemysłu Papierniczego, 1997 r. ], [ 23, Holenderski dokument referencyjny dotyczący najlepszych dostępnych technik, 1996 r. ], [ 69, IFP, 1998 r. ], [ 74, Pöyry, 1994 r. ], [ 93, Mönnigmann i in., 1996 r. ], [ 120, RIZA, 1997 r. ].

## 6.3.4 Zamknięte obiegi wodne z oczyszczaniem biologicznym wody obiegowej typu „in-line”

### Opis

W niewielu papierniach w Europie i Ameryce Północnej, wytwarzających papier na warstwy pofalowane i płaskie, udało się wyeliminować odprowadzanie ścieków i pracować z „zamkniętym układem wodnym”. Nieuniknione gromadzenie się organicznych substancji rozpuszczonych i koloidalnych w zamkniętych obiegach wodnych powoduje jednak w większości przypadków poważne problemy, takie jak korozja, nieprzyjemne wyziewy, których źródłem jest wytwarzany papier oraz opary z maszyn papierniczych. W celu zmniejszenia zanieczyszczenia organicznego wody obiegowej zaadaptowano do stosowania wewnątrz zakładu techniki oczyszczania ścieków wykorzystywane w technologii oczyszczania na wyjściu. Część strumienia wody obiegowej (np. jedną trzecią ilości wody podsitowej) oczyszcza się w oczyszczalniach biologicznych, a oczyszczona woda jest ponownie wykorzystywana w produkcji papieru. Podstawową zaletą oczyszczania typu „in-line” jest to, że, do utrzymania danego ładunku zanieczyszczeń w obiegu, trzeba usunąć tylko część ładunku ChZT z całkowitego ładunku zanieczyszczeń wody podsitowej. Dzięki temu oczyszczalnia ścieków typu „in-line” jest atrakcyjna pod względem ekonomicznym. Obecnie stosuje się w tym celu różne rozwiązania techniczne. W niniejszym punkcie pokrótce opisano jedno z nich.

---

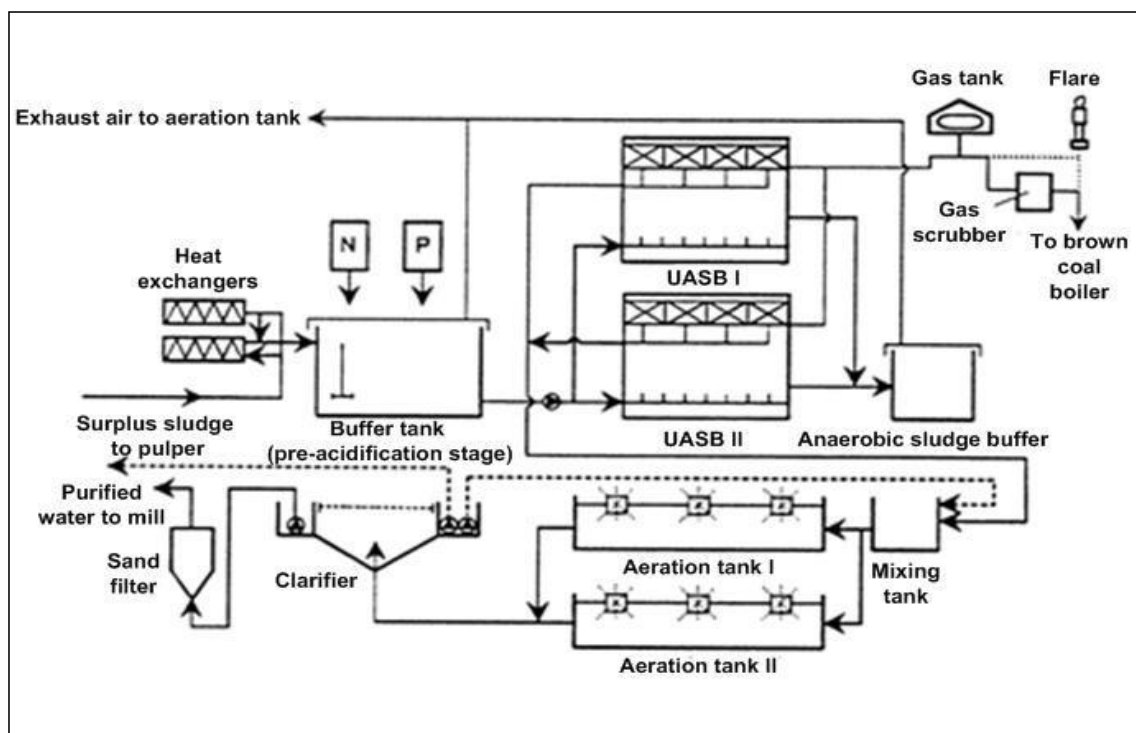
**Przykład: Oczyszczanie beztlenowe połączone z układem osadu czynnego i filtrem piaskowym w zakładzie RCF 6 w Niemczech**

---

Od 1995 r. w zakładzie RCF 6 w Niemczech bez większych trudności działa oczyszczalnia typu „in-line” (Herberz, 2006 r.). Papiernia produkuje 400 000 ton/rok papieru na warstwę płaską i pofalowaną na dwóch maszynach papierniczych. Część strumienia wody obiegowej jest chłodzona w celu obniżenia temperatury wody z 55°C do 35°C.

Zbiornik buforowy/reaktor wstępnego zakwaszania jest stosowany w celu dodania pożywki przed wprowadzeniem wody do reaktora UASB. Po tym etapie następuje oczyszczanie tlenowe w dwóch pracujących równolegle komorach napowietrzania. Po przejściu przez osadnik oczyszczana woda jest kierowana do filtrów piaskowych w celu zmniejszenia stężenia substancji stałych. Biogaz wytwarzany w reaktorach beztlenowych jest kierowany do płuczki, aby usunąć H<sub>2</sub>S, a następnie używany do wytwarzania pary.

Na ryc. 6.34 przedstawiono uproszczony schemat oczyszczania wody obiegowej.



Rysunek 6. 34 Przykład oczyszczania typu „in-line” w zamkniętych obiegach wodnych, układ oczyszczania wody obiegowej w zakładzie RCF 6 w Niemczech

Exhaust air to aeration tank	Powietrze usuwane do komory napowietrzania
Gas tank	Zbiornik gazu
Flare	Flara
Gas scrubber	Płuczka gazowa
To brown coal boiler	Do kotła na węgiel brunatny
Heat exchangers	Wymienniki ciepła
N	N
P	P
UASB I	Reaktor UASB I
Surplus sludge to pulper	Osad nadmierny do rozwłóknacza
Buffer tank (pre-acidification stage)	Zbiornik buforowy (etap wstępnego zakwaszania)
UASB II	Reaktor UASB II
Anaerobic sludge buffer	Beztlenowy zbiornik buforowy osadu
Purified water to mill	Oczyszczona woda do zakładu
Sand filter	Filtr piaskowy
Clarifier	Osadnik
Aeration tank I	Komora napowietrzania I
Aeration tank II	Komora napowietrzania II
Mixing tank	Zbiornik mieszalny

W wyniku oczyszczania typu „in-line” możliwe jest osiągnięcie pożądanego poziomu ChZT w obiegach, w zależności od poddawanego oczyszczaniu strumienia oraz wielkości zakładu. Wylimitowanie odprowadzania ścieków nie oznacza osiągnięcia wysokiej efektywności w zmniejszeniu zanieczyszczenia do poziomu odpowiadającego przepisom, lecz tylko uzyskanie dających się zaakceptować poziomów stężeń w obiegach, aby osiągnąć dobre właściwości wyrobów papierowych. Jeżeli poziom ChZT w zamkniętym obiegu utrzymuje się na poziomie ok. 7 000 – 8 000 mg/l, jakość wody obiegowej jest podobna do uzyskiwanej w zakładach o średniej ilości odprowadzanych ścieków, wynoszącej ok. 3 – 4 m<sup>3</sup>/t.



Zakład podany w przykładzie powyżej, wytwarzający od 1970 r. papier na warstwy pofalowane i płaskie w warunkach całkowicie bezściekowych (bez oczyszczania biologicznego typu „in-line”), po uruchomieniu w 1995 r. biologicznej oczyszczalni wody obiegowej typu „in-line” uzyskał znacznie wyższą jakość wody obiegowej i papieru oraz odnotował zmniejszenie emisji substancji organicznych przez opary z maszyn papierniczych [ 145, Sprawozdanie UBA, 1996 r. ] (por. ryc. 6.34).

Podobne rozwiązanie zostało zastosowane w papierni Tillmann w Zülpich-Sinzenich w Niemczech. Główną różnicą jest to, że papiernia Tillmann wprowadziła etap dekarbonizacji między reaktory beztlenowe a instalację oczyszczania osadem czynnym, aby uniknąć wzbogacenia węgla wapnia w układzie wodnym lub niekontrolowanego wytrącenia wapnia w układzie oczyszczania ścieków (por. także pkt 6.3.5). Aby obniżyć stężenie wapnia, przekształcono zbiornik starej oczyszczalni ścieków i wykorzystano go do etapu dekarbonizacji poprzez napowietrzanie. Wytrącone wapno wycofuje się z układu po sedimentacji.

### **Główne korzyści środowiskowe**

Wynikiem zamknięcia obiegu wodnego z wykorzystaniem oczyszczania typu „in-line” jest wyeliminowanie emisji do wody. Ilość świeżej wody do produkcji papieru obniża się do ok. 1 m<sup>3</sup>/t wyprodukowanego papieru. Jest to ilość wody odparowanej w części suszącej maszyny papierniczej (bez prasy zaklejającej).

W przypadku papierni posiadającej już układ wody obiegowej bez odprowadzania ścieków oczyszczanie typu „in-line” może być skutecznym środkiem zmniejszenia zanieczyszczenia wytwarzanego papieru oraz stężenia związków złoonych w oparach odprowadzanych z maszyny papierniczej.

### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Według doniesień wewnętrzne oczyszczanie biologiczne jest efektywną metodą na obniżenie poziomu ChZT w wodzie podsitowej i tym samym na rozwiązanie problemów z wyziewami.

W przytoczonej w przykładzie papierni (RCF 6 w Niemczech) oczyszczanie wody obiegowej typu „in-line” rozpoczęto we wrześniu 1995 r. W ciągu kilku tygodni osiągnięto spodziewaną efektywność oczyszczania biologicznego. Od tego czasu zakład działa bez większych trudności. Niemniej jednak problemy powodowane wytrącaniem węgla wapnia w rurociągach i zbiorniku napowietrzonym muszą być rozwiązane. Podjęto środki pozwalające na ograniczenie wytrącania węgla wapnia (por. pkt 6.3.5).

Niezawodność hydrauliczna zamknięcia obiegu wymaga wprowadzania w sposób ciągły tylko 50 % strumienia wody, która jest odparowywana w części suszącej maszyny papierniczej jako świeża woda (ok. 1 m<sup>3</sup>/t). Aby osiągnąć kompatybilność ze zmniejszonym zużyciem wody, trzeba dokonać wewnętrznych modyfikacji obiegów wodnych.

### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Techniki beztlenowe oczyszczania typu „in-line” ograniczają powstawanie nadmiaru biomasy do minimum. Nadmiar biomasy może być albo ponownie wykorzystany do produkcji papieru, albo spalony. Zapotrzebowanie na energię oczyszczalni typu „in-line” (pomp, aparatów do napowietrzania, mieszadeł) jest w całości pokrywane dzięki termicznemu wykorzystaniu wytwarzanego biogazu. W porównaniu z całkowicie zamkniętym obiegiem wodnym bez oczyszczania typu „in-line” stężenia związków złoonych (np. kwasów mrówkowych, kwasu octowego, kwasu propionowego i kwasu mlekowego) w wodzie obiegowej mogą być obniżone o 95 %. Skutkiem tego jest znaczne zmniejszenie emisji tych substancji organicznych z oparami z maszyny papierniczej, dzięki czemu w znacznym stopniu można ograniczyć emisje wyziewów [ 145, Sprawozdanie UBA, 1996 r. ].

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Technika ta może być stosowana tylko w przypadku „papieru brązowego” wyprodukowanego z makulatury (np. papieru na warstwy pofalowane i płaskie).

Istnieje kilka przyczyn, dla których technika ta nie jest ogólnie uważana za najlepszą dostępną technikę. Główną przyczyną jest ryzyko wytrącania węglanu wapnia w obiegu wody obiegowej, a także w oczyszczalniach beztlenowych i tlenowych. Kontrola stężenia wapnia w wodzie podsitowej jest bardzo skomplikowana i nie do końca jasna. Nie zostały jeszcze dopracowane techniki służące rozwiązaniu tego problemu (por. pkt 6.3.5). Ponadto, w celu wprowadzenia biologicznego oczyszczania typu „in-line” w istniejącej papierni, należy zoptymalizować cały układ wodno-masowy, co może potrwać kilka lat, szczególnie w starszych zakładach. Ponowne wykorzystanie części strumieni biologicznie oczyszczonych ścieków jako wody obiegowej jest stosowane w Europie przez wiele papierni wytwarzających papier na warstwę pofalowaną. W niektórych papierniach udział oczyszczonych ścieków do ponownego wykorzystania może sięgnąć 50 % – 60 %.

Jednak nawet jeśli można rozwiązać problem z osadzaniem się kamienia, powstają inne pytania, np. jak zapewnić efektywne i niezakłócone działanie szybkobieżnych maszyn papierniczych wytwarzających papier opakowaniowy o niższych gramaturach, niż w ubiegłych latach.

#### **Aspekty ekonomiczne**

Instalacje beztlenowe są mniejsze, lecz droższe od instalacji do oczyszczania tlenowego, które charakteryzują się niższymi kosztami operacyjnymi i oszczędnością energii dzięki produkcji metanu. W przypadku opisanego w przykładzie zakładu (RCF 6 w Niemczech), koszty inwestycyjne wyniosły 6 mln euro (ceny na 1995 r.; z czego 1 mln euro stanowiły dotacje). Całkowity roczny koszt operacyjny obejmujący substancje chemiczne, składowanie wydzielonej siarki oraz koszty robocizny i konserwacji sięga 165 000 euro. Obejmuje on oszczędności energii netto w wysokości 13 000 euro/rok. Zakładając produkcję papieru na poziomie 360 000 t/rok oraz ilość oczyszczanej wody obiegowej na poziomie 1 000 000 m<sup>3</sup>/rok, wyliczono jednostkowe koszty operacyjne wynoszące 0,5 euro/t papieru oraz 0,2 euro/m<sup>3</sup> wody obiegowej. Jednostkowe koszty, obejmujące nakłady inwestycyjne oraz koszty operacyjne, wynoszą odpowiednio 1,8 euro/t papieru i 0,7 euro/m<sup>3</sup> wody obiegowej [145, Sprawozdanie UBA, 1996 r.].

#### **Motywacja do wdrożenia**

Zdarza się, że papiernie wytwarzające papier na warstwy pofalowane i płaskie są umiejscowione nad rzekami, z których pobierana jest woda pitna, lub nad małymi źródłami, które są bardzo wrażliwe na zanieczyszczenie. W celu zapewnienia akceptowalnej jakości wody rzecznej władze lokalne ustalają restrykcyjne normy dotyczące odprowadzania ścieków w oparciu o docelową jakość wody określoną dla rzeki. W niektórych przypadkach papiernie nie mogą spełnić tych norm, stosując oczyszczanie ścieków zgodnie z zasadą oczyszczania na wyjściu. W związku z tym papiernie te muszą całkowicie zamykać obieg wodny. Zamknięcie obiegu wodnego wywiera jednak niekorzystny wpływ na jakość papieru i opary z maszyn papierniczych. Aby uniknąć wzrostu zawartości soli, twardości wody i stężenia złownych lotnych kwasów tłuszczowych, odpowiednim środkiem może być biologiczne oczyszczanie wody obiegowej typu „in-line”. Niemniej jednak potrzebne są dalsze badania, mające na celu rozwiązanie problemu wytrącania węglanu wapnia i niektórych innych skutków ubocznych.

#### **Instalacje referencyjne**

RCF 6 w Niemczech; VPK Oudegem w Belgii; Papelera de la Aqueria w Hiszpanii.

#### **Bibliografia**

[145, Sprawozdanie UBA, 1996 r.], [21, Diedrich i in., 1997 r.].

### **6.3.5 Usuwanie wapnia z wody obiegowej**

#### **Opis i główne korzyści środowiskowe**

Znaczący wzrost zużycia węglanu wapnia jako wypełniacza i pigmentu do wytwarzania papieru jest przyczyną wysokiego stężenia rozpuszczonych jonów wapnia w wodzie obiegowej w papierniach.

Dotyczy to zwłaszcza papierni przerabiających makulaturę, w których tendencja ta jest jeszcze silniejsza poprzez ciągle zwiększanie stopnia zamknięcia obiegu wodnego. W zależności od stopnia zamknięcia układu, stężenie wapnia może przekroczyć 1 500 mg/l. Spowodowane tym wytrącanie kamienia i jego osadzanie głównie w postaci węglanu wapnia występuje w układach wodnych, np. w walcach profilowych, sitach, filcach i dyszach natryskowych, w układach wymienników ciepła, a także w biologicznych oczyszczalniach ścieków. Wytrącanie węglanu wapnia i jego osadzanie może stanowić ograniczenie dla ponownego wykorzystania biologicznie oczyszczonej wody jako wody obiegowej, ze względu na wyjątkowo wysoki potencjał do wytrącania kamienia w tym strumieniu wody [ 152, I. Demel i in., 2004 r. ]. Usunięcie wapnia z wody obiegowej pozwala papierniom przerabiającym makulaturę, stosującym wyższy stopień zamknięcia obiegu wodnego, na dalsze wykorzystywanie makulatury.

Wytrącania węglanu wapnia i jego osadzania można uniknąć stosując różne środki:

- a) Stosowanie dodatków chemicznych jako inhibitorów wytrącania. Inhibitor fosfonianowy jest stosowany w niemieckiej papierni z całkowicie zamkniętym układem wodnym. Inhibitor ten dodaje się do wody obiegowej poddanej biologicznemu oczyszczaniu beztlenowo-tlenowemu w stężeniu 40 ppm. Jest ona wykorzystywana głównie zamiast świeżej wody, jako woda stosowana do natrysków w maszynie papierniczej. Odkąd zaczęto używać inhibitora, osadzanie węglanu wapnia na walcach profilowych, sitach oraz filcach i dyszach natryskowych obniżyło się znacznie. Osiągnięto znaczną poprawę płynności pracy maszyny papierniczej.
- b) Obniżenie stężenia wapnia przez kontrolowane wytrącanie węglanu wapnia. Zgodnie z równowagą węglanowo-dwuwęglanową wytrącanie węglanu wapnia zależy od pH wody obiegowej i odpowiadającego mu stężenia węglanów. Odpowiednim strumieniem wody do kontrolowanego wytrącania są ścieki z reaktora beztlenowego, których pH wynosi już 6,8 – 7,2 i może być zwiększone przez zastosowanie roztworów alkalicznych lub odpędzanie CO<sub>2</sub> wytworzonego w procesie biodegradacji.

### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

W niemieckich zakładach przerabiających makulaturę zainstalowano dwa układy do wytrącania węglanu wapnia. Pierwszym z nich jest reaktor napowietrzania. Sprężone powietrze pompuje się do reaktora wypełnionego wodą obiegową przez dwa rurociągi w obiegu zamkniętym [ 150, Bülow i in., 2003 r. ], [ 151, Bülow i in., 2003 r. ]. Odpędzanie CO<sub>2</sub> prowadzi do wzrostu pH do 7,8 – 8,0. Przy takim poziomie pH zaczyna wytrącać się węglan wapnia, który następnie ulega sedymentacji. Stężenie wapnia, określone w oparciu o pomiar twardości wody, obniża się o 10 – 20 %. Dalszy wzrost pH można uzyskać przez zastosowanie mleka wapiennego. Przy pH na poziomie ok. 8,0 – 8,4 obniżenie twardości wynosi 50 – 90 %. Twardość nieoczyszczonych ścieków z reaktora napowietrzania wynosi ok. 60° dH, co odpowiada zawartości wapnia na poziomie ok. 400 mg/l. Ulegający sedymentacji węglan wapnia, który na bieżąco usuwa się ze stożkowego dna reaktora, jest ponownie wykorzystywany w procesie wytwarzania papieru. W 2001 r. dwa takie reaktory napowietrzania o jednostkowej pojemności 320 m<sup>3</sup> zainstalowano jako drugi etap oczyszczania po beztlenowym reaktorze IC w papierni Julius Schulte Söhne w Düsseldorfie w Niemczech. Ilość oczyszczanych ścieków sięga ok. 850 m<sup>3</sup>/dobę. Układ ten nie został jeszcze zainstalowany w innych niemieckich papierniach.

Kolejny etap rozwoju opisanego reaktora napowietrzania zakłada zastosowanie osadnika wapna. Układ ten działa w oparciu o zasadę flotacji drobnopęcherzykowej. Zmianę poziomu pH uzyskuje się przez odpędzanie CO<sub>2</sub> i dodanie roztworu wodorotlenku sodu. Wytrącony węglan wapnia jest poddawany flotacji i usuwany przez płuczkę do zbierania osadu w górnej części komory flotacyjnej. Ten znany już w papiernictwie rodzaj flotacji drobnopęcherzykowej służy do oddzielenia substancji stałych od wody podsitowej.

W niemieckim przemyśle papierniczym zainstalowano dotąd cztery osadniki wapna. Największy znajduje się w papierni przerabiającej makulaturę, której roczna produkcja papieru LWC i papieru na warstwę płaską z białym pokryciem wynosi ok. 600 000 ton. W osadniku wapna oczyszcza się 700 –

800 m<sup>3</sup>/godz. beztlenowo oczyszczonych ścieków, aby nie dopuścić do osadzania się węglanu wapnia w układzie napowietrzania membranowego instalacji oczyszczania osadem czynnym.

Dzięki odpędzaniu CO<sub>2</sub> i dodaniu wodorotlenku sodu, pH ścieków rośnie z 7,2 – 7,5 do 7,9 – 8,1. Potrzebna ilość roztworu wodorotlenku sodu (50 % masy) wynosi 0,25 l/m<sup>3</sup> – 0,45 l/m<sup>3</sup>. Twardość wody dopływającej do osadnika wapna wynosi ok. 40° dH, natomiast w ściekach zmniejsza się ona do 20° dH. Można osiągnąć redukcję na poziomie powyżej 50 % przy zastosowaniu większej ilości wodorotlenku sodu. W opisanym przypadku otrzymany poziom twardości, tzn. 20° dH, jest wystarczający, aby zapewnić, że osadzanie się węglanu wapnia w rurociągach oraz na kolejnych etapach oczyszczania będzie znikome. Nie jest konieczne oczyszczenie urządzeń.

#### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Do przeprowadzenia kontrolowanego wytrącania węglanu wapnia konieczne jest na ogół użycie wodorotlenku sodu, aby podnieść poziom pH wody obiegowej. Pojawiają się jednak nowe rozwiązania pozwalające na ograniczenie użycia NaOH. Na etapie dekarbonizacji w papierni Tillmann (por. pkt 6.3.4) osiąga się zakładaną redukcję użycia wapnia przy zastosowaniu tylko wtrysku powietrza.

Ulegający sedymentacji węglan wapnia, który jest na bieżąco usuwany z reaktora, można albo ponownie wykorzystać w procesie wytwarzania papieru, albo dostarczyć innym użytkownikom.

#### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Technika ta może być stosowana zarówno w nowych, jak i istniejących zakładach. W celu optymalizacji procesu konieczne jest dostosowanie konstrukcji reaktora, wtryskiwaczy powietrza i ewentualnej ilości wprowadzanego wodorotlenku sodu.

#### **Aspekty ekonomiczne**

Możliwość a) Koszty zastosowania inhibitora kształtują się na poziomie 0,20 euro/m<sup>3</sup> – 0,30 euro/m<sup>3</sup>, w zależności od jego jakości, co odpowiada odpowiednio 0,60 euro/t papieru i 0,90 euro/t wyprodukowanego papieru. W przypadku produkcji papieru do pakowania żywności, inhibitor powinien posiadać certyfikat potwierdzający możliwość jego zastosowania do produkcji papieru, który jest przeznaczony do kontaktu z żywnością.

Możliwość b) Nakłady inwestycyjne, jakie trzeba poczynić w ciągu pierwszego od instalacji roku eksploatacji osadnika wapna, wynoszą ok. 0,13 euro/m<sup>3</sup> oczyszczonych ścieków. W przypadku opisanej papierni przerabiającej makulaturę, której roczna produkcja papieru LWC i papieru na warstwę płaską z białym pokryciem wynosi ok. 600 000 ton, koszty te wynoszą ok. 850 000 euro.

#### **Motywacja do wdrożenia**

Wysokie stężenia rozpuszczonych jonów wapnia w wodzie obiegowej w zakładach. Zapobieganie wytrącaniu i osadzaniu węglanów wapnia w układach wodnych, np. walcach profilowych, sitach, filcach i dyszach natryskowych, w układach wymienników ciepła, a także w biologicznych oczyszczalniach ścieków. Usuwanie wapnia z wody obiegowej pozwala papierniom przerabiającym makulaturę, stosującym wyższy stopień zamknięcia obiegu wodnego, na dalsze wykorzystywanie makulatury bez ponownego otwierania tego obiegu.

#### **Bibliografia**

[ 248, Hamm, 2007 r. ], [ 150, Bülow i in., 2003 r. ], [ 151, Bülow i in., 2003 r. ], [ 152, I. Demel i in. 2004 r. ].

### **6.3.6 Montaż zbiornika wyrównawczego i pierwotne oczyszczenie ścieków**

Por. pkt 7.3.10.

### **6.3.7 Techniki beztlenowe jako pierwszy stopień biologicznego**

## oczyszczania ścieków

### Opis

Por. pkt 2.9.11.2.2.

### Główne korzyści środowiskowe

Beztlenowe oczyszczanie wstępne sprawia, że ładunek zanieczyszczeń organicznych w ściekach jest mniejszy, podobnie jak ilość wytwarzanych osadów nadmiernych, która jest niższa niż w przypadku samodzielnego oczyszczania tlenowego. Ponadto wykorzystywana jest naturalna zawartość energetyczna ładunku zanieczyszczeń organicznych (produkcja biogazu).

### Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

#### I. Papiernie przerabiające makulaturę bez odbarwiania

Skuteczność oczyszczania w reaktorach beztlenowych zależy od konstrukcji instalacji i warunków eksploatacyjnych. Typowa efektywność usuwania ChZT wynosi 60 – 85 %, a BZT – 85 – 95 %. W przypadku kombinacji technik, tj. beztlenowej i tlenowej, łączna efektywność usuwania ChZT wynosi 95 – 97 %, a BZT – 99,0 – 99,8 %. Ładunek organiczny w ściekach ulega zmniejszeniu do 0,5 – 1,5 kg ChZT/t wytwarzanego papieru oraz do 0,02 – 0,1 kg BZT<sub>5</sub>/t wytwarzanego papieru.

Niemiecka papiernia wytwarzająca papier w 100 % z makulatury (bez odbarwiania) odnotowała poprawę skuteczności oczyszczania w wyniku zastosowania skojarzonego oczyszczania beztlenowo-tlenowego w porównaniu z dwustopniowym oczyszczaniem tlenowym (por. także emisje z papierni przerabiających makulaturę na tekturę na pudełka składane w tab. 6.21, tab. 6.22 i tab. 6.24 poniżej). Przedstawione w tab. 6.20 wartości są wartościami średniorocznymi.

**Tabela 6. 20 Średnie roczne wartości oczyszczonych ścieków w niemieckiej papierni wytwarzającej papier i tekturę w 100 % z makulatury**

Parametr	Jednostka	Dwustopniowe oczyszczanie tlenowe	Oczyszczanie beztlenowo-tlenowe
Stężenie ChZT	mg/l	290	190
Stężenie BZT <sub>5</sub>	mg/l	21	12
Ładunek ChZT	kg/t	0,93	0,68

W tab. 6.21 i na ryc. 6.35 przedstawiono emisje do wody z papierni przerabiających makulaturę bez odbarwiania po oczyszczeniu beztlenowo-tlenowym. Na liście znalazły się wybrane zakłady, dla których przedstawiono zweryfikowane dane, dlatego też nie należy jej uważać za kompletną. W wybranych zakładach stosuje się procesy i techniki mające na celu osiągnięcie wysokiego poziomu ochrony środowiska. We wszystkich zakładach wykorzystuje się oczyszczanie beztlenowe z zastosowaniem reaktorów do dużych obciążeń (np. reaktory EGSB) jako pierwszy etap skojarzonego biologicznego oczyszczania beztlenowo-tlenowego.

**Tabela 6. 21 Średnie roczne emisje do wody z papierni przerabiających makulaturę bez odbarwiania po oczyszczeniu beztlenowo-tlenowym**

Przykłady papierni przerabiających makulaturę bez odbarwiania	Odnotowane osiągnięte poziomy emisji po oczyszczeniu beztlenowo-tlenowym							Produkcja (t) w 2006 r. i rodzaj oczyszczania
	ChZT	BZT <sub>5</sub>	P <sub>ogółem</sub>	N <sub>ogółem</sub>	AOX	Ilość zawiesiny ogólnej	Strumień [m <sup>3</sup> /t]	
Papiernie przerabiające makulaturę na tekturę na pudełka składane (wykorzystanie włókien: 100 % makulatury lub mniej i 0 – 10 % masy mechanicznej)								
Moritz J. Weig w Mayen w Niemczech	127 mg/l	3,0 mg/l	0,49 mg/l	6,4 mg/l	0,077 mg/l	15 mg/l		535 600 t tektury na pudełka składane
	0,52 kg/t	0,012	2 g/t	26 g/t	0,3 g/t	0,061 kg/t	4,1	Reaktor

		kg/t						UASB/IC + jednostopniowy reaktor AS, flotacja piaskowa
Papiernie przetwarzające makulaturę na papier podłożowy do tektury falistej (na warstwę płaską i pofalowaną: 100 % makulatury)								
Zakład RCF 1 w Holandii	110 mg/l	4 mg/l	1,2 mg/l	18,6 mg/l	ND	13,5 mg/l	4,3	507 300 t papieru na warstwę płaskie i papieru flutingowego
	0,47 kg/t	0,015 kg/t	5 g/t	80 g/t	ND	0,058 kg/t		Beztlenowy reaktor IC + jednostopniowy reaktor AS
Zakład 1 w Niemczech	230 mg/l	16,0 mg/l	1,8 mg/l	8,7 mg/l	0,17 mg/l	17 mg/l	2,6	583 700 t papieru na warstwę pofalowaną i płaską, tektury na pudełka składane
	0,62 kg/t	0,04 kg/t	5 g/t	24 g/t	0,5 g/t	0,040 kg/t		Reaktor UASB/IC + jednostopniowy reaktor AS
Zakład RCF 4 w Niemczech	188 mg/l	13,6 mg/l	1,1 mg/l	12,1 mg/l	0,12 mg/l	ND	5,1	364 000 t papieru na warstwę pofalowaną i płaską, tektury na pudełka składane
	1,0 kg/t	0,07 kg/t	6 g/t	64 g/t	0,6 g/t	ND		Reaktor UASB/IC + jednostopniowy reaktor AS/MBBR
Zakład RCF 1 w Niemczech	310 mg/l	17 mg/l	1,2 mg/l	3 mg/l	0,4 mg/l	ND	1,3	285 000 t papieru na warstwę płaską i pofalowaną, papieru do laminowania, tektury introligatorskiej
	0,4 kg/t	0,022 kg/t	1,5 g/t	4 g/t	0,5 g/t	ND		Beztlenowy reaktor IC + reaktor tlenowy
SCA Packaging w Witzenhausen w Niemczech	214 mg/l	21 mg/l	0,5 mg/l	4,5 mg/l	0,138 mg/l	13 mg/l	3,7	320 000 t papieru na warstwę płaską
	1,1 kg/t	0,1 kg/t	2 g/t	17 g/t	0,5 g/t	0,05 kg/t		Reaktor UASB + dwustopniowy reaktor AS
SCA Packaging w Aschaffenburg w Niemczech	147 mg/l	7,9 mg/l	0,73 mg/l	5,6 mg/l	0,2 mg/l	12,7 mg/l	4,4	314 000 t papieru na warstwę pofalowaną
	0,65 kg/t	0,035 kg/t	3 g/t	25 g/t	0,9 g/t	0,06 kg/t		Reaktor IC + jednostopniowy reaktor AS
Papierfabrik Jass w Fulda w Niemczech	174 mg/l	11,7 mg/l	0,59 mg/l	3,1 mg/l	0,20 mg/l	0,19 mg/l	3,3	476 000 t papieru na warstwę płaską i pofalowaną
	0,57 kg/t	0,10 kg/t	2 g/t	10 g/t	0,7 g/t	0,0006		Reaktor IC +

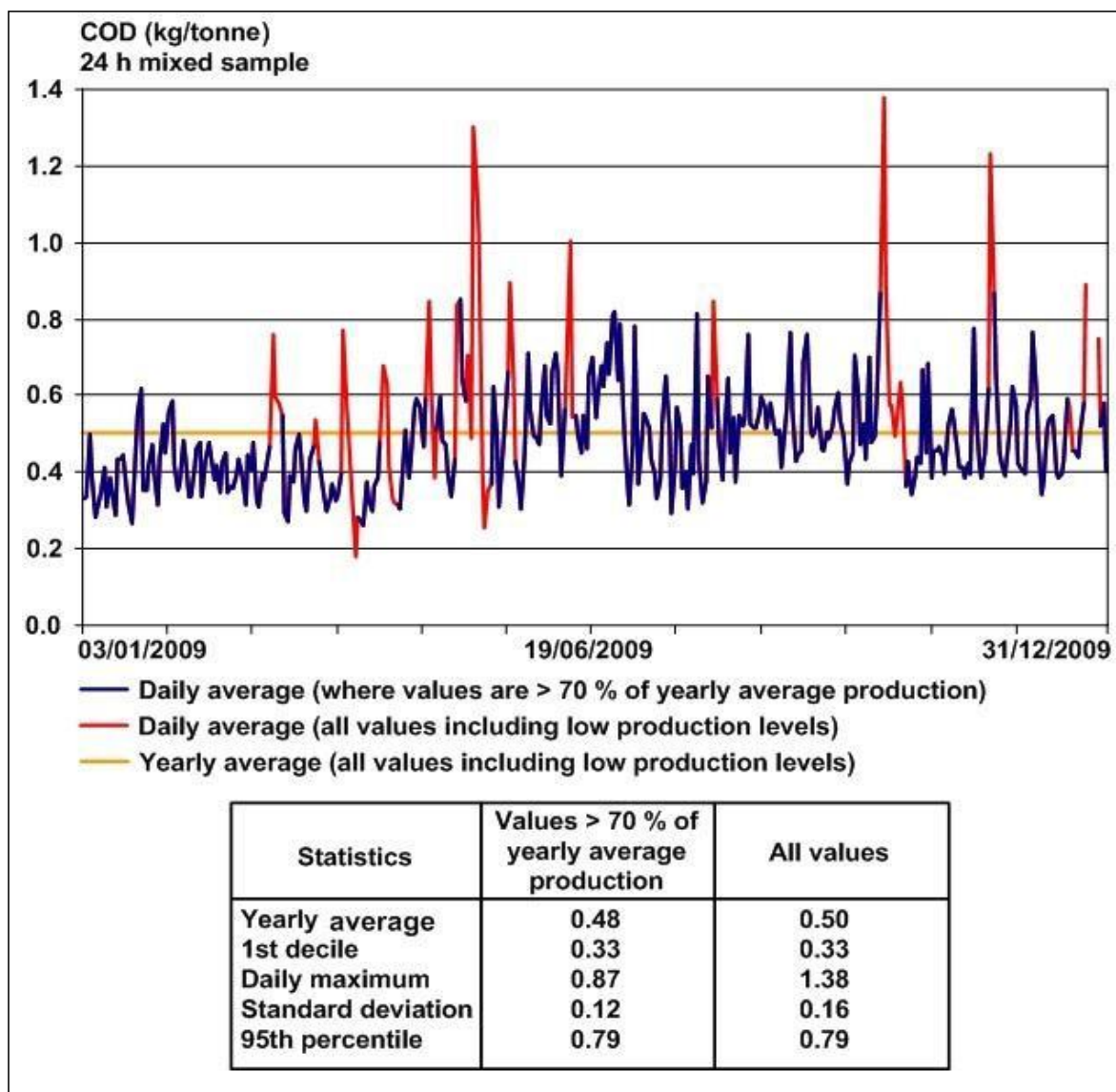
						kg/t		
Papierfabrik Jass w Schwarza w Niemczech	155 mg/l	10,2 mg/l	1,0 mg/l	7,9 mg/l	0,13 mg/l	ND	5,7	dwustopniowy reaktor AS 380 000 t papieru na warstwę płaską i pofalowaną
	0,88 kg/t	0,06 kg/t	6 g/t	45 g/t	0,7 g/t	ND		Reaktor IC + jednostopniowy reaktor AS
Zakład RCF 6 w Niemczech	0	0	0	0	0	0	0	400 000 t papieru na warstwę płaską i pofalowaną
	0	0	0	0	0	0		Reaktor UASB + jednostopniowy reaktor AS, filtracja piaskowa
<p>Uwaga: ND = nie określono; UASB = reaktor z wstępującym przepływem kożucha osadu; IC = reaktor do dużych obciążeń z obiegiem wewnętrznym; AS = reaktor z osadem czynnym; MBBR = reaktor z ruchomym złożem biologicznym.  Dane dotyczące emisji <math>N_{ogółem}</math> z niemieckich zakładów przykładowych obejmują tylko nieorganiczne związki azotu (nie uwzględniono w nich organicznego N).  Źródło: [ 248, Hamm, 2007 r. ]</p>								

W pkt 6.2.2.5 przedstawiono dalsze dane na temat osiągniętych poziomów emisji.

W niektórych fabrykach oczyszczona woda jest częściowo zawracana po oczyszczeniu biologicznym. Do produkcji zawraca się ok. 15 – 30 % biologicznie oczyszczonych ścieków. Osiągnięte poziomy emisji do wody po oczyszczeniu biologicznym z papierni przerabiających makulaturę bez odbarwiania nie różnią się znacząco. Ładunek związków organicznych w ściekach ograniczono odpowiednio do 0,5 – 1,1 kg ChZT/t wyprodukowanego papieru i 0,01 – 0,1 kg BZT<sub>5</sub>/t wyprodukowanego papieru.

W wytwórniach tektury na pudełka składane osiąga się te same wartości w zakresie ładunku związków organicznych. Jednostkowa ilość ścieków w tej grupie papierni przerabiających makulaturę jest nieco wyższa niż w przypadku grupy papierni przerabiających makulaturę na papier na warstwę pofalowaną (por. tab. 6.24). Dalsze rozróżnienie między tymi dwoma klasami papieru nie jest to konieczne.

Na ryc. 6.35 przedstawiono ładunek związków organicznych po biologicznym oczyszczeniu beztlenowo-tlenowym ścieków (beztlenowe reaktory IC + osad czynny) w papierni wytwarzającej papier na warstwę płaską, papier makulaturowy i papier flutingowy w 100 % z makulatury na trzech maszynach papierniczych. Średnie dzienne wartości odprowadzanego ładunku ChZT w ciągu pełnego roku zestawiono na wykresie i poddano ocenie statystycznej. Ocenę danych dotyczących średnich dziennych wartości przeprowadzono dla dwóch różnych przypadków: a) uwzględniając wszystkie dane (linia czerwona) oraz b) pomijając dni, w których poziom produkcji jest znacznie poniżej średniej rocznej wartości (linia fioletowa). Zaletą podejścia b) jest to, że dzięki pomijaniu dni, w których poziom produkcji jest wyraźnie poniżej średniej wartości, ogranicza się występowanie wprowadzającego w błąd wyniku dzielenia podobnych dziennych ładunków emisji ChZT przez względnie niższe mianowniki (w przypadku spadku produkcji netto). Taki zabieg pozwala na wyeliminowanie kilku nietypowych wartości szczytowych, a tym samym na lepszą ocenę stabilności rzeczywistych wyników zakładu. Zjawisko to nie występuje w przypadku średnich wartości rocznych i miesięcznych.



Rysunek 6. 35 Średni dzienny ładunek ChZT w ciągu pełnego roku (RCF 1 w Holandii)

COD (kg/tonne)	ChZT (kg/t)
24 h mixed sample	24-godzinna próbka mieszana
Daily average (where values are > 70 % of yearly average production)	Średnia dzienna wartość (z wartościami na poziomie > 70 % średniej rocznej produkcji)
Daily average (all values including low production levels)	Średnia dzienna wartość (wszystkie wartości obejmują niskie poziomy produkcji)
Yearly average (all values including low production levels)	Średnia roczna wartość (wszystkie wartości obejmują niskie poziomy produkcji)
Statistics	Dane statystyczne
Yearly average	Średnia roczna wartość
1st decile	1. decyl
Daily maximum	Maksymalna dzienna wartość
Standard deviation	Odchylenie standardowe
95th percentile	95. percentyl
Values > 70 % of yearly average production	Wartości na poziomie > 70 % średniej rocznej produkcji



All values	Wszystkie wartości
------------	--------------------

W przykładzie przedstawiono zakład, w którym wdrożono wszystkie najlepsze dostępne techniki zintegrowane z procesem dotyczące ścieków i który posiada prawidłowo funkcjonującą oczyszczalnię biologiczną o odpowiedniej konstrukcji. W ciągu roku referencyjnego strumień ścieków wynosił średnio 3 m<sup>3</sup>/TSP, średnie roczne stężenie ChZT – 145 mg ChZT/l (95. percentyl średniej dziennej wartości: 180 mg ChZT/l).

## II. Papiernie przerabiające makulaturę z odbarwianiem

W tab. 6.22 przedstawiono emisje do wody z papierni przerabiających makulaturę z odbarwianiem po oczyszczaniu beztlenowo-tlenowym. Do tej grupy zalicza się papiernie przerabiające makulaturę na papier graficzny (papier gazetowy, papier SC) oraz bibułkę higieniczną. Rodzaje stosowanej zawiesiny włóknistej są różne. Podczas gdy w wytwórniach papieru graficznego zawiesina składa się głównie z włókien wtórnych, a w niektórych przypadkach ze zintegrowanej wytworzonej masy mechanicznej, w papierniach przerabiających makulaturę na bibułkę higieniczną składa się ona z włókien wtórnych i pewnej ilości masy chemicznej. We wszystkich zakładach stosuje się oczyszczanie beztlenowe z zastosowaniem reaktorów do dużych obciążeń (np. reaktora IC) jako pierwszy etap skojarzonego biologicznego oczyszczania beztlenowo-tlenowego. Konieczny jest zwiększony stopień zamknięcia układu wodnego, skutkiem czego jest większe stężenie ścieków (ChZT: 1 000 – 2 000 mg/l), które mogą być skutecznie oczyszczone z zastosowaniem nowych układów beztlenowych.

Osiągnięte poziomy emisji do wody po oczyszczaniu biologicznym z papierni przerabiających makulaturę z odbarwianiem nie różnią się znacząco. Ładunek związków organicznych w ściekach ograniczono do 1,9 – 2,7 kg ChZT/t wyprodukowanego papieru i 0,01 – 0,2 kg BZT<sub>5</sub>/t wyprodukowanego papieru.

W odniesieniu do jednostkowej ilości ścieków konieczne jest dokonanie rozróżnienia na papiernie przerabiające makulaturę na papier graficzny i papiernie przerabiające makulaturę na bibułkę higieniczną. Poza jednym wyjątkiem, jednostkowa ilość ścieków w produkcji bibułki higienicznej jest nieco wyższa niż w produkcji papieru graficznego z makulatury.

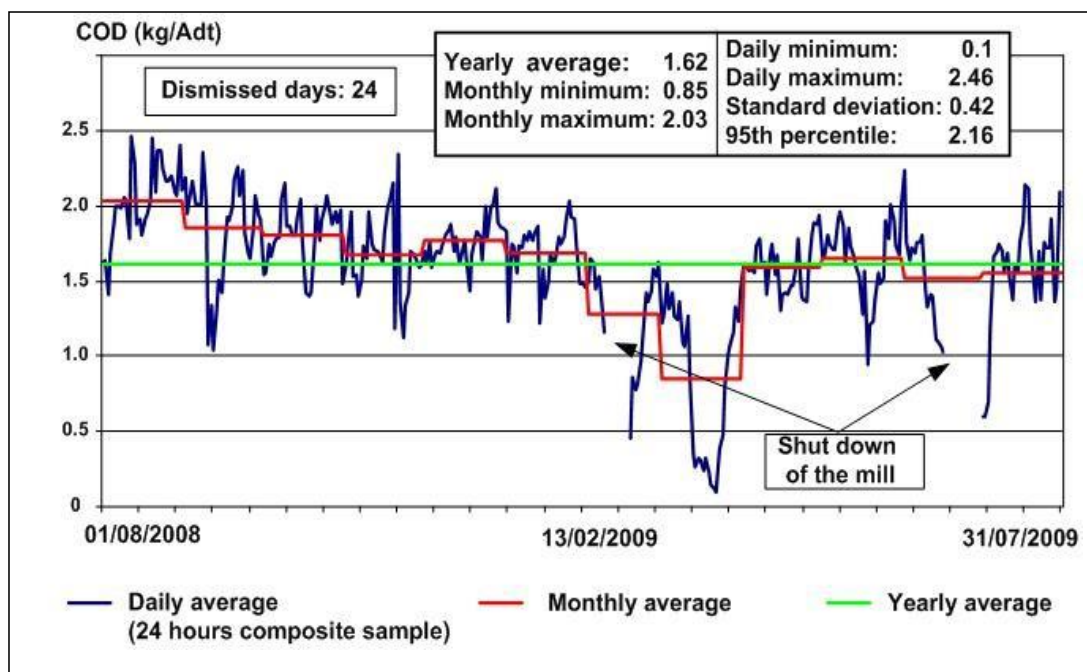
**Tabela 6. 22 Średnie roczne emisje do wody z papierni przerabiających makulaturę z odbarwianiem po oczyszczaniu beztlenowo-tlenowym**

Przykłady papierni przerabiających makulaturę z odbarwianiem	Odnotowane osiągnięte poziomy emisji po oczyszczaniu beztlenowo-tlenowym							Produkcja (t) w 2006 r. i rodzaj oczyszczania
	ChZT	BZT <sub>5</sub>	P <sub>ogółem</sub>	N <sub>ogółem</sub>	AOX	Ilość zawiesiny ogólnej	Strumień [m <sup>3</sup> /t]	
Papiernie przerabiające makulaturę na papier graficzny (papier gazetowy, papier SC)								
UPM-Kymmene w Schwedt w Niemczech (100 % makulatury)	271 mg/l	6,6 mg/l	0,66 mg/l	2,6 mg/l	0,09 mg/l	33 mg/l	9,4	295 000 t papieru gazetowego, papieru SC
	2,5 kg/t	0,06 kg/t	6 g/t	24 g/t	0,8 g/t	0,31 kg/t		Tlenowy reaktor IC + dwustopniowy reaktor AS
Papiernia 2 w Niemczech (100 % makulatury)	198 mg/l	2 mg/l	0,46 mg/l	0,6 mg/l	0,17 mg/l	10 mg/l	10,4	328 600 t papieru gazetowego; 34 200 t rynkowej odbarwionej masy makulaturowej
	2,1 kg/t	0,02 kg/t	5 g/t	5 g/t	2 g/t	0,10 kg/t		Reaktor IC + jednostopniowy reaktor AS/mikroflotacja

UPM-Kymmene w Schongau w Niemczech (85 % makulatury, 15 % GW)	349 mg/l	6 mg/l	0,4 mg/l	0,4 mg/l	0,18 mg/l	18 mg/l	7,6	716 600 t papieru gazetowego
	2,7 kg/t	0,005 kg/t	3 g/t	3 g/t	1 g/t	0,14 kg/t		Reaktor IC + dwustopniowy reaktor AS/MBR
Papiernie przerabiające makulaturę na bibułę higieniczną (wykorzystanie włókien: 100 % makulatury lub 75 % makulatury i ok. 25 % zakupionej CP)								
WEPA w Giershagen w Niemczech (75 % makulatury)	187 mg/l	10 mg/l	1,17 mg/l	17,4 mg/l	0,25 mg/l	ND	10,0	83 000 t bibułki higienicznej
	1,9 kg/t	0,1 kg/t	10 g/t	170 g/t	3 g/t	ND		Reaktor IC + jednostopniowy reaktor AS/mikroflotacja
Papierfabriken w Wernhausen w Niemczech (75 % makulatury)	125 mg/l	16 mg/l	1,05 mg/l	7,2 mg/l	0,12 mg/l	31 mg/l	14,6	96 300 t bibułki higienicznej
	1,9 kg/t	0,2 kg/t	20 g/t	110 g/t	1,8 g/t	0,45 kg/t		Reaktor IC + jednostopniowy reaktor AS
Uwaga: ND = nie określono; IC = reaktor do dużych obciążeń z obiegiem wewnętrznym; AS = reaktor z osadem czynnym; MBBR = reaktor z ruchomym złożem biologicznym; GW = ścier; CP = masa chemiczna. Dane dotyczące emisji $N_{ogółem}$ z niemieckich zakładów przykładowych obejmują tylko nieorganiczne związki azotu (nie uwzględniono w nich organicznego N).								

W pkt 6.2.2.5 przedstawiono dalsze dane na temat osiągniętych poziomów emisji.

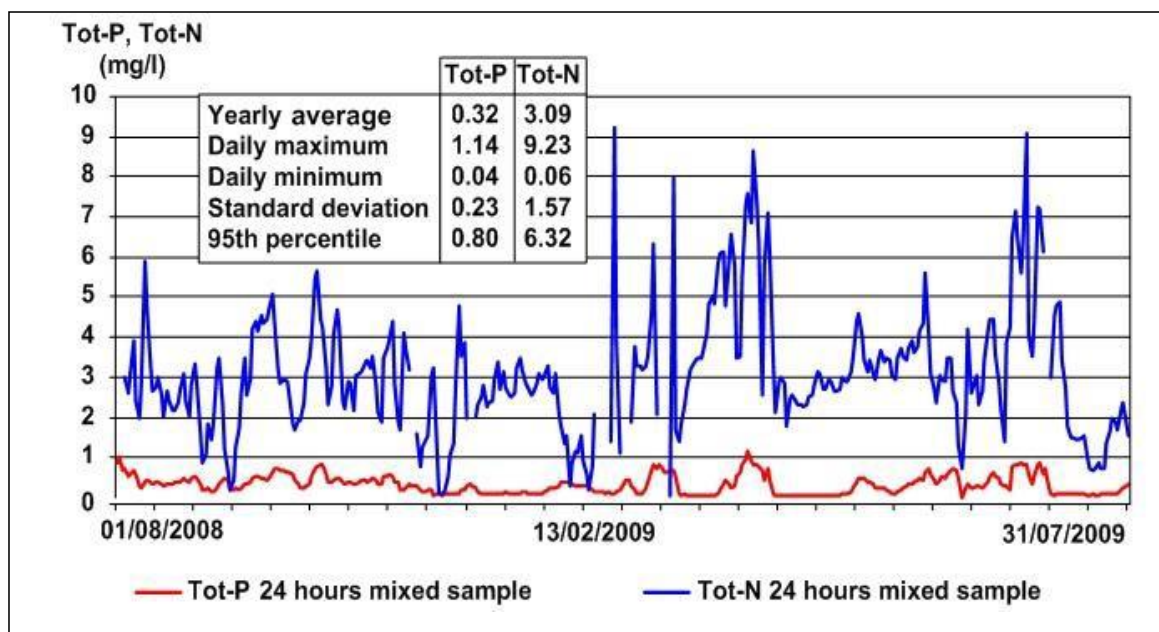
Na ryc. 6.36 przedstawiono poziomy emisji z papierni przerabiającej makulaturę z odbarwianiem głównie na papier gazetowy. Dzienny ładunek emisji ChZT odnosi się do zainstalowanej mocy maszyny, ze względu na brak danych o dziennych poziomach produkcji dla całego roku. W 2009 r. poziom rzeczywistej produkcji netto zakładu kształtował się nieco poniżej zainstalowanej mocy maszyny. Gdybyienne wartości ładunku ChZT odniesiono do rzeczywistej produkcji (zamiast do mocy), jednostkowe wartości ładunku ChZT byłyby nieco wyższe niż te, które przedstawiono na ryc. 6.36 (ok. 2 kg ChZT/t w ujęciu średniorocznym). Oczyszczalnia ścieków zakładu obejmuje etap oczyszczania beztlenowego, po którym następuje proces oczyszczania niskoobciążonym osadem czynnym. Po oczyszczeniu w osadniku wtórnym część wody jest poddawana trzeciemu etapowi oczyszczania (komora mikroflotacyjna), na którym dodaje się polielektrolity oraz chlorek poliglinu jako flokulanty i oddziela wytworzone kłaczkiz w drodze flotacji. Część strumienia jest zawsze oczyszczana w komorze mikroflotacyjnej, aby można było ją wykorzystać, gdy jest to konieczne z uwagi na okresowo wyższe poziomy emisji ChZT, zawiesin lub fosforu.



Rysunek 6. 36 Ładunek ChZT w papirni przerabiającej makulaturę na papier gazetowy z odbarwianiem po biologicznym oczyszczaniu beztlenowo-tlenowym dla różnych okresów referencyjnych

COD (kg/Adt)	ChZT (kg/TSP)
Dismissed days: 24	Liczba pominiętych dni: 24
Yearly average: 1.62	Średnia roczna wartość: 1,62
Monthly minimum: 0.85	Minimalna miesięczna wartość: 0,85
Monthly maximum: 2.03	Maksymalna miesięczna wartość: 2,03
Daily minimum: 0,1	Minimalna dzienna wartość: 0,1
Daily maximum: 2,46	Maksymalna dzienna wartość: 2,46
Standard deviation: 0.42	Odchylenie standardowe: 0,42
95th percentile: 2.16	95. percentyl: 2,16
Shut down of the mill	Zamknięcie zakładu
Daily average (24 hours composite sample)	Średnia dzienna wartość (24-godzinna próbka złożona)
Monthly average	Średnia miesięczna wartość
Yearly average	Średnia roczna wartość

Jak widać na ryc. 6.37, osiągnięte poziomy emisji azotu i fosforu oraz zawiesiny ogólnej są względnie niskie, co można częściowo przypisać mikroflotacji części strumienia ścieków. Poziom zawiesiny ogólnej zazwyczaj wynosi 10 – 20 mg/l (dwugodzinna próbka mieszana). Stężenie fosforu ogółem w ciągu całego roku wyniosło poniżej 1 mg/l; stężenie azotu nieorganicznego (w tym przypadku ok. 50 % azotu ogółem) wynosi zazwyczaj poniżej 6 mg  $N_{\text{nieorganiczny}}/l$  w 24-godzinnej próbce mieszanej. Poziom strumienia wyniósł 9 – 10  $m^3/TSP$  papieru.



Rysunek 6. 37 Stężenie  $P_{ogółem}$  i  $N_{ogółem}$  po biologicznym oczyszczaniu beztlenowo-tlenowym i trzecim etapie oczyszczania częściowego ścieków w papierni przerabiającej makulaturę na papier gazetowy

Tot-P, Tot-N (mg/l)	$P_{ogółem}$ , $N_{ogółem}$ (mg/l)
Yearly average	Średnia roczna wartość
Daily maximum	Maksymalna dzienna wartość
Daily minimum	Minimalna dzienna wartość
Standard deviation	Odchylenie standardowe
95th percentile	95. percentyl
Tot-P	$P_{ogółem}$
Tot-N	$N_{ogółem}$
Tot-P 24 hours mixed sample	$P_{ogółem}$ w 24-godzinnej próbce mieszanej
Tot-N 24 hours mixed sample	$N_{ogółem}$ w 24-godzinnej próbce mieszanej

### Oddziaływanie na procesy i środowisko

W przypadku niektórych klas papieru „brązowego” można uniknąć zewnętrznego osadzania się osadu, zawracając jego nadmiar do procesu produkcji papieru. Udział osadu we wprowadzanych surowcach wynosi poniżej 1 %. Zawracanie osadu nadmiernego do produkcji papieru daje się jednak zastosować w szczególnych przypadkach (np. jest to niemożliwe w przypadku wytwórni bibułki higienicznej lub papieru graficznego).

### Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki

Podczas gdy beztlenowe oczyszczanie wstępne jest powszechnie stosowane w papierniach przerabiających makulaturę na papier na warstwę pofalowaną i płaską oraz tekturę, technika ta jest wciąż rzadko stosowana w przypadku ścieków z produkcji nieodbarwianych klas papieru, takich jak ścieki z wytwórni bibułki higienicznej i papieru gazetowego, w których główny ładunek ChZT przypisuje się procesowi odbarwiania.

Zamknięte w znacznym stopniu obiegi wodne w papierniach przetwarzających makulaturę powodują podniesienie stężenia rozpuszczonych substancji organicznych w obiegach wody obiegowej. W celu ekonomicznego wykorzystania technik beztlenowych, jako pierwszego stopnia biologicznego oczyszczania ścieków, stężenie ChZT wody obiegowej nie powinno być niższe niż 1 000 – 2 000 mg/l. Wytwórnie „brązowych klas papieru” przy niskim zużyciu świeżej wody z łatwością osiągają ten poziom. Wytwórnie odbarwianych klas papieru mogą również osiągnąć ten poziom przed jakimkolwiek oczyszczaniem. Coraz częściej stosuje się beztlenowo-tlenowe oczyszczanie ścieków w produkcji odbarwianych klas papieru (np. Stora Enso w Eilenburgu, UPM-Kymmene w Schongau [

49, H. Hilbert, 2008 r. ]). Proces rozkładu beztlenowego może być zakłócany przez rozpuszczony siarczan, jeżeli jego stężenie przekracza 1 000 mg/l, ponieważ podczas procesu beztlenowego jest on przekształcany w siarkowodór (H<sub>2</sub>S), który w dużych stężeniach jest toksyczny w stosunku do mikroorganizmów beztlenowych. Na ogół poziom toksyczności nie jest osiągnięty.

### Aspekty ekonomiczne

Nakłady inwestycyjne, jakie trzeba poczynić na skojarzone beztlenowo-tlenowe oczyszczalnie ścieków, wahają się znacznie w zależności od jednostkowego ładunku ChZT oraz od objętości ścieków. Zakładając, że ładunek ChZT wynosi 20 – 35 t/dobę, co odpowiada rocznej produkcji papieru na warstwę pofalowaną i płaską na poziomie 200 000 – 350 000 t, nakłady te wynoszą 7 – 12 mln euro.

Uwzględniając niższe zużycie energii w wyniku wykorzystania wytworzonego biogazu jako paliwa, roczne koszty operacyjne obejmujące koszty substancji chemicznych i materiałów eksploatacyjnych, składowanie odpadów, koszty robocizny i konserwacji wynoszą 0,6 – 1,0 euro/t wytwarzanego papieru.

### Motywacja do wdrożenia

Najważniejszą przyczyną instalowania skojarzonych beztlenowo-tlenowych układów do biologicznego oczyszczania wody obiegowej jest lepsza stabilność w odniesieniu do wahań ładunku ChZT w porównaniu z pojedynczą oczyszczalnią tlenową. Kolejnym bodźcem jest wytwarzanie biogazu i jego wykorzystanie jako paliwa w elektrowniach. Na koniec należy uwzględnić fakt powstawania mniejszej ilości osadu nadmiernego. Dzięki zastosowaniu skojarzonych technik beztlenowo-tlenowych, w miejsce jednostopniowej lub dwustopniowej techniki tlenowej, wytwarzanie osadu ogranicza się o 70 – 80 %. Jest to szczególnie ważne dla papierni, które nie posiadają własnych urządzeń umożliwiających energetyczne wykorzystanie osadu nadmiernego i które nie zawierają osadu do procesu produkcji, w związku z czym spoczywa na nich obowiązek zapewnienia kosztownego składowania tego osadu.

### Instalacje referencyjne

Liczne instalacje beztlenowe pracują jako pierwszy stopień oczyszczania ścieków w europejskich papierniach wytwarzających papier na warstwy płaskie i pofalowane lub karton. W produkcji odbarwianych klas papieru wykorzystuje się oczyszczanie beztlenowo-tlenowe, np. w Stora Enso w Eilenburgu (papier gazetowy), UPM w Schongau (papier gazetowy, papier SC-B), UPM w Schwedt (papier gazetowy), WEPA w Giershagen (bibułka higieniczna), SCA w Kostheim (bibułka higieniczna), Wernhausen Papierfabriken (bibułka higieniczna).

### Bibliografia

[ 22, Driessen i in., 2007 r. ], [ 59, Hamm i in., 1991 r. ], [ 69, IFP, 1998 r. ], [ 80, Koepf-Bank, 1991 r. ], [ 248, Hamm, 2007 r. ], [ 149, H. Hilbert, 2008 r. ], [ 156, LD Leipzig, 2010 r. ].

## 6.3.8 Tlenowe oczyszczanie biologiczne ścieków

### Opis

Por. pkt 2.9.11.2.1.

### Główne korzyści środowiskowe

Ograniczenie emisji substancji organicznych (ChZT, BZT), AOX, fosforu, azotu i środków chelatujących do wody.

### Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

Tlenowe oczyszczanie biologiczne ścieków z papierni przerabiających makulaturę stosuje się od 1980 r., aby usunąć zużywające tlen substancje organiczne i dane związki organiczne. Substancje te są przetwarzane w różnych wariantach układów oczyszczania biologicznego na biomasę, dwutlenek węgla i wodę. W branży powszechnie stosuje się układy tlenowego oczyszczania niskoobciążonym osadem

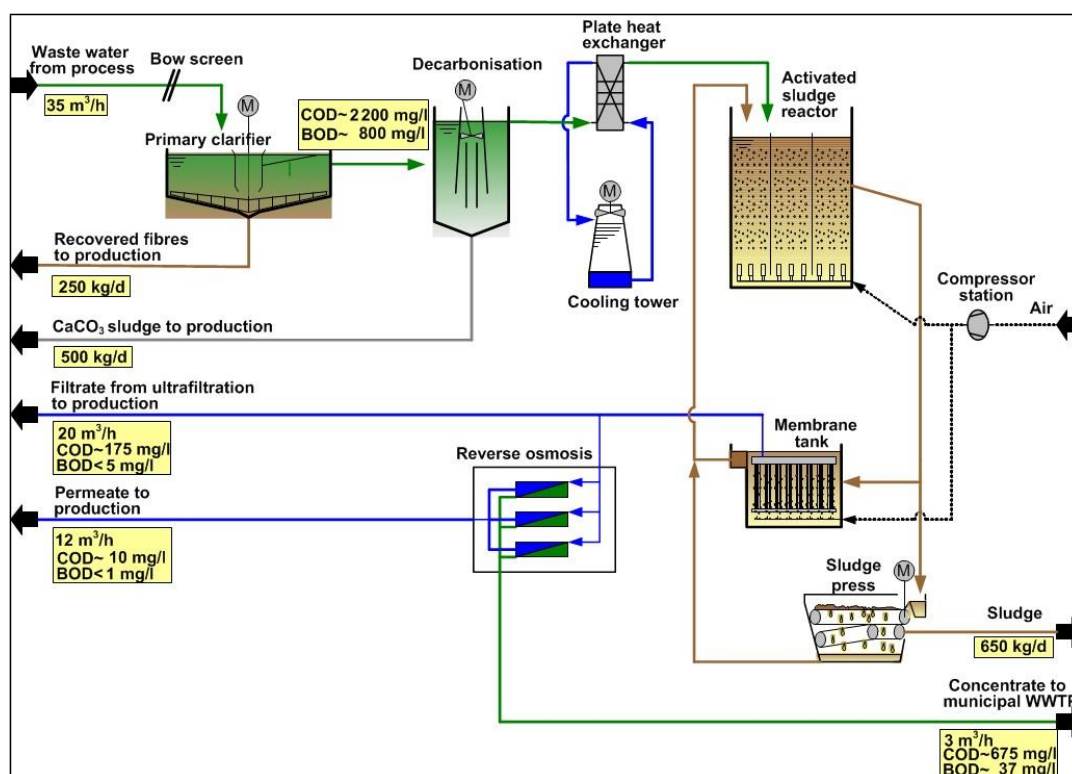
czynnym. Zawartość składników odżywczych w ściekach w papierniach przetwarzających makulaturę jest na ogół niska.

### Przykład reaktora MBR w Köhler Pappen w Gengenbach w Niemczech

Zakład wytwarza 35 000 t/rok kartonu z makulatury (karton szary) na trzech maszynach papierniczych. W zakładzie produkuje się wiele różnych klas papieru. Niektóre z tych klas są barwione. Przed instalacją reaktora MBR ścieki oczyszczano wyłącznie w drodze sedimentacji, a następnie doprowadzano do powszechnej komunalnej oczyszczalni biologicznej. Średnia jednostkowa ilość ścieków wynosi ok. 8 m<sup>3</sup>/t lub 38 m<sup>3</sup>/dobę.

Władze gminy podjęły decyzję o podniesieniu wysokości opłat za ścieki z 0,35 euro/m<sup>3</sup> do 2,05 euro/m<sup>3</sup>. Zakład ma również obowiązek pokrywania opłat za świeżą wodę (tzw. „cent wodny”). Dlatego też konieczne było ograniczenie zużycia świeżej wody i obniżenie ilości wytwarzanych ścieków. Ponadto, ze względów ekonomicznych, celem wytwórni kartonu Köhler Pappen było odzyskiwanie ciepła z ciepłej wody obiegowej. Wdrożenie tego środka uznano za okazję, aby zabezpieczyć miejsce produkcji.

Pomimo szerokiej gamy produktów, celem koncepcji oczyszczania ścieków jest zawracanie jak największej ilości oczyszczonej wody do produkcji, aby uzyskać zamknięty obieg wodny. Na ryc. 6.38 przedstawiono schemat oczyszczania wody obiegowej w zakładzie Köhler Pappen z reaktorem MBR.



Rysunek 6. 38 Schemat oczyszczania wody obiegowej w zakładzie Köhler Pappen z reaktorem MBR

Waste water from process	Ścieki z procesu
Bow screen	Sito łukowe
Primary clarifier	Osadnik wstępny
Decarbonisation	Dekarbonizacja
Plate heat exchanger	Płytowy wymiennik ciepła
Activated sludge reactor	Reaktor AS
Recovered fibres to production	Włókna wtórne do produkcji
CaCO <sub>3</sub> sludge to production	Osad CaCO <sub>3</sub> do produkcji
Cooling tower	Chłodnia kominowa

Compressor station	Stacja sprężarkowa
Air	Powietrze
Filtrate from ultrafiltration to production	Filtrat z ultrafiltracji do produkcji
Permeate to production	Przesącz do produkcji
Reverse osmosis	Odwrócona osmoza
Membrane tank	Zbiornik membranowy
Sludge press	Prasa do osadu
Sludge	Osad
Concentrate to municipal WWTP	Koncentrat do komunalnej oczyszczalni ścieków

Poniżej podano główne elementy koncepcji oczyszczania wody obieguj w Köhler Pappen:

- Sito łukowe do usuwania odrzutów tworzyw sztucznych, styropianu i innych materiałów odpadowych.
- Osadnik wstępny do odzysku włókien.
- Reaktor do dekarbonizacji z osadnikiem. Kontrolowane usuwanie wapnia jest potrzebne, ponieważ wykorzystanie mieszaniny makulatury jako surowca i całkowicie zamkniętych obiegów wodnych zwiększa ryzyko osadzania się węglanu wapnia na membranach. Do ścieków o dużej zawartości wapnia dodaje się sodę, mleko wapienne i chlorek żelaza (II), a następnie miesza. Prowadzi to do wytworzenia mikrocząstek węglanu wapnia. Dodane flokulanty i prawidłowe mieszanie sprzyjają wytworzeniu zbrylonych cząstek węglanu wapnia, które można rozdzielić w drodze sedymentacji i usunąć przy zastosowaniu skrobaka do osadu i pompy. Stężenie pompowalnej zawiesiny węglanu wapnia wynosi 50 – 300 g/l. Jest ona stosowana jako wypełniacz w produkcji różnych klas kartonu. Wartość docelowa stężenia wapnia, jaką należy utrzymać, wynosi 50 mg/l.
- Kaskada osadu czynnego (600 m<sup>3</sup>, stężenie biomasy na poziomie 10 – 12 g/l, współczynnik substancji odżywczych do masy na poziomie < 0,2 kg BZT/kg zawiesiny×d).
- Trzy równoległe pracujące urządzenia z membraną kapilarną (średnia wielkość porów: 0,04 mikrony; taka wielkość umożliwia ultrafiltrację). W każdym zbiorniku mieści się 10 m<sup>3</sup> i trzy półki membran. W każdej znajduje się 16 modułów membran. Daje to 5 000 m<sup>2</sup> całkowitej powierzchni membrany ze strumieniem, jak obliczono, na poziomie 8 l/m<sup>2</sup>×h.
- Aby obniżyć zawartość pozostałych rozpuszczonych soli w filtracie z instalacji MBR, można poddać dalszemu oczyszczaniu część strumienia (do 50 % filtratu z reaktora MBR) stosując dwustopniową odwróconą osmozę (maksymalnie 15 barów). W chwili sporządzania niniejszego dokumentu (2013 r.), odwróconą osmozę stosuje się na małą skalę jako pewien rodzaj filtra pełniącego funkcję nadzoru w odniesieniu do różnych rodzajów soli, ze względu na brak wytrącania CaCO<sub>3</sub>.

Zawracając filtrat z reaktora MBR i część strumienia przesączu z odwróconej osmozy można ograniczyć pierwotny strumień ścieków o ponad 90 %. Pozostała część strumienia (ok. 0,6 m<sup>3</sup>/t) ścieków (koncentrat z odwróconej osmozy) jest doprowadzana do komunalnej oczyszczalni ścieków w Gengenbach.

Średnie zużycie energii elektrycznej oczyszczalni (dekarbonizacja, osad czynny, reaktor MBR, odwrócona osmoza) wynosi 2,3 kWh/kg ChZT<sub>usuniętego</sub> lub 2,0 kWh/kg ChZT<sub>usuniętego</sub> bez odwróconej osmozy. Codziennie wytwarza się ok. 650 kg odwodnionego osadu biologicznego, który trzeba poddać dalszemu oczyszczaniu lub usunąć. W przypadku urządzenia do dekarbonizacji stosuje się flokulanty.

W tab. 6.23 zestawiono dane (z 2010 r.) dotyczące osiągniętej średniej jakości ścieków po etapie oczyszczania w osadniku pierwotnym w odniesieniu do filtratu z reaktora MBR, przesączu i koncentratu z odwróconej osmozy.

Tabela 6. 23 Osiągnięta średnia jakość ścieków na różnych etapach oczyszczania w wytwórni kartonu w Gengenbach

Parametr	Wartość	Odływ z sedymtacji	Filtrat z reaktora MBR	Przesącz z odwróconej osmozy	Koncentrat z odwróconej osmozy
Składniki odżywcze	m <sup>3</sup> /godz.	28	28	10	3
Stężenie ChZT	mg/l	2 600	165	10	675
Stężenie BZT <sub>5</sub>	mg/l	1 300	< 5	< 1	37
Ładunek ChZT	kg/t	17,5	1,1	0,07	0,49
Ładunek BZT <sub>5</sub>	kg/t	8,75	0,03	0,007	0,03
Przewodnictwo	μS/cm	2 500	2 400	110	6 700
Stężenie wapnia	mg/l	300	43	10	75
Zawiesina ogółem	mg/l	150	< 2	< 1	< 1
NO <sub>3</sub> -N	mg/l	4,1	0,9		
PO <sub>4</sub> -P	mg/l	1,3	0,2		
Temperatura	°C	41	35	32	31
pH	[-]	6,6	8,1	6,5	6,2

Koszty oczyszczania wody obiegowej w wytwórni kartonu Köhler są częściowo kompensowane przez odzyskiwanie energii (stosowanie ogrzewania świeżej wody w mniejszym zakresie, ze względu na możliwość wykorzystania zawartości ciepła w zawracanym filtracie), odzyskiwany CaCO<sub>3</sub>, który jest ponownie wykorzystywany jako wypełniacz i fakt, że takie oczyszczanie jest znacznie tańsze od oczyszczania alternatywnego w komunalnej oczyszczaniu ścieków. Mając na uwadze nakłady inwestycyjne, całkowite koszty jednostkowe kształtują się na poziomie 0,50 euro/m<sup>3</sup>, czyli są nieco wyższe od jednostkowych kosztów płaconych na rzecz gminy w 2007 r. przed budową zakładowej oczyszczalni ścieków. Całkowite koszty jednostkowe wynoszące 0,50 euro/m<sup>3</sup> można obniżyć o 30 %, ponieważ jakość wody przesącza z reaktora MBR jest odpowiednia, aby być doprowadzana na każdym etapie produkcji kartonu bez wykorzystania instalacji do odwróconej osmozy. Twardość wody została znacznie obniżona dzięki stosowaniu instalacji do dekarbonizacji, w związku z czym nie jest konieczne stosowanie instalacji do odwróconej osmozy jako „nerki” do usunięcia soli i wapnia. Przeprowadzenie dekarbonizacji wody obiegowej wiąże się jednak z dodatkowym kosztem ok. 0,22 euro/m<sup>3</sup>.

#### *Aspekty ekonomiczne*

Koszty układu reaktora MBR (koszty inwestycyjne i operacyjne) są wyższe niż w przypadku typowego tlenowego, dwustopniowego układu reaktora SC wraz z oczyszczaniem niskoobciążonym osadem czynnym.

W niedawnym badaniu określono koszty operacyjne i całkowite różnych układów reaktora MBR, wykorzystując realistyczny model do oczyszczania części strumienia ścieków w papierni po oczyszczeniu pierwotnym. Oceną kosztów objęto reaktor AS. Dane zebrano we współpracy z przedsiębiorstwami inżynieryjnymi i producentami [118, A. Helble i in., 2009 r.]. Całkowite koszty operacyjne reaktora MBR z membranami zanurzonymi i z napowietrzanymi membranami rurowymi o przepływie krzyżowym wyniosły 0,22 euro/m<sup>3</sup>. Koszt ten obejmuje jednostkowe zużycie energii przez bioreaktor AS (0,05 euro/m<sup>3</sup>), jednostkowe zużycie energii na etapie wykorzystania membran (0,06 euro/m<sup>3</sup>), wymianę membran i koszty części zamiennych, koszty składników odżywczych, środków zapobiegających pienieniu oraz chemicznych środków czyszczących, a także koszty osobowe. Koszty operacyjne różnych układów reaktora MBR do oczyszczania ścieków w papierni kształtują się na poziomie 0,18 euro/m<sup>3</sup> i 0,28 euro/m<sup>3</sup>. Wszystkie zbadane układy reaktora MBR były układami ultrafiltracji, tzn. wielkość porów wynosiła < 0,1 μm (założony koszt zużycia energii wynosi 0,06 euro/kWh). Jednostkowe całkowite koszty roczne (kapitał + koszty operacyjne) wynoszą 0,56 – 0,59 euro/m<sup>3</sup>.



Chociaż ceny membran znacznie spadły, a ich przewidywana trwałość wzrosła, koszty reaktora MBR pozostają wyższe od kosztów tradycyjnych układów oczyszczania biologicznego. Jednak, aby ocenić wysokość całkowitych kosztów, trzeba także uwzględnić korzyści, takie jak zawracanie wody, odzyskiwanie energii, niezawodność procesu, osiągnięta jakość ścieków i niższe koszty oczyszczania osadu.

Osiągnięte emisje do wody w papierniach przerabiających makulaturę z odbarwianiem i bez odbarwiania po oczyszczaniu tlenowym przedstawiono w tab. 6.24. Wskazano w niej główne grupy papieru, które były brane pod uwagę, wytwarzane produkty, wykorzystywane rodzaje masy włóknistej i stosowany rodzaj oczyszczania. Za rok referencyjny przyjęto rok 2006 oraz, w przypadku niektórych zakładów, rok 2008.

**Tabela 6. 24 Średnie roczne emisje do wody z papierni przerabiających makulaturę z odbarwianiem i bez odbarwiania po oczyszczaniu tlenowym**

Przykłady papierni przerabiających makulaturę i wykorzystanie włókien	Odnotowane osiągnięte poziomy emisji po oczyszczaniu tlenowym							Produkcja (t) w 2006 r. i rodzaj oczyszczania
	ChZT	BZT <sub>5</sub>	P <sub>ogółem</sub>	N <sub>ogółem</sub>	AOX	Ilość zawiesiny ogólnej	Strumień [m <sup>3</sup> /t]	
Papiernie przerabiające makulaturę na papier graficzny z odbarwianiem (papier gazetowy, papier LWC, papier do kopiowania, papier SC)								
SE Maxau w Niemczech (52 % RCF, 42 % RMP, 6 % CP)	359 mg/l	7 mg/l	0,72 mg/l	1,6 mg/l	0,12 mg/l	13 mg/l	10,5	670 000 t papieru gazetowego, papieru SC
	2,9 kg/t	0,05 kg/t	0,008 kg/t	0,017 kg/t	0,001 kg/t	0,14 kg/t		Dwustopniowy reaktor AS/MBR
Gebr. Lang w Ettringen w Niemczech (90 % RCF, 8 % ścieru, 2 % CP)	226 mg/l	12 mg/l	0,6 mg/l	2,1 mg/l	0,13 mg/l	0,5 mg/l	8,9	555 200 t papieru gazetowego, papieru SC
	2,0 kg/t	0,09 kg/t	0,005 kg/t	0,02 kg/t	0,001 kg/t	0,005 kg/t		Jednostopniowy reaktor AS/złoże biologiczne zraszane, ozonowanie/złoże biologiczne
Papiernia w Niemczech (100 % RCF)	157 mg/l	9 mg/l	0,4 mg/l	2 mg/l	0,1 mg/l	ND	11,5	240 000 t papieru LWC i papieru do kopiowania
	1,8 kg/t	0,1 kg/t	0,004 kg/t	0,019 kg/t	0,001 kg/t	ND		Reaktor MBBR + jednostopniowy reaktor AS
Papiernia w Holandii (100 % RCF)	214	8,9	1,1	7,4	0,3	7,4 mg/l	13,1	230 000 t papieru SC (rok referencyjny: 2010)
	2,8	0,12	0,014	0,1	0,003	0,1 kg/t		Napowietrzanie wstępne/jednostopniowy reaktor AS
Papiernie przerabiające makulaturę na bibułkę higieniczną z odbarwianiem								
SCA Kostheim w Niemczech (100 % RCF)	135 mg/l	12 mg/l	0,8 mg/l	5,6 mg/l	0,29 mg/l	ND	15,8	104 000 t bibułki higienicznej
	2,1 kg/t	0,2 kg/t	10 g/t	90 g/t	4 g/t	ND		Reaktor MBBR + reaktor AS
Papiernie przerabiające makulaturę na tekturę na pudełka składane bez odbarwiania								
MM Gernsbach w Niemczech (100 % RCF)	183 mg/l	15,0 mg/l	0,60 mg/l	1,6 mg/l	0,18 mg/l	6 mg/l	6,0	200 000 t tektury na pudełka składane
	1,1 kg/t	0,09 kg/t	0,004 kg/t	0,010 kg/t	0,001 kg/t	0,004 kg/t		Jednostopniowy reaktor AS/MBR
RCF 5 w Niemczech (85 % RCF, 10 % MP, 5 %)	103 mg/l	7,3 mg/l	0,80 mg/l	2,6 mg/l	0,07 mg/l	8,3 mg/l	10,5	200 000 t tektury na pudełka składane

CP)	1,1 kg/t	0,08 kg/t	0,008 kg/t	0,03 kg/t	0,0007 kg/t	0,009 kg/t		Jednostopniowy reaktor AS/MBR, złożo biologiczne
<p>Uwaga: ND = nie określono; AS = reaktor z osadem czynnym; MBBR = reaktor z ruchomym złożem biologicznym; RCF = makulatura; MP = masa mechaniczna; RMP = masa mechaniczna z młyna; CP = masa chemiczna.  Dane dotyczące emisji <math>N_{ogółem}</math> z niemieckich zakładów przykładowych obejmują tylko nieorganiczne związki azotu (nie uwzględniono w nich organicznego N).  Źródło: [ 248, Hamm, 2007 r. ], [Ankiety z lat 2007 i 2009]</p>								

W pkt 6.2.2.5 przedstawiono dalsze dane na temat osiągniętych poziomów emisji. Osiągalna skuteczność usuwania  $BZT_5$  wynosi 95 – 99 %, a  $ChZT$  – 75 – 90 %. Skuteczność usuwania z zastosowaniem skojarzonego biologicznego oczyszczania beztlenowo-tlenowego jest zazwyczaj nieco wyższa niż w przypadku samodzielnego oczyszczania tlenowego (por. tab. 6.20 w pkt 6.3.7).

Utrzymywanie się przez dłuższy czas  $BZT$  na poziomie powyżej 25 mg  $O_2/l$  wskazuje na występowanie zakłóceń w procesach biologicznych. W celu przywrócenia sprawności oczyszczalni konieczne jest dostosowanie parametrów operacyjnych i/lub przeprowadzenie analizy biomasy.

Wydaje się możliwym zwracanie części wody po oczyszczeniu biologicznym zarówno w przypadku papieru produkowanego z makulatury, jak i bez odbarwiania. Papiernie przerabiające makulaturę na odbarwiane klasy papieru zawierają jednak maksymalnie 10 % oczyszczonych ścieków do papierni, podczas gdy niektóre zakłady przerabiające makulaturę na papier na warstwę pofalowaną zawierają do 30 % oczyszczonej wody. W kilku zakładach stosuje się nawet całkowicie zamknięte obiegi wodne (por. pkt 6.3.4).

Podczas tlenowego oczyszczania ścieków powstaje osad nadmierny, który musi być zagęszczony, odwodniony i poddany dalszemu oczyszczaniu. Typowa wartość dla instalacji z osadem czynnym wynosi 0,6 kg osadu nadmiernego powstałego w czasie oczyszczania (jako masa sucha)/kg  $BZT_5$  usuniętego. Tak więc w zależności od jakości makulatury oraz sposobu prowadzenia procesu można oczekiwać, że w procesie oczyszczania biologicznego wytworzy się ok. 10 kg osadu nadmiernego na tonę papieru (w odniesieniu do masy suchej).

Pomiaru parametrów kontrolnych dokonuje się zazwyczaj codziennie lub co najmniej kilka razy w tygodniu. W niektórych zakładach dokonuje się także pomiarów ciągłych (por. pkt 2.2.2.1.2). W celu kontrolowania układu osadu czynnego konieczne jest przeprowadzenie dodatkowych pomiarów, np. zawartości  $O_2$ , SVI (wskaźnik objętości osadu), strumienia wody, a także niekiedy analizy biomasy.

Do napowietrzania aktywnej biomasy (osadu czynnego) oraz do napędu pomp potrzebna jest energia elektryczna. Jednostkowe zużycie energii do rozkładu/usunięcia 1 kg  $BZT_5$  wynosi 1,6 – 3 kWh/kg  $BZT_5$  usuniętego. Jeżeli układ jest dobrze skonstruowany, można uzyskać wartości na poziomie < 1 kWh/kg  $BZT_5$  usuniętego [ 91, Möbius, 1997 r. ].

Zgodnie z [ 118, A. Helble i in., 2009 r. ] do oczyszczenia ścieków z zastosowaniem reaktora MBR w typowej papierni zużywa się 0,90 kWh/m<sup>3</sup> na pierwszym etapie oczyszczania biologicznego i 0,5 kWh/m<sup>3</sup> na etapie wykorzystania membran zanurzonych, czyli całkowite zużycie energii wynosi 1,4 kWh/m<sup>3</sup>.

W papierni przerabiającej makulaturę odnotowano – dla zakładowej oczyszczalni, która obejmuje klarowanie pierwotne, etap oczyszczania biologicznego, klarowanie wtórne oraz oczyszczanie z zastosowaniem filtra piaskowego – 1 – 1,2 kWh/kg  $ChZT_{usuniętego}$ . Wartości obejmują aparat do napowietrzania pracujący w trybie turbo, odwadnianie osadu, wszystkie pompy i inne urządzenia (jak sortowniki, skrobaki itp.).

### Oddziaływanie na procesy i środowisko

Podczas biologicznego oczyszczania tlenowego ścieków zużywa się energię (np. aparaty do napowietrzania i pompy) i powstaje osad, który zwykle wymaga oczyszczenia przed wykorzystaniem lub usunięciem.

Oczyszczalnia ścieków papierni przerabiającej makulaturę może, szczególnie w okresie letnim, być źródłem emisji nieprzyjemnych wyziewów. Można ich uniknąć, jeżeli oczyszczalnia jest dobrze skonstruowana i kontrolowana (por. pkt 2.9.14).

### Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki

Technika ta może być stosowana zarówno w nowych, jak i istniejących zakładach. Emisje P, N i ChZT z reaktora MBR wskutek utraty biomasy są zazwyczaj niższe. Powstaje też mniej osadu niż w przypadku konwencjonalnego oczyszczania biologicznego. Bardzo niska zawartość zawiesiny ogólnej pozwala na ponowne wykorzystanie również w bardziej wrażliwych obszarach produkcji. W przemyśle celulozowo-papierniczym działa jednak niewiele zakładów z reaktorem MBR. Zakłady wytwarzające niższe klasy jakości papieru, stosujące w znacznym stopniu zamknięte obiegi wodne (np. pobór wody poniżej 8 m<sup>3</sup>/t), mogą być szczególnie narażone na wytrącanie (osadzanie) wapna po oczyszczaniu z zastosowaniem bioreaktora, dlatego też konieczne może być uwzględnienie etapu usuwania wapna. W niektórych przypadkach, oprócz standardowego oczyszczania pierwotnego, trzeba przeprowadzić dodatkowe sortowanie drobne (np. z zastosowaniem sortownika bębnowego), aby zapobiec zablokowaniu membran. Kolejnym problemem związanym ze stosowaniem reaktora MBR może być zacopowanie membran poprzez zatrzymywane zawiesiny.

### Aspekty ekonomiczne

Dane dotyczące kosztów są dostępne jedynie dla zintegrowanych papierni wytwarzających papier w oparciu o masę mechaniczną. Układ oczyszczania ścieków można porównać do stosowanego w przetwórnictwie makulatury. W związku z tym dane liczbowe mogą stanowić przybliżony obraz zakresu kosztów, których można oczekiwać. Koszty inwestycyjne całkowicie nowej oczyszczalni z osadem czynnym wynoszą ok. 13,0 – 15,5 mln euro w przypadku nowej zintegrowanej wytwórni masy mechanicznej i papieru o wydajności 1 000 TSP/dobę. Koszty te obejmują także niezbędne oczyszczanie pierwotne oraz obróbkę osadu. Odpowiednie koszty operacyjne wynoszą 1,2 – 1,5 mln euro/rok.

### Motywacja do wdrożenia

Wymogi prawne.

### Instalacje referencyjne

W europejskich papierniach przerabiających makulaturę pracują liczne tlenowe oczyszczalnie ścieków.

*Zakłady z reaktorem MBR:* Papeteries du Rhin (karton, reaktor MBR z membranami zanurzonymi) we Francji; Papeterie Lacaux (reaktor MBR z zewnętrznymi membranami zanurzonymi) we Francji; VHP Veiligheidspapierfabriek Ugchelen BV (reaktor MBR, termofilny, z zewnętrznymi membranami rurowymi o przepływie krzyżowym) w Holandii; Köhler Pappen Gengenbach (reaktor MBR z zewnętrznymi membranami zanurzonymi) w Niemczech; Papierfabrik Louisenthal w Gmund i Königstein (reaktor MBR z zewnętrznymi membranami zanurzonymi) w Niemczech.

### Bibliografia

[ 14, Konfederacja Europejskiego Przemysłu Papierniczego, 1997 r. ], [ 91, Möbius, 1997 r. ], [ 248, Hamm, 2007 r. ], [ Ankiety z lat 2007 i 2009 ].  
*Zakłady z reaktorem MBR:* [ 102, I.S. Kim i in., 2006 r. ], [ 107, H. Schwarz, 2010 r. ], [ 118, A. Helble i in., 2009 r. ].

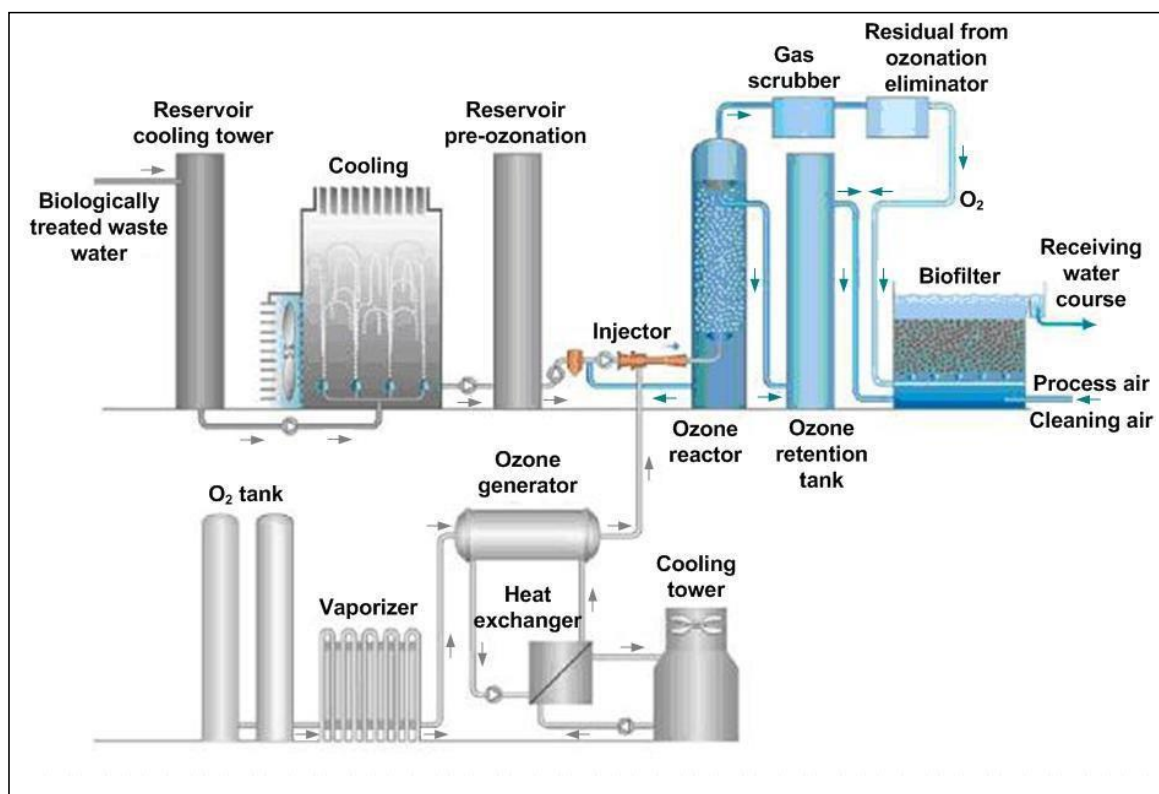
### 6.3.9 Skojarzone ozonowanie i biofiltracja

Technika ta może być również uwzględniana w odniesieniu do oczyszczania ścieków z produkcji innych klas papieru, które zawierają słabo biodegradowalne, reszkowe ChZT, m.in. klasy drzewne (por. rozdz. 5). W pkt 7.3.12 (wytrącanie chemiczne) opisano inny zaawansowany proces oczyszczania ścieków (oczyszczanie trzeciego stopnia).

#### Opis i główne korzyści środowiskowe

Oczyszczanie biologiczne ścieków z papierni jest standardową metodą oczyszczania stosowaną w większości europejskich papierni, które tym samym znacząco obniżają emisje do wody (por. pkt 6.3.7 i 6.3.8). Niekiedy zastosowanie najlepszych możliwych technik oczyszczania biologicznego, mających na celu usunięcie substancji organicznych, może nie wystarczyć do ochrony zbiornika ściekowego. W takim przypadku konieczne jest zastosowanie po oczyszczeniu biologicznym zaawansowanych technik oczyszczania, mających na celu usunięcie pozostałych substancji zanieczyszczających, tzn. dalsze obniżenie poziomów ChZT, AOX, barwników i zawiesiny ogólnej.

Ozonowanie stosuje się zwykle po etapie oczyszczania biologicznego, tym samym zapewniając najwyższą skuteczność i najniższe koszty, jeżeli skuteczne oczyszczenie wstępne strumieni częściowych jest niemożliwe. Dzięki połączeniu ozonowania z zastosowaniem reaktorów z nieruchomym złożem biologicznym obniża się poziomy ChZT, barwników i AOX, słabo degradable rozjaśniaczy optycznych i środków chelatujących oraz bakterii, w zależności od ilości stosowanego ozonu. Na ryc. 6.39 przedstawiono układ instalacji do ozonowania w SCA w Laakirchen w Austrii.



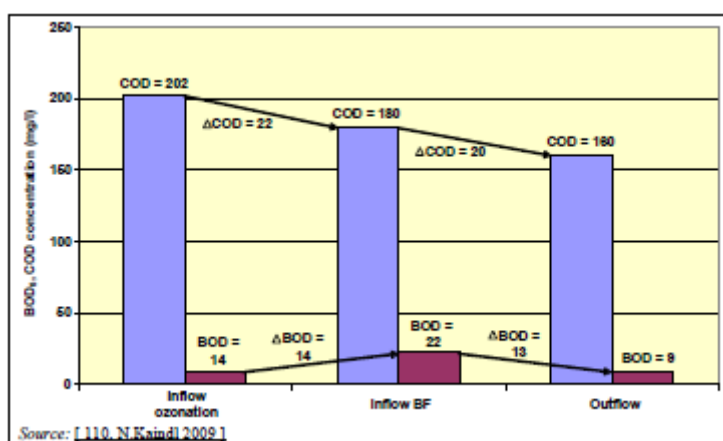
Rysunek 6. 39 Układ instalacji do ozonowania z późniejszą biofiltracją

Reservoir cooling tower	Chłodnia kominowa ze zbiornikiem
Biologically treated waste water	Ścieki oczyszczone biologicznie
Cooling	Chłodzenie
Reservoir pre-ozonation	Ozonowanie wstępne w zbiorniku

Gas scrubber	Płuczka gazowa
Residual from ozonation eliminator	Neutralizator osadu z ozonowania
Biofilter	Złoże biologiczne
Receiving water course	Odbiornik wody
Process air	Powietrze technologiczne
Cleaning air	Powietrze oczyszczające
Ozone retention tank	Zbiornik retencyjny na ozon
Ozone reactor	Reaktor ozonowy
Ozone generator	Ozonator
Vaporizer	Odparowywacz
Heat exchanger	Wymiennik ciepła
Cooling tower	Chłodnia kominowa
O <sub>2</sub> tank	Zbiornik na O <sub>2</sub>

Dzięki takiemu przebiegowi procesu nie dochodzi do pełnego utlenienia substancji organicznych w drodze ozonowania, zmniejszając w ten sposób wymaganą ilość ozonu i optymalizując koszty operacyjne. Celem takiego przebiegu jest uniknięcie zużywania ozonu na łatwo biodegradowalne substancje i wykorzystywanie go tylko w odniesieniu do trwałych substancji organicznych.

Ozonowanie jest stosowane na pełną skalę w dwóch zakładach w Europie (Austria, Niemcy) w odniesieniu do ścieków poddanych całkowitej biodegradacji, tj. o niskim stężeniu BZT. Poziom trwałych związków organicznych jest jednak wciąż zbyt wysoki, aby ścieki mogły być odprowadzone do zbiornika ściekowego. Wybrany przebieg procesu pozwala na przekształcenie części trwałych związków organicznych (resztkowego ChZT, AOX i barwników) na frakcje biodegradowalne. Skojarzone ozonowanie z następującą po nim biofiltracją wykorzystuje to zjawisko częściowego utleniania poprzez ograniczenie korzystania z drogich utleniaczy chemicznych (O<sub>3</sub>) do kwoty niezbędnej do osiągnięcia celów. Częściowo utlenione związki, które mogą teraz zostać poddane biodegradacji, eliminuje się następnie na kolejnym etapie, tj. z zastosowaniem bioreaktora. Zjawisko to przedstawiono na ryc. 6.40. Trzy pary kolumn ilustrują zmianę poziomów ChZT i BZT<sub>5</sub> podczas ozonowania, biofiltracji oraz w punkcie odprowadzania do codziennego poboru próbek, przy jednostkowym wsadzie ozonu na poziomie 0,15 kg O<sub>3</sub>/kg ChZT<sub>w</sub> dopływie.



Rysunek 6. 40 Zmiany poziomów stężeń ChZT i BZT<sub>5</sub> podczas ozonowania i biofiltracji

BOD <sub>5</sub> , COD concentration (mg/l)	Stężenie BZT <sub>5</sub> , ChZT (mg/l)
Inflow ozonation	Ozonowanie dopływu
Inflow BF	Biofiltracja dopływu
Outflow	Odplyw
Source: [110, N.Kaindl 2009]	Źródło: [110, N. Kaindl, 2009 r.]

Ze względu na stosunkowo niskie stężenia związków ulegających biodegradacji, osiągnięte dzięki wcześniejszemu częściowemu utlenianiu ( $BZT_5 < 50 \text{ mg/l}$ ), oczyszczanie biologiczne przeprowadzane jest następnie z zastosowaniem wyłącznie reaktorów z warstwą biologiczną, co daje dobre wyniki.

Stosując te zaawansowane techniki oczyszczania można obniżyć poziom ChZT o 60 – 85 % (odpowiednio oczyszczanie jednostopniowe i dwustopniowe). Dotyczy to oczyszczonych biologicznie ścieków o jednostkowym zużyciu ozonu na poziomie 0,4 – 1,0 kg/kg ChZT<sub>usuniętego</sub>. Koszty operacyjne tego typu zakładu wyniosą 0,3 – 0,4 euro/m<sup>3</sup> oczyszczonych ścieków (dane z 2009 r. z papierni Lang w Ettringen w Niemczech), w zależności od rodzaju ścieków oraz wielkości zakładu i jego standardu technicznego.

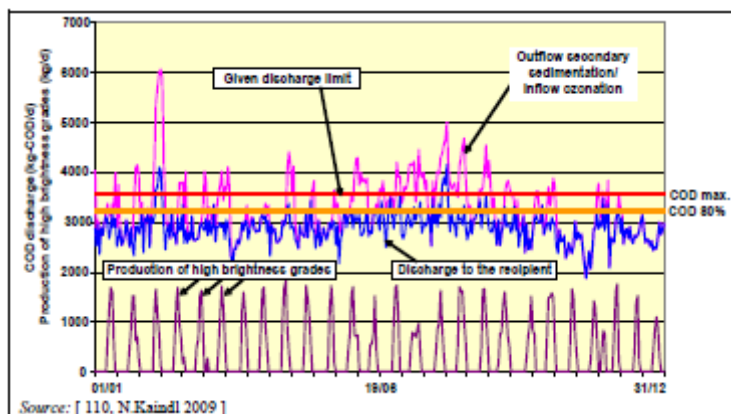
Poza zwiększeniem ilości usuwanego ChZT, w zależności od oczyszczania wstępnego i wprowadzanych dawek O<sub>3</sub>, dzięki ozonowaniu można również obniżyć zawartość barwników w ściekach, poziom ulegających adsorpcji związków organicznych (AOX), słabo biodegradowalnych środków chelatujących, takich jak kwas pentetynowy i kwas wersenowy, oraz toksyczności ścieków (jeśli to wciąż istotne). Ozonowanie można również stosować do dezynfekcji oczyszczonych ścieków [117, Kaindl, 2009 r.].

### Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

W papierni SCA w Laakirchen w Austrii stosuje się skojarzone ozonowanie z następującą po nim biofiltracją, aby osiągnąć następujące cele:

- zwiększenie ilości usuwanego ChZT, czego nie można uzyskać przy zastosowaniu tylko konwencjonalnego oczyszczania mechanicznego i biologicznego;
- możliwość kontroli dodatkowego obniżenia poziomu ChZT i eliminacja wartości szczytowych BZT, które towarzyszą szczególnym sytuacjom produkcyjnym (wysokie stopnie jasności);
- obniżenie kosztów operacyjnych poprzez dostosowanie poziomów wprowadzanych dawek ozonu do ładunków szczytowych BZT w biologicznie oczyszczonej wodzie oraz skojarzenie ozonowania z następującą po nim biofiltracją;
- odbarwianie ścieków.

Wyższe (nawet o 40 %) wartości szczytowe resztkowego ChZT występują na ogół w produkcji papieru o wysokich stopniach jasności (intensywniejsze bielenie ścieru związane z wyższymi poziomami słabo biodegradowalnych dodatków chemicznych, NaOH, nadtlenu, środków chelatujących i słabo degradowalnego ChZT). Skojarzone ozonowanie i biofiltracja umożliwiają prowadzenie oczyszczania w sposób pozwalający na wyeliminowanie (kompensowanie) przewidywalnych wartości szczytowych oraz osiągnięcie docelowych wartości ChZT. W ten sposób ogranicza się dodatkowe koszty. Na ryc. 6.41 przedstawiono dane dotyczące typowych poziomów produkcji i emisji w ciągu pełnego roku (2008) przed przeprowadzeniem skojarzonego ozonowania i biofiltracji oraz po ich przeprowadzeniu. Z wykresu wynika, że wielokrotnie w ciągu roku dopuszczalne dzienne wartości graniczne nie zostałyby osiągnięte bez ozonowania. Linia fioletowa w dolnej części wykresu przedstawia przedziały czasowe produkcji, w przypadku zwiększonego udziału papieru o wyższych stopniach jasności (intensywniejsze bielenie ścieru). Wytwarzanie wyższych stopni jasności (73 – 80 % według ISO zamiast 67 – 68 % według ISO dla standardowych stopni jasności) wiąże się z wyższymi początkowymi ładunkami ChZT (ok. 50 kg ChZT/t intensywnie bielonego ścieru zamiast ok. 35 kg ChZT/t standardowo bielonego ścieru). Linia różowa na górze wykresu przedstawia dzienny ładunek ChZT przed etapem ozonowania. Jej kształt przypomina w zasadzie kształt linii fioletowej. Linia niebieska przedstawia dzienny ładunek ChZT po skojarzonym ozonowaniu i biofiltracji. Świadczy ona o tym, że dostosowanie układu oczyszczania pozwala na skuteczne osiągnięcie docelowych poziomów emisji ChZT (określonych jako maksymalna dopuszczalna wartość ChZT i 80. percentyl, por. czerwona i pomarańczowa linia pozioma).



Rysunek 6. 41 Dane dotyczące typowych poziomów produkcji i emisji przed przeprowadzeniem skojarzonego ozonowania i biofiltracji oraz po ich przeprowadzeniu

COD discharge (kg-COD/d)	Odprowadzone ChZT (kg ChZT/dobę)
Production of high brightness grades (kg/d)	Produkcja papieru o wysokich stopniach jasności (kg/dobę)
Given discharge limit	Określony maksymalny poziom odprowadzenia
Outflow secondary sedimentation/ inflow ozonation	Odływ z sedymentacji wtórnej/dopływ z ozonowania
Production of high brightness grades	Produkcja papieru o wysokich stopniach jasności
Discharge to the recipient	Odprowadzenie do odbiorcy
COD max.	Maksymalna wartość ChZT
COD 80 %	80 % ChZT
Source: [ 110, N. Kaindl 2009 ]	Źródło: [ 110, N. Kaindl 2009 r. ]

W papierni w Gmund w Niemczech ozonowanie jest stosowane jako oczyszczanie wewnętrzne. Woda podsitowa z produkcji wielu różnych barwionych klas papieru jest odzyskiwana, zaś zawiesina jest usuwana przy zastosowaniu ciśnieniowego filtra tarczowego. Zabarwiona woda podsitowa jest następnie poddawana ozonowaniu, wskutek którego następuje jej odbarwienie, i odprowadzana do kadzi zbiorczej. Stamtąd jest zwracana do procesu i wykorzystywana do różnych celów. W ten sposób zużycie wody ograniczono o 50 %.

### Oddziaływanie na procesy i środowisko

Poza niewielką ilością biologicznego osadu nadmiernego powstającego w biofiltrach, substancje zanieczyszczające zostały rzeczywiście wyeliminowane, a nie tylko rozdzielone. Dlatego też w wyniku takiego oczyszczania nie powstaje koncentrat, który wymaga dalszego oczyszczania, jak w przypadku stosowania membran lub odparowania.

Negatywny wpływ na oddziaływanie na procesy i środowisko wywiera zużycie energii przez ozonator na poziomie 10 – 13 kWh/kg ozonu i niższe zużycie energii do wytwarzania czystego tlenu. Ponadto potrzebna jest energia do napędzania pomp napowietrzających biofiltra i jego płukania.

Poniżej przedstawiono przykładowe średnie roczne zużycie energii przy zastosowaniu tej zaawansowanej techniki oczyszczania. Przykład ten opiera się na danych z 2005 r. dotyczących produkcji (wysokie stopnie jasności na poziomie 30 %) i kosztów (energii i tlenu) [ 117, Kaindl, 2009 r. ].

Zużycie energii związane z  $ChZT_{usunięty}$ :

Oczyszczanie biologiczne:	1,5 kWh/kg $ChZT_{usuniętego}$
Ozonowanie:	20,8 kWh/kg $ChZT_{usuniętego}$
Zużycie tlenu do ozonowania:	7,9 kg $O_2$ /kg $ChZT_{usuniętego}$ .

*Zużycie energii związane z produkcją papieru brutto:*

Oczyszczanie biologiczne:	18,9 kWh/t papieru (brutto)
Ozonowanie:	7,5 kWh/t papieru (brutto)
Zużycie tlenu do ozonowania:	2,8 kg O <sub>2</sub> /t papieru (brutto).

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Zasadniczo takiemu oczyszczaniu można poddać wszystkie ścieki, których resztkowe ChZT pozostaje na zbyt wysokim poziomie, uniemożliwiającym ich odprowadzenie (por. ryc. 6.41). Poddana ozonowaniu woda może być następnie odprowadzona, albo ponownie wykorzystana w procesie produkcji. W papierni Lang w Niemczech stosuje się koncepcję podobną do tej znanej z Laakirchen.

Ograniczenie zawartości barwników w poddanych ozonowaniu ściekach daje lepsze możliwości ponownego wykorzystania oczyszczonych ścieków w papierni. Kluczowy dla zastosowania etapu ozonowania do odbarwiania i zawracania części odbarwionej wody obiegowej jest niemal kompletny i stabilny odzysk włókien przed ozonowaniem. Z zastosowaniem tego etapu wiąże się częściowa modyfikacja układu wodnego w zakładzie.

### **Aspekty ekonomiczne**

Ozonowanie – z zachowaniem pewnych warunków – stanowi opłacalną alternatywę dla innych zaawansowanych technik oczyszczania, takich jak flokulacja/wytrącanie. Dzięki ozonowaniu można także przeprowadzić w miarę skuteczne odpędzanie barwników, przy zachowaniu rozsądnych kosztów.

Koszty inwestycyjne poniesione w 2004 r. w związku ze stosowaniem zaawansowanej techniki oczyszczania (por. ryc. 6.41) wyniosły 7,6 mln euro (*Źródło:* Informationsfolder zur Kläranlage SCA-Laakirchen, „High tech für eine saubere Traun”).

Koszty operacyjne zależą w znacznym stopniu od zakładanego obniżenia poziomu ChZT. Określenie jednostkowych kosztów oczyszczania na m<sup>3</sup> oczyszczonych ścieków niesie za sobą mniejszą wartość informacyjną, ponieważ zapotrzebowanie na ozon zależy wyłącznie od substancji organicznej, którą należy utlenić (np. ładunku ChZT). Bardziej wartościowe jest zatem zgłoszenie kosztów operacyjnych związanych z ładunkiem ChZT<sub>usuniętym</sub>. Następujące dane dotyczące kosztów operacyjnych [110, N. Kaindl, 2009 r.], które opracowano w oparciu o dane z 2005 r. dotyczące produkcji (wysokie stopnie jasności na poziomie 30 %) i kosztów (energii i tlenu) oraz redukcji ChZT (por. „Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne”), obrazują rząd wielkości kosztów:

- redukcja ChZT przy zastosowaniu oczyszczania biologicznego: 0,27 euro/kg ChZT<sub>usuniętego</sub>,
- usunięcie ChZT przy zastosowaniu O<sub>3</sub> + biofiltr: 1,33 euro/kg ChZT<sub>usuniętego</sub>,
- biologiczne oczyszczanie ścieków: ok. 3,7 euro/t papieru,
- ozonowanie + biofiltracja: 0,53 euro/t papieru.

Chociaż koszty usuwania ChZT przy zastosowaniu zaawansowanych technik oczyszczania (ozonowania i następującej po nim biofiltracji) są znacznie wyższe niż w przypadku wyłącznie konwencjonalnego oczyszczania biologicznego, należy zauważyć, że dodatkowe koszty na tonę papieru są niższe, ze względu na wyeliminowanie łatwo biodegradowalnych substancji organicznych przed etapem ozonowania. Dzięki temu możliwe jest utrzymanie wprowadzanych dawek ozonu oraz kosztów operacyjnych na niższym poziomie. Ozon jest zatem skutecznie doprowadzany do słabo biodegradowalnych substancji organicznych.

### **Motywacja do wdrożenia**

Jeśli poziom usunięcia substancji organicznych po dwustopniowym oczyszczaniu biologicznym okaże się niewystarczający, stabilnym i niezawodnym rozwiązaniem jest zastosowanie ozonowania z następującą po nim biofiltracją. Zaawansowane techniki oczyszczania są na ogół stosowane w zakładach, które znajdują się przy wrażliwych na zanieczyszczenia lub bardzo małych zbiornikach



ściekowych. Wykorzystuje się je również w zakładach, które znacznie zwiększają swoją zdolność produkcyjną i nie mają pozwolenia na odpowiednie zwiększenie ładunku ścieków odprowadzanych do rzeki. Dzięki zaawansowanym technikom oczyszczania ścieków można kompensować większe ładunki substancji organicznych z produkcji papieru o wyższych stopniach jasności.

### Instalacje referencyjne

SCA w Laakirchen (ozonowanie w celu obniżenia szczytowych wartości emisji ChZT) w Austrii; Myllykoski Lang Papier w Ettringen (ozonowanie w celu obniżenia ładunku ChZT) w Niemczech; Papierfabrik w Gmund (odbarwianie wody obiegowej przed odprowadzeniem i częściowym jej zawróceniem) w Niemczech.

### Bibliografia

[ 110, N. Kaindl, 2009 r. ], [ 111, Möbius, 2009 r. ], [ 112, Kaindl, 2006 r. ], [ 115, C.H. Möbius i in., 2004 r. ], [ 117, Kaindl, 2009 r. ].

## 6.3.10 Przykłady energooszczędnych technik

Istnieje wiele środków służących oszczędzaniu energii w papierniach przerabiających makulaturę. Trzy z nich opisano w niniejszym punkcie. W pkt 2.9.5 i 2.9.6 przedstawiono ogólne środki na rzecz ograniczenia zużycia energii cieplnej i elektrycznej, które można stosować nie tylko w papierniach przerabiających makulaturę, ale również w odniesieniu do (niemal) wszystkich klas papieru. Techniki, które są związane głównie z produkcją papieru, opisano w pkt 7.3.15. W tab. 6.25 uwzględniono orientacyjne poziomy zużycia energii w papierniach przerabiających makulaturę.

**Tabela 6. 25 Orientacyjne poziomy zużycia ciepła i energii elektrycznej w różnych rodzajach papierni przerabiających makulaturę**

Rodzaj papierni przerabiającej makulaturę	Orientacyjny poziom zużycia ciepła technologicznego (kWh/t)	Orientacyjny poziom zużycia energii elektrycznej (kWh/t)
Papiernia przerabiająca makulaturę bez odbarwiania (papier opakowaniowy, np. papier na warstwę płaską i/lub pofalowaną)	1 100 – 1 500	350 – 450
Papiernia przerabiająca makulaturę bez odbarwiania (karton lub tektura na pudełko składane <sup>(1)</sup> , powlekana i niepowlekana)	1 200 – 1 600	400 – 500
Papiernia przerabiająca makulaturę z odbarwianiem (papier graficzny, np. papier gazetowy <sup>(1)</sup> )	1 000 – 1 800	900 – 1 300
Papiernia przerabiająca makulaturę z odbarwianiem (papier na pudełko składane) <sup>(1)</sup>	1 000 – 1 100	450 – 550

<sup>(1)</sup> Podane dane liczbowe odnoszą się do zakładów, które nie wytwarzają masy mechanicznej na miejscu. Rozwłóknianie mechaniczne wymaga znacznie większych nakładów energii elektrycznej niż przerób włókien wtórnych. W odniesieniu do papierni przerabiających makulaturę, w których stosuje się odpowiednie ilości produkowanej na miejscu masy mechanicznej jako zawiesiny włóknistej, orientacyjne poziomy zużycia energii można oszacować dla każdego przypadku z osobna, z uwzględnieniem zastosowanych procesów rozwłókniania i ich udziału.

Przy określaniu orientacyjnych poziomów zużycia energii przedstawionych w tab. 6.25 powyżej uwzględniono następujące granice układu:

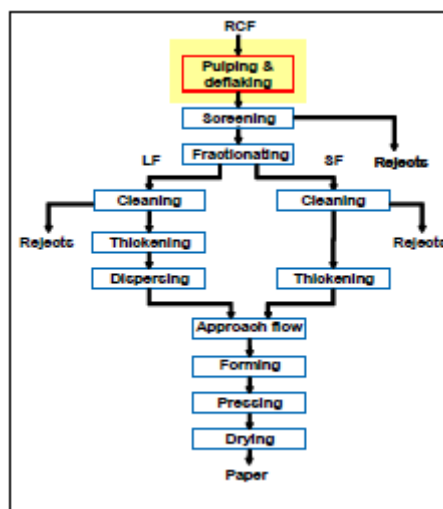
- (1) Poziomy zużycia energii odnoszą się do produkcji netto całych zakładów i obejmują pompy, mieszadła i sprężone powietrze. Uwzględniono ponadto peryferyjne podsystemy wody surowej i

- ścieków, osadów i odrzutów, takie jak flotacja drobnopęcherzykowa, prasy ślimakowe do odrzutów, czy prasy do osadów, a także oczyszczanie ścieków.
- (2) Przedziały obejmują wszystkie instalacje związane z przerobem makulatury i produkcją papieru, od przenośnika zasilającego po ostatnią krajarko-nawijarkę, tj. przed przerobem.
  - (3) W danych liczbowych dotyczących zużycia energii nie uwzględniono wyjściowego wyniku energetycznego paliw do wytwarzania energii elektrycznej. Przedstawiają one jednak wykorzystane ciepło technologiczne i energię elektryczną. Elektryczne suszarki na podczerwień (IR) uwzględniono w danych dotyczących zużycia energii elektrycznej.
  - (4) Wartości zużycia ciepła odnoszą się do pojemności cieplnej zużytej pary i niższej wartości opałowej gazu w przypadku suszarek na podczerwień lub suszarek powietrznych. Gazowe suszarki na podczerwień uwzględniono w danych dotyczących zużycia ciepła.

### 6.3.10.1 Rozwłóknianie wysokostężeniowe jako metoda rozdrabniania makulatury na pojedyncze włókna

#### Opis

Rozwłókniacze wysokostężeniowe (rozwłókniacze HC) są wyposażone w specjalnie zaprojektowane mieszadła (np. ślimak rozwłókniający). W większych zakładach często stosuje się bębny rozwłókniające. Stężenie rozwłóknionej masy do produkcji papieru z makulatury wynosi zazwyczaj 5 – 7 %. Wzrost stężenia do 20 % prowadzi do obniżenia zużycia energii elektrycznej do rozwłókniania [Münster H., Sympozjum PTS nt. zarządzania energią, Monachium, 2007 r.]. Technikę tę wyjaśniono poniżej na przykładzie, który również zawiera dane na temat jednostkowego zużycia energii do produkcji papieru przez papiernię przerabiającą makulaturę bez odbarwiania. Przykładowy zakład, który przedstawiono na ryc. 6.42, znajduje się w południowej Europie i produkuje papier flutingowy na jednej maszynie papierniczej.



Rysunek 6. 42 Etapy przebiegu (podsystemy) procesu w przykładowej papierni przerabiającej makulaturę bez odbarwiania

RCF	Makulatura
Pulping & deflaking	Rozwłóknianie i usuwanie płatków
Screening	Sortowanie
Fractionating	Frakcjonowanie
LF	Frakcja długowłóknista
SF	Frakcja krótkowłóknista
Rejects	Odrzuty
Cleaning	Oczyszczanie
Cleaning	Oczyszczanie
Thickening	Zagęszczanie
Dispersing	Dyspergowanie

Thickening	Zagęszczanie
Rejects	Odrzuty
Approach flow	Układ doprowadzenia masy do wlewu
Forming	Formowanie
Pressing	Prasowanie
Drying	Suszenie
Paper	Papier

### Główne korzyści środowiskowe

Niższe zużycie energii ze względu na mniejszą zawartość wody w rozwłókniaczu i wolniejsze mieszanie. Rzeczywiste ograniczenie zużycia energii zależy od jakości stosowanego surowca oraz wymagań, jakie musi spełniać masa. Zużycie energii obniżono o 2 – 10 kWh/t rozwłóknionej masy.

### Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

Całkowite zużycie energii (cieplnej i elektrycznej) w procesie w przykładowym zakładzie wynosi 1 600 kWh/t papieru na sprzedaż. W tab. 6.26 przedstawiono podział na poziomie podsystemów tej produkcji, aby zilustrować zużycie energii przez odpowiednie podsystemy. Wartości oparto na danych łącznych pochodzących z badań nad przebiegiem procesu i z szacunków [249, Blum i in., 2007 r.].

Tabela 6. 26 Zużycie energii w przykładowej papierni przerabiającej makulaturę bez odbarwiania

Procesy energochłonne	Produkcja netto na sprzedaż		Związane z podsystemem		Podstawa do określenia jednostkowej wartości podsystemu
	Ciepło (kWh/t)	Energia elektryczna (kWh/t)	Ciepło (kWh/t)	Energia elektryczna (kWh/t)	
Rozwłóknianie, usuwanie płatków		20		20	Zawiesina masy
Sortowanie		30		30	Zawiesina masy
Oczyszczanie		10		10	Zawiesina masy
Zagęszczanie		10		10	Produkcja brutto
Dyspergowanie	200	40	150	40	Produkcja brutto
<b>Maszyna papiernicza</b>					
Układ doprowadzenia masy do wlewu		50		50	Produkcja brutto
Formowanie i odwadnianie wstęgi (w warunkach niskopróżniowych)		50		45	Produkcja brutto
Prasowanie (w warunkach wysokopróżniowych)		70		70	Produkcja brutto
Suszenie papieru (z zastosowaniem systemu wentylacji hali)	1 000	50	900	50	Produkcja brutto
Usługi ogólne zakładu (oczyszczalnia, sprzężone powietrze)		20		20	Produkcja netto
<b>Ogółem</b>	<b>1 200</b>	<b>400</b>			
		<b>1 600</b>			

### Oddziaływanie na procesy i środowisko

Brak znaczących skutków.

### Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki

Technika ta może być stosowana w odniesieniu do papieru wytwarzanego z makulatury z odbarwianiem lub bez odbarwiania. Wymaga ona kompleksowego przekształcenia układu. Technika ta jest często stosowana w związku ze zwiększaniem zdolności produkcyjnych zakładów.

### Aspekty ekonomiczne

Brak danych.

### Motywacja do wdrożenia

Obniżenie kosztów w wyniku ograniczenia zużycia energii elektrycznej. Możliwe jest zwiększenie zdolności produkcyjnych.

### Instalacje referencyjne

Istnieje wiele takich zakładów w Europie (w tym co najmniej dwa w Niemczech).

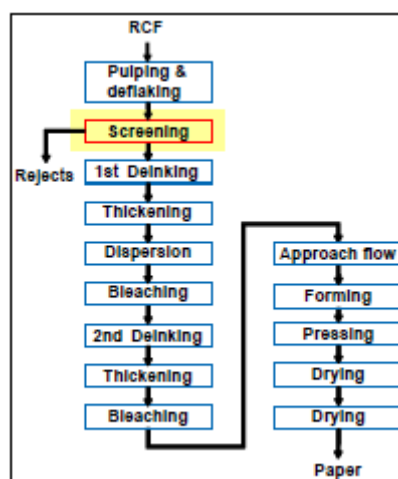
### Bibliografia

[ 249, Blum i in., 2007 r. ], [ Münster H., Sympozjum PTS nt. zarządzania energią, Monachium, 2007 r. ].

## 6.3.10.2 Energooszczędne techniki sortowania

### Opis

Sortowniki usuwają z makulatury zanieczyszczenia i substancje skażające. W papierniach przerabiających makulaturę stosuje się różne koncepcje sortowania. Wykorzystując sortowniki energooszczędne można ograniczyć zużycie energii elektrycznej, ponieważ doprowadzana do nich masa ma wyższe stężenie, a stosowane sortowniki szczelinowe są wydajniejsze. Techniki te zostały opisane na przykładzie, który również zawiera dane na temat jednostkowego zużycia energii do produkcji papieru tej klasy. W przykładowym zakładzie do sortowania używa się sita o okrągłych otworach, po którym następuje wieloetapowe sortowanie drobne. Stężenie można zwiększyć z ok. 1,5 % do 2,5 %. Wydajność separacji stosowanych sortowników jest wyższa. W związku z tym prędkość obrotowa może być zmniejszona, przy zachowaniu tej samej wydajności produkcji. Zakład znajduje się w Europie Środkowej i produkuje papier gazetowy na jednej maszynie papierniczej. Na ryc. 6.43 przedstawiono etapy przebiegu (podsystemy) procesu w przykładowej papierni przerabiającej makulaturę z odbarwianiem.



Rysunek 6. 43 Etapy przebiegu (podsystemy) procesu w przykładowej papierni przerabiającej makulaturę z odbarwianiem

RCF	Makulatura
Pulping & deflaking	Rozwłóknianie i usuwanie płatków
Screening	Sortowanie
Rejects	Odrzuty

1st Deinking	Odbarwianie I
Thickening	Zagęszczanie
Dispersion	Dyspergowanie
Bleaching	Bielenie
2nd Deinking	Odbarwianie II
Thickening	Zagęszczanie
Bleaching	Bielenie
Approach flow	Układ doprowadzenia masy do wlewu
Forming	Formowanie
Pressing	Prasowanie
Drying	Suszenie
Paper	Papier

### Główne korzyści środowiskowe

Niższe zużycie energii ze względu na mniejszą zawartość wody w układzie przygotowania masy oraz zmniejszenie liczby etapów przebiegu procesu. Rzeczywiste ograniczenie zużycia energii zależy od jakości stosowanego surowca oraz wymagań, jakie musi spełniać masa. W przykładowym zakładzie osiągnięto oszczędności w postaci obniżenia zużycia energii elektrycznej o 18 kWh/t masy.

### Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

Całkowite zużycie energii (cieplnej i elektrycznej) w procesie w przykładowym zakładzie wynosi 2 200 kWh/t papieru na sprzedaż. W tab. 6.27 przedstawiono podział na poziomie podsystemów tej produkcji, aby zilustrować zużycie energii na odpowiednich etapach przebiegu procesu. Wartości oparto na danych łącznych pochodzących z badań nad przebiegiem procesu i z szacunków [249, Blum i in., 2007 r.].

Tabela 6. 27 Zużycie energii w przykładowej papierni przerabiającej makulaturę z odbarwianiem

Procesy energochłonne	Produkcja netto na sprzedaż		Związane z podsystemem		Podstawa do określenia jednostkowej wartości podsystemu
	Ciepło (kWh/t)	Energia elektryczna (kWh/t)	Ciepło (kWh/t)	Energia elektryczna (kWh/t)	
Rozwłóknianie, usuwanie płatków		50		40	Zawiesina masy makulaturowej
Sortowanie		70		50	Zawiesina masy makulaturowej
Oczyszczanie		30		20	Zawiesina masy makulaturowej
Odbarwianie I		70		50	Zawiesina masy makulaturowej
Zagęszczanie		10		10	Zawiesina masy makulaturowej
Dyspergowanie	200	50	150	40	Zawiesina masy makulaturowej
Bielenie I		40		30	Zawiesina masy makulaturowej
Odbarwianie II		70		50	Zawiesina masy makulaturowej
Zagęszczanie		10		10	Zawiesina masy makulaturowej
Bielenie II		40		30	Zawiesina masy makulaturowej

<b>Maszyna papiernicza</b>					
Układ doprowadzenia masy do wlewu		100		90	Produkcja brutto
Formowanie i odwadnianie wstęgi (w warunkach niskopróżniowych)		60		50	Produkcja brutto
Prasowanie (w warunkach wysokopróżniowych)		150		130	Produkcja brutto
Suszenie papieru (z zastosowaniem systemu wentylacji hali)	1 100	60	1 000	50	Produkcja brutto
Usługi ogólne zakładu (oczyszczalnia, sprężone powietrze)		50		50	Produkcja netto
<b>Ogółem</b>	<b>1 300</b>	<b>900</b>			
		<b>2 200</b>			

### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Mozna poprawić jakość masy dzięki skuteczniejszemu usuwaniu zanieczyszczeń lepkich.

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Technika ta może być stosowana w odniesieniu do papieru wytwarzanego z makulatury z odbarwianiem lub bez odbarwiania.

### **Aspekty ekonomiczne**

Brak informacji.

### **Motywacja do wdrożenia**

Obniżenie kosztów w wyniku ograniczenia zużycia energii elektrycznej oraz zwiększenie zdolności produkcyjnych.

### **Instalacje referencyjne**

Niektóre zakłady w Europie (w tym co najmniej trzy w Niemczech).

### **Bibliografia**

[ 249, Blum i in., 2007 r. ].

### **6.3.10.3 Modernizacja instalacji do przygotowania masy w celu zmniejszenia zużycia energii i emisji**

Poniższy opis odnosi się przede wszystkim do papierni przerabiających makulaturę bez odbarwiania, np. papierni wytwarzających papier na tekturę falistą (warstwę płaską i pofalowaną). Podstawowe zasady odnoszą się jednak do wszystkich papierni przerabiających makulaturę. Zakłady stosujące odbarwianie mogą dysponować dodatkowymi rozwiązaniami w instalacjach do odbarwiania.

### **Opis i główne korzyści środowiskowe**

Cele modernizacji instalacji do przygotowania masy mogą być różne. Zależą one od właściwości ustalonych przez dane przedsiębiorstwo, takich jak lepsze usuwanie mniejszych zanieczyszczeń i substancji skażających, aby podnieść jakość produktu i wydajność maszyny papierniczej, poprawa odzysku włókien z odrzutów, a więc zmniejszenie strat włókien lub mniejsze zużycie energii. Innym celem może być uproszczenie układu przygotowania masy, czego wynikiem jest niższe zużycie energii, mniejsze straty materiałów i mniej potrzebnej przestrzeni. W celu uproszczenia układu przygotowania masy, szczególnie w przypadku papieru brązowego, w niniejszym punkcie omówiono możliwości wyeliminowania energochłonnych etapów dyspergowania i tradycyjnego oczyszczania. Natomiast do wytwarzania papieru o specjalnym przeznaczeniu lub w celu spełnienia wymagań odbiorców (produkty wysokiej jakości) mogą być stosowane szersze koncepcje przebiegu procesu.

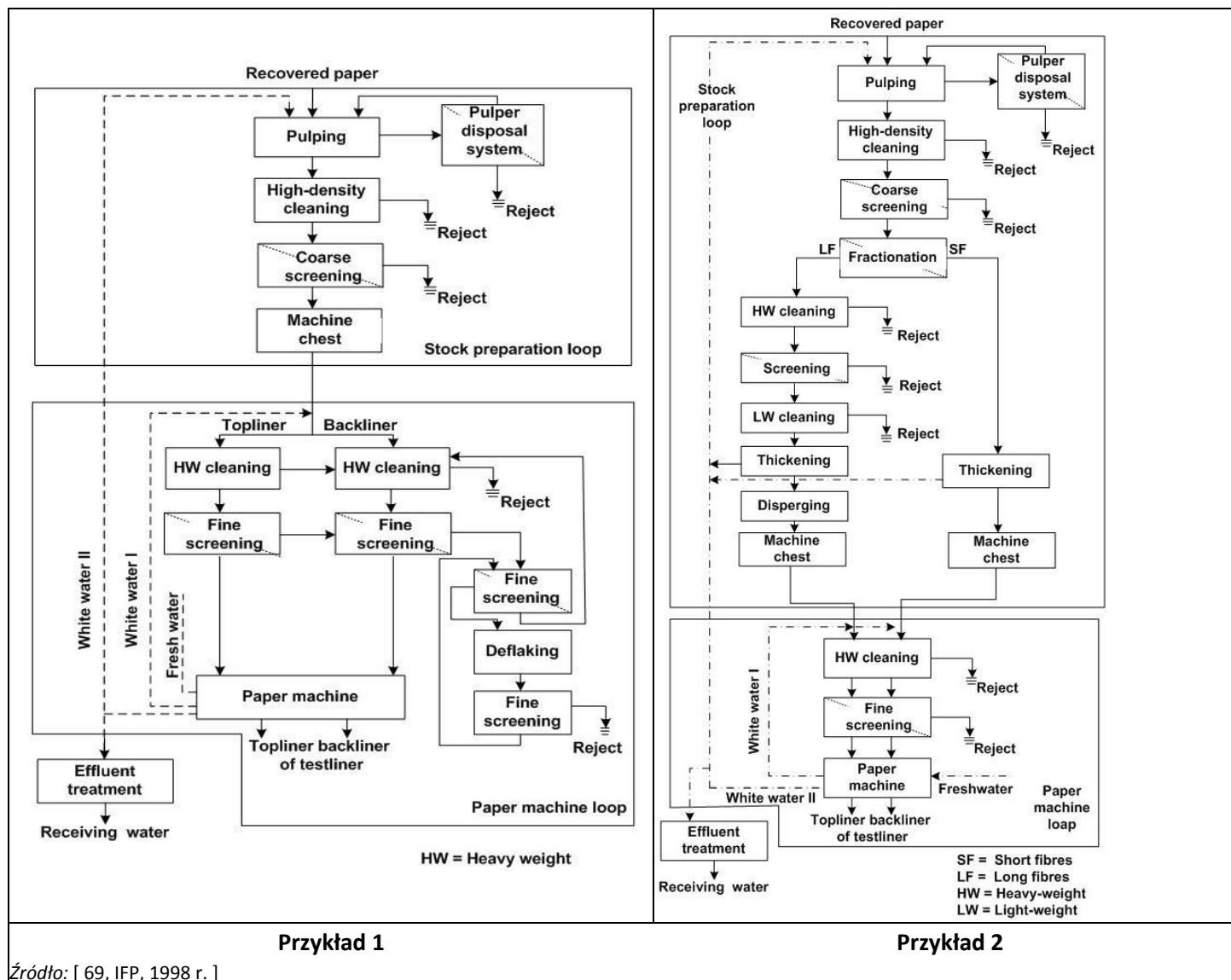
W przerobie makulatury celem jest przede wszystkim usunięcie składników niewłóknistych (np. tworzyw sztucznych, metalu, drewna, piasku) oraz eliminacja substancji szkodliwych, takich jak zanieczyszczenia lepkie, wosk lub małe kawałki nierozwłóknionego papieru (płatki) lub papieru odpornego na działanie wody. Drugim celem przygotowania masy jest obróbka samych włókien, umożliwiającą uzyskanie założonej jakości wytwarzanego papieru. Do osiągnięcia tego celu włókna mogą być rozdzielone na frakcję długowłóknistą i krótkowłóknistą oraz poddane dalszej obróbce. Na przykład mielenie z małą intensywnością poprawia zdolności włókien wtórnych do tworzenia wiązań, czego wynikiem jest podwyższona wytrzymałość wytwarzanego papieru, zaś dyspergowanie poprawia jego optyczną jednorodność.

Do każdej określonej obróbki masy wtórnej, prowadzonej w różny sposób, wykorzystywane są specjalne maszyny. Tak więc procesy sortowania i oczyszczania muszą przebiegać na 2 – 4 etapach, aby zmniejszyć straty włókien w końcowym stadium każdego procesu. W celu zapewnienia odpowiedniej efektywności pracy maszyny papierniczej bardzo ważne jest także umieszczenie dodatkowych instalacji do oczyszczania i sortowania w układzie doprowadzenia masy do wlewu. Zapobiega to wprowadzaniu osadów uwolnionych ze ścian kadzi lub z rurociągów do wlewu maszyny papierniczej i jej części mokrej. Osady te doprowadziłyby do zrywów wstęgi i przestojów maszyny.

Należy określić równowagę między czystością masy, stratami włókien, zapotrzebowaniem na energię i kosztami, która w pewnym stopniu zależy od jakości wytwarzanego papieru.

W dalszej części naświetlono kilka różnych możliwości technicznych mających zastosowanie do koncepcji instalacji do przygotowania masy, łącznie z ich zaletami i wadami. Wskazano powiązania z zapotrzebowaniem na energię elektryczną.

Na ryc. 6.44 przedstawiono dwie przykładowe koncepcje instalacji do przygotowania masy przeznaczone do przerobu makulatury na dwuwarstwowy papier na warstwę płaską (w literaturze źródłowej przedstawiono cztery przykłady). Ten rodzaj papieru wykorzystano jako przykład w związku z jego dużym, pod względem tonażowym, znaczeniem dla wytwórni papieru i tektury w Europie oraz ze względu na łatwy dostęp do informacji na ten temat. W tab. 6.28 zestawiono główne cechy charakterystyczne tych dwóch instalacji, podsumowano zapotrzebowanie na energię oraz podano pewne wyjaśnienia dotyczące układu instalacji do przygotowania masy. Dane dotyczące zapotrzebowania na energię tych dwóch różnych układów opracowano w oparciu o wartości jednostkowego zapotrzebowania na energię pojedynczych instalacji, jak przedstawiono w tab. 6.28. Należy je uważać za prawdopodobne wartości przybliżone. W rzeczywistych zakładach wartości te mogą okazać się nieco niższe lub wyższe.



Rysunek 6. 44 Dwie przykładowe koncepcje instalacji do przygotowania masy przeznaczone do przerobu makulatury na dwuwarstwowy papier na warstwę płaską



Recovered paper	Makulatura
Pulping	Rozwłóknianie
Pulper disposal system	Układ usuwania odpadów z rozwłókniacza
High-density cleaning	Oczyszczanie wysokostężeniowe
Reject	Odrzuty
Coarse screening	Sortowanie zrubne
Machine chest	Kadź maszynowa
Stock preparation loop	Obieg w układzie przygotowania masy
Topliner	Warstwa wierzchnia
Backliner	Warstwa spodnia
HW cleaning	Usuwanie zanieczyszczeń ciężkich
Fine screening	Sortowanie drobne
Deflaking	Usuwanie płatków
Paper machine	Maszyna papiernicza
Topliner/backliner of testliner	Wierzch/spód papieru na warstwę płaską
White water II	Woda podsitowa II
Fresh water	Świeża woda
Effluent treatment	Oczyszczanie ścieków
Paper machine loop	Obieg maszyny papierniczej
Receiving water	Odbiornik wody
HW = Heavy weight	HW = Zanieczyszczenia ciężkie
Recovered paper	Makulatura
Stock preparation loop	Obieg w układzie przygotowania masy
Pulping	Rozwłóknianie
Pulper disposal system	Układ usuwania odpadów z rozwłókniacza
High-density cleaning	Oczyszczanie wysokostężeniowe
Reject	Odrzuty
Coarse screening	Sortowanie zrubne
LF	Fracja długowłóknista
SF	Fracja krótkowłóknista
Fractionation	Fracjonowanie
HW cleaning	Usuwanie zanieczyszczeń ciężkich
Screening	Sortowanie
LW cleaning	Usuwanie zanieczyszczeń lekkich
Thickening	Zagęszczanie
Disperging	Dyspergowanie
Machine chest	Kadź maszynowa
HW cleaning	Usuwanie zanieczyszczeń ciężkich
Fine screening	Sortowanie drobne
White water I	Woda podsitowa I
Paper machine	Maszyna papiernicza
Freshwater	Świeża woda
Topliner/backliner of testliner	Wierzch/spód papieru na warstwę płaską
Paper machine loop	Obieg maszyny papierniczej
Receiving water	Odbiornik wody
SF = Short fibres	SF = Fracja krótkowłóknista
LF = Long fibres	LF = Fracja długowłóknista
HW = Heavy-weight	HW = Zanieczyszczenia ciężkie
LW = Light-weight	LW = Zanieczyszczenia lekkie

Tabela 6. 28 Podstawowe cechy charakterystyczne i zapotrzebowanie na energię dwóch koncepcji instalacji do przygotowania masy przeznaczonych do przerobu makulatury na dwuwarstwowy papier na warstwę płaską

	Główne cechy różnych koncepcji instalacji do przygotowania masy	Zakres zapotrzebowania na energię elektryczną (średnia)	Uwagi wyjaśniające

Przykład 1	Zminimalizowane oczyszczanie i sortowanie w instalacji do przygotowania masy, bez frakcjonowania i dalszej obróbki włókien, jak dyspergowanie oraz dodatkowe sortowanie i oczyszczanie. Układ doprowadzenia masy do wlewu jest rozbudowany o sortowanie i oczyszczanie, aby uzyskać dostatecznie czystą masę wtórną.	45 – 95 (70) kWh/t	Masa jest rozdzielana bez frakcjonowania i doprowadzana do dwóch oddzielnych linii do oczyszczania i sortowania o różnej wielkości szczelin. Odrzuty z masy na warstwę wierzchnią są wprowadzane do ciągu masy na warstwę spodnią w celu dalszej obróbki. W ciągu masy na warstwę spodnią zainstalowano proces rozwłókniania płatków, aby rozdzielić je na pojedyncze włókna, z korzyścią dla wydajności końcowego sortowania i zmniejszenia ilości odrzutów.
Przykład 2	Obejmuje frakcjonowanie i dyspergowanie. Po frakcjonowaniu stosuje się sortowanie i oczyszczanie frakcji długowłóknistej z zanieczyszczeń ciężkich i lekkich.	75 – 175 (120) kWh/t	Frakcjonowanie ma na celu obniżenie zużycia energii podczas następującego po nim energochłonnego dyspergowania, któremu jest poddawana tylko część strumienia masy (frakcja długowłóknista). Dyspergatory muszą być zasilane masą o wysokim stężeniu (22 – 32 % suchości). Przed dyspergowaniem konieczne jest przeprowadzenie odwadniania (zagęszczania) za pomocą np. filtra tarczowego, prasy taśmowej lub ślimakowej.
Źródło: [ 69, IFP, 1998 r. ]			

### Główne korzyści środowiskowe

Zwiększony odzysk włókien z odrzutów, a tym samym zmniejszenie strat włókien. Obniżenie zużycia energii.

### Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

Zapotrzebowanie układów przygotowania masy i doprowadzenia jej do wlewu na energię elektryczną wynosi 20 – 40 % całkowitego zapotrzebowania papierni przetwarzającej makulaturę bez odbarwiania na energię elektryczną. W związku z tym godną rozważenia jest optymalizacja instalacji do przygotowania masy pod kątem obniżenia zużycia energii elektrycznej, które skutkuje ograniczeniem emisji do atmosfery, zależnych dalej od rodzaju użytego paliwa kopalnego.

Zalety środowiskowe koncepcji stanowiącej przykład 1 związane są z obniżeniem zużycia energii elektrycznej w układach do przygotowania masy i doprowadzenia jej do wlewu. Układ zainstalowany w niemieckiej papierni pracuje przy zapotrzebowaniu na energię elektryczną na poziomie 60 kWh/t wytwarzanego papieru. Dla porównania: średnia wartość zapotrzebowania na energię elektryczną podana w tab. 6.29 prowadzi do zapotrzebowania na poziomie 45 – 95 kWh/t (średnio 70 kWh/t) papieru dla układu przedstawionego jako przykład 1.

W porównaniu z koncepcją, zgodnie z którą po frakcjonowaniu stosuje się sortowanie i oczyszczanie frakcji długowłóknistej z zanieczyszczeń lekkich i ciężkich (przykład 2: 75 – 175 kWh/t), zapotrzebowanie na energię w przypadku przykładu 1 jest znacznie obniżone.

Inne niż w przykładzie 2, bardziej „rozbudowane” koncepcje instalacji do przygotowania masy są również realizowane w wytwórniach papieru na warstwę płaską. Ich główny pozytywny wpływ na środowisko jest związany z wysoką wydajnością maszyny papierniczej, która wynika z wysokiej czystości masy o lepszych właściwościach wytrzymałościowych.

Zapotrzebowanie na energię elektryczną podane w tab. 6.28 wynika z danych liczbowych dotyczących jednostkowego zapotrzebowania procesów jednostkowych na energię elektryczną zamieszczonych w tab. 6.29. Można zauważyć, że różnice w zapotrzebowaniu na energię elektryczną między omawianymi rozwiązaniami są znaczne: przykład 2 wymaga 75 – 175 kWh/t, podczas gdy w przykładzie 1 zużycie energii wynosi 45 – 95 kWh/t.

Należy pamiętać jednak o tym, że zwiększenie wydajności maszyny papierniczej osiągane dzięki czystszej masie skutkuje obniżeniem jednostkowego zapotrzebowania na energię elektryczną i parę do wytwarzania papieru, ponieważ w czasie zrywów maszyna papiernicza również zużywa energię elektryczną i parę. Natomiast techniki, które są związane z potrzebą częstszego mycia układu (prześciej), obniżają wydajność energetyczną i powodują wzrost emisji.

**Tabela 6. 29** Jednostkowe zapotrzebowanie na energię i stężenia robocze w procesach jednostkowych w produkcji papieru na warstwę pofalowaną i płaską

Proces jednostkowy	Jednostkowe zapotrzebowanie na energię (kWh/t)	Stężenie robocze (%)
Rozwłóknianie	10 – 20	3 – 6
Usuwanie płatków	20 – 60	3 – 6
Sortowanie	5 – 20	0,5 – 4,0
Sortowanie odrzutu	20 – 40	1 – 4
Oczyszczanie odśrodkowe	4 – 8	< 0,5 ⇒ 4,5 (< 6,0)
Frakcjonowanie	5 – 20	3 – 4
Zagęszczanie	1 – 10	0,5 ⇒ 5 (10)
Odwadnianie (prasa ślimakowa)	10 – 15	2 – 5 ⇒ 15 – 50
Odwadnianie (prasa dwusitowa)	2 – 4	2 – 5 ⇒ 15 – 50
Dyspergowanie	30 – 80	22 – 32
Mielenie w niskim stężeniu	5 – 25 (na jedn. SR <sup>(1)</sup> )	3,0 – 5,5
Mielenie w wysokim stężeniu	10 – 60 (na jedn. SR <sup>(1)</sup> )	25 – 35
Mycie	5 – 20	0,7 – 1,4 ⇒ 5 – 12
Flotacja drobnopęcherzykowa (DAF)	10 – 20	< 0,3 ⇒ 0,01
Magazynowanie	0,02 – 0,1	3,0 – 5,5 (12)
Mieszanie	0,2 – 0,5	3,5 – 4,5
Uwaga: „⇒” = zmiana stężenia; wskazuje na zakres między doprowadzeniem a odprowadzeniem z danego urządzenia.		
<sup>(1)</sup> SR = smarność masy wg Schopper-Rieglera.		
Źródło: [ 69, IFP, 1998 r. ], dane od dostawcy maszyn, rok referencyjny: 1998; dane odnoszą się do 100 % wydajności		

Przykład 1 przedstawiony na ryc. 6.44 może być uważany za „zminimalizowaną” koncepcję instalacji do przygotowania masy. Koncepcję tę zastosowano w jednej wytwórni papieru na warstwę płaską i pofalowaną (RCF 6 w Niemczech). W odniesieniu do osiągalnej wydajności maszyny papierniczej i lokalnych ograniczeń, taka koncepcja instalacji do przygotowania masy może być uważana za eksperymentalną. Z powodu krótkiego czasu eksploatacji niemożliwe jest jeszcze dokonanie oceny, czy taka koncepcja oszczędności energii jest korzystna. Wydaje się, że w tym układzie uzyskuje się nieco większe straty włókien.

Sortowanie w konwencjonalnym układzie doprowadzenia masy do wlewu stanowi przede wszystkim ochronę przed przypadkowym zanieczyszczeniem i nie wymaga specjalnej konserwacji. Konserwacja wymagana przez konwencjonalny układ przygotowania masy niekoniecznie przyczynia się do wyłączenia maszyny papierniczej, ponieważ w dostępnych kadziach powinien być dostateczny zapas masy. Natomiast jeżeli w układzie doprowadzenia masy do wlewu pracują sortowniki szczelinowe (o szerokości szczelin wynoszącej 0,15 mm), mające na celu uzyskanie masy wtórnej o dostatecznym

stopniu czystości (jak w przykładzie 1), wówczas wzrasta częstotliwość czyszczenia. Wiąże się to z zatrzymaniem maszyny papierniczej i stratami produkcji. W związku z tym wydajność maszyny papierniczej ze „zminimalizowanym” układem przygotowania masy jest na ogół niższa niż z dobrze wyposażoną „standardową” instalacją do przygotowania masy.

Na całym świecie wiele wytwórni papieru na warstwę płaską stosuje frakcjonowanie i dyspergowanie. Niekiedy instalacja do przygotowania masy obejmuje również mielenie.

### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Maszyny papiernicze pracujące z większą wydajnością zużywają mniej energii elektrycznej i pary na tonę papieru. Lepsza jakość włókien wtórnych wpływa na poprawę jakości papieru.

Odrzuty z różnych etapów procesu mogą być gromadzone oddzielnie i wykorzystywane do różnych celów. Na przykład odrzuty zawierające dużą ilość tworzyw sztucznych mogą być spalane ze znacznym odzyskiem energii w związku z ich wysoką wartością opałową (por. pkt 6.3.14). Odrzuty o wysokiej zawartości organicznego materiału włóknistego mogą być kompostowane. Odrzuty z sortownika wysokostężeniowego oraz z układu usuwania odpadów z rozwłóknacza są na ogół składowane na wysypisku w związku z wysoką zawartością substancji nieorganicznych (np. kamienie, piasek, zszywki, spinacze).

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Instalacje do przygotowania masy i układ doprowadzenia masy do wlewu na ogół mogą być przebudowane w istniejących zakładach.

W „standardowej” instalacji do przygotowania masy zazwyczaj wykorzystuje się więcej maszyn niż to konieczne w przypadku „zminimalizowanej” koncepcji instalacji do przygotowania masy. Konieczne jest wyłączenie tylko części urządzeń. Możliwe, że niezbędne będzie zapewnienie nowych rurociągów i pomp do podłączenia do wlewu maszyny. Konieczna jest rozbudowa układu doprowadzenia masy do wlewu. Sortowniki obecne w tym układzie lub w instalacji do przygotowania masy są zazwyczaj niewystarczające, ze względu na ograniczone możliwości po zainstalowaniu sortowników szczelinowych o niewielkiej szerokości szczelin wynoszącej 0,15 mm. W związku z tym wymagane byłoby poczynienie inwestycji w zaawansowane sortowniki ciśnieniowe dla układu doprowadzenia masy do wlewu.

### **Aspekty ekonomiczne**

Koszty inwestycyjne i operacyjne w przykładzie 2 są wyższe niż w przykładzie 1 przedstawionym na ryc. 6.44. Jednak wzrost kosztów operacyjnych instalacji do przygotowania masy musi być zawsze oceniany z punktu widzenia poprawy wydajności maszyny papierniczej. Ważnymi czynnikami są również mniejsza liczba przestojów oraz zrywów wstęgi, jak również wyższa jakość papieru.

Oprócz wyższych kosztów inwestycyjnych w związku z zakupem urządzeń do koncepcji instalacji do przygotowania masy, które zakładają większą liczbę etapów przebiegu procesu, należy spodziewać się również wzrostu kosztów operacyjnych związanych z zapotrzebowaniem instalacji na energię elektryczną.

„Zminimalizowane” koncepcje instalacji do przygotowania masy (jak w przykładzie 1) wymagają stosunkowo niewielkich nakładów inwestycyjnych. Również niewielkie zużycie energii elektrycznej przyczynia się do obniżenia kosztów operacyjnych.

### **Motywacja do wdrożenia**

Zasadniczą podstawą wdrożenia koncepcji instalacji do przygotowania masy o większej liczbie etapów przebiegu procesu jest konieczność spełnienia wysokich wymagań odnośnie do jakości papieru, który musi konkurować na rynku z papierem wytwarzanym z włókien pierwotnych. Kolejnym bodźcem jest możliwa poprawa płynności pracy maszyny papierniczej. Podstawą wdrożenia koncepcji instalacji do przygotowania masy ze „zminimalizowaną” liczbą etapów przebiegu procesu są niższe koszty inwestycyjne i operacyjne wynikające przede wszystkim z obniżonego zużycia energii elektrycznej w związku z mniejszą liczbą potrzebnych maszyn.

### Instalacje referencyjne

Kilka zakładów w Europie jest wyposażonych w układ przygotowania masy podobny do tego z przykładu 2, obejmującego frakcjonowanie i dyspergowanie. Różne są jednak zainstalowane urządzenia i liczba etapów przebiegu procesu, dlatego też wydaje się, że nie istnieje identyczny układ. Niektóre zakłady zastosowały także flotację drobnopęcherzykową do oczyszczania wody obieguj.

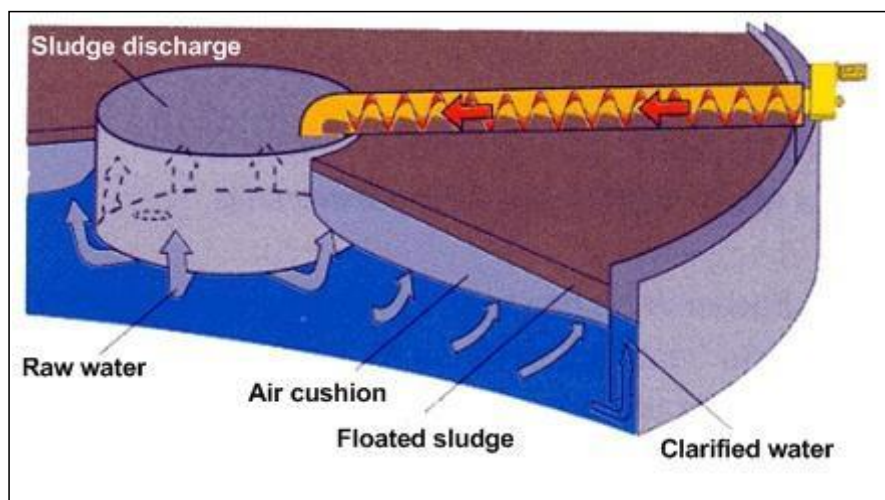
### Bibliografia

[ 69, IFP, 1998 r. ]: W sprawozdaniu tym znajduje się wiele innych odniesień.

## 6.3.11 Klarowanie wody podsitowej

### Opis i główne korzyści środowiskowe

Zawracanie większej ilości wody podsitowej w zakładach przerabiających makulaturę z odbarwianiem jest możliwe tylko wtedy, gdy w zakładzie znajduje się układ do oczyszczania wody podsitowej. Układy do oczyszczania wody, stosowane w przemyśle papierniczym, wykorzystują niemal wyłącznie sedymentację, filtrację (filtr tarczowy) i flotację. Najlepszą dostępną techniką w momencie sporządzania niniejszego dokumentu (2013 r.) jest flotacja drobnopęcherzykowa. Odpady anionowe i frakcja drobna tworzą aglomeraty w postaci flokuł, które można usuwać drogą fizyczną, z zastosowaniem dodatków. Jako flokulanty stosowane są rozpuszczalne w wodzie polimery o wysokiej masie cząsteczkowej lub elektrolity nieorganiczne. Wytworzone aglomeraty (flokuly) są następnie usuwane drogą flotacji w zbiorniku do klarowania. W procesie flotacji drobnopęcherzykowej (DAF) substancje stałe w postaci zawiesiny są przyłączane do pęcherzyków powietrza, które doprowadzają je do powierzchni okrągłego lub prostokątnego zbiornika, gdzie są zeszkrobywane i doprowadzane do układu odwodnienia osadów i spalania. Sklarowana woda podsitowa jest zbierana z dna zbiornika (por. ryc. 6.45).



Rysunek 6. 45 Zasada działania flotacji drobnopęcherzykowej (DAF)

Sludge discharge	Odrowadzenie osadu
Raw water	Woda surowa
Air cushion	Poduszka powietrzna
Floated sludge	Osad zebrany po flotacji
Clarified water	Sklarowana woda

W układzie flotacji ze zbiornikiem okrągłym pęcherzyki powietrza są wytwarzane w wyniku mieszania powietrza z wodą obiegują pod wysokim ciśnieniem. W wyniku obniżenia ciśnienia na wlocie do zbiornika tworzą się mikroskopijne pęcherzyki powietrza. Bardzo ważne są wymiary pęcherzyków. W celu usprawnienia rozdziału do wody podsitowej przed układem flotacji dodaje się na ogół flokulanty.

Zaletą flotacji jest to, że oprócz zawiesiny za jej pomocą mogą być usunięte także substancje koloidalne o bardzo małych wymiarach, przy zastosowaniu odpowiednich procesów chemicznych flotacji drobnopęcherzykowej. Jest to ogromna zaleta w przypadku instalacji do przerobu makulatury z odbarwianiem, gdzie znaczną część substancji stałych zawartych w wodzie obieguj stanowią

substancje koloidalne. W momencie sporządzania niniejszego dokumentu (2013 r.) flotacja w układach odbarwiania jest jedynym sposobem oczyszczania wody obiegowej w celu zawrócenia jej do procesu. W instalacji do odbarwiania substancje są pompowane do układu odwadniania osadu, nie zaś zawracane do procesu, jak ma to miejsce w przypadku papierni stosujących włókna pierwotne.

Z układów flotacji uzyskuje się zwykle bardzo czystą wodę, lecz ich sprawność zależy od kilku czynników, które muszą być monitorowane i kontrolowane, jak np. pH, objętość strumienia, wielkość pęcherzyków powietrza i stężenie. Jednak w optymalnych warunkach sprawność jest bardzo wysoka. Inną zaletą flotacji jest to, że nasycenie wody obiegowej powietrzem (tlenem) stwarza mniej korzystne warunki dla rozwoju bakterii beztlenowych.

#### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

W wyniku zastosowania flotacji drobnopęcherzykowej w odpowiednim miejscu obiegów wodnych możliwe jest ciągle dostosowywanie stopnia zamknięcia obiegu do wymagań stawianych jakości wody, w zależności od stężenia odpadów anionowych, zużycia dodatków i wymagań w zakresie jakości produktu.

#### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Konieczne jest zastosowanie substancji chemicznych w postaci flokulantów. Energia elektryczna jest potrzebna głównie do napędzania pomp, aby nasycić powietrzem część nieoczyszczonej wody lub odpowiadającą jej ilość wody sklarowanej po zwiększeniu ciśnienia do 7 barów. Osad zebrany po flotacji musi być odwodniony. Wartość opałowa odwodnionego lub wysuszonego osadu może być wykorzystana do wytwarzania pary w spalarniach.

#### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Środek ten może być przyjęty w nowych i istniejących zakładach przerabiających makulaturę. Modernizacja układu filtrowania wody często wiąże się z wprowadzeniem zmian w układach obiegów wodnych. Wszystkie elementy mogą być połączone modułowo dla osiągnięcia optymalnych wyników w przypadku różnych zastosowań.

#### **Aspekty ekonomiczne**

Brak danych.

#### **Motywacja do wdrożenia**

Podstawą modernizacji układów klarowania wody z zastosowaniem flotacji drobnopęcherzykowej w instalacjach do odbarwiania jest to, że taka modernizacja pozwala na prowadzenie optymalnej gospodarki wodnej i dowolne dostosowywanie stopnia zamknięcia obiegu wodnego (por. ryc. 6.3 i ryc. 6.4).

#### **Instalacje referencyjne**

Wiele zakładów w Europie.

#### **Bibliografia**

[ 14, Konfederacja Europejskiego Przemysłu Papierniczego, 1997 r. ], [ 74, Pöyry, 1994 r. ], [ 125, Schwarz i in., 1995 r. ].

### **6.3.12 Zapobieganie powstawaniu warstw biologicznych i ich eliminacja przy użyciu metod minimalizujących emisje biocydów**

#### **Opis**

Stale wprowadzanie mikroorganizmów wraz z wodą, włóknami, powietrzem i dodatkami do papieru prowadzi do specyficznej równowagi mikrobiologicznej w każdej papierni. Jednym z głównych problemów jest tworzenie się złóż biologicznych, zwanych także warstwami biologicznymi. Aby zapobiegać nadmiernemu wzrostowi mikroorganizmów, w papierniach stosuje się różne dodatki chemiczne: biodyspergatory, biocydy utleniające i nieutleniające. W ciągu ostatnich lat w przemyśle papierniczym wprowadzono technikę mającą na celu wyeliminowanie powstawania warstwy biologicznej i wolnych drobnoustrojów w wodzie obiegowej i zawieszinie papierniczej. Na technologię tę składają się następujące elementy:

- katalizator – katalizator metaliczny w postaci drutu dzianinowego o specjalnej powierzchni;
- 30 % roztwór stabilizowanego nadtlenu wodoru;
- stacja dozowania.

W wodzie obiegowej lub zawieszynie dochodzi do adsorpcji roztworu nadtlenu wodoru i jego aktywacji na powierzchni katalizatora przez przeniesienie elektronu z katalizatora do nadtlenu wodoru. Wskutek tego katalizator zostaje naładowany dodatnio, zaś wolne drobnoustroje mają ładunek ujemny, dlatego też są przyciągane do katalizatora. Na powierzchni katalizatora dochodzi do reakcji między drobnoustrojami a zaadsorbowanym nadtlakiem wodoru, której produktami są biologiczne środki powierzchniowo czynne i woda. Zaadsorbowane drobnoustroje ponadto oddają do katalizatora elektrony i zostają wyeliminowane w procesie. W wyniku wytworzonych biologicznych środków powierzchniowo czynnych z powierzchni usunięciu ulegają warstwy biologiczne. Usunięte warstwy biologiczne są biologicznie obojętne. Dawki nadtlenu wodoru wprowadza się czasami codziennie, a czasami co tydzień. Stężenie  $H_2O_2$  po wprowadzeniu dawek wynosi 10 – 100 g/m<sup>3</sup> wody lub zawiesziny.

#### Główne korzyści środowiskowe

- Transport, składowanie i stosowanie 30 % roztworu stabilizowanego nadtlenu wodoru jest znacznie mniej niebezpieczne niż w przypadku innych biocydów.
- Nie powstają żadne produkty toksyczne.
- Nadtlak wodoru reaguje tworząc wodę i biologiczne środki powierzchniowo czynne. Środki te nie powodują żadnych niepożądanych skutków ubocznych dla zdrowia ludzkiego lub środowiska.
- W wyniku wyeliminowania warstwy biologicznej zahamowano powstawanie siarkowodoru i kwasów organicznych oraz korozji spowodowanej przez mikroorganizmy.

#### Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

Technologia wywiera pozytywny wpływ, zapobiegając zanieczyszczeniu wszystkich komponentów środowiska. 30 % roztwór stabilizowanego nadtlenu wodoru reaguje tworząc wodę i biologiczne środki powierzchniowo czynne, bez jakichkolwiek innych produktów ubocznych. W usuniętych warstwach biologicznych dochodzi do absorpcji tych środków. Katalizator nie oddaje wodzie kationów metali. Jego żywotność wynosi co najmniej pięć lat. Woda oczyszczona przy zastosowaniu tej technologii nie stanowi zagrożenia dla układów biologicznych, jak ma to miejsce w przypadku oczyszczalni ścieków lub zbiorników ściekowych.

W tab. 6.30 przedstawiono doświadczenia z trzech niemieckich papierni, w których stosuje się katalizę na powierzchni ciała stałego z zastosowaniem nadtlenu wodoru, aby wyeliminować warstwę biologiczną. W zakładach tych wykorzystuje się makulaturę (posortowany mieszany papier i tekturę) oraz całkowicie zamknięte układy wody obiegowej. Katalizatory są zainstalowane w obiegu wody podsitowej. Dawki nadtlenu wodoru trzeba wprowadzać w pobliżu powierzchni katalizatora. Jest to konieczne do kontroli stężenia nadtlenu wodoru w zbiorniku.

Tabela 6. 30 Stosowanie dezynfekcji katalitycznej nadtlakiem wodoru w papierniach

Papiernie	RCF 6 w Niemczech	Vreden GmbH	RCF 7 w Niemczech
Jakość papieru	Karton	Papier surowy na tekturę falistą	Papier surowy na tekturę falistą
Produkcja papieru	12 500 t/rok	75 000 t/rok	60 000 t/rok
Objętość wody (m <sup>3</sup> )	700	1 000	Nie określono
ChZT w obiegach wodnych (mg/l)	25 000	40 000	25 000
Zużycie świeżej wody (m <sup>3</sup> /godz.)	3 – 4	12.5	Nie określono
Ścieki	Brak ścieków	Brak ścieków	Brak ścieków

Katalizator	4 części katalizatora metalicznego w postaci drutu dzianinowego	10 części katalizatora metalicznego w postaci drutu dzianinowego	3 części katalizatora metalicznego w postaci drutu dzianinowego
Stacja dozowania	Tak	Tak	Tak
Roztwór H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (30 %) przez pierwsze sześć miesięcy	140 l/tydzień	140 l/tydzień	140 l/tydzień
Roztwór H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (30 %) po pierwszych sześciu miesiącach	28 l/tydzień	21 l/tydzień	-

### Oddziaływanie na procesy i środowisko

Brak informacji.

### Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki

Technikę tę można stosować do oczyszczania świeżej wody, wody chłodzącej i wody obiegowej w nowych lub istniejących papierniach.

### Aspekty ekonomiczne

Roczne koszty (amortyzacja i eksploatacja) stosowania pełnej dezynfekcji katalitycznej nadtlaniem wodoru przy produkcji papieru na poziomie 10 000 t/rok wynoszą 5 000 – 10 000 euro rocznie. W przypadku wykorzystania technologii w istniejącej papierni zużycie nadtlenu wodoru jest znacznie wyższe w pierwszym roku eksploatacji niż w latach następnych.

### Motywacja do wdrożenia

Po wdrożeniu techniki nie jest konieczne stosowanie innych tradycyjnych biocydów. W tym przypadku możliwe jest obniżenie zużycia środków retencyjnych oraz flokulantów. Zapobiega się tworzeniu toksycznych gazów, zwłaszcza siarkowodoru.

### Instalacje referencyjne

Około 10 zakładów w Niemczech, Holandii i Austrii stosuje dezynfekcję katalityczną nadtlaniem wodoru, zastępując w ten sposób inne tradycyjne biocydy.

### Bibliografia

[ 187, Bussmann i in., 2008 r. ].

## 6.3.13 Skuteczna obróbka i przetwarzanie (odwadnianie) odrzutów i osadów na miejscu

### Opis i główne korzyści środowiskowe

W przerobie makulatury jednym z najważniejszych etapów procesu jest usuwanie zanieczyszczeń (głównie elementów niepapierowych) z zawiesiny masy. Zanieczyszczenia są usuwane w wyniku wieloetapowego oczyszczania i sortowania, w różnych punktach układu przygotowania masy. Uzyskane odrzuty można podzielić na ciężkie, grube oraz lekkie, drobne. Ponadto powstają osady (włókniste i biologiczne), które trzeba poddać obróbce.

Odrzuty te i osady na ogół nie są materiałem, który można byłoby poddać recyklingowi, dlatego też są one spalane z odzyskiem energii lub składowane na wysypiskach. W wielu państwach od 2005 r. zakazano składowania odrzutów i odpadów, w których zawartość materii organicznej przekracza 5 %. W związku z tym coraz więcej odrzutów, osadów i odpadów kończy w zakładowych lub zewnętrznych spalarniach.

Bez względu na to, czy odrzuty będą ponownie wykorzystane, czy odprowadzone na wysypisko, ich odwodnienie jest kluczowym etapem obróbki odpadów. We wszystkich powszechnie stosowanych metodach odzysku energii i składowania korzystne jest, gdy odrzuty mają wysoką zawartość masy suchej. Obecnie odrzuty z instalacji do usuwania odpadów z rozwłókniacza oraz odrzuty z układów



usuwania odpadów z rozwłóknacza nie są poddawane żadnemu specjalnemu odwadnianiu. W związku z ich składem materiałowym, „odsączenie” powoduje uzyskanie masy suchej na poziomie 60 – 80 %. Do odwadniania ciężkich i grubych odrzutów powstających podczas oczyszczania wysokostężeniowego i sortowania wstępnego stosowane są spiralne przenośniki sitowe, przesiewacze drgające oraz prasy ślimakowe i kątowe. Osiągalny poziom masy suchej wynosi 60 – 80 %. Po odwadnianiu lekkich i drobnych odrzutów z dalszych etapów oczyszczania i sortowania drobnego, dokonywanego z zastosowaniem sit, drutów bez końca i przesiewaczy drgających, następuje zwykle dalsze odwadnianie za pomocą pras ślimakowych. Osiągalny poziom masy suchej wynosi 50 – 65 %.

Osad nadmierny powstający w biologicznych oczyszczalniach ścieków w wielu papierniach wytwarzających papier na warstwę pofalowaną i płaską bywa ponownie wykorzystywany w produkcji papieru. Ponieważ taki osad biologiczny występuje w niewielkich ilościach, może być on wykorzystany jako surowiec do produkcji papieru, nie zakłócając płynności pracy maszyny papierniczej i nie wpływając na właściwości papieru. W takim przypadku nie są potrzebne urządzenia do odwadniania. W innych papierniach przerabiających makulaturę na papier opakowaniowy, który jest przeznaczony do kontaktu z żywnością, nie zwraca się osadu nadmiernego do procesu produkcyjnego (rozwłóknacza lub kadzi mieszałowej). Także w tym przypadku osad musi być poddany obróbce i odwadnianiu.

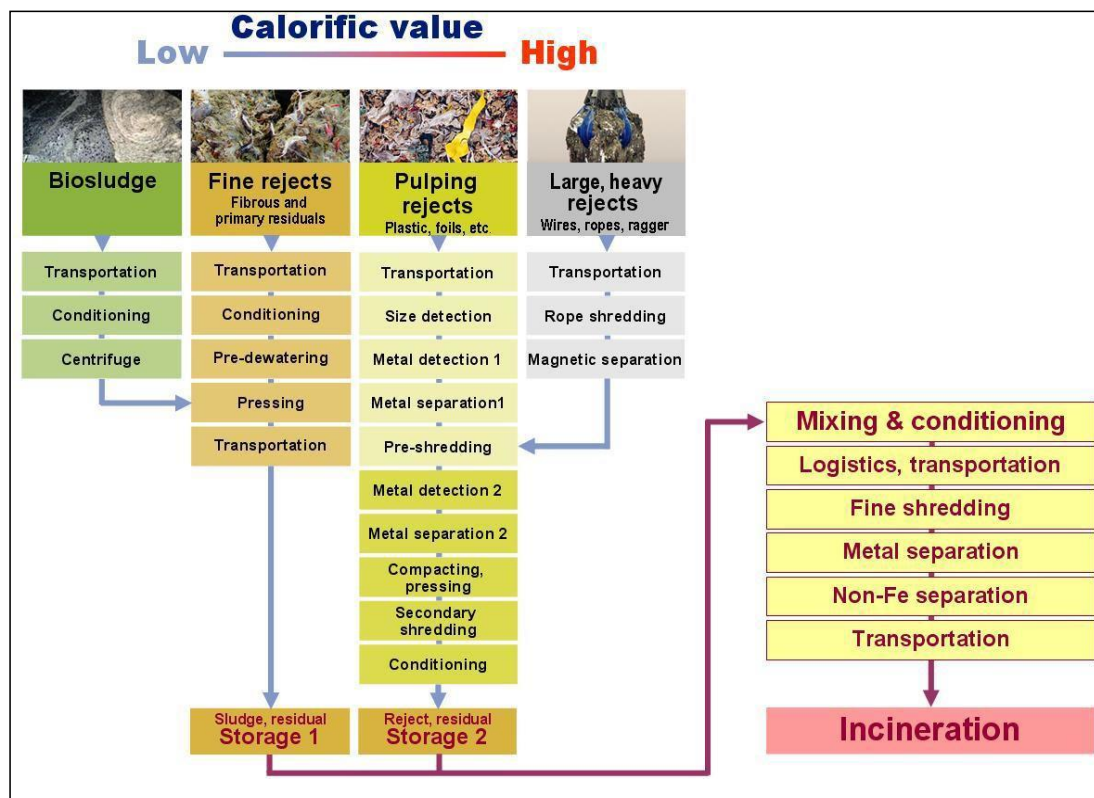
Papiernie przerabiające makulaturę z odbarwianiem muszą zawsze poddawać odrzuty i osady (osady włókniste, osady z odbarwiania, osady biologiczne) odwadnianiu.

### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Wysoka efektywność odwadniania jest skutkiem coraz częstszego stosowania pras ślimakowych.

W przypadku stosowania w zakładzie koncepcji „energii z odpadów” korzystne jest przygotowanie odrzutów i osadów do produkcji paliwa (oddzielenie metali, oddzielenie odpadów według wartości opałowej, rozdrabnianie, prasowanie), co często jest warunkiem koniecznym do osiągnięcia efektywnego przebiegu procesu i uzyskania określonego materiału o dużej wartości opałowej i niskich poziomach substancji zakłócających proces lub substancji zanieczyszczających, który ma być poddany spalaniu. W ten sposób odrzuty i inne odpady z produkcji stają się alternatywnym paliwem i mogą być spalane w specjalnych spalarniach w celu wytwarzania energii.

Na ryc. 6.46 przedstawiono przykładowe ogólne etapy przebiegu procesu rozdzielania odrzutów i osadów na dwie główne grupy składowe w produkcji papieru brązowego oraz ich przygotowania. Podobny układ został niedawno zbudowany w dwóch dużych niemieckich zakładach przerabiających makulaturę na papier na warstwę płaską i pofalowaną tektury falistej [ 147, J. Sommer i in., 2009 r. ]. Oddzielnie dla każdego zakładu trzeba określić konstrukcję każdego układu obróbki i przerobu odrzutów i osadów, liczbę etapów przebiegu procesu, jak również ich kombinację. W mniejszych zakładach można stosować znacznie uproszczone podejście.



Rysunek 6. 46 Przykładowe ogólne etapy przebiegu procesu efektywnej obróbki odrzutów i osadów w zakładzie przerabiającym makulaturę na papier brązowy

Low	Niska
Calorific value	Wartość opałowa
High	Wysoka
Biosludge	Osady biologiczne
Transportation	Transport
Conditioning	Kondycjonowanie
Centrifuge	Wirowanie
Fine rejects	Odrzuty drobne
Fibrous and primary residuals	Odpady włókniste i pierwotne
Transportation	Transport
Conditioning	Kondycjonowanie
Pre-dewatering	Odwadnianie wstępne
Pressing	Prasowanie
Transportation	Transport
Sludge, residual Storage 1	Osady, odpady Składowanie 1
Pulping rejects	Odrzuty z rozwłókniania
Plastic, foils, etc.	Tworzywa sztuczne, folie itp.
Transportation	Transport
Size detection	Wykrywanie rozmiaru
Metal detection 1	Wykrywanie metali 1
Metal separation 1	Oddzielenie metali 1
Pre-shredding	Rozdrabnianie wstępne
Metal detection 2	Wykrywanie metali 2
Metal separation 2	Oddzielenie metali 2
Compacting, pressing	Zbrylanie, prasowanie
Secondary shredding	Rozdrabnianie wtórne
Conditioning	Kondycjonowanie
Reject, residual Storage 2	Odrzuty, odpady Składowanie 2

Large, heavy rejects	Odrzuty duże, ciężkie
Wires, ropes, ragger	Druty, liny z instalacji do usuwania odpadów z rozwłóknacza
Transportation	Transport
Rope shredding	Rozdrabnianie odrzutów
Magnetic separation	Oddzielenie magnetyczne
Mixing & conditioning	Mieszanie i kondycjonowanie
Logistics, transportation	Logistyka, transport
Fine shredding	Rozdrabnianie drobne
Metal separation	Oddzielenie metali
Non-Fe separation	Oddzielenie metali nieżelaznych
Transportation	Transport
Incineration	Spalanie

Na ryc. 6.46 wskazano, że wartości opałowe odrzutów z rozwłóknacza (tworzyw sztucznych itp.) są wyższe, zaś odrzutów drobnych/osadów – wyraźnie niższe. Rozdzielenie na dwie grupy składowe może być korzystne, ponieważ kondycjonowanie odrzutów drobnych/osadów jest proste, ale już przygotowanie odrzutów z rozwłóknacza ma charakter wieloetapowy i wymaga zastosowania specjalnych technik, aby odrzuty te mogły być użyte jako paliwo alternatywne. Najnowsze techniki pozwalają również na przygotowanie odrzutów z rozwłóknacza do spalania.

Po wstępnym oczyszczeniu oraz rozdzieleniu na dwie grupy składowe odrzuty i osady mogą być składowane oddzielnie. Układ składowania i obróbki zyskuje na znaczeniu, jeśli dodatkowe odpady lub paliwa z innych miejsc będą spalane razem. Do kotła można następnie doprowadzać specjalną mieszankę o różnym składzie, aby umożliwić stałą kontrolę i regulację wartości opałowej zasilającej proces spalania.

W przypadku odbarwionej masy makulaturowej stosuje się inne jakości makulatury, inne procesy w obiegach wodnych i inny układ tych obiegów, inne techniki usuwania popiołu i innych zanieczyszczeń (np. mikroskopijnych zanieczyszczeń lepkich) oraz w rezultacie inny układ obróbki odrzutów, który ma na celu skuteczne przygotowanie oraz oczyszczenie odrzutów i odpadów do utylizacji, odzysku lub składowania na wysypiskach. Układy obróbki osadów i odrzutów mogą jednak zawierać bloki podobne do tych opisanych na ryc. 6.46.

### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Wynikiem odwadniania odrzutów i osadów jest wzrost ilości wody, którą trzeba oczyścić. Wyciśnięta woda jest zazwyczaj odprowadzana do oczyszczalni ścieków. Odwadnianie zwykle odbywa się wyłącznie pod działaniem sił mechanicznych. Poziom zanieczyszczenia wyciśniętej wody jest taki sam, jak w przypadku wody towarzyszącej odrzutom i osadom. Przy użyciu pras ślimakowych istnieje możliwość wtryskiwania pary w celu podgrzania odrzutów, co ma wpływ na poziom zanieczyszczenia wyciśniętej wody. Musi to być brane pod uwagę szczególnie wtedy, gdy oczyszczalnia ścieków osiągnęła już swoją maksymalną wydajność. Wtryskiwanie pary wymaga energii termalnej.

W przypadku spalania odrzutów i osadów w elektrowniach lub w piecach cementowych, zapotrzebowanie na energię do odparowania wody z odrzutów i osadów zmniejsza się, gdy uzyskuje się w drodze odwadniania mechanicznego wyższą zawartość masy suchej. Przyczynia się to do zwiększenia wskaźnika odzysku energii.

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Układy odwadniania odrzutów i osadów są powszechnie stosowane w nowych i istniejących papierniach. Układy odwadniania można modernizować, aby umożliwić stosowanie urządzeń o wyższej efektywności.

Zintegrowane koncepcje obróbki oraz oczyszczania odrzutów, osadów i odpadów zakładają ustalenie rzeczywistej ilości i jakości odrzutów oraz punktów odprowadzania. Ocenę alternatywnego przebiegu procesu recyklingu, odzysku i składowania przeprowadza się z uwzględnieniem koncepcji budowy maszyn, logistyki, kosztów i ewentualnego spalania.

Najwłaściwszy przebieg procesu składowania ustala się na podstawie dziennego poziomu produkcji i ilości odrzutów i osadów pochodzących z tej produkcji. Często najatrakcyjniejszą alternatywą w przypadku mniejszych ilości odrzutów i osadów odprowadzanych do składowania (np. do 15 t/dobę) jest prasowanie lub zbrylanie, przy zachowaniu najwyższej możliwej zawartości masy suchej. Zbrylanie z zastosowaniem najnowszych technik pozwoli zakładowi na osiągnięcie zawartości masy suchej w odrzutach na poziomie 65 – 70 %.

W przypadku odprowadzania do składowania do 40 t/dobę wskazane byłoby rozważenie wprowadzenia dodatkowego procesu suszenia po zbrylaniu (por. pkt 2.9.6.1.4). Aby przeprowadzić dodatkowy proces suszenia, konieczne jest zastosowanie odpowiedniego oczyszczania wstępnego: oddzielenie metali, zbrylanie oraz różne etapy rozdrabniania. Dzięki wykorzystywaniu nadmiaru ciepła z układu maszyny papierniczej lub z innych źródeł ciepła odpadowego, suszenie nie wymaga żadnych dodatkowych nakładów energii. Dzięki wykorzystywaniu nadmiaru ciepła z maszyny papierniczej, można osiągnąć końcową zawartość masy suchej na poziomie 90 %. Takie rozwiązanie pozwala na dłuższe okresowe składowanie odpadów bez pojawiania się problemów związanych z wyciekami i jest korzystne pod względem logistyki.

Przy dużych ilościach odrzutów i osadów przekraczających 60 t/dobę, realnym wariantem może być ponadto spalanie na miejscu, np. w odpowiednich kotłach fluidalnych, które wytwarzają parę i energię elektryczną.

#### **Aspekty ekonomiczne**

Brak informacji.

#### **Motywacja do wdrożenia**

Podstawą wdrożenia efektywnych procesów odwadniania i kondycjonowania odrzutów i osadów jest zmniejszenie ilości odpadów, które należy poddać obróbce. Ponieważ współspalanie w celu odzysku energii stało się realnym i często preferowanym wariantem oczyszczania, skuteczne odwadnianie i przygotowanie alternatywnego paliwa jest kluczowe dla osiągnięcia efektywności energetycznej.

#### **Instalacje referencyjne**

Wiele zakładów w Europie. W nielicznych zakładach stosuje się suszarki do osuszania osadów i odrzutów przed dalszym oczyszczaniem.

#### **Bibliografia**

[ 8, Borschke i in., 1997 r. ], [ 69, IFP, 1998 r. ], [ 81, Krieger, 1998 r. ], [ 147, J. Sommer i in., 2009 r. ], [ 148, Voith, 2009 r. ].

### **6.3.14 Przyjazna dla środowiska utylizacja odpadów i odzysk energii**

#### **Opis**

Ogólne aspekty gospodarki odpadami oraz możliwości recyklingu materiałów i odzysku energii w papierniach podano również w pkt 2.9.8.

Głównymi frakcjami odpadów w papierniach przerabiających makulaturę bez odbarwiania (np. na warstwę płaską i pofalowaną, karton lub tekturę na pudełka składane) są zanieczyszczenia grube z układu usuwania odpadów z rozwłóknacza, odrzuty z różnych etapów sortowania i oczyszczania z instalacji do przygotowania masy oraz osady z oczyszczania ścieków. Powstałe odrzuty stanowią od 4 % do ponad 10 % wsadu surowca, w zależności od jego źródła i jakości. Odrzuty z instalacji do przygotowania masy na brązowy papier opakowaniowy bez odbarwiania mogą być ponownie wykorzystane tylko w ograniczonym zakresie, ponieważ składają się z nieokreślonej mieszaniny składników niepapierowych, które są usuwane z makulatury.

Tylko w przypadku odrzutów z końcowych etapów oczyszczania i sortowania w obiegu maszyny papierniczej istnieje możliwość zawracania materiału, ponieważ zawierają one mało tworzyw sztucznych i innych zanieczyszczeń. W związku z tym w niektórych fabrykach ta frakcja odpadów jest osobno gromadzona i odwadniana, a także wykorzystywana jako jeden ze składników w

kompostowaniu. Praktyki kompostowania są bardzo zróżnicowane w państwach członkowskich. Podczas gdy w niektórych państwach kompostowanie osadów z papierni przerabiających makulaturę spotyka się z poparciem, w innych (np. Niemcy) kompostowanie odpadów z produkcji papieru jest źle widziane lub zabronione.

W papierniach przerabiających makulaturę z odbarwianiem powstają dodatkowo duże ilości osadów z odbarwiania oraz z klarowania wody obiegowej. Powstałe odrzuty i osady sięgają ok. 15 – 40 % wsadu surowca. W wytwórniach odbarwionej masy makulaturowej osady z odbarwiania, zawierające głównie krótkie włókna, składniki powłok, wypełniacze i cząstki farb drukowych, stanowią podstawową frakcję odpadów, które należy poddać obróbce. Do alternatyw zalicza się spalanie, rekultywację terenu, ściółkę dla zwierząt, piece cementowe, wytwarzanie cegieł oraz wytwarzanie innych produktów. Tylko w niewielu państwach praktykuje się nawożenie pól lub kompostowanie. Z kolei w innych państwach takie działania są źle widziane lub zabronione. Osady z odbarwiania z większych wytwórni odbarwionej masy makulaturowej mogą być spalane razem z osadami z oczyszczania ścieków. Istnieją rozmaite możliwości odzysku energii z odrzutów i osadów różnego typu. Możliwości te przedstawiono poniżej.

- Spalanie w zakładowej instalacji do spalania odpadów (por. przykład 1 i przykład 3 poniżej. Przykład 1 odnosi się do produkcji papieru na warstwę płaską i pofalowaną, podczas gdy przykład 3 opisuje spalanie odrzutów i osadów z odbarwiania z wytwórni odbarwionej masy makulaturowej).
- Współspalanie w zakładowej elektrowni węglowej (por. przykład 2 poniżej).
- Współspalanie w przemyśle cementowym lub ceglarskim. Odrzuty mogą być wykorzystywane jako paliwo zastępcze w przemyśle cementowym zastępujące paliwa kopalne. Przydatne informacje można znaleźć w Dokumencie referencyjnym na temat najlepszych dostępnych technik w przemyśle wytwórczym cementu, wapna i tlenku magnezu [ 272, COM, 2013 r. ]. Ponieważ spalanie odpadów nie jest, ogólnie rzecz biorąc, objęte zakresem niniejszego dokumentu, przydatne informacje dotyczące spalania odpadów można znaleźć w Dokumencie referencyjnym na temat najlepszych dostępnych technik spalania odpadów [ 273, COM, 2006 r. ]. Ponadto należy uwzględnić wymagania wynikające z obowiązujących przepisów europejskich i krajowych, np. w przypadku współspalania odpadów trzeba spełnić wymagania dyrektywy w sprawie spalania odpadów (WID) [ 203, dyrektywa 2000/76/WE, 2000 r. ].

W celu otrzymania dużej powierzchni i dobrych warunków spalania konieczne jest przeprowadzenie wstępnej obróbki odrzutów, która obejmuje głównie rozdrabnianie wstępne, sortowanie i rozdrabnianie wtórne. Rozdrabnianie i sortowanie można połączyć np. z separatorem magnetycznym lub powietrznym w celu odzysku metali żelaznych oraz usunięcia zanieczyszczeń, które mogą uszkodzić urządzenia do rozdrabniania wtórnego. W mniejszych zakładach wstępna obróbka odrzutów i osadów polega przede wszystkim na zastosowaniu urządzeń do odwadniania. W większych zakładach często stosuje się pełniejszą obróbkę wstępną (por. pkt 6.3.13).

Techniki utylizacji odrzutów różnią się w zależności od papierni i zależą najczęściej od warunków lokalnych. Zakaz składowania na wysypiskach odpadów nieprzetworzonych o zawartości substancji organicznych powyżej 5 % masy suchej w wielu państwach członkowskich UE przyczynił się do rozwoju i uruchomienia wielu spalarni. Po odpowiedniej obróbce wstępnej większość frakcji odpadów z papierni przerabiających makulaturę może spełniać wymagania dotyczące przyjaznego dla środowiska odzysku energii w spalarniach. Działania na rzecz odzysku są uważane za preferowany sposób obróbki odpadów. Należy rozpoznać możliwości ograniczenia ilości odpadów, które mają być składowane na wysypiskach i zapewnić, że będą stosowane tam, gdzie jest to wykonalne.

Spalanie skojarzone z wytwarzaniem energii elektrycznej i pary jest uważane za rozwiązanie przyjazne dla środowiska. W europejskich papierniach stosowane są różne metody (obróbka wstępna, kotły, techniki redukcji) spalania odrzutów z odzyskiem energii. Cztery z nich opisano poniżej.

Przykład obejmuje: spalanie odrzutów z papierni przerabiających makulaturę bez odbarwiania w zakładowej spalarni rusztowej i układ oczyszczania gazów odlotowych (przykład 1). Kolejną możliwością jest współspalanie odrzutów w zmodernizowanej zakładowej komorze spalania z ruchomym rusztem opalanej węglem i związane z nim oczyszczanie gazów odlotowych (przykład 2). Analogicznie do przykładu 1, taki kocioł rusztowy stanowi raczej przykład modernizacji istniejących zakładowych kotłów. Niemal wszystkie nowsze spalarnie to kotły z pęcherzowym paleniskiem

fluidalnym. Przykład 3, tj. spalanie odrzutów i osadów z zakładów stosujących odbarwioną masę makulaturową w kotle fluidalnym, jest obecnie szerzej stosowanym rozwiązaniem w europejskich papierniach. Dostępne są również rozwiązania, które można stosować w mniejszych zakładach (przykład 4).

---

**Przykład 1: Energetyczna utylizacja odrzutów z zakładów przerabiających makulaturę bez odbarwiania w instalacjach do spalania odrzutów**

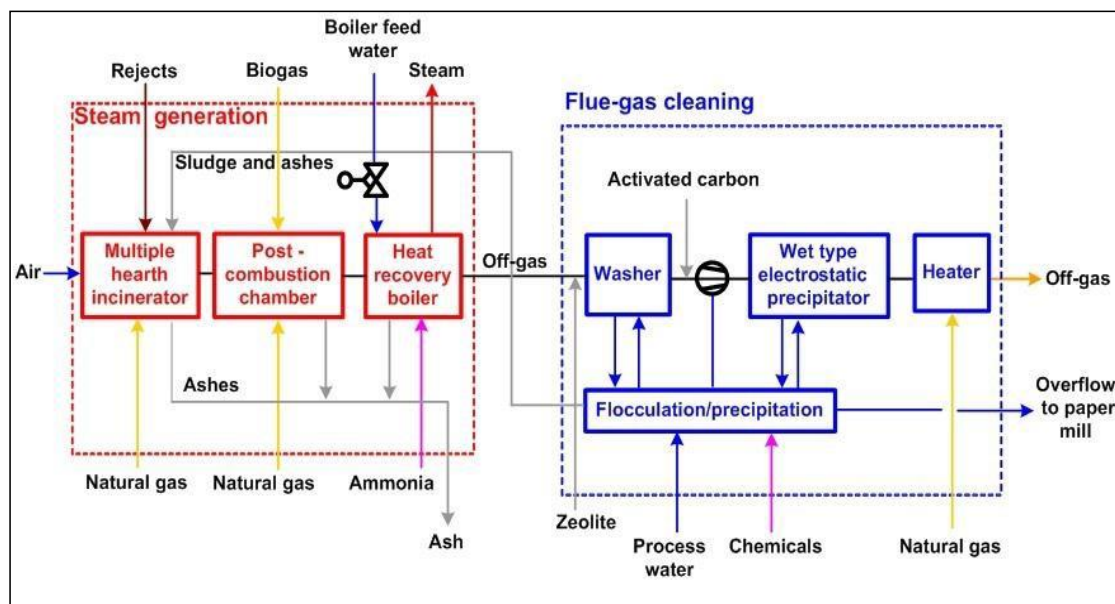
---

Opis tej techniki odnosi się do „brązowego papieru opakowaniowego” wytwarzanego z makulatury. Podobne układy mogą być jednak stosowane w innych papierniach przerabiających makulaturę (por. przykład 3).

**Opis i główne korzyści środowiskowe**

Przed wejściem w życie najnowszych przepisów dotyczących składowania na wysypiskach, które wyznaczają poziomy docelowe i maksymalne odpadów biodegradowalnych, które mogą być składowane na wysypiskach, odrzuty z przerobu makulatury z papierni wytwarzających papier na warstwę pofalowaną i płaską były składowane na wysypiskach. Zakładając udział odrzutów na poziomie 5 – 10 % wprowadzonej makulatury (w zależności od jakości makulatury), ilość wytworzonych odpadów była w wielu papierniach niewystarczająca do osiągnięcia opłacalnej eksploatacji instalacji do spalania odpadów. Jednak przystosowane instalacje do spalania są również dostępne dla mniejszych zakładów (por. przykład 4). W większych papierniach o dużej zdolności produkcyjnej coraz częściej instaluje się wolnostojące instalacje do spalania odpadów z przerobu makulatury. Od wczesnych lat 90. XX w. w niemieckiej papierni (370 000 t/rok) SCA w Aschaffenburg jest wykorzystywana przyjazna dla środowiska instalacja do spalania. W ślad za tym zakładem poszło kilka innych papierni przerabiających makulaturę (SCA Witzenhausen, Klingele Papierwerke, Palm Wörth, Laipa Schwedt, Jass Schwarza). Nowsze spalarnie to wyłącznie kotły z pęcherzowym paleniskiem fluidalnym.

Instalacja do spalania obejmuje spalanie wielotrzonowe i jest zintegrowana z elektrownią zakładową. Jest ona przeznaczona do spalania 28 000 ton odrzutów rocznie. Zawartość wody w odrzutach wynosi 45 – 50 %. Po rozdrobnieniu i magnetycznym oddzieleniu materiałów żelaznych, odrzuty są doprowadzane do górnego trzonu, gdzie są osuszane przez gorące gazy odlotowe prowadzone ku górze. Transport odrzutów do kolejnych trzonów dokonuje się za pomocą mieszadeł. Transportują one odrzuty przez wszystkie strefy spalania, z góry na dół. Gazy odlotowe z wierzchołka pieca są zawracane do trzonów spalania, gdzie są ponownie ogrzewane. W temperaturze 800 – 900 °C gazy odlotowe z trzonów spalania są całkowicie spalane. W związku z tym nie jest potrzebna oddzielna komora spalania, a odpady są spalane w sposób opłacalny. Komora dopalania wydłuża czas przebywania gazów odlotowych w strefie temperatury na poziomie > 850 °C. Komora jest wyposażona w palnik, który jest uruchamiany automatycznie, gdy temperatura spada poniżej wartości minimalnej. Na ryc. 6.47 przedstawiono uproszczony schemat spalania odrzutów w tej spalarni.



Rysunek 6. 47 Uproszczony schemat spalania odrzutów w spalarni wielotrzonowej

Rejects	Odrzuty
Biogas	Biogaz
Boiler feed water	Woda zasilająca kocioł
Steam	Para
Steam generation	Wytwarzanie pary
Sludge and ashes	Osad i popiół
Air	Powietrze
Multiple hearth incinerator	Spalarnia wielotrzonowa
Post combustion chamber	Komora dopalania
Heat recovery boiler	Kocioł odzysku ciepła
Off-gas	Gazy odlotowe
Ashes	Popiół
Natural gas	Gaz ziemny
Ammonia	Amoniak
Ash	Popiół
Flue-gas cleaning	Oczyszczanie gazów odlotowych
Activated carbon	Węgiel aktywny
Washer	Filtr myjący
Wet type electrostatic precipitator	Elektrofiltr mokry
Heater	Grzałka
Off-gas	Gazy odlotowe
Flocculation/precipitation	Flokulacja/wytrącanie
Overflow to paper mill	Strumień nadmiarowy do papierni
Zeolite	Zeolit
Process water	Woda obiegowa
Chemicals	Substancje chemiczne
Natural gas	Gaz ziemny

Instalacja do oczyszczania gazów odlotowych jest wyposażona w dwustopniową płuczkę wodną (NaOH) do usuwania zanieczyszczeń kwasowych, głównie dwutlenku siarki i chlorowodoru. Ciecz z płuczki wodnej jest neutralizowana i poddawana działaniu środków strącających i flokulantów w celu usunięcia metali ciężkich. Osad jest mieszany i spalany razem z odrzutami. Popiół pochodzący ze spalarni wielotrzonowej jest składowany na wysypisku. W celu zminimalizowania emisji dioksyn do zawracanego strumienia gazów odlotowych wtryskiwana jest mieszanina węgla aktywnego (ok. 17 t/rok) i zeolitu (ok. 30 t/rok). Zużyte adsorbenty są również zawracane do spalarni. Zmniejszenie emisji NO<sub>x</sub> uzyskuje się w wyniku selektywnej redukcji niekatalitycznej (SNCR) z zastosowaniem amoniaku, który jest wtryskiwany do komory spalania. Wielkość wprowadzanych dawek amoniaku dostosowuje

się tak, aby uzyskać 160 mg NO<sub>x</sub>/Nm<sup>3</sup> (wartość graniczna wynosi 200 mg NO<sub>x</sub>/Nm<sup>3</sup>). Emisję cząstek stałych obniża się za pomocą elektrofiltrowania mokrego. Po oczyszczeniu gazów odlotowych zainstalowano dodatkowy palnik, aby utrzymać temperaturę gazów odlotowych.

### Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

W tab. 6.31 zestawiono dane dotyczące emisji z instalacji do spalania odrzutów. Podane wartości to uśrednione dane liczbowe za rok 2008 dotyczące parametrów poddawanych stałym pomiarom, tj. pyłu, SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> i CO, zaś w przypadku wszystkich innych parametrów wyniki pochodzą z poszczególnych analiz próbek, które są przeprowadzane raz w roku.

**Tabela 6. 31 Dane dotyczące emisji ze spalania odrzutów w wielotrzonowej instalacji do spalania odniesione do niemieckich norm prawnych**

Parametr	Jednostka	Zmierzona średnia roczna wartość (obliczona na podstawie średnich wartości dziennych)	Zmierzone średnie dzienne wartości (min. – maks.)	Wartości graniczne (zgodnie z niemieckimi normami)*
Cząstki stałe	mg/Nm <sup>3</sup>	1,2	0 – 10,8	10,0
SO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	4,4	0 – 20,7	50,0
NO <sub>x</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	150,7	62,0 – 177,3	200
CO	mg/Nm <sup>3</sup>	9,2	6,3 – 14,1	50,0
HCl	mg/Nm <sup>3</sup>	< 0,4 <sup>(1)</sup>	< 0,4	10,0
HF	mg/Nm <sup>3</sup>	-	-	1,0
Cogótem	mg/Nm <sup>3</sup>	5,4 <sup>(2)</sup>	2,0 – 6,1	10,0
Cd, Tl	µg/Nm <sup>3</sup>	5 <sup>(2)</sup>	2 – 7	50,0
Hg	µg/Nm <sup>3</sup>	< 1 <sup>(2)</sup>	< 1	50,0
łącznie Sb, Cr, CN, F, Mn, V, Sn	µg/Nm <sup>3</sup>	64 <sup>(2)</sup>	14 – 75	500
łącznie As, Cd, Co, benzopiren, Cr	µg/Nm <sup>3</sup>	8 <sup>(2)</sup>	5 – 10	50
Dioksyny/Furany	ng I-TE/Nm <sup>3</sup>	0,037 <sup>(2)</sup>	0,026 – 0,085	0,1

Uwagi:  
<sup>(1)</sup> Zgodnie z XVII Rozporządzeniem w sprawie wdrożenia Federalnej ustawy o ochronie przed emisjami (Rozporządzenie w sprawie spalarni odpadów i podobnych materiałów palnych) z 14 sierpnia 2003 r. wartości odnoszą się do standardowej temperatury i ciśnienia (0 °C, 1 bar, suche) oraz do zawartości tlenu na poziomie 11 % objętości.  
<sup>(2)</sup> Parametry poddawane okresowym pomiarom (raz w roku). Wartości z pomiaru w marcu 2009 r.  
 Źródło: [ 227, SCA w Aschaffenburg, 2009 r. ]

Sprawność eksploatacyjna instalacji do spalania jest zadowalająca. Konserwacja i przeglądy nie przekraczały oczekiwanych okresów.

### Oddziaływanie na procesy i środowisko

Spalanie odpadów pozwala na zaoszczędzenie miejsca na wysypiskach. Uzyskany popiół (3,13 kg popiołu/TSP netto lub ok. 1 000 t popiołu w 2008 r.) może być ponownie wykorzystany, np. w budowie dróg. Paliwa kopalne używane do wytwarzania energii mogą być zastąpione (w tym przypadku ok. 66 000 MWh). Znamionowa zdolność generatora pary z odzyskiem ciepła w instalacji do spalania odrzutów wynosi 8,4 MWt, uwzględniając dodany biogaz i gaz ziemny (por. ryc. 6.47).

Ze spalarni uwalniane są emisje do atmosfery, które należy poddać oczyszczeniu. Osiągalne poziomy emisji podano w tab. 6.31. Zmniejsza się natomiast niebezpieczeństwo potencjalnych emisji gazowych z wysypisk. W przypadku stosowania płuczek wodnych do oczyszczania gazów odlotowych powstają ścieki. Woda jest oczyszczana, osad jest zwracany do instalacji do spalania, zaś strumień nadmiarowy jest wykorzystywany w papierni.



**Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Spalanie odrzutów w wolnostojących instalacjach do spalania odpadów jest stosowane tylko w kilku dużych zakładach, które niedawno wybudowano lub rozbudowano. W wielu europejskich papierniach ilość wytwarzanych na miejscu odrzutów może być niewystarczająca do uzyskania opłacalnej eksploatacji instalacji do spalania odpadów. Dlatego też tego typu wolnostojącą instalację można wykorzystywać tylko w większych zakładach.

W starszych papierniach możliwa jest modernizacja, lecz nie ma pewności, że instalacja do spalania, łącznie z koniecznym wyposażeniem do oczyszczania gazów odlotowych, może być eksploatowana w sposób opłacalny. Uwzględniając koszty inwestycyjne instalacji do spalania o wydajności 15 000 t/rok, wynoszące ok. 20 mln euro, oraz fakt, że jednostkowy koszt mniejszej instalacji jest wyższy, opłacalność w przypadku mniejszej papierni jest wątpliwa. W takim przypadku technikę opisaną w przykładzie 4 można uznać za możliwe rozwiązanie.

Dlatego też na przykład w prowincji Gelderland w Holandii grupa zakładów znajdujących się względnie blisko siebie spala odpady we wspólnie użytkowanym kotle fluidalnym. Popiół, którego skład będzie ściśle kontrolowany, będzie wykorzystywany w przemyśle budowlanym.

**Aspekty ekonomiczne**

W 1989 r. koszty inwestycyjne wynosiły łącznie ok. 20 mln euro. Dane dotyczące jednostkowych kosztów operacyjnych są niedostępne. Łączne koszty spalania 1 tony odrzutów (50 – 60 % masy suchej) wynosiły ok. 100 euro. Koszty te obejmują koszty kapitałowe, operacyjne oraz oszczędności gazu ziemnego, który jest źródłem energii w omawianym zakładzie. Nieznane są koszty inwestycyjne w 2010 r.

**Motywacja do wdrożenia**

Pojemność wysypiska w pobliżu przedstawionego przykładowego zakładu została ograniczona, co spowodowało wzrost kosztów składowania.

**Instalacje referencyjne**

SCA Packaging Industripapier GmbH w Aschaffenburg w Niemczech.

**Bibliografia**

[ 227, SCA w Aschaffenburg, 2009 r. ].

---

**Przykład 2: Współspalanie odrzutów z papierni przerabiających makulaturę bez odbarwiania w elektrowniach węglowych posiadających wyposażenie do oczyszczania gazów odlotowych**


---

Technikę tę, dokładnie rzecz biorąc, można stosować wyłącznie w papierniach przerabiających makulaturę na papier na warstwę pofalowaną. Być może warto byłoby jednak zbadać każdy przypadek, aby ustalić, czy podobny układ mógłby być wykorzystany także w innych papierniach przerabiających makulaturę.

**Opis i główne korzyści środowiskowe**

W związku z niejednorodnością składu, odrzuty z papierni przerabiających makulaturę bez odbarwiania były składowane na wysypiskach. Z uwagi jednak na ich wysoką wartość opałową wynoszącą 22 – 24 MJ/kg masy suchej, którą zawdzięczają dużemu udziałowi tworzyw sztucznych, odrzuty te można wykorzystać do odzysku energii, zastępując paliwa kopalne (por. także przykład 1).

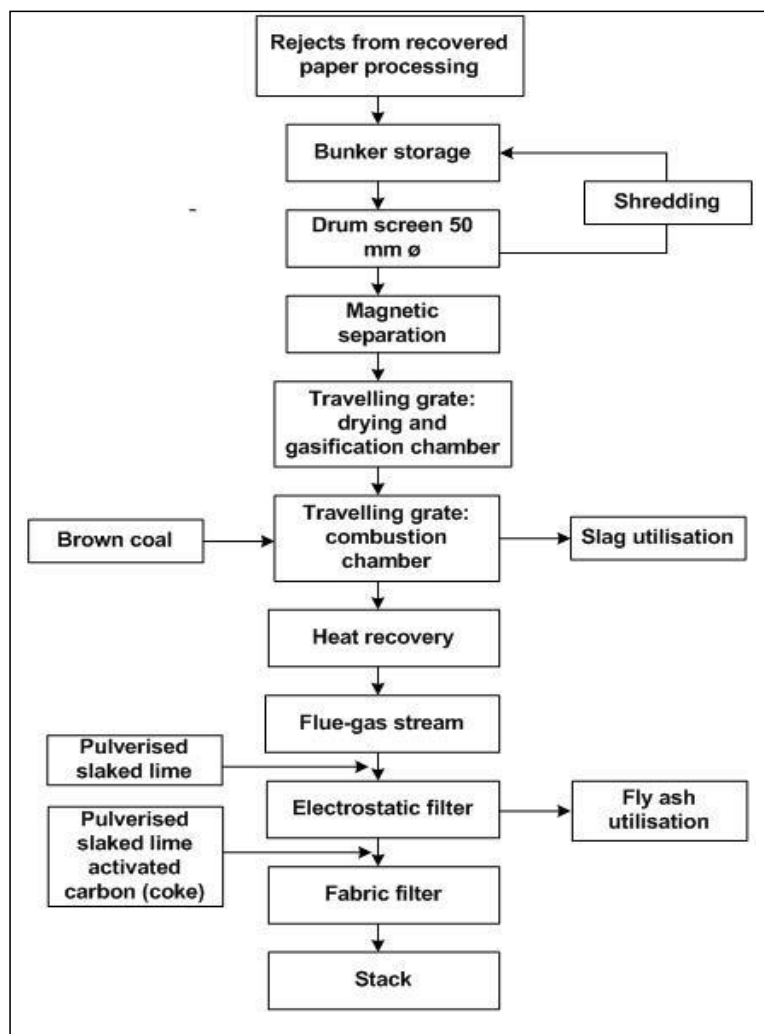
W tab. 6.32 przedstawiono skład odrzutów w formie średnich wartości z 18 analiz przeprowadzonych w różnych niemieckich wytwórniach papieru na warstwę pofalowaną i płaską.

**Tabela 6. 32 Skład odrzutów z wytwarzania papieru na warstwę płaską i pofalowaną**

<b>Materiał</b>	<b>Jednostka</b>	<b>Wartość</b>
Tworzywa sztuczne	% masy	26,0
Włókna	% masy	27,0
Szkło i kamienie	% masy	0,1
Metale	% masy	0,9
Inne materiały organiczne	% masy	1,0
Woda	% masy	45,0
Wartość opałowa (100 % masy suchej)	MJ/kg	23,8
Wartość opałowa (55 % masy suchej)	MJ/kg	12,0
Zawartość chloru w tworzywach sztucznych	% masy	5,5
Zawartość chloru w odrzutach	% masy	1,4
Źródło: [ 69, IFP, 1998 r.]		

W papierniach spalających paliwa stałe, takie jak węgiel brunatny lub kamienny, we własnych elektrowniach, możliwe jest współspalanie odrzutów. Konieczne jest zainstalowanie komory suszenia i gazyfikacji połączonej z komorą spalania elektrowni. W komorze suszenia i gazyfikacji odrzuty ulegają gazyfikacji w wyniku utlenienia tlenem z powietrza materiałów zawierających węgiel. Gazy powstałe w wyniku gazyfikacji są spalane w komorze spalania elektrowni. Trzeba zapewnić odpowiednie warunki spalania ( $> 850$  °C i zawartość tlenu na poziomie  $> 6$  %), aby zapobiec problemom związanym z emisją LZO i sadzy. Parametrem kontrolnym jest zawartość CO, która może być monitorowana ( $< 50$  mg/Nm<sup>3</sup>).

Odpady przed suszeniem i gazyfikacją wymagają następującej obróbki: na pierwszym etapie przeprowadzane jest sortowanie w bębnie sortującym. Odrzuty o wymiarach powyżej 50 mm są rozdrabniane. Następnie oddzielane są materiały żelazne z zastosowaniem separacji magnetycznej. Do doprowadzania odrzutów do komory suszenia i gazyfikacji stosuje się ruchomy ruszt. Uproszczony schemat opisanej techniki przedstawiono na ryc. 6.48.



Rysunek 6. 48 Uproszczony schemat współpalania odrzutów w elektrowni opalanej węglem brunatnym

Rejects from recovered paper processing	Odrzuty z przerobu makulatury
Bunker storage	Składowanie w zasobniku
Drum screen 50 mm Ø	Bęben sortujący 50 mm Ø
Shredding	Rozdrabnianie
Magnetic separation	Separacja magnetyczna
Travelling grate: drying and gasification chamber	Ruchomy ruszt: komora suszenia i gazyfikacji
Travelling grate: combustion chamber	Ruchomy ruszt: komora spalania
Heat recovery	Odzysk ciepła
Flue-gas stream	Strumień gazów odlotowych
Electrostatic filter	Elektrofiltr
Fabric filter	Filtr tkaninowy
Pulverised slaked lime	Sproszkowane wapno gaszone
Brown coal	Węgiel brunatny
Pulverised slaked lime activated carbon (coke)	Sproszkowane wapno gaszone węgiel aktywny (koks)
Slag utilisation	Utylizacja żużlu
Fly ash utilisation	Utylizacja popiołu lotnego
Stack	Komin

### Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

Współpalanie odrzutów w istniejących elektrowniach wymaga zastosowania dodatkowych środków do oczyszczania gazów odlotowych. Oczyszczanie gazów odlotowych musi na ogół spełniać wysokie wymagania. Aby usunąć HCl, który powstaje wskutek wysokiej zawartości chloru w odrzutach, do

strumienia gazów odlotowych wtryskiwane jest sproszkowane wapno gaszone (wodorotlenek wapnia). W wyniku wtryskiwania wapna w odpowiedniej strefie temperaturowej, można zminimalizować emisje HCl, HF i SO<sub>2</sub>. Ogólnie osiągalne poziomy emisji wynoszą: dla HCl – < 30 mg/Nm<sup>3</sup>, HF – < 5 mg/Nm<sup>3</sup>, i SO<sub>2</sub> – < 200 mg/Nm<sup>3</sup>. W zależności od dawki adsorbentu, możliwe jest uzyskanie niższych wartości. Gazy odlotowe są następnie oczyszczane w elektrofiltrze i dodatkowo w filtrze tkaninowym. Stężenie cząstek stałych w oczyszczonych gazach odlotowych nie przekracza 10 mg/m<sup>3</sup>. Stężenie HCl, pyłu i O<sub>2</sub> w oczyszczonych gazach odlotowych jest poddawane stałym pomiarom.

Dioksyny usuwa się z gazów odlotowych za pomocą węgla aktywnego lub koksu. Ogólnie osiągalne poziomy emisji dioksyn/furanów wynoszą < 0,1 ng I-TEQ/Nm<sup>3</sup>. W zależności od dawki węgla aktywnego, możliwe jest uzyskanie niższych wartości. Gazy odlotowe są następnie poddawane oczyszczaniu w odpylaczu, o którym mowa powyżej.

### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Uważa się, że pod względem oddziaływania na środowisko, współspalanie odrzutów stanowi korzystną przeciwwagę do składowania na wysypiskach. Paliwa kopalne można zastąpić wykorzystując odrzuty do wytwarzania energii. Tona odrzutów o zawartości wody na poziomie ok. 45 % zastępuje ok. 0,7 tony węgla brunatnego. Ponieważ udział włókien neutralnych pod względem emisji CO<sub>2</sub> sięga 50 %, w odniesieniu do substancji stałych, emisje CO<sub>2</sub> związane ze spalaniem paliwa kopalnego zostaną obniżone. Współspalanie odpadów jest skuteczną metodą na zminimalizowanie ilości odpadów, które zwykle są składowane na wysypiskach. W tym przypadku powstały popiół nadaje się do ponownego wykorzystania, np. do rekultywacji gruntów po kopalniach węgla brunatnego. W innych przypadkach pył, cząstki wiążące metale ciężkie i wspomniane wyżej adsorbenty są gromadzone i muszą być składowane.

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

W zasadzie wszystkie istniejące elektrownie opalane paliwami stałymi (węglem brunatnym, węglem kamiennym) powinny być odpowiednie do stosowania współspalania odpadów. Jednak w większości dużych europejskich wytwórni papieru na warstwę pofalowaną i płaską, do wytwarzania energii elektrycznej stosuje się gaz ziemny. Dlatego też współspalanie może być stosowane tylko w małych, często starszych zakładach.

### **Aspekty ekonomiczne**

Koszty inwestycyjne instalacji do współspalania, łącznie z urządzeniami do wstępnego oczyszczania odrzutów oraz komorą suszenia i gazyfikacji, przeznaczonej do przerobu maksymalnie 3 ton odrzutów/godz., wynoszą około 2,5 mln euro. Przyjmując koszty składowania na wysypisku na poziomie 50 euro/t, roczne oszczędności wyniosą 0,6 mln euro. Zastąpienie węgla brunatnego pozwala zaoszczędzić 0,3 mln euro/rok. Nie określono kosztów konserwacji. Nie uwzględniono kosztów amortyzacji i oprocentowania, ponieważ dane w tym zakresie są niedostępne.

### **Motywacja do wdrożenia**

Pamiętając, że od 2005 r. w Niemczech nie można składować na wysypiskach odpadów o zawartości substancji organicznych powyżej 5 %, wdrożenie tej techniki miało na celu sprostanie temu wymaganiu. Wysokie ceny składowania osadów i odrzutów przyczyniły się do obecnego zainteresowania wielu papierni posiadaniem własnych spalarni. Podstawą wdrożenia jest również obniżenie kosztów energii pierwotnej i niezależność od zewnętrznych zakładów utylizacji odpadów.

### **Instalacje referencyjne**

RCF 6 w Niemczech; Schöllershammer Industriepapier w Düren w Niemczech; Oudegem Papier w Belgii.

### **Bibliografia**

[ 69, IFP, 1998 r. ].

---

**Przykład 3: Spalanie odpadów (odrzutów i osadów) z zakładów stosujących odbarwioną masę makulaturową skojarzone z wytwarzaniem energii elektrycznej i pary**


---

W przeciwieństwie do przykładów 1 i 2, przykład opisany poniżej odnosi się do zakładów stosujących odbarwioną masę makulaturową lub zakładów, które wykorzystują mieszankę odbarwionej masy makulaturowej (DIP) i masy mechanicznej.

**Opis**

Spalanie różnego rodzaju osadów i odrzutów, obejmujących odrzuty, osady z odbarwiania, osady z oczyszczania ścieków itp., jest szeroko stosowane w przemyśle papierniczym. Poniżej podano dwie możliwości spalania odrzutów i osadów:

- Współspalanie z korą w kotłach korowych (tylko w przypadku papierni wykorzystujących mieszankę surowców, jak np. mieszankę odbarwionej masy makulaturowej i masy mechanicznej, w wytwarzaniu której jest stosowane korowanie): w nowych lub względnie nowych instalacjach dominują piece fluidalne przeznaczone przede wszystkim do współspalania osadów o niskiej zawartości masy suchej.
- Oddzielne spalanie osadów z odbarwiania. Spalarnie wykorzystywane w tym celu to kotły z pęcherzowym paleniskiem fluidalnym, które mogą być zasilane w 100 % osadami, jednak powszechnie stosuje się paliwo pomocnicze, takie jak gaz ziemny, węgiel lub ropa naftowa. Konieczność użycia paliwa pomocniczego zależy od zawartości masy suchej oraz popiołu w osadach. Do przeprowadzenia samowystarczalnego spalania konieczne jest na ogół osiągnięcie zawartości masy suchej na poziomie co najmniej 35 – 40 %.

Aby osady z produkcji makulatury nadawały się do spalania w kotle, muszą być najpierw odwodnione i osuszone przy wykorzystaniu nadmiaru ciepła z maszyny papierniczej, o ile jest to opłacalne (por. pkt 6.3.13). Filtraty z odwadniania mogą być oczyszczane w zakładowej oczyszczalni ścieków. W niektórych zakładach filtraty ze wstępnego odwadniania poddaje się obróbce i ponownie wykorzystuje po zastosowaniu mikroflotacji w procesie rozwłókniania.

Po odwodnieniu osady z odbarwiania, pochodzące z komór flotacyjnych, mogą być spalane bez wstępnego oczyszczania. Może być dodawany odwodniony osad nadmierny z biologicznego oczyszczania ścieków, lecz ma on jedynie niewielki udział w ogólnej ilości osadów (ok. 5 %). W celu zapewnienia wysokiej temperatury (> 800 – 850 °C), w kotle na paliwo stałe (kotle fluidalnym) zwykle spalany jest także gaz lub kora. Istnieją zakłady, w których spalaniu poddaje się tylko osady, podczas gdy w innych spalane są wszystkie odpady, łącznie z odrzutami lub korą.

Jeśli spalane są także odrzuty z produkcji odbarwionej masy makulaturowej, aby nadawały się one do spalania w kotle fluidalnym, muszą być najpierw poddane obróbce (por. także przykład 2, ryc. 6.48). Głównym celem wstępnego oczyszczania odrzutów z instalacji do odbarwiania jest oddzielenie składników niepalnych i rozdrobnienie cząstek paliwa do odpowiedniej wielkości, aby uzyskać dużą powierzchnię i dobre warunki spalania. Po wstępnym rozdrobnieniu i przesortowaniu składniki palne mogą być doprowadzane do zbiornika paliwa w kotle. Pozostałe odrzuty powinny być rozdzielone na żelazo i inne odrzuty niepalne.

Oczyszczanie wstępne tych odrzutów może składać się z następujących etapów:

1. sortowanie wstępne 1 – oddzielenie dużych cząstek żelaza;
2. rozdrabnianie wstępne – zmniejszenie wielkości cząstek do wymiarów odpowiednich do przeprowadzenia następných etapów sortowania;
3. sortowanie wstępne 2 – usunięcie reszty żelaza;
4. sortowanie – oddzielenie składników niepalnych (metali, kamieni, szkła itp.);
5. rozdrabnianie wtórne – pocięcie wstęg, pasków i lin z tworzywa sztucznego, które mogły przejść przez rozdrabnianie wstępne.

**Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Głównym osiągnięciem jest zmniejszenie o ok. 80 – 90 % ilości materiałów odprowadzanych na wysypiska. W zależności od jakości popiołu, istnieją różne możliwości jego składowania na wysypisku

lub wykorzystania. W niektórych przypadkach popiół jest odprowadzany na wysypisko, w innych – wykorzystywany w przemyśle budowlanym lub do produkcji innych produktów o wartości dodanej.

W tab. 6.33 zestawiono dane dotyczące emisji z instalacji do spalania osadów z odbarwiania, odrzutów i osadów z biologicznego oczyszczania ścieków. Jako paliwo pomocnicze wykorzystuje się pewne ilości gazu ziemnego oraz paliwo odpadowe. Podane wartości są wartościami średniorocznymi dla 2008 r.

**Tabela 6.33 Dane dotyczące emisji z kotła fluidalnego stosowanego do spalania osadów z odbarwiania, odrzutów, osadów biologicznych, biogazu, gazu ziemnego oraz paliwa odpadowego**

Parametr	Wartości zmierzone w 2008 r. <sup>(1)</sup> (mg/Nm <sup>3</sup> )	Średnia dzienna wartość graniczna <sup>(1)</sup> (mg/Nm <sup>3</sup> )	Zainstalowane techniki zwalczania emisji
Pył	5	10,0	Filtry workowe (teflon)
SO <sub>2</sub>	1	50,0	Bardzo niska zawartość S w osadach
NO <sub>x</sub>	190	200	Selektywna redukcja niekatalityczna (wtryskiwanie amoniaku)
NH <sub>3</sub>	Niewykrywalny	20	Brak odpowiedniej ilości amoniaku przedostającego się do gazów odlotowych
CO	2	50,0	Złoże fluidalne zapewnia dobre spalanie
HCl	3	10,0	Wtryskiwanie adsorbentu (mieszanka wapna i węgla aktywnego) przed filtrami workowymi
Cogólem	1	10,0	

Uwaga: Poziom metali ciężkich i dioksyn jest znacznie poniżej wartości granicznych. Ich zawartość jest mierzona okresowo, np. Hg < 0,01 mg/m<sup>3</sup>; polichlorowane dibenzo-para-dioksyny/polichlorowane dibenzofurany: maksymalna wartość: < 0,004 ng/m<sup>3</sup>.

<sup>(1)</sup> Zmierzone i graniczne wartości emisji odnoszą się do zawartości tlenu na poziomie 11 % objętości. Są to średnie roczne wartości.

Źródło: [ Landesdirektion Leipzig, Abt. Umwelt, Stora Enso Sachsen: Stałe monitorowanie emisji. Sprawozdanie roczne z emisji z 2008 r. ]

Odzysk energii może być wtórnym celem zastosowania tej techniki. Po odwodnieniu występuje tylko nieznaczna nadwyżka energii na poziomie 4 – 5 MJ/t, w odniesieniu do spalania odwodnionych osadów (przy 58 % masy suchej). Jednak w przypadku niektórych papierni stosujących odbarwianie metodą mycia (np. papiernie przerabiające makulaturę na bibułę higieniczną), w wyniku spalania osadów uzyskuje się ilość energii równą zużyciu energii netto. Jest to na ogół spowodowane dużą zawartością popiołu, a tym samym obniżoną wartością energetyczną osadów.

Nielotny chlor ze spalania w piecu fluidalnym występuje w postaci HCl, a także chlorku potasu (KCl) i chlorku sodu (NaCl). Substancje te są znane z tego, że kondensują na powierzchni rurek, z tendencją do zwiększania możliwości korozji w fazie stopu. Taki rodzaj korozji można napotkać w przegrzewaczach, w których temperatura pary przekracza 500 °C.

### Oddziaływanie na procesy i środowisko

Ze spalarni uwalniane są emisje do atmosfery, które trzeba poddać oczyszczeniu. Osiągalne wartości emisji podano w tab. 6.33 poniżej. Natomiast obniżeniu ulegają potencjalne emisje gazów z wysypiska. W wyniku oczyszczania gazów odlotowych ze spalarni zazwyczaj powstaje pewna ilość odpadów (pył zatrzymany w filtrach workowych; popiół z komory spalania), które trzeba usunąć lub poddać recyklingowi. W przypadku oczyszczania gazów na mokro powstają ścieki.

### Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki

Skojarzone z wytwarzaniem energii elektrycznej i pary spalanie osadów z odbarwiania i innych osadów jest stosowane w wielu nowoczesnych zakładach, w szczególności w tych większych. Spalanie odrzutów jest natomiast znacznie trudniejsze i potencjalnie może powodować emisje i problemy z korozją. W praktyce możliwości zależą od wydajności i rodzaju kotła. W mniejszych papierniach technika ta może być stosowana w ograniczonym zakresie.

Skojarzone z wytwarzaniem energii elektrycznej i pary spalanie odpadów (odrzutów i osadów) może być stosowane w większości nowych i istniejących zakładów. Możliwość zastosowania zależy jednak w każdym przypadku od rodzaju i wydajności kotła. Na przykład technika ta nie może być stosowana w małych zakładach, które często są wyposażone w bardzo proste kotły opalane ropą naftową lub gazem o ograniczonej wydajności lub o ograniczonych możliwościach spalania substancji stałych. Wyższa zawartość chloru w odrzutach wymaga zwrócenia szczególnej uwagi (korozja, oczyszczanie gazów odlotowych).

Kotły fluidalne, jeżeli są już stosowane, stanowią ogólnie lepsze rozwiązanie i mogą być zmodernizowane po niższych kosztach dodatkowych niż kotły rusztowe (por. przykłady 1 i 2). Pod względem eksploatacji kotły fluidalne mają wiele zalet w porównaniu z kotłami rusztowymi. Cechują się one między innymi mniejszą wrażliwością na jakość paliwa lub zmiany ilościowe i w większości przypadków generują mniejsze emisje (por. pkt 2.6.1.2.3 na temat kotłów fluidalnych).

#### **Aspekty ekonomiczne**

Brak informacji.

#### **Motywacja do wdrożenia**

Wymogi prawne. Ograniczenie transportu osadów i odrzutów; ograniczenie składowania na wysypiskach; wykorzystywanie wartości energetycznej frakcji odpadów.

#### **Instalacje referencyjne**

W kilku zakładach stosujących odbarwioną masę makulaturową do produkcji papieru gazetowego i bibułka higienicznej zainstalowano układy do spalania fluidalnego, np. Stora Enso w Eilenburgu – papier gazetowy (Niemcy), Tela Papierfabrik AG – bibułka higieniczna (Szwajcaria), UPM w Schwedt – papier gazetowy (Niemcy), WEPA w Giershagen – bibułka higieniczna (Niemcy).

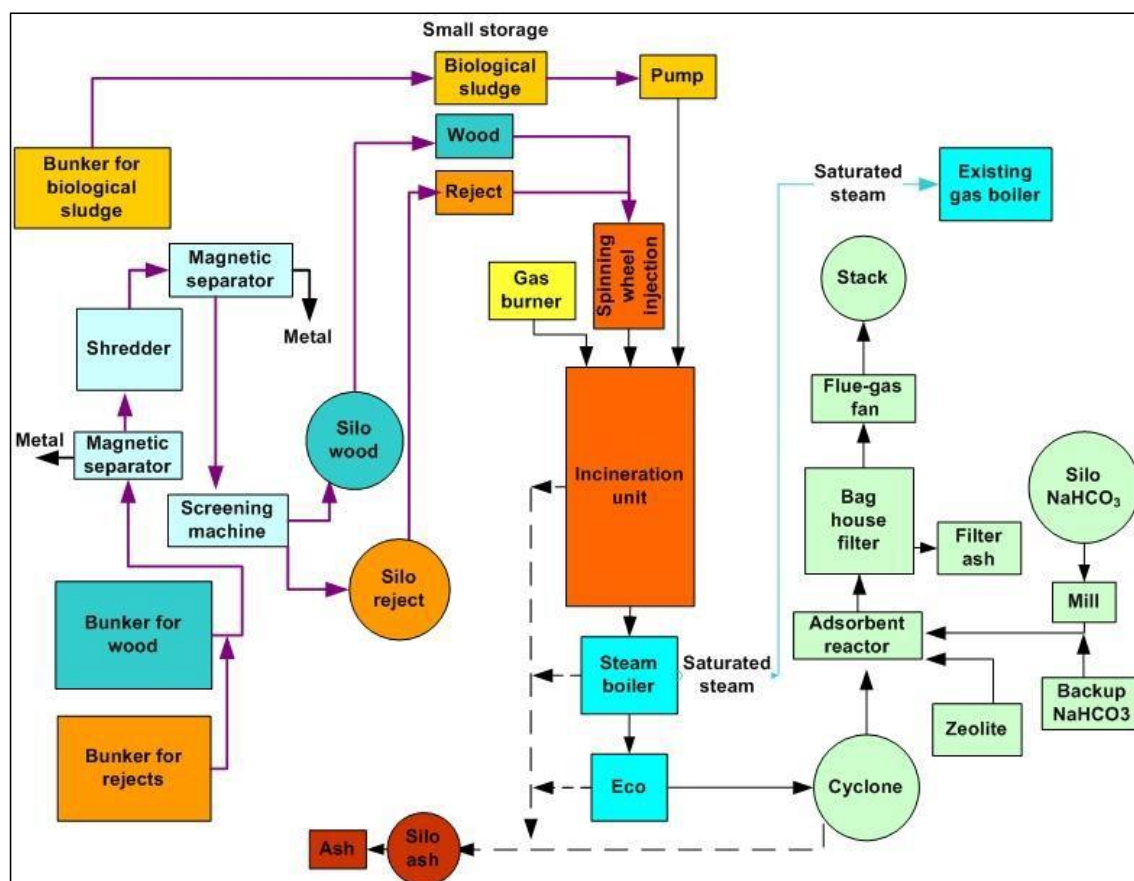
#### **Bibliografia**

[ 1, Fńskie sprawozdanie ze stosowania najlepszych dostępnych technik, 1997 r. ], [ 16, Konfederacja Europejskiego Przemysłu Papierniczego, 1998 r. ], [ Landesdirektion Leipzig, Abt. Umwelt, Stora Enso Sachsen: Stałe monitorowanie emisji. Sprawozdanie roczne z 2008 r. ] w BATIS einfügen;

Przykład 4: Energetyczna utylizacja odrzutów i osadów ze ścieków z instalacji do spalania odrzutów (dla mniejszych zakładów i mniejszych ilości odrzutów) w małej papierni przerabiającej makulaturę

### Opis

Instalacja do spalania składa się z następujących podsystemów: przechowywania paliwa, oddzielnie dla odrzutów, drewna i osadów ze ścieków; przygotowania paliwa (rozdrabniacz), po którym następuje sortowanie; silosów do przechowywania przygotowanego paliwa; dozowania i wprowadzania paliwa; spalarni z układem odpielania; generatora pary z odzyskiem ciepła; oczyszczalni gazów odlotowych oraz układu monitorowania spalin. Na ryc. 6.49 przedstawiono główne bloki instalacji do spalania odrzutów.



Rysunek 6. 49 Schemat instalacji z układem odzysku energii elektrycznej z odrzutów

Small storage	Magazynowanie drobnych odpadów
Biological sludge	Osady biologiczne
Pump	Pompa
Wood	Drewno
Bunker for biological sludge	Zasobnik na osady biologiczne
Reject	Odrzuty
Magnetic separator	Separator magnetyczny
Shredder	Rozdrabniacz
Metal	Metal
Screening machine	Sortownik
Silo wood	Silos na drewno
Bunker for wood	Zasobnik na drewno
Silo reject	Silos na odrzuty
Bunker for rejects	Zasobnik na odrzuty
Ash	Popiół
Silo ash	Silos na popiół
Gas burner	Palnik gazowy



Spinning wheel injection	Wtrysk wirowy
Incineration unit	Spalarnia
Steam boiler	Kocioł parowy
Eco	Oscylator o sprzężeniu elektronowym
Saturated steam	Para nasycona
Existing gas boiler	Istniejący kocioł gazowy
Stack	Komin
Flue-gas fan	Wentylator do gazów odlotowych
Bag house filter	Filtr workowy
Filter ash	Popiół z filtra
Silo NaHCO <sub>3</sub>	Silos na NaHCO <sub>3</sub>
Mill	Zakład
Adsorbent reactor	Reaktor z adsorbentem
Cyclone	Cyklon
Zeolite	Zeolit
Backup NaHCO <sub>3</sub>	Rezerwa NaHCO <sub>3</sub>

W instalacji do spalania równocześnie mogą być stosowane trzy rodzaje paliw w różnych proporcjach: odrzuty z makulatury, drewno i osady ze ścieków. W tab. 6.34 przedstawiono typowy skład tych paliw i mieszankę paliw, która jest faktycznie spalana.

Tabela 6. 34 Skład paliwa mokrego

Cechy charakterystyczne paliwa	Jednostka	Paliwo			
		Odrzuty	Drewno	Ścieki	Mieszanka
<b>Proporcje paliw</b>	-	7,50	5,00	2,50	15
<b>Skład</b>					
C	% masy	21,19	48,36	6,43	27,78
H	% masy	2,98	4,09	0,98	3,02
O	% masy	15,80	29,51	3,44	18,31
N <sub>2</sub> +Ar	% masy	0,05	0,12	0,80	0,20
S	% masy	0,02	0,00	0,06	0,02
Popiół	% masy	5,07	2,92	3,29	4,05
H <sub>2</sub> O	% masy	54,90	15,00	85,00	46,62
Cl	% masy	0,26	0,00	0,01	0,13
Ogółem (bez Cl)	% masy	100,00	100,00	100,00	100,00
Niższa wartość opałowa	kJ/kg	5 898	15 700	340	8 239
Zawartość masy suchej	%	45	85	15	53
Źródło: Dane z przykładowego zakładu [ 231, Schwarz, 2009 r. ].					

Układ wirowego wtrysku paliwa służy do doprowadzenia paliwa do spalarni. Dlatego też konieczne jest rozdrobnienie paliwa stałego z zastosowaniem rozdrabniacza. Drewno i odrzuty są kolejno cięte, sortowane, a następnie przechowywane w oddzielnych silosach na paliwo. Ponadto separatory metalu są zainstalowane przed rozdrabniaczem i po nim. W wyniku procesu cięcia paliwa ulegają zmieszaniu na jednorodną masę. Każdy rodzaj elementu paliwowego jest przechowywany oddzielnie; możliwe jest zatem dokonanie wstępnego wyboru proporcji paliw, w zależności od dostępności danego paliwa. Osady ze ścieków są pompowane za pomocą pompy do osadów do spalarni bez oczyszczania wstępnego. Moc wyjściowa jest regulowana bezpośrednio ilością wtryskiwanego paliwa, co poprawia elastyczność pracy spalarni. Ponieważ dystrybucja paliwa odbywa się za pośrednictwem wirnika, nie jest konieczne dalsze stosowanie strefy podgrzewania, typowej dla paleniska rusztowego. Proces spalania zachodzi na całej powierzchni złoża jarzeniowego. Strefa wypalania znajduje się po strefie

spalania, w której gazy odlotowe pozostają przez dwie sekundy w temperaturze powyżej 850 °C. Na tym etapie do strefy końcowej spalarni wtryskuje się mieszaninę mocznika i wody, aby zmniejszyć emisję NO<sub>x</sub>. W stojącym kotle wodnorurowym w wyniku spalania powstaje para. W pierwszych dwóch kanałach w strefie promieniowania gazy odlotowe są schładzane do 600 °C, po czym trafiają do powierzchni stykowych (parownika i ekonomizera). Powierzchnie grzewcze mogą być czyszczone w trybie „on-line” przez parowe zdmuchiwalce sadzy. Para pod wysokim ciśnieniem (83 barów(g)) uzyskana ze spalarni odpadów miesza się z parą nasyconą z istniejącego kotła gazowego, tuż po walcu parowym istniejącego kotła gazowego. Mieszaninę doprowadza się następnie do wymaganej temperatury w istniejącym przegrzewaczu kotła gazowego.

Do oczyszczania gazów odlotowych wybrano układ pracujący na sucho. Do gazów odlotowych dodaje się NaHCO<sub>3</sub> oraz mieszaninę węgla koksującego i zeolitu, aby doprowadzić do adsorpcji kwasowych składników gazu, dioksyn i furanów, jeśli wystąpią. Adsorbenty razem z pozostałymi cząsteczkami popiołu usuwa się z gazów odlotowych z zastosowaniem filtra workowego. Środki redukcji NO<sub>x</sub> są realizowane poprzez zawracanie gazów odlotowych i wtryskiwanie mieszaniny mocznika i wody do strefy wypalania.

### Główne korzyści środowiskowe

Stosując instalację do spalania można częściowo zastąpić paliwa kopalne wykorzystywane do wytwarzania energii elektrycznej (w dalszym ciągu konieczne jest stosowanie do rozruchu paliwa pomocniczego). Spalanie odrzutów jest skuteczną metodą na zminimalizowanie ilości odpadów i odzyskiwanie wartości opałowej frakcji organicznych. Odpady nie muszą być transportowane, ponieważ odrzuty są oczyszczane na miejscu. Rzeczywiście osiągnięte poziomy emisji gazów odlotowych są znacznie niższe od wymaganych wartości granicznych (por. tab. 6.35).

### Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

W tab. 6.35 przedstawiono osiągnięte poziomy emisji z instalacji do spalania.

Tabela 6. 35 Dane dotyczące emisji z przykładowego zakładu Mayr-Melnhof w Hirschwang w Austrii

Parametr	Jednostka	Średnie dzienne wartości w 2006 r. (przedział w %) <sup>(1)</sup>	Średnie roczne wartości w 2008 r.	Pomiar	Średnie dzienne wartości graniczne <sup>(2)</sup>
Pył	mg/Nm <sup>3</sup>	0,2 (± 50 %)	0,1	Stały	10
SO <sub>2</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	2,7 (± 50 %)	3,9	Stały	50
NO <sub>x</sub>	mg/Nm <sup>3</sup>	170,0 (± 15 %)	171,3	Stały	200
CO	mg/Nm <sup>3</sup>	4,6 (± 65 %)	2,3	Stały	50
TOC	mg/Nm <sup>3</sup>	0,8 (± 55 %)	1,8	Stały	10
HCl	mg/Nm <sup>3</sup>	4,9 (± 40 %)	5,3	Stały	10
Dioksyny i furany	ng/Nm <sup>3</sup>	-	0,0054 <sup>(3)</sup>	Co 6 miesięcy	0,1 <sup>(3)</sup>
Hg	mg/Nm <sup>3</sup>	-	0,0085	Co 6 miesięcy	0,05
Cd i Ti	mg/Nm <sup>3</sup>	-	0,002 <sup>(4)</sup>	Co 6 miesięcy	0,05 <sup>(4)</sup>

<sup>(1)</sup> Dane ze sprawozdań z pomiarów (wartości typowe z 2006 r.).  
<sup>(2)</sup> Zgodnie z XVII Rozporządzeniem w sprawie wdrożenia Federalnej ustawy o ochronie przed emisjami (Rozporządzenie w sprawie spalarni odpadów i podobnych materiałów palnych). Wartości odnoszą się do standardowej temperatury i ciśnienia (0 °C, 1 bar, suche) oraz do zawartości tlenu na poziomie 11 % objętości.  
<sup>(3)</sup> Średnia wartość w 6 – 8-godzinny okres pomiarowy.  
<sup>(4)</sup> Średnia wartość w 0,5 – 8-godzinny okres pomiarowy.  
 Źródło: [ 231, Schwarz, 2009 r. ]

W zakładzie można prowadzić przerób paliw o różnym składzie, o różnej zawartości wody i automatycznie śledzić te zmienne warunki. Co do transportu i składowania materiałów, mokre odrzuty wykazują tendencję do twardnienia, przez co konieczne jest wzmocnienie układu odprowadzania z silosa. Ponadto konieczna jest optymalizacja układu przenośnika popiołu; pionowy ślimak przenośnika

zastąpiono przenośnikiem kubełkowym. W ciągu kilkukrotnego ręcznego czyszczenia kotła, które przeprowadza się dwa razy w roku, nie zaobserwowano żadnych oznak korozji, co dowodzi właściwego wykorzystania materiałów i właściwego przewidywania profili temperatury w kotle.

### **Oddziaływanie na procesy i środowisko**

Popiół ze spalarni, z kotła odzysku ciepła, a także z cyklonu jest zbierany, a następnie doprowadzany do silosu na popiół (1,6 – 2,1 t/dobę, głównie popiół rusztowy). Popiół z filtra workowego składa się z dodatków po przereagowaniu i pyłu (ok. 0,3 t/dobę dodatków po przereagowaniu i 0,06 t/dobę pyłu). Popiół z filtra umieszcza się w dużych workach. Wymaga on dalszego oczyszczania, aby mógł być składowany na wysypisku. W Austrii jest on mieszany z wodą i cementem, aby stwardniał. Pozwala to na uniknięcie wycieków na wysypisku.

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Koncepcję tę można również stosować w mniejszych zakładach, począwszy od mocy cieplnej na poziomie 5 MWt. Układ z wtryskiem wirowym może być stosowany do różnych rodzajów paliw. W tym przypadku możliwe jest jednoczesne wykorzystywanie trzech różnych paliw. Ich proporcje mogą być różne. W układzie dozowania paliwa należy stosować elementy paliwowe o maksymalnej wielkości 11 cm, będącej sumą długości, szerokości i wysokości, natomiast maksymalna długość jednego boku nie powinna przekraczać 5 cm. Paliwo nie może być lepkie, a zawartość wody powinna wynosić poniżej 50 %. Moc cieplna spalarni wynosi 5 – 30 MWt.

### **Aspekty ekonomiczne**

Od przykładowego zakładu spalającego ok. 15 000 ton paliwa mieszanego rocznie (zawartość masy suchej na poziomie 53 %) wymaga się nakładów inwestycyjnych wynoszących ok. 5 – 6 mln euro, zaś koszty operacyjne wynoszą ok. 0,5 – 0,6 mln euro/rok. Można spodziewać się osiągnięcia oszczędności w wysokości ok. 1,3 mln euro (w zależności od kosztów składowania i kosztów paliw kopalnych). Moc cieplna wynosi 4,8 MWt.

### **Motywacja do wdrożenia**

Zakład produkuje tekturę z makulatury, dlatego też konieczne było rozwiązanie problemu z odrzutami z przerobu makulatury (odrzuty i osady ze ścieków z oczyszczalni biologicznej). Do końca 2003 r. odrzuty składowano na zakładowym wysypisku, zaś osady ze ścieków odprowadzono do kompostowni. W związku z wejściem w życie na początku 2004 r. w Austrii nowego rozporządzenia w sprawie wysypisk, którego przepisy zabraniają składowania odpadów o zawartości węgla powyżej 5 %, zbadano inną możliwość składowania odpadów. Rozwiązaniem okazała się instalacja do spalania odpadów.

### **Instalacje referencyjne**

Wytwórnia kartonu Mayr-Melnhof w Hirschwang (Austria); elektrociepłownia opalana odpadami w Böblingen (Niemcy).

### **Bibliografia**

[ 231, Schwarz, 2009 r. ], [ 232, Symposium w Słowenii, 2007 r. ], [ 234, Schwarz, 2007 r. ], [ 235, Schwarz, 2007 r. ].

## **6.4 Nowe techniki**

Nie zgłoszono żadnych nowych technik.

## 7 PAPIERNICTWO I PROCESY POKREWNE

W rozdziale tym opisano produkcję głównych rodzajów papieru i tektury, które są obecnie wytwarzane w papierniach europejskich.

W odniesieniu do papierni zintegrowanych należy również zapoznać się z informacjami dotyczącymi odpowiednich procesów roztwarzania lub przetwarzania makulatury (rozdziały 3-6 niniejszego dokumentu). Rozdział 2 dotyczący ogólnych procesów i technik odnosi się również do rozdziałów dotyczących określonych procesów.

Do produkcji różnych rodzajów papieru jako główne surowce stosuje się zarówno włókna pierwotne (masy celulozowe lub mechaniczne), jak i włókna wtórne. W Europie istnieje także wiele zakładów wytwarzających papiery z mieszanek mas włóknistych. W chwili opracowywania niniejszego dokumentu (2013 r.) na skład surowca do wyrobu papieru wpływa bardziej niż kiedykolwiek wcześniej koszt poszczególnych składników. Zestaw surowców użytych do wyrobu papieru (np. masa włóknista, mineralne wypełniacze, powłoka) ma największy wpływ na całkowite koszty produkcji, jakość produktu i oddziaływanie procesu produkcyjnego na środowisko naturalne. Wytwarzanie włókien stosowanych do wyrobu papieru zostało opisane w rozdziałach 3-6. W tym rozdziale wytwarzanie papieru i tektury opisano niezależnie od wytwarzania masy włóknistej. Takie podejście uznano za rozsądne, ponieważ w każdej papierni celowe jest użycie tych samych procesów jednostkowych w ciągu maszyny papierniczej i tekturkowej. Opisanie wyrobu papieru jako części zakładu zintegrowanego z wytwórniami mas włóknistych zwiększyłoby złożoność opisu technicznego. Wreszcie, według danych liczbowych, większość papierni w Europie to zakłady niezintegrowane.

Chociaż istnieje duże zróżnicowanie wyrobów papierowych i różne rozmieszczenie urządzeń służących do prowadzenia poszczególnych procesów w papierniach, prawie wszystkie odmiany procesów wytwarzania papieru i tektury zawierają następujące jednostki podstawowe:

- Przygotowanie masy;
- Układ doprowadzenia masy do zlewu;
- Maszyny papiernicza i tekturkowa składające się z:
  - Wlewu, który doprowadza zawieszinę włókien na sito oraz tworzy jednorodną dyspersję włókien na całej szerokości sita,
  - Części sitowej, która odwadnia wstęgę papieru do zawartości około 12 – 20% substancji stałej,
  - Części prasowej, która usuwa więcej wody przez odprasowanie do zawartości wilgoci około 50%,
  - Części suszącej, która usuwa resztki wilgoci przez ogrzewanie wstęgi za pomocą cylindrów suszących,
  - Nawijaka, który nawija wstęgę w postaci zwoju;
- Urządzenia linii produkcyjnej (np. kalander, klejarka, powlekarka);
- W zależności od rodzaju papieru i tektury występują (fakultatywnie) dodatkowe jednostki procesowe, takie jak kalandry, klejarka, powlekarki, oddział przygotowania mieszanki powlekającej, przewijarko-krajarki, przekrawacz i oddział pakowania zwojów.

W poniższym podrozdziale opisano podstawowe jednostki wyrobu papieru. W opisach tych omówiono główne dodatki i chemikalia stosowane w papiernictwie. Ponieważ papiernictwo jest sektorem, który potrzebuje znacznych ilości wody, dodano akapit dotyczący obiegów wody. Omówiono również powlekanie i ważne procesy wykończeniowe.

## 7.1 Stosowane procesy i techniki

### 7.1.1 Przygotowanie masy

Przygotowanie masy jest to proces, w którym surowiec przetwarza się, tak żeby miał odpowiednią formę (masa papiernicza) do produkcji papieru. Masę papierniczą przygotowuje się przez łączenie różnych mas włóknistych, rozcieńczanie i dodawanie chemikaliów. Wykorzystywane surowce to różne rodzaje masy celulozowej, mechanicznej i makulatura oraz ich mieszaniny. Jakość masy papierniczej zasadniczo decyduje o własnościach wytworzonego papieru. Surowiec jest dostępny w postaci bel, luźnego materiału lub w przypadku zintegrowanego zakładu w postaci zawiesiny.

Przygotowanie masy składa się z kilku etapów procesowych, które są wzajemnie dostosowane, takich jakich rozwłóknianie, oczyszczanie, obróbka włókna, magazynowanie i mieszanie. Układy te różnią się znacznie w zależności od wykorzystywanego surowca i wymaganej jakości masy papierniczej. Np. w przypadku zawiesiny włókien przepompowywanej bezpośrednio z wytwórni masy włóknistej pomija się etapy rozczyniania masy oraz rozbijania pęczków włókien.

W czasie przygotowania masy usuwa się zanieczyszczenia i powietrze oraz doprowadza się do odpowiedniego poziomu własności wytrzymałościowe (rafinowanie). Do procesu dodaje się chemikalia wpływające na końcową jakość arkuszy papieru (żywice, środki wodno-utrwalające, barwniki, wypełniacze). Do zakładów niezintegrowanych włókna zwykle dostarcza się z zawartością wilgoci około 10%. Rozprowadza się je w wodzie w rozczylniaczu wirowym w celu utworzenia zawiesiny, którą można przepompować. Nierozpuszczone zanieczyszczenia usuwa się z powstałej zawiesiny przez sortowanie (w sortownikach) i oczyszczanie w wirówkach filtracyjnych (hydrocyklonach). Celem sortowania jest usunięcie z włókien niepożądanych substancji. Dopuszczalną zawiesinę włóknistą przepuszcza się przez sito z otworami w postaci szczelin lub okrągłych otworów, a zanieczyszczenia są oddzielane i odrzucane przez sito. Ponadto, zawiesinę włóknistą oczyszcza się w wirówkach filtracyjnych (hydrocyklonach). Odróżnia się wirówki filtracyjne do oddzielania ciężkich i lekkich cząstek zanieczyszczeń, w zależności od celu separacji. W większości przypadków wirówki stanowią układy wielostopniowe (do pięciu stopni).

Żeby poprawić zdolność wiążącą pojedynczych włókien w celu wzmocnienia papieru, na ogół dokonuje się rafinowania. Rafinowanie przeprowadza się również w celu przygotowania włókien do zapewnienia wymaganych właściwości wyrobu końcowego. Rafinowanie prowadzi się w rafinerach, np. wyposażonych w tarcze obrotowe (lub tarcze obrotowe połączone z tarczami nieruchomymi), między którymi przetwarzana jest masa. Przestrzeń między tarczami można regulować, w zależności od pożądanego stopnia rafinowania oraz w celu kontrolowania właściwości włókien. Zużycie energii elektrycznej podczas rafinowania w ramach procesu wyrobu papieru na ogół mieści się w przedziale od 10 kWh/t do 500 kWh/t dla większości papierów, ale może dochodzić do 3000 kWh/t w przypadku papierów specjalnych. W efekcie, w papierni niezintegrowanej stosującej masę celulozową rafinowanie będzie powodować największe zużycie energii elektrycznej (natomiast suszenie powoduje największe zużycie ciepła). Praktycznie cała energia wprowadzana do rafinowania zamienia się w ciepło (podgrzewając wodę technologiczną) i w tym przypadku nie ma możliwości odzyskiwania energii, chociaż wytworzone ciepło przyczynia się do podniesienia temperatury, zgodnie z wymaganiami procesu.

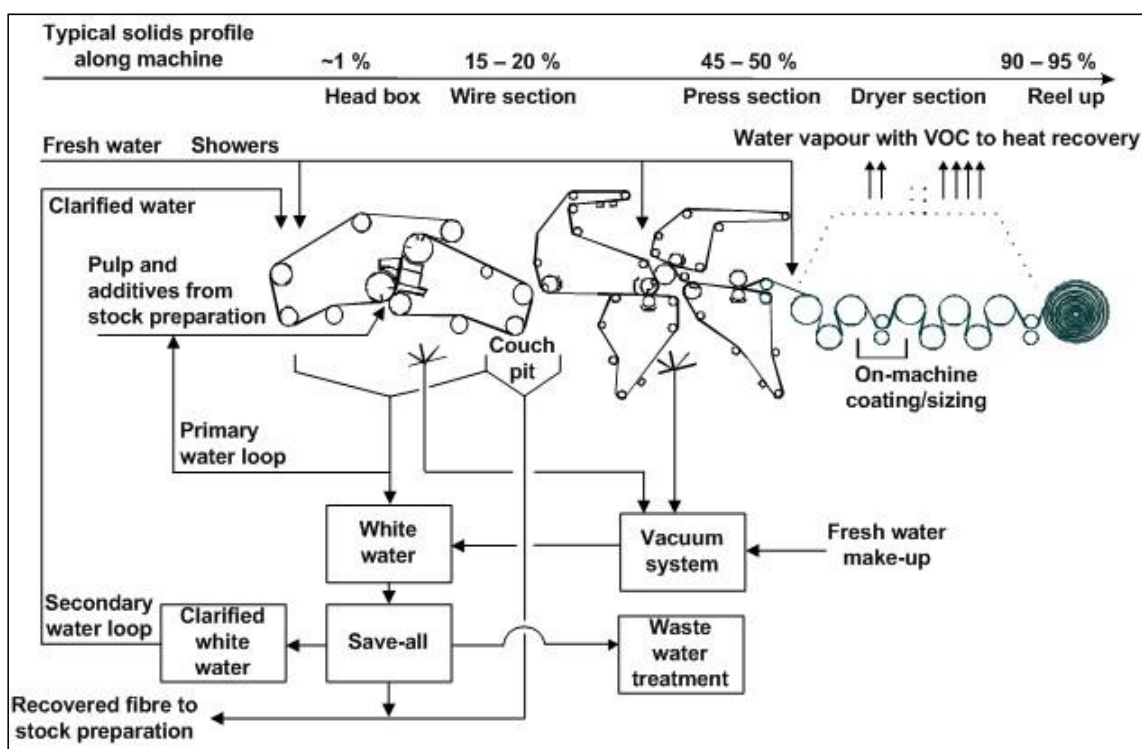
Cały proces przygotowania masy dla maszyny papierniczej na ogół wykonywany jest na kilku liniach technologicznych, na których przygotowywane są różne masy włókniste. Częścią tego procesu jest również przetwarzanie braku własnego z maszyny papierniczej (zob. punkt 7.1.4). Wreszcie, zawiesinę masy przepompowuje się do kadzi magazynowych lub kadzi mieszalnych. Kadzie te służą jako bufor między procesem przygotowania masy i daną maszyną papierniczą, zapewniając ciągłość procesu. W kadziach mieszalnych przygotowane masy mieszają się w proporcjach odpowiadających produkcji danego rodzaju papieru, dodaje się wymagane dodatki i

ustala się stężenie włókien na wymaganym poziomie. Kadzie magazynowe lub kadzie mieszalne można zastąpić zaawansowanym układem regulacji wież magazynowych lub mieszaniem na bieżąco.

## 7.1.2 Maszyna papiernicza

W maszynie papierniczej formuje się papier i ustala się większość jego właściwości. Maszyna papiernicza jest to w istocie duże urządzenie odwadniające, składające się z wlewu, części sitowej, sieci prasowej i sieci suszącej. Dotychczas najczęstszym rodzajem maszyny pozostaje maszyna płaskositowa, formująca wstęgę na ciągłym poziomym sicie z drutu lub tworzyw sztucznych, na które podaje się zawieszinę włókien z wlewu. Ponadto, do formowania wstęgi stosuje się dwusitowe urządzenia formujące. W dwusitowych urządzeniach formujących zawieszinę włókiem podaje się między dwa sita przemieszczające się z tą samą prędkością, w których wodę usuwa się w dwóch kierunkach. Istnieją różne typy dwusitowych formerów (np. szczelinowe). W formerach szczelinowych rozcieńczoną masę wtryskuje się bezpośrednio w szczelinę między dwoma sitami. Trzecim, alternatywnym rozwiązaniem jest połączenie maszyny płaskositowej z górnym sitem. Formery te określa się jako hybrydowe.

Na rys. 7.1. pokazano kluczowe elementy dwusitowej maszyny papierniczej.



Rysunek 7. 1 Kluczowe elementy dwusitowej maszyny papierniczej

Typical solids profile along machine	Typowy profil zawartości substancji stałej w ciągu maszyny
Head box	Wlew
Wire section	Część sitowa
Press section	Część prasowa
Dryer section	Część susząca
Reel up	Nawijak
Fresh water	Woda świeża



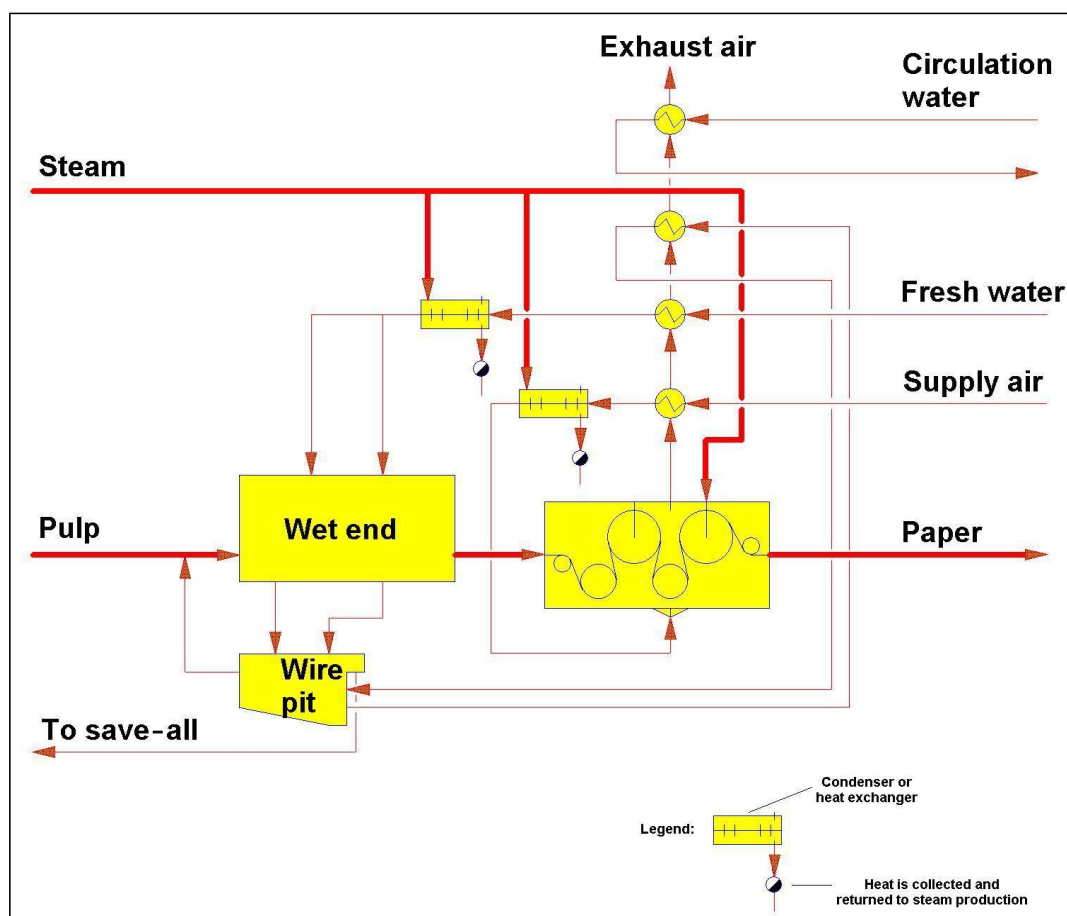
Showers	Natryski
Water vapour with VOC to heat recovery	Para wodna z LZO do odzyskiwania ciepła
Clarified water	Woda sklarowana
Pulp and additives from stock preparation	Zawiesina włókien z dodatkami, z przygotowania masy
Couch pit	Kadź braku z wyzymaka
Primary water loop	Obieg I wody
On-machine coating/sizing	Powlekanie/zaklejanie w maszynie
White water	Woda podsitowa
Vacuum system	Układ próżniowy
Fresh water make-up	Dodatek wody świeżej
Secondary water loop	Obieg II wody
Clarified white water	Podsitowa woda sklarowana
Save-all	Wyłaviacz włókien
Waste water treatment	Oczyszczalnia ścieków
Recovered fibre to stock preparation	Oddzielone włókna do przygotowania masy

Papier wytwarza się podając rozcieńczoną zawiesinę włókien, wypełniaczy (fakultatywnie), barwników i innych chemikaliów na gęste sito, przez które odpływa woda, pozostawiając na sicie wstęgę z włókien, frakcji drobnej i wypełniaczy. Zawiesina włóknista, która w części mokrej maszyny papierniczej ma na ogół stężenie od 0,2 % i 1,5 %, jest przepompowywana do części sitowej poprzez wlew. Zadaniem wlewu jest wytworzenie jednorodnej zawiesiny włókien na całej szerokości sita papierniczego w celu zapewnienia jednorodnego formowania papieru i rozkładu gramatury. Odpływ wody przez sito wspomagają tzw. elementy odwadniające. Są to np. wałki rejestrowe, listwy odwadniające i skrzynki ssące pod sitem. Na ogół, po 10 m formuje się wstęga papieru. W formerze dwusitowym powstaje dodatkowe ciśnienie odwadniania na skutek naciągu sit z tworzyw sztucznych na zakrzywionej powierzchni skrobaków lub wałów. Kiedy wstęga papieru odwodzi się do około 10 – 20 % substancji stałej na drucie, wstęga jest samonośna i może być przeniesiona z sita do dalszej części: prasowej i suszącej. Znacznie się różnią prędkości maszyn, a we najszybszych maszynach, na ogół wytwarzających papier gazetowy, wstęga przesuwa się z prędkością do 2000 m/min przy szerokości wstęgi 11 m. Maszyny wytwarzające bibułki tissue, mimo że mają mniejszą szerokość, obecnie działają z prędkością przekraczającą 2500 m/min. Niektóre maszyny posiadają kilka części formujących do wyrobu wielowarstwowych papierów i tektur.

Oparta na filcach wstęga papieru przechodzi do części prasowej między wałami i przez układy próżniowe w celu dalszego usunięcia wody (żeby ostatecznie osiągnąć zawartość wilgoci około 50%) a następnie przez część suszącą. Suszenie na ogół przeprowadza się za pomocą ogrzewanych parą cylindrów osłoniętych okapturzeniem. W części suszącej wstęgę suszy się, żeby uzyskać końcową suchość 90 – 95%. Praktycznie całe ciepło wykorzystane do suszenia trafia do okapturzenia jako powietrze odprowadzane. Temperatura powietrza odprowadzanego na ogół wynosi 80 – 85°C, a zawartość wilgoci 140 – 160 g H<sub>2</sub>O/kg suchego

powietrza. Część wilgoci (około 1 – 1.5 m<sup>3</sup>/t papieru) jest odprowadzana do atmosfery. Ze względów ekonomicznych we wszystkich papierniach instaluje się układy odzyskiwania ciepła. Na rys. 7.2 pokazano schemat przykładowej części suszącej maszyny papierniczej z układem odzyskiwania ciepła.

W pierwszym wymienniku ciepła układu odzyskiwania ciepła odzyskiwane ciepło ogrzewa powietrze wprowadzane do części suszącej. Następny wymiennik ciepła służy do ogrzewania wprowadzanej wody świeżej. W niektórych przypadkach odzyskiwane ciepło służy do podgrzania wody podsitowej, żeby wyrównać straty ciepła w części mokrej. Ostatni wymiennik ciepła służy do wody obiegowej. Woda ta służy do podgrzania wprowadzanego powietrza do wentylacji. Wprowadzane powietrze i woda do natrysków są podgrzewane za pomocą pary do wymaganej temperatury (odpowiednio 90 – 95°C i 45 – 60°C).



Rysunek 7. 2 Układ odzyskiwania ciepła maszyny papierniczej

Exhaust air	Powietrze odprowadzane
Circulation water	Woda obiegowa
Steam	Para
Fresh water	Woda świeża
Supply air	Powietrze wprowadzane
Paper	Papier
Pulp	Masa

Wet end	Część mokra
Wire pit	Zbiornik wody podsitowej
To save-all	Do wyławiacza włókien
Legend:	Objaśnienia:
Condenser or heat Exchange	Kondensator pary lub wymiennik ciepła
Heat is collected and returned to steam production	Ciepło gromadzi się i zawraca do produkcji

W tabeli 7.1 przedstawiono przykłady przepływu ciepła w typowej dużej i nowoczesnej maszynie papierniczej. Zdolność produkcyjna maszyny wynosi 240 120 t/rok (667 t/dobę). Suchość wstęgi wchodzącej do części suszącej wynosi 44,5% , a wychodzącej 91%. Temperatura powietrza odprowadzanego wynosi 82°C, a zawartość wilgoci 160 g H<sub>2</sub>O/kg suchego powietrza. Dane odnoszą się do warunków zimowych w Skandynawii. W krajach o cieplejszym klimacie nie trzeba podgrzewać wody obiegowej wykorzystywanej do ogrzewania hali maszyny. Zmniejsza się lub znika odzyskiwanie ciepła do wody obiegowej, natomiast odpowiednio rośnie ciepło w powietrzu uwalnianym do atmosfery.

Tabela 7. 1 Przykład odzyskiwania ciepła i strat ciepła w maszynie papierniczej o produkcji 667 ton/dobę.

Miejsca odzyskiwania ciepła	Wielkość przepływu ciepła z części suszającej [MW] lub [MJ/t]	Rozdział ciepła (%)
Powietrze wprowadzane	1,8 MWt lub 233 MJ/t	6
Woda podsitowa	3,6 MWt lub 466 MJ/t	11
Woda świeża	5,5 MWt lub 712 MJ/t	19
Woda obiegowa	8,0 MWt lub 1036 MJ/t	27
Wydmuch do atmosfery	10,8 MWt lub 1399 MJ/t	37
Ciepło całkowite (w powietrzu odlotowym z okapturzenia)	29,7 MWt lub 3847 MJ/t	100
<i>Źródło: Valmet, 1998.</i>		

Pewnym alternatywnym rozwiązaniem w zakresie suszenia papieru w produkcji cienkiego papieru maszynowo gładkiego lub konwencjonalnej bibułki tissue jest zastosowanie w maszynie papierniczej ogrzewanego parą cylindra o dużej średnicy, tzw. cylindra Yankee. Suszenie wstęgi papieru odbywa się w czasie jednego obrotu cylindra.

W prostej maszynie papierniczej papier może być następnie nawijany na nawijaku i przekazany do cięcia i wykończenia. W bardziej skomplikowanych przypadkach w maszynie wprowadza się inne, różnorodne etapy, np. prasa z filmem klejowym, w której skrobie i inne chemikalia nakładają się na powierzchnię papieru poprzez zanurzenie lub natryskiwanie, a pozostała woda jest usuwana w krótkiej części dosuszającej.

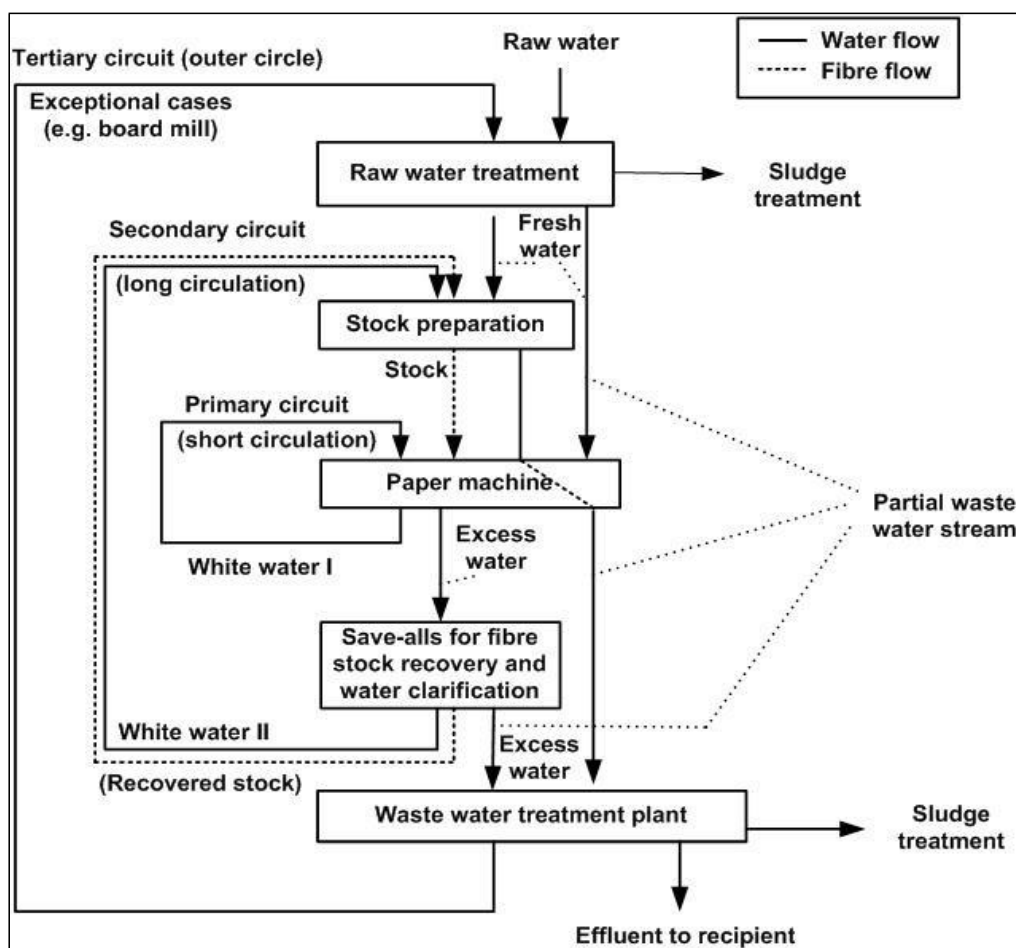
W większości przypadków brzegi wstęgi ciągle obcina się za pomocą dysz wodnych, a kiedy wstęga opuszcza sito, ścinki te trafiają do kadzi braku własnego pod wyżymakiem. Jeśli tylko wstęga się zerwie (co może zdarzyć się kilka razy w ciągu doby), powstają znaczne straty papieru. Podobne straty występują w czasie rutynowego rozruchu maszyny. Cały ten papier, określany jako „brak własny”, rozczynia się i zwraca do kadzi masowej w dziale przygotowania masy. Suchy brak własny można rozczyniać natychmiast lub jest on przechowywany i wprowadzany później do systemu. Brak własny barwny lub powlekany jest zwracany do obiegu, jeśli jest to możliwe, ale niekiedy wymaga wcześniejszego bielenia lub innej obróbki chemicznej (zob. punkt 7.1.4).

Istnieje ciągła potrzeba zapobiegania osadzaniu się cząstek stałych na szybko przemieszczających się sitach, filcach lub wałkach, ponieważ mogłoby to szybko doprowadzić do zrywów wstęgi. Stosowane w tym celu natryski lub dysze rozpylające stanowią główne urządzenia zużywające wodę świeżą i/lub wodę oczyszczoną w systemie. Układy próżniowe mogą również zużywać znaczne ilości wody świeżej. Natomiast dostępne są również bezwodne układy próżniowe (zob. podpunkt 2.9.6.2.1).

Ważna jest retencja substancji stałych (włókien, frakcji drobnej i wypełniaczy) i substancji rozpuszczalnych (dodanych chemikaliów, substancji organicznych z masy włóknistej itd.) we wstędze papieru, zamiast ich przejścia przez sito i pozostawienia ich w obiegu wodnym. Wpływa to na prawdopodobne miejsce przeznaczenia każdej substancji – która trafia do produktu lub wody odciekowej. Żeby ustabilizować retencję, często monitoruje się stężenie na linii produkcyjnej. Retencję substancji stałych na sicie można zwiększyć dodając pomocnicze środki retencyjne (chemikalia poprawiające retencję), co stanowi normalną praktykę w przypadku większości rodzajów papieru. Jednakże, w przypadku niektórych rodzajów papieru jest to ograniczone ze względu na jakość produktu.

### 7.1.3 Obiegi wodne i odzyskiwanie włókien

System wodny w pielni może składać się z trzech obiegów: pierwszego, drugiego oraz w niektórych przypadkach trzeciego (np. pielni produkujących papier opakowaniowy z włókien wtórnych - RCF). Obiegi wodne w pielni przedstawiono na rys. 7.3.



Rysunek 7.3 Uproszczony schemat strumieni wody i masy w papierni.

Tertiary circuit (outer circle)	Trzeci obieg wodny (zewnętrzny)
Raw water	Woda surowa
Water flow	Przepływ wody
Fibre flow	Przepływ włókien
Exceptional cases (e.g. board mill)	Wyjątkowe przypadki (np. papiernia produkująca tekturę)
Raw water treatment	Oczyszczanie wody surowej
Sludge treatment	Przerób osadu
Secondary circuit (long circulation)	Drugi obieg wodny (obieg długi)
Fresh water	Woda świeża
Stock preparation	Przygotowanie masy
Stock	Masa
Primary circuit (short circulation)	Pierwszy obieg wodny (obieg krótki)
Paper machine	Maszyna papiernicza
Partial waste water stream	Cząstkowe strumienie wody

	<b>odciekowej</b>
Excess water	<b>Nadmiar wody</b>
White water I	<b>Woda podsitowa I</b>
Save-alls for fibre stock recovery and water clarification	<b>Wyławiacze włókien do odzyskiwania masy i klarowania wody</b>
White water II	<b>Woda podsitowa II</b>
Excess water	<b>Nadmiar wody</b>
(Recovered stock)	<b>(odzyskana masa)</b>
Waste water treatment plant	<b>Oczyszczalnia ścieków</b>
Sludge treatment	<b>Przerób osadu</b>
Effluent to recipient	<b>Ścieki do odbiornika</b>

W pierwszym obiegu (obiegu krótkim) woda o dużej zawartości włókien, frakcji drobnej i wypełniaczy otrzymywana w strefie formowania wstęgi części sitowej (woda podsitowa I) jest zawracana do rozcieńczania masy w układzie doprowadzania masy do wlewu. Pierwszy obieg powinien być jak najbardziej zamknięty.

Nadmiar wody ze strefy formowania wstęgi, woda ze skrzynek ssących i pras oraz woda przemijająca nazywa się wodą podsitową II i krąży ona w drugim obiegu (obieg długi). Woda podsitowa na ogół przechodzi przez wyławiacz włókien, którym może być instalacja do sedymentacji, do flotacji, lub też jednostka filtrująca (filtr bębnowy lub tarczowy). Wodę tę nazywa się wodą sklarowaną.

Filtr tarczowy z masą niemieloną/stanowiącą warstwę podkładową wytwarza masę o najwyższym stężeniu (10 – 30 %). Ma on zapewniać trzy (lub cztery) poziomy wydzielenia włókien z wody podsitowej. Pierwszy odciąg stanowi woda mętna, a kolejne odciągi stanowi filtrat klarowny i superklarowny. Mętny filtrat na ogół zawraca się z powrotem do filtra jako wodę rozcieńczającą, ale może również zastąpić wodę świeżą w procesie lub być wykorzystany do rozcieńczania masy. Im więcej mętnego filtratu jest zawracane do filtra tarczowego, tym czystszy jest filtrat końcowy. Stężenie zawiesiny cząstek stałych w czystym filtracie (frakcji drobnej i wypełniaczy) wynosi na ogół 10 – 150 mg/l w przypadku masy pierwotnej lub 100 – 400 mg/l w przypadku masy wtórnej.

Instalacje flotacyjne są również wykorzystywane jako wyławiacze włókien. W warunkach operacyjnych efektywność flotacji w zakresie usuwania cząstek stałych sięga 90%, zapewniając stężenie cząstek stałych 10 – 50 mg/l (w przypadku masy pierwotnej). Stężenie osadu usuniętego na skutek flotacji wynosi od 3% do 10%. Instalacja flotacyjna składa się z klarownika z usuwaniem osadu, urządzenia napowietrzającego cząstkowy strumień wody sklarowanej oraz urządzenia dozującego chemikalia do flotacji. Zaletą flotacji jest to, że można również usunąć małe cząstki koloidalne (jeśli zostały odpowiednio sflokulowane przed flotacją). Jest to ogromnie korzystne dla instalacji recyklingu papieru (zob. odbarwianie w podpunkcie 6.3.11, w przypadku którego duża część substancji stałych ma charakter koloidalny; w instalacji odbarwiającej osad usunięty na skutek flotacji nie jest zawracany z powrotem do procesu, ale przepompowywany do układu odwadniania osadu).

Instalacje sedymentacyjne są przydatne dla klarowania wody produkcyjnej zawierającej wypełniacze, ale są obszerne i z tego względu potrzebują wiele miejsca.

Strumień masy odzyskany w wyławiaczach włókien zawraca się do kadzi masowej, natomiast wodę

sklarowaną o różnej jakości zwraca się do różnych zastosowań odpowiadających ich jakości, w których zastępują wodę świeżą.

Trzeci obieg zawiera nadmiar wody z drugiego obiegu oraz ponadto wszelką pozostałą wodę produkcyjną, która nie nadaje się do użycia lub też nie nadaje się bezpośrednio do użycia ze względu na stopień jej zanieczyszczenia. Wodę tę oczyszcza się w chemiczno-mechanicznej i/lub biologicznej oczyszczalni ścieków. Oczyszczonej wody nie można użyć w przypadku wszystkich rodzajów papieru, ale głównie w niektórych papierniach wytwarzających papier opakowaniowy z włókien wtórnych oraz w rzadkich przypadkach w papierniach wytwarzających papier gazetowy z włókien wtórnych (tylko jeden przypadek papierni). W tych przypadkach oczyszczona woda jest częściowo zawracana do procesu (5 – 30%). Zamknięte obiegi wody zrealizowano tylko w kilku papierniach produkujących papier na warstwę pofalowaną z makulatury (zob. punkt 6.3.4) lub tekturę.

Opis ten pokazuje, że w mokrej części maszyny papierniczej wykorzystywana jest bardzo duża ilość wody oraz że w różnych obiegach wody ma na ogół miejsce wysoki stopień recykulacji wody. Około 1 – 2 m<sup>3</sup> wody technologicznej na tonę papieru na ogół odparowuje w części suszącej maszyny i znika z procesu. „Suchy papier” w stanie równowagi z normalną atmosferą zawiera około 6 – 10% wody.

### 7.1.4 Układ braku własnego

Termin „brak własny” oznacza wszelki uformowany papier, od początku procesu wyrobu papieru do wykończonego produktu, którego nie wysłano do klienta. Brak własny występuje w różnej postaci i zawsze powstaje w procesie wyrobu papieru.

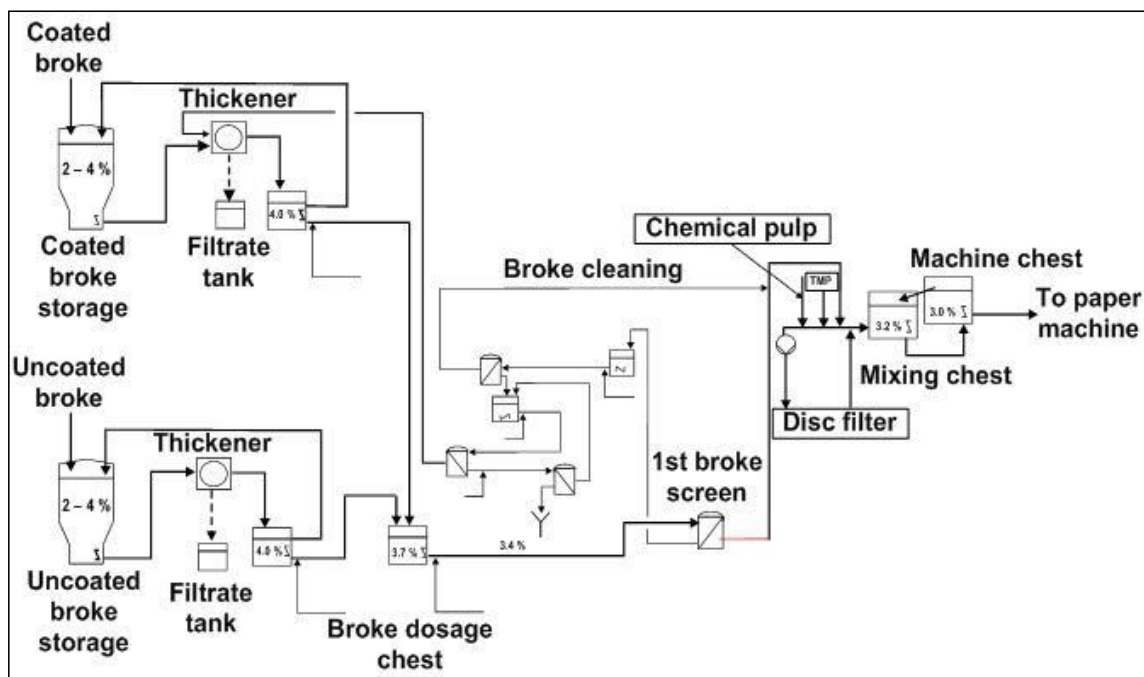
Głównym celem układu braku własnego jest zawrócenie włókna papierniczego z powrotem do procesu bez zakłócania jednorodności i jakości masy wpływającej do maszyny papierniczej. Każda maszyna papiernicza jest inna. Nie ma dwóch dokładnie takich samych maszyn papierniczych, nawet jeśli wytwarzają te same rodzaje papieru. Stąd wynika, że nie ma dwóch podobnych (z chemicznego punktu widzenia) układów braku własnego.

Ilość braku własnego powstającego w czasie wyrobu papieru stanowi na ogół 5 – 20% mocy produkcyjnych maszyny. Niekiedy może osiągnąć nawet 50% normalnej produkcji.

W zależności od konkretnego przypadku, brak własny z maszyny powstaje w różnych miejscach. Brak własny powstaje podczas zrywów wstęgi. Mokry brak własny powstaje nawet w czasie normalnej pracy w postaci obcinków brzegów wstęgi w części sitowej, natomiast suchy brak własny jest wytwarzany w czasie rozruchu, zmiany rodzaju papieru oraz w czasie wszelkich operacji wykończeniowych. Masy włókniste pochodzące z braku własnego z części mokrej i suchej maszyny papierniczej nie są takie same pod względem ich charakterystyki papierniczej.

W przypadku maszyn wytwarzających papiery powlekane układ braku własnego wymaga odmiennych wież magazynowych dla powlekanego i niepowlekanego braku własnego. Na rys. 7.4 pokazano możliwe rozplanowanie układu braku własnego w papierni wytwarzającej papier powlekany. Rozczyniony brak własny jest przepompowywany z wież magazynowych do zagęszczarek, w których usuwa się nadmiar wody. Zagęszczony brak własny jest podawany do kadzi dozującej, w której miesza się razem niepowlekany i powlekany brak własny. Po kadzi dozującej brak własny jest poddawany kilkustopniowemu oczyszczaniu, żeby zminimalizować ilość odrzutu, którego nie można zawrócić do procesu. Oczyszczony brak własny spuszcza się do głównej kadzi mieszalnej, skąd ostatecznie skomponowaną masę papierniczą przepompuje się poprzez układ dodatkowego oczyszczania do maszyny papierniczej. Niepowlekany i powlekany brak własny przechowuje się w osobnych zbiornikach.





Rysunek 7.4 Możliwe rozplanowanie układu braku własnego w papierni wytwarzającej papier powlekany

Coated broke	Brak własny powlekany
Thickener	Zagęszczarka
Coated broke storage	Magazynowanie braku powlekanego
Filtrate tank	Zbiornik filtratu
Uncoated broke	Brak własny niepowlekany
Uncoated broke storage	Magazynowanie braku niepowlekanego
Filtrate tank	Zbiornik filtratu
Broke dosage chest	Kadź dozująca
Broke clearing	Oczyszczanie braku
Chemical pulp	Masa celulozowa
Machine chest	Kadź maszynowa
To paper machine	Do maszyny papierniczej
Mixing chest	Kadź mieszalna
Disc filter	Filtr tarczowy
1st broke screen	Sortownik braku

### 7.1.5 Zaklejanie (fakultatywne)

Zaklejanie na ogół oznacza zaklejanie w części mokrej, w której skrobię lub syntetyczne środki zaklejające dodaje się bez pośrednio do masy, żeby zmniejszyć naturalną zdolność papieru do

absorpcji cieczy. W procesie zaklejania skrobię lub inne środki zaklejające wprowadza się do włóknistej matrycy, żeby zwiększyć wytrzymałość papierowego podłoża i zmodyfikować właściwości powierzchniowe związane z pobieraniem cieczy przez papier w czasie pisania, drukowania lub powlekania. Zaklejanie w części mokrej stosuje się np. w przypadku papierów wysokogatunkowych i niektórych specjalnych gatunków papieru.

Potencjalne oddziaływanie zaklejania na środowisko jest głównie związane z uwalnianiem kleju do wody. Jeśli kleje dodano do masy papierniczej, w obiegach wodnych można zmierzyć znacząco wyższe ChZT. Rozczynianie zaklejonego braku własnego w jakimś stopniu podnosi ChZT w obiegach wodnych. Np. rozczynianie zaklejonego powierzchniowo skrobią braku jest jednym z głównych źródeł ChZT w ściekach w przypadku papierów do pisania i papierów wysokogatunkowych.

Kleje można również nanieść na powierzchnię papieru (zaklejanie powierzchniowe), żeby uniknąć pylenia (powstawania kłaczków) papieru w procesie drukowania offsetowego. Zaklejanie powierzchniowe również zwiększa wytrzymałość powierzchniową papieru. W zaklejaniu powierzchniowym wstęga przechodzi przez nadmiar cieczy klejącej, gromadzącej się ponad strefą styku walców prasy zaklejającej, które prasują wstęgę. W efekcie wstęga papieru absorbuje ciecz zaklejającą. Ilość pobranego środka zaklejającego zależy od suchości wstęgi, która przed prasą może osiągnąć 98%.

W technologii prasy zaklejającej nastąpił postęp, kiedy normą stała się prasa powlekająca filmem klejowym, wypierając dawną technologię nadmiaru cieczy klejącej z dwoma walcami. Prasy powlekające filmem klejowym równomiernie nioszą regulowane ilości wodnej mieszanki klejowej na wstęgę papieru, najpierw tworząc film klejowy o jednolitej grubości na przylegającym wale, a następnie przenosząc film na wstęgę papieru, która zostaje nim jakby zadrukowana. Woda stosowana w prasie zaklejającej odparowuje w części dosuszającej. Prasy powlekające filmem klejowym są głównie wykorzystywane do produkcji papierów drukowych i do pisania oraz papierów pakowych z włókien wtórnych. W przypadku nanoszenia kleju w prasie powlekającej filmem klejowym do ścieków należy odprowadzać tylko niewielkie małe ilości stężonego kleju, jeśli zmieniają się warunki jej eksploatacji.

Mimo że obróbka w prasie zaklejającej stanowi formę powlekania papieru dla poprawy jego właściwości powierzchniowych, termin „powlekanie” na ogół zastrzega się dla nanoszenia pigmentowej mieszanki na powierzchnię papieru w celu ulepszenia jego drukowności lub dla innych specjalistycznych zastosowań.

## 7.1.6 Powlekanie (fakultatywne)

Papier składający się z pojedynczych włókien ma względnie szorstką powierzchnię. Ponieważ szorstkość ma negatywny wpływ na efekt zadrukowania papieru, duże ilości papieru i tektury powleka się, żeby uzyskać gładką powierzchnię do zadrukowania. Termin „powlekanie” oznacza nanoszenie wodnej mieszaniny białych pigmentów, substancji wiążącej i różnych dodatków na jedną lub obie strony papieru w celu uzyskania określonych właściwości powierzchniowych. Papier można powlekać albo w urządzeniu stanowiącym integralną część maszyny papierniczej (w maszynie), albo w oddzielnej powlekarce (poza maszyną). Powleczoną wstęgę najpierw suszy się za pomocą promieni podczerwonych, za pomocą gorącego powietrza lub kombinacji promieni podczerwonych i suszarki wykorzystującej gorące powietrze, a na koniec w krótkiej części suszącej z cylindrami podgrzewanymi parą.

O składzie mieszanki powlekającej w dużym stopniu decydują wymagania dotyczące powierzchni papieru, jakie trzeba spełnić w przypadku określonej techniki drukowania. Mieszanki powlekające mogą stanowić złożone mieszaniny składników i na ogół wymagają przygotowania przed zastosowaniem. Mieszkanką powlekającą przygotowuje się w tzw. „kuchni mieszanek powlekających”, w której chemikalia stanowiące jej składniki miesza się i dostosowuje. Skończona mieszanka powlekająca przechodzi przez sortowniki, zanim zostanie wprowadzona do powlekarci. Niektóre surowce mogą być dostarczane z udziałem wody, co ułatwia ich użycie oraz pozwala uniknąć wszelkich problemów związanych z pyleniem. Wszystkie mieszanki powlekające zawierają pewnego rodzaju substancję wiążącą, którym jest głównie karboksylowany kauczuk butadienowo-styrenowy lub akrylonitrylowo-styrenowy albo lateksy akrylowe. W celu zwiększenia sztywności można dodać skrobię, która przed użyciem musi na ogół być kleikowana. Stearyny ( $\text{Ca}$  and  $\text{NH}_4$ ) wykorzystuje się jako środki poślizgowe w procesie kalandrowania i żeby zapewnić odpowiednią strukturę powierzchni. Używa się takich pigmentów, jak drobno zmielony kaolin, talk lub węgiel wapnia, podobnie jak barwniki, rozjaśniacze i inne specjalistyczne chemikalia dodawane w niewielkich ilościach.

Powlekarci składają się z odwijaka, stanowiska lub stanowisk powlekających (jednostki nanoszącej mieszankę powlekającą), z części suszącej (promienie podczerwone, gorące powietrze i ogrzewane cylindry) i z nawijaka. Żeby zapewnić optymalne działanie, instaluje się różne urządzenia pomiarowe i sterujące.

Prawie wszystkie mieszanki powlekające są wodne, a nanosi się je za pomocą wałków, noża powietrznego, prasy powlekającej, systemów powlekania skrobakowego z prętem dozującym oraz od niedawna systemów powlekania przez polewanie. Mają one na celu nałożenie na powierzchni wstęgi papieru powłokę o stałej, jednolitej grubości. Każdy system powlekania wymaga określonej mieszanki powlekającej, w której należy ustalić zawartość substancji stałej i lepkość zapewniające najlepsze efekty w zakresie płynności eksploatacji i jakości papieru. Powlekarci stosujące noże powietrzne pracują z mieszankami o stężeniu substancji stałych około 30 – 50%, w innych stosuje się mieszanki o stężeniu około 50 – 70%. Nadmiar mieszanki powlekającej jest na ogół zawracany do obiegu poprzez układ ciągłej filtracji, żeby usunąć włókna i inne zanieczyszczenia w celu zachowania jakości mieszanki powlekającej. Filtry te czyści się w regularnych odstępach czasu, w ten sposób tworząc stężony strumień ścieków.

Istnieją różne rodzaje powlekanego papieru i tektury. Jednakże, klasyfikacja wyrobów powlekanych nie została jeszcze ujednoczona, ale w całej Europie stosuje się pewne terminy określające główne rodzaje powlekanego papieru i tektury. Opisano je poniżej.

### **Wielokrotnie powlekany papier bezdrzewny (ang.: art paper)**

Termin ten oznacza papier bezdrzewny lub zawierający tylko niewielką ilość drewna, który powleka się po obu stronach. Gramatura powłoki przekracza  $20 \text{ g/m}^2$  na jedną stronę, co zapewnia całkowite zakrycie włóknistej struktury papieru. Na każdą stronę nakłada się do trzech powłok, żeby uzyskać wymaganą wysoką jakość. Papier ten jest wykorzystywany do wysokiej jakości wyrobów zadrukowanych.

### **Papiery powlekane w maszynie papierniczej**

Rodzaj ten obejmuje zarówno papiery bezdrzewne, jak i drzewne z powłokami o gramaturze do 25 g/m<sup>2</sup> na stronę. Wyższe gramatury powłok często uzyskuje się stosując dwie warstwy mieszanki powlekającej. Receptury mieszanki powlekającej są na ogół prostsze niż w przypadku wielokrotnie powlekanego papieru bezdrzewnego. Papiery powlekane w maszynie papierniczej są głównie stosowane w poligrafii.

### **Papiery powlekane o niskiej gramaturze powłoki (papiery LWC)**

Papiery te zawierają dużą ilość włókien drzewnych, a gramatura ich powłoki mieści się w przedziale 5 – 12 g/m<sup>2</sup> na jedną stronę. Są to papiery produkowane masowo i używane do drukowania katalogów, magazynów, broszur reklamowych itd. Gramatury powłoki być mniejsza niż powyższy przedział (papiery ultra-LWC) lub wyższa (papiery MWC, czyli papiery powlekane o średniej gramaturze powłoki, a także papiery HWC, czyli papiery powlekane o wysokiej gramaturze powłoki). Obecnie na papiery powlekane o wysokiej gramaturze powłoki często nakłada się dwie warstwy mieszanki powlekającej i z tego względu zalicza się je wtedy do grupy papierów powlekanych w maszynie papierniczej.

### **Tektura na pudełka składane i karton kredowany**

W tych rodzajach tektur górną warstwę pokryciową z masy celulozowej bielonej powleka się w tekturnicy. Pozostałe warstwy mogą składać się z masy bielonej lub niebielonej lub makulatury. Gramatura powłoki mieści się w przedziale 12 – 33 g/m<sup>2</sup>, a powłoka na ogół składa się z warstwy gruntującej i wierzchniej. Całkiem niedawno zaczęto nakładać trzy warstwy powłok. Tektura rzadko jest powlekana od spodniej strony.

W zależności od funkcjonowania oddziału przygotowującego mieszanki powlekające, powlekarcki i istniejących środków odzyskiwania mieszanki powlekającej lub oddzielnego oczyszczania ścieków zawierających mieszankę powlekającą, występują emisje różnych substancji do wody (zob. punkty 7.3.5 i 7.3.6). W przypadku niektórych zastosowań w gazach odlotowych z okapturzenia części suszącej można zmierzyć nieco zwiększone stężenia lotnych związków organicznych (LZO).

Potencjalne emisje do wody może spowodować albo przelew stężonych składników mieszanki powlekającej (o stężeniu około 50%) z oddziału przygotowującego mieszanki powlekające lub z instalacji powlekającej, albo przelew rozcieńczonych składników mieszanki z przemywania zbiorników i rurociągów. Stężone ścieki mogą być gromadzone w zbiornikach lub przenośnych pojemnikach w celu zagospodarowania odpadów stałych lub odzyskiwania minerałów jako wypełniaczy po usunięciu nadmiaru wody poprzez sedimentację. Rozcieńczone ścieki gromadzi się w zbiornikach, skąd trafiają do oczyszczalni ścieków. Ścieki z powlekania na ogół wymagają oddzielnego oczyszczania wstępnego w instalacji flokulacji (zob. punkt 7.3.6). W przeciwnym razie ścieki z powlekania mogą spowodować zaburzenia w funkcjonowaniu biologicznej oczyszczalni ścieków. W ostatnich latach dobre efekty w zakresie zwracania mieszanki powlekającej do procesu przyniosła technologia filtracji membranowej, opisana w punkcie 7.3.5. W ramach jej zastosowań w Finlandii, Szwecji, Francji i Niemczech odzyskiwana mieszanka jest zwracana do oddziału przygotowującego mieszanki powlekające, w którym jest ona dodawana w odpowiednich proporcjach do świeżej mieszanki powlekającej. Powlekany brak własny jest na ogół ponownie rozczyniany, tak że niektóre składniki powłoki wracają do obiegu wodnego.

### **7.1.7 Barwienie papieru (fakultatywne)**

Kolorowe papiery otrzymuje się barwiąc masę papierniczą lub powierzchnię papieru (prasa zaklejająca, powlekanie papieru). W ten sam sposób można wytworzyć papiery rozjaśniane optycznie.

Barwienie masy papierniczej jest najpowszechniej stosowanym sposobem barwienia papieru.

Barwniki, pigmenty i rozjaśniacze optyczne dodaje się albo okresowo do rozczyńnicza wirowego lub kadzi mieszalnej, albo ciągle do płynącej zawiesiny masy. Ciągłe dodawanie ma tę zaletę, że strefa w ciągu masy, która musi być oczyszczana przy zmianie barwy, jest krótsza. Natomiast, z powodu krótszego czasu kontaktu w porównaniu z dodawaniem okresowym, w przypadku papierów o intensywnym zabarwieniu uzyskuje się mniejszą wydajność barwników, a także ten proces barwienia wymaga bardziej złożonych urządzeń.

W przypadku barwienia powierzchni papieru w prasie zaklejającej barwniki dodaje się do cieczy nanoszonej na powierzchnię papieru w tej prasie. Barwienie powierzchniowe jest odpowiednie tylko w pojedynczych przypadkach, ponieważ trudno jest osiągnąć jednorodne zabarwienie papieru. Natomiast zaletą tego procesu jest to, że nie ma barwników w obiegach wodnych.

Powierzchnię papierów można również barwić poprzez powlekanie. W przypadku typowego powlekania (zob. punkt 7.1.6) powierzchnię papieru lub tektury pokrywa się powłoką pigmentową. W przypadku powłok kolorowych materiałem wyjściowym jest biała mieszanka powlekająca, a pożądany odcień uzyskuje się dodając dyspersję pigmentu organicznego lub nieorganicznego.

W zależności od masy włóknistej, która ma być zabarwiona, i zamierzonego zastosowania papieru, stosuje się różne rodzaje pigmentów i barwników, takie jak barwniki zasadowe (barwniki kationowe), barwniki bezpośrednie i barwniki kwasowe. Ponadto, stosuje się środki utrwalające i inne dodatki w celu poprawy utrwalenia barwnika i uzyskania lepszych efektów barwienia. W barwieniu papieru stosuje się pigmenty nieorganiczne lub organiczne (np. azowe i ftalocyjaninowe) oraz sadzę.

Możliwe oddziaływanie barwienia na środowisko stanowią głównie emisje do wody. W szczególności, w papierniach, w których kilkakrotnie w ciągu doby zmienia się barwy lub ich odcienie, po upływie pewnego czasu należy oczyścić obiegi wodne. Papiernie na ogół pracują „w kampaniach”, tj. najpierw wytwarzają jaśniejsze barwy, przechodząc krok po kroku do głębszych tonów danej barwy. Następnie trzeba tylko wyregulować zabarwienie wody. Jednakże, gdy np. osiągnie się głęboką zieleń, należy przemyć system wodny. Barwne ścieki odprowadza się do odbiornika zewnętrznego poprzez oczyszczalnię ścieków. Kilka razy w miesiącu rurociągi oczyszcza się chemicznie, żeby usunąć z nich osady i barwniki. W niektórych papierniach jako środki czyszczące stosuje się chlor pierwiastkowy i podchloryn.

### 7.1.8 Dodatki chemiczne

Poza głównymi surowcami, tj. masą włóknistą i wypełniaczami, papiernictwo wymaga zastosowania różnych domieszek dodatków chemicznych i środków pomocniczych. Niektóre z nich umożliwiają uzyskanie pewnych właściwości papieru (np. substancje zaklejające, środki wodo-utrwalające, barwniki, mieszanki powlekające), podczas gdy inne usprawniają przebieg operacji w procesie produkcyjnym (np. środki retencyjne, preparaty przeciwpienne, środki czyszczące, środki zapobiegające powstawaniu śluzu).

Dodatki chemiczne można dostarczać do papierni w postaci gotowej do użycia lub przygotowywać na miejscu. Niewielkie ilości specjalistycznych chemikaliów są na ogół dostarczane w postaci gotowej do użycia, podczas gdy chemikalia używane w większej ilości można dostarczać lub przygotowywać na miejscu. Dotyczy to zarówno dodatków chemicznych do powłok, jak i tych, które są wprowadzane do masy papierniczej.

Dodatki chemiczne można wprowadzać w części mokrej razem z rozcieńczoną masą papierniczą lub je natryskiwać w części sitowej, a następnie je wmixować w strukturę papieru albo w prasie zaklejającej, albo w powlekarce w końcowej części maszyny papierniczej, w której nakłada je się na powierzchnię papieru. W pierwszym przypadku chemikalia, które nie zatrzymują się na wstędze papieru, pozostają w

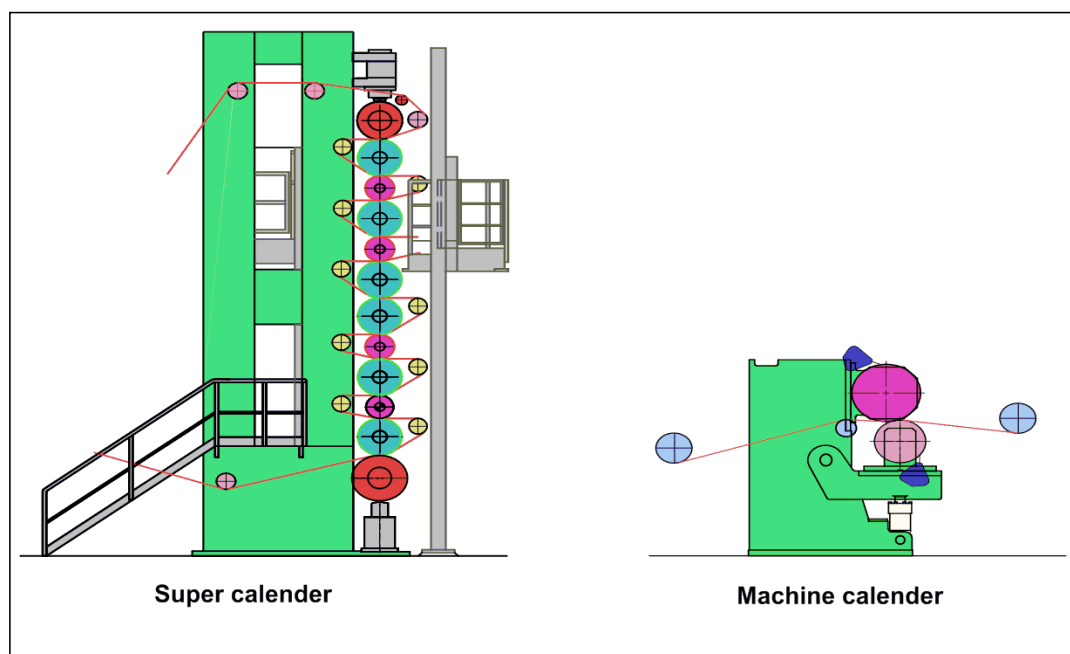
obiegu wodnym, prawdopodobnie trafiając ostatecznie do ścieków. Chemikalia pozostające w obiegu wodnym mogą utrudniać zamknięcie obiegu wodnego i z tego powodu negatywnie wpływać na efektywność oczyszczalni ścieków. Jednakże, zależy to od rodzaju i ilości zastosowanych chemikaliów.

Powierzchniowe wprowadzanie chemikaliów poprzez natryskiwanie lub zanurzanie zapewnia większe możliwości kontroli, a woda jest potrzebna tylko do przemywania i czyszczenia. Jednakże, jest to możliwe tylko w kilku zastosowaniach. W tych niewielu przypadkach wszelką wodę myjącą można oddzielić do odrębnego oczyszczenia. Np. ciekłe pozostałości z powlekania można oczyszczać odrębnie na etapie wytrącania lub stosując ultrafiltrację (zob. punkty 7.3.5 i 7.3.6).

Główne dodatki papiernicze i ich właściwości środowiskowe szczegółowo omówiono oddzielnie w podpunktach 7.2.2.3 i 2.3.2.1.

### **7.1.9 Kalandrowanie (fakultatywne)**

Kalandrowanie ma na celu otrzymanie gładkiej powierzchni papieru spełniającej wymagania związane z jego zamierzonym zastosowaniem do pisania i druku. W kalandrowaniu wstęgę papieru przeprowadza się między oddziaływujące się na siebie walce prasowe, a w tym procesie na szorstkość powierzchni papieru oddziałują ciśnienie i temperatura. Jak pokazano na rys. 7.5, kalander maszynowy składa się z dwóch lub więcej schładzanych walców żeliwnych o bardzo gładkiej powierzchni, umieszczonych nad sobą. Dzięki kalandrowaniu zwiększa się gładkość papieru, ale jednocześnie pogarszają się inne właściwości, takie jak grubość, wytrzymałość i sztywność.



Rysunek 7.5 Przykład dwóch różnych kalanderów: superkalander i kalander maszynowy

Super calender	<b>Superkalander</b>
Machine calender	<b>Kalander maszynowy</b>
Source: Valmet	<i>Źródło:</i> Valmet

Wstęgę papieru przeprowadza się przez szczeliny między tym walcami (szczeliny twarde). Obecnie kalandry są wyposażone w ogrzewany walec żeliwny i walec z miękką powłoką z tworzywa sztucznego (szczelinę miękką). Dwa lub więcej takich walców umieszcza jeden za drugim. Walce ogrzewa od wewnątrz gorąca woda, para lub olej grzewczy.

W przypadku rodzajów papieru wymagających gładziej, mającej większy połysk powierzchni przeprowadza się dalszą obróbkę wykończeniową w superkalandrze (rys. 7.5). Obróbka w superkalandrze podnosi jakość druku i stosuje się ją do zwiększenia przydatności papieru do drukowania, niezbędnej w przypadku drukowania obrazów. W przypadku niektórych rodzajów papieru przed obróbką w superkalandrze wstęgę papieru sprawdza się w przewijarkach pod kątem występowania właściwości papieru, takiego jak papier satynowany (SC) paper i papier o niskiej gramaturze powłoki (LWC). System do superkalandrowania składa się ze stanowiska przewijaka, właściwego superkalandra i stanowiska nawijaka. Oddziaływanie superkalandrowania na środowisko stanowi głównie zużycie energii do napędu maszyny i ogrzewania walców.

### 7.1.10 Nawijanie / cięcie / wysyłka

Produkt finalny jest wytwarzany zgodnie z wymaganiami klientów, dotyczącymi np. zwojów lub arkuszy, a także określonej gramatury, barwy i wykończenia papieru. Maszyny papiernicze wytwarzają duże zwoje papieru, w których szerokość wstęgi papieru ustala się obcinając jej brzegi w części mokrej maszyny. Ostre noże wirujące lub gilotyny przycinają zwoje lub przecinają arkusze zgodnie z wymaganiami przed ich zapakowaniem do wysyłki. Reguluje się zawartość wilgoci, tak żeby odpowiadała atmosferze w drukarni. Oddziaływania tych operacji na środowisko są względnie niewielkie, ale w czasie cięcia może pojawić się pylenie. Omawiane procesy zużywają niewiele energii. Odpady stanowią obcinki papieru, które są na ogół zwracane

z powrotem do procesu papierniczego.

### **7.1.11 Przykłady papierni niezintegrowanych w Europie**

Procesy wyrobu papieru i tektury mogą być prowadzone w tym samym zakładzie co produkcja masy włóknistej (zakłady zintegrowane) lub odrębnie w własnym zakładzie (zakłady niezintegrowane).

Różne rodzaje papieru i tektury są wytwarzane z różnych surowców w maszynach zaprojektowanych dla danego rodzaju. Jednakże, dotychczas w Europie nie ma wspólnego stanowiska co do tego, które rodzaje papieru należy wyróżnić z punktu widzenia ochrony środowiska, żeby określić osiągalne emisje z papierni, które wdrożyły BAT. Systemy klasyfikacji statystyk handlowych (np. statystyk narodowych, statystyki CEPI) są inne niż, te których państwa członkowskie używają w celu ustalenia wymogów prawnych dla przemysłu papierniczego. W poszczególnych krajach stosuje się odmienne klasyfikacje papierni. W rezultacie, nie ma obecnie klasyfikacji, którą można by po prostu przyjąć.

W Europie najwięcej papierni niezintegrowanych wytwarza papier wysokiej jakości, bibułki tissue lub papiery specjalne. Należy jednak pamiętać, że w niektórych krajach papiery te również wytwarza się w zakładach zintegrowanych. Np. w krajach skandynawskich papiernie wytwarzające papier wysokiej jakości w większości przypadków zbudowano w pobliżu celulozowni. Bibułki tissue wytwarza się również albo w zakładach zintegrowanych (głównie wykorzystujących włókna z odzysku) albo w zakładach niezintegrowanych.

#### **7.1.11.1 Niepowlekane papiery bezdrzewne do drukowania i pisania**

Do papierów drukowych i do pisania należą takie produkty, jak papiery drzewne do drukowania magazynów (zob. rozdział 5) i bezdrzewne niepowlekane papiery drukowe.

Bezdrzewne niepowlekane papiery drukowe składają się prawie wyłącznie z mas celulozowych bielonych liściastych i iglastych. Udział wypełniaczy waha się od 10% do 30% (lub nawet więcej). Te papiery niepowlekane są na ogół zaklejane w masie, a następnie dodatkowo uszlachetniane poprzez zaklejanie powierzchniowe i kalandrowanie. Bezdrzewne papiery drukowe zółkną w niewielkim stopniu i wykazują wysoką wytrzymałość.

W czasie czyszczenia i sortowania masy papierniczej wydziela się tylko niewielkie ilości odrzutu, ponieważ stosowane surowce są zasadniczo czyste. Podczas rafinowania włókna są skracane i ulegają fibrylacji, żeby odpowiadały danej jakości papieru. W czasie fibrylacji włókien rozpuszcza się niewielka część substancji organicznej.

Do innych bezdrzewnych wyrobów papierowych, składających się przede wszystkim z masy celulozowej, należą bibułki tissue, wata celulozowa, papiery filtracyjne, papiery dekoracyjne, papiery podłożowe do laminowania, podłoże na pergamin kwasowy. Należą do nich również produkty, w przypadku których do masy włóknistej dodaje się kleje, żeby zmniejszyć naturalną zdolność struktury włóknistej do wchłaniania cieczy, takie jak papier plakatowy, kalka maszynowa, papiery mocne i papiery rysunkowe. Zaklejanie zwiększa ilość substancji organicznych w obiegach wodnych i w czasie rozczyniania braku własnego. Większość dodatków może być rozpuszczona (np. zdegradowana skrobia natywna).

#### **7.1.11.2 Powlekane papiery bezdrzewne do drukowania i pisania**

Papiery powlekane stanowią największą grupę pośród papierów drukowych i do pisania. W rozdziale 5 opisano największą część tej grupy, jaką stanowią powlekane papiery drzewne.



Papier podłożowy, z którego produkuje się bezdrzewny papier powlekany, składa się przede wszystkim z masy celulozowej. Po obu stronach wstęgi tego papieru nakłada się warstwę mieszanki powlekającej. Dodatkowo, papiery można kalandrować, żeby nadać ich powierzchniom połysk lub matowe wykończenie. Poza papierami drukowanymi i wielokrotnie powlekanymi papierami bezdrzewnymi, do grupy tej również zalicza się karton kredowany (z warstwą wierzchnią z bielonej masy celulozowej).

W procesie przygotowania masy występują tylko niewielkie ilości odrzutu, ponieważ surowce są przeważnie czyste. Papiery powlekane są suszone dwukrotnie, w typowej części suszącej i ponownie po nałożeniu mokrej mieszanki powlekającej. W zależności od rodzaju produkowanego papieru, do kadzi mieszalnej wprowadza się dodatkowe środki pomocnicze, co może powodować zanieczyszczenie ścieków. Powlekanie i wykończanie obejmują zarówno zaklejanie powierzchniowe, jak i nakładanie mieszanki powlekającej (jedna lub więcej powłok po jednej stronie lub po obu stronach). Przygotowanie mieszanki powlekającej i rozczynianie braku własnego powodują dodatkowe zanieczyszczenia ścieków, które stanowią cząstki nierozpuszczalne i zużywające tlen substancje rozpuszczone.

### 7.1.11.3 Bibułki tissue

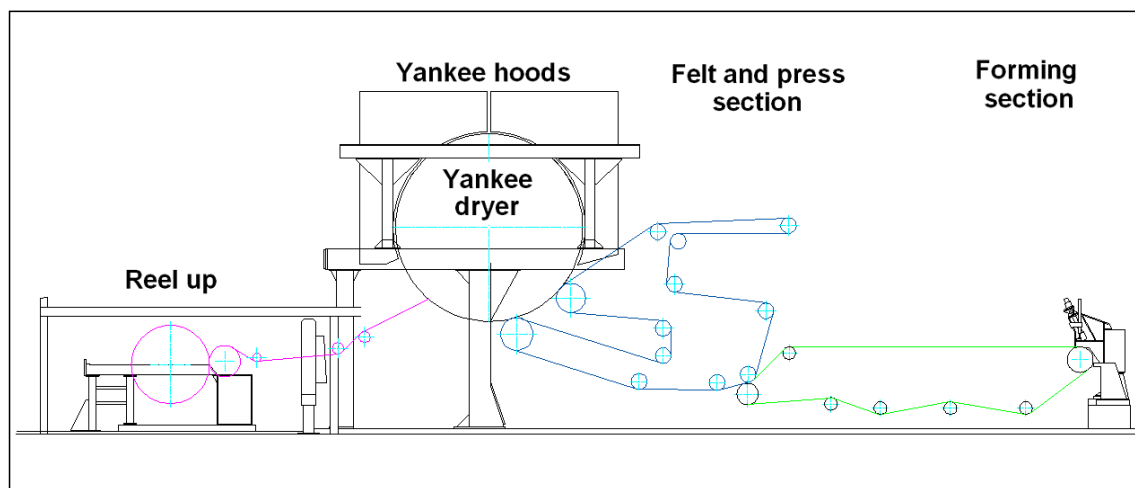
Bibułki tissue jest to na ogół produkt, w którym pojedyncze warstwy wytworzone w maszynie papierniczej są łączone w oddzielnym urządzeniu tworząc jeden produkt wielowarstwowy poza maszyną papierniczą. Czyni się tak ze względu na niewielką gramaturę pojedynczej warstwy (poniżej 12 g/m<sup>2</sup> na sicie). Główne właściwości produktu to miękkość i gładkość, czystość, wysoka chłonność i wytrzymałość. Przetwarzanie w celu uzyskania produktów finalnych jest często zintegrowane z produkcją samych bibulek tissue, tzn. papiernie, który go produkują często sprzedają swoje wyroby użytkownikom końcowym (w tym opakowania).

Bibułki tissue wytwarza się głównie z bielonych mas celulozowych lub odbarwionych włókien wtórnych (zob. rozdział 6). W przypadku użycia makulatury należy usunąć wypełniacze i drobną frakcję, które nie nadają się do produkcji bibulek tissue. Na ogół stosuje się mieszaninę mas o różnej zawartości włókien pierwotnych i wtórnych. W podpunkcie 6.1.3.4 omówiono przetwarzanie papieru z recyklingu z odbarwianiem. W przypadku użycia włókien pierwotnych zakłady mogą być zintegrowane obejmując wytwarzanie zawiesziny włókien lub niezintegrowane. Niezintegrowane zakłady produkujące bibułki tissue potrzebują dodatkowej wody do rozczynienia włókien pierwotnych.

W produkcji bibulek tissue stosuje się różne procesy do wytworzenia różnych rodzajów produktów tego typu o różnych cechach. Sposób suszenia bibulek tissue decyduje o większości jej cech. Istnieją trzy główne rodzaje procesów:

- konwencjonalna produkcja bibulek tissue,
- proces suszenia przedmuchowego (TAD),
- procesy hybrydowe.

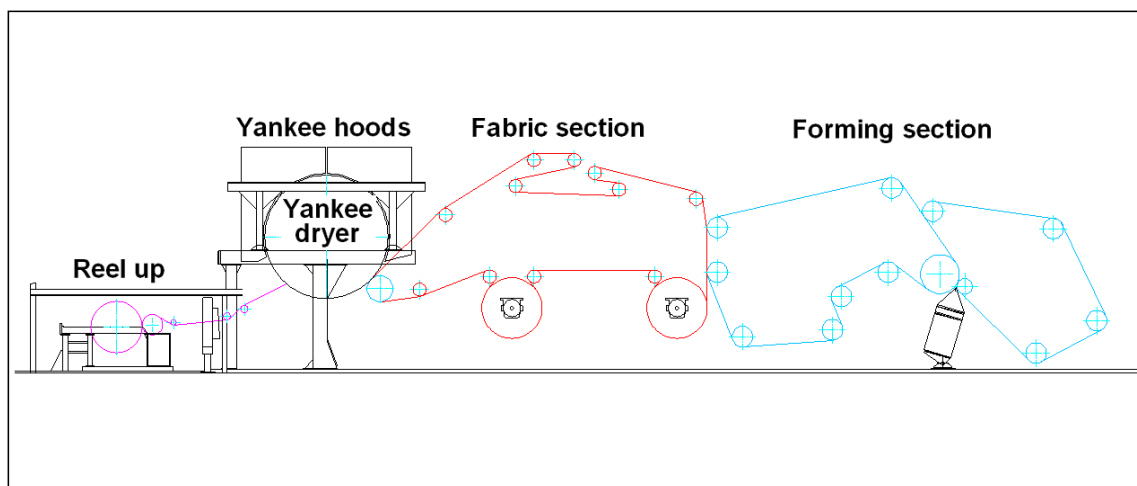
Najbardziej powszechnie stosowanym procesem jest użycie konwencjonalnej maszyny papierniczej do produkcji bibulek tissue z konwencjonalnym suszeniem na cylindrze połyskowym Yankee (zob. rys. 7.6). Wstęga bibułki jest formowana na ruchomej matrycy, z której odciągana jest woda. Wstęga następnie pochodzi do filców, gdzie więcej wody jest usuwane przez prasowane i użycie próżni. W tej części wstęga bibułki tissue jest ściskana. Żeby zapewnić pełne wysuszenie, wstęga jest przeprowadzana do cylindra Yankee i jest suszona poprzez podanie pary do cylindra i nawiewanie gorącego powietrza na powierzchnię bibułki tissue. Na koniec bibułkę tissue usuwa się z cylindra Yankee za pomocą skrobaka krepującego, a zwój jest nawijany na nawijaku.



Rysunek 7. 6 Proces produkcji bibulek tissue typu CWP (konwencjonalne prasowanie na mokro) z konwencjonalnym cylindrem Yankee.

Yankee hoods	<b>Okapturzenie cylindra Yankee</b>
Felt and press section	<b>Część prasowa z filcami</b>
Forming section	<b>Część formująca</b>
Yankee Ryder	<b>Cylinder Yankee</b>
Reel up	<b>Nawijak</b>
Source: ETS	<i>Źródło:</i> ETS

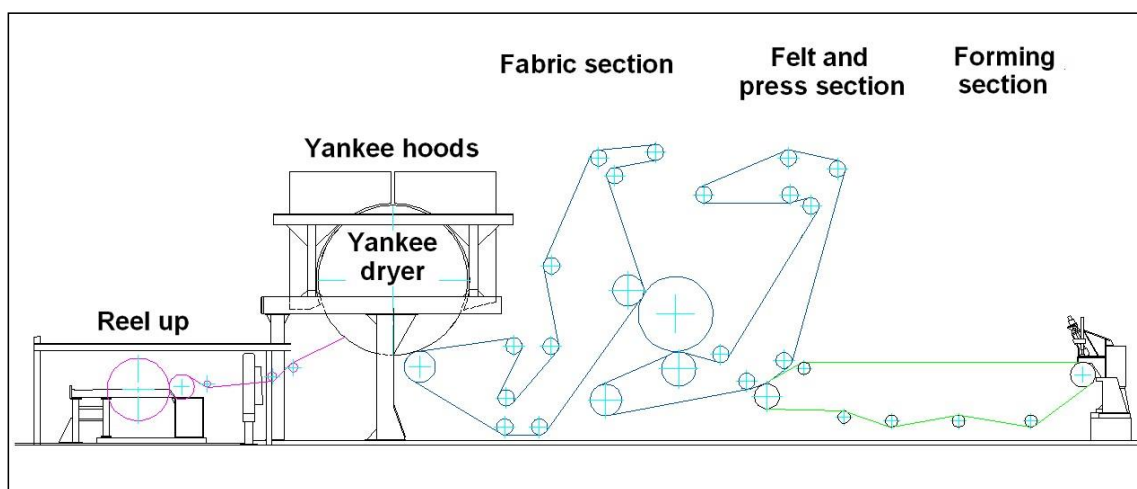
Żeby uzyskać bardziej pulchne i miękkie bibułki tissue o wysokiej chłonności i miękkości, około 20 lat temu opracowano proces TAD. W procesie TAD do minimum ograniczono prasowanie wstęgi bibułki tissue. Wstęgę formuje się na ruchomej tkaninie, na której usuwa się wodę poprzez drenaż i przy użyciu próżni. Z względu na wysoką zawartość wilgoci, wstęgę przenosi się na drugą tkaninę przy użyciu próżni. Żeby uzyskać większą pulchność, wstęgę osusza się przeprowadzając ją nad jedną lub dwoma suszarkami TAD, gdzie przez wstęgę jest przepuszczane gorące powietrze (powyżej 350°C). Na koniec, wstęga jest przenoszona do cylindra Yankee w celu dalszego suszenia za pomocą pary i gorącego powietrza. Proces TAD (rys.7.7) jest bardziej energochłonny, ale zapewnia bardzo miękką i pulchną wstęgę, która może wchłonąć nawet dwa razy więcej wody niż konwencjonalna bibułka tissue, a jednocześnie zużywa znacznie mniej włókien. Większe zapotrzebowanie energii jest związane ze zmniejszonymi, prasowaniem i wieloetapowym suszeniem przy pomocy suszarek TAD i cylindra Yankee, natomiast zużycie energii elektrycznej jest wyższe ze względu na potrzebne wykorzystanie próżni i większe przepływy powietrza (wentylatory).



Rysunek 7. 7 Proces produkcji bibułki tissue typu TAD z dwoma suszarkami TAD i cylindrem Yankee

Reel up	<b>Nawijak</b>
Yankee hoods	<b>Okapturzenie cylindra Yankee</b>
Yankee dryer	<b>Cylinder Yankee</b>
Fabric section	<b>Część tkaninowa</b>
Forming section	<b>Część formująca</b>
Source: ETS	<i>Źródło:</i> ETS

W ciągu ostatnich dziesięciu lat pojawiły się nowe technologie hybrydowe, które również umożliwiają użycie małych maszyn do wytworzenia bibulek tissue o większej pulchności niż produkowane przez maszyny konwencjonalne, z teksturą lub strukturą podobną do wytworzonej w maszynie stosującej proces TAD. Pod względem zużycia energii hybrydowe technologie produkcji bibulek tissue mieszczą się gdzieś pomiędzy procesem konwencjonalnym a procesem TAD: zużywają mniej energii niż proces TAD, ale więcej niż wspomniane konwencjonalne maszyny wytwarzające bibułki tissue. Technologia hybrydowa jest wciąż wykorzystywana w ograniczonym zakresie w Europie, ale zakres ten obecnie rośnie. Na rys. 7.8 pokazano przykład opatentowanej technologii hybrydowej.



Rysunek 7. 8 Opatentowany hybrydowy proces produkcji bibulek tissue.

Reel up	<b>Nawijak</b>
Yankee dryer	<b>Cylinder Yankee</b>
Yankee hoods	<b>Okapturzenie cylindra Yankee</b>
Fabric section	<b>Część tkaninowa</b>
Felt and press section	<b>Część prasowa z filcami</b>
Forming section	<b>Część formująca</b>
Source: ETS	<i>Źródło:</i> ETS

Każdy proces wyrobu bibulek tissue wytwarza określony bibulek tissue przydatny do różnych zastosowań. Ręcznik kuchenny wymaga wysokiej wytrzymałości i dobrej chłonności, podczas gdy w przypadku chusteczek do twarzy najważniejsza jest miękkość. Wysokiej jakości papier toaletowy wymaga wysokiej miękkości i wytrzymałości, podczas gdy niskiej jakości/tani papier toaletowy ma gorszą miękkość i wytrzymałość. Cechy te zależą od struktury powierzchniowej bibulek tissue. Produkowane są wielowarstwowe wyroby w celu uzyskania dalszej poprawy tych cech [Uwagi CEPI WD do rozdziału 7].

W czasie przygotowania masy występują tylko niewielkie straty surowca włóknistego (1 – 2%). Emisje do powietrza zależą głównie od sposobu zaopatrzenia w energię i wyboru procesu suszenia. Papiernie produkujące bibułki tissue na ogół zużywają nieco większe ilości wody świeżej do natrysków niż inne papiernie, ponieważ czystość sit i filców prasowych ma kluczowe znaczenie dla formowania tej niezwykle lekkiej wstęgi. W wielu maszynach produkujących bibułki tissue często zmienia się ich rodzaje i/lub barwy różnych produktów, co nieco ogranicza efektywność zużycia surowców, wody i energii. Zjawisko to jest częstsze w małych papierniach używających tylko jednej maszyny papierniczej. W zależności od właściwości produktu, można zastosować dodatki chemiczne, co może spowodować zanieczyszczenie ścieków. Np. stosowanie chlorowcowanych żywic organicznych w celu poprawy wodotrwałości może powodować wyższe stężenie AOX w ściekach.

#### 7.1.11.4 Papiery specjalne

Jest wiele rodzajów papierów i tektur do zastosowań technicznych i specjalnych. Papiery specjalne muszą posiadać bardzo specyficzne właściwości określone przez ich dane zastosowanie końcowe. Niektóre z tych właściwości są podobne do cech towarowych rodzajów papieru, ale na znacząco wyższym poziomie lub ze znacznie mniejszą tolerancją (np. pod względem wytrzymałości w stanie suchym, porowatości, grubości, właściwości optycznych). Inne charakterystyczne właściwości są bardzo specyficzne, tak jak czystość, wysoka chłonność i porowatość, hydrofobowość, właściwości barierowe, właściwości przeciwzabrudzeniowe, odporność na działanie niektórych chemikaliów, przewodnictwo elektryczne, wytrzymałość w stanie mokrym, odporność na ścieranie, określony rozkład porów, reaktywność chemiczna, duża nieprzezroczystość, przezroczystość, wygląd i tekstura.

Poniżej podano szereg przykładów papierów specjalnych (przy czym zestawienie to jest dalece niewyczerpujące):

- banknoty i papiery zabezpieczone,
- papiery ozdobne i ochronne,
- papiery/tektury o wysokiej chłonności,
- etykiety i papiery oddzielane,

- nietkane włókniny formowane na mokro oraz papiery/tektury filtracyjne,
- termiczne papiery drukowe,
- papiery fotograficzne i do obrazowania cyfrowego,
- papiery techniczne,
- artystyczne papiery do reklam i luksusowych opakowań, przeważnie barwne (ogromny wybór barw, rodzajów wykończenia, tekstur i gramatur),
- bibułki papierosowe,
- bezkalkowe papiery do kopiowania,
- papiery filtracyjne do użytku w laboratorium,
- giętkie lub luksusowe papiery opakowaniowe,
- kalki kreślarskie i papiery pergaminowe,
- cienkie papiery drukowe,
- papiery o specjalnych właściwościach barierowych nieprzepuszczające wody, pary wodnej, tłuszczu itd.,
- papiery elektroizolacyjne (papier kablowy, bibuła do kondensatorów, tektura do transformatorów),
- papiery do budownictwa (tapety, papiery barierowe),
- papiery/tektury artystyczne, luksusowe, barwne itd.,
- papiery/tektury bioaktywne,
- pergaminy i papiery do filtracji paliwa, oleju i innych cieczy,
- inne.

Papiery specjalne są zwykle wytwarzane w mniejszych ilościach i z tego powodu są na ogół produkowane na mniejszych maszynach papierniczych, poczynając od wielkości produkcji rzędu kilku ton and dobę. Ze względu na małe ilości i bardzo specyficzne wymagania klientów, kolejną typową cechą produkcji papierów specjalnych jest duża częstość zmian rodzajów w średnim rocznym wymiarze co najmniej jednej zmiany produkowanego rodzaju papieru na maszynę papierniczą na dobę (często znacząco większym), co powoduje wyższe ogólne straty związane ze zmianą produkcji (wyższy poziom braku własnego i strat materiału). Łącznie z małą wielkością maszyn papierniczych, prowadzi to do znacząco wyższego jednostkowego zużycia wody, materiałów i energii. Z tego powodu, w przypadku papierni wytwarzających papiery specjalne należy uwzględnić te szczególne okoliczności.

Ze względu na rygorystyczne wymagania dotyczące czystości i/lub niemożliwości mieszania składników różnych rodzajów (a także niektórych dodatków chemicznych), może wystąpić konieczność prawie całkowitego lub całkowitego usunięcia masy papierniczej i opróżnienia systemu wodnego w związku ze zmianą rodzaju papieru. Ze względu na wysokie wymagania dotyczące zachowania czystości w czasie wyrobu większości rodzajów papierów specjalnych, w wielu przypadkach wodę można zawracać do obiegu tylko w ograniczonym zakresie. Jednostkowy strumień ścieków w papierniach wytwarzających papiery specjalne waha się od 13 (30) m<sup>3</sup>/t do aż 200 (150) m<sup>3</sup>/t, w zależności od produktu i szczególnych warunków produkcji. Np. stężenie ładunku organicznego w ściekach jest często niskie, ale ze względu na względnie większy strumień może występować względnie wysoka jednostkowa emisja ładunku na tonę produktu.

Wyrób papierów specjalnych często wymaga użycia kosztownych materiałów włóknistych i/lub szczególnych urządzeń do przetwarzania włókien. Np. poza masą celulozową niektóre rodzaje papierów specjalnych zawierają inne włókna, takie jak włókna syntetyczne, włókna bawełny, manili, lnu, sizalu itd.

Uzyskanie wymaganej wysokiej wytrzymałości lub szczególnych cech, takich jak np. przezroczystość lub tłuszczoszczelność, często wymaga intensywnego rafinowania mas włóknistych, co również zwiększa jednostkowe zapotrzebowanie energii elektrycznej. W czasie rafinowania włókna zostają skrócone i silnie sfibrylowane. Podczas fibrylacji włókien część substancji organicznej uwalnia się do wody. Rafinowanie również powoduje znacznie wolniejsze odwadnianie w części sitowej. Żeby zapewnić wysoki poziom retencji kosztownych, specjalnych nieorganicznych pigmentów stanowiących wypełniacze i różnych dodatków chemicznych, w przypadku wielu rodzajów papierów specjalnych niezbędne jest łagodne odwadnianie w części sitowej. Wysoki stopień rafinowania

i/lub łagodne odwadnianie często powoduje względnie niską suchość wstęgi papieru po części sitowej, co oznacza wyższe zapotrzebowanie energii w części suszącej. Papiery filtracyjne również wymagają więcej energii do suszenia, ponieważ papierów tych nie można prasować przed częścią suszącą, żeby nie straciły porowatości.

W zależności od rodzaju papierów specjalnych wprowadza się do składu masy papierniczej i/lub nanosi w czasie obróbki powierzchniowej różne dodatki chemiczne (np. kleje, powłoki, barwniki, specjalistyczne domieszki chemiczne), które mogą częściowo znaleźć się w ściekach.

Możliwość zamknięcia obiegów wodnych może również ograniczać technika produkcji tej grupy wyrobów (np. podwyższona temperatura masy na skutek intensywnego rafinowania) lub wymagania ilościowe dla poszczególnych rodzajów papieru (np. przewodnictwo elektryczne, cechy sensoryczne, przezroczystość).

W tabeli 7.2 przedstawiono niektóre z wytwarzanych w Europie rodzajów papierów specjalnych, niektóre z właściwości tych produktów, aspekty ochrony środowiska oraz przykłady szczególnych BAT, które należy uwzględnić w przypadku tych rodzajów papieru. Biorąc pod uwagę różnorodność grupy papierów specjalnych, zestawienie to nie jest wyczerpujące.

Tabela 7. 2 Przykłady głównych cech, aspektów środowiskowych i określonych technik ochrony środowiska, które należy uwzględnić w przypadku różnych rodzajów papierów specjalnych.

Rodzaj wyprodukowanego papieru specjalnego	Główna cecha wyprodukowanego papieru specjalnego	Określone problemy środowiskowe w czasie produkcji	Użyte określone techniki ochrony środowiska
Rodzaje papieru z intensywnie rafinowanych włókien (np. papier pergaminowy, przeźroczysty, tłuszczoszczelny, papiery do pieczenia)	Przeźroczystość, tłuszczoszczelność, odporność, wytrzymałość, sztywność	Wysokie zapotrzebowanie energii na rafinowanie i kalandrowanie; wyższy poziom ChZT z powodu rozpuszczonych włókien pierwotnych; wyższe zapotrzebowanie energii na suszenie papieru na skutek niższej suchości po części prasowej	Optymalizacja rafinowania, odzyskiwanie ciepła z rafinerów; biologiczna oczyszczalnia ścieków z flokulacją/bez flokulacji
Rodzaje papieru, które wymagają specjalnych dodatków chemicznych i/lub wypełniaczy albo wymagają ich większych ilości (np. papiery filtracyjne, papiery opóźniające działanie ognia, bezkalkowe papiery do kopiowania, wytrzymałe w stanie mokrym, papiery powlekane do drukarek atramentowych, papiery podłożowe do laminacji (wytlaczania lub metalizacji), papiery zabezpieczone, papiery oddzielane (podłożowe), papiery do lica (podłoża) etykiet, papiery termiczne)	Wytrzymałość w stanie mokrym, hydrofobowość, właściwości barierowe zapobiegające migracji chemikaliów, wysoka absorpcja cieczy, reaktywność chemiczna, właściwości optyczne (nieprzeźroczystość), wodo- i olejoodporność itd.	Wyższy ładunek w ściekach i niekiedy słabo biodegradowalne substancje; wyższe zapotrzebowanie na energię na suszenie papieru i suszenie chemikaliów; użycie dodatków zawierających AOX, w zależności od stosowanych dodatków nie cały brak własny może być rozczyniony; często bardzo szczególne rodzaje papieru (bardzo specyficzne wymagania klienta) i małe partie obniżają efektywność; często wyższe zużycie energii	Specjalny system oceny i zarządzania chemikaliami; dostosowana oczyszczalnia ścieków; użycie mniejszej liczby/ilości chemikaliów zawierających AOX; odzyskiwanie ciepła w części suszącej; optymalizacja braku własnego papieru i zarządzanie jego dalszym wykorzystaniem
Rodzaje papieru produkowane w małych ilościach z częstymi zmianami ( <sup>1</sup> ) rodzajów produkowanego papieru (np. częściej niż raz na dobę – do dwunastu razy na dobę)	Bardzo specyficzne wymagania klienta dotyczące mniejszych ilości również muszą być zrealizowane; często produkowane na różnych mniejszych maszynach	Wyższe zużycie wody; większy ładunek zanieczyszczeń na skutek całkowitego usunięcia masy i opróżnienia system wodnego kilka razy na dobę; wyższy poziom braku własnego (w zależności od stosowanych dodatków nie cały brak własny może być rozczyniony)	Poprawa planowania produkcji papieru, żeby wytwarzać każdy produkt przez dłuższy okres; dostosowanie zarządzania obiegami wodnymi; dostosowanie systemu zarządzania brakiem własnym, pojemności kadzi; dostosowanie oczyszczalni ścieków, optymalizacja braku własnego i zarządzania jego unieszkodliwieniem
Przykład papier ozdobny, tj. papier zadrukowany i zwykle powlekany; impregnowany żywicami melaminowymi	Wysoka wytrzymałość w stanie mokrym, wysokie wymagania dotyczące czystości, największe wymagania dotyczące	Użycie chemikaliów zawierających AOX, wysokie jednostkowe zużycie energii; po suszeniu papieru żywice zapewniające wysoką wytrzymałość w stanie mokrym muszą być	Ograniczenie liczby używanych chemikaliów zawierających AOX

	dokładności barw	utwardzone; przestój na początku każdej produkcji związany z regulacją barwy na płycie melaminowej, kiedy ma miejsce zużycie energii elektrycznej, ale nie ma produkcji; wysokie jednostkowe zużycie wody	
Przykład: papier termiczny	Mała waga; wysoka wytrzymałość; wysoka jasność; wysoki stopień zaklejenia; wymaga niskiego poziomu zanieczyszczeń i otworów w papierze podłożowym	Bardzo niski poziom ponownego użycia braku własnego; duża liczba dodatków organicznych podnosi ChZT; szeroki zakres rafinowania oznacza wyższe zużycie energii elektrycznej do rafinowania i zużycie pary do suszenia	Specjalny system oceny chemikaliów i zarządzania dodatkami; dostosowana oczyszczalnia ścieków; zastosowanie systemów informatycznych do optymalizacji kombinacji wielkości i czasu produkcji partii papieru
<p>(<sup>1</sup>) Częstość zmiany produkowanego rodzaju (lub odmiany) papieru oznacza średniorocznie jedną lub więcej zmiany produktu w maszynie papierniczej na dobę, przy czym musi być spełniony jeden lub więcej z następujących warunków: i) zmiana gramatura równa lub większa niż 5 g/m<sup>2</sup>; ii) zmiany więcej niż jednej mierzalnej cechy produktu, tj. poziomu białości, zawartości wilgoci, poziomu porowatości itd.; iii) zmiany składu masy papierniczej (różne rodzaje masy lub odmienne proporcje masy iglastej i liściastej); iv) zmiana funkcjonalnych chemikaliów (zmieniających funkcjonalność objętości produktu i/lub powierzchni) w czasie produkcji papieru.</p>			

### 7.1.11.5 Tekтуры

Tekturę dzieli się na trzy kategorie: tekturę litą, falistą i specjalną. Wszystkie trzy mają pewne cechy wspólne.

- Gramatura na ogół jest wyższa niż 150 g/m<sup>2</sup>, ale również występują niższe gramatury, np. linerów i warstwy falistej nawet poniżej 100 g/m<sup>2</sup>.
- Większość rodzajów tektury to produkty wielowarstwowe, takie jak tektura na pudełka składane i tektura na opakowania do cieczy.
- Tektury są najczęściej wykorzystywane do wyrobu opakowań, co podkreśla fakt, że wytrzymałość stanowi ich kluczową cechę funkcjonalną, konkurencyjną wobec innych materiałów opakowaniowych.

Wielowarstwowe formowanie tektury, z którym łączą się np. trzy systemy obiegowe wody podsitowej, na ogół powoduje wyższe jednostkowe zużycie wody w porównaniu z papierami jednowarstwowymi. Natomiast rekompensuje to optymalne połączenie właściwości i ogólnej efektywności funkcjonalnej produktów w łańcuchu opakowań. Ta sama analogia do zastosowania technik tworzenia produktów wielowarstwowych ma zastosowanie w przypadku powlekania w maszynie i podziału na arkusze w zakładzie: ładunki odprowadzane do środowiska z zakładu produkującego tekturę mogą być wyższe niż średnie, natomiast poprawia się ogólna efektywność i zmniejszają się całkowite oddziaływania.

Tektura na pudełka składane (folding boxboard - FBB), tektura z masy siarczanowej bielonej (solid bleached board - SBS) i tektura na opakowania do cieczy (liquid packaging board - LPB) stanowią rodzaje tektury z włókien pierwotnych, które są w szczególnie szerokim zakresie wykorzystywane do wyrobu opakowań do żywności i które z tego względu podlegają rygorystycznym wymaganiom dotyczącym higieny, czystości oraz braku odoru i zanieczyszczeń. Takie wymagania dotyczące ich końcowego wykorzystania często ograniczają w pewnym



zakresie możliwość zwracania do procesu wody technologicznej ze względu na wzrost zagrożenia odorami i zanieczyszczeniami. Końcowe wykorzystanie w kontakcie z żywnością również nakłada rygorystyczne wymagania dotyczące wszystkich chemikaliów stosowanych w procesach technologicznych.

Tekturę litą dzieli się na różne odmiany: tekturę na pudełka składane (folding boxboard - FBB), tekturę makulaturową z uszlachetnioną powierzchnią (white lined chipboard - WLC), tekturę z masy siarczanowej bielonej (solid bleached board - SBS), tekturę z masy siarczanowej niebielonej (solid unbleached board - SUS) i tekturę na opakowania do cieczy (liquid packaging board - LPB). Żeby zapewnić dobre właściwości do zadrukowania większość rodzajów tektury litej jest powlekana pigmentami. Wierzchnia część jest na ogół powlekana dwiema lub trzema powłokami, a część spodnia może również być powlekana. LPB jest powlekana w postaci wstęgi za pomocą obustronnej bariery funkcjonalnej w procesie obróbki i można ją stosować nawet w opakowaniach aseptycznych.

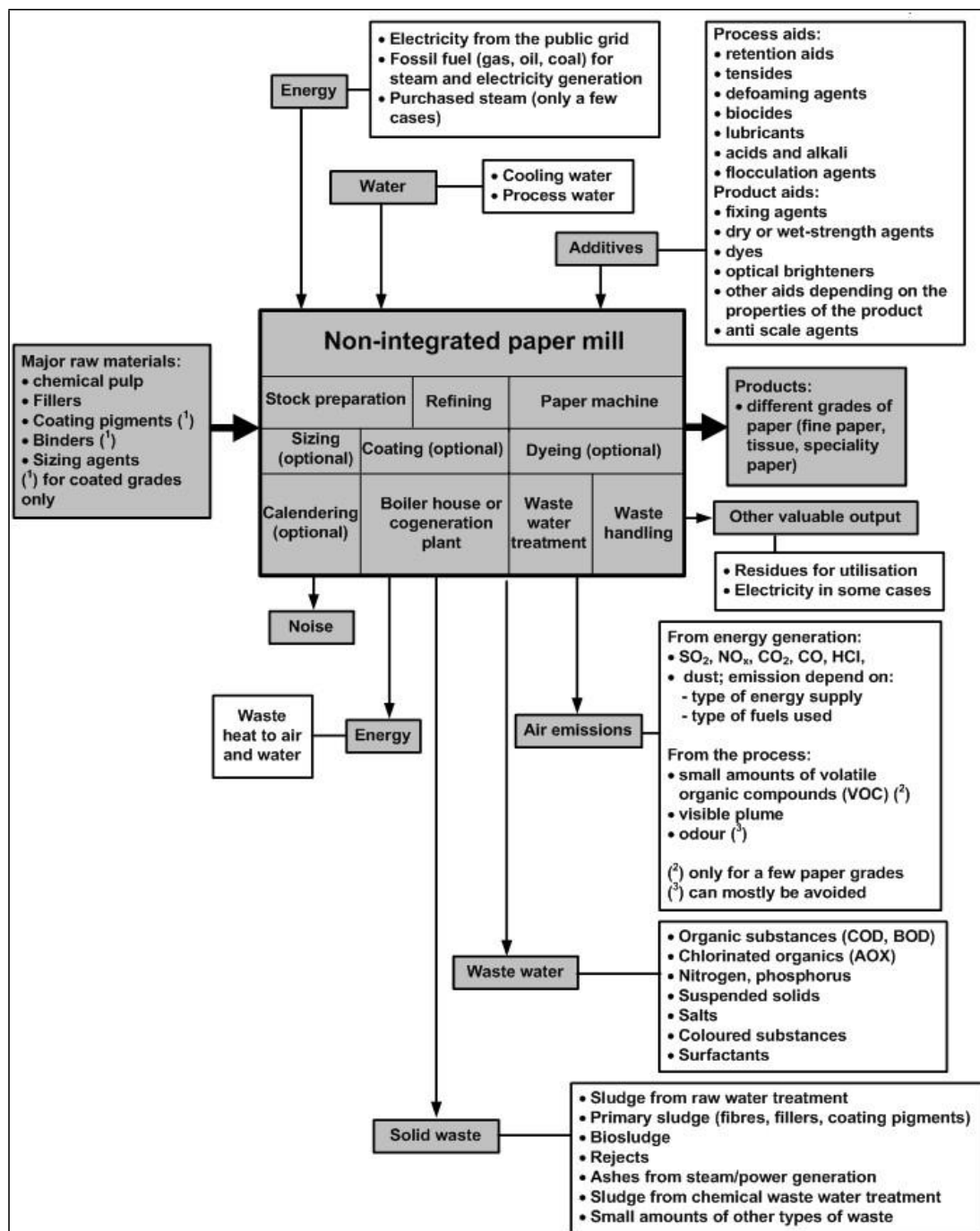
W maszynach wytwarzających FBB na ogół stosuje się cylinder MG (Yankee), żeby uzyskać dobrą gładkość powierzchni, nie pogarszając sztywności zginania. W szczególności, tektury FBB i WLC są przeważnie dzielone na arkusze w tekturni i dostarczane do klienta w postaci arkuszy, ponieważ arkuszowy druk offsetowy stanowi dominującą metodę druku w produkcji tektury litej.

Tektura falista dzieli się na linery i warstwy faliste. Liner jest to na ogół produkt dwuwarstwowy, a wierzchnia warstwa może być również powlekana. Może składać się włókien pierwotnych, niebielonych, bielonych lub ich kombinacji, a w takim przypadku zwykle nazywa się kraftliner lub biały topliner. Liner składający się włókien wtórnych może mieć do czterech warstw i wtedy nazywa się testliner. Warstwa falista jest stosowana jako warstwa środkowa tektury falistej. Może się składać z masy celulozowej półchemicznej (w takim przypadku często nazywa się fluting), łącznie z masy celulozowej półchemicznej i zawiesiny włókien wtórnych albo wyłącznie z włókien wtórnych (w takim przypadku często nazywa się Wellenstoff). Tekturę falistą dostarcza się w zwojach do zakładów wytwarzających opakowania z tektury falistej. [Uwagi CEPI WD do rozdziału 7]

## 7.2 Obecne poziomy zużycia i emisji w piapierni

### 7.2.1 Przegląd danych wejściowych i wyjściowych dla produkcji papieru i tektury

Na rys. 7.9 przedstawiono ogólny przegląd wprowadzanych do procesu produkcji surowców i energii, produkty uzyskiwane w wyniku tego procesu, pozostałości do dalszego zagospodarowania i główne uwolnienia do środowiska (emisje, odpady itd.) powodowane przez proces produkcji papieru i tektury.



Rysunek 7.9 Schemat przepływu strumienia masy w piapierni

Energy	<b>Energia</b>
• Electricity from the public grid	• Energia elektryczna z sieci publicznej
• Fossil fuel (gas, oil, coal) for steam and electricity generation	• Paliwa kopalne (gaz, olej, węgiel) do wytwarzania pary i energii elektrycznej
• Purchased steam (only a few cases)	• Zakupiona para (tylko w nielicznych przypadkach)
Water	<b>Woda</b>
Cooling water	Woda chłodząca
• Process water	• Woda produkcyjna
Additives	<b>Dotatki chemiczne</b>
Process aids:	Środki pomocnicze do procesu:
• retention aids	• środki retencyjne
• tensides	• środki powierzchniowo czynne
• defoaming agents	• środki odpieniające
• biocides	• biocydy
• lubricants	• środki poślizgowe
• acids and alkali	• kwasy i zasady
• flocculation agents	• środki flokujące
Product aids:	Środki pomocnicze do produktu:
• fixing agents	• środki utrwalające
• dry or wet-strength agents	• środki zwiększające wytrzymałość w stanie suchym lub mokrym
• dyes	• barwniki
• optical brighteners	• rozjaśniacze optyczne
• other aids depending on the properties of the product	• inne środki, zależne od właściwości produktu
• anti scale agents	• środki zapobiegające powstawaniu osadu
Non-integrated paper mill	Papiernie niezintegrowana
Stock preparation	Przygotowanie masy
Refining	Rafinowanie
Paper machine	Maszyna papiernicza
Sizing	Zaklejanie
(optional)	(fakultatywne)
Coating (optional)	Powlekanie (fakultatywne)
Dyeing (optional)	Barwienie (fakultatywne)
Calendering	Kalandrowanie
(optional)	(fakultatywne)

Boiler house or cogeneration plant	Kotłownia lub elektrociepłownia
Waste water treatment	Oczyszczanie ścieków
Waste handling	Zagospodarowanie odpadów
Major raw materials:	Podstawowe surowce:
• chemical pulp	• masa celulozowa
• Fillers	• wypełniacze
• Coating pigments (1)	• pigmenty do powlekania (1)
• Binders (1)	• substancje wiążące (1)
• Sizing agents	• środki zaklejające
(1) for coated grades only	(1) tylko dla rodzajów powlekanych
Products:	Produkty:
• different grades of paper (fine paper, tissue, speciality paper)	• różne rodzaje papieru bezdrzewnego do drukowania i pisania, bibułka tissue, papiery specjalne)
Other valuable output	Inne wartościowe materiały wyjściowe
• Residues for utilisation	• Pozostałości do wykorzystania
• Electricity in some cases	• Energia elektryczna (w niektórych przypadkach)
Noise	Hałas
Energy	Energia
Waste heat to air and water	Ciepło odpadowe do powietrza i wody
Air emissions	Emisje do powietrza
From energy generation:	Z wytwarzania energii:
• SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , CO <sub>2</sub> , CO, HCl,	• SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , CO <sub>2</sub> , CO, HCl,
• dust; emission depend on:	• pyły; emisja zależna od:
- type of energy supply	- rodzaju dostarczanej energii
- type of fuels used	- rodzaju stosowanych paliw
From the process:	Z procesu:
• small amounts of volatile organic compounds (VOC) (2)	• małe ilości lotnych związków organicznych (LZO) (2)
• visible plume	• widoczne opary
• odour (3)	• odory (3)
(2) only for a few paper grades (3) can mostly be avoided	(2) tylko dla kilku rodzajów papieru (3) przeważnie można ich uniknąć
Waste water	Ścieki
• Organic substances (COD, BOO)	• substancje organiczne (ChZT, BZT)
• Chlorinated organics (AOX)	• adsorbowalne organicznie związane

	<b>chlorowce (AOX)</b>
• Nitrogen, phosphorus	• azot, fosfor
• Suspended solids	• zawiesina cząstek stałych
• Salts	• sole
• Coloured substances	• substancje barwne
• Surfactants	• substancje powierzchniowo czynne
Solid waste	Odpady stałe
• Sludge from raw water treatment	• osad z uzdatniania wody świeżej
• Primary sludge (Fibres, fillers, coating pigments)	• osad z osadnika wstępnego (włókna, wypełniacze, pigmenty z powlekania)
• Biosludge	• osad biologiczny
• Rejects	• odrzuty
• Ashes from steam/power generation	• popioły z wytwórni pary/prądu
• Sludge from chemical waste water treatment	• osad z chemicznego oczyszczania ścieków
• Small amounts of other types of waste	• małe ilości innych rodzajów odpadów

Występowanie niektórych substancji głównie zależy od rodzaju papieru, jego założonych właściwości, rodzaju użytych surowców i sposobu zaopatrzenia w energię.

Na podstawie schematu przepływu strumienia masy można obliczyć jednostkowe zużycie surowców i jednostkową emisję na tonę produktu. W tabeli 7.3 przedstawiono dane dla największej w Europie papierni produkującej wysokiej jakości papiery bezdrzewne do drukowania i pisania, ponieważ inne dane nie były dostępne. Przykład ten jest reprezentatywny dla najbardziej efektywnych papierni.

**Tabela 7.3 Średnie roczne dane wejściowe i wyjściowe dla największej w Europie niezintegrowanej papierni produkującej wysokiej jakości bezdrzewne papiery do drukowania i pisania (powlekanie i niepowlekanie) w ilości około 1,228 mln ton rocznie (dane zaktualizowane w 2012 r.)**

Dane wejściowe			Dane wyjściowe		
Surowce	Wielkość	Jednostka	Produkt	Wielkość	Jednostka
			Papier		
Masa celulozowa bielona (5% zawartość wilgoci)	576	kg/t	Papier bezdrzewny (powlekany i niepowlekany)	1000	kg
Wypełniacze i pigmenty do powlekania (73 % s.s.)	385	kg/t	<b>Emisje</b>		
Skrobia, substancje wiążące i dodatki	74	kg/t	CO <sub>2</sub> (1)	229	kg/t
			NO <sub>X</sub> (1)	0,120	kg/t
			CO (1)	0,02	kg/t
			SO <sub>2</sub> (1)	śladowa	kg/t
<b>Energia</b>			Pył (1)	śladowa	kg/t
Gaz ziemny do wytwarzania pary	4082	MJ/t	Hałas: w 2 punktach pomiaru (2)	40 (600/1200 m)	dB(A)
Nabyta energia elektr. (3)	566	kWh/t	ChZT	0,181 60	kg/t mg/l
Całkowita energia zużyta	1700	kWh/t	BZT5	0,035 12	kg/t mg/l
Całkowita energia pierwot. (4)	2674	kWh/t	Zawiesina	0,059 20	kg/t mg/l
			AOX	0,0008 0,28	kg/t mg/l
			Nnieorganiczny	0,011 4	kg/t mg/l
			P ogólny	0,003 1	kg/t mg/l
			Para wodna	1,5	m <sup>3</sup> /t
			Ścieki	3,0	m <sup>3</sup> /t
<b>Zapotrzebowanie wody</b>			<b>Pozostałości</b>		
Woda surowa / świeża	4,2	m <sup>3</sup> /t	Osad (użyty w produkcji cegieł)	11,7	kg/t
			Inne odpady	4,5	kg/t
			Odpady niebezpieczne	0,1	kg/t
<p>(1) Nie uwzględniono emisji do powietrza związanej z nabytą energią elektryczną. Para jest wywarzana na miejscu w kotle parowym opalanym gazem. Emisje do powietrza z papierni niezintegrowanych głównie zależą od rodzaju stosowanego paliw.</p> <p>(2) Odległość od tej papierni do centrum handlowego wynosi około 600 m, a do obszaru mieszkaniowego około 1200 m.</p> <p>(3) Zużycie energii obejmuje pompowanie wody świeżej (surowej).</p> <p>(4) Udział nabytej energii w jednostkowym zużyciu energii pierwotnej oblicza się zakładając wydajność energii w firmach produkujących energię elektryczną na poziomie 36,75%, tj. 1 kWh nabytej energii odpowiada 2,75 kWh energii pierwotnej. W tym przypadku 566 kWh/t odpowiada 2673 kWh/t energii pierwotnej (np. węgla). Współczynniki przeliczeniowe: 1 MJ = 0,2778 kWh i 1 kWh = 3,6 MJ.</p> <p>[ Uwagi CEPI BATIS 25-1-12 ], [ CEPI uwagi WD rozdział 7 ]</p>					

Dane emisyjne dla zrzutów ścieków dotyczą sytuacji po dwustopniowej oczyszczalni biologicznej (wysokoobciążeniowe złożo biologiczne i osad czynny).

Tabela 7.3 odnosi się do bardzo dużej papierni. Mniejsze papiernie często mają wyższe jednostkowe zużycie energii oraz wyższe jednostkowe zużycie wody niż duże papiernie. Poniżej podano niektóre powody różnic pod względem oddziaływania na środowisko między większymi i mniejszymi papierniami:

- Ilość wody świeżej potrzebnej do ciągłego obcinania brzegów wstęgi jest taka sama dla szerszych i węższych maszyn. Z tego powodu szersze maszyny zużywają względnie mniej wody w tym celu.
- Duże maszyny na ogół produkują różne rodzaje papierów w ilościach masowych i mają bardzo duże moce produkcyjne w porównaniu z mniejszymi maszynami, ale jednocześnie duże maszyny nie są elastyczne. Skoncentrowanie się na produkcji masowej przy niewielkiej liczbie zmian rodzajów papierów przyczynia się do osiągnięcia bardziej ekonomicznych i bardziej przyjaznych dla środowiska efektów.
- Ekonomia skali ułatwia inwestycje w czystą technologię w większych papierniach.
- Większe papiernie dysponują większymi zasobami finansowymi i ludzkimi do wykorzystania w pracach badawczo-rozwojowych.

W tabeli 7.4 zestawiono poziomy zużycia surowców i emisji zanieczyszczeń dla typowych papierni produkujących bibułki tissue. Emisje podano jako typowe wielkości po oczyszczeniu gazów odlotowych i ścieków. Odpady stałe stanowią główną różnicę między papierniami wykorzystującymi włókna pierwotne i wtórne. Podczas gdy papiernie wykorzystujące włókna pierwotne wytwarzają 10 – 40 kg odpadów na tonę papieru (100% s.s.), to w wyniku produkcji z włókien wtórnych powstaje 400 – 600 kg odpadów na tonę papieru (zob. podpunkt 6.2.2.6). Niektóre zakresy wielkości w tabeli 7.4 są całkiem szerokie, ponieważ obejmują:

- różne procesy produkcji bibułek tissue (konwencjonalny, TAD, hybrydowy);
- małe i duże papiernie produkujące bibułki tissue;
- stare i nowe maszyny papiernicze;
- papiernie wykorzystujące i niewykorzystujące kogenerację (wyższe zużycie gazu ziemnego);
- papiernie dokonujące wielu zmian rodzajów papieru (więcej przerw i wznowień produkcji);
- papiernie dokonujące wielu zmian barw (wyższe zużycie wody do czyszczenia);
- papiernie w różnych regionach geograficznych (brak ograniczeń dotyczących zużycia wody w krajach skandynawskich).

Tabela 7. 4 Poziomy zużycia surowców i emisji zanieczyszczeń dla typowych papierni produkujących bibułki tissue.

Dane wejściowe			Dane wyjściowe		
Surowce	Wielkość	Jednostka	Produkt	Wielkość	Jednostka
Masa bielona celulozowa	1010 – 1020	kg/t	Bibułki tissue	1000	kg
Żywice wodoutrwalające	0 – 80	kg/t	<b>Emisje</b>		
Skrobia sucha	0 – 30	kg/t	CO <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>	300 – 1 800	kg/t
Barwniki	0 – 2	kg/t	CO <sub>2</sub> , odnawialny		kg/t
Inne dodatki	0 – 20	kg/t	NO <sub>X</sub> <sup>(1)</sup>	0,5 – 5	kg/t
			SO <sub>2</sub> <sup>(1)</sup>	0,07 – 10	kg/t
			Pył <sup>(1)</sup>	NA	kg/t
<b>Energia</b>				<b>Po zakładowej biologicznej oczyszczalni ścieków</b>	
Paliwo do suszenia wstęgi	4600 – 21 000 <sup>(2)</sup>	MJ/t	ChZT	0,3 – 4,5	kg/t
Całkowite zużycie energii elektrycznej <sup>(3)</sup>	900 – 3100 <sup>(2)</sup>	kWh/t	BZT5	0,1 – 0,5	kg/t
Całkowite zużycie energii <sup>(4)</sup>	2000 – 10 000	kWh/t	Zawiesina	(0,02)(*) 0,1 – 0,7	kg/t
			AOX	1 – 16	g/t
			Azot ogólny	(2)(*) 10 – 480	g/t
			Fosfor ogólny	(0,3)(*) 0,4 – 30	g/t
			Para wodna	1 – 3 (do 8 dla maszyny TAD)	m <sup>3</sup> /t
			Ścieki	4 – 70	m <sup>3</sup> /t
<b>Zapotrzebowanie wody</b>			<b>Pozostałości</b>		
Woda surowa/świeża	5 – 71	m <sup>3</sup> /t	Odpady stałe	10 – 40 (dla 100% s.s.)	kg/t
<p>(*) Dane w nawiasach zostały niedawno zebrane/podane w ankietach.</p> <p>(1) Emisje dla wszystkich rodzajów paliwa do wytwarzania pary. Emisje nie obejmują nabytej energii.</p> <p>(2) Górny poziom tego zakresu odnosi się do papierni produkujących bibułki przy użyciu suszenia przedmuchowego (TAD) lub technik ponownego krepowania. Suszenie TAD wymaga ogromnych ilości powietrza poruszanych przez duże dmuchawy.</p> <p>(3) Nie uwzględniono poprawki na sprawność firm produkujących energię elektryczną.</p> <p>(4) Jednostkowe zużycie energii pierwotnej można wyliczyć z tej wielkości uwzględniając wydajność energii produkujących energię elektryczną. Współczynniki przeliczeniowe: 1 MJ = 0,277 8 kWh i 1 kWh = 3,6 MJ.</p> <p>Uwaga: Dane za 2008 r. pochodzą z ETS, aktualizowane za 2012 r. w [Uwagi CEPI WD rozdział 7]. Dane dotyczące energii obejmują ogółem 53 papierni, w tym niektóre stosujące TAD. Uwzględniono papiernie wykorzystujące włókna pierwotne i wtórne. Dane dotyczące ścieków obejmują ogółem 25 papierni z zakładową biologiczną oczyszczalnią ścieków, wykorzystujących włókna pierwotne i wtórne. Dane dotyczące poziomu użycia pary wodnej dostarczyło stowarzyszenie Assocarta.</p>					

W tabeli 7.5 zestawiono poziomy zużycia surowców i emisji zanieczyszczeń dla niezintegrowanej papierni produkującej bezdrzewne papiery specjalne (powlekanie i niepowlekanie papiery specjalne do zastosowań poligraficznych i przemysłowych).



Tabela 7. 5 Średnie roczne dane wejściowe i wyjściowe dla niezintegrowanej papierni produkującej bezdrzewne papiery specjalne (powlekane i niepowlekane) w ilości 212 500 ton papieru nadającego się do sprzedaży netto.

Dane wejściowe			Dane wyjściowe		
Surowce	Wielkość	Jednostka	Produkt	Wielkość	Jednostka
Masa celulozowa bielona (5% zawartość wilgoci)	709	kg/t	Papiery specjalne, powlekane i niepowlekane	1000	kg
Wypełniacze (CaCO <sub>3</sub> , 73% s.s.)	313	kg/t			
Pigmenty powłoki (CaCO <sub>3</sub> , kaolin, 73% s.s.)	7.0	kg/t	<b>Emisje</b>		
Skrobia sucha	49	kg/t	CO <sub>2</sub>	661	kg/t
Substancje wiążące suche	0,3	kg/t	NOX	0.45	kg/t
Kleje, 20% s.s.	10,5	kg/t	CO	0.14	kg/t
Inne dodatki i barwniki	57	kg/t	SO <sub>2</sub>	0	kg/t
			Pył	Śladowa	kg/t
<b>Energia</b>			Hałas	b.d.	dB(A)
Gaz ziemny do wytwarzania pary	7180	MJ/t	ChZT	1,13 (87)	kg/t (mg/l)
Gaz dla wózków widłowych	0,019	MJ/t	BZT5	0,30 (23)	kg/t (mg/l)
Zużycie energii elektrycznej z elektrociepłowni	683	MJ/t	Zawiesina	0,20 (16)	kg/t (mg/l)
Nabyta energia elektryczna	4,8	kWh/t	AOX	0,0026 (0,2)	kg/t (mg/l)
Całkowite zużycie energii	2682	kWh/t	Nnieorganiczny	0,005 (0,4)	kg/t (mg/l)
Całkowita energia pierwotna	2690	kWh/t	N ogólny	0,066 (5.1)	kg/t (mg/l)
			P ogólny	0,015 (1,2)	kg/t (mg/l)
			Ścieki	13,0	m <sup>3</sup> /t
<b>Zapotrzebowanie wody</b>			<b>Pozostałości</b>		
Woda surowa/świeża	13,4	m <sup>3</sup> /t	Osad (użyty w produkcji cegieł)		kg/t
			Inne odpady		kg/t
Uwaga: Emisje w ściekach podano jako wielkości średnie roczne po oczyszczalni biologicznej.					
Źródło: [Uwagi CEPI D1 ]					

## 7.2.2 Poziomy zużycia i emisji

Istotne są następujące aspekty związane z produkcją papieru:

- zużycie surowców,
- wykorzystanie wody,
- wykorzystanie dodatków chemicznych,
- zapotrzebowanie energii,
- ścieki i emisje w ściekach,
- powstawanie odpadów stałych,
- emisje do powietrza z maszyn papierniczych,
- emisje do powietrza z produkcji energii,
- odory z oparów i oczyszczalni ścieków (lokalnie),
- hałas z eksploatacji maszyn papierniczych (lokalnie).

Drgania niskiej częstotliwości i emisje w postaci widocznych smug mogą również być istotne lokalnie. Nie przekazano żadnych informacji na ten temat i z tego powodu nie są one omawiane bardziej szczegółowo tutaj.

### 7.2.2.1 Zużycie głównych surowców

W produkcji papieru wykorzystuje się włókna, wodę i dodatki chemiczne. Zużycie surowców w produkcji papieru w dużym stopniu zależy od wytwarzanego rodzaju papieru oraz właściwości i jakości produktu końcowego, które trzeba osiągnąć. W tabeli 7.6 podano również przykłady wykorzystywanych surowców. Przedstawiono również niektóre cechy produktów.

Tabela 7.6 Przykłady głównych surowców stosowanych do wyrobu różnych rodzajów papieru

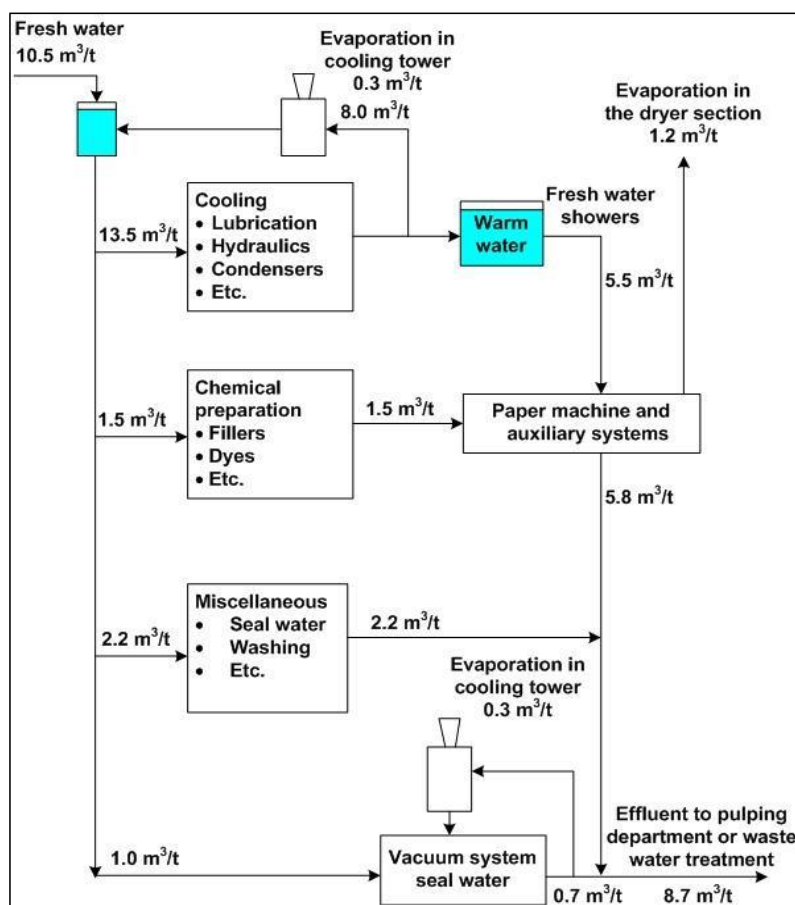
Rodzaj papieru	Główne używane surowce	Niektóre cechy produktu i jego przykłady
Papier gazetowy	Nieliczne dodawane chemikalia; niekiedy dodawane pigmenty; minimalna ilość barwnika; masa celulozowa lub włókno wtórne	Wąski zakres gramatury: 40 – 52 g/m <sup>2</sup> a) 100 – 70% włókien wtórnych + 0 – 30% masy termomechanicznej b) głównie masa termomechaniczna + 0 – 50% masy wtórnej odbarwionej
Papier pakowy siarczanowy	Bez dodanych wypełniaczy; barwiony; niebielona masa siarczanowa	Produkt o wysokiej wytrzymałości; 70 – 100 g/m <sup>2</sup>
Papiery na linery typu kraftliner lub testliner	Bez dodanych wypełniaczy; niebielona masa siarczanowa i włókno wtórne lub tylko włókno wtórne	Wyższa gramatura: 110 – 160 g/m <sup>2</sup> Testliner: 90 – 100% włókien wtórnych
Tektura	Często odmienny skład różnych warstw; przeważnie produkty wielowarstwowe; wszystkie rodzaje włókien, w tym wtórne	Wyższa gramatura: 175 g/m <sup>2</sup> + (do 2000 g/m <sup>2</sup> )
Papiery drukowe i do pisania	Wszystkie rodzaje włókien, głównie bielonych; wypełniacze, kleje, barwniki, rozjaśniacze; mogą być powlekane; szeroki zakres gramatur	Dokładnie według wymagań użytkownika; specyficzna gramatura od 30 g/m <sup>2</sup> do 50 – 60 g/m <sup>2</sup> (LWC) aż do 90 – 150 g/m <sup>2</sup>
Bibułki tissue	Bez dodanych wypełniaczy; dodatki wodoutrwalające; masa celulozowa i włókna wtórne w różnych mieszaninach	Produkt o niskiej gramaturze ( <sup>1</sup> ), np. chusteczki: 15 g/m <sup>2</sup> (trójwarstwowe), serwetki: 20 g/m <sup>2</sup> (dwuwarstwowe)
Papiery specjalne	Specyficzne procesy przygotowania masy; stosowana masa może bardzo się różnić pod względem rodzaju i jakości	Grupa ta obejmuje szeroki zakres różnych rodzajów papieru
<sup>1</sup> Gramatura wstęgi produkowanej w maszynie papierniczej do wyrobu bibułki tissue rzadko przekracza 40 g/m <sup>3</sup> . Wyższą gramaturę produktów z bibułki tissue osiąga się przez tworzenie warstw w procesie jej przetwarzania.		

### 7.2.2.2 Wykorzystanie wody

W papierniach woda świeża jest głównie wykorzystywana do następujących celów:

- Jako woda czyszcząca do masy papierniczej, zwana wodą natryskową. Zadaniem natrysków jest nawilżanie i czyszczenie tkanin formujących i filców prasowych w celu utrzymania zadowalającej efektywności odwodnienia:  $5 - 20 \text{ m}^3/\text{t}$ .
- Jako woda uszczelniająca i izolująca w komorach dławnicowych, skrzynkach ssących, układach próżniowych i hydrocyklonach:  $1 - 6 \text{ m}^3/\text{t}$ .
- Jako rozpuszczalnik i dyspergator dla wypełniaczy i dodatków:  $1,5 - 3 \text{ m}^3/\text{t}$ .
- W przypadku niektórych rodzajów papieru, np. specjalnych: dodatkowe zużycie wody w przygotowaniu masy.
- Do chłodzenia urządzeń produkcyjnych:  $3 - 10 \text{ m}^3/\text{t}$ . Woda ta jest często zawracana do procesu i wykorzystywana jako woda produkcyjna. Inne papiernie odprowadzają ją oddzielnie. Z tego powodu wody tej zwykle nie uwzględnia się w raportach o zużyciu wody w papierniach.
- Elektrownia:  $2 - 3 \text{ m}^3/\text{t}$ . Wody tej zwykle nie uwzględnia się w raportach o zużyciu wody w papierniach.

Uproszczony schemat na rys. 7.10 pokazuje przykładowo główne miejsca użycia wody świeżej. Zakłada się, że woda chłodząca jest ponownie użyta w procesie produkcyjnym. Papiernie odprowadzające wodę chłodzącą do ścieków potrzebują odpowiednio więcej wody świeżej. Porównując wielkości zużycia wody, należy się upewnić, czy porównywane ilości dotyczą tych samych miejsc jej użycia. Większość wody używanej w papierniach jest odprowadzana do ścieków i tylko jej część jest wykorzystana, gdyż jest zatrzymywana w produkcji jako zawartość wilgoci.



Rysunek 7. 10 Miejsca użycia wody świeżej w papierni.

<b>Fresh water 10.5 m<sup>3</sup>/t</b>	<b>Woda świeża 10,5 m<sup>3</sup>/t</b>
<b>Evaporation in cooling tower</b>	<b>Odparowanie w wieży chłodniczej</b>
<b>Evaporation in the dryer section 1.2 m<sup>3</sup>/t</b>	<b>Odparowanie w części suszącej 1,2 m<sup>3</sup>/t</b>
<b>Fresh water showers</b>	<b>Natryski wody świeżej</b>
<b>Warm water</b>	<b>Woda gorąca</b>
<b>Cooling</b>	<b>Schładzanie</b>
• <b>Lubrication</b>	• <b>smarowanie</b>
• <b>Hydraulics</b>	• <b>hydraulika</b>
• <b>Condensers</b>	• <b>kondensatory</b>
• <b>Etc.</b>	• <b>itd.</b>
<b>Chemical preparation</b>	<b>Przygotowanie chemikaliów</b>
• <b>Fillers</b>	• <b>wypełniacze</b>
• <b>Dyes</b>	• <b>barwniki</b>
• <b>Etc.</b>	• <b>itd.</b>
<b>Paper machine and auxiliary systems</b>	<b>Maszyna papiernicza i układy pomocnicze</b>
<b>Miscellaneous</b>	<b>Różne</b>
• <b>Seal water</b>	• <b>woda uszczelniająca</b>
• <b>Washing</b>	• <b>mycie</b>
• <b>Etc.</b>	• <b>itd.</b>
<b>Evaporation in cooling tower</b>	<b>Odparowanie w wieży chłodniczej</b>
<b>Vacuum system seal water</b>	<b>Woda uszczelniająca układ próżniowy</b>
<b>Effluent to pulping department or waste water treatment</b>	<b>Ścieki do wytwórni masy włóknistej lub oczyszczalni ścieków</b>

Na rys. 7.10 pokazano przykładowo papiernię zużywającą 10,5 m<sup>3</sup>/t wody świeżej. Wodę chłodzącą z powrotem zawraca się do obiegu dzięki użyciu wież chłodniczych (otwarty układ recyrkulacyjny, zob. podpunkt 2.4.2.1). Na rysunku pokazano tylko średni przepływ wody (różnicę między jej poziomem wejściowym i wyjściowym) w czasie ciągłej eksploatacji. Nie uwzględniono niezrównoważonego przepływu wody, np. podczas rozruchu, kiedy na ogół zużywa się więcej wody. „Różne” to w pewnym zakresie „szara strefa”, której nie należy pomijać (np. poziom przepływu wody zawracanej z układów próżniowych o pierścieniu cieczowym mieści się w zakresie 1 – 3 m<sup>3</sup>/t).

Wodę świeżą zwykle wprowadza się do procesu wyrobu papieru poprzez część formującą maszyny papierniczej i natryski części prasowej, a następnie zasila ona różne procesy przemywania i rozcieńczania w papierni.

W czasie przygotowania masy woda świeża nie jest na ogół potrzebna do rozcieńczania wprowadzanej masy włóknistej, z wyjątkiem papierów specjalnych i papierów wysokiej jakości oraz w czasie rozruchu i zmian w produkcji. Jeśli dostępna jest woda podsitowa o różnej jakości, do urządzeń rozczyniających można by użyć wody o największej zawartości włókna (filtratu mętnego). Jednakże, większą część filtratu mętnego wykorzystuje się w krótkim obiegu do dostosowania stężenia wprowadzanej zawiesiny masy włóknistej. Potrzeba użycia wody świeżej jest więc ograniczona do rozcieńczania dodatków chemicznych i jako wody uszczelniającej niektóre urządzenia. Większość dodatków chemicznych musi być rozcieńczana wodą świeżą przed wprowadzeniem do układu maszyny papierniczej, ponieważ w przeciwnym razie mogłyby pojawić problemy z jakością i należało by wtedy zwiększyć ich dawki. W przypadku rozcieńczania wypełniaczy niekiedy wodę świeżą może zastąpić woda sklarowana, jeśli nie ma ryzyka rozwoju mikroorganizmów beztlenowych.

Podczas przepływu zawiesiny masy włóknistej przez wytwórnię masy lub papiernię w poszczególnych fazach procesu potrzebne są różne jej stężenia. Każdy wzrost stężenia włókien tworzy w danym punkcie ścieki, których ilość i rodzaj typ zanieczyszczeń zależy od danej operacji jednostkowej. Zdolność do zawrócenia tej wody do innego fazy procesu mogą ograniczać warunki chemiczne w różnych fazach.

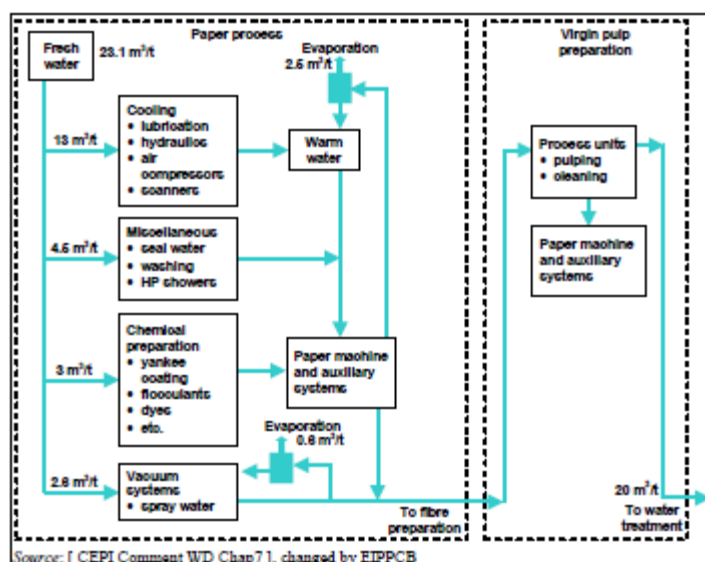
Ilość wody świeżej użytej do wyrobu papieru zmienia się, w zależności od rodzaju papieru, charakteru surowców i końcowego poziomu jakości każdego rodzaju papieru.

#### **Dodatkowe wyjaśnienia dotyczące jednostkowego zużycia wody w papierniach produkujących bibułki tissue**

W odniesieniu do użycia wody świeżej w papierniach produkujących bibułki tissue należy uwzględnić dwa główne czynniki. Jednym z nich jest potrzeba utrzymania wysokiego poziomu czystości samego produktu (wykorzystywanego do celów higienicznych) i tkanin maszyny papierniczej produkującej bibułki tissue. Drugim czynnikiem jest bardzo niska wielkość produkcji wynikająca z niewielkiej gramatury wytwarzanych produktów (wahającej się między 12 g/m<sup>2</sup> i 48 g/m<sup>2</sup> w części sitowej w porównaniu z 40 – 50 g/m<sup>2</sup> for dla papieru gazetowego, 50 – 100 g/m<sup>2</sup> dla papierów drukowych i do pisanie oraz kilkaset g/m<sup>2</sup> for dla papierów do opakowań).

Chociaż bezwzględna ilość wody użytej w papierni produkującej bibułki tissue może nie różnić się znacząco od ilości wykorzystywanej w niektórych innych papierniach, te dwa czynniki mogą łącznie spowodować wyższe jednostkowe zużycie wody.

W papierni produkującej bibułki tissue istnieją pewne miejsca, w których potrzebna jest woda świeża. Jest to woda do natrysków usuwających zanieczyszczenia z powierzchni filtrów prasowych, woda do natrysków wysokociśnieniowych oczyszczających sito i woda do różnych celów. Różne zastosowania będą zmieniały się w układach różnych maszyn w zależności od działań operatora, urządzeń obiegu wody podsitowej i pojemności kadzi magazynowych oraz stopnia automatyzacji i zakresu informacji dostępnych dla operatora. Różne zastosowania obejmują m.in. zużycie wody świeżej do przygotowania dodatków chemicznych, w natryskach nawilżających (wewnątrz walców dociskowych itd.), w pompach próżniowych itd. Niektóre z nich, takie jak przygotowanie dodatków chemicznych, mogą być proporcjonalne do wielkości produkcji. W papierni stosującej BAT woda sklarowana powinna nadawać się zamiast świeżej do wszystkich innych celów. Na rys. 7.11 przedstawiono przepływ wody w typowej papierni produkującej bibułki tissue z włókien pierwotnych..



Rysunek 7. 11 Schemat typowego przepływu wody w niezintegrowanej papirni produkującej bibułki tissue z włókien pierwotnych.

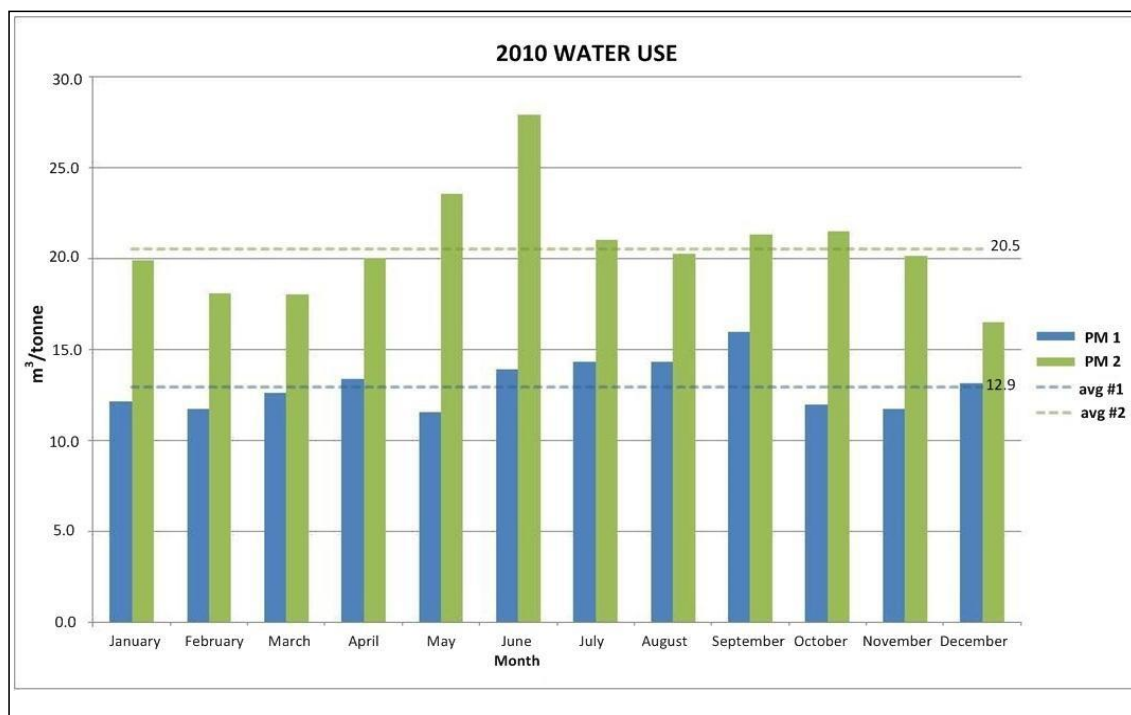
Fresh water	Woda świeża
Paper process	Proces wyrobu papieru
Evaporation	Odparowanie
Cooling	Schładzanie
• lubrication	• smarowanie
• hydraulics	• hydraulika
• air compressors	• sprężarki powietrza
• scanners	• skanery
Warm water	Woda gorąca
Miscellaneous	Różne
• seal water	• woda uszczelniająca
• washing	• mycie
• HP showers	• natryski wysokociśnieniowe
Chemical preparation	Przygotowanie chemikaliów
• yankee coating	• powłoka cylindra Yankee
• flocculants	• flokulanty
• dyes	• barwniki
• etc.	• itd.
Paper machine and auxiliary systems	Maszyna papiernicza i układy pomocnicze
Evaporation	Odparowanie

<b>Vacuum systems • spray water</b>	<b>Układy próżniowe • woda natryskowa</b>
<b>To fibre preparation</b>	<b>Do przygotowania włókien</b>
<b>Virgin pulp preparation</b>	<b>Przygotowanie masy z włókien pierwotnych</b>
<b>Process units</b>	<b>Jednostki produkcyjne</b>
<b>• pulping</b>	<b>• rozczynianie</b>
<b>• cleaning</b>	<b>• czyszczenie</b>
<b>Paper machine and auxiliary systems</b>	<b>Maszyna papiernicza i układy pomocnicze</b>
<b>To water treatment</b>	<b>Do oczyszczania wody</b>
<i>Source:</i> [ CEPI Comment WD Chap7 ], changed by EIPPCB	<i>Źródło:</i> [ Uwaga CEPI WD rozdział 7 ], zmienione przez EIPPCB

W przypadku zmian rodzajów i barw papieru, postojów maszyny, eksploatacji kilku maszyn w jednej papierni itd. może wzrosnąć jednostkowe zużycie wody. Czynniki te zależą od danego zakładu, ale mogą podnieść zużycie wody o 25% lub więcej. Ogólnie rzecz biorąc, papiernie, które wytwarzają mniej zróżnicowane produkty, w mniejszej liczbie barw, stosując mniej środków wodo-utrwalających lub zwiększających wytrzymałość w stanie suchym, a wykorzystują większe maszyny, zużywają mniej wody – i odwrotnie. Raportowane wielkości zużycia wody świeżej w 29 niezintegrowanych papierniach produkujących bibułki tissue wahały się w zakresie od 2 m<sup>3</sup>/t do 42 m<sup>3</sup>/t [ dane ETS z 2008 ]

Na rys. 7.12 przedstawiono zużycie wody w dwóch podobnych maszynach w tej samej papierni. Maszyna papiernicza nr 2 produkuje tylko barwne bibułki tissue z wieloma zmianami barw: jej średnie miesięczne zużycie wody jest większe o 5 – 15 m<sup>3</sup>/t na skutek wielu zmian barw. Zmienność dla obu maszyn w ujęciu miesięcznym wynika z:

- większej lub mniejszej ilości postojów,
- większej lub mniejszej ilości zmian rodzajów produktu na maszynie papierniczej nr 1 (różnica do 5 m<sup>3</sup>/t lub 40%),
- większej lub mniejszej ilości zmian barw na maszynie papierniczej nr 2 (różnica do 10 m<sup>3</sup>/t lub 60%).



Rysunek 7. 12 Różnica zużycia wody w dwóch podobnych maszynach produkujących bibułki tissue na skutek zmian barw.

2010 WATER USE	ZUŻYCIE WODY W 2010 R.
<b>m<sup>3</sup>/tonne</b>	<b>m<sup>3</sup>/t</b>
PM 1	MP 1
PM 2	MP 2
avg #1	Średnio MP 1
avg #2	Średnio MP 2
Month	Miesiąc
January	Styczeń
February	Luty
March	Marzec
April	Kwiecień
May	Maj
June	Czerwiec
July	Lipiec
August	Sierpień
September	Wrzesień
October	Październik
November	Listopad



December	Grudzień
Source: CEPI comments WD Chap 7	Źródło: Uwagi CEPI WD rozdział 7

Nawet w tej samej maszynie zmiana jej prędkości i gramatury może znacząco wpływać na jednostkowe zużycie wody. Ogólnie rzecz biorąc, maszyny produkujące bibułki tissue pracują w znacznie szerszym zakresie prędkości i gramatury niż większość innych maszyn papierniczych. Ta sama maszyna może wytwarzać bibułki tissue w zakresie gramatur, którego górny poziom jest aż czterokrotnie wyższy od poziomu dolnego, np. od 12 g/m<sup>2</sup> do 48 g/m<sup>2</sup>, i może pracować z prędkością od 500 m/min do 1200 m/min. W całym tym zakresie może występować znaczące zróżnicowanie jednostkowego zużycia wody.

Można stwierdzić, że nie ma podstawowych różnic między metodami ograniczającymi zużycie wody w papierniach produkujących bibułki tissue i innymi papierniami. Jednakże, ze względu na duże zróżnicowanie, które może wystąpić w maszynie produkującej bibułki tissue, główna różnica polega na zakresie, w jakim papierniach produkujących bibułki tissue można zmniejszyć dwójce jednostkowe zużycie wody.

### 7.2.2.3 Stosowanie dodatków chemicznych

W tabeli 7.7. przedstawiono przykłady głównych dodatków i ich zastosowania. Szereg procesów i funkcjonalnych dodatków chemicznych jest opartych na syntetycznych związkach polimerycznych i nie ulegają łatwo biodegradacji, inne zaś klasyfikuje się jako niebezpieczne dla środowiska lub cieków wodnych. Może to dotyczyć niektórych środków utrwalających i retencyjnych, środków wodo-utrwalających lub zwiększających wytrzymałość w stanie suchym, klejów polimerowych lub substancji wiążących do powlekania. Ogromna większość tych dodatków chemicznych, które wprowadza się do masy włóknistej przed formowaniem wstęgi, pozostaje prawie w całości w papierze na skutek ładunku kationowego lub na skutek utrwalań polimerami kationowymi. W ten sposób ogranicza się problemy związane z ochroną jednolitych części wód. Środki zaklejające i powłoki nakłada się bezpośrednio na powierzchnię ukończoną wstęgą albo w wodnym roztworze kleju (prasa zaklejająca), albo w zamkniętym obiegu w przypadku mieszanek powlekających. Tylko w czasie zmian rodzajów papierów lub ich składu pozostałości tych koncentratów chemikaliów są odprowadzane poprzez oczyszczalnię ścieków.

Dodatki chemiczne zwiększają ładunek zanieczyszczeń w ściekach lub mogą akumulować się w środowisku i organizmach. W podpunkcie 2.3.2.2. przedstawiono bardziej szczegółowe informacje dotyczące Rozporządzenia w sprawie rejestracji, oceny, udzielania zezwoleń i stosowanych ograniczeń w zakresie chemikaliów [ 200, Rozporządzenie REACH (WE) nr 1907/2006 ], które ma podawać zaktualizowane fakty o wszystkich chemikaliach.

Jeśli dodatki te są stosowane zgodnie z instrukcjami, to nie powinny znacząco negatywnie wpływać na sprawność oczyszczalni ścieków. Nie można wykluczyć negatywnego wpływu nagłych zmian ładunku na skutek czyszczenia systemu lub zmiany okresowo podawanych dodatków w celu spełnienia wymagań dotyczących produktów. W tym przypadku biomasa może wymagać pewnego okresu dostosowania się do dodatków występujących w ściekach. W tym ograniczonym okresie czasu może zmniejszyć się sprawność oczyszczalni i mogą pogorszyć się warunki osadzania osadu (wzrost indeksu objętościowego osadu). Z tego powodu dodatki należy stosować ostrożnie i zgodnie z instrukcją. W taki sposób należy interpretować uwagi w prawej kolumnie tabeli 7.7.

Tabela 7. 7 Główne procesy i środki pomocnicze oraz ich zastosowanie w przemyśle papierniczym.

Środki nadające produktowi określone cechy	Cel stosowania	Przykłady	Uwagi
<b>Wypełniacze</b>	Poprawa drukowności, nieprzezroczystość, białość, gładkość połysk, zastąpienie (oszczędzanie) włókien	Kaolin, talk, wapno, gips, dwutlenek tytanu, węglan wapnia	
Środki zaklejające	Poprawa jakości powierzchni, hydrofobizacja papieru	Skrobia modyfikowana, modyfikowane żywice naturalne, emulsje woskowe, produkty syntetyczne, jak np. dimery alkiloketenu i polimery bezwodnika kwasu malenowego	Niektóre mogą być toksyczne dla bakterii, jeśli mają charakter kationowy, natomiast zapewniają wysoką retencję włóknom
Środki utrwalające	Poprawa adsorpcji dodatków na włóknach	Siarczan glinu [Al <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>3</sub> ], aminy kationowe	Głównie produkty kationowe, które mogą być toksyczne dla bakterii
Środki zwiększające wytrzymałość w stanie suchym	Poprawa wytrzymałości w warunkach suchych	Skrobia zmodyfikowana	Niektóre mogą być toksyczne dla bakterii, jeśli mają charakter kationowy
Środki wodo-utrwalające	Poprawa wytrzymałości w warunkach mokrych	Polimery mocznikowo-formaldehydowe, polimery melaminowo- formaldehydowe, produkty kondensacji epichlorohydryny	Zwykle toksyczne dla bakterii, niektóre powodują wzrost AOX
Barwniki	Nadanie papierowi pewnej barwy i/lub białości	Związki azowe, aminy czwartorzędowe	Trudne do usunięcia, niektóre są toksyczne, mogą zawierać metale ciężkie
Rozjaśniacze toksyczne	Dzięki nim papier wydaje się bardziej biały	Chemikalia na bazie kwasu 4,4-diaminostilbeno-2,2-disulfonowego	Niektóre substancje kationowe mogą być toksyczne
<b>Chemikalia do powlekania</b>	Nadanie powierzchni papieru niektórych właściwości	Pigmenty, środki wiążące, środki wodoutrwalające, dyspergatory i środki smarujące, środki przeciwpianowe, środki do zwalczania śluzów	Środki wiążące muszą być zdestabilizowane przed zmieszaniem z innymi ściekami, w przeciwnym przypadku mogą zakłócać klarowanie
<b>Środki tłuszczoodporne lub wodoodporne</b>	Nadanie papierowi właściwości tłuszczo- lub wodoodpornych, np. papiery do pieczenia, powlekane kubki do napojów, opakowanie do żywności typu	Związki perfluorowane (np. oparte na żywicach fluorowęglowych (FC) and perfluoropolieterze (PFPE)) są stosowane do impregnacji niektórych papierów; w przypadku etykiet	Trwałe i zdolne do bioakumulacji; perfluorowęglowodory stosowane do impregnacji papieru nie zawierają PFOS, ale mogą zawierać

	fast food i pudełka do pizzy	samoprzylepnych żywice fluorowęglowe są stosowane do zapobiegania wnikania kleju. Związki fluoru są tak zaprojektowane, żeby wiązać się z włóknami	FTOH i PFOA w dolnym zakresie ppm, śladowe zanieczyszczenia
<b>Środki retencyjne</b>	Retencja włókien, frakcji drobnej i wypełniaczy; wzrost produkcji dzięki poprawie odwadniania; zmniejszenie emisji zanieczyszczeń	Siarczan glinu, glinian sodu, chlorek poliglinowy, produkty skrobiowe, gumy, poliakrylamidy anionowe, poliakrylamidy niejonowe, polimery kationowe, bentonit	Głównie produkty kationowe
<b>Środki powierzchniowo czynne</b>	Czyszczenie filców, sit i urządzeń, czyszczenie system obiegów wodnych, dyspergowanie substancji	Kwaśne i zasadowe środki powierzchniowo czynne	Może powodować flotację osadu
<b>Środki przeciw pianowe</b>	Zapobieganie powstawaniu piany i jej rozkład	Etoksylogowane kwasy tłuszczowe, polioksyetylen, pochodne kwasów tłuszczowych, wyższe alkohole, estry kwasu fosforowego, produkty z oleju roślinnego	Środki odpowietrzające mogą ograniczać doprowadzenie tlenu w oczyszczalni
<b>Biocydy (środki śluzobójcze)</b>	Zapobieganie wzrostowi mikroorganizmów	Organiczne związki bromu, siarki i azotu, aminy czwartorzędowe, dwutlenek chloru, woda utleniona	Niektóre zawierają AOX, są one toksyczne, kiedy trafiają do oczyszczalni ścieków w wyższym stężeniu

Bardziej szczegółowe informacje dotyczące przechowywania dodatków chemicznych i postępowania z nimi podano w punkcie 2.3.2.

### 7.2.2.4 Zapotrzebowanie energii

Przemysł papierniczy można ogólnie określić jako energochłonny. Energia stanowi jeden z czynników o najwyższym udziale w kosztach ogólnych procesu wyrobu papieru, stanowiącym w przybliżeniu 10 – 25% lub więcej ogólnych kosztów produkcji.

Rozwój wiarygodnych sektorowych i odnoszących do określonych poziomów referencyjnych zużycia energii jest zadaniem kompleksowym [ 194, Francis 2007 ]. Potrzebne są międzynarodowe działania zmierzające do harmonizacji procesu gromadzenia danych w celu umożliwienia wiarygodnych porównań energochłonności [ 197, IEA 2007 ].

Porównując zużycie energii w papierniach wytwarzających produkty pewnego rodzaju lub jakości, należy uwzględnić główne czynniki wpływające na jednostkowe zużycie energii (JZE) w danej papierni (zob. punkt 2.5.1), np. granice systemu, wytwarzanie energii (dostawy energii elektrycznej i pary, skojarzone wytwarzanie ciepła i energii elektrycznej), działy produkcyjne funkcjonujące w papierni (np. przygotowanie masy włóknistej, przetwarzanie włókien wtórnych, wyrób papieru), stosowany proces (np., rafinowanie, powlekanie, kalandrowanie), określoną jakość produktu, miks produktowy i niektóre inne czynniki. Wyjaśnienia i liczby przedstawione w tabeli 7.8 dają ogólne pojęcie na temat istotności energii dla głównych procesów oraz możliwości zmniejszenia energochłonności wyrobu papieru.

Procesy wyrobu papieru można podzielić na główne działy produkcyjne:

- (i) przygotowanie masy,
- (ii) część mokra,
- (iii) część sucha, po której następuje:
- (iv) fakultatywne wykończanie i powlekanie.

Można je dalej podzielić na główne jednostki produkcyjne. W tabeli 7.8 przedstawiono rolę energii w każdym z tych procesów oraz potencjalne możliwości zaoszczędzenia energii w etapach produkcji.

**Tabela 7.8 Rola energii w głównych etapach wyrobu papieru i możliwości usprawnień.**

Główne procesy	Główne jednostki produkcyjne	Rodzaj energii i jej rola w każdym procesie	Możliwości zaoszczędzenia energii (zainstalowane urządzenia w stosunku do najnowszych rozwiązań)
Przygotowanie masy	Rozczynianie	Do 30 kWh, żeby przetworzyć suchą masę w stan zawiesiny, łącznie z pompami	Umiarkowane
	Oczyszczanie/sortowanie	Ilość energii na pompowanie i podgrzanie zawiesiny zależy od wymaganego stężenia, liczby wymaganych stopni i rodzaju włókien (włókna wtórne wymagają więcej energii niż pierwotne); około 10 kWh/t dla włókien pierwotnych, łącznie z pompami	Małe dla włókien pierwotnych; umiarkowane dla włókien wtórnych
	Rafinowanie	Bardzo energochłonne. Energia elektryczna jest wykorzystywana głównie do napędu wirnika w rafinerze. Istotnie zależy od surowca i właściwości papieru,	Małe - średnie dla rodzajów standardowych; duże dla rodzajów specjalnych

		które mają być osiągnięte: Standardowe rodzaje papieru (gazetowy/LWC itd.): 50 – ~400 kWh/t; Papiery specjalne (kalka kreślarska itd.): do 3000 kWh/t	
Część mokra	Formowanie i odwadnianie	Duże ilości energii elektrycznej do napędu maszyn i na procesy próżniowe. Napędy: efektywna energetycznie konstrukcja wlewu (opory przepływu, pompa zasilająca wlewu) i maszyna dwusitowa (mniej próżni) zapewniają oszczędności energii elektrycznej . Próżnia: około 80 kWh/t na systemy próżniowe (zależnie od rodzaju i porowatości papieru)	Małe. Duże, z odzyskiwaniem ciepła (jeśli można wykorzystać odzyskaną energię np. do podgrzania hali, podgrzania wody natryskowej i wody podsitowej)
Część sucha	Prasowanie	Efektywne odwadnianie (technologia szerokiej strefy styku) może przynieść bardzo duże oszczędności energii (zwiększona suchość również umożliwia przyspieszenie maszyny)	Duże
	Suszenie	Poza rafinowaniem , jest to najbardziej energochłonny proces wyrobu papieru. Głównie energia cieplna, nawet w przypadku technologii szerokiej strefy styku	Duże – bardzo duże
	Prasa zaklejająca i sekcja dosuszania	Energia cieplna na suszenie po prasie zaklejającej	Małe
	Kalandrowanie	Energia elektryczna do napędu maszyn i na prasowanie, energia cieplna na ogrzewanie	Małe – duże, w zależności od rodzaju papieru (wyższy połysk wymaga wyższej temperatury)
Powlekanie	Powlekanie i suszenie	Energia elektryczna i cieplna na dosuszenie	Małe
<b>Jednostki pomocnicze</b>			
Zakład energetyczny	Kocioł (kotły), turbina	Energia cieplna (ciśnienie pary)	Średnie - duże
Oczyszczanie ścieków	Techniki tlenowe	Napowietrzanie, pompy. Efektywne napowietrzacze, efektywna energetycznie koncepcja konstrukcji i eksploatacji oczyszczalni ścieków	Średnie. Energia cieplna (produkcja biogazu), w zależności od cech ścieków
Wentylacja mechaniczna	Wentylatory/ wymienniki ciepła	Energia elektryczna i cieplna (okapturzenie z wysokim punktem rosy)	Średnie
HVAC <sup>(1)</sup>	Wymienniki ciepła	Energia cieplna z odzyskiwania	Średnie - duże

		ciepła z pokrywy wyciągu powietrza, układu próżniowego typu Turbair lub okapturzenia suszarki	
Układ pary i kondensatu	Wymienniki ciepła	Odzyskiwanie energii cieplnej z cylindrów suszących	Małe
Smarowanie	Wymienniki ciepła	Małe	Małe
Hydraulika	Pompy	Energia elektryczna	Małe
Chemikalia, przygotowanie skrobi	Rozdrabniacze, pompy, wymienniki ciepła	Energia cieplna i elektryczna	Małe
Obróbka	Napędy	Energia elektryczna	Małe
Transport	Napędy	Energia elektryczna	Małe
Opakowanie	Napędy	Energia elektryczna	Małe
<sup>(1)</sup> HVAC = ogrzewanie, wentylacja i klimatyzacja Źródło: Niepublikowane dane dostawcy z 2010 r. Dane stanowią wyniki audytów energetycznych wykonanych w okresie 2005-2010.			

Przedstawianie informacji dotyczących zużycia energii według etapów procesu zamiast dla całej papieri umożliwia istotne porównanie zużycia we wszystkich papierniach i krajach pomimo znacznie odmiennych procesów i miksów produktowych. Można dokonać porównania dla określonego etapu procesu z podobnymi etapami w innych papierniach. Metodologia ta umożliwiłaby bardziej precyzyjne szacowanie niż podejście obejmujące całą papiernię [ 194, Francis 2007 ], [ 197, IEA 2007 ]. Podejście obejmujące całą papiernię zawsze wymaga dokładnej oceny odpowiednich czynników oraz precyzyjnego określenia przypadków granicznych, żeby uniknąć niewłaściwej interpretacji.

W tabeli 7.9 przedstawiono przykład zużycia energii w postaci ciepła i energii elektrycznej dla całej niezintegrowanej papieri wytwarzającej wysokogatunkowe papiery bezdrzewne przy powlekanii typu on-line. Podane liczby dotyczą papieri, której wiek technologii nie przekracza pięciu lat. Wartości te odnoszą się do wszystkich etapów procesu, począwszy od rozczynienia masy włóknistej do produktu finalnego, a także do niezbędnych działów obsługi. Zużycie energii w procesie powlekania uwzględniono w przypadku produkcji papieru powlekanego (zdolność produkcyjna papieri wynosi 150 000 t/rok wysokogatunkowego bezdrzewnego papieru powlekanego z zakupionej masy celulozowej; zawartość pigmentu w tym papierze wynosi 25%, a zawartość wilgoci 4.5%).

**Tabela 7.9 Przykładowe zużycie energii (faktyczne wielkości zużycia pary, gazu i energii elektrycznej przy 100% wydajności) w papierni niezintegrowanej wytwarzającej papier powlekany ze zdolnością produkcyjną 150 000 t/rok.**

Dział	Energia cieplna	Energia elektryczna (kWh/t)
Przygotowanie masy (rozczylniacz, rafinowanie, wieża magazynowa)	0	206
Maszyna papiernicza		
• para	1090	
• gaz	130	583

(łącznie z powlekarką)		
Kuchnia powlekarki (przygotowanie mieszanki powlekającej; zapotrzebowanie energii zależy od składu i połączenia mieszanek powlekających)	575	36
Papiernia ogółem	<b>1795</b>	<b>825</b>
Oczyszczalnia ścieków	<b>0</b>	<b>4</b>
<b>Całkowite zużycie na tonę papieru</b>	<b>1795</b>	<b>829</b>
Generator turbiny		<b>0</b>
<b>Całkowita dostawa energii z zewnątrz</b>	<b>1795</b>	<b>829</b>
<i>Źródło:</i> Niepublikowane dane dostawcy z 2010 r. Dane stanowią wyniki audytów energetycznych wykonanych w okresie 2005-2010.		

Liczba określająca wielkość dostawy z zewnątrz pokazuje poziom całkowitego zapotrzebowania, które pokrywają zakupy oleju opałowego, węgla i gazu ze źródeł zewnętrznych. Dalsze przykłady można znaleźć w punkcie 2.5.2.

### **Energia cieplna w przemyśle papierniczym**

Energia cieplna jest wykorzystywana głównie do czterech celów:

- ogrzewanie wody i cieczy warzelnych, drewna lub masy włóknistej, powietrza i chemikaliów do temperatury wymaganej w procesie;
- odparowanie wody;
- pokrycie strat ciepła emitowanego do otoczenia;
- przemiana ciepła w energię elektryczną.

#### *Ogrzewanie wody i cieczy warzelnych, drewna lub masy włóknistej, powietrza i chemikaliów do temperatury wymaganej w procesie*

Systemy zawiesiny masy włóknistej i wody podsitowej są często dostatecznie ciepłe bez dodatku pary grzejnej. Z punktu widzenia oszczędności energii istotne znaczenie ma ograniczenie do minimum zużycia wody świeżej i zwiększenie zakresu wykorzystania wody podsitowej. W papierniach niezintegrowanych poza wyjątkowym dodaniem ciepłej wody świeżej często konieczny jest obieg wody podsitowej przez układ odzyskiwania ciepła w celu utrzymania właściwego poziomu temperatury w układzie wody podsitowej.

#### *Odparowanie wody*

W papiernictwie suszenie papieru jest najbardziej energochłonnym etapem produkcji, w czasie którego większość ciepła zużywa się na odparowanie wody z wstęgi papieru. Istotne znaczenie ma ograniczenie do minimum ilości wody do odparowania sposobami mechanicznymi (prasowanie). Rozwój technologiczny w zakresie części prasowej (zastosowanie maszyny dwusitowej i prasy o poszerzonej strefie prasowania) doprowadził do nieco niższego poziomu wilgotności papieru wprowadzanego do części suszącej (nie dotyczy to bibulek tissue). W przypadku zaklejania powierzchniowego lub powlekania już wysuszony papier trzeba suszyć ponownie po naniesieniu na powierzchnię wstęgi papieru skrobi lub mieszanki powlekającej. Wyższe stężenie i temperatura mieszanki powlekającej zapewniają niższe zużycie ciepła, ze względu na możliwość zastosowania wyższej temperatury w procesie powlekania.

#### *Pokrycie strat ciepła emitowanego do otoczenia*

Większą część ciepłego powietrza odprowadzanego z części suszącej rekompensuje doprowadzone suche powietrze, które trzeba ogrzać ponownie (straty ciepła do środowiska po przejściu przez kilka wymienników ciepła określa się jako całkowite straty ciepła). Zapotrzebowanie ciepła można ograniczyć zmniejszając przepływ powietrza przez część suszącą. Wymaga to zastosowania okapturzenia o wysokim punkcie rosy (w najnowszych rozwiązaniach wynosi on 60 – 62°C). Zapewnia to również wyższą wilgotność powietrza odprowadzanego, co podnosi wartość tego powietrza jako źródła ciepła wtórnego. Odzyskiwanie ciepła w wymiennikach ciepła, np. w przypadku powietrza doprowadzanego, wody produkcyjnej i ogrzewania budynku, również zmniejsza zużycie energii. Można również zmniejszyć wielkość całego układu odzyskiwania ciepła, np. przewodów, wymienników ciepła i wentylatorów.

#### *Przemiana ciepła w energię elektryczną*

W coraz większej liczbie papierni zainstalowano urządzenia do skojarzonej produkcji ciepła i energii elektrycznej, która polega na przemianie energii pierwotnej na parę i energię elektryczną. W większości przypadków wytwarzana para ma wysokie ciśnienie i temperaturę, a turbina zmniejsza ciśnienie do poziomu, który można zastosować w części suszącej maszyny papierniczej.

#### **Energia elektryczna w przemyśle papierniczym**

Energia elektryczna jest głównie używana do eksploatacji różnych silników napędowych i do rafinowania w ramach przygotowania masy.

- Silniki wykorzystuje się do napędu wentylatorów, pomp, sprężarek, mieszadeł, głównego napędu maszyn papierniczych, układów próżniowych, różnych przenośników itd.
- W przypadku rafinowania energia elektryczna jest głównie wykorzystywana do napędu rotora w rafinerze. Zużycie energii jest odmienne dla różnych produktów, przy czym produkcja papierów filtracyjnych i bibuły wymaga najmniej energii, natomiast wyrób kalki kreslarskiej jest najbardziej energochłonny. W tabeli 7.10 pokazano typowe zużycie energii elektrycznej netto do rafinowania. Dane te odnoszą się do energii elektrycznej netto, tj. energii zaabsorbowanej przez włókna (kWh/t), która jest wprowadzana do włókien jako zdolność rozdrabniania. Każdy rafiner podnosi ciśnienie w układzie, co określa się jako energię zużywaną podczas pracy bez obciążenia, w czasie której energię zużywa się do pokonania oporów mechanicznych i sił turbulencji, i z tego względu nie jest ona dostępna do rafinowania włókien. Potrzebną energię brutto stanowi energia netto plus energia zużywana podczas pracy bez obciążenia, która jest większa o 30 – 50% niż energia netto.

**Tabela 7. 10** Typowe zużycie energii elektrycznej na rafinowanie według produktów.

Rodzaj papieru	Zużycie energii netto <sup>(1)</sup> na rafinowanie (kWh/t)	Uwagi
Bibułki tissue	Do 30	Rafinowanie w trybie obejściowym, zamiast całej ilości, zob. tabelę 7.15
Drukowe i do pisania	60 – 200	W zależności od mieszaniny długich i krótkich włókien, zob. tabelę 7.15
Papier samokopiujący	150 – 200	W zależności od mieszaniny długich i krótkich włókien, zob. tabelę 7.15
Papier pergaminowy/papiery tłuszczoszczelne	450 – 600	W zależności od mieszaniny długich i krótkich włókien, zob. tabelę 7.15
Kalki kreslarskie	800 – 1 200	W zależności od mieszaniny długich i krótkich włókien, zob. tabelę 7.15
<sup>(1)</sup> Energię netto oblicza się odejmując od energii brutto energię zużywaną podczas pracy rafinera bez obciążenia, czyli bez złożenia jego tarcz. Energia brutto to całkowita zużyta energia, z uwzględnieniem		



strat. Energia brutto = energia netto  $\times$  1,3 – 1,5. Energia zużywana podczas pracy rafinera bez obciążenia to energia używana na pokonanie oporów mechanicznych i sił turbulencji, a która z tego względu nie jest dostępna na rafinowanie włókien.

Źródło: Niepublikowane dane pochodzące od dostawcy z 2010 r.

W niektórych przypadkach wystąpią duże możliwości zaoszczędzenia energii. Np. wiele rafinerów nie ma odpowiedniej wielkości. Powoduje to wysokie zużycie podczas pracy bez obciążenia, co obniża wydajność rafinera. Niewłaściwe wypełnienie lub wymiarowanie rafinera spowoduje wzrost zużycia energii w celu osiągnięcia pożądaných możliwości (większe aż o 20% możliwości zaoszczędzenia energii w porównaniu z rozwiązaniem standardowym). W porównaniu z możliwymi oszczędnościami dzięki optymalizacji wielkości i wsadu rafinera pozostałe straty, takie jak energia zużywana podczas pracy bez obciążenia, czyli bez złożenia jego tarcz, są niewielkie.

Poniżej omówiono bardziej szczegółowo zużycie energii elektrycznej. Omówienie to może przybliżyć aktualne rozwiązania techniczne, stanowiące podstawę dla usprawnień i zastosowania efektywnych energetycznie technologii.

W tabeli 7.11 podsumowano całkowite zużycie energii w papierniach. Uwzględniono w niej całą energię elektryczną zużytą wewnątrz budynku papierni, tj. całe zużycie energii elektrycznej w obrębie papierni, począwszy od wież magazynowych z masą (w papierniach zintegrowanych), a kończąc na operacjach wykończeniowych. W przypadku papierni niezintegrowanych uwzględniono wszystkie procesy zaczynające się od kadzi mieszalnych, tj. zużycie energii w całej papierni musi obejmować zużycie w rozczyntaczach, które podnoszą jednostkowe zużycie energii (aż o 30 – 60 kWh/t), i w rafinerach, jeśli są wykorzystywane. Nie uwzględniono oczyszczalni ścieków, której zużycie waha się między 4 kWh/t i 10 kWh/t (zob. punkt 2.5.4). Wartości podane w tabeli 7.11 odnoszą się do 100% wydajności procesu produkcji (na nawijaku). 100% wydajność przyjmuje się, żeby zapewnić porównywalność maszyn papierniczych, ponieważ faktyczna wydajność zależy od różnych danych wejściowych dotyczących papierni, jak np. wiek i utrzymanie maszyn, kwalifikacje pracowników, rodzaj papieru itd. Należy zauważyć, że wydajność papierni ma wpływ na dane ujęte w tabeli: im niższa jest wydajność maszyny papierniczej, tym większa jest różnica między faktycznym zużyciem energii a zużyciem dla 100% wydajności. Korekta liczb wynikająca z uwzględnienia poziomu wydajności odgrywa większą rolę w przypadku starych maszyn lub maszyn wytwarzających różne rodzaje papieru i często je zmieniających. W papierniach tych na ogół jest mniejszy zakres automatyzacji, kontroli i dokumentacji procesów, które są wymagane, żeby osiągnąć bardzo wysoki poziom wydajności. Natomiast nowoczesne papiernie produkujące papiery masowe o podobnej jakości osiągają wydajność na poziomie 94 – 95% (lub nawet 96% w kilku przypadkach).

**Tabela 7. 11** Typowe zużycie energii elektrycznej w nowoczesnych papierniach dla 100% wydajności maszyny papierniczej (na nawijaku).

Rodzaj papieru	Zużycie energii elektrycznej w kWh/t (dla wydajności projektowej <sup>(1)</sup> , maszyna papiernicza bez przygotowania masy <sup>(*)</sup> )	Zużycie energii elektrycznej w kWh/t (dane odnoszą się do całej papierni) (**)
Papier gazetowy	480 – 630	500 – 700
Papier LWC	550 – 750	500 – 800
Papier satynowany	600 – 700	450 – 700
Bezdrzewny do drukowania i pisanie (niepowlekania)	450 – 650	450 – 650
Bezdrzewny do	600 – 850	600 – 750

drukowania i pisania (powlekany)		
Tektura wielowarstwowa	~ 680	
Papier workowy	~ 850	700 – 850
Testliner	~ 550	
Bibułki tissue	500 – 3000 ( <sup>2</sup> )	
<p>(*) Źródło: Niepublikowane dane od dostawcy, 2010.  (**) Źródło: [ Uwagi CEPI D1, 2010 ]  (1) W przypadku papierni wyposażonych w nowoczesny system sterowania pomiar zapotrzebowania energii elektrycznej jest względnie prosty i można go odczytać bezpośrednio z DCS (rozproszony system sterowania). Ustalenie rzeczywistej produkcji (w porównaniu z 100% wydajności) i sposób obliczania faktycznej wydajności procesu są często odmienne dla różnych papierni, ale stanowią element codziennej działalności.  (2) Odmienne systemy suszenia w papierniach wytwarzających bibułki tissue, jak np. konwencjonalne cylindry Yankee, suszenie przedmuchowe lub technologie hybrydowe, mają znaczący wpływ na zużycie energii w papierni (według ETS). Zakres zużycia odzwierciedla cały zakres możliwości i z tego względu nie jest typowy.</p>		

Zużycie energii elektrycznej zależy od wytwarzanych rodzajów papierów (np. większa gramatura oznacza matematycznie lepsze jednostkowe zużycie energii), prędkości maszyny (zob. tabele 7.12 i 7.13) i struktury stosowanych surowców (np. powłoki jest łatwiej suszyć niż włókna, czyli większy udział powłok poprawia jednostkowe zużycie energii). Najniższe zużycie energii elektrycznej odpowiada papierowi pakowemu lub papierowi podłożowemu do tektury falistej, dla których zużycie wynosi około 400 – 600 kWh/t, podczas gdy dla papierów drukowych i do pisania zużycie wynosi około 450 – 650 kWh/t (energia elektryczna, 100% wydajności). Najwyższego zużycia energii, do 5600 kWh/t masy powietrzno-suchej (ADt), wymagają niektóre rodzaje papierów specjalnych (np. kalki kreślarskie, starsze i mniejsze maszyny). W tych szczególnych przypadkach energia elektryczna jest głównie zużywana na bardziej intensywne rafinowanie. Poniżej przedstawiono dalsze bardziej szczegółowe informacje.

Podane w tabeli 7.1 całkowite wielkości zużycia energii w papierniach odnoszą się do objaśnionych poniżej energochłonnych systemów cząstkowych. Suma zużycia energii przez systemy cząstkowe wymienione w tabelach 7.12 i 7.17 (źródło: wszystkie dane pochodzą od dostawcy urządzeń do papierni, 2010) koreluje z podanymi w tabeli 7.1 wielkościami całkowitego zużycia energii. Dane te odnoszą się do 100% wydajności i wielkości gwarantowanych według wyników audytów energetycznych.

**Tabela 7. 12 Typowe wielkości jednostkowego zużycia energii w układzie doprowadzenia masy do wlewu maszyny papierniczej.**

Rodzaj maszyny	Zużycie energii elektrycznej	Uwagi
Szybkie maszyny (>1300 m/min)	70 – 130 kWh/t	Energia zużywana przez pompę zasilającą wlew wzrasta w drugiej potęgze ze wzrostem prędkości maszyny
Wolne maszyny	50 – 100 kWh/t	Wolne maszyny poniżej 1200 m/min na ogół nie mają układu odpowietrzenia

**Tabela 7. 13 Typowe wielkości jednostkowego zużycia energii w układzie próżniowym części mokrej maszyny papierniczej.**

Rodzaj maszyny	Zużycie energii elektrycznej	Uwagi

Szybkie maszyny (>1300 m/min)	70 – 100 kWh/t	Szybsze maszyny pracują z większą wydajnością; z tego powodu ich jednostkowe zużycie energii jest niższe niż wolnych maszyn
Wolne maszyny	80 – 110 kWh/t	

Tabela 7. 14 Typowe wielkości jednostkowego zużycia energii w rozczygniach pod maszyną papierniczą

Lokalizacja	Zużycie energii nowe maszyny	Zużycie energii stare maszyny	Uwagi
Rozczyniacz komory pod wyżymakiem	2 – 5 kWh/t	3 – 7 kWh/t	W starszych maszynach (sprzed lat 90-tych XX wieku) typowy kształt betonowych kadzi lub zbiorników nie był optymalnie dostosowany do prowadzenia rozwłókniania braku własnego; postęp techniczny doprowadził do zmniejszenia zużycia energii elektrycznej
<b>Rozczyniacz pod prasami</b>	5 – 8 kWh/t	7 – 12 kWh/t	
<b>Rozczyniacz suchego braku</b>	7 – 18 kWh/t	10 – 20 kWh/t	
NB: Rozczyniacze podmaszynowe są to kadzie znajdujące się pod maszyną papierniczą, w których rozczynia się brak własny w wodzie. Rozczyniacze te pracują tylko w czasie zrywu wstęgi z wyjątkiem rozczygniacza komory pod wyżymakiem, który pracuje ciągle ze względu na obcinanie brzegów wstęgi, zbierając odprowadzaną wodę i mokre obcinki w części sitowej.			

Tabela 7. 15 Typowe wielkości jednostkowego zużycia energii na tonę rafinowanej masy w rafineriach w przypadku nowych maszyn.

Rodzaj masy włóknistej	Zużycie energii na tonę rafinowanej masy	Uwagi
Długie włókno (bielone)	150 – 250 kWh/t	Liczby te nie obejmują wyrobu masy włóknistej; wyższy poziom tego przedziału odnosi się do niższej odwadnialności masy). Faktyczna energia zużyta w produkcji jednej tony wyrobu finalnego zależy od udziału rafinowanej masy w 1 tonie tego wyrobu (np. jeśli jest wymagany udział tylko 30% rafinowanej masy, wielkości te należy pomnożyć przez 0.3)
Krótkie włókno (bielone)	75 – 150 kWh/t	
Długie włókno (niebielone)	100 – 200 kWh/t	
Krótkie włókno (niebielone)	Zwykle nie rafinowane	
Włókno wtórne	60 – 100 kWh/t Zwykle nie rafinowane	

Tabela 7. 16 Typowe wielkości jednostkowego zużycia energii w przygotowaniu masy oraz w układzie wody podsitowej na tonę papieru (bez rafinowania, rozwłókniania i układu doprowadzenia masy do wlewu).

Rodzaj procesu	Zużycie energii rafinowanej masy	Uwagi

Układ wody podsitowej	20 – 30 kWh/t	Wieże magazynowe wody, wyławiacze, kadzie, pompy
Układ braku własnego <sup>(1)</sup>	5 – 50 kWh/t	W wysokim stopniu zużycie przez wieżę magazynową braku własnego, sortowniki braku, zbiorniki i pompy zależy od rodzaju papieru (powlekany/niepowlekany) . Rodzaje powlekane wymagają więcej energii (np. oddzielny układ dla suchego, mokrego i powlekanego braku własnego)
Mieszanie	5 – 15 kWh/t	Kadź mieszalna, kadź maszynowa, pompy i mieszalniki
Rozczynianie beli masy (tylko dla papierni zintegrowanych)	20 – 35 kWh/t	Rozczyniacze beli, przENOŚniki, zbiorniki i pompy
Dozowanie masy (papiernie zintegrowane)	5 – 10 kWh/t	Rurociąg zawieszony z magazynowania do kadzi mieszalnej, zbiorniki, pompy; zużycie przez pompy bardzo zależy od lokalizacji przygotowania masy
Natryski masy papierniczej	10 – 20 kWh/t	Układ wodny natrysków maszyny papierniczej składa się z pomp, filtrów i sortowników
<sup>(1)</sup> Z wyjątkiem rozczyniacza komory pod wyżymakiem i układu obcinania brzegów przewijarki-krajarki, układ braku własnego pracuje tylko w razie zrywu wstęgi. Przy obliczaniu całkowitego zużycia energii przez całą papiernię w odniesieniu do układu braku własnego należy uwzględnić czynnik czasu (<10 %).		

Tabela 7. 17 Typowe jednostkowe zużycie energii w napędach urządzeń papierni.

Rodzaj procesu	Zużycie energii	Uwagi
Maszyna papiernicza	150 – 300 kWh/t	Napędy maszyny papierniczej, formera, prasy, suszarni, prasy zaklejającej, nawijaka; prędkości maszyny do 2000 m/min
Wentylacja maszyny	30 – 60 kWh/t	Zaopatrzenie suszarni w powietrze, usunięcie powietrza odprowadzanego, powietrze dla elementów procesu, wentylacja części mokrej, wentylacja hali maszyny, wentylatory i pompy, zależnie od rodzaju papieru
Wentylacja (wykończenie): w tym powlekarka, kalandry, przewijarko-krajarka, pakowanie	50 – 80 kWh/t	Wszystkie urządzenia po nawijaku (np. hale powlekania, kalandrowania, przewijania), zależnie od rodzaju papieru
Para i skraplacz	2 – 6 kWh/t	Pompy kondensatu i pompy próżniowe
Smarowanie i pompy hydrauliczne	10 – 40 kWh/t	Jednostki smarowania i pompy hydrauliczne
Powlekarki	15 – 25 kWh/t	Na stanowisko powlekarki, w zależności od wagi użytej powłoki

Kalandry	30 – 120 kWh/t	Ten szeroki przedział wynika z: <ul style="list-style-type: none"> <li>• wagi gotowego papieru</li> <li>• energii do ogrzania podgrzewanych walców (para/energia elektryczna/gaz)</li> </ul>
Przewijarko-krajarki	20 – 50 kWh/t	Prędkości maszyny do 3000 m/min, szeroki przedział wagi papieru
Wykończenie	10 – 15 kWh/t	Szeroki przedział wagi papieru
Chemikalia	5 – 50 kWh/t	Mieszalniki chemikaliów, pompy zasilające, sortowniki, rozdrabniacze, duża zależność od rodzaju papieru i rodzaju surowców.

Bardzo wiele zużywanej energii elektrycznej wykorzystywanej w pracy mechanicznej ostatecznie przekształca się w ciepło. W wielu przypadkach ciepło to jest użyteczne, ponieważ przyczynia się do utrzymania wymaganej temperatury w układach.

Ze względu na wysoką ilość energii potrzebną do wyrobu papieru, przemysł papierniczy bardzo wcześnie zaczął optymalizować zużycie energii w procesie produkcyjnym. Z powodów technicznych (np. oszczędności uzyskane dzięki bardziej efektywnym energetycznie urządzeniom zniwelował wzrost zapotrzebowania na skutek większej prędkości maszyny), od dziesięcioleci wielkość zużycia energii elektrycznej pozostaje na prawie takim samym poziomie. Jednocześnie, zużycie pary zmniejszono o prawie 60 %, głównie dzięki instalowaniu suszarni o wyższym punkcie rosy oraz szerokiemu zastosowaniu systemów odzyskiwania ciepła.

Więcej danych dotyczących zużycia energii w zakładach, w których prowadzi się rozczynianie masy włóknistej, i w papierniach można znaleźć w podrozdziale 2.5. W punkcie 2.9.6 omówiono działania mające na celu zmniejszenie zużycia energii, mające zastosowanie do większości rodzajów papieru. Informacje na temat działań mających na celu zmniejszenie zużycia energii cieplnej i elektrycznej w papiernictwie można znaleźć w punkcie 7.3.15.

### **Dodatkowe wyjaśnienia dotyczące jednostkowego zużycia energii w papierniach wytwarzających bibułki tissue**

Jak wspomniano w podpunkcie 7.1.11.3, istnieje wiele procesów papierniczych stosowanych do wyrobu bibułek tissue, zależnie od ich wymaganych cech (miętkość, chłonność itd.) Główną różnicą między procesami wyrobu bibułek tissue jest sposób ich suszenia i związane z nim zużycie energii. Poza procesem wyrobu bibułek tissue, istnieją dodatkowe procesy, które mogą znacząco wpływać na zużycie energii w papierni wytwarzającej bibułek tissue:

- zintegrowane odbarwianie będzie wymagać więcej energii;
- skojarzone wytwarzanie ciepła i energii elektrycznej, czy kogeneracja, będzie wymagać zużycia większej ilości gazu ziemnego;
- elektryczne kotły parowe będą wymagać więcej energii elektrycznej;
- opalane biomasą kotły będą wymagać mniej paliwa kopalnego.

W tabeli 7.18 porównano całkowite zużycie energii w papierniach stosujących różne procesy wyrobu bibułek tissue i surowce.

**Tabela 7. 18 Dane dotyczące zużycia energii w konwencjonalnych papierniach wytwarzających bibułki tissue.**

Rodzaj papierni	Zużycie ciepła	Zużycie energii elektrycznej (kWh/t)
<b>Papiernie wykorzystujące włókna pierwotne</b>	5,4 – 10.5	887 – 1 422
Z dodatkowymi procesami <sup>(1)</sup>	5,4 – 18.04	887 – 2 012

Z procesami TAD <sup>(2)</sup>	11,6 – 21	1432 – 2730
<b>Papiernie wykorzystujące włókna wtórne</b> Z dodatkowymi procesami <sup>(1)</sup>	7,3 – 11,4 6,7 – 12	987 – 1 805 987 – 3 130
<p>(1) Dodatkowe procesy to np. prowadzenie na terenie zakładu skojarzonego wytwarzania ciepła i energii elektrycznej, kogeneracja, elektryczny parowy lub kocioł opalany biomasą.</p> <p>(2) Dane te odnoszą się do całkowitego zużycia w 8 papierniach wykorzystujących maszyny typu TAD. Większość z nich również posiada konwencjonalne maszyny papiernicze i może prowadzić procesy wykorzystujące włókna wtórne.</p> <p>Źródło: [ETS, dane z 2008 r.]</p>		

### 7.2.2.5 Ścieki i emisje do ścieków

Istnieją różne źródła ścieków odprowadzanych z papierni. Opisano je poniżej (zob. rys. 7.3).

#### Odrzuty z oczyszczania masy

Zawiesina masy jest oczyszczana przed maszyną papierniczą w celu usunięcia zanieczyszczeń. Odrzuty z urządzeń oczyszczających zawierają te zanieczyszczenia (np. pęczki włókien i piasek), a także nieco wartościowych włókien zawieszonych w wodzie. Odrzuty te są na ogół odprowadzane do oczyszczalni ścieków, ale mogą być również odprowadzane do odwadniania osadu.

#### Namiar wody podsitowej

Większa część wody produkcyjnej, razem ze zastosowanymi dodatkami chemicznymi, jest odprowadzana w części sitowej maszyny papierniczej, a jej pozostała część jest usuwana w części prasowej i części suszącej. Woda podsitowa również zawiera zużytą wodę natryskową z sit i filców. Główna część wody podsitowej jest zwracana w obrębie maszyny papierniczej i wykorzystywana jako woda do rozcieńczania i woda natryskowa. Nadmiar wody podsitowej (do maszyny papierniczej jest ciągle dodawana pewna ilość wody świeżej, która zastępuje wodę podsitową) jest odprowadzany do ścieków lub do wykorzystania w przygotowaniu masy w papierniach zintegrowanych. Przed odprowadzeniem woda ta zwykle przepływa przez układ odzyskiwania włókien.

Ilość odprowadzanej wody zależy od stopnia zamknięcia obiegów wody. Zawiera ona główną część odprowadzanej w sposób ciągły zawiesiny cząstek stałych i rozpuszczonych substancji organicznych zwykle wyrażanych jako ChZT i BZT.

#### Chwilowe i przypadkowe emisje

Emisje te nie są bezpośrednio związane z procesem produkcyjnym i mają miejsce sporadycznie. Do przykładów takich emisji należą przelewy wody podsitowej lub nawet zawiesiny masy ze zbiorników lub innych niedostatecznie kontrolowanych urządzeń, zużyta woda myjąca z oczyszczania urządzeń oraz zużyta z woda z mycia podłóg itd.

Należy zapobiegać emisjom do wody lub gleby z przechowywania lub używania potencjalnie niebezpiecznych dodatków chemicznych poprzez właściwe zaprojektowanie i obsługę urządzeń w tak sposób, żeby zapobiec uwolnieniom potencjalnych zanieczyszczeń (zob. podpunkt 2.9.2.3).

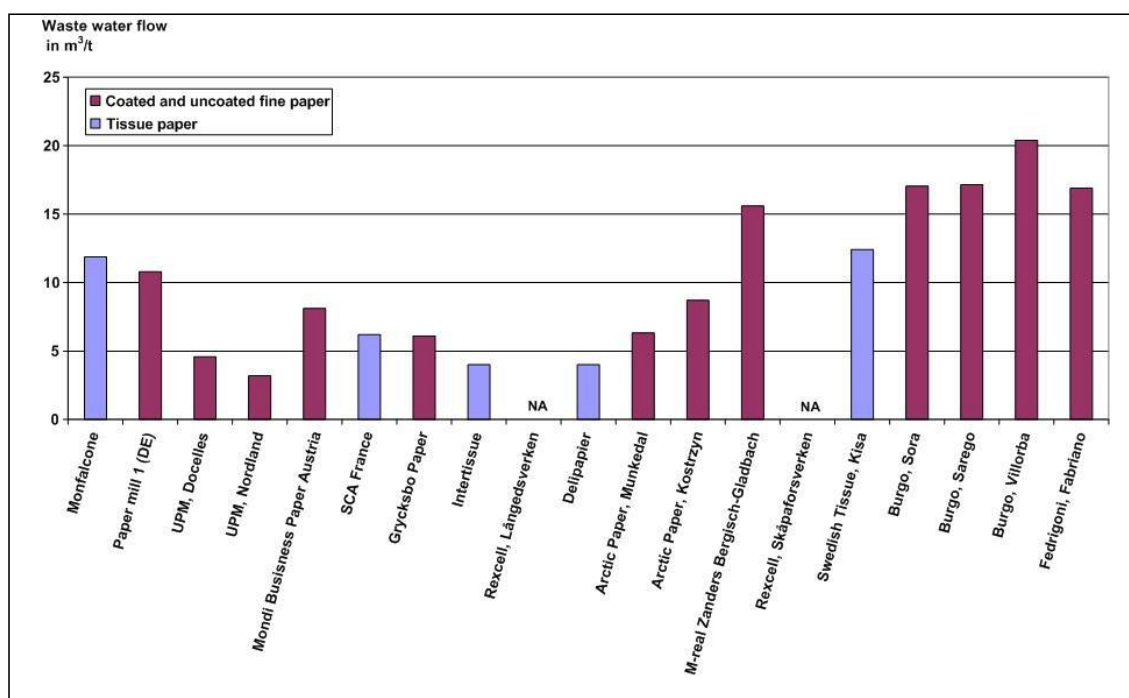
#### Wody chłodzące i uszczelniające

Zużyte wody chłodzące i uszczelniające z układu próżniowego i pomp na ogół nie zawierają zawiesiny cząstek stałych. Wody te są często w jakimś stopniu zwracane do obiegu. Należy oddzielić czyste wody chłodzące od innych ścieków, żeby ograniczyć ładunek docierającego do oczyszczalni ścieków i utrzymania jej sprawności.

#### Przepływ ścieków

***Powlekany/niepowlekany papier do zastosowań poligraficznych i bibulka tissue***

Na rys. 7.13 przedstawiono jednostkowy przepływ ścieków dla szeregu papierni niezintegrowanych, które udzieliły odpowiedzi w ankiecie EIIPCB (lata referencyjne 2006 i 2008). Papiernie wytwarzające powlekane i niepowlekane papiery bezdrzewne do pisania zgłosiły przepływ ścieków wahający się między  $3,5 \text{ m}^3/\text{t}$  i  $20 \text{ m}^3/\text{t}$ . Sześć papierni (z dwunastu przykładów) odprowadza mniej niż  $10 \text{ m}^3/\text{t}$ . Producenci bibulek tissue, którzy przekazali dane w ankiecie EIIPCB (pięć papierni), zgłosili przepływy ścieków wahające się między  $4 \text{ m}^3/\text{t}$  i  $12 \text{ m}^3/\text{t}$ , podczas gdy obliczone przepływy ścieków na podstawie danych przekazanych przez Europejskie Stowarzyszenie Producentów Wyrobów Papierniczych (ETS) za 2008 r. średnie roczne stężenia mieszczą się w przedziale od  $1 \text{ m}^3/\text{t}$  do  $42 \text{ m}^3/\text{t}$ . [Uwagi CEPI WD Rozdział 7, 2012].



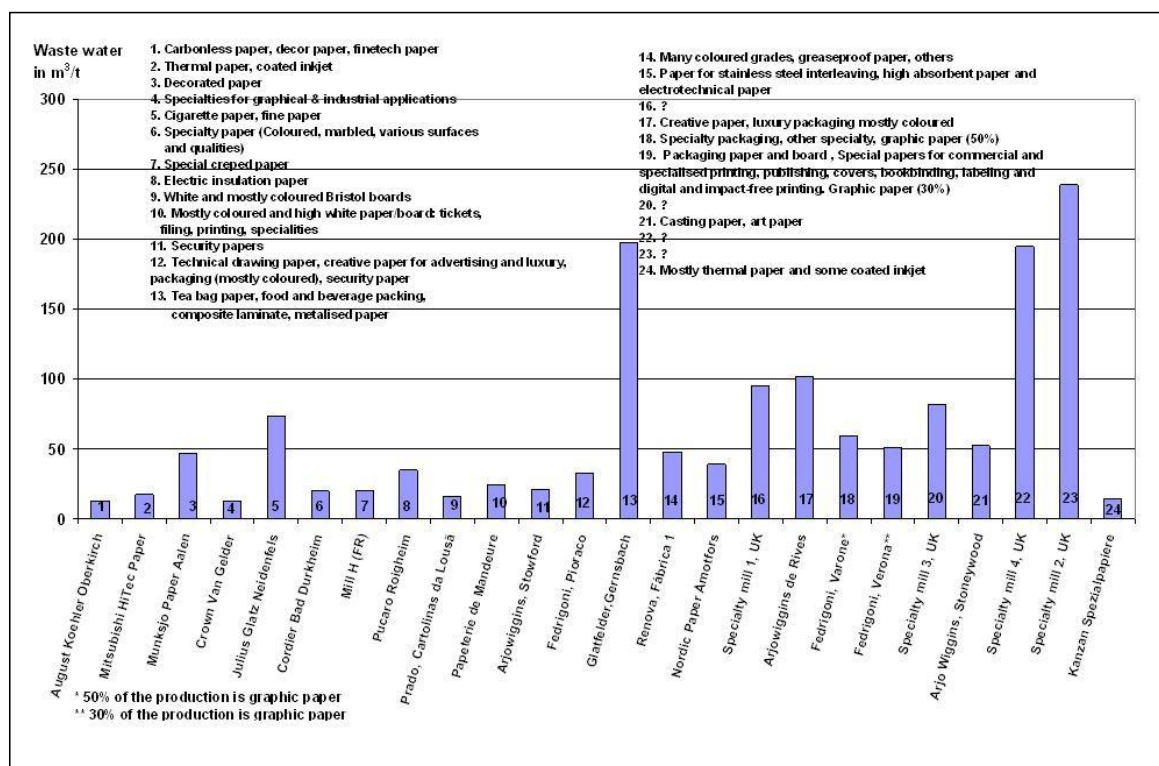
Rysunek 7. 13 Przykładowe jednostkowe emisje ścieków z europejskich niezintegrowanych papierni (bez papierów specjalnych).

Waste water flow in m³/t	Przepływ ścieków w m³/t
Coated and uncoated fine paper	Powlekanie i niepowlekanie papiery bezdrzewne do drukowania i pisanie
Tissue paper	Bibułki tissue
NA	BD
Source: Data collection/questionnaires [ Swedish statistics 2008 ]	Źródło: Zgromadzone dane/ankiety [Szwedzkie dane statystyczne, 2008 r.]

### Papiery specjalne

Na rys. 7.14 przedstawiono jednostkowy przepływ dla niektórych papierów specjalnych (ankieta EIPPCB, lata referencyjne 2006 i 2008). Zgłoszone wielkości przepływu wahały się, w zależności od wytwarzanego wyrobu i szczególnych warunków produkcji, między 13 m³/t i 100 m³/t, przy czym trzy papiernie zgłosiły wielkości około 200 m³/t. Papiery specjalne na ogół wytwarza się na mniejszych maszynach papierniczych, często zmieniając rodzaje papieru, co powoduje wyższe ogólne straty związane ze zmianą produkcji i potencjalnie wyższe jednostkowe zużycie wody. Ścisłe wymagania dotyczące czystości i/lub niezgodność elementów składu masy włóknistej do różnych rodzajów papieru często wymagają całkowitego usunięcia tej masy i opróżnienia systemu wodnego w przypadku zamiany rodzaju papieru. Na skutek ścisłych wymagań dotyczących czystości w czasie wyrobu papierów specjalnych, w wielu przypadkach wodę można zawrócić do obiegu tylko w ograniczonym zakresie.





Rysunek 7. 14 Przykładowy jednostkowy przepływ ścieków z europejskich niezintegrowanych papierni wytwarzających papiery specjalne.

Waste water in m <sup>3</sup> /t	Ścieki w m <sup>3</sup> /t
1. Carbonless paper, decor paper, finetech paper	1. Bezkalkowe papiery do kopiowania, papiery ozdobne, wysokogatunkowe papiery techniczne
2. Thermal paper, coated inkjet	2. Papiery termiczne, papiery powlekane do drukarek atramentowych
3. Decorated paper	3. Papiery dekoracyjne
5. Cigarette paper, fine paper	5. Bibułki papierosowe, papiery bezdrzewne do drukowania i pisania
6. Speciality paper (Coloured, marbled, various surfaces and qualities)	6. Papiery specjalne, marmurkowe, o różnej powierzchni i cechach
7. Special creped paper	7. Specjalne papiery krepowane
8. Electric insulation paper	8. Papiery elektroizolacyjne
9. White and mostly coloured Bristol boards	9. Biały brystol i głównie jego barwne rodzaje
10. Mostly coloured and high white paper/board: tickets, filing, printing, specialities	10. Głównie papiery barwne i papier biały/tekstura wysokiej jakości: bilety, artykuły biurowe, drukowe, specjalne
11. Security papers	11. Papiery zabezpieczone
12. Technical drawing paper, creative paper for advertising and luxury packaging (mostly coloured), security paper	12. Papiery techniczne, papiery artystyczne do reklam i luksusowych opakowań (głównie barwne), papiery wartościowe

13. Tea bag paper, food and beverage packing, composite laminate, metalised paper	13. Papier do torebek z herbatą, opakowania żywności i napojów, laminaty kompozytowe, papiery metalizowane
14. Many coloured grades, greaseproof paper, others	14. Wiele barwnych rodzajów, papiery tłuszczoszczelne, inne
15. Paper for stainless steel interleaving high absorbent paper and electrotechnical paper	15. Papier do stali nierdzewnej łączący wysoce chłonny papier i papier elektrotechniczny
16.?	16.?
17. Creative paper. luxury packaging mostly coloured	17. Papiery artystyczne, luksusowe opakowania, głównie barwne
18. Specialty packaging. other specialty, graphic paper (50%)	18. Specjalne opakowania, inne papiery specjalne, papiery poligraficzne (50%)
19. Packaging paper and board, Special papers for commercial and specialised printing, publishing, covers, bookbinding, labeling and digital and impact-free printing. Graphic paper (30%)	19. Papiery i tektury opakowaniowe, papiery specjalne do druku handlowego i specjalistycznego, okładki, oprawy książek, etykiety, papieru do druku cyfrowego i ekologicznego. Papiery poligraficzne (30%)
20. ?	20. ?
21. Casting paper, art paper	21. Papiery do modelowania, wielokrotnie powlekane papiery bezdrzewne
22.?	22.?
23. ?	23. ?
24. Mostly thermal paper and some coated inkjet	24. Głównie papiery termiczne i niektóre powlekane do drukarek atramentowych
<b>*50% of the production is graphic paper</b>	<b>*50% produkcji stanowią papiery do zastosowań poligraficznych</b>
<b>*30% of the production is graphic paper</b>	<b>*30% produkcji stanowią papiery do zastosowań poligraficznych</b>
Source: Data collection/questionnaires	Źródło: Zbiór danych/ankiety

### Wskaźniki zanieczyszczeń

Do najczęściej stosowanych wskaźników charakteryzujących jakość ścieków odprowadzanych z papierni należy zawiesina cząstek stałych, BZTD<sub>5</sub> lub BZT<sub>7</sub>, ChZT, azot ogólny, fosfor ogólny, AOX oraz niekiedy poszczególne metale. Całkiem niedawno zastosowano wskaźnik toksyczności wszystkich zanieczyszczeń w przypadku pojedynczych papierni (np. w Niemczech wobec rzeszy wodnej) lub jako wskaźnik w rozporządzeniu dotyczącym ścieków z papierni (np. w Austrii w odniesieniu do toksyczności dla ryb), ze względu na złożony skład ścieków (zawierających szeroki zakres substancji).

Poniżej przedstawiono bardziej szczegółowe informacje dotyczące poszczególnych wskaźników jakości, które są istotne dla papiernictwa. Jeśli są dostępne, dane przedstawiono w postaci ładunku (kg/t), stężenia (mg/l), średniej wielkości rocznej i dobowej. Wartość podano w zgłoszonej postaci (np. pod względem miejsc dziesiętnych, niezależnie od współczynnika niepewności bliskiego granicy wykrywalności). Interpretując określone dane dotyczące stężenia, należy pamiętać o przepływie ścieków, którym ono występuje. Dzięki działaniom podejmowanym w niektórych papierniach i

zamknięciu obiegów wodnych mogło wzrosnąć stężenie zanieczyszczeń. Zakłady, w których występują wyższe stężenia, niekoniecznie emitują większe ładunki zanieczyszczeń..

### **Chemiczne zapotrzebowanie tlenu**

Emisja substancji organicznych z papierni niezintegrowanych głównie obejmuje substancje organiczne uwalniane z zakupionej masy włóknistej w czasie rozczyniania i przetwarzania, substancje rozpuszczone w zakupionej masy włóknistej w fazach rafinowania nad maszyną papierniczą oraz dodatki chemikaliów organicznych zastosowanych jako środki pomocnicze dodawane w papiernictwie w celu nadania wyrobom określonych cech lub kształtowania procesu produkcyjnego (np. polimery organiczne). Te, które nie zostaną zatrzymane we wstędze papieru (zob. rys. 2.8), trafiają ostatecznie do ścieków. Zakres, w jakim dodatki chemiczne zwiększają ładunek organiczny odprowadzany z papierni, zależy od ilości i rodzaju stosowanych chemikaliów. Przynajmniej w przypadku niektórych rodzajów papieru (np. papierów specjalnych), dodatki chemiczne stanowią znaczącą część całkowitego ładunku organicznego odprowadzanego do odbiornika wodnego. Ogólnie rzecz biorąc, brak jest wiedzy na temat udziału dodatku chemicznych w całkowitym ładunku w ściekach.

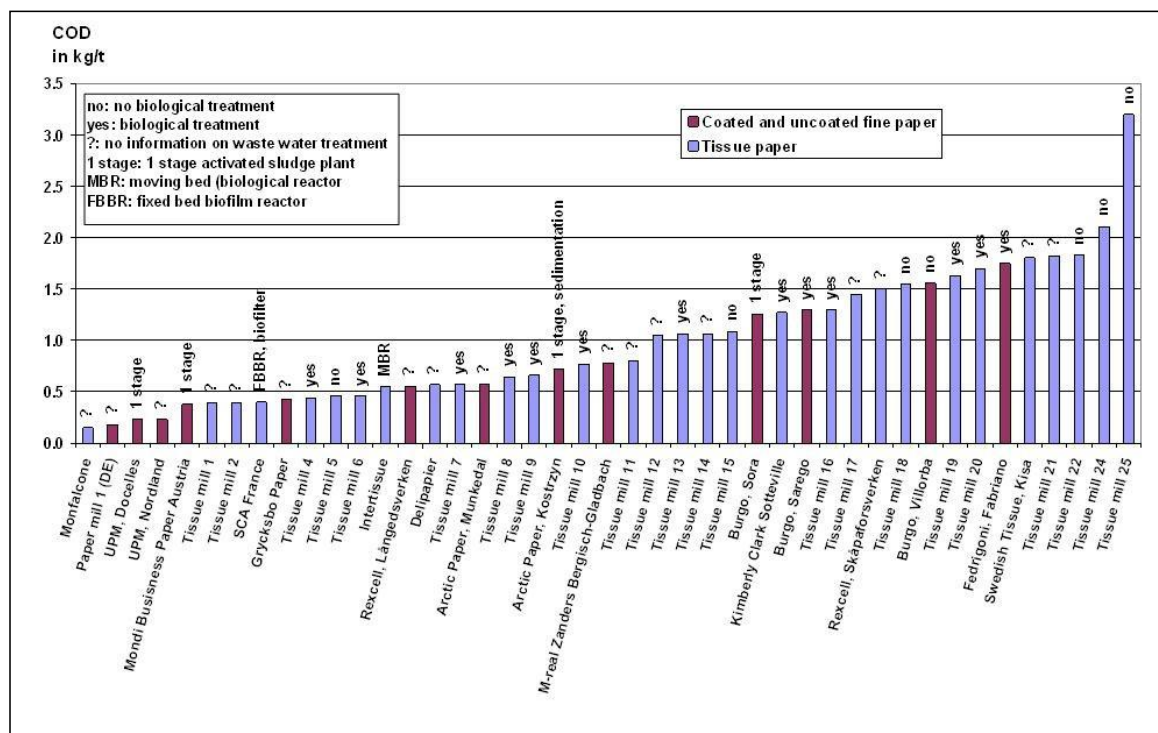
Na ogół, skuteczne oczyszczanie biologiczne zmniejsza emisje z papierni do wód.

W badaniach przeprowadzonych dawniej w kilku papierniach w Niemczech oceniano udział dodatków w całkowitym ładunku ChZT po oczyszczeniu biologicznym. W badanych przykładowych papierniach udział ten wynosił około 26% w przypadku produkcji powlekanych papierów drukowych i do pisania, 20% w przypadku produkcji papieru gazetowego z włókien wtórnych, 43% w przypadku produkcji ręczników papierowych z włókien wtórnych i 35% w przypadku produkcji powlekanej litej tektury z włókien wtórnych [68, IFP 1997]. Jednakże, wyniki te są obarczone wielką niepewnością (np. zbadano ograniczoną liczbę papierni, a także ze względu na stosowane wskaźniki retencji, określone w próbach laboratoryjnych). Z tego powodu powyższe wartości dają tylko pewną orientację co do możliwego udziału dodatków chemicznych, jakie mogą być odprowadzane w ściekach. Wartości tych nie należy uogólniać.

### ***Powlekane/niepowlekane papiery do zastosowań poligraficznych i bibułki tissue***

Na rys. 7.15 przedstawiono w postaci średniej rocznej jednostkowej ładunek ChZT dla kilku papierni niezintegrowanych wytwarzających papiery bezdrzewne, tj. powlekane lub niepowlekane papiery do zastosowań poligraficznych albo bibułki tissue. (Źródło: ankieta EIPPCB (lata referencyjne 2006 i 2008) oraz dane ETS (rok referencyjny 2008 r.) dla papierni nr 1-25). Ponieważ wiele papierni wytwarza zarówno powlekane, jak i niepowlekane papiery bezdrzewne do drukowania i pisania, nie można było wprowadzić rozróżnienia między tymi rodzajami papieru.

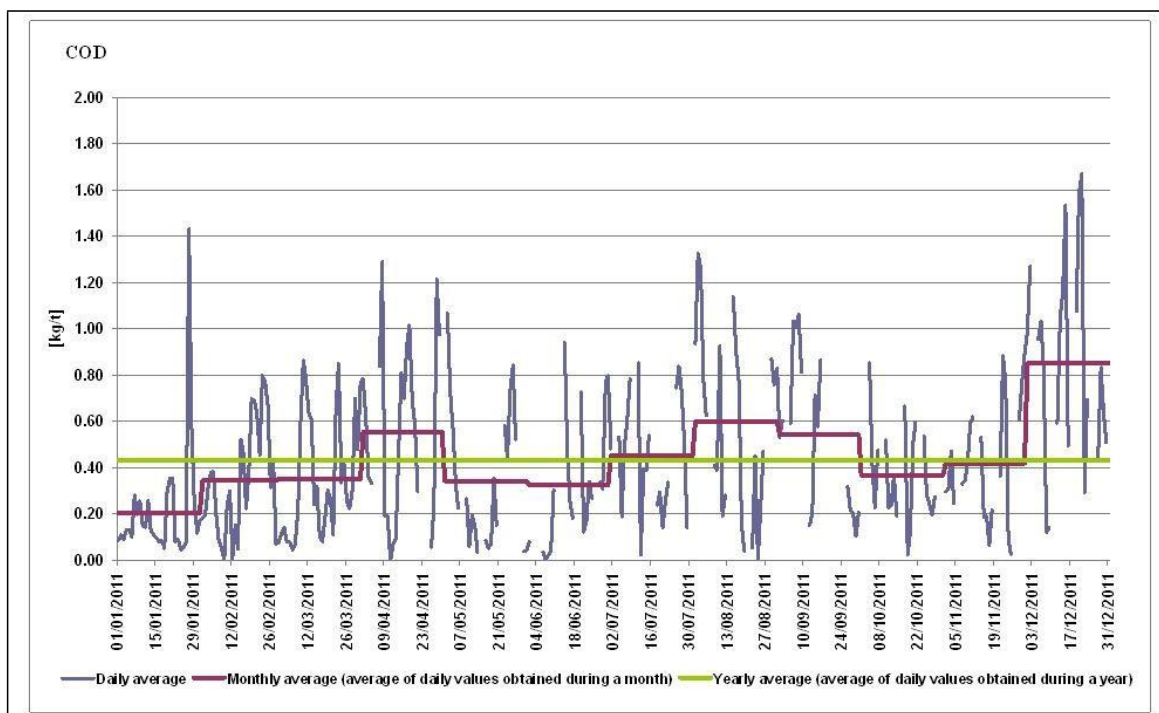
Dane te określają przedział od 0,18 kg ChZT/t do 1,90 kg ChZT/t dla papierni wytwarzających papiery do zastosowań poligraficznych oraz od 0,15 kg ChZT/t do 1,80 kg ChZT/t dla papierni wytwarzających bibułki tissue (przy czym dwie papiernie podały wartości powyżej 2 kg/t). Większość z 20 papierni objętych ankietą EIPPCB odprowadza mniej niż 1 kg ChZT/t jako średnia roczna, a siedem z nich mniej niż 0,5 kg ChZT/t. Tylko siedem z tych papierni odprowadza ładunek organiczny powyżej 1 kg/t. Podane w danych ETS wielkości dla papierni wytwarzających bibułki tissue są przeważnie wyższe, sięgając aż 3,2 kg ChZT/t. Jednakże, górny zakres wartości (papiernie powyżej 1,8 kg ChZT/t, np. papiernie wytwarzające bibułki nr 22-25) obejmuje się papiernie bez biologicznej oczyszczalni ścieków. Średnie roczne stężenia ChZT dla papierni niezintegrowanych określone na podstawie danych zgromadzonych przez EIPPCB mieściły się w przedziale od 17 mg/l do 119 mg/l w przypadku powlekanych i niepowlekanych papierów do zastosowań poligraficznych oraz 27 mg/l do 140 mg/l w przypadku bibułek tissue. Podane przez ETS średnie dobowe stężenie ChZT dla papierni wytwarzających bibułki tissue wahały się między 27 mg/l i 500 mg/l po oczyszczeniu biologicznym.



Rysunek 7. 15 Przykłady średniej rocznej jednostkowej emisji ChZT po oczyszczalni ścieków z niezintegrowanych papirni europejskich (bez papierów specjalnych).

COD in kg/t	ChZT w kg/t
no: no biological treatment	<b>Nie: bez oczyszczania biologicznego</b>
yes: biological treatment	<b>Tak: oczyszczani e biologiczne</b>
?: no inf or motion on waste water treatment	<b>?: brak informacji o oczyszczaniu ścieków</b>
1 stage: 1 stage activated sludge plant	<b>I stopień: oczyszczalnia I stopnia z osadem aktywnym</b>
MBR: moving bed (biological reactor)	<b>MBR: złożę zawieszone (reaktor biologiczny)</b>
FBBR: fixed bed biofilm reactor	<b>FBBR: reaktor ze złożem stałym z biofilmem</b>
Coated and uncoated fine paper	<b>Powlekane i niepowlekane papiery bezdrzewne do drukowania i pisania</b>
Tissue paper	<b>Bibułki tissue</b>
1 stage, sedimentation	<b>I stopień, sedymentacja</b>
Source: Data collection/questionnaires [ CEPI comments 2012, ETS 2008 data ]	<b>Źródło: Gromadzone dane/ankiety [CEPI uwagi 2012 r., dane ETS 2008 r.]</b>

W odniesieniu do krótkoterminowych średnich wielkości ChZT, ze względu na to, że zgromadzone dane nie zawierają wystarczającej ilości wielkości reprezentatywnych dla tego parametru, na rys. 7.16 przedstawiono dobowe wahania ładunku ChZT dla niemieckiej papierni niezintegrowanej wytwarzającej bibułki w ciągu roku.

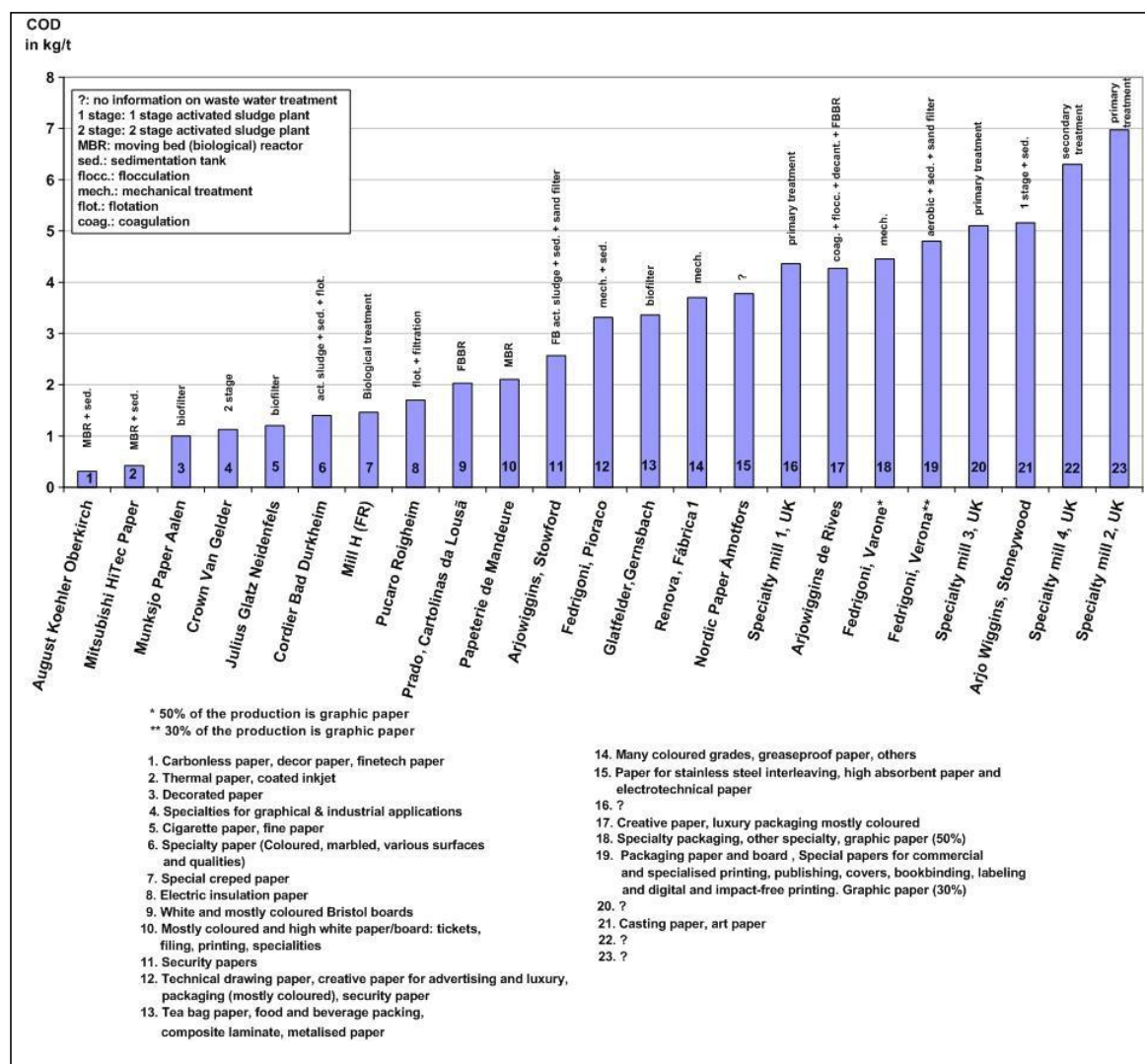


Rysunek 7. 16 Dobowe ładunki ChZT w ciągu roku z niemieckiej papierni niezintegrowanej wytwarzającej bibułki.

Daily average	<b>Średnia dobowa</b>
Monthly average (average of daily values obtained during a month)	<b>Średnia miesięczna (średnia wielkości dobowych uzyskanych w ciągu miesiąca)</b>
Yealy average (average of daily values obtained during a year)	<b>Średnia roczna (średnia wielkości dobowych uzyskanych w ciągu roku)</b>

### **Papiery specjalne**

W przypadku papierni wytwarzających papiery specjalne stężenie ładunku organicznego odprowadzanego do ścieków jest często niskie, ale jednocześnie występuje względnie wysoki przepływ ścieków (zob. podpunkt 7.2.2.2) Może to powodować wyższą jednostkową emisję ładunku na jedną tonę niż w przypadku standardowych papierów bezdrzewnych do drukowania i pisanie. Na rys. 7.17 przedstawiono średnie roczne jednostkowe wielkości ładunku ChZT dla kilku niezintegrowanych papierni wytwarzających papiery specjalne (*Źródło*: ankieta EIPPCB, lata referencyjne 2006 i 2008). Na wykresie przedstawiono również główne rodzaje papierów specjalnych wytwarzanych przez przykładowe papiernie, żeby pokazać różnorodność rodzajów papierów do zastosowań poligraficznych i przemysłowych.



Rysunek 7. 17 Przykłady średniej rocznej jednostkowej emisji ChZT po oczyszczalni ścieków z niezintegrowanych papierni europejskich wytwarzających papiery specjalne.

COD in kg/t	ChZT w kg/t
?: no information on waste water treatment	?: brak informacji o oczyszczaniu ścieków
1stage: 1 stage activated sludge plant	I stopień: oczyszczalnia I stopnia z osadem aktywnym
2stage: 2 stage activated sludge plant MBR: moving bed (biological) reactor sed.: sedimentation tank	II stopień: oczyszczalnia II stopnia z osadem aktywnym MBR: złoże zawieszone (reaktor biologiczny) sed.: osadnik
flocc.: flocculation	flok.: flokulacja
mech.: mechanical treatment	mech.: oczyszczanie mechaniczne
flot.: flotation	flot.: flotacja
coag.: coagulation	koag.: koagulacja
* 50% of the production is graphic paper	* 50% produkcji stanowią papiery do

	zastosowań poligraficznych
** 30% of the production is graphic paper	** 30% produkcji stanowią papiery do zastosowań poligraficznych
1. Carbonless paper, decor paper, finetech paper	1. Bezkalkowe papiery do kopiowania, papiery ozdobne, wysokogatunkowe papiery techniczne
2. Thermal paper, coated inkjet	2. Papiery termiczne, papiery powlekane do drukarek atramentowych
3. Decorated paper	3. Papiery dekoracyjne
4. Specialties for graphical & industrial applications	4. Papiery specjalne do zastosowań poligraficznych i przemysłowych
5. Cigarette paper, fine paper	5. Bibułki papierosowe, papiery bezdrzewne do drukowania i pisania
6. Specialty paper (Coloured, marbled, various surfaces and qualities)	6. Papiery specjalne (barwne, marmurkowe, o różnej powierzchni i cechach)
7. Special creped paper	7. Specjalne papiery krepowane
8. Electric insulation paper	8. Papiery elektroizolacyjne
9. White and mostly coloured Bristol boards	9. Biały brystol i głównie jego barwne rodzaje
10. Mostly coloured and high white paper/board: tickets, filing, printing, specialties	10. Głównie papiery barwne i papier biały/tektura wysokiej jakości: bilety, artykuły biurowe, drukowe, specjalne
11. Security papers	11. Papiery zabezpieczone
12. Technical drawing paper. creative paper for advertising and luxury, packaging (mostly coloured), security paper	12. Papiery techniczne, papiery artystyczne do reklam i luksusowych opakowań (głównie barwne), papier wartościowy
13. Tea bag paper, food and beverage packing, composite laminate, metalised paper	13. Papier do torebek z herbatą, opakowania żywności i napojów, laminaty kompozytowe, papiery metalizowane
14. Many coloured grades, greaseproof paper, others	14. Wiele barwnych rodzajów, papiery tłuszczoszczelne, inne
15. Paper for stainless steel interleaving, high absorbent paper and electrotechnical paper	15. Papier do stali nierdzewnej łączący wysoce chłonny papier i papier elektrotechniczny
16. ?	16. ?
17. Creative paper, luxury packaging mostly coloured	17. Papiery artystyczne, luksusowe opakowania, głównie barwne
18. Specialty packaging, other specialty, graphic paper (50%)	18. Specjalne opakowania, inne papiery specjalne, papiery poligraficzne (50%)
19. Packaging paper and board, Special	19. Papiery i tektury opakowaniowe, papiery specjalne do druku handlowego i

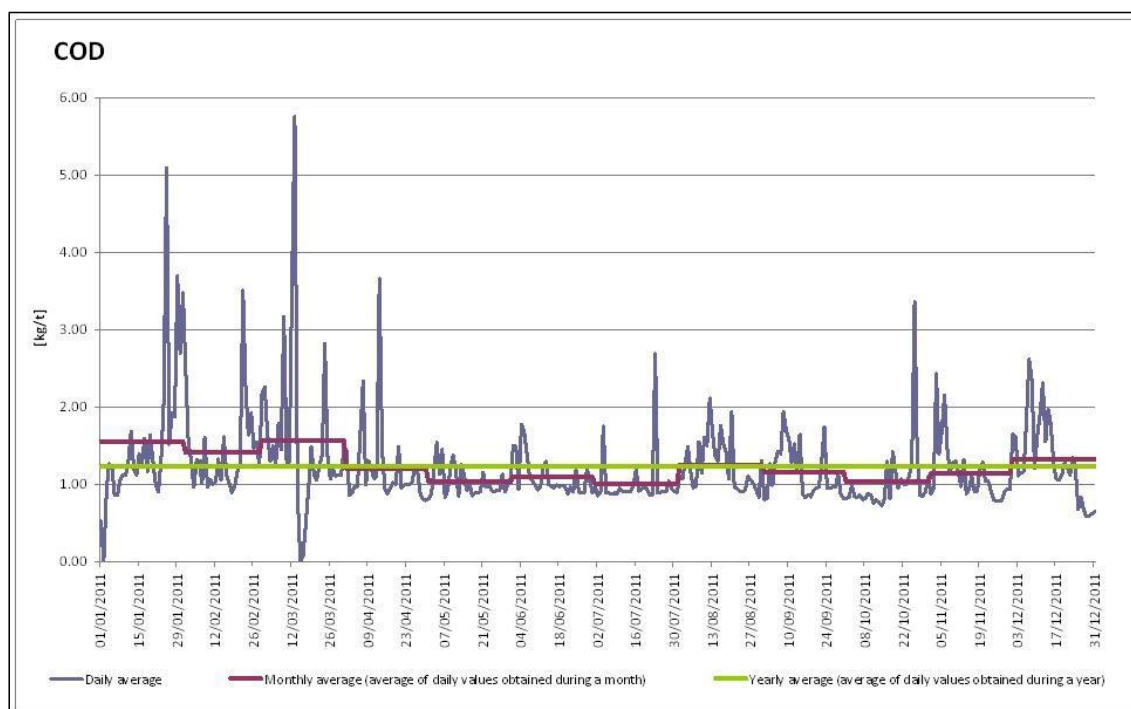
papers for commercial and specialised printing, publishing, covers, bookbinding, labeling and digital and impact-free printing. Graphic paper (30%)	specjalistycznego, okładki, oprawy książek, etykiety, papieru do druku cyfrowego i ekologicznego. Papiery poligraficzne (30%)
20. ?	20. ?
21. Casting paper, art paper	21. Papiery do modelowania, wielokrotnie powlekane papiery bezdrzewne
22. ?	22. ?
23. ?	23. ?
Source: Data collection/questionnaires, 2006 and 2008	Źródło: Gromadzone dane/ankiety, 2006 i 2008
<b>Biological treatment</b>	<b>Oczyszczanie biologiczne</b>
<b>act sludge + sed. + flot</b>	<b>osad czynny + sed. + flot</b>
<b>primary treatment</b>	<b>I stopień oczyszczania</b>
<b>secondary treatment</b>	<b>II stopień oczyszczania</b>

Zgłoszone emisje ChZT z papierni wytwarzających papiery specjalne wahają się między 0,31 kg ChZT/t i 7 kg ChZT/t (Źródło: ankieta EIPPCB, lata referencyjne 2006 i 2008). Wahania te są większe niż w przypadku papierni niezintegrowanych wytwarzających głównie papiery bezdrzewne ze względu na różnorodność produkowanych rodzajów papierów, ale również na skutek zróżnicowania zarządzania wykorzystywanymi dodatkami chemicznymi, gospodarki wodnej i stosowanych systemów oczyszczania ścieków. Prawie połowa papierni, które wzięły udział w ankiecie EIPPCB, odprowadza średnio rocznie mniej niż 2 kg ChZT/t, a tylko dwie papiernie odprowadzają ponad 5 kg ChZT/t.

Średnie roczne stężenia ChZT, wynikające z danych zgromadzonych przez EIPPCB, w przypadku papierni niezintegrowanych wytwarzających papiery specjalne wahały się między 17 mg/l i 118 mg/l.

W odniesieniu do krótkoterminowych średnich wielkości ChZT, ze względu na to, że zgromadzone dane nie zawierają wystarczającej ilości wielkości reprezentatywnych dla tego parametru, na rys. 7.18 przedstawiono dobowe wahania ładunku ChZT w ciągu roku dla jednej papierni wytwarzającej papiery specjalne (niemieckiej nr DE 4).





Rysunek 7. 18 Dobowe ładunki ChZT w ciągu roku z papierni niezintegrowanej wytwarzającej papiery specjalne (niemieckiej papierni wytwarzającej papiery specjalne nr DE 4).

COD	ChZT
Daily average	Średnia dobowa
Monthly average (average of daily values obtained during a month)	Średnia miesięczna (średnia wielkości dobowych uzyskanych w ciągu miesiąca)
Yearly average (average of daily values obtained during a year)	Średnia roczna (średnia wielkości dobowych uzyskanych w ciągu roku)

### Biologiczne zapotrzebowanie tlenu (BZT5 lub BZT7)

#### *Powlekane/niepowlekane papiery do zastosowań poligraficznych i bibułka tissue*

Podane w ankiecie EIPPCB średnie roczne wielkości emisji ładunku BZT dla papierni niezintegrowanych wytwarzających papiery bezdrzewne wahały się między 0,03 – 0,27 kg BZT5/t dla powlekanych i niepowlekanych papierów do zastosowań poligraficznych oraz między 0,01 i 0,19 kg BZT5/t w przypadku papierni wytwarzających bibułka tissue. Zgłoszone stężenia mieściły się w przedziale 3 – 17 mg/l dla papierów do zastosowań poligraficznych i 2 – 16 mg/l dla bibulek tissue. Według dostępnych danych ETS, ładunki z niezintegrowanych papierni wytwarzających bibułka tissue (rok referencyjny 2008 r.) wahały się między 0,008 kg BZT/t i 0,90 kg BZT/t, przy czym najwyższe wielkości (np. 0,77 kg BZT/t i 0,90 kg BZT/t) dotyczyły papierni bez oczyszczalni biologicznej. Najwyższa zgłoszona wielkość dla zakładu z oczyszczalnią biologiczną wynosiła 0,51 kg BZT/t. Podane przez ETS średnie dobowe stężenia dla papierni wytwarzających bibułka tissue wahały się między 0,7 mg/l i aż 200 mg/l.

#### *Papiery specjalne*

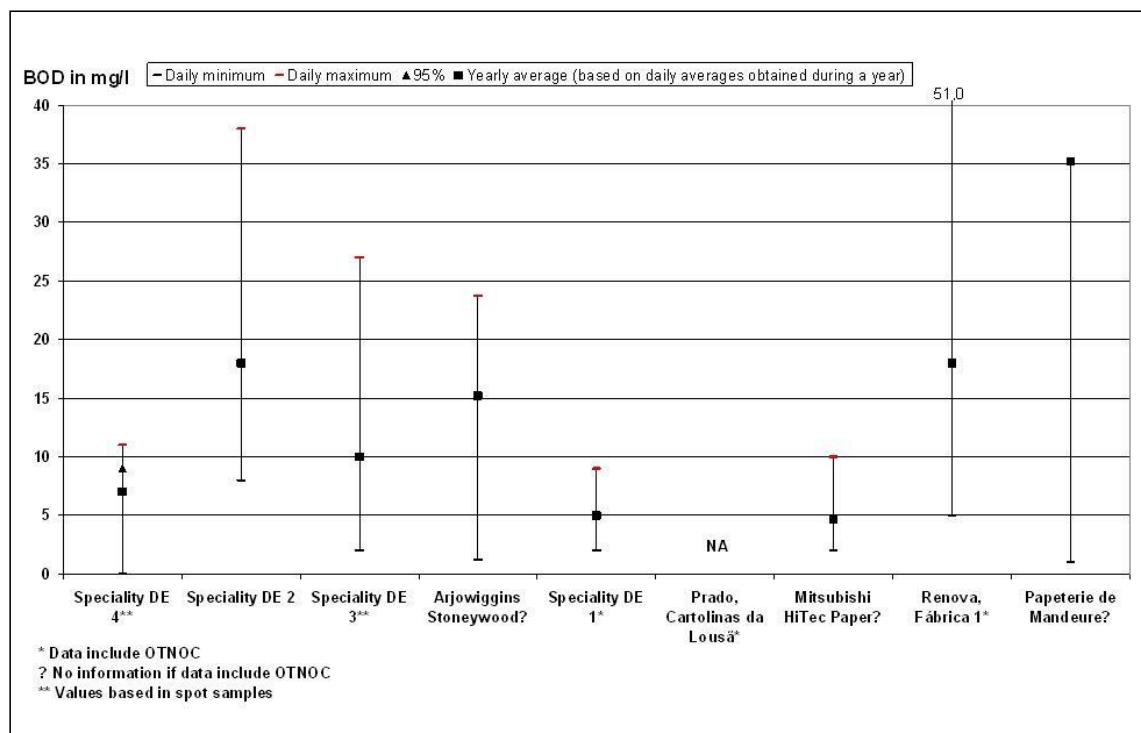
Zgłoszone średnie roczne wielkości emisji ładunku BZT dla papierni niezintegrowanych wytwarzających papiery specjalne wahały się między 0,12 kg BZT5/t i 0,3 kg BZT5/t, podczas gdy średnie roczne stężenia mieszczą się w przedziale 4-23 mg/l.

W prawidłowo działających oczyszczalniach biologicznych średnie roczne stężenie BZT<sub>5</sub> lub BZT<sub>7</sub> po oczyszczaniu wynosi 10 – 20 mg/l. Trudno jest zmierzyć dokładnie i odtworzyć wielkości BZT

---

rzędu 5 mg/l. Należy je interpretować jako bliskie granicy wykrywalności.

Na rys. 7.19 przedstawiono krótkoterminowe średnie wielkości emisji BZT zgłoszone przez papiernie wytwarzające papiery specjalne.



Rysunek 7.19 Krótkoterminowe średnie wielkości emisji BZT z niezintegrowanych papierni europejskich wytwarzających papiery specjalne.

BOD in mg/l	BZT w mg/l
Daily minimum	Minimum dobowe
Daily maximum	Maksimum dobowe
Yearly average (based on daily averages obtained during a year)	Średnia roczna (oparta na średnich dobowych uzyskanych w ciągu roku)
Speciality DE	Niemiecka papiernia wytwarzająca papiery specjalne w Niemczech
* Data include OTNOC	* Dane obejmują warunki inne niż normalne
? No information if data include OTNOC	? Brak informacji, czy dane obejmują warunki inne niż normalne
** Values based in spot samples	** Wartości oparte na próbkach wrywkowych
Source: EIPPCB questionnaires from 2007/2009	Źródło: ankiety EIPPCB w latach 2007-2009

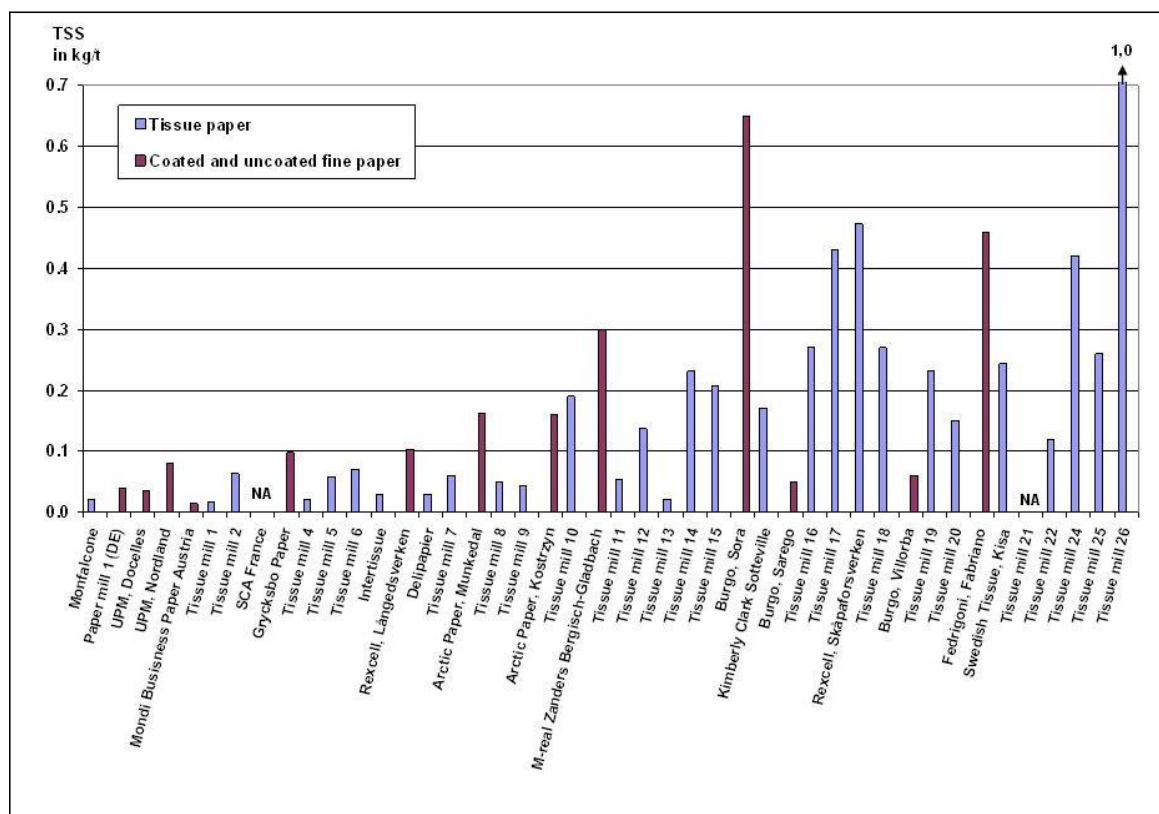
### Zawiesina ogólna (TSS)

#### *Powlekanie/niepowlekanie papiery do zastosowań poligraficznych i bibułki tissue*

Na rys. 7.20 przedstawiono wielkości zawiesiny ogólnej zgłoszone w ankiecie EIPPCB: 0,014 – 0,3 kg TSS/t dla papierni wytwarzających papiery do zastosowań poligraficznych (z wyjątkiem dwóch papierni, które zgłosiły wielkości odpowiednio 0,46 kg TSS/t i 0,65 kg TSS/t) oraz 0,02 – 0,473 kg TSS/t dla papierni wytwarzających bibułki tissue. Jak pokazuje rys. 7.20, 11 z 19 niezintegrowanych papierni wytwarzających papiery do zastosowań poligraficznych i bibułki tissue, które podały wielkości TSS w ankiecie EIPPCB, odprowadza nie więcej niż około 0,1 kg TSS/t. Pięć z nich podało nawet mniejsze średnie roczne wielkości niż 0,05 kg TSS/t. Według danych ETS, wielkości dla papierni wytwarzających

bibułki tissue wahają się między 0,016 kg TSS/t i 1,0 kg TSS/t, przy czym górny przedział wielkości (dla papierni powyżej 0,27 kg TSS/t, np. papiernie wytwarzające bibułki nr 24 i 26) odnosi się do papierni bez oczyszczalni biologicznej.

Według danych zgromadzonych przez EIPPCB, papiernie niezintegrowane wytwarzające papiery do zastosowań poligraficznych zgłosiły średnie roczne stężenia między 3,6 mg TSS/l i 26 mg TSS/l, zaś papiernie wytwarzające papiery do zastosowań poligraficznych - między 6 mg/l i 12 mg/l. Podane przez ETS średnie wielkości dobowe dla papierni wytwarzających bibułki wahały się między 1,8 mg/l i 20,8 mg/l po oczyszczaniu biologicznym.



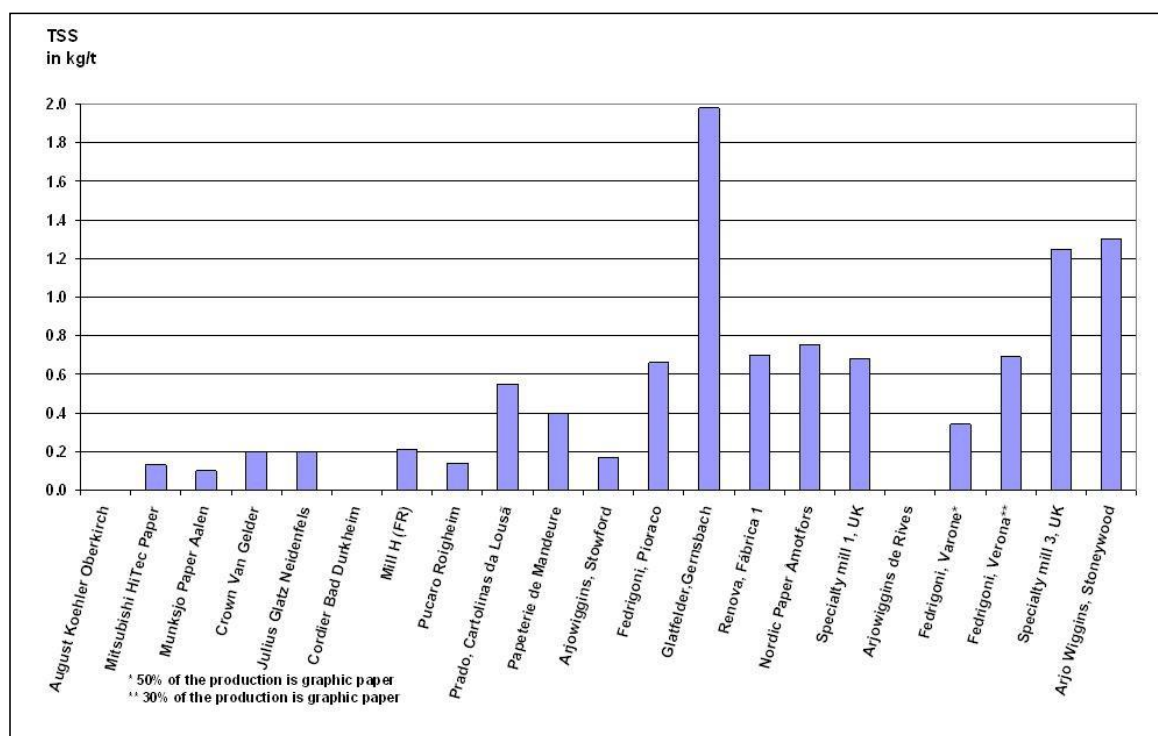
Rysunek 7.20 Przykłady średnich rocznych jednostkowych wielkości emisji TSS po oczyszczalni ścieków z niezintegrowanych papierni europejskich (bez papierów specjalnych).

TSS in kg/t	TSS w kg/t
Tissue paper	<b>Bibułki tissue</b>
Coated and uncoated fine paper	<b>Powlekane i niepowlekane papiery bezdrzewne do drukowania i pisanie</b>
NA	BD
Source: Data collection/questionnaires [ CEPI comment WD, 2012, ETS data ]	<i>Źródło:</i> Gromadzone dane/ankiety [ Uwaga CEPI WD, dane ETS 2012 r. ]

### Papiery specjalne

Na rys. 7.21 przedstawiono średnie roczne wielkości jednostkowych emisji ładunku TSS zgłoszone w ankiecie EIPPCB dla papierni niezintegrowanych wytwarzających papiery specjalne. Wielkości wahają się między 0,1 kg TSS/t i 1,98 kg TSS/t, przy czym emisje z większości zakładów, które przekazały dane (15 z 18), były mniejsze niż 0,8 kg TSS/t. Zgłoszone średnie roczne stężenia TSS dla

papierni wytwarzających papiery specjalne mieściły się w przedziale od 2 mg/l do 31 mg/l (dane zgromadzone przez EIPPCB).



Rysunek 7.21 Przykłady średnich rocznych jednostkowych wielkości emisji TSS po oczyszczalni ścieków z niezintegrowanych papierni europejskich wytwarzających papiery specjalne.

TSS in kg/t	TSS w kg/t
* 50% of the production is graphic paper	* 50% produkcji stanowią papiery do zastosowań poligraficznych
** 30% of the production is graphic paper	** 30% produkcji stanowią papiery do zastosowań poligraficznych
Source: Data collection/questionnaires	Źródło: Gromadzone dane/ankiety

## AOX

W ciągu ostatnich kilku lat zmniejszyły się emisje AOX, ponieważ obecnie praktycznie całkowicie zrezygnowano z chloru w procesie bielenia. Źródła adsorbowalnych organicznie związanych chlorowców stanowią głównie niektóre dodatki chemiczne (np. środki wodoutrwalające i zanieczyszczenia, jak np. epichlorohydryna), śladowe ilości związków chloroorganicznych z zakupionej masy włóknistej, a także, w mniejszym zakresie, woda produkcyjna oczyszczana zawierającymi chlor środkami dezynfekującymi (jeśli są stosowane).

Na rynku są dostępne neutralne środki wodoutrwalające o zmniejszonej ilości AOX, które dają możliwość dalszego ograniczenia emisji AOX. Dalszą redukcję AOX o 30%-50% zapewnia również oczyszczanie przy użyciu osadu czynnego. Jednakże, redukcję tę osiąga się częściowo poprzez wypłukiwanie tych związków podczas oczyszczania ścieków.

### *Powlekanie/niepowlekanie papiery do zastosowań poligraficznych i bibułki tissue*

Zgłoszone średnie roczne jednostkowe wielkości emisji ładunku AOX (zbiór danych EIPPCB) dla papierni niezintegrowanych wytwarzających papiery do zastosowań poligraficznych wahały się między 0,0004 kg AOX/t i 0,01 kg AOX/t, podczas gdy dla papierni wytwarzających bibułki

tissue mieściły się w przedziale od 0,0005 kg AOX/t do 0,001 kg AOX/t. Średnie roczne stężenia AOX wahają się między 0,04 mg/l i 0,2 mg/l dla papierów do zastosowań poligraficznych oraz między 0,08 mg/l i 0,3 mg/l bibułek tissue.

### Papiery specjalne

Producenci papierów specjalnych zgłosili średnie roczne emisje ładunku AOX od 0,001 5 kg/t do 0,01 kg/t oraz stężenia od 0,02 – 0,36 mg/l.

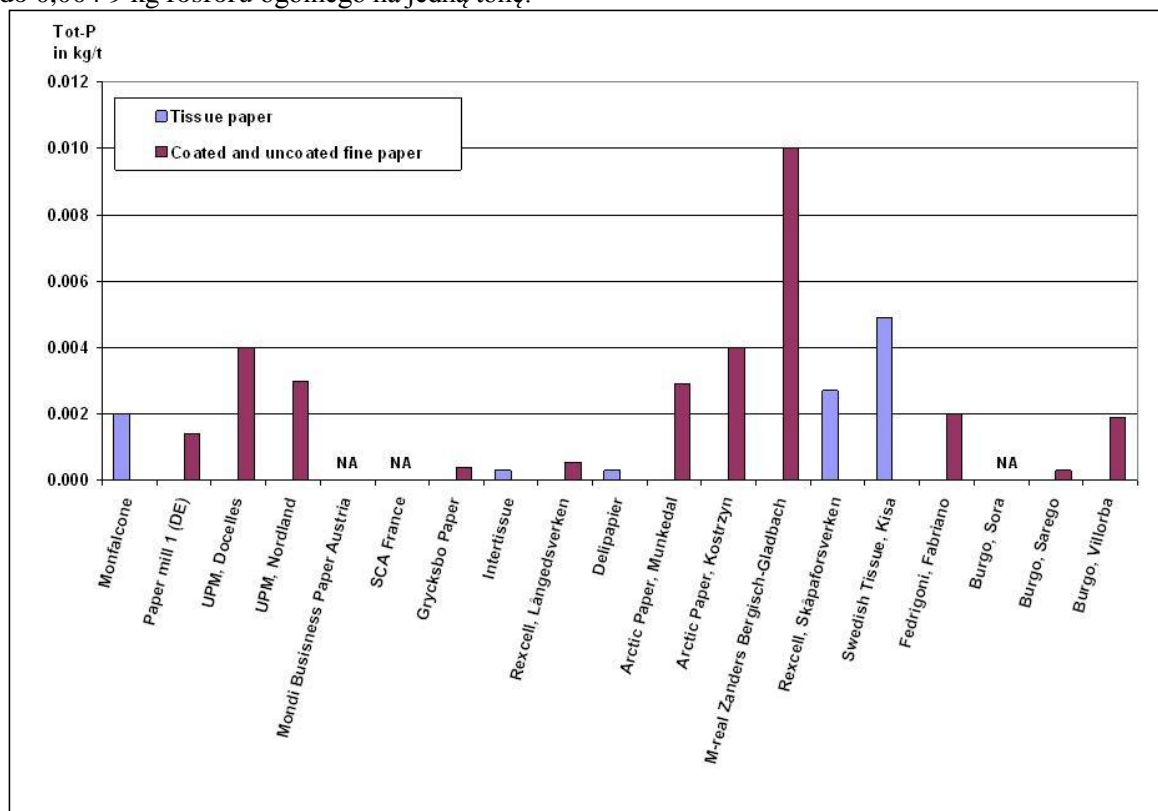
### Biogeny

Ścieki z wytwórni masy włóknistej i papierni na ogół zawierają tylko niskie zawartości azotu i fosforu, dlatego biogeny trzeba uzupełnić, żeby zapewnić sprawne działanie biologicznej oczyszczalni ścieków. Związki azotu i fosforu w ściekach pochodzą głównie z dodatku tych biogenów w biologicznej oczyszczalni ścieków (zob. podpunkt 2.9.11.2.3). Niektóre dodatki chemiczne mogą również zawierać organicznie związane związki azotu. Np. rozjaśniacze optyczne mogą zawierać do 30% organicznie związanego azotu (mocznika). W czasie oczyszczania biologicznego część azotu organicznego może ulec hydrolizie do amoniaku i przekształca się w azotany w napowietrzanych zbiornikach.

Przy założeniu kontrolowanego dozowania w celu zapewnienia optymalnej sprawności oczyszczalni ścieków można osiągnąć średnie dobowe stężenie azotu ogólnego związanego w przedziale 5 – 20 mg/l i stężenie fosforu ogólnego na poziomie 1 – 2 mg/l.

### Powlekane/niepowlekane papiery do zastosowań poligraficznych i bibułki tissue

Na rys. 7.22 przedstawiono średnie roczne jednostkowe wielkości emisji ładunku fosforu ogólnego dla papierni niezintegrowanych wytwarzających papiery do zastosowań poligraficznych i bibułki tissue (ankieta EIPPCB). Zgłoszone średnie roczne wielkości emisji ładunku fosforu ogólnego (zbiór danych EIPPCB) dla papierni niezintegrowanych wytwarzających papiery do zastosowań poligraficznych wahały się od 0,000 4 kg fosforu ogólnego na jedną tonę do 0,01 kg fosforu ogólnego na jedną tonę, natomiast dla papierni wytwarzających bibułki tissue wahały się one od 0,0003 kg fosforu ogólnego na jedną tonę do 0,004 9 kg fosforu ogólnego na jedną tonę.



Rysunek 7. 22 Przykładowe średnioroczne jednostkowe wielkości emisji ładunku fosforu ogólnego po oczyszczalni ścieków z niezintegrowanych papierni europejskich (bez papierów specjalnych).

Tot-P in kg/t	<b>Fosfor ogólny w kg/t</b>
Tissue paper	<b>Bibułki tissue</b>
Coated and uncoated fine paper	<b>Powlekane i niepowlekane papiery bezdrzewne do drukowania i pisania</b>
NA	BD
Source: Data collection/questionnaires	<i>Źródło:</i> Zbiór danych/ankiety

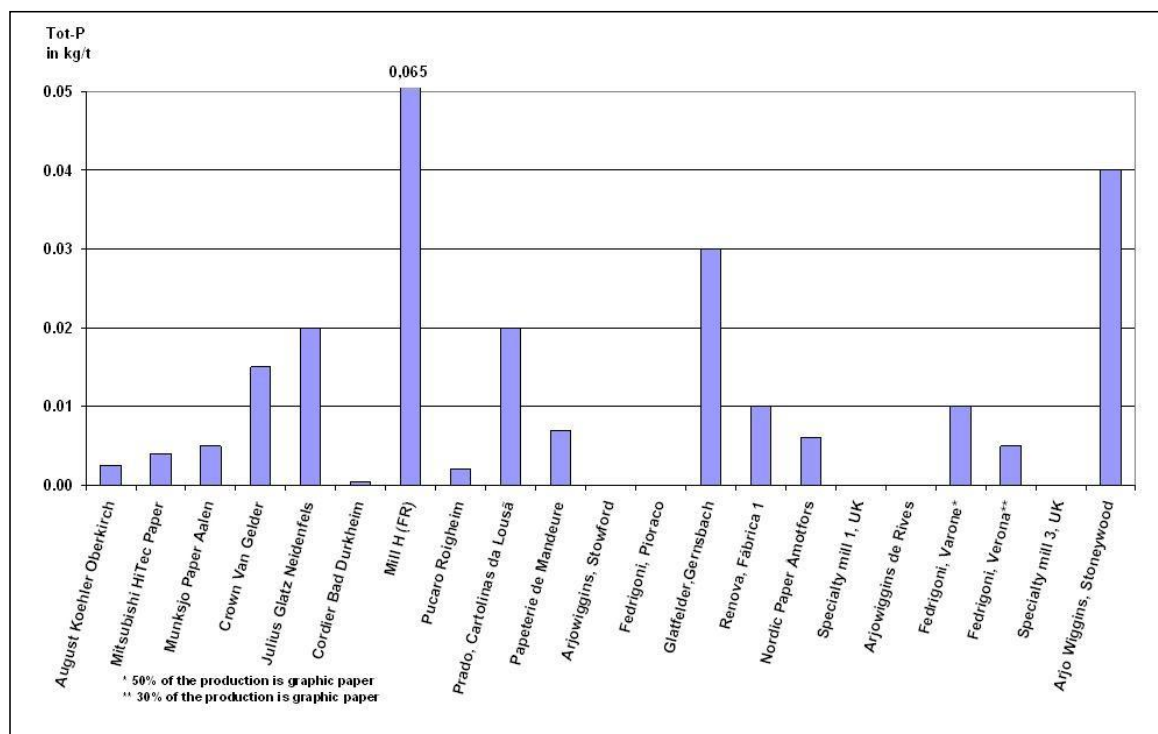
Rys. 7.22 pokazuje, że 14 z 16 papierni wytwarzających papiery do zastosowań poligraficznych i bibułki tissue, które wzięły udział w ankietach EIPPCB, odprowadza mniej niż 0,004 kg fosforu ogólnego na jedną tonę, podczas gdy dziewięć z nich zgłosiło średnie roczne wielkości nawet poniżej 0,002 kg fosforu ogólnego na jedną tonę. Tylko dwie papiernie podały wyższe wielkości, przy czym jedna zgłosiła wielkość wynoszącą aż 0,01 kg fosforu ogólnego na jedną tonę.

Zgłoszone średnie roczne stężenia fosforu ogólnego wahają się między 0,06 mg/l i 1 mg/l dla papierów do zastosowań poligraficznych oraz między 0,08 kg fosforu ogólnego na jedną tonę i 1,3 kg fosforu ogólnego na jedną tonę, przy czym tylko kilka papierni przekroczyło wartość 1 mg fosforu ogólnego na jedną tonę.

#### ***Papiery specjalne***

Na rys. 7.23 przedstawiono dane zebrane dla papierni wytwarzających papiery specjalne. Zgłoszone średnie roczne wielkości emisji ładunku fosforu ogólnego wahają się między 0,000 4 kg/t i 0,065 kg/t. Poza jedną, wszystkie 16 papierni wytwarzające papiery specjalne, które wzięły udział w ankietach EIPPCB, odprowadzają mniej – lub znacząco mniej – niż 0,04 kg fosforu ogólnego na jedną tonę (14 papierni). W istocie, 13 papierni odprowadza mniej niż 0,02 kg fosforu ogólnego na jedną tonę, przy czym 10 z nich odprowadza nawet mniej niż 0,01 kg fosforu ogólnego na jedną tonę.

Zgłoszone stężenia wahały się między 0,02 mg/l i 1,25 mg/l. Tylko dwie papiernie z 12, które przekazały dane, przekroczyły średnią roczną wielkość 1 mg fosforu ogólnego na jedną tonę (1,2 mg/l i 1,25 mg/l), podczas gdy dziewięć papierni podało wielkości fosforu ogólnego na jedną tonę równe lub mniejsze niż 0,3 mg/l (ankieta EIPPCB).

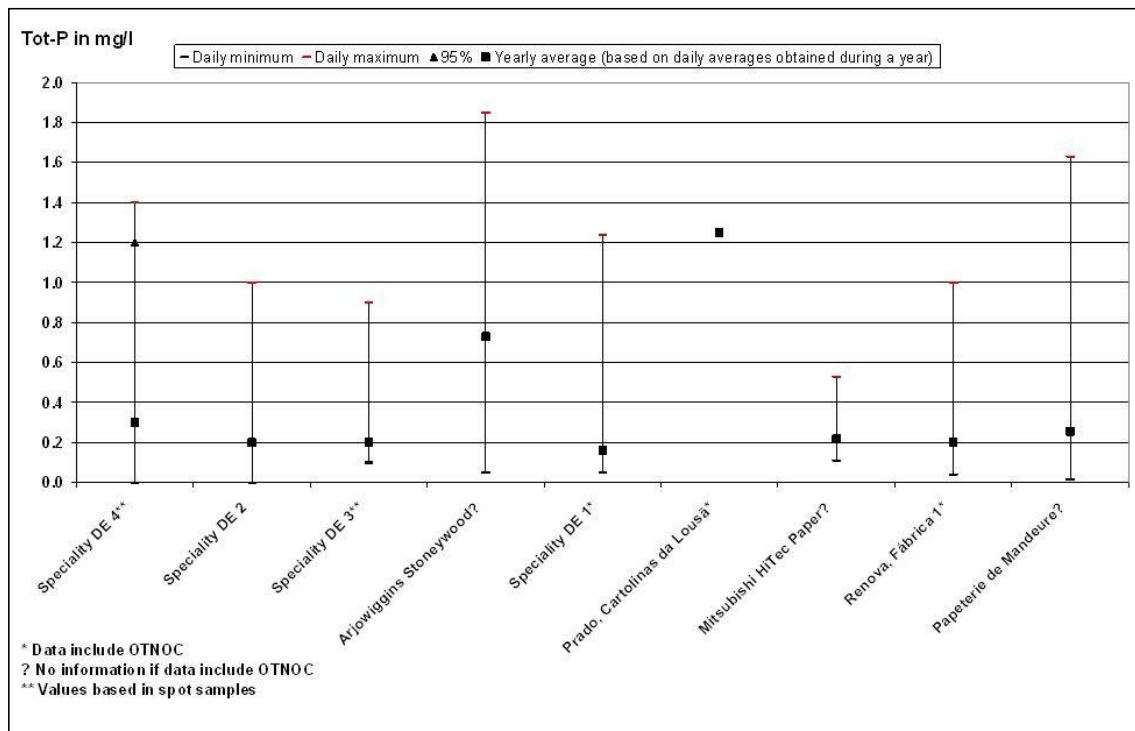


Rysunek 7.23 Przykładowe średnioroczne jednostkowe wielkości emisji ładunku fosforu ogólnego po oczyszczalni ścieków z niezintegrowanych papierni europejskich wytwarzających papiery specjalne.

Tot-P in kg/t	Fosfor ogólny w kg/t
* 50% of the production is graphic paper	* 50% produkcji stanowią papiery do zastosowań poligraficznych
** 30% of the production is graphic paper	** 30% produkcji stanowią papiery do zastosowań poligraficznych
Source: Data collection/questionnaires	Źródło: Zbiór danych/ankiety

Na rys. 7.24 przedstawiono krótkoterminowe średnie wielkości emisji fosforu ogólnego zgłoszone przez papiernie wytwarzające papiery specjalne.





Rysunek 7.24 Krótkoterminowe średnie wielkości emisji fosforu ogólnego z niezintegrowanych papierni europejskich wytwarzających papiery specjalne.

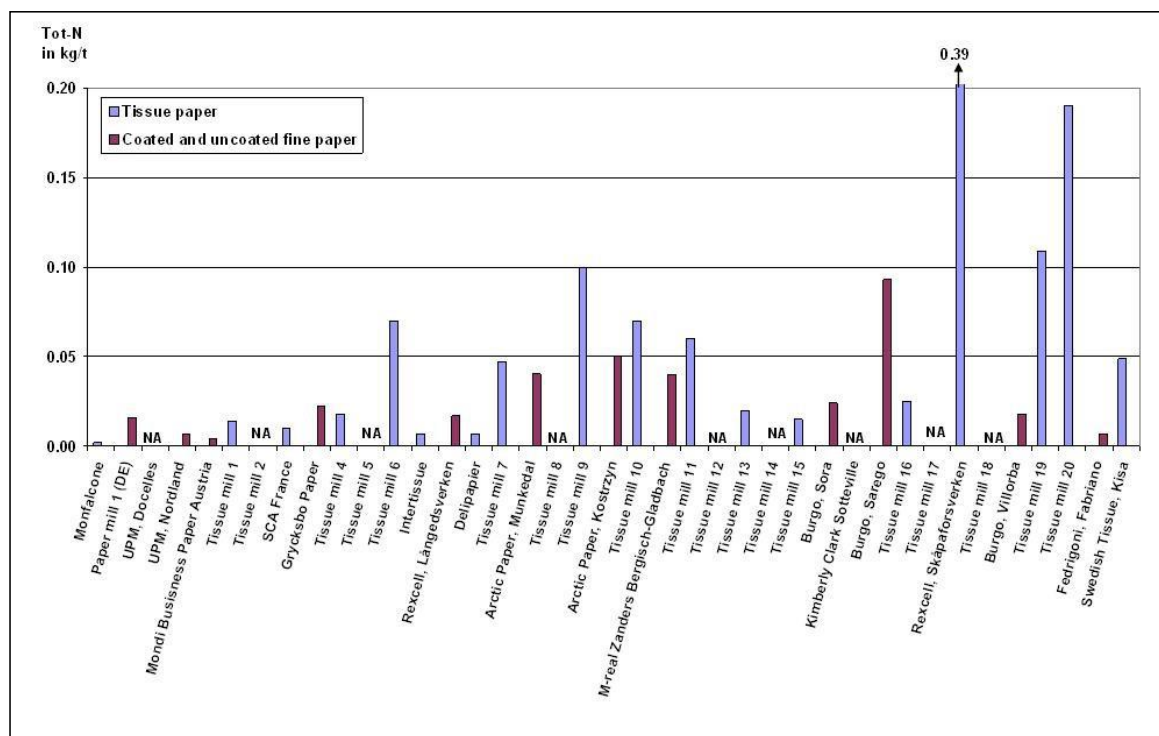
Tot-P in mg/l	Fosfor ogólny w mg/l
Daily minimum Daily maximum 95% Yearly average (based on daily averages obtained during a year)	Minimum dobowe Minimum dobowe 95% Średnia roczna (oparta na średnich dobowych uzyskanych w ciągu roku)
* Data include OTNOC	* Dane obejmują warunki inne niż normalne
? No information if data include OTNOC	? Brak informacji, czy dane obejmują warunki inne niż normalne
** Values based in spot samples	** Wartości oparte na próbkach wrywkowych
Source: EIPPCB questionnaires from 2007/2009	Źródło: ankiety EIPPCB w latach 2007-2009

### **Powlekanie/niepowlekanie papiery do zastosowań poligraficznych i bibułki tissue**

Na rys. 7.25 przedstawiono zgłoszone średnie roczne wielkości azotu ogólnego dla papierni niezintegrowanych wytwarzających papiery do zastosowań poligraficznych i bibułki tissue, które wzięły udział w ankietach EIPPCB, i dla papierni wytwarzających papiery bibułki tissue, które przekazały dane za pośrednictwem ETS. Wielkości wahają się między 0,004 kg azotu ogólnego na jedną tonę i 0,093 kg azotu ogólnego na jedną tonę dla papierów do zastosowań poligraficznych oraz między 0,002 kg azotu ogólnego na jedną tonę i 0,39 kg azotu ogólnego na jedną tonę dla bibulek tissue. 14 z 18 papierni, które przekazały dane w ankietach, odprowadzało mniej niż 0,05 kg azotu ogólnego na jedną tonę, natomiast 9 papierni zgłosiło wielkości emisji ładunku azotu poniżej 0,02 kg azotu ogólnego na jedną tonę. Przekazane w ramach danych ETS wielkości podane dla papierni wytwarzających bibułki tissue (papiernie wytwarzające bibułki nr 1-20) wahały się między 0,014 kg azotu ogólnego na jedną tonę i 0,19 kg azotu ogólnego na jedną tonę, przy czym większość wielkości była niższa niż 0,01 kg/ADt (w stanie powietrzno-suchym).

Zgłoszone stężenia wahały się między 0,6 mg/l i 10,1 mg/l dla papierów do zastosowań poligraficznych oraz między 0,9 mg/l i 16 mg/l dla bibulek tissue. Ogólnie rzecz biorąc, zgłoszone stężenia azotu wahały się głównie między 1 mg azotu ogólnego na litr i 7 mg azotu ogólnego na litr, przy czym dwie

przekraczały średnie roczne wielkości 10 mg azotu ogólnego na liter.



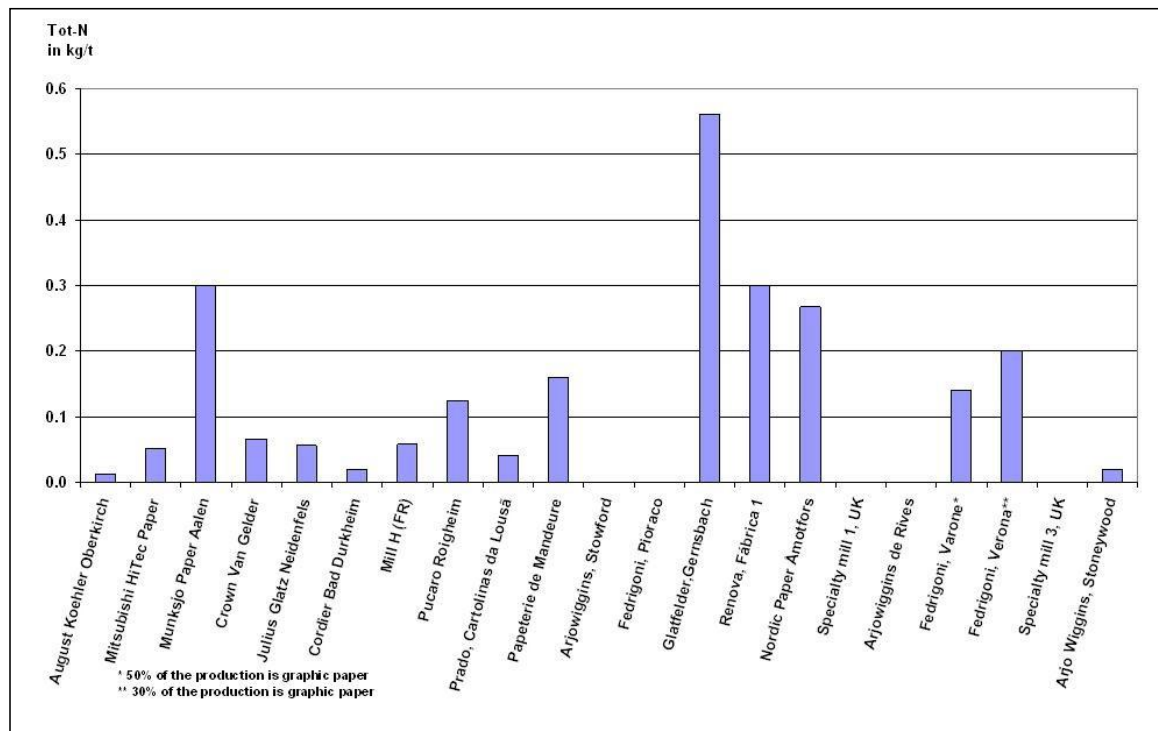
Rysunek 7.25 Przykładowe średnie roczne jednostkowe wielkości emisji ładunku azotu ogólnego po oczyszczalni ścieków z niezintegrowanych papierni europejskich (bez papierów specjalnych)

Tot-N in kg/t	Azot ogólny w kg/t
Tissue paper	Bibułki tissue
Coated and uncoated fine paper	Powlekane i niepowlekane papiery bezdrzewne do drukowania i pisanie
NA	BD
Source: Data collection/questionnaires	Źródło: Zbiór danych/ankiety

### Papiery specjalne

Na rys. 7.26 przedstawiono zgłoszone średnie roczne wielkości azotu ogólnego dla papierni niezintegrowanych wytwarzających papiery specjalne, które wzięły udział w ankietach EIPPCB. Wielkości wahały się między 0,013 kg azotu ogólnego na tonę i 0,55 kg azotu ogólnego na tonę.

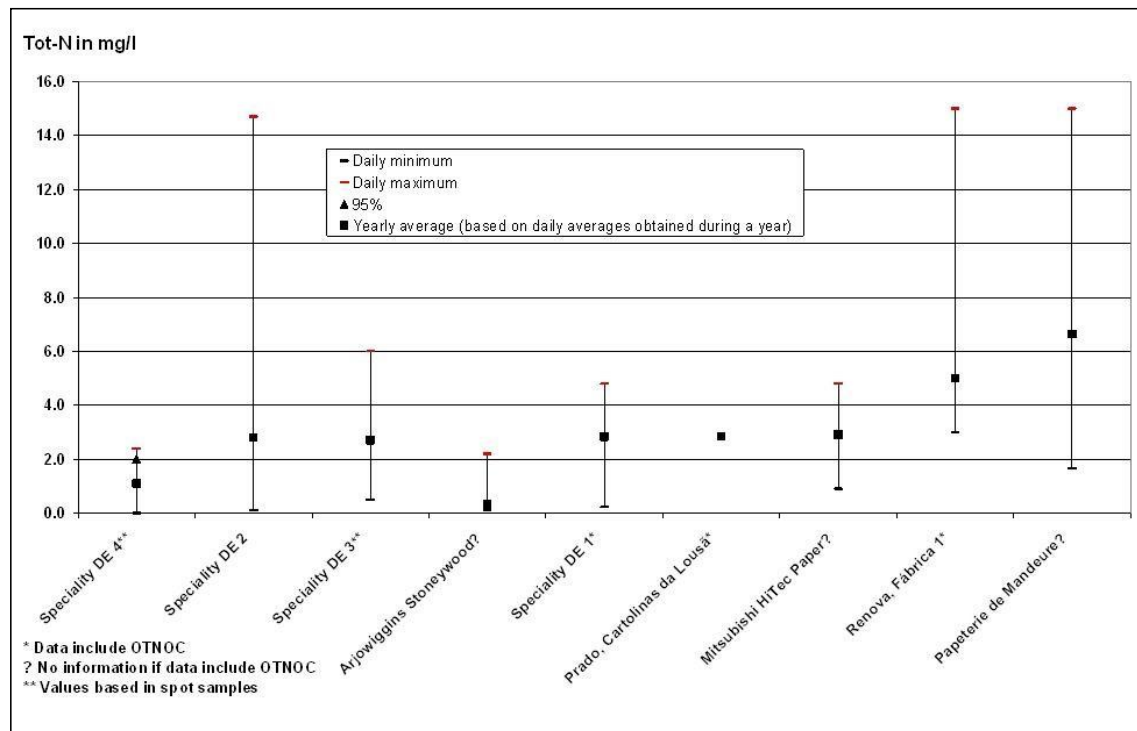
Papiernie wytwarzające papiery specjalne zgłosiły stężenia azotu wahające się między 0,32 mg/l i 6,64 mg/l.



Rysunek 7.26 Przykładowe średnie roczne jednostkowe wielkości emisji ładunku azotu ogólnego po oczyszczalni ścieków z niezintegrowanych papierni europejskich wytwarzających papiery specjalne.

Tot-N in kg/t	Azot ogólny w kg/t
50% of the production is graphic paper	50% produkcji stanowią papiery do zastosowań poligraficznych
30% of the production is graphic paper	30% produkcji stanowią papiery do zastosowań poligraficznych
Source: Data collection/questionnaires	Źródło: Zbiór danych/ankiety

Na rys. 7.27 przedstawiono krótkoterminowe średnie wielkości emisji azotu ogólnego zgłoszone przez papiernie wytwarzające papiery specjalne.



Rysunek 7. 27 Krótkoterminowe średnie wielkości emisji azotu ogólnego z niezintegrowanych papierni europejskich wytwarzających papiery specjalne.

Tot-N in mg/l	Azot ogólny w mg/l
Daily minimum Daily maximum 95%	Minimum dobowe Minimum dobowe 95%
Yearly average (based on daily averages obtained during a year)	Średnia roczna (oparta na średnich dobowych uzyskanych w ciągu roku)
* Data include OTNOC	* Dane obejmują warunki inne niż normalne
? No information if data include OTNOC	? Brak informacji, czy dane obejmują warunki inne niż normalne
** Values based in spot samples	** Wartości oparte na próbkach wrywkowych
Source: EIPPCB questionnaires from 2007/2009	Źródło: ankiety EIPPCB w latach 2007-2009
Tot-N in mg/l	Azot ogólny w mg/l
Daily minimum Daily maximum 95%	Minimum dobowe Minimum dobowe 95%
Yearly average (based on daily averages obtained during a year)	Średnia roczna (oparta na średnich dobowych uzyskanych w ciągu roku)
* Data include OTNOC	* Dane obejmują warunki inne niż normalne
? No information if data include OTNOC	? Brak informacji, czy dane obejmują warunki inne niż normalne
** Values based in spot samples	** Wartości oparte na próbkach wrywkowych
Source: EIPPCB questionnaires from 2007/2009	Źródło: ankiety EIPPCB w latach 2007-2009

### 7.2.2.6 Powstawanie odpadów stałych

W papierni powstają różnorodne rodzaje odpadów pochodzące z następujących różnych źródeł:

- odrzuty z przygotowania masy,
- osad z oczyszczania wody,
- inne frakcje odpadów.

#### Odrzuty z przygotowania masy

Odrzuty powstają w czasie oczyszczania masy papierniczej przed wlewem maszyny papierniczej. Odrzuty te zawierają różnorodne zanieczyszczenia, takie jak pęczki włókien, piasek itd., a także pewną ilość włókien. Zawartość suchej substancji na ogół wynosi około 1 – 25%. Odrzuty te są zwykle kierowane do oczyszczalni ścieków, ale również mogą trafiać bezpośrednio do odwadniania osadu. Większość substancji stałych gromadzi się w osadzie pierwotnym ze wstępnego klarowania. Z tego powodu odrzuty nie są często liczone oddzielnie w danych o odpadach.

#### Osad z oczyszczania wody

W wielu papierniach osad z oczyszczania wody świeżej i ścieków stanowi jedną z głównych grup potencjalnych odpadów. Można wyróżnić różne rodzaje odpadów.

- Osad ze wstępnego uzdatniania wód powierzchniowych w celu uzyskania wody produkcyjnej poprzez wytrącenie chemiczne/flokulację. Osad powstaje tylko w papierniach wykorzystujących wody powierzchniowe, które wymagają takiego specjalnego uzdatniania. W tych przypadkach może powstać znacząca ilość osadu.
- Osad pierwotny ze wstępnego klarowania. Powstaje on w większości papierni. Składa się przede wszystkim z włókien i frakcji drobnej oraz materiału nieorganicznego w papierniach wykorzystujących wypełniacze.
- Nadmiar osadu z oczyszczalni biologicznej. Dużą część osadu stanowi materiał organiczny. W oczyszczaniu beztlenowym osadu powstaje umiarkowana ilość osadu (około 1/7 osadu powstającego w oczyszczaniu tlenowym).
- Osad z chemicznej flokulacji powstaje w papierniach prowadzących III stopień oczyszczania (zob. podpunkt 3.3.14). W oczyszczaniu tym powstaje znaczna ilość osadu. W poszczególnych papierniach w osadzie występują odmienne ilości materiału organicznego/nieorganicznego, w zależności od dozowania i rodzaju stosowanych flokulantów. Wiele papierni wytwarzających papieru powlekane prowadzi oddzielne oczyszczanie ścieków z procesu powlekania. Flokulacja stanowi powszechną praktykę w oczyszczaniu tych stężonych ścieków, a w jej wyniku powstaje osad, który wymaga odwodnienia i dalszej przeróbki.

W tabeli 7.19 przedstawiono szereg przykładów ilości i rodzaju odrzutów, osadu i innych frakcji odpadów powstających na jedną tonę produkowanego papieru. Ilości odpadów stałych powstających w papierni zależą od rodzaju wytwarzanego papieru, wykorzystywanych surowców i stosowanych technik. Trudno jest znaleźć reprezentatywne dane przedstawiające typową ilość odpadów stałych dla różnych rodzajów papieru, które są wystarczająco wiarygodne (ze względu na jasno określone frakcje odpadów, zawartość suchej substancji, stosowaną obróbkę wstępną) i które uwzględniałyby różnorodność surowców i rodzajów papieru. W różnych krajach zgłoszono odmienne frakcje odpadów. Poniżej przedstawiono główne warianty waloryzacji i podstawowe metody zagospodarowania odpadów.

Tabela 7. 19 Przykładowe ilości opadów stałych (w tonach na rok) dla niektórych rodzajów papieru.

	Papier i tektura bezdrzewne	Bibułki tissue z zakupionej masy celulozowej	Papiery specjalne
Rok produkcji (1994)	904 509	24 540	965 962
Liczba piarni	6	1	20
Całkowita ilość odpadów stałych	29 761	211	161 945
Kora	0	0	407
Odrzuty z sortowania/oczyszczania	0	0	639
Całkowita ilość osadów	27 972	50	76 506
Osad chemiczno-mechaniczny	8852	0	46 259
Osad biologiczny	120	0	159
Osad mieszany z oczyszczalni ścieków	19 000	50	30 088
Całkowita ilość z przekształcania termicznego	1	0	26 842
Popioły/żuźle	1	0	26 671
Pozostałości z urządzeń ograniczających emisje do powietrza	0		171
Inne ogółem	1788	161	57 551
Odpady papierowe	1709	90	46 817
Inne	79	71	10 734
<b>Jednostkowa ilość odpadów (kg odpadów na jedną tonę wyrobu)</b>	33	9	168
Uwaga: Liczby odnoszą się do mokrych odpadów o suchości wymaganej do ich dalszego wykorzystania lub unieszkodliwienia. Określone całkowite ilości odpadów, niezależnie od tego, czy są one wykorzystywane, czy nie [ Solid Waste Handbook, 1996 ].			

Osady biologiczne i chemiczne wykazują słabą zdolność do odwadniania. Na ogół zagęszcza się je, a następnie odwadnia w prasach (taśmowej, filtracyjnej, ślimakowej) lub w filtrze próżniowym. Przed odwadnianiem osady te na ogół miesza się z osadem ze wstępnego klarowania (lub z korą, jeśli jest ona dostępna).

Chemikalia nieorganiczne i/lub organiczne wykorzystuje się do usprawnienia odwadniania osadu przez tworzenie dużych flokuł. Mieszane osady mogą być odwodnione do 25-35% suchości w prasie taśmowej, do 35-40% w prasie filtracyjnej oraz do 40-60% w prasie ślimakowej z użyciem pary do

wstępnego przetwarzania. Osiągalny stopień usunięcia wody zależy w pewnym zakresie od ilości osadu biologicznego zmieszanego z osadem ze wstępnego klarowania, od zawartości popiołu, a także od zawartości włókien. W niektórych papierniach po odwodnieniu osad ten jest również suszony

W wielu państwach członkowskich władze zniechęcają do składowania odpadów o wysokiej zawartości substancji organicznych. Dyrektywa Unii Europejskiej o składowaniu odpadów będzie wspierać tę tendencję ustalając poziomy docelowe ograniczenia ilości biodegradowalnych (komunalnych) odpadów odprowadzanych na składowiska. W konsekwencji należy rozwijać alternatywne sposoby unieszkodliwiania odpadów oraz różne sposoby wstępnego przetwarzania większych ilości osadu (zob. punkt 2.9.8). Wiele substancji organicznych spala się w celu odzyskania energii. Spalanie zmniejsza objętość odpadu do składników nieorganicznych pozostających jako popiół, który zwykle transportuje się na składowisko. Osad bywa również wykorzystywany jako surowiec w przemyśle cementowym.

Obok odrzutów i osadów z produkcji papieru, w niektórych papierniach grupę odpadów stanowią popióło-zużle oraz pył filtracyjny z kotłów energetycznych (zależą one od użytych paliw oraz od zastosowanej techniki zmniejszania emisji do atmosfery).

### Inne frakcje odpadów

Dodatkowo występują inne rodzaje odpadów powstających w mniejszych ilościach, które mogą jednak stwarzać problemy w zakresie ich unieszkodliwiania. Można wyróżnić następujące rodzaje odpadów, trudno jest jednak przedstawić je liczbowo jako jednostkowe ilości na jedną tonę wyrobu:

- złom żelaza i innych metali,
- tworzywa sztuczne,
- chemikalia zawierające pozostałości z powlekania,
- rozlany olej,
- szkło,
- opakowania (np. pojemniki po chemikaliach, palety, itd.),
- odpady budowlane, jak drewno, beton, cegły, etc.,
- odpady z laboratorium,
- odpady bytowe,
- odpady papierowe, które nie mogły być wykorzystane w papierni,
- sita i filce.

Większość z tych materiałów może być wykorzystana, jeśli poszczególne frakcje odpadów zbiera się i przechowuje oddzielnie.

### 7.2.2.7 Emisje do atmosfery

#### Emisje do atmosfery z wytwarzania energii

W papierniach i tekturowniach emisje do atmosfery pochodzą głównie z wytwarzania energii przez różne rodzaje elektrowni, a nie procesy papierniczy jako taki. Ponieważ poziomy emisji do atmosfery z papierni są bezpośrednio związane ze zużywaniem energii, to jej oszczędzanie będzie obniżać emisje do atmosfery. Np. skojarzone wytwarzanie ciepła i energii elektrycznej zużywa mniej energii niż konwencjonalny sposób oddzielnego tworzenia energii elektrycznej oraz ciepła, ponieważ sprawność konwersji paliwa w elektrociepłowniach jest znacząco wyższa. Dla całkowitej zużytej ilości energii pierwotnej oraz skojarzonych z tym emisji zasadnicze znaczenie ma to, czy papiernia korzysta z energii zakupionej w publicznej sieci energetycznej, czy też stosuje energię wytwarzaną na miejscu w elektrociepłowni (CHP).

Ponadto, poziomy emisji zależą od rodzaju użytego paliwa (węgiel, oleje, gaz), jak również od tego czy wdrożono technologie służące ograniczeniu emisji: SO<sub>2</sub> oraz NO<sub>x</sub>, pyłów, a także niepodlegających spalaniu gazowych substancji organicznych. Techniki zmniejszania emisji do atmosfery na ogół dają się zastosować do procesów spalania paliw kopalnych, stosowanych do wytwarzania energii elektrycznej oraz pary. Ponieważ technologie służące ograniczeniu emisji do atmosfery nie są w sposób szczególnie związane z przemysłem papierniczym, lecz z przemysłem w ogóle, to kwestia ta nie będzie szerzej omawiana w tym dokumencie. W punkcie 2.9.7 omawia się jedynie niektóre, ogólnie uznawane

możliwości ograniczenia oddziaływania na środowisko związanego z zaopatrzeniem papierni w energię.

### Emisje do atmosfery z papierni

Niezwiązane z wytwarzaniem energii emisje do atmosfery to głównie emisje lotnych związków organicznych. Emisje te mają zwykle mniejsze znaczenie i mieszczą się w ogólnie akceptowalnych granicach (tj. poniżej krajowych wartości granicznych dla tych substancji).

Przypadki, w których emisje lotnych związków organicznych wymagają zmniejszenia, występują w ograniczonej liczbie papierni różnego rodzaju. Substancje te oznacza się w niskich stężeniach w powietrzu odprowadzanym z papierni wykorzystujących w procesie produkcyjnym dodatki chemiczne zawierające lotne substancje organiczne. Większość lotnych składników z pierwotnych mas włóknistych przedostaje się do atmosfery, zanim dana masa dotrze do maszyny papierniczej. Jednakże, w części suszącej maszyny papierniczej, a także po powlekanium, w celu odparowania pozostałej wody wstępę papieru podgrzewa się do 100°C. Poza parą wodną, są również emitowane lotne składniki zawarte w materiale włóknistym i dodatkach chemicznych. Na ogół, w papierniach nie stosuje się specjalnych technik ograniczania tych emisji, ponieważ emitowane ładunki zanieczyszczeń są raczej niewielkie.

Wyniki niedawnych badań powietrza odlotowego z siedmiu niemieckich papierni podsumowano w tabeli 7.20.

**Tabela 7. 20 Substancje organiczne oznaczone w powietrzu odprowadzanym z papierni przed wymiennikiem ciepła.**

Badane instalacje	Całkowity przepływ masy jako ogólny węgiel organiczny	Stężenie masy jako mg węgla organicznego/Nm <sup>3</sup>	Uwagi
MP, papier bezdrzewny, bez zaklejania w prasie	0,7 kg/h	2 – 17 mg/Nm <sup>3</sup>	98 % z części suszącej
MP + P, papier bezdrzewny, powlekany	Brak danych	10 – 30 mg/Nm <sup>3</sup>	Fluktuacje, być może częściowo spowodowane przez reszkowy metan z opalanej gazem stacji suszącej podczerwienią
MP + P, papier drzewny, powlekany	Brak danych	48 mg/Nm <sup>3</sup> w suszeniu wstępnym 24 mg/Nm <sup>3</sup> w dosuszaniu	90% ze wstępnego suszenia; 10 % z dosuszania
P, papier bezdrzewny, podwójnie powlekany	4,9 kg/h	30 – 67 mg/Nm <sup>3</sup>	Emisje częściowo spowodowane przez reszkowy metan
MP, papier bezdrzewny, prasa zaklejająca	1,6 kg/h	2 – 77 mg/Nm <sup>3</sup>	Główne emisje (56 %) z urządzeń ssących pod sitem i z części prasowej
MP, papier i tektura z włókien wtórnych	0,8 kg/h	6 – 26 mg/Nm <sup>3</sup>	70% ze wstępnego suszenia
MP, papier z włókien wtórnych	2,4 kg/h	3 – 8 mg/Nm <sup>3</sup>	
Uwaga: MP – maszyna papiernicza, MP + P – maszyna papiernicza z powlekarą, P powlekarza poza MP. Źródło: [114, PTS-FB 1997]			



Oznaczane stężenia ogólnego węgla organicznego znacznie się różnią i wahają w zakresie od 2 do 135 mg/Nm<sup>3</sup>. Jednostkowy ładunek zanieczyszczeń emitowanych do atmosfery przez badanych siedem papierni niemieckich [PTS-FB 09/97], przypadający na tonę papieru, określono w zakresie od 0,05 do 0,5 kg ogólnego węgla organicznego. Można uniknąć emisji z powietrzem odprowadzanym z powlekarek niektórych pojedynczych substancji budzących zaniepokojenie (np. akrylonitrylu pojawiającego się tylko podczas stosowania lateksu butadienowo-akrylonitrylowego) lub je zmniejszyć poprzez staranny dobór receptury mieszanki powlekającej. Należy unikać takich receptur mieszanek powlekających, które zawierają związki kancerogenne. Zazwyczaj trudniej jest zapobiec emisjom formaldehydu (którego stężenia zostały oznaczone w zakresie od 0,1 do 4,8 mg/Nm<sup>3</sup>), gdyż pochodzi on z różnych źródeł, takich jak: żywice wodoutrwalające, środki konserwujące, biocydy itd.

Można wnioskować, że stężenia substancji organicznych w powietrzu odlotowym z papierni można zwykle uznać za tak niskie, że nie wymagają stosowania techniki ograniczania emisji do atmosfery. Z drugiej strony, ilość powietrza odprowadzanego z procesu jest wyjątkowo duża i z tego względu emisje związków węgla organicznego można uznać za znaczące.

Poniżej podano przykłady procesów technologicznych, z których emitowane są wyższe stężenia lotnych związków organicznych (LZO):

- powlekanie papieru mieszankami zawierającymi rozpuszczalniki organiczne, pomimo że podstawą mieszanek powlekających jest wyłącznie woda (w powietrzu odprowadzanym z każdej powlekarki oznacza się wyższe stężenia różnych lotnych substancji (jak np. formaldehydu, związków aromatycznych z podstawnikami alkilowymi, niższych alkoholi);
- wytwarzanie papierów uszlachetnianych żywicami syntetycznymi oraz produkcja papierów specjalnych z zastosowaniem dodatków lotnych.

Poniżej podano przykłady emitowanych do atmosfery lotnych związków organicznych (LZO):

- alkohole;
- formaldehyd zawarty w żywicach mocznikowo-formaldehydowych lub melaminowo-formaldehydowych stosowanych w celu nadania wodotrwałości;
- aceton i inne ketony;
- fenole (tylko w specjalnych przypadkach);
- rozpuszczalniki stosowane do czyszczenia tkanin maszynowych (na ogół o mniejszym znaczeniu);
- kwasy organiczne i pozostałości monomerów w polimerach.

W kilku specjalnych przypadkach problemem mogą być emisje pyłów z niektórych operacji wykończania papieru.

Mogą również występować emisje z termicznego przekształcania osadu i pozostałości (fakultatywnego). Jednakże, termiczne przekształcanie w zakładzie osadu i pozostałości ma na ogół miejsce tylko w papierniach zintegrowanych. W zintegrowanych papierniach osady mogą być termicznie przekształcane łącznie z korą w kotłach opalanych korą lub razem z innymi odrzutami w przypadku wytwarzania masy włóknistej z makulatury.

### **Odory z oparów i z oczyszczalni ścieków (lokalne)**

W papierniach mogą powstawać odory. Mogą być powodowane zbyt długim przetrzymywaniem wody produkcyjnej w układzie wodnym (rurociągach, kadziach itp.) lub powstawać na skutek nagromadzonych osadów, generujących lotne kwasy organiczne (lotne kwasy tłuszczowe, przede wszystkim kwas zwłaszcza octowy i propionowy). Związki te mogą powstać w wyniku rozkładu substancji organicznych (szczególnie skrobi) przez mikroorganizmy w warunkach beztlenowych. Mogą być one emitowane w części mokrej, podczas suszenia papieru oraz w trakcie oczyszczania ścieków. Również siarkowodór może być wytwarzany w niewielkim zakresie w warunkach beztlenowych. Jeśli tak się dzieje, należy przeciwdziałać powstawaniu odorów przez podejmowanie odpowiednich działań z zakresu inżynierii procesowej. Oczyszczalnia ścieków może również emitować znaczące ilości odorów. Jeśli jednak oczyszczalnia ścieków zostanie prawidłowo

zaprojektowana i jej działanie jest właściwie sterowane, to można uniknąć nieprzyjemnych odorów.

### 7.2.2.8 Hałas z maszyn papierniczych (lokalny)

Niekorzystne oddziaływanie hałasu emitowanego z papierni ma tylko lokalne znaczenie, ale dla warunków pracy w samej papierni oraz dla jej sąsiedztwa hałas ten może być najpoważniejszym ze wszystkich powstających zagrożeń dla środowiska.

Maszyny papiernicze są uznawane za hałaśliwe urządzenia. W tabeli 7.21 przedstawiono główne źródła hałasu w maszynach do wyrobu papieru i tektury, znajdujące się w części sitowej, części prasowej, części suszącej, powlekarce, przewijarko-krajarce oraz systemie wentylacji tych maszyn.

Tabela 7. 21 Główne źródła hałasu w maszynach do wyrobu papieru i tektury.

Część sitowa	Część prasowa	Część susząca	Powlekarca	Przewijarko-krajarka	Wentylacja
Walce ssące	Wbudowane przekładnie	Układ pary i kondensatu	Suszarnie powietrzne	Układ odpylania	Dmuchawy do wentylacji procesowej
Układ próżniowy	Walce ssące	Obudowa podpiwniczenia	Suszenie podczerwienią (chłodzące powietrze)	Napędy	Wentylatory do hali maszyny
Natryski	Układy hydrauliczne	Wentylacja procesowa	Hałas generowany przez konstrukcję szkieletu maszyny	Układ odsysania obcinków	Suszarki powietrzne
Układ napędu	Natryski	Silniki elektryczne	Powlekanie skrobakowe	Wstęga papieru	Dysze
Wentylacja	Skrzynki parowe	Przekładnie	Napędy	Przekładnie	Napędy i silniki wentylatorów
Silniki elektryczne	Hałas generowany przez konstrukcję szkieletu maszyny (przekładnie z wałkami prowadzącymi)	Przenośnik braku własnego	Wstęga papieru	Układ hydrauliczny	Otwory wlotu powietrza
Hydrocyklony	Napędy	Wstęga papieru	Hala wentylatorów dla suszarek powietrznych	Noże	
Pompy wysoko-ciśnieniowe	Układ próżniowy	Rozczyniacz w części suszącej		Strefy docisku	
Rozczyniacz w części mokrej	Rozczyniacz w części prasowej			Rozczyniacz	

---

Oprócz maszyny papierniczej występują inne źródła hałasu, które mogą zwiększać poziom hałasu. Są to np. rafinerie i pompy próżniowe.

Można krok po kroku ograniczać hałas generowany w głównym źródle hałasu poprzez zastosowanie szeregu działań. Np. środkiem ograniczenia hałasu wewnętrznego może być zainstalowanie nowych zamkniętych okapturni ze skuteczniejszą izolacją akustyczną.

Przykłady środków ograniczania hałasu zewnętrznego obejmują zainstalowanie tłumików i/lub rezonatorów rurowych w celu redukcji poziomu hałasu emitowanego przez wyciągi wentylatorów i pompy próżniowe albo tłumików osłon dźwiękoszczelnych obudów wentylatorów na dachu budynku itd. (zob. punkt 7.3.16).

Stosowane środki będą w dużym stopniu zależeć od konkretnego problemu związanego z hałasem w papierni i poziomów docelowych jego ograniczenia. Poziomy te będą zwykle bardziej rygorystyczne, jeśli papiernia jest zlokalizowana w pobliżu zabudowy mieszkaniowej.

W pewnym stopniu dostawcy maszyn zareagowali na problemy hałasu i drgań opracowując ciszey pracujące urządzenia i bardziej efektywne urządzenia do wyciszania hałasu. Działania te skupiają się na środkach koniecznych do obniżenia poziomu hałasu u źródła. Ich celem jest zapobieganie powstawaniu hałasu już w fazie projektowania maszyn i ograniczanie hałasu dotychczasowych maszyn. Przyjęte docelowe poziomy ograniczenia hałasu zależą od kraju i lokalizacji papierni oraz od woli stworzenia lepszych warunków pracy dla samych pracowników papierni.

### 7.3 Techniki, które należy wziąć pod uwagę w ustalaniu BAT

W podrozdziale tym przedstawiono techniki (lub ich kombinacje) i związane z nimi monitoring, które, jak się uznaje, mogą zapewnić osiągnięcie wysokiego poziomu ochrony środowiska w czasie prowadzenia działań mieszczących się w zakresie niniejszego dokumentu. Przedstawione techniki obejmują zarówno wykorzystywaną technologię, jak i sposób projektowania, budowy, utrzymania, eksploatacji i wycofania z eksploatacji.

Przedstawiono systemy zarządzania środowiskowego, zintegrowane techniki w ramach procesu produkcyjnego i środki „końca rury”. Uwzględniono również zapobieganie powstawaniu odpadów i gospodarowanie nimi, łącznie z procedurami mającymi na ograniczenie i recykling odpadów, a także techniki zmniejszające zużycie surowców, wody i energii poprzez optymalizację ich użycia i ponownego użycia. Przedstawione techniki obejmują również środki stosowane do zapobiegania lub ograniczania skutków awarii i zdarzeń oraz środki remediacji terenu. Obejmują również środki podejmowane w celu zapobiegania lub zmniejszenia emisji w warunkach innych niż normalne (takie jak operacje rozruchu i zatrzymania produkcji, wycieki, nieprawidłowe działanie, chwilowe przestoje oraz definitywne zaprzestanie operacji).

W załączniku III do Dyrektywy wymieniono szereg kryteriów ustalania BAT, a informacje w tym podrozdziale będą odnosić się do tych aspektów. Na tyle, na ile jest to możliwe, wykorzystywano standardową strukturę w tabeli 7.22 w celu przedstawienia w zarysie informacji dotyczących każdej techniki, żeby umożliwić porównanie techniki i ocenę w odniesieniu do definicji BAT w Dyrektywie w sprawie emisji przemysłowych.

W części tej niekoniecznie przedstawiono wyczerpujący wykaz technik, które można by zastosować w omawianym sektorze. Mogą istnieć lub mogą być opracowywane inne techniki, które należy wziąć pod uwagę przy ustalaniu BAT dla danej instalacji.

**Tabela 7. 22 Informacje dotyczące każdej techniki przedstawionej w tym rozdziale.**

<b>Zagadnienia omawiane w punktach</b>
Opis
Opis techniczny
Główne korzyści środowiskowe
Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne
Oddziaływania na procesy i środowisko
Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki
Aspekty ekonomiczne
Motywacja do wdrożenia
Instalacje referencyjne
Bibliografia

Niektóre działania opisane w tej części są właściwe tylko dla określonych rodzajów papieru, podczas gdy większość działań da się zastosować niezależnie od rodzaju produkowanego papieru. Te pierwsze będą wyróżnione, a pozostałe działania należy uznać za środki odnoszące się do papiernictwa w ogóle.

Ponieważ większość papierni w Europie to zakłady niezintegrowane, podrozdział ten poświęcono tylko papiernictwu i związanym z nim rodzajom działań. Ale wiele papierni to zakłady zintegrowane, tzn. że w tym samym zakładzie wytwarza się masę włóknistą i papier. Inne to papiernie częściowo zintegrowane, tzn. że część zużywanej przez nie masy jest zakupywana, a część wyrabia się na miejscu. W tych przypadkach należy również zapoznać się z odpowiednimi rozdziałami dotyczącymi wyrobu masy włóknistej (masy celulozowej lub mechanicznej, lub też masy z makulatury).

### 7.3.1 Gospodarka wodna i minimalizowanie zużycia wody do produkcji różnych rodzajów papieru

Opis ten powinno się czytać razem z punktem 7.32. dotyczącym ograniczania skutków potencjalnych problemów związanych z zamykaniem obiegów wodnych. Zob. również punkt 2.9.3.

#### Opis

Mimo że istnieje wiele alternatywnych rozwiązań technicznych, które mogą być nieco odmienne w różnych papierniach, to jednak istnieją pewne podstawowe metody zmniejszenia zużycia wody, które przedstawiono poniżej.

- Usprawnienie planowania wyrobu papieru.
- Skuteczne oddzielanie wód chłodzących od wody produkcyjnej oraz ich ponowne schładzanie w wieżach chłodniczych, umożliwiające ich ponowne użycie (zob. podpunkt 2.4.2.1); w przypadku ponownego użycia tego strumienia wody należy dodać 10-15% wody świeżej. Dla ochrony zaleca się użycie niewielkiego sortownika lub innego filtra do oddzielenia cząstek stałych. Jeśli frakcje wody produkcyjnej są odprowadzane do ścieków, to nie wprowadza się ich do sieci kanalizacyjnej dla zanieczyszczonej wody produkcyjnej.
- W papierniach zintegrowanych obieg wodny w ciągu maszyny papierniczej jest oddzielony od działu wytwarzania masy włóknistej, który przeciwniezasila nadmiar wody podsitowej z maszyny papierniczej.
- Układ wody do natrysków na ogół zużywa najwięcej wody świeżej w ciągu maszyny papierniczej. Zużycie wody do natrysków zwykle mieści się w przedziale 4-15 m<sup>3</sup>/t, przy założeniu całkowitego zużycia wody na poziomie około 20-30 m<sup>3</sup> na tonę papieru. Żeby zmniejszyć zużycie wody świeżej do rozsądnego poziomu, jej większą część należy zastąpić sklarowaną wodą podsitową. W tym celu stosuje się efektywne odzyskiwanie włókna, skojarzone z wytwarzaniem klarownej (lub superklarownej) wody podsitowej stosowanej do zastąpienia wody świeżej w natryskach maszyny papierniczej (zob. punkty 7.3.3 i 7.3.4). W ten sposób można osiągnąć układ wody do natrysków o znacząco mniejszym zapotrzebowaniem wody świeżej. Jednakże, zwykle nie zaleca się wykorzystania filtratów z wylawiacza włókien do natrysków w części prasowej (np. do wysokociśnieniowych natrysków filcu prasowego), ponieważ na tym filcu mogą wytrącać się substancje koloidowe ze sklarowanej wody podsitowej. Może to doprowadzić do zatkania się porów filcu prasowego. Dotychczas wysokociśnieniowe natryski filców prasowych wymagają użycia wody świeżej. Jeśli jednak operator chce stosować filtrat, to musi dokładnie zbadać metodę uzdatniania wody, tak żeby przynajmniej wyeliminować substancje koloidowe (zob. punkty 7.3.3 lub 6.3.11).
- Zawracanie do obiegu części wody uszczelniającej pompy próżniowe po jej schłodzeniu i usunięciu z niej cząstek stałych lub uszczelnieniu bezwodnych układów próżniowych – zob. podpunkt 2.9.6.2.1).
- Zarządzanie wszystkimi strumieniami surowców w papierni, traktowanymi jako jeden strumień włókien, chemikaliów oraz wody, które wzajemnie oddziałują. Np. wszystkie wprowadzane chemikalia są kontrolowane i bada się ich wpływ na jakość wody oraz chemizm części mokrej (układ regulacji na wejściu – zob. punkt 2.9.3).
- Zaprojektowanie oraz utrzymanie rurociągów i kadzi magazynowych w sposób umożliwiający przechowywanie nadmiaru wody bez pogorszenia jej jakości (zob. punkt 7.3.7).
- Szkolenie oraz motywowanie pracowników, mające kluczowe znaczenie dla osiągnięcia oraz utrzymania niskiego zużycia wody.

W zależności od punktu wyjścia, charakterystyki papierni i jakości jej produktu, przy zastosowaniu tych ustaleń zużycie wody świeżej w maszynie wytwarzającej standardowej jakości niepowlekanego papieru lub tektury może wynieść 3 – 12 m<sup>3</sup>/t oraz 5 – 15 m<sup>3</sup>/t w maszynie wytwarzającej standardowej jakości powlekanego papieru. W przypadku papierów specjalnych poziom zużycia może być znacząco wyższy.

Zmniejszenie zużycia wody w celu późniejszej redukcji ilości ścieków wymaga wdrożenia dodatkowych sposobów jej oczyszczania w celu recyklingu, np. fizyko-chemicznego (zob. punkt 6.3.11), biologicznego (zob. punkt 6.3.4) lub mechanicznego (zob. punkt 7.3.3) albo ich kombinacji.

Stężenie substancji nieorganicznych i organicznych w obiegach wodnych należy utrzymywać na akceptowalnym poziomie, żeby zapobiec problemom w czasie działania maszyny papierniczej i spełnić wymagania jakościowe dla papierów lub tekturom.

### Główne korzyści środowiskowe

Mniejsze zużycie wody świeżej. W papierniach zużywających mniej wody zanieczyszczenia są bardziej stężone w ściekach, co często przyczynia się do większej skuteczności ich usuwania. W pewnym zakresie w papierniach zużywających mniej wody można ograniczyć straty surowców i energii. Niższa ilość wody zwykle oznacza, że do wód, które są odbiornikiem, odprowadza się mniejszy ładunek ciepła.

### Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

Osiągnięcia zależą głównie od poprzedniej sytuacji w papierni. Stopień zamknięcia obiegu wodnego w bardzo dużym stopniu zależy od wytwarzanego produktu. W zależności od stanu początkowego papierni osiągalne wielkości całkowitego zużycia wody świeżej dla niektórych rodzajów papieru zawierają się w zakresie [ 244, *Pulp and Paper TWG – Grupa Techniczna ds. Celulozy i Papieru 2007* ], [ 138, *PP TWG 2009* ]:

- papier gazetowy: 8 – 13 m<sup>3</sup>/t,
- papier bezdrzewny (wysokogatunkowy) niepowlekany i powlekany: 3 – 15 m<sup>3</sup>/t,
- papier LWC: 10 – 15 m<sup>3</sup>/t,
- papier satynowany (SC): 10 – 15 m<sup>3</sup>/t,
- wielowarstwowa tektura na pudełka składane: 8 – 15 m<sup>3</sup>/t (włókna pierwotne),
- papier na warstwę pofalowaną: 4 – 10 m<sup>3</sup>/t (włókna pierwotne),
- bibułki tissue: 4 – 13 m<sup>3</sup>/t (włókna pierwotne; wyroby o wyższej gramaturze lub rodzaju niższej jakości) i 15 – 25 m<sup>3</sup>/t (włókna pierwotne; wyroby o niższej gramaturze lub rodzaju wysokiej jakości),
- papiery specjalne: 13 – 65 m<sup>3</sup>/t; w niektórych przypadkach wielkość zużycia może być znacząco wyższa.

Zużycie wody świeżej zależy głównie od rodzaju produkowanego papieru, ilości natrysków i ilości wody zawierającej włókna, użytej do natrysków maszyny papierniczej. Produkty papierowe o niskiej gramaturze na ogół wymagają nieco więcej wody na tonę produktu finalnego niż produkty papierowe o wysokiej gramaturze.

Typowe urządzenia do monitorowania obejmują przepływomierze do pomiaru zasilania maszyny papierniczej w wodę świeżą, zasilania natrysków i głównych strumieni wody podsitowej. Ważne jest oznaczanie zawiesiny cząstek stałych lub mętności sklarowanej wody podsitowej, jeśli używa się jej w natryskach maszyny papierniczej.

W natryskach maszyny papierniczej w coraz większym stopniu używa się klarownej lub super-klarownej wody podsitowej z wyławiacza włókien. Wzrost zawartości cząstek stałych w wodzie podsitowej lub wielkości cząstek do poziomu przekraczającego przepustowość dysz natrysków może powodować ich zacinanie. Z tego powodu układ rozprowadzania wody do takich natrysków musi zawierać w swoim ciągu filtr ochronny wyposażony w automatyczny system oczyszczania, żeby ochronić obieg przed skutkami zaburzenia pracy wyławiacza włókien i żeby uniknąć zastępowania wody podsitowej wodą świeżą. Urządzenie oczyszczające natryski, z wewnętrzną szczotką lub innym wyposażeniem czyszczącym, może również pomóc w uniknięciu problemów

### Oddziaływania na procesy i środowisko

Nie wystąpią żadne negatywne oddziaływania na procesy i środowisko, jeśli zostaną wdrożone środki określone w punkcie 7.3.2.

### Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki

Środki zmniejszenia zużycia wody można wprowadzać zarówno w istniejących, jak i nowych papierniach. Natomiast oddzielenie obiegów wodnych papierni i wytwórni masy włóknistej w papierniach zintegrowanych lub większy stopień zamknięcia systemu wodnego oznacza wyższe koszty w starszych papierniach, ponieważ poważna przebudowa rurociągów oraz znaczne modyfikacje części mokrej maszyny papierniczej będą prawdopodobnie niezbędne dla dalszego zamknięcia obiegów. W istniejących maszynach takie modyfikacje trudno jest wprowadzić bez poważnej przebudowy lub rozszerzenia zakresu procesu produkcyjnego. W nowych maszynach można łatwiej zmniejszyć zużycie wody. Innym problemem, który trzeba rozwiązać w istniejących papierniach jest odporność materiałów na oddziaływanie gromadzących się substancji korodujących, takich jak chlorki, i działanie wody o wysokiej lub podwyższonej temperaturze. Ogólnie rzecz biorąc, obiegi wodne są tym trudniejsze do zamknięcia, im bardziej zróżnicowane produkty się wyrabia oraz im częściej zmienia się rodzaj produkowanego papieru. Mniejsze papiernie posiadające tylko jedną maszynę papierniczą na ogół muszą częściej zmieniać produkcję w ciągu roku (lub doby) niż większe papiernie wytwarzające masowo produkowane rodzaje papieru. Należy również brać pod uwagę indywidualne rozmieszczenie oddziałów w poszczególnych papierniach.

W istniejących papierniach osiągnięcie niskiego poziomu zużycia wody w wyniku wdrażania kombinacji różnych rozwiązań na ogół wymaga wieloletniej rozbudowy i doskonalenia tego procesu.

### **Aspekty ekonomiczne**

Brak jest ogólnej informacji dotyczącej struktury kosztów zamykania obiegów wodnych, ponieważ każdy zakład stanowi w tym zakresie przypadek indywidualny. Koszty tych działań zależą od liczby oraz charakteru koniecznych zmian w obiegu wodnym oraz od rodzaju wyposażenia, które trzeba dodatkowo zainstalować.

### **Motywacja do wdrożenia**

W przypadku papierni, które mają ograniczony dostęp do wody świeżej lub gdy stanowi ona towar, za który trzeba płacić, potrzebne jest podjęcie całego zbioru środków w celu zmniejszenia zużycia wody świeżej. Usprawnienia często przynoszą pozytywny skutek netto ze względu na możliwe oszczędności wynikające ze zmniejszenia kosztów poboru wody surowej, strat włókien i wypełniaczy, niekiedy z niższego zużycia energii oraz ze zmniejszenie ilości oczyszczanych ścieków.

Podjęcie takich środków uzasadnia również zarówno wzrost zdolności produkcyjnej, jak i ograniczona przepustowość hydrauliczna istniejącej oczyszczalni ścieków.

### **Instalacje referencyjne**

Opisane środki są wdrażane w wielu papierniach w Europie.

### **Bibliografia**

[ 16, CEPI 1998 ], [ 244, Pulp and Paper TWG 2007 ], [ 138, PP TWG 2009 ].

## **7.3.2 Ograniczenie potencjalnych negatywnych skutków ubocznych zamykania obiegów wodnych**

### **Opis**

Zwiększony zakres zwracania do obiegu wody produkcyjnej w maszynach produkujących papier i tekturę powoduje wzrost stężenia substancji koloidowych, organicznych i nieorganicznych rozpuszczonych w tych strumieniach. W zależności od charakterystyki wprowadzanej masy oraz chemikaliów stosowanych do wyrobu papieru, zamknięcie obiegów wodnych może mieć niekorzystny wpływ na płynność działania maszyny papierniczej, jakość produktu finalnego, a nawet na koszty produkcji na skutek zwiększonego dodatku chemikaliów. Należy ograniczyć te potencjalne negatywne skutki. W tabeli 7.23 przedstawiono możliwe korzystne i niekorzystne skutki zmniejszenia zużycia wody. Jednakże, przy wielkościach zużycia wody podanych w punkcie 7.3.1 nie powinny występować żadne negatywne skutki w przypadku właściwej eksploatacji, utrzymania i kontroli obiegów wodnych.

Tabela 7. 23 **Możliwe korzystne i niekorzystne skutki zwiększenia zakresu zamknięcia obiegów wodnych w papierniach.**

<b>Możliwe korzystne skutki zamknięcia obiegów wodnych</b>	<b>Możliwe niekorzystne skutki zamknięcia obiegów wodnych</b>
Lepsza retencja substancji rozpuszczonych we wstędze papieru	Wyższe stężenia substancji koloidowych i rozpuszczonych w obiegach wodnych
Zmniejszenie zapotrzebowania energii na ogrzewanie i pompowanie	Ryzyko powstawania śluzu, prowadzącego do tworzenia osadów oraz do zrywów wstęgi
Lepsza odwadnialność na sicie, co przynosi oszczędności energii w części suszącej	Ryzyko niższej jakości produktu, np. pod względem białości, wytrzymałości, miękkości, porowatości
Niższe koszty inwestycji dla zredukowanego wyposażenia	Podwyższone zużycie środków pomocniczych dla procesu
Oszczędności surowców na skutek mniejszych strat	Ryzyko korozji (wyższe stężenie chlorków)
Wyższe sprawność redukcji w oczyszczalni ścieków	Podwyższone ryzyko zatykania rur, dysz natrysków, sit i filców
Zmniejszenie całkowitych emisji do wody	Trudności z zapewnieniem higieny w produkcji bibulek tissue, papieru do kontaktu z żywnością i do zastosowań w medycynie

Masa włóknista oraz przenosząca ją woda zawierają rozpuszczone i koloidowe substancje organiczne określane jako „śmieciki anionowe”. Przy wyższych stężeniach te substancje organiczne wpływają na retencję i formowanie wstęgi papieru oraz zwiększają zatykanie się filców prasowych i powodują przyklejanie się wstęgi papieru do walców maszyny

W produkcji materiałów do pakowania żywności produkt finalny nie może zawierać szkodliwych substancji rozpuszczonych. Również należy kontrolować wzrost temperatury w maszynie do wyrobu papieru lub tektury, tak żeby nie przekroczyć przedziału temperatury pracy w części mokrej, tj. 45-55°C. Z drugiej strony, w części sitowej maszyny korzystna jest gorąca zawiesina masy, ponieważ lepkość wody obniża się ze wzrostem temperatury, co prowadzi do poprawy odwadniania.

Poniżej przedstawiono środki ograniczania niepożądanych skutków zamknięcia obiegów wodnych.

- Układ wody podsitowej maszyny do wyrobu papieru lub tektury nie otrzymuje wody ze zintegrowanych oddziałów produkujących masy włókniste lub z równolegle pracujących maszyn papierniczych. Rozdzielenia obiegów wodnych zazwyczaj dokonuje się z użyciem zagęszczarek. Kluczowe znaczenie ma również optymalne zaprojektowanie obiegów wodnych.
- Zawracane do obiegu wody chłodzące lub uszczelniające oraz czyste wody podsitowe, które doprowadza się do natrysków maszyny papierniczej, dla ochrony wyposażenia maszyny przed zatykaniem lub ścieraniem, oczyszcza się w odpowiednim filtrze.
- Zawracane do obiegu wody uszczelniają odpowiednio schładza się w wymienniku ciepła lub poprzez dodanie czystej wody uzupełniającej, zwłaszcza ze względu na to, że funkcjonowanie pomp próżniowych ogranicza dopuszczalną temperaturę wody uszczelniającej.
- Skład (np. obecność substancji koloidowych), twardość, pH oraz temperatura zawracanych wód przeznaczonych do poszczególnych zastosowań muszą spełniać wymagania stawiane przez wyposażenie. Korzystne jest określenie jakości wody, jaka będzie rzeczywiście potrzebna.
- W zakładach zintegrowanych należy dobrze umyć masy włókniste przed ich doprowadzeniem do papierni w celu zmniejszenia zawartości substancji rozpuszczonych i koloidowych. W tych zakładach korzystne jest również doprowadzanie masy do papierni w stężeniu powyżej 30%, zamiast typowego 2-4%, w celu zmniejszenia ładunku substancji rozpuszczonych. Może to przyczynić się do zmniejszenia zużycia dodatków chemicznych, takich jak siarczan glinu,



polimery lub skrobia, a także środków pomocniczych dla maszyny, takich jak: chemikalia myjące, środki śluzobójcze, biocydy.

- Należy ponownie ocenić dobór dodatków chemicznych, jeśli stosuje się zasady zamykania obiegu, ponieważ niektóre chemikalia zachowują się bardzo odmiennie w zmienionym środowisku chemicznym.
- Korzystne jest monitorowanie strumieni wody zawróconej do obiegu za pomocą przepływomierzy w ramach procesu i przez jej analizy laboratoryjne, gdyż pozwala to uniknąć przekroczenia docelowych wartości jakościowych.

### **Główne korzyści środowiskowe**

Środki te stanowią integralną część działań opisanych w punkcie 7.3.1. Wspierają te działania, żeby osiągnąć oraz utrzymać niskie zużycia wody świeżej nie powodując znacznych negatywnych skutków.

### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Występuje znaczne ryzyko powstawania inkrustów związków wapnia i problemów związanych ze śluzem i żywicą. Należy temu odpowiednio przeciwdziałać poprzez odpowiednie mieszanie frakcji wody, regulację pH, większe dawki środków pomocniczych dla maszyny lub należyte usuwanie wapnia z układu (zob. punkt 6.3.5). Jeśli maszyna może działać w temperaturze powyżej 5°C, to zmniejsza się tempo wzrostu mikroorganizmów i ich aktywność w systemie wodnym. Ale w dalszym ciągu może występować aktywność bakterii beztlenowych (bakterii termofilnych). W środowisku bogatym w związki siarki i węglowodany tworzą one odory, którym należy przeciwdziałać.

W istniejących papierniach koniecznej optymalizacji procesu produkcji poprzez wprowadzenie tych środków kontrolnych na ogół dokonuje się stopniowo w dłuższym okresie czasu. Udane zastosowanie tej technologii zależy od opanowania chemizmu części mokrej w poszczególnych przypadkach. W niektórych papierniach możliwe niekorzystne skutki zamknięcia obiegów wodnych ograniczono wprowadzając większą ilość dodatków chemicznych. Odpowiednie dodatki chemiczne i ich kombinacje dobiera się według raczej skomplikowanej, często słabo zrozumianej procedury, która jest jednak konieczna dla uzyskania maksymalnej płynności działania oraz zmniejszenia kosztów i oddziaływania na środowisko.

### **Oddziaływania na procesy i środowisko**

W niektórych przypadkach zwiększa się zapotrzebowanie na dodatki chemiczne i chemiczne środki pomocnicze dla maszyny. Należy ponownie ocenić przydatność danego typu chemikaliów dla określonego rodzaju papieru.

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Środki te można zastosować zarówno w nowych, jak i w istniejących papierniach. Jednakże wdrożenie większości tych usprawnień w istniejących papierniach zwykle trwa wiele lat. Wymagany poziom środków jest odmienny w różnych przypadkach, przy czym kluczowe parametry to rodzaj maszyny, produkt (lub produkty) i stopień zamknięcia obiegu. Najmniej rygorystyczne wymagania dotyczą produkcji papierów pakowych z mas niebielonych, natomiast są one surowsze dla produkcji wysokogatunkowych rodzajów papieru, takich jak papiery bezdrzewne do drukowania i pisania.

Podwyższone stężenia substancji rozpuszczonych i koloidowych na skutek większego zakresu zawracania do obiegu wody produkcyjnej na ogół powodują wzrost ilości tych substancji zatrzymywanych w produkcie finalnym. Ograniczenia w tym zakresie wynikają z jakości produktu oraz dopuszczalnego zużycia dodatków chemicznych stosowanych w wyrobie papieru.

W zastosowaniach wód uszczelniających i chłodzących ograniczenia dotyczą temperatury strumienia, stężenia substancji rozpuszczonych i zawiesiny cząstek stałych. Ograniczenia te można zmniejszyć stosując urządzenia oczyszczające i/lub odpowiednie upusty.

Są też dostępne również uszczelnienia mechaniczne, które w ogóle nie wymagają wody świeżej.

Sterowanie wodą odpływającą z maszyny papierniczej oraz jakością wód zawracanych do obiegu wymaga również lepszej kontroli oraz monitorowania procesu wytwarzania masy włóknistej.

### **Aspekty ekonomiczne**

Koszty działań zależą od liczby oraz charakteru koniecznych zmian oraz od rodzaju potrzebnych dodatkowych instalacji. Brak jest danych dotyczących kosztów jednostkowych.

### **Motywacja do wdrożenia**

Zwiększony zakres recykulacji wody produkcyjnej w papierniach może negatywnie wpływać na płynność działania maszyny papierniczej oraz jakość produktu finalnego. Należy ograniczyć potencjalne negatywne skutki, kiedy papiernie dążą do osiągnięcia niskiego zużycia wody.

### **Instalacje referencyjne**

Liczne papiernie w Europie. Oszczędny wyrób papieru skutecznie wdrożono w licznych papierniach z obiegiem zamkniętym, nawet w tych, które wykorzystują bardzo szybkie maszyny papiernicze. Dzięki zastosowaniu rozszerzonego zakresu uzdatniania wody zwracanej do obiegu (zob. punkty 7.3.3, 6.3.4 i 6.3.11), można rozwiązać pewne problemy i zmniejszyć zakres wykorzystania chemikaliów dla maszyny.

### **Bibliografia**

[15, CEPI 1998].

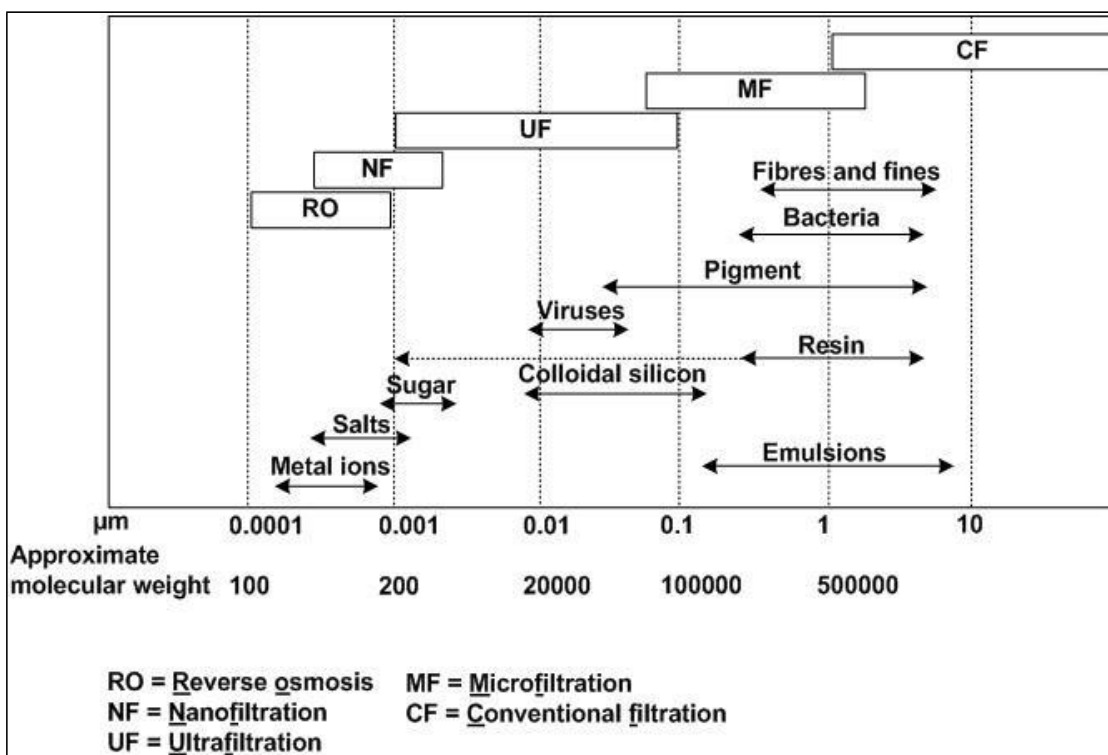
## **7.3.3 Wewnętrzne oczyszczanie wody podsitowej przy użyciu filtracji membranowej i zwracanie do obiegu oczyszczonej wody produkcyjnej**

Chociaż technika opisana w tym punkcie jest taka sama, jak omówiona w punkcie 7.3.5, to jej zastosowanie jest bardzo odmienne.

### **Opis**

Konwencjonalna filtracja nie może w wystarczającym stopniu usunąć cząstek stałych i substancji koloidowych o wymiarze czynnym poniżej 1  $\mu\text{m}$ . Z tego powodu małe bakterie i koloidy przenikają przez materiał filtracyjny. Jednakże, dotyczy to tylko niesflokulowanych cząstek stałych i koloidów. Przy użyciu flokulacji można je również przekształcić we flokuły o wymiarach rzędu 100-1000  $\mu\text{m}$ , a następnie je łatwo oddzielić w drodze filtracji. Ale dodanie flokulantów może mieć tę wadę, że powoduje wprowadzanie do systemu wodnego niepożądanych soli (nowoczesne flokulanty organiczne/syntetyczne nie wprowadzają znaczącego ładunku soli).

W zależności od granicznej wielkości cząstek stałych oddzielanych przez mającą zastosowanie membranę (odpowiadającej przybliżonej „masie cząsteczkowej” usuwanych związków organicznych) oraz od ciśnienia filtracji, teoretycznie technologie membranowe mogą usunąć prawie 100% substancji organicznych (zob. podrozdział 7.28) bez wprowadzania niepożądanych związków do obiegów wodnych.



Rysunek 7. 28 Zakresy filtracji różnych technologii filtracyjnych.

Metal ions	Jony metali
Salts	Sole
Sugar	Cukry
Viruses	Wirusy
Colloidal silicon	Krzemionka koloidowa
Emulsions	Emulsje
Resin	Żywnice
Pigment	Pigmenty
Fibres and fines	Włóknista frakcja drobna
Bacteria	Bakterie
Approximate molecular weight	Przybliżona masa cząsteczkowa
RO = Reverse osmosis	RO = odwrócona osmoza
NF = Nanofiltration	NF = Nanofiltracja
UF = Ultrafiltration	UF = Ultrafiltracja
MF = Microfiltration	MF = Mikrofiltracja
CF = Conventional filtration	CF = Filtracja konwencjonalna

W zależności od różnicy pod względem wielkości porów, można wyróżnić różne procesy membranowe:

1. Mikrofiltrację (MF), która działa przy ciśnieniu poniżej 1 bara i wykorzystuje membrany o wielkości porów w przedziale 0,1-0,2 mikrometra, można stosować w przypadku, gdy po

- oczyszczeniu dopuszczalna jest zawartość 1-5 mg/l bardzo drobnych cząstek stałych.
2. Ultrafiltracja (UF) działa przy różnicy ciśnień 1-2 barów i jest uznawana za ewentualne rozwiązanie dla usuwania w 100% resztek substancji stałych i koloidów oraz substancji organicznych o dużej masie cząsteczkowej z wód produkcyjnych wytwórni masy włóknistej i papierni lub ze strumieni ich ścieków. W Europie istnieje kilka instalacji ultrafiltracyjnych (UF) stosowanych w skali przemysłowej do oczyszczania wody podsitowej.
  3. W nanofiltracji (NF) lub osmozie odwróconej (RO) stosuje się ciśnienia dochodzące do 15-25 barów, ale dotychczas nie uważa się, żeby metody te można było zastosować w pełnej skali w przemyśle celulozowo-papierniczym w Europie (działa jedna instalacja w pełnej skali w High Desert w północno-zachodniej części stanu Nowy Meksyk w USA).

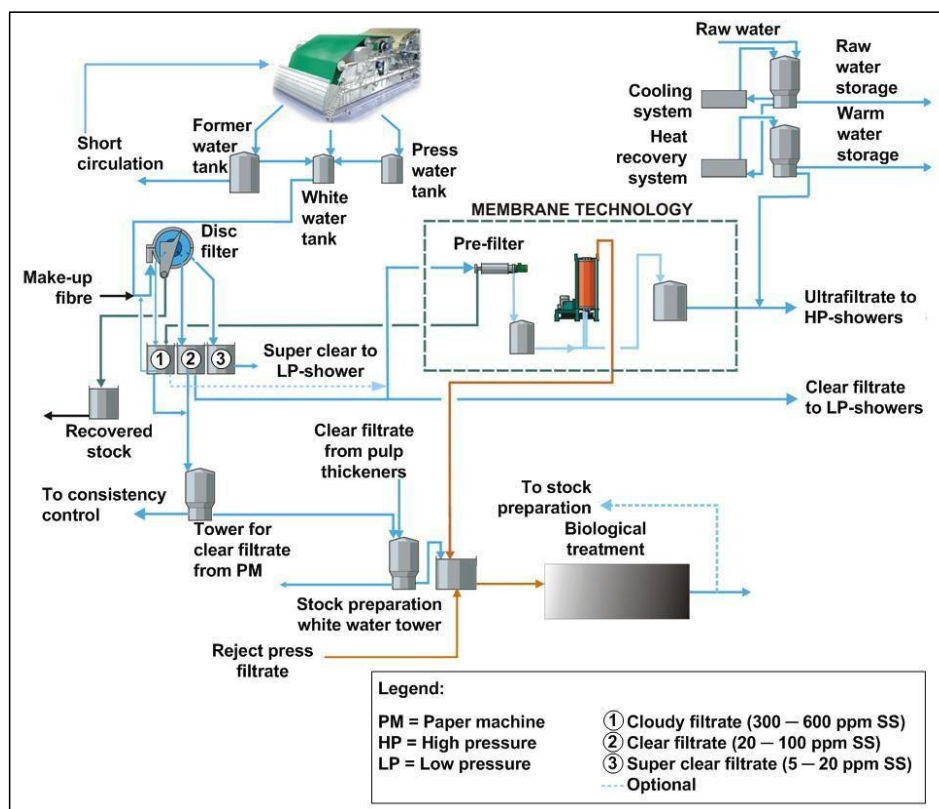
Żaden rodzaj filtracji membranowej nie toleruje nagłych zmian stężenia zawiesin. Jeśli cząstki stałe w zawieszynie są jednorodne (równej wielkości), potrzebny jest filtr ochronny, żeby zapobiec nagłemu wzrostowi stężenia zawiesin.

Poniżej przedstawiono kluczowe kwestie decydujące o wyborze technologii membranowej:

1. Strumień na wejściu, jego skład i obciążenie hydrauliczne, z uwzględnieniem działania w warunkach obciążenia szczytowego.
2. Wymagana ilość i jakość wody czystej oraz możliwość dodatkowej jej obróbki po filtracji w zmieniających się warunkach działania w celu dostosowania jej parametrów do wymagań końcowych zastosowań oraz z uwzględnieniem wpływu na jakość masy włóknistej i papieru.
3. Metody filtracji wysokociśnieniowej zapewniają wodę wysokiej czystości, ale zużywają więcej energii elektrycznej, urządzenia muszą być większe lub wymagają dodatkowego wyposażenia gwarantującego sprawniejsze oczyszczanie wstępne i zapewniającego ochronę przed zatykaniem.
4. Wymagania konserwacyjne (symetryczna lub asymetryczna struktura membrany, przemywanie roztworami kwasów lub zasad, pojemność zapasowa, oczyszczanie automatyczne lub ciągłe). Membrany symetryczne wykazują większą skłonność do zatykania się. Zatykania można uniknąć utrzymując wysoce turbulentne warunki przepływu w pobliżu ściany membrany, ale wymaga to zużycia nieco więcej energii.
5. Końcowe oczyszczanie i usuwanie koncentratu lub osadu, który w większości przypadków jest odpadem. Odpady ciekłe mogą mieć tak wysokie stężenie, żeby oddziaływać toksycznie na złoża biologiczne zewnętrznej oczyszczalni ścieków, lub mogą wymagać dalszego zateżenia, ewentualnie absorpcji na paliwie stałym w celu unieszkodliwienia przez termiczne przekształcanie. Niektóre sole nieorganiczne w koncentracji powodują korozję, co należy uwzględnić przy doborze wyposażenia i materiału na rurociągi.

Uwzględniając powyższe aspekty, ultrafiltrację (UF) można zastosować niczym nerkę dla usunięcia niepożądanych substancji występujących w wodzie podsitowej, żeby umożliwić dalsze domknięcie systemu wodnego.

Dla oczyszczania wody podsitowej takie nerki mogą składać się z typowego filtru tarczowego, filtra wstępnego (sita ciśnieniowego lub łukowego) do usuwania długim włókien, które mogłyby uszkodzić membrany oraz układu UF. Odrzuty z filtrów wstępnych są zawracane do procesu. Fakultatywnie, mętny filtrat można również poddać ultrafiltracji razem z klarownym filtratem. Rozwiązanie to stosuje się w przypadku, gdy klarowny filtrat jest tak czysty ( $SS < 20$  mg/l), że dla filtracji korzystnie jest dodać nieco cząstek stałych, żeby zapewnić większą czystość powierzchni membrany w czasie filtracji przepływowej. Wstępnie przefiltrowany klarowny filtrat jest zwykle przesyłany rurociągiem do zbiornika zasilającego układu UF i wpompowywany do jednostki UF. Liczba zastosowanych filtrów reguluje wydajność czystego filtratu UF. Różnicę ciśnień utrzymuje się na możliwie jak najniższym poziomie, np. 0,7-0,8 bara. Jakość filtratu z UF jest wystarczająca, żeby można było go zastosować np. jako wodę do natrysków wysokociśnieniowych (HP), wodę uszczelniającą i wodę do rozcieńczania dodatków chemicznych. Koncentrat z tych filtrów można przepompować do głównego oczyszczania ścieków. Na rys. 29 pokazano możliwy schemat zintegrowanej papierni stosującej ultrafiltrację do oczyszczania wody podsitowej.



Rysunek 7. 29 Możliwy schemat zintegrowanej papierni stosującej ultrafiltrację do oczyszczania wody podsitowej.

Short circulation	Krótki obieg
Former water tank	Zbiornik wody z części formującej
White water tank	Zbiornik wody podsitowej
Press water tank	Zbiornik wody z części prasowej
Disc filter	Filtr tarczowy
Make-up fibre	Uzupełnienie włókien
Recovered stock	Odzyskana masa
To consistency control	Do regulacji stężenia
Clear filtrate from pulp thickeners	Klarowny filtrat z zagęszczarek masy
Tower for clear filtrate from PM	Wieża klarownego filtratu z MP
Stock preparation white water tower	Wieża wody podsitowej z przygotowania masy
Reject press filtrate	Filtrat prasy odrzutów
Super clear to LP-shower	Superklarowny filtrat do natrysków LP
Pre-filter	Filtr wstępny
MEMBRANE TECHNOLOGY	TECHNOLOGIA MEMBRANOWA
To stock preparation	Do przygotowania masy

Biological treatment	<b>Oczyszczanie biologiczne</b>
Raw water	<b>Woda surowa</b>
Cooling system	<b>Układ chłodzenia</b>
Heat recovery system	<b>Układ odzyskiwania ciepła</b>
Raw water storage	<b>Zbiornik wody surowej</b>
Warm water storage	<b>Zbiornik wody gorącej</b>
Ultrafiltrate to HP-showers	<b>Ultrafiltrat do natrysków HP</b>
Clear filtrate to LP-showers	<b>Klarowny filtrat do natrysków LP</b>
Legend:	<b>Objaśnienia:</b>
PM = Paper machine	<b>MP = Maszyna papiernicza</b>
HP = High pressure	<b>HP = wysokociśnieniowe</b>
LP = Low pressure	<b>LP = niskociśnieniowe</b>
Cloudy filtrate	<b>Mętny filtrat</b>
Clear filtrate	<b>Klarowny filtrat</b>
Super clear filtrate	<b>Superklarowny filtrat</b>
Optional	<b>Fakultatywne</b>

### Główne korzyści środowiskowe

Obecnie technologię UF powszechnie stosuje się w celu zmniejszenia zużycia wody świeżej lub gdy trzeba ograniczyć obciążenie hydrauliczne zrzutu (ale nie ładunek organiczny). Dzięki zastąpieniu gorącej wody świeżej ultrafiltrowaną wodą podsitową z maszyny papierniczej, zwykle można zmniejszyć zużycie wody świeżej o około 2 – 4 m<sup>3</sup>/t papieru.

Ultrafiltracja w zastosowaniach do wody podsitowej na ogół oznacza oczyszczanie klarownych filtratów i/lub części mętnego filtratu z filtra tarczowego. Membrany UF usuwają praktycznie 100% zawiesiny ogólnej, 99% bakterii, 100% mętności (zostają usunięte wszystkie substancje koloidowe) i 45-70% anionowości. ChZT przesącza maleje o około 10-20%, co oznacza, że proces UF pozwala jednak przeniknąć części substancji organicznych (np. związkom organicznym o niskiej masie cząsteczkowej) oraz części rozpuszczalnych substancji nieorganicznych. Przede wszystkim proces UF zastosowany do wody podsitowej zapewnia lepszą jakość wodzie zawracanej do obiegu, której można użyć do natrysków nisko- i wysokociśnieniowych w części sitowej jako wody do rozcieńczania chemikaliów, w części prasowej jako wody smarującej oraz do innych zastosowań w myciu lub czyszczeniu. Dotychczas brak jest doświadczeń w zakresie użycia filtratu do czyszczenia filców.

### Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

Procesy oczyszczania membranowego zastosowane specjalnie do wody podsitowej maszyn wytwarzających papier lub tekturę zostały wypróbowane w skali przemysłowej dla wszystkich typowych rodzajów papieru. Dotychczas takie zastosowania wprowadzono w pełnej skali w następujących zakładach:

- papiernia Sappi Kirkniemi w Finlandii (papier do magazynów); oczyszczanie wody podsitowej z wyławiacza, filtrat wykorzystuje się w natryskach w części sitowej (wysoko- i niskociśnieniowych) oraz jako wodę uszczelniającą;
- papiernia UPM-Kymmene Tervasaari w Finlandii (papier podłożowy do etykiet); zastosowanie w

- wysoko- i niskociśnieniowych natryskach w części sitowej;
- papiera Holmen Paper Madrid w Hiszpanii (papier gazetowy); zastosowanie w wysokociśnieniowych natryskach w części sitowej;
  - papiera Modern Karton w Turcji (testliner/fluting z wykorzystaniem zużytej tektury falistej (OCC)); zastosowanie w wysokociśnieniowych natryskach w części sitowej;
  - papiera Hokuetsu Mill w Japonii (papier bezdrzewne do drukowania i pisanie); zastosowanie w wysokociśnieniowych natryskach w części sitowej).

Występujące w praktyce ograniczenia filtrów membranowych wynikają na ogół z samego materiału membrany, który jest narażony na zatykanie porów, jeśli nie są one wyposażone w układy wstępnego oczyszczania w celu usuwania cząstek stałych lub w wbudowane układy, które zapewniają oczyszczanie lub utrzymują silnie turbulentny przepływ w pobliżu powierzchni membrany. Wymagane jest regularne przemywanie filtrów roztworami kwasów lub zasad (NaOH, detergenty, tensydy), w wyniku czego powstają małe ilości ciekłych odpadów. Gdy strumień filtratu słabnie, membrany trzeba od czasu do czasu wymienić na nowe (okres eksploatacji membrany wynosi około 15 miesięcy).

### **Oddziaływania na procesy i środowisko**

Zużycie energii elektrycznej związane z wykorzystaniem technologii UF zależy od rodzajów papieru, a przez to od jakości wody produkcyjnej, jaka ma być oczyszczana (tj. temperatury, ChZT itd). Woda podsitowa z procesów produkcji wyrobów typu testliner/fluting z włókien wtórnych jest zwykle zimniejsza i bardziej stężona niż woda podsitowa z produkcji masy mechanicznej i bezdrzewnych papierów drukowych, osiąga więc większy przepływ o 30 – 50%. Dlatego też wydajność jednej jednostki UF może być znacząco różnicowana (m<sup>3</sup>/d). W przypadku papierów drukowych zużycie energii elektrycznej do celów ultrafiltracji wynosi od 2,6 kWh/m<sup>3</sup> dla oczyszczania wody podsitowej do około 4,7 kWh/m<sup>3</sup> for w papierniach wytwarzających wyroby typu testliner/fluting z włókien wtórnych.

Ewentualne zmniejszenie zużycia wody może pośrednio prowadzić do obniżenia ładunku odprowadzanych biogenów (azotu i fosforu), ponieważ emisje azotu i fosforu ogólnego determinuje ich minimalne stężenie, którego wymaga wzrost biomasy w biologicznych oczyszczalniach ścieków.

W przypadku filtracji membranowej kluczowe znaczenie ma sposób oczyszczania odpadów ciekłych lub stałych. W zastosowaniach UF w skali przemysłowej koncentrat z filtracji membranowej (3 – 5 % zasilania) dodatkowo oczyszcza się w biologicznej oczyszczalni ścieków. W tym przypadku nie ma ograniczenia ładunku zawiesiny ogólnej odprowadzanego do wód, które stanowią odbiornik. Jednakże, wciąż prowadzone są badania mające ustalić, czy należy osobno oczyszczać koncentrat.

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

UF można stosować do oczyszczania superklarownego filtratu lub biologicznie oczyszczonej wody z oczyszczalni ścieków. Oczyszczanie nadmiaru wody podsitowej za pomocą filtracji membranowej typu UF w celu jej ponownego użycia w natryskach w części sitowej stało się sprawdzoną i przyjętą techniką w zakładach wytwarzających papier i tekturę, w których poziom zużycia wody świeżej musi być niski. Ultrafiltrowaną wodę również wykorzystuje się w natryskach w części prasowej, chociaż rozwiązanie to wciąż ma miejsce tylko w specjalnych przypadkach ze względu na to, że UF tylko częściowo usuwa rozpuszczone materiały.

Technikę tę można również zastosować w papierniach wykorzystujących włókna wtórne. Już sprawdziła się w zastosowaniach na skalę przemysłową (np. w papierni Modern Karton Sanayi Ticaret AS w Corlu w Turcji oraz w papierni Propapier Eisenhüttenstadt Niemczech).

W przypadku wody produkcyjnej z papierni o wyższym stężeniu substancji organicznych, jak np. z produkcji „brązowego” papieru z włókien wtórnych, innym możliwym rozwiązaniem jest zastosowanie biologicznego oczyszczania, a następnie filtru piaskowego, kiedy zużycie wody świeżej musi być niskie. Umożliwia ono częściowe zawrócenie wody z długiego obiegu. Techniki te opisano w punkcie 6.3.4.

Opracowywane są również układy łączone, tzw. bioreaktory membranowe (MBR), opisane w

punkcie 2.9.11.2.1. W zastosowaniach specjalnych, takich jak odzyskiwanie chemikaliów do powlekania ze ścieków z powlekarńki w ciągu maszyny papierniczej, technologia membranowa (UF) jest już technologią sprawdzoną i odnotowano kilka przydatków jej zastosowania (zob. punkt 7.3.5).

Ogólnie rzecz biorąc, zamykanie obiegu wodnego w maszynie papierniczej z własnym usuwaniem rozpuszczonych składników organicznych lub nieorganicznych to technika, która jest nadal przedmiotem pewnego zakresu prac badawczo-rozwojowych. Nie ma ona tak ugruntowanej pozycji jak np. oczyszczanie biologiczne.

### Aspekty ekonomiczne

Koszty eksploatacyjne ultrafiltracji zależą od cen energii oraz osiągniętego przepływu (ilość filtratu na powierzchnię membrany i godzinę). Przy założeniu kosztów energii elektrycznej na poziomie 0,05 euro/kWh można obliczyć następujące koszty eksploatacyjne:

- wyroby typu testliner/fluting z włókien wtórnych z wykorzystaniem zużytej tektury falistej ( $175 \text{ l/m}^2 \times \text{h}$ ): 0,42 euro/ $\text{m}^3$ ;
- papiery drukowe ( $300 \text{ l/m}^2 \times \text{h}$ ): 0,25 euro/ $\text{m}^3$ .

W tabeli 7.24 podano przykładowe obliczenia kosztów eksploatacyjnych ultrafiltracji wody podsitowej w papierni wytwarzającej papiery drukowe w ilości 350 tys. ton na rok (dane od dostawcy, 2010 r.). Wydajność membrany wynosi  $3,0 \text{ m}^3/\text{t}$ , co odpowiada  $126 \text{ m}^3/\text{h}$  lub  $300 \text{ l/m}^2/\text{h}$ .

Tabela 7. 24 Przykładowe obliczenia kosztów eksploatacyjnych ultrafiltracji wody podsitowej z produkcji papierów drukowych

<b>Zużycie energii</b>	<b>8,3 kWh/t lub 2,7 kWh/<math>\text{m}^3</math></b>
Założona cena energii	0,05 euro/kWh
Odstęp między przemywaniami (roztwory zasad)	7 dni
Odstęp między przemywaniami (roztwory kwasów)	30 dni
Zużycie detergentów (zasadowych i kwasowych)	80 i 40 kg na przemywanie
Cena detergentu (średnia)	2,2 euro/kg
Okres eksploatacji membrany	15 miesięcy
<b>Zużycie energii</b>	<b>0,14 euro/<math>\text{m}^3</math></b>
<b>Przemywanie membran</b>	<b>0,03 euro/<math>\text{m}^3</math></b>
<b>Serwis (wymiana membran, konserwacja)</b>	<b>0,08 euro/<math>\text{m}^3</math></b>
<b>Koszty eksploatacyjne ogółem</b>	<b>232 000 euro/rok lub 0,25 euro/<math>\text{m}^3</math></b>

Mimo że filtracja membranowa zużywa energię, w niektórych przypadkach można uzyskać oszczędności w zakresie zużycia energii w części suszącej. Jeśli spada zużycie wody świeżej, to wzrasta temperatura procesu. Łatwiej można usunąć wodę i uzyskać większą suchość wstęgi po części prasowej, a dzięki temu części suszącej potrzeba mniej energii do ogrzewania.

### Motywacja do wdrożenia

Filtrację membranową można stosować w papierniach, które muszą spełnić surowe wymagania dotyczące emisji, ponieważ znajdują się w pobliżu wrażliwego odbiornika lub planują znacząco zwiększyć moce produkcyjne. Niektóre władze w Europie wymagają, żeby ładunek ścieków nie wzrastał ze wzrostem zdolności produkcyjnych. Technologię UF można również stosować w przypadku ograniczonej dostępności wody.



Ultrafiltracja wody podsitowej może również skrócić czas postojów maszyny papierniczej, powodowanych przez konieczność wymycia substancji zgromadzonych w zawracanym do obiegu klarownym filtracie.

### Instalacje referencyjne

Filtrację membranową wody produkcyjnej stosuje się w około sześciu europejskich zakładów wytwarzających masę włóknistą i papier, przy czym brak jest informacji o papierni z „całkowicie zamkniętym obiegiem”. Filtrację membranową stosuje się głównie dla uzyskania klarownego filtratu wody podsitowej w celu zmniejszenia zapotrzebowania wody świeżej. Przykładowe zakłady to papiernia Sappi Kirkniemi (wytwarzająca papiery do magazynów i papiery bezdrzewne do pisania i drukowania) w Finlandii; papiernia UPM-Kymmene Tervasaari (papier podłożowy) w Finlandii; papiernia Holmen Paper Madrid (papier gazetowy) w Hiszpanii; papiernia Modern Karton Liner/Fluting w Turcji; papiernia Hokuetsu Mill (papiery bezdrzewne do pisania i drukowania) w Japonii; papiernia Propapier Eisenhüttenstadt w Niemczech.

W Stanach Zjednoczonych działają papiernie z zamkniętym systemem wodnym, w których stosuje się technologię membranową razem z oczyszczaniem biologicznym (firma McKinley wytwarzająca papier na warstwę płaską tektury falistej w amerykańskim stanie Nowy Meksyk).

### Bibliografia

[ 5, Bentley et al. 1999 ], [ 143, T.Sutela et al. 2006 ], [ 144, Sutela 2008 ].

## 7.3.4 Skuteczne odzyskiwanie włókien i wypełniaczy oraz układ braku własnego

Informacje dotyczące odzyskiwania mieszanek powlekających przedstawiono w punkcie 7.3.5.

### Opis

Standardową praktyką w papierniach jest zarządzanie zasobami mające na celu skuteczne odzyskiwanie włókien. W odniesieniu do przetwarzania włókien pierwotnych na ogół ponad 98% masy włóknistej przechodzącej przez część przygotowania masy dla maszyn wytwarzających papier lub tekturę trafia do produktu finalnego. Zakłady wytwarzające papier lub tekturę ograniczają do minimum straty włókien i wypełniaczy optymalizując procesy przedstawione poniżej:

- sortowanie i oczyszczanie w przygotowaniu masy;
- wyławiacze włókna w części mokrej, z których najbardziej typowe są filtry tarczowe lub komory flotacyjne. Stosuje się też mikrofiltry o niskim zużyciu energii. W zależności od zastosowania (oczyszczanie filtratu z pras ślimakowych i wody uszczelniającej układy próżniowe, oczyszczanie wody podsitowej w celu odzyskiwania włókien i wody, doczyszczanie wody z istniejących wyławiaczy włókien w celu uzyskania filtratu o superklarownej jakości), średnica ziaren materiału filtracyjnego mikrofiltra waha się między bardzo małą na poziomie 6  $\mu\text{m}$  do specjalnych zastosowań doczyszczających i większą do 1000  $\mu\text{m}$ , wykorzystywanej do zagęszczania;
- przerób braku własnego z części mokrej i suchej.

W papierniach zintegrowanych odrzuty z sortowania i oczyszczania w przygotowaniu masy są na ogół zawracane do działu wyrobu masy włóknistej, gdzie dokonuje się ich ponownego przerobu. Dobra masa trafia z powrotem do masy papierniczej.

Kiedy zawiesina masy zostanie wprowadzona poprzez wlew na sito maszyny papierniczej i rozpoczyna się proces formowania wstęgi papieru, w pierwszym stadium formowania we wstędze nie zatrzymuje się znaczna ilość włókien i wypełniaczy, ale trafiają się one do kadzi wody obiegowej, znajdującej się pod maszyną (zob. rys. 7.1). W krótkim obiegu woda ta jest zawracana bez oczyszczania.

Pozostała część tej wody przechodzi przez wyławiacz włókien, na ogół filtr bębnowy lub tarczowy, lub jednostkę flotacji z rozpuszczonym powietrzem (zob. punkt 7.3.1) w celu wydzielenia cząstek stałych

ze strumienia wody. Następnie cząstki stałe zbiera się w kadzi i ponownie zawraca się je do ciągu maszyny papierniczej. Wodę sklarowaną, zwana wodą podsitową, na ogół zbiera się w postaci klarownego i mętnego filtratu oraz zawraca do odpowiednich zastosowań w maszynie papierniczej: do rozcieńczania masy w układzie przygotowania masy dla maszyny, rozcieńczania braku własnego lub do natrysków maszyny papierniczej. W zintegrowanych papierniach nadmiar wody podsitowej jest najczęściej wykorzystywany w procesie wytwarzania masy włóknistej lub w maszynach wytwarzających papier lub tekturę. W papierniach niezintegrowanych nadmiar wody podsitowej jest odprowadzany do ścieków.

Jeśli do odzyskiwania włókien i wypełniaczy z maszyny papierniczej wykorzystuje się urządzenie do wyławiania włókien, w większości przypadków skutecznym rozwiązaniem zapewniającym osiągnięcie wysokiego ich odzyskiwania jest filtr tarczowy. W nowoczesnych papierniach często stosuje się urządzenie ze wstępną warstwą filtracyjną, które wykorzystuje niewielkie ilości masy osadzone na powierzchni filtrującej w celu poprawy sprawności filtracji oraz odzyskiwania cząstek stałych. Filtr taki pracuje w sposób okresowy, ale usunięcie zatrzymanych cząstek stałych i regeneracja wstępnej warstwy filtrującej zabiera niewiele czasu. Inne układy odzyskiwania włókien i wypełniaczy to komory flotacyjne, zagęszczarki tarczowe lub filtry membranowe.

Filtr tarczowy umożliwia skuteczny rozdział wody podsitowej na filtrat klarowny i mętny, a także w wielu przypadkach powstaje superklarowny filtrat, którego można użyć ponownie w natryskach niskociśnieniowych. Superklarowny filtrat z filtra tarczowego może zawierać 10-20 mg/l zawiesiny cząstek stałych, a klarowny filtrat 20-50 mg/l cząstek stałych (w niektórych przypadkach 100 mg/l). Klarowny filtrat można zastosować do natrysków w maszynie papierniczej, co zmniejsza zużycie wody świeżej. Mętnego filtratu i reszty klarownego filtratu można użyć do rozcieńczania masy przed wlewem maszyny papierniczej, w krótkim obiegu, do rozcieńczania braku własnego oraz procesie wytwarzania masy włóknistej w papierniach zintegrowanych.

Poniżej przedstawiono inne sposoby zmniejszenia strat włókien i wypełniaczy:

- Wyregulowanie rafinowania i sortowania masy, tuż przed zasilaniem maszyny papierniczej, żeby utrzymać właściwe proporcje między różnymi rodzajami włókien w masie. Intensywne rafinowanie zwiększa udział krótkich włókien, które z kolei mogą być usunięte jako odrzut w procesie sortowania. W papierniach zintegrowanych pewna frakcja odrzutów może być zawrócona do oddziału wytwarzania masy.
- Skuteczna regulacja wlewu maszyny papierniczej w celu formowania jednorodnej wstęgi papieru na całej szerokości maszyny.
- Użycie odpowiedniej ilości dodatków chemicznych, wraz z nowoczesnym systemem sterowania, żeby zapewnić lepszą retencję włókna na sicie oraz dobre formowanie wstęgi papieru.
- Pojemność kadzi braku własnego i wody podsitowej również wpływają na zagospodarowanie cząstek stałych i wody. Wymiary kadzi powinny umożliwiać magazynowanie w nich braku własnego odpowiadającego co najmniej 2-3 godzinnemu przepływowi strumienia zasilającego maszynę w celu odzyskania frakcji o wysokiej zawartości włókna. Zmniejsza to częstotliwość oraz czas trwania nagłych, maksymalnych stężeń włókna lub przelewów do ścieków spowodowanych przyczynami hydraulicznymi.
- W maszynach papierniczych wytwarzających papiery powlekane brak własny gromadzony za powlekkarką należy mieszać z masą świeżą i brakiem własnym z części mokrej.

Mikrofiltracja lub ultrafiltracja są skutecznymi technikami doczyszczania wody podsitowej (zob. punkt 7.3.3). Ultrafiltrowana woda jest wolna od zawiesiny cząstek stałych i substancji koloidowych, usuwane są także mikroorganizmy, lateks i inne mikroskopijne substancje lepkie oraz mniej więcej o połowę w stosunku do ich pierwotnej zawartości zmniejsza się ilość „śmieci” anionowych.

### **Główne korzyści środowiskowe**

Skuteczne odzyskiwanie włókien i wypełniaczy we wszystkich możliwych etapach produkcji w papierniach umożliwia zwracanie surowców do zasilania maszyny zamiast ich odprowadzania do ścieków wraz z nadmiarem wody podsitowej. Dzięki lepszemu odzyskiwaniu substancji stałych, ich ładunek nie trafia do wstępnego oczyszczania ścieków, ani też do usuwanego osadu.

Skuteczne usuwanie zawiesiny cząstek stałych z wody podsitowej stanowi niezbędny warunek dalszej recyrkulacji oczyszczonej wody do procesów produkcyjnych oraz wstępne działanie prowadzące do zamknięcia obiegów wodnych.

### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Działanie te są realizowane w prawie wszystkich papierniach, ale w różnym zakresie. Ogólnie rzecz biorąc, najlepsze efekty przynoszą wysoce sprawne procesy jednostkowe oraz automatyczne monitorowanie sterowanie operacjami jednostkowymi.

Ważne jest monitorowanie poziomu w kadziach wody podsitowej i braku własnego. Wyposażenie sieci kanalizacyjnej odprowadzającej ścieki z papierni w przepływomierz i miernik mętności umożliwia rejestrację nagłych wzrostów stężenia cząstek stałych w ściekach.

W lepiej funkcjonujących papierniach całkowite straty substancji stałych w maszynie papierniczej, w odrzutach z przygotowania masy dla maszyny, w nadmiarze wody podsitowej odprowadzanym do ścieków, w części prasowej maszyny, a także w przelewach masy ze zbiorników wahają się między 10 i 20 kg/ADt (tj. 1-2%) dla wielu rodzajów papieru. Straty substancji stałych w niektórych istniejących liniach produkujących papiery na warstwę płaską i pofalowaną lub papiery specjalne przekraczają poziom 50 kg/ADt.

### **Oddziaływania na procesy i środowisko**

Dzięki zmniejszeniu emisji zawiesiny cząstek stałych do oczyszczalni ścieków trafia mniejszy ładunek cząstek stałych, a także mniej osadu powstaje we wstępnym oczyszczaniu ścieków. Odzyskane włókna i cząstki wypełniacza pozostają w produkcie finalnym i nie trzeba ich zagospodarować jako odpadów.

Poprawa płynności działania dzięki zmniejszeniu zawartości cząstek stałych w obiegach wody podsitowej ogranicza liczbę awarii maszyny papierniczej.

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Wymienione usprawnienia można stosować zarówno w nowych, jak i w istniejących papierniach. Jednakże w starszych papierniach zakres przebudowy pomieszczeń maszyny papierniczej może być ograniczony z powodu braku miejsca lub problemów związanych z rozplanowaniem.

### **Aspekty ekonomiczne**

Brak danych.

### **Motywacja do wdrożenia**

Poprawa odzysku masy papierniczej jest korzystna ekonomicznie z powodu lepszego wykorzystania surowców oraz mniejszych ilości odpadów do unieszkodliwienia. Niższy ładunek cząstek stałych w obiegach wody podsitowej może również poprawić płynność działania maszyny papierniczej. Mniejszy ładunek cząstek stałych odprowadzanych do zewnętrznej oczyszczalni może również motywować do wdrożenia opisanych rozwiązań, których celem jest odzyskiwanie włókien lub zapobieganie przelewom.

### **Instalacje referencyjne**

Liczne papiernie w Europie.

### **Bibliografia**

[ 15, CEPI 1998 ].

## **7.3.5 Odzyskiwanie mieszanek powlekających/zawracanie pigmentów**

### **Opis**

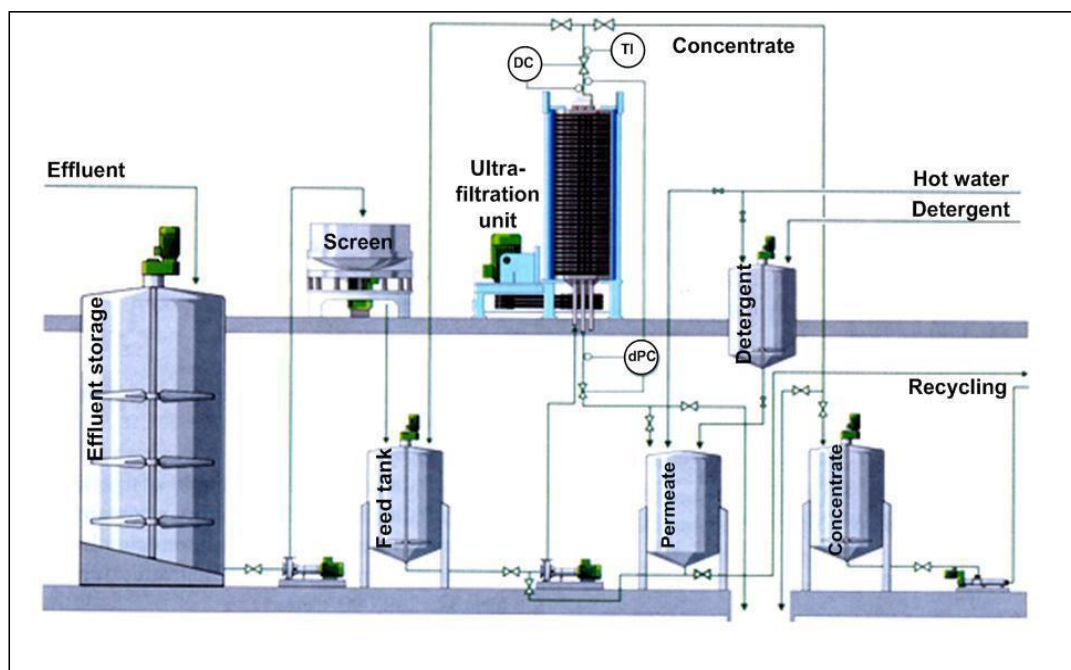
Ścieki zawierające mieszanki powlekające powstają w czasie mycia urządzeń do powlekania, zrywów papieru i zmian produkcji w zakładach wytwarzających powlekane rodzaje papieru i tektury. Zakłady te

wytwarzają niewielki pod względem hydraulicznym przepływ ścieków (około 2-5% całkowitego przepływu), który jest bogaty w pigmenty i substancje wiążące (zob. również punkt 7.3.6). Zawarty w tych ściekach wysoki ładunek zanieczyszczeń stałych i związki, które są lepkie z natury, mogą powodować problemy w eksploatacji oczyszczalni, jeśli są do niej odprowadzone bez odpowiedniego oczyszczenia wstępnego. Z drugiej strony, pigmenty są kosztowne, dlatego ekonomicznie uzasadnione jest (częściowe) odzyskiwanie mieszanki powlekającej w celu jej ponownego zastosowania.

Prawidłowa z punktu ochrony środowiska gospodarka ściekowa obejmuje poniższe warunki:

- Minimalny poziom emisji odprowadzanych z powlekania do kanalizacji dzięki efektywnej produkcji oraz optymalnej recepturze przygotowywanych mieszanek powlekających, szczególnie wtedy, gdy zmiany rodzaju produkowanego papieru wymagają zmiany składu mieszanki powlekającej. Znaczące czynniki stanowią skuteczne procedury pracy i dobre metody gospodarowania.
- Optymalnie zaprojektowana kuchnia mieszanek powlekających i układy zasilania.
- Odrębne gromadzenie ścieków zawierających mieszankę powlekającą.
- Odzyskiwanie składników mieszanki poprzez ultrafiltrację ścieków z powlekania lub za pomocą innych technik odzyskiwania.

I) Ultrafiltracja jest metodą, w której rozdziela się wodę od chemikaliów, stosując półprzepuszczalną membranę. Pory tej membrany są tak małe, że przepuszczają tylko niewielkie cząsteczki, takie jak woda, jony metali, sole, monomery skrobi, podczas gdy inne składniki mieszanki powlekającej - pigmenty i substancje wiążące – są zbyt duże, żeby przedostać się przez membranę (zob. rys. 7.28). Zawartość cząstek stałych w ściekach poddawanych filtracji membranowej wynosi na ogół 2-4%, a w koncentracji 30% w układzie jednofazowym oraz 43 – 44% w przypadku dodatkowej drugiej fazy dla wysokiej zawartości cząstek stałych (np. w papierni Husum w Szwecji). Jego dodanie do świeżej mieszanki powlekającej nie powoduje zbytniego jej rozcieńczenia. Jak pokazano na rysunku 7.30, kompletny układ ultrafiltracji obejmuje filtr, niezbędne zbiorniki i rurociągi, przyrządy oraz układ sterowania.



Rysunek 7. 30 Przykładowy układ odzyskiwania składników mieszanek powlekających poprzez ultrafiltrację.

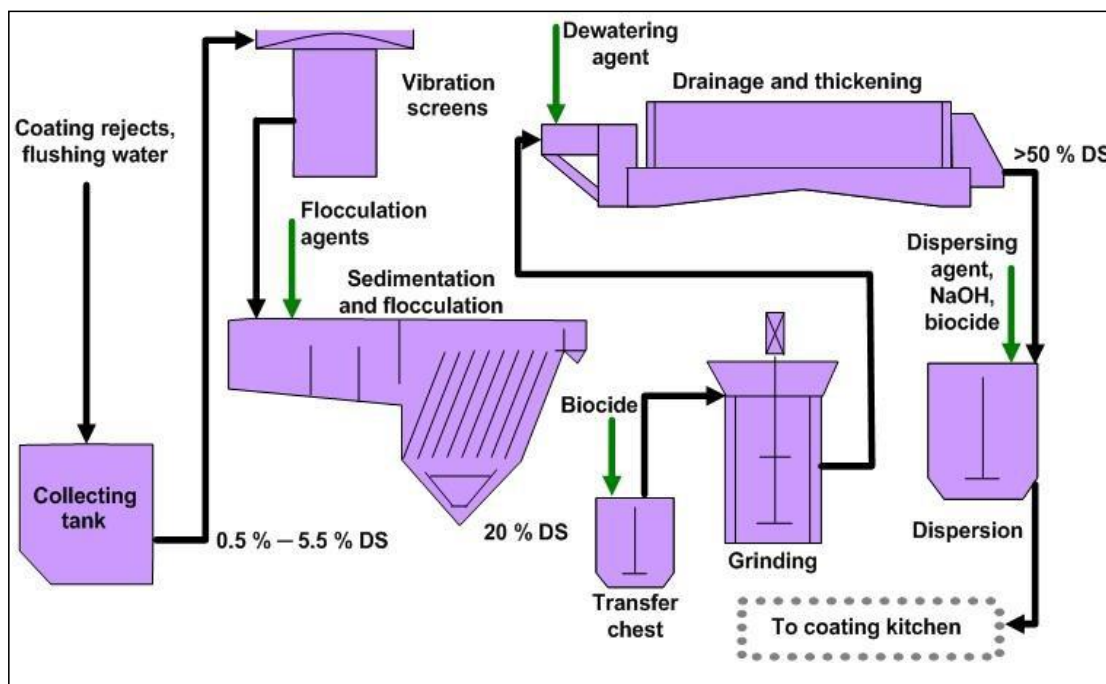
Effluent	Ścieki
Effluent storage	Gromadzenie ścieków

Screen	Sortownik
dPC	dPC
Feed tank	Zbiornik zasilający
Ultra filtration unit	Układ ultrafiltracji
DC	DC
TI	TI
Concentrate	Koncentrat
Hot water	Woda gorąca
Detergent	Detergent
Recycling	Zawrócenie do obiegu
Permeate	Permeat
Concentrate	Koncentrat
Source: [ 123. Roitto et al. 1997 ]	Źródło: [ 123. Roitto I in. 1997 ]

## II) Gromadzenie – sortowanie – zateżanie – rozdrabnianie – odwadnianie

Technika ta stanowi rozwiązanie alternatywne wobec ultrafiltracji, które zaczęto stosować w 2008 roku w papierni niemieckiej wytwarzającej około 300 tys. ton na rok potrójnie papierów powlekanych. Na rys. 7.31 pokazano schemat działania układu odzyskiwania składników z odrzutów mieszanki powlekającej i zawierającej mieszankę powlekającą wody z przemywania. W skład układu odzyskiwania składników mieszanki powlekającej wchodzi: i) centralny zbiornik pod powlekarą gromadzący ścieki zawierające mieszankę powlekającą, (ii) zbiornik buforowy i zespół sortowania dwufazowego: sito ciśnieniowe 300  $\mu\text{m}$  i sito łukowe 100  $\mu\text{m}$ , (iii) kompaktowa jednostka flokulacji (polimer kationowy i poliakrylamid anionowy) i sedymentacji, zateżająca pigmenty do 20 % d.s., iv) rozdrabniacz (młyn kulowy), v) odstojnik (z dodatkiem poliakrylamidu anionowego), odwadniający zawiesinę do 50% s.s., i vi) zbiornik dyspersyjny, w którym kończy się proces dyspersji przez dodanie NaOH, środka dyspersyjnego i biocydów. Stamtąd odzyskana dyspersja jest przepompowywana do “kuchni” mieszanek powlekających. W rurociągu prowadzącym do zespołów dyspersyjnych “kuchni” zainstalowano kontrolne sito 150  $\mu\text{m}$ . Oddzielona klarowna woda jest zawracana do procesu (rozczylnicza). Rozwiązane to zmniejsza całkowite zużycie wody w papierni o 0,43 m<sup>3</sup>/t.

W porównaniu z innymi rozwiązaniami zaletą tego efektywnego systemu jest to, że zanieczyszczenia znajdujące się w zgromadzonej wodzie z przemywania, takie jak cząstki ze ścierania papieru, zlepki, włókna, zabrudzenia lub piasek są kruszone w młynie kulowym do drobnej frakcji cząstek, tak że 60% wszystkich cząsteczek jest mniejsze niż 2 mikrony, i dzięki temu nie utrudniają one już ponownego użycia pigmentów powlekających.



Rysunek 7. 31 Schemat działania układu odzyskiwania składników z odrzutów mieszanki powlekającej i zużytej wody.

Coating rejects, flushing water	Odrzuty mieszanki powlekającej, woda z przemywania
Collecting tank	Zbiornik gromadzący
Vibration screens	Sortowniki wibracyjne
Flocculation agents	Flokulanty
Sedimentation and flocculation	Sedymentacja i flokulacja
Dewatering agent	Środek odwadniający
Drainage and thickening	Odwadnianie i zagęszczanie
>50 % DS	>50% s.s.
Dispersing agent, NaOH, biocide	Środek dyspersyjny, NaOH, biocyd
Biocide	Biocyd
Grinding	Rozdrabnianie
Transfer chest	Kadź przejściowa
Dispersion	Dyspersja
To coating kitchen	Do "kuchni" mieszanek powlekających
20 % DS	20% s.s.

Zgromadzone ścieki wchodzące do układu zawierają około 0,5 – 5% suchej substancji masy (s.m.) oraz około 50% s.s., kiedy z niego wychodzą. Stopień zawracania mieszanki powlekającej wynosi prawie 100%. Nie wykryto żadnego negatywnego wpływu na jakość mieszanki powlekającej.

### Główne korzyści środowiskowe

Pozostałość po oczyszczaniu ścieków z mieszanek powlekających za pomocą ultrafiltracji lub innych skutecznych układów odzyskiwania (zob. rys. 7.31) może być ponownie wykorzystana jako mieszanka powlekająca, zaś permeat może zastąpić wodę świeżą (oszczędności wody). Jednocześnie, zmniejsza się ładunek organiczny (ChZT) i obciążenie hydrauliczne dla zewnętrznej oczyszczalni ścieków oraz powstają osady. Przykładowa papiernia zmniejszyła całkowitą ilość odpadów stałych generowanych w całym zakładzie o 60% dzięki uruchomieniu skutecznego układu odzyskiwania składników ze ścieków z powlekania. Inną korzyścią jest ograniczenie transportu pigmentów i odpadów.

Proces odzyskiwania składników mieszanki powlekającej polegający na „gromadzeniu – sortowaniu – zateżaniu – rozdrabnianiu – odwadnianiu” zapewnia pewne oszczędności energii w porównaniu z przetwarzaniem pigmentów naturalnych, które wymaga zużycia około 150 kWh/t, podczas gdy cały układ odzyskiwania składników z mieszanki powlekającej wymaga zużycia około 105 kWh na tonę odzyskanego pigmentu, co oznacza, że wariant polegający na zawracaniu do procesu wymaga zużycia o 30% mniej energii elektrycznej niż rozdrabnianie świeżych pigmentów.

### Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

Zastosowanie ultrafiltracji okazało się sukcesem w wielu papierniach. Brak jest doniesień o negatywnym wpływie wstępnego powlekania z użyciem koncentratu na jakość papierów bezdrzewnych powlekanych lub wielokrotnie powlekanych. W papierniach wytwarzających papiery do drukowania czasopism ilustrowanych można użyć małych ilości koncentratu z ultrafiltracji do powlekania bez pogorszenia jakości. W wytwórniach tektury odzyskana mieszanka powlekająca jest ponownie stosowana jako powłoka spodnia. Ilość koncentratu musi być stała. Bakterie i higiena są ważnymi aspektami, które należy uwzględnić. Okres eksploatacji membrany może przekraczać jeden rok. Na ogół, membranę myje się raz na tydzień, przy czym powstaje 2-5 m<sup>3</sup> ścieków. Uzyskano pozytywne wyniki np. dla membran polimerowych przy zastosowaniu zasady przepływu krzyżowego (czy też filtracji rotacyjnej).

Rozwiązanie w zakresie odzyskiwania składników mieszanki powlekającej polegające na „gromadzeniu – sortowaniu – zateżaniu – rozdrabnianiu – odwadnianiu” (zob. rys. 7.31) zapewnia uzyskanie pigmentów o określonym rozkładzie granulacji. Jakość odzyskanych pigmentów z powlekania jest podobna do pierwotnie użytego węgla wapnia. Nie zaobserwowano żadnych problemów z „białą żywicą” (spoiwo lateksowe z zawróconego do procesu powlekanego braku własnego). Proces ten umożliwia wtórne użycie prawie 100% pigmentów z powlekania ze ścieków (w przykładowym przypadku 6 – 10 ton bezwzględnie suchego pigmentu dziennie), ograniczając w ten sposób ładunek w ściekach (ChZT) i potrzebę transportu pigmentów i osadu. Jego wydajność wynosi 400 m<sup>3</sup>/dobę.

### Oddziaływania na procesy i środowisko

Technika ta przynosi znaczące oszczędności pod względem transportu, potrzebnych surowców (pigmentów) i ilości odpadów stałych do unieszkodliwienia. Zastosowanie ultrafiltracji i alternatywnych układów odzyskiwania składników mieszanek powlekających wymaga energii elektrycznej i pewnych chemikaliów, jednakże zużytą energię z nadatkiem rekompensują odzyskane pigmenty. Zmniejszenie emisji ścieków z powlekania usprawnia działanie zewnętrznej oczyszczalni ścieków i ogranicza ładunek do oczyszczenia. Zależnie od udziału powłoki w produkowanym papierze ilość odpadów stałych można obniżyć o 60%.

### Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki

Zarówno w nowych, jak i istniejących papierniach można zagospodarować mieszanki powlekające pozostałe po ich zastosowaniu oraz oddzielnie gromadzić ścieki z powlekania w celu ich odrębnego oczyszczania. Ultrafiltracja jest przydatna dla większości papierni wytwarzających papiery powlekane, takie jak papier do drukowania czasopism ilustrowanych, papier bezdrzewny lub tekturę. Natomiast ten system odzyskiwania składników mieszanek powlekanych może być nieodpowiedni dla niektórych specjalnych rodzajów papierów powlekanych, np. jeśli ilości ścieków są bardzo małe lub powstają w

różnych miejscach w papierni, kiedy w ciągu krótkiego czasu dokonuje się wielu zmian powłok, lub jeśli różne receptury mieszanek powlekających nie nadają się do zmieszania. W tych przypadkach ścieki z powlekania są kierowane bezpośrednio do oczyszczalni ścieków lub są oczyszczane osobno przez wytrącanie przed skierowaniem do oczyszczania biologicznego (zob. punkt 7.3.6). W przypadku ultrafiltracji osiągalne stężenie odzyskanych substancji stałych nie przekracza około 35-45%. Jeśli zgodnie z recepturą nie ma nadmiaru wody w mieszance powlekającej, to ponowne użycie całego koncentratu może być trudne.

Alternatywny układ odzyskiwania składników mieszanek powlekających (zob. rys. 7.3.1), wykorzystujący młyn kulowy, a następnie zagęszczarkę jako podstawowe procesy, jest odpowiedni dla wszystkich papierni, w których występują znaczące ilości mieszanek powlekających trafiających do kanalizacji (np. wiele powłok, większe papiernie). Ze względu na bardzo skuteczny rozdrabniacz, układ ten jest bardzo sprawny, odporny na zakłócenia pracy i zapewnia pigmenty takiej jakości, że można je zastosować w większości wyrobów powlekanych. Można osiągnąć zawartość cząstek stałych powyżej 50% s.s.

### Aspekty ekonomiczne

I) *Obliczenia ekonomiczne dla układu odzyskiwania składników mieszanek powlekających poprzez ultrafiltrację.*

Przykładowe obliczenia odnoszą się do papierni wytwarzającej 800 ton powlekanych papierów na dobę i pracującej 330 dni w roku. Wytwarzanie mieszanek powlekających stanowi 30% produkcji papieru, czyli 240 ton s.s na dobę. Przybliżone obliczenia ekonomiczne przedstawiono w tabeli 7.25.

**Tabela 7. 25 Obliczenia ekonomiczne dla procesu odzyskiwania składników mieszanek powlekających za pomocą ultrafiltracji.**

<b>Dane dot. strat mieszanek powlekających</b>		
Straty mieszanek powlekających	2% produkcji lub 4,8 t s.s. na dobę	
<b>Dane dot. ścieków mieszanek powlekających</b>		
Zawartość suchej substancji w ściekach z powlekania	2%	
Ilość ścieków z powlekania	240 m <sup>3</sup> /dobę lub 10 m <sup>5</sup> /h	
<b>Dane dot. Kosztów</b>		
Wartość mieszanek powlekających	350 euro/t s.s. (x 4,8 t/d x 330 dni)	554 400 euro/rok
Koszt wody (świeżej + ścieki)	0,50 euro /m <sup>3</sup>	39 600 euro/rok
Wywóz odpadów (na składowisko)	100 euro/t w stanie mokrym	528 000 euro/rok
Końcowa zawartość suchej substancji w ściekach z powlekania	30% s.s.	
<b>Całkowite roczne oszczędności z odzyskiwania składników mieszanek powlekających</b>		<b>1,122 mld euro/rok</b>
<b>Dane dot. ultrafiltracji</b>	Powierzchnia membrany 80 m <sup>2</sup> , potrzebny przepływ: 125 l/mrr <sup>2</sup> x h lub 2,8 l/s = 10 m <sup>3</sup> /h	
<b>Roczny koszt eksploatacji</b>		
Energia elektryczna	Euro 0,05/kWh/t	31 680 euro/rok
Detergent		9 476 euro/rok
Membrana + części zapasowe		21 700 euro/rok
Biocydy		5000 euro/rok
<b>Całkowity roczny koszt eksploatacji</b>		<b>67 856 euro/rok</b>
<b>Roczne oszczędności netto</b>		<b>1,054 mld euro/rok</b>
<b>Czas zwrotu (koszty inwestycyjne 1,1 – 1,3 mln euro)</b>		<b>Okolo 1 roku</b>
<i>Źródło: Dane od dostawcy, 2010 r.</i>		

II) *Obliczenia ekonomiczne dla układu odzyskiwania składników mieszanki powlekającej polegającego na „gromadzeniu – sortowaniu – zateżaniu – rozdrabnianiu – odwadnianiu”*

Ten proces umożliwia prawie 100% odzyskiwanie mieszanek powlekających. Osiągnięto oszczędności około 840 000 euro/rok (rok bazowy 2009 r.), obejmujące mniejsze koszty pigmentów z powlekania (około 265 000 euro/rok), zagospodarowania osadu (około 500 000 euro/rok), ścieków (65 000



euro/rok) i wody świeżej (około 10 000 euro/rok). Roczne koszty eksploatacji wyniosły 350 000 euro, obejmując koszty chemikaliów (300 000 euro/rok), energii (20 000 euro/rok) oraz konserwacji i napraw (20 000 euro/rok). W przykładowym przypadku układ odzyskiwania przynosi zyski na poziomie 510 000 euro/rok. Koszty inwestycyjne układu odzyskiwania składników mieszanki powlekającej wyniosły 1 mln euro dla papierni wytwarzającej 300 000 t/rok potrójnie powlekanej, ilość oczyszczana w ciągu doby to 400 m<sup>3</sup>, a w ciągu doby odzyskuje się 10 ton pigmentów. Czas zwrotu inwestycji wynosi 1,65 roku (bez subsydiów).

### Motywacja do wdrożenia

Usprawnienie gospodarki surowcowej w produkcji (minimalizacja strat mieszanek powlekających). Kluczowym warunkiem wdrożenia ultrafiltracji jest zmniejszenie kosztów surowców (kosztownych mieszanek powlekających) i unieszkodliwienia odpadów. Ponadto, technika ta zmniejsza emisję ładunku zawiesiny cząstek stałych i ChZT oraz usprawnia działanie oczyszczalni ścieków. Jest to rozwiązanie bardziej wskazane niż wstępne oczyszczanie ścieków z powlekania.

### Instalacje referencyjne

Przykładowe zakłady stosujące ultrafiltrację w celu odzyskiwania ścieków zawierających mieszanki powlekające i ponownego użycia pierwotnych pigmentów to: wytwórnia tektury Blendecques we Francji; wytwórnia tektury Assi Frövifors w Szwecji, wytwórnia tektury Cascades Djupafors w Szwecji, wytwórnia tektury Hansol Taejon w Korei Południowej; papiernia Yuen Foong Yu Fine Paper Mill na Tajwanie; papiernia Metsä-Serla Kirkniemi w Finlandii; papiernia Metsä-Serla Äänekoski w Finlandii; papiernia APP Pindo Deli (papiery bezdrzewne do drukowania i pisanie) w Indonezji; papiernia MD Papier Plattling w Niemczech, papiernia SCA Stockstadt (papiery bezdrzewne do drukowania i pisanie) w Niemczech; Papierfabrik Albrbruck w Niemczech; M-real Husum w Szwecji; wytwórnia tektury Zhuhai S.E.Z Hongta Renheng w Chinach; wytwórnia kartonu Sun Cartonboard w Chinach; Henan Pyuang w Chinach; papiernie Hokuetsu w Niigata w Japonii; Klabin S.A. Telemaco Borba w Brazylii; papiernia Stora Enso Suzhou w Chinach; papiernia Sun w Yanzhou, Tianzhang, w Chinach; UPM-Kymmene Changshu w Chinach; papiernia Jiangxi Chenming w Nanchin w Chinach; UPM-Kymmene, Rauma w Finlandii; Tullis Russell w Glenrothes w Szkocji; Shandong Bohui Paper Group w Chinach; Jilin Paper Co Ltd w Chinach; Cartiere Burgo Verzuolo we Włoszech; Metsä-Serla w Kangas w Finlandii; UPM-Kymmene w Kuusankoski w Finlandii; Komline-Sanderson w Peapack w Stanach Zjednoczonych.

Rozwiązanie w zakresie odzyskiwania składników mieszanki powlekającej polegające na „gromadzeniu – sortowaniu – zateżaniu – rozdrabnianiu – odwadnianiu” jest stosowane tylko w jednej papierni (Sappi Ehingen w Niemczech).

### Bibliografia

[ 99, Nygard i in. 1997 ], [ 123, Roitto i in. 1997 ], [ 141, Kuula i in. 2008 ], [ 142, C.Finke i in. 2009 ].

## 7.3.6 Wstępne oczyszczanie ścieków zawierających mieszanki powlekające

### Opis

Składniki mieszanki powlekającej obejmują kilka grup i rodzajów chemikaliów, wśród których dwa główne elementy to pigmenty i substancje wiążące.

Emisje mieszanek powlekających można podzielić na one na dwie główne rodzaje ścieków.

- Nerozcieńczony nadmiar mieszanki powlekającej (stężenie suchej substancji około 50-70%) z kuchni mieszanek powlekających i z powlekarki. W przypadku zmiany produkcji oraz podczas zrywów układ zasilający należy przemyć (dyspergator, kadzie, pompy, rurociągi, powlekarka). Ponadto, niekiedy wszystkie mieszanki powlekające mogą być w całości wykorzystane, zaś ich reszta musi zostać wymyta. Stężone ścieki można zbierać w zbiornikach lub ruchomych pojemnikach do zagospodarowania odpadów stałych.

- Rozcieńczone składniki mieszanki powlekającej obecne w ściekach z przemywania zbiorników, rurociągów itd.

Zawartość suchej substancji w rozcieńczonych ściekach zawierających mieszanek powlekającą na ogół wynosi 2-4%. W przypadku odprowadzania tych ścieków bezpośrednio do oczyszczalni ścieków trzeba będzie nagle usunąć z niej wysoki szczytowy ładunek zanieczyszczeń organicznych (wartości ChZT przekraczające 10 000 mg/l, sięgające aż 100 000 mg/l). Z tego powodu rozcieńczone przelewy gromadzi się w zbiornikach i je wstępnie oczyszcza przed odprowadzeniem do zewnętrznej oczyszczalni ścieków.

Jeśli ścieki z powlekania nie zostaną oczyszczone przed oczyszczaniem biologicznym, to mogą negatywnie wpłynąć na działanie oczyszczalni ścieków, powodując trudności w czasie wstępnego wytrącania i późniejszych fazach oczyszczania biologicznego.

Typowe wstępne oczyszczanie składa się z gromadzenia, wytrącania i odwadniania. Ścieki zawierające mieszanki powlekające oddziela się od innej wody produkcyjnej, gromadzi i kieruje do zbiornika wyrównawczego. Następnie ścieki sortuje się i przepompowuje do chemicznego wytrącania. W zespole intensywnego mieszania dodaje się flokulanty. Jako chemikalia strącające stosuje się siarczan glinu i polichlorki glinu. Wykorzystuje się polielektrolity jako środki pomocnicze dla flokulacji, które dozuje się do zbiorników flokulacyjnych. Poddane flokulacji ścieki przepływają do klarownika warstewkowego, w którym cząstki stałe z zawiesiny osadzają się na dnie klarownika, a klarowany przelew odprowadza się kanałem ściekowym do dalszego oczyszczania. Osad z dna klarownika gromadzi się w zbiorniku osadu i stamtąd jest przepompowywany do wirówki w celu odwodnienia. Odwodniony osad o stężeniu około 0 – 4 % jest wywożony jako odpady w celu odzysku lub składowania.

Przynajmniej w jednej papierni wytrącone mieszanki powlekające odwadnia się w wirówce i używa ponownie jako mieszanek powlekającą do wstępnego powlekania. Rozwiązanie jest wciąż jeszcze na etapie opracowywania.

### **Główne korzyści środowiskowe**

Do głównych osiągnięć należą korzyści w zakresie eksploatacji oczyszczalni ścieków. Zmniejszają się ładunki zawiesiny ogólnej i substancji organicznych trafiające do oczyszczalni. Można też ograniczyć przypadkowe przelewy (nagłe ładunki zawiesiny) w oczyszczalni. Można zmniejszyć zaburzenia w pracy wstępnego klarownika, ponieważ występuje mniej nagłych zakłóceń w osadzaniu się zawiesiny lub wzrostów momentu obciążeniowego mechanizmu napędu klarownika. Ograniczone jest ryzyko przeciążenia klarownika. Ograniczane też są zakłócenia stanu równowagi układu biologicznego, ponieważ substancja obojętna (np. cząstki pigmentu), obecna w ściekach z powlekania, nie jest przenoszona dalej i nie akumuluje się w aktywnej biomasy procesu oczyszczania biologicznego. Dlatego maleje ładunek zanieczyszczeń odprowadzany do środowiska. Klarowny filtrat z oczyszczania ścieków zawierających mieszanek powlekającą może być ponownie użyty w innym miejscu w papierni np. do rozcieńczania powlekanego lub nie powlekanego braku własnego. Jednakże, kontrolowane i zagęszczane są tylko strumienie ścieków, natomiast odpady pozostają. Z tego powodu za bardziej wskazany uznaje się proces odzysku i zawróceniu do procesu ścieków zawierających mieszanki powlekające (zob. punkt 7.3.5).

### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Proces ten od wielu lat stosuje się w papierniach w całej Europie. Jednakże, zaobserwowano pewne trudności w odwadnianiu wytrąconego osadu.

### **Oddziaływania na procesy i środowisko**

Oddzielenie ścieków zawierających mieszanki powlekające od biologicznego oczyszczania ścieków ma na ogół pozytywny wpływ na dalszą przeróbkę osadu biologicznego. Łatwiej jest termicznie przekształcić osad z głównej oczyszczalni ścieków papierni, ponieważ wstępne oczyszczanie ścieków z powlekania zmniejsza zawartość popiołów w głównych strumieniach osadu.

Flokulacja wymaga chemikaliów do flokulacji i chemikaliów regulujących pH, które powodują pewien wzrost zasolenia ścieków.

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Wstępne oczyszczanie ścieków z powlekania można zastosować zarówno w nowych, jak i w istniejących papierniach. Jednakże, w istniejących papierniach zbudowanie układu gromadzenia i zawracania ścieków może być bardziej skomplikowane i kosztowne. W nowych instalacjach bardziej wskazane jest odzyskiwanie mieszanek powlekających (zob. punkt 7.3.5).

### **Aspekty ekonomiczne**

Koszty inwestycyjne oddzielnego oczyszczania ścieków z powlekania poprzez flokulację wynoszą około 1,2-1,4 miliona euro dla produkcji 1000 ADt na dobę. Roczne koszty eksploatacji, bez kosztów składowania, wynoszą 75 000-150 000 euro.

### **Motywacja do wdrożenia**

Celem wprowadzenie tego rozwiązania jest uniknięcie trudności w zewnętrznej oczyszczalni ścieków w przypadku niezastosowania wstępnego oczyszczania. Wysoka zawartość zawiesiny ogólnej i skład chemiczny ścieków z powlekania mogą zakłócić działanie wstępnego klarownika i proces biologiczny oraz powodować problemy w termicznym przekształcaniu osadu.

### **Instalacje referencyjne**

Liczne zakłady w Europie Zachodniej (w Niemczech, Austrii, Francji, Szwecji i Finlandii).

### **Bibliografia**

[ 15, CEPI 1998 ].

## **7.3.7 Optymalne rozplanowanie i konstrukcja zbiorników**

### **Opis**

Emisje przypadkowe na ogół występują na skutek:

- zakłóceń w pracy maszyny papierniczej i zrywów wstęgi papieru;
- planowanych postojów konserwacyjnych remontowych i rozruchów oraz przerw, jakich wymaga zmiana produkcji rodzaju papieru;
- niewłaściwego zarządzania zbiornikami wody podsitowej lub kadziami braku własnego w części mokrej, kadziami braku własnego z części suszącej lub z powlekarzki poza maszyną papierniczą.

Środki zapobiegania emisjom przypadkowym z magazynowania i użycia chemikaliów omówiono w podpunkcie 2.9.2.3. Środki zapewniające płynny przebieg procesów i zmniejszające ładunki maksymalne omówiono w punkcie 2.9.10.

Najważniejszym środkiem ograniczającym emisje przypadkowe jest właściwe rozplanowanie i zarządzanie wieżą wody podsitowej i kadziami braku własnego. W przeciwnym razie wzrasta prawdopodobieństwo znaczących zrzutów wody i substancji stałej do kanalizacji. Zdolność do magazynowania wody podsitowej musi odpowiadać magazynowaniu braku własnego, tak żeby nie pojawiło się zapotrzebowanie na wodę świeżą podczas zrywów wstęgi lub wówczas, gdy brak własny jest zawracany do maszyny. W maszynach papierniczych wytwarzających papiery powlekane należy dokładnie kontrolować zawracanie do obiegu braku własnego, zbieranego z powlekarzki pracujących w ciągu maszyny lub poza nią, ponieważ udział braku własnego musi być niższy od pewnej wielkości granicznej, żeby zapewnić odpowiednią mieszaninę świeżej masy papierniczej i różnych braków własnych, unikając w ten sposób problemów w części mokrej maszyny papierniczej. Objętość magazynowa kadzi powlekanego braku własnego musi spełnić to wymaganie.

Należy uważnie regulować poziom w zbiorniku wody podsitowej na podstawie inwentaryzacji braku własnego i masy oraz planu produkcji, żeby zapobiec przelewom. Pracownicy papierni powinni być świadomi, jakie zdarzenia powodują przypadkowe emisje.

W papierniach, które często zmieniają rodzaj produkowanego papieru, kontrola zbiorników jest utrudniona, ponieważ zasoby masy często utrzymuje się na niskim poziomie, żeby ograniczyć do minimum straty, jakie powoduje przemywanie w trakcie zmian rodzaju produkowanego papieru. Z tego powodu należy także bardziej dokładnie kontrolować charakterystykę masy wprowadzanej do maszyny, żeby utrzymywać na niskim poziomie ilość braku własnego. W papierniach używających wielu maszyn papierniczych straty masy można zmniejszyć, jeśli brak własny można wykorzystać w innej maszynie.

Zaawansowane bezpośrednie monitorowanie wstęgi papieru i parametrów maszyny oraz automatyzacja procesu umożliwia bardziej dokładne sterowanie procesem i przyczynia się do zmniejszenia ilości zrywów wstęgi i zakłóceń pracy maszyny (zob. punkt 7.3.8). Zaawansowany układ regulacji i mieszanie na bieżąco mogą wyeliminować potrzebę wykorzystywania niektórych kadzi lub brakujących kadzi.

W przypadku przypadkowych przelewów zbiornik wyrównawczy (basen retencyjny) zapobiega nagłemu przeciążeniu oczyszczalni ścieków. Z tego zbiornika przelew można stopniowo, w sposób kontrolowany przenosić do oczyszczalni ścieków (zob. punkt 7.3.10). Oczyszczanie ścieków jest najbardziej newralgicznym punktem dla emisji przypadkowych.

W przypadku stale sprawnie działających oczyszczalni ścieków dobra komunikacja między pracownikami zespołów produkcyjnych i obsługą oczyszczalni ścieków stanowią warunek wstępny szybkich działań w razie przypadkowego przelewu.

### **Główne korzyści środowiskowe**

Rozwiązania zmniejszają częstość szczytowych emisji, pod względem natężenia przepływu lub stężenia zawiesiny cząstek stałych.

### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

W praktyce eksploatacyjnej wielu papierni często są dostępne wystarczająco duże wieże magazynowe wody podsitowej i braku własnego. Ilości tych ostatnich można zmniejszyć dzięki opartym na modelu metodom kontrolowania poziomu w zbiornikach i przepływów. Dynamiczne modelowanie przyniosło w wielu papierniach lepsze zrozumienie możliwości zaawansowanego sterowania działaniem maszyny.

### **Oddziaływania na procesy i środowisko**

Wprowadzenie sprawnego zarządzania wodą podsitową i magazynowaniem masy przynosi poprawę ekonomiki produkcji (płynności działania i wydajności maszyny). Duże zdolności do magazynowania wody podsitowej i braku własnego mogą powodować wzrost aktywności biologicznej w zbiornikach i kadziach, co może doprowadzić do niestabilnej pracy maszyny papierniczej i ostatecznie strat w produkcji. Dzięki zaawansowanym metodom kontroli procesu można by znacząco zmniejszyć magazynowane ilości.

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Środki ograniczania emisji przypadkowych mają podstawowe znaczenie dla maszyny papierniczej i mogą być stosowane w istniejących i nowych papierniach. Jednakże, w starszych papierniach mogą wystąpić problemy, jeśli nie ma w nich dość miejsca na nowe kadzie magazynowe wody lub masy.

### **Aspekty ekonomiczne**

Koszty inwestycyjne jednej dodatkowej wieży wody podsitowej o pojemności 3000 m<sup>3</sup> i jednej wieży niepowlekanego braku własnego o pojemności 2000 m<sup>3</sup> wyniosłyby około 1,0-1,2 mln euro. Gdyby była potrzebna druga wieża braku własnego dla braku powlekanego, to kosztowałyby około 0,4 - 0,5 mln euro, łącznie z niezbędnym wyposażeniem pomocniczym, rurociągami i zasilaniem. Koszty inwestycyjne odpowiadają dobowej produkcji papieru na poziomie 1000 ADt.

### **Motywacja do wdrożenia**

Po pierwsze, rozwiązania te mają zapobiegać dezorganizującym emisjom z maszyny papierniczej odprowadzanym do kanalizacji papierni i zapewniać bardziej stabilny ładunek zanieczyszczeń odprowadzanych do oczyszczalni ścieków. Po drugie, automatyzacja procesu, powiązana ze

kompleksowym inwentaryzowaniem wody podsitowej, masy papierniczej i braku własnego, zapewnia płynność działania maszyny papierniczej i produkcji.

#### **Instalacje referencyjne:**

Liczne papiernie w Europie.

### **7.3.8 Pomiary i automatyzacja**

#### **Opis**

Wysoce efektywne papiernictwo wymaga stabilności procesu produkcji i jednolitej jakości produktu. Cechy te mają istotne znaczenie dla produkcji niepowodującej nadmiernych oddziaływań na środowisko. Niestabilności w przygotowywaniu masy i w części mokrej powodują zrywy wstęgi i powodują zaburzenia w obiegach wodnych. Z tego powodu pomiary w ciągu produkcyjnym oraz dokładne sterowanie procesem mają istotne znaczenie dla skutecznego wyrobu papieru. Poniżej wymieniono główne obszary, w których pomiary i automatyzacja podnoszą zarówno jakość, jak i wydajność oraz ograniczają oddziaływania na środowisko.

- Działanie wylawiacza włókien: wyniki pomiarów stężenia zawiesiny ogólnej i mętności są ważnymi wskaźnikami wielkości szczytowych, jeśli celem działań jest zastosowanie możliwie jak największej ilości filtratu z wylawiacza włókien jako wody natryskowej w maszynie papierniczej. Pozwala to uniknąć niepotrzebnych strat włókna i zmniejsza ładunek zanieczyszczeń kierowanych do oczyszczalni ścieków. Pomiary i sterowanie stężeniem zasilania ułatwiają optymalizację działania filtra tarczowego.
- Komponowanie składu masy papierniczej: w czasie ustalania proporcji i łączenia składników gęstej masy ograniczanie różnic stężeń i jakości masy (np. pod względem odwadnialności, długości włókna, zawartości wypełniaczy) w celu uniknięcia wahań jakości produkowanego papieru.
- Rafinowanie: Strategia sterowania rafinowaniem wymaga co najmniej pomiarów przepływu oraz stężenia. Optymalne sterowanie rafinowaniem wymaga wykonania pomiarów jakości masy pod względem odwadnialność/odwadniania i długości włókna.
- Zarządzanie części mokrej: Informacje o całkowitej zawartości substancji stałych we wlewie maszyny i wodzie podsitowej oraz o poziomach stężenia wypełniacza dostarczają wczesnych sygnałów o wystąpieniu potencjalnych problemów w zakresie chemizmu części mokrej. W przypadku, gdy celem jest zatrzymanie jednolitych ilości włóknistej frakcji drobnej i wypełniacza we wstędze papieru, automatyczne sterowanie dozowaniem środków retencyjnych oparte jest na bezpośrednich pomiarach stężeń włókna i wypełniacza w krótkim obiegu wodnym. Zastosowanie sterowania stężeniem wody podsitowej znacząco poprawiło stabilność procesów przebiegających w części mokrej oraz zmniejszyło liczbę zrywów w tej części.
- Poza wahaniami stężenia w krótkim obiegu, zmienność ilości wprowadzanych substancji rozpuszczonych i koloidowych stanowi główne źródło problemów w zakresie płynności i optymalizacji działania maszyny papierniczej. Oprócz pomiarów pH, temperatury i przewodności, mierzone jest zapotrzebowanie kationowe dla wody podsitowej w celu kontrolowania szkodliwych substancji. Sterowanie retencją polega na kontrolowaniu flokulacji, podczas gdy ładunek stabilizuje się poprzez kontrolowanie koagulacji.

#### **Główne korzyści środowiskowe**

Wzrost wydajności oraz zmniejszenie liczby zrywów i strat na skutek odpowiednich pomiarów i automatyzacji mają pozytywne skutki dla środowiska (mniejszy poziom emisji ładunku na jednostkę wytworzonego produktu). Lepsze sterowanie procesem zapewnia zmniejszenie liczby zakłóceń w obiegach wodnych, zużycia energii i ilości odpadów. Trudno jest określić liczbowo osiągnięte korzyści środowiskowe, ponieważ zależą one od charakterystyki instalacji, poziomu jej wydajności przed usprawnieniami, rodzaju lub rodzajów wyrabianego papieru itd. Pomiary i automatyzacja usprawniają gospodarkę wodną oraz zmniejszają ładunki zanieczyszczeń odprowadzanych do oczyszczalni ścieków i straty materiałów.

#### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Pomiary i automatyzacja zostały zastosowane w wielu istniejących papierniach w celu zwiększenia bezproblemowości ich sprawności. Na ogół wprowadza się je i dalej rozwija w nowych papierniach.

### **Oddziaływania na procesy i środowisko**

Nie zgłoszono żadnych negatywnych oddziaływań na procesy i środowisko.

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Omawiane tutaj pomiary i automatyzację można zastosować zarówno w małych, jak i dużych, nowych, jak i istniejących papierniach. Największe korzyści uzyskuje się podczas wyrobu wysokiej jakości produktów finalnych.

### **Aspekty ekonomiczne**

Wielimowanie zrywów papieru zwiększa efektywny czas pracy maszyny i w efekcie podnosi wydajność produkcji w ciągu doby. Oszczędza się energię, np. wykorzystywaną do ogrzewania cylindrów suszących i napędu pomp, która jest marnotrawiona w czasie przestojów.

Wysoka i jednorodna retencja również oznacza oszczędności w oczyszczalni ścieków. Nie musi ona mieć nadmiernej wielkości w celu uwzględnienia ilości szczytowych, jeśli bardziej ustabilizowana retencja zapewnia bardziej równomierny ładunek ścieków.

Na tle tych oszczędności należy wziąć pod uwagę koszty inwestycyjne i eksploatacyjne wyposażenia. Czas zwrotu nakładów inwestycyjnych związanych z wdrożeniem pomiarów i automatyzacji jest na ogół krótszy od jednego roku. Po odpowiednim przeszkoleniu pracownicy papierni mogą obsługiwać dane urządzenie, a elektrycy i specjaliści z zakresu oprzyrządowania mogą wykonać niezbędne prace konserwacyjne.

### **Motywacja do wdrożenia**

Pomiary i automatyzacja są stosowane przede wszystkim ze względów ekonomicznych oraz w celu osiągnięcia wyższej jakości papieru. Zapewniają one oszczędności czasu w produkcji papieru (np. umożliwiają szybsze zmiany rodzaju produkowanego papieru, szybsze rozruchy, szybszy powrót po zrywach do normalnej produkcji), niższe koszty produkcji (np. optymalizację składu masy papierniczej, efektywne stosowanie dodatków, zmniejszone zużycie energii) oraz możliwie jak najwyższą jakość papieru (np. dzięki mniejszym wahaniom właściwości papieru w kierunku poprzecznym bądź w kierunku podłużnym oraz optymalizacji odwadniania i formowania itd.). Optymalne dla danej maszyny odwadnianie osiąga się dzięki właściwemu przygotowaniu masy oraz zarządzaniu częścią moką (np. sterowaniu pracą rafinerów i regulacji dozowania chemikaliów). Ponadto, łatwiej jest produkować szerszy asortyment papieru.

### **Instalacje referencyjne**

Liczne papiernie w Europie.

### **Bibliografia**

[ 96, Nokelainen i in. 1995 ], [ 97, Nokelainen i in. 1997 ].

## **7.3.9 Użycie chemikaliów**

### **Opis**

Dodatki chemiczne zwiększają ładunek zanieczyszczeń ścieków i z tego powodu użycie chemikaliów zmniejszające emisje do wód stanowi technikę, którą należy wziąć pod uwagę. Można podać dwa przykłady użycia takich technik: ograniczenie do minimum emisji dodatków chemicznych (np. środków tłuszczoszczelnych/wodoodpornych) zawierających związki per- lub polifluorowane (PFC) lub przyczyniających się do ich powstania oraz przejście na środki pomocnicze dla produktu o niskiej zawartości AOX.

### **Główne korzyści środowiskowe**

Zmniejszenie emisji do wód.

### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Ograniczenie do minimum emisji dodatków chemicznych (np. środków tłuszczoszczelnych/wodoodpornych) zawierających związki per- lub polifluorowane (PFC) ma zastosowanie tylko w zakładach wytwarzających papier o właściwościach tłuszczoszczelnych/hydrofobowych.

Przejście na środki pomocnicze dla produktu o niskiej zawartości AOX ma zastosowanie tylko w zakładach wytwarzających rodzaje papieru o wysokiej wodotrwałości.

### **Motywacja do wdrożenia**

Zmniejszenie emisji do wód.

## **7.3.10 Instalacja zbiornika wyrównawczego i wstępne oczyszczanie ścieków**

### **Opis**

W większości papierni rozwiązania tego nie uznaje się za osobną technikę, ale za oczyszczanie wstępne. Oczyszczanie wstępne zwykle odbywa się przed oczyszczaniem biologicznym w celu ułatwienia i usprawnienia procesu oczyszczania ścieków. W niektórych specjalnych przypadkach, kiedy ładunek organiczny jest zbyt niski, żeby zapewnić skuteczne oczyszczanie biologiczne, oczyszczanie wstępne można stosować jako jedyny sposób oczyszczania ścieków.

Poniżej przedstawiono najważniejsze metody.

- Sortowanie wstępne przeprowadza się w celu usunięcia większych przedmiotów i piasku, które mogą spowodować uszkodzenie wyposażenia.
- Wyrównanie oraz odbiór przelewów mogą być wymagane w przypadku ścieków o dużych wahanach przepływu i zawartości zanieczyszczeń. Wahania te mogą zakłócić funkcjonowanie późniejszych procesów oczyszczania, szczególnie procesów oczyszczania biologicznego. Czterogodzinny czas retencji w kadzi wyrównawczej można przyjąć jako wskaźnik odpowiedniej konstrukcji. Jednakże, odpowiedni czas retencji w zbiorniku wyrównawczym zależy od wahań jakości wody.
- Oczyszczanie wstępne lub mechaniczne. Sedymentacja ma na celu usunięcie zawiesiny cząstek stałych, takich jak włókna, cząsteczki kory i cząsteczki nieorganiczne (wypełniacze, cząsteczki wapna itp.). Wymagana jest pewna minimalna wielkość cząstek. Z praktycznego punktu widzenia mniejsze cząsteczki osadzają się zbyt wolno lub nie osadzają się wcale. Jako pierwszy etap przed klarownikiem również stosuje się mikrofiltry, umożliwiające odzyskiwanie części włókien. Mikroflotacja może być także stosowana w celu wstępnego klarowania. Niektóre mniejsze zakłady stosują oczyszczanie wstępne poprzez filtrację jako jedyną metodę oczyszczania ścieków.

Cząsteczki osadzające się na dnie wstępnego osadnika tworzą osad, który trzeba usuwać. Osad usuwa się przez pompowanie z klarowników radialnych poprzedzone zgarnianiem szlamu z dna. Osad ma zwykle niską zawartość suchej substancji, w przybliżeniu 1-2%, i należy go odwodnić przed końcowym unieszkodliwieniem.

### **Główne korzyści środowiskowe**

Zmniejszenie emisji zawiesiny ogólnej, składającej się z substancji nieorganicznych i organicznych.

### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Wynik oczyszczania wstępnego zależy od charakterystyki ścieków oraz od stopnia wewnętrznego odzyskiwania włókien w wytwórni masy lub papierni. Dla wszystkich zawiesin cząstek stałych (TSS) stopień usuwania może mieścić się w przedziale 60-90%. Dla osadzających się cząstek stałych stopień usuwania będzie zwykle wyższy – w przybliżeniu 90- 95%. Stężenie TSS po wstępnej sedymentacji

może mieścić się w przedziale 30-200 mg/m<sup>3</sup>. Wyższe stężenia zwykle występują po oczyszczaniu II stopnia.

### **Oddziaływania na procesy i środowisko**

W oczyszczalni ścieków powstaje osad, który po odwadnianiu należy poddać dalszej obróbce. Istnieje wiele różnych sposobów dalszej obróbki osadu, które w pewnym stopniu zależą od specyficznych warunków w danym zakładzie (zob. punkty 7.3.13 i 2.9.8). Jednym ze sposobów jest termiczne przekształcanie.

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Proces można stosować zarówno w istniejących, jak i nowych papierniach. Przed zastosowaniem procesu oczyszczania wstępnego wskazane jest podjęcie pewnych działań mających na celu ograniczenie zużycia wody i zmniejszenie obciążenia hydraulicznego, a przez to kosztów inwestycyjnych związanych z zainstalowaniem klarowników.

### **Aspekty ekonomiczne**

Koszty inwestycyjne instalacji oczyszczania wstępnego dla nowej zintegrowanej papierni o wydajności 1000 ADt na dobę, obejmującej pompowanie, wstępny klarownik, odwadnianie osadu oraz system dozowania chemikaliów, wynoszą 3,5 – 4,5 mln euro. Roczne koszty eksploatacji w znacznym stopniu zależą od wymaganego zużycia chemikaliów (jeśli mają zastosowanie) i wynoszą 0,4 – 0,6 mln euro.

### **Motywacja do wdrożenia**

Oczyszczanie wstępne jest stosowane w celu zmniejszenia ładunku zawiesiny ogólnej odprowadzanej do odbiorników ścieków lub oczyszczalni biologicznej.

### **Instalacje referencyjne**

Liczne zakłady w Europie.

## **7.3.11 Tlenowe biologiczne oczyszczanie ścieków**

### **Opis**

Zob. podpunkt 2.9.11.2.1.

### **Główne korzyści środowiskowe**

Zmniejszenie emisji do wód substancji organicznych (ChZT, BZT) AOX, fosforu, azotu i środków chelatujących.

### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Przedstawione emisje ładunków występują w wyniku łącznego zastosowania rozwiązań zintegrowanych z procesem (zob. punkty 7.3.1 – 7.3.10 i oczyszczanie wstępne) oraz oczyszczania biologicznego.

W przypadku oczyszczania biologicznego ścieków z papierni można zwykle osiągnąć następującą sprawność redukcji ładunku zanieczyszczeń: osad czynny 85 – 96% dla BZT<sub>5</sub> oraz 75 – 90% dla ChZT. Połączone systemy, jak np. osadu czynnego, na przykład, z reaktorami o ruchomym złożu lub złożami biologicznymi zraszanymi często osiągają najwyższą sprawność usuwania zanieczyszczeń.

Określoną powyżej sprawność usuwania zanieczyszczeń osiąga się dla instalacji o niskim ładunku zanieczyszczeń z osadem czynnym przy stosunku pożywki do masy mieszczonego się w przedziale między 0,1 i 0,2 kg BZT<sub>5</sub>/kg zawiesiny ogólnej na dobę. W kilku przypadkach zgłoszono również dobrą sprawność usuwania zanieczyszczeń w instalacjach o dużym ładunku:

- złożo biologiczne zraszane: do 90% dla BZT<sub>5</sub> i 80% dla ChZT (Źródło: praktyka np. w papierni Crown Van Gelder, 2011 r.);
- reaktor ze złożem biologicznym (MBBR)/reaktor z nośnikiem: 85 – 95+ % BZT<sub>5</sub>; 80 – 90% CZT;



- zanurzony filtr biologiczny: 60 – 80% dla BZT5; 50 – 60% dla ChZT.

Sprawność usuwania zanieczyszczeń również zależy w pewnym stopniu od stężenia i cech wprowadzanych zanieczyszczeń. Stężenia substancji organicznych w ściekach wprowadzanych do oczyszczalni zależą od użytych surowców, rodzaju produkowanego papieru, jednostkowego zużycia wody, użytych dodatków (np. większa ilość alkoholu poliwinylowego zmniejsza sprawność usuwania zanieczyszczeń).

Ścieki z papierni po oczyszczeniu osiągają wartości w zakresie <50 – 140 mg ChZT/l, w zależności od stopnia zamknięcia obiegów wodnych. Zwykle osiągalne są poziomy BZT5 poniżej 25 mg BZT5/l i można osiągnąć wartość nawet 5 mg/l (bliską granicy wykrywalności). Stosunek ChZT/BZT w filtrowanych próbkach ścieków z papierni po oczyszczaniu biologicznym zwykle wynosi 4 i 7 lub 8 (do 10). Odpowiednia konstrukcja i konserwacja oczyszczalni to podstawowy warunek dobrego funkcjonowania instalacji biologicznego oczyszczania ścieków.

W tabeli 7.26 przedstawiono wielkości emisji do wód z papierni niezintegrowanych osiągnięte po oczyszczaniu tlenowym, według rodzajów papieru, składu masy włóknistej i rodzaju zastosowanego oczyszczania ścieków [ 244, Pulp and Paper TWG 2007 ], [ 248, Hamm 2007 ], [ 138, PP TWG 2009 ].

Tabela 7. 26 Średnie roczne emisje z niezintegrowanych papierni po oczyszczeniu biologicznym.

Przykłady niezintegrowanych papierni i rodzaj masy włóknistej	Zgłoszone osiągnięte emisje po oczyszczeniu tlenowym							Przeptyw	Produkcja (t) w 2006 lub 2008 r. oraz rodzaj oczyszczania ścieków
	ChZT	BZT <sub>5</sub>	Fosfor ogólny	Azot ogólny	AOX	Zawiesina ogólna			
<b>Papiernie wytwarzające papiery niepowlekane lub papiernie wytwarzające papiery powlekane oraz niepowlekane (Niemcy (3), Francja (1), Polska (1))</b>									
Papiernia nr 1 (100% masa celulozowa)	70 mg/l	14 mg/l	1,0 mg/l	2,0 mg/l	0,17 mg/l	24 mg/l	3,2	1.19 mln. papiery powlekane/niepowlekane bezdrzewne	
	0,23 kg/t	0,04 kg/t	0,003 kg/t	0,007 kg/t	0,6 g/t	0,08 kg/t		Złoże biol. zraszane + osad cz. (1 stopień)	
Papiernia nr 2 (100% masa celulozowa)	50 mg/l	17 mg/l	0,8 mg/l	2,4 mg/l	0,04 mg/l	19 mg/l	15,6	347 000, papiery powlekane/niepow.	
	0,78 kg/t	0,27 kg/t	0,010 kg/t	0,040 kg/t	0,5 g/t	0,3 kg/t		Osad czynny (1 stopień)	
Papiernia nr 3 (95 % masa celulozowa, 5% masa odbarwiona)	17 mg/l	3 mg/l	0,13 mg/l	1,5 mg/l	0,04 mg/l	3,6 mg/l	10,8	287 000, powlekane/niepow.	
	0,18 kg/t	0,03 kg/t	0,0014 kg/t	0,016 kg/t	0,4 g/t	0,04 kg/t		Osad czynny (1 stopień)	
Papiernia nr 4 (100% masa celulozowa)	50 mg/l	12 mg/l	0,9 mg/l	6,5 mg/l	0,19 mg/l	mg/l	4,6	123 635, niepow.	
	0,23 kg/t	0,056 kg/t	0,004 kg/t	0,03 kg/t	0,9 g/t	0,036 kg/t		Osad czynny (1 stopień)	
Papiernia nr 5 (93% chemical pulp, 7% masa CTMP)	83 mg/l	13 mg/l	0,45 mg/l	6 mg/l	ND	20 mg/l	8,7	262 758, niepow. papier offsetowy	
	0,72 kg/t	0,11 kg/t	0,004 kg/t	0,05 kg/t	ND	0,16 kg/t		Reaktor o ruchomym złożu + osad cz. (1 stopień)	
<b>Papiernie wytwarzające papiery powlekane (Francja (1), Szwecja (1))</b>									
Papiernia nr 1 (100% masa celulozowa)	119 mg/l	9 mg/l	1,0 mg/l	10,1 mg/l	0,2 mg/l	26	6,9	108 913, papiery powlekane	
	0,82 kg/t	0,063 kg/t	0,007 kg/t	0,07 mg/l	1,4 g/t	0,18 kg/t		Osad czynny (1 stopień)	
Arctic Paper Grycksbo, Szwecja	71 mg/l	ND	0,06 mg/l	0,6 mg/l	0,1 mg/l	16 mg/l	7	265 000, papiery powlekane	
	0,5 kg/t		0,4 g/t	0,004 kg/t	1,0 g/t	0,11 kg/t		MBBR + oczyszczanie chemiczne (flotacja)	
<b>Papiernie wytwarzające bibułki tissue (Francja (1), W. Brytania (2), Polska (1), Niemcy (1), Włochy (1))</b>									
Papiernia nr 1 (100% masa celulozowa)	65 mg/l	16 mg/l	0 (¹)	16 mg/l	ND	0 (¹)	6,2	64 496, bibułki tissue	
	0,4 kg/t	0,1 kg/t	0 kg/t (¹)	0,1	ND	0 (¹)		Reaktor ze stałą warstwą biol. + filtr biol.	
Papiernia nr 2 (100% masa celulozowa)	138 mg/l	13 mg/l	0,08 mg/l	1,8 mg/l	0,3 mg/l	8 mg/l	4	60 000, bibułki tissue	
	0,55 kg/t	0,05 kg/t	0,0003 kg/t	0,007 kg/t	1 g/t	0,03 kg/t		Reaktor o ruchomym złożu	
Papiernia nr 3 (77% masa celulozowa; 23 % masa odbarwiona)	27 mg/l	7 mg/l	1,3 mg/l	0,9 mg/l	ND	11 mg/l	24	120 000, bibułki tissue	
	0,71 kg/t	0,19 kg/t	0,01 kg/t	0,045 kg/t	ND	0,28 kg/t		Osad czynny (1 stopień)	
Papiernia nr 5 (100 % masa celulozowa)	114 mg/l	10 mg/l	0,6 mg/l	1,4 mg/l	0,2 mg/l	6 mg/l	5	60 000, bibułki tissue	
	0,57 kg/t	0,05 kg/t	0,003 kg/t	0,007 kg/t	1 g/t	0,03 kg/t		Reaktor o ruchomym złożu	
Papiernia nr 6 (100 % masa celulozowa)	95 mg/l	2 mg/l	0,35 mg/l	5,2 mg/l	0,08 mg/l	12 mg/l	5,8	60 000, bibułki tissue	
	0,55 kg/t	0,01 kg/t	0,002 kg/t	0,03 kg/t	0,5 g/t	0,07 kg/t		BD (oczyszczanie biologiczne)	
(¹) Chociaż nie wydaje się to poprawne, papiernia podała wielkość „0” (dane odnoszą się do 2008 r.).									
Uwaga: BD = Nie podano danych.									
Źródła: Kwestionariusze EIPPCB, 2007 i 2009 r., [ 248, Hamm 2007 ], szwedzkie dane statystyczne, 2007 r.									

W przypadku, gdy mniejsze papiernie wytwarzają standardowe rodzaje papieru, mogą one osiągać emisje, które są całkiem zbliżone do emisji z dużych papierni (np. wykorzystujące włókna wtórne do wyrobu papierów do zastosowań poligraficznych z odbarwianiem i tekturę na pudełka składane). Jednakże, wiele mniejszych papierni wytwarza papiery specjalne dostosowane do indywidualnych

wymagań lub papiery na rynki niszowe (np. bibułki papierosowe, papier filtracyjny, papiery ozdobne). W przypadku tych papierni od innych zakładów, wytwarzających standardowe rodzaje papieru, odróżnia je głównie jednostkowy przepływ ścieków (jednostkowy przepływ ścieków w papierniach produkujących papiery specjalne może wahać się między 13 m<sup>3</sup>/t i 200 m<sup>3</sup>/t). W wielu przypadkach ładunki odpowiadające różnym parametrom po oczyszczeniu mieszczą się w tym samym przedziale co standardowe rodzaje papieru, a w niektórych przypadkach są nieco wyższe niż dla standardowych rodzajów papierów bezdrzewnych. W tabeli 7.27 przedstawiono średnie roczne emisje ładunków z niektórych przykładowych papierni wytwarzających papiery specjalne po biologicznym oczyszczeniu ścieków [ 138, PP TWG 2009 ], [ 248, Hamm 2007 ]. Inne dane dotyczące papierni produkujących papiery specjalne przedstawiono w podpunkcie 7.2.2.5.

**Tabela 7. 27 Średnie roczne emisje ścieków z papierni niezintegrowanych wytwarzających papiery specjalne po oczyszczeniu biologicznym.**

Przykłady niezintegrowanych wytwarzających papiery specjalne	Zgłoszone osiągnięte emisje po oczyszczeniu tlenowym								Produkcja (t) w 2006 lub 2008 r. oraz rodzaj oczyszczania ścieków
	Jednostka	ChZT	BZT <sub>5</sub>	Fosfor ogólny	Azot ogólny	AOX	Zawiesina ogólna	Przepływ (m <sup>3</sup> /t)	
<b>Papiernie wytwarzające papiery specjalne</b>									
Crown Van Gelder, Holandia; 100% masa celulozowa	mg/l	87	23	1,2	5,1	0,2	16	13,0	212 500, papiery specjalne do zastosowań poligraficznych i przemysłowych
	kg/t	1,13	0,30	0,015	0,066	0,002	0,20		Złoże biol. zraszane (2 stopnie)
Papiernia nr 1	mg/l	24	ND	0,22	2,91	0	8	17,4	36 700, powlekane papiery termiczne i do drukarek atramentowych
	kg/t	0,42	ND	0,004	0,051	0	0,131		Tlenowy reaktor o ruchomym złożu
Papiernia nr 5	mg/l	17	BD	0,16	2,83	0,04	10	198,0	13 000, powlekane torebki do herbaty, opakowania do napojów itd.
	kg/t	3,36	BD	0,030	0,560	0,008	1,980		Filtr biologiczny
Papiernia nr 8	mg/l	118	BD	0,73	0,32	BD	25	52,4	Papiery do modelowania, wielokrotnie powlekane papiery bezdrzewne
	kg/t	5,16	BD	0,040	0,020	BD	1,300		Instalacja z osadem cz. (1 stopień)
Papiernia nr 15	mg/l	34	BD	0,26	1,28	0,14	BD	13,2	130 000, powlekane bezkalkowe papiery do kopiowania, ozdobne, wysokogatunkowe techniczne
	kg/t	0,31	BD	0,003	0,013	0,002	BD		Reaktor o ruchomym złożu
Prado-Cartolinas da Lousã, Portugalia, 100% CP	mg/l	113	BD	1,25	2,8	0,05	31	16,5	24 310, Białe i barwne brystol
	kg/t	2,03	BD	0,020	0,040	BD	0,55		Reaktor o stałej warstwie biol.+ O <sub>3</sub>
Pucara Roigheim, Niemcy, 100% CP	mg/l	48	7	0,06	3,6	BD	4	35	14 500, papiery izolacyjne
	kg/t	1,7	0,2	0,002	0,124	BD	0,14		Flotacja/ filtracja
Julius Glatz Neidenfels, Niemcy, 100% CP	mg/l	17	4	0,26	0,77	0,02	3	74	48 000, bibułki papierosowe, bezdrzewne do drukowania i pisanie
	kg/t	1,2	0,3	0,02	0,056	0,002	0,2		Filtr biologiczny
Munksjö Paper Aalen, Niemcy, 100% CP	mg/l	21	4	0,10	6,0	0,20	2	47	75 000, papiery ozdobne
	kg/t	1,0	0,2	0,005	0,3	0,01	0,1		Filtr biologiczny

Cordier Bad Dürkheim, Niemcy, 35% szmaty bawełniane (CO), 65 % linters bawełniany	mg/l	68	6	0,02	1	0,36	BD	20	13 440, papiery na zamówienie do zastosowań poligraficznych i technicznych
	kg/t	1,4	0,12	0,0004	0,019	0,007	BD		Osad czynny, sedimentacja/flotacja
Uwaga: CP = zakupiona masa celulozowa; BD = Nie podano danych. Źródła: Kwestionariusze EIPPCB, [ 248, Hamm 2007 ], dane dot. papierni Crown Van Gelder otrzymane za pośrednictwem uwag TWG dotyczących pierwszego projektu PP BREF z 2011 r.									

Część dodanych biogenów będzie na ogół odprowadzana razem z oczyszczonymi ściekami. Jeśli dokonano właściwej optymalizacji system, osiągalna jest emisja biogenów na poziomie 1 mg fosforu ogólnego na litr i poniżej 10 mg azotu nieorganicznego na litr (jako średnia dobowa).

Podczas oczyszczania ścieków metodą tlenową wytwarzana jest nadmierna ilość osadu, który musi być zagęszczony, odwodniony i poddany dalszej obróbce. Typowa wielkość dla instalacji z osadem czynnym o niskim ładunku zanieczyszczeń wynosi od 0,3 do 0,4 kg nadmiaru osadu/kg BZT<sub>5</sub> eliminowanego (jako sucha substancja). Niekiedy można również zaobserwować nieco wyższe wielkości. Oczyszczanie przy niższym stężeniu BZT w zanurzonych filtrach biologicznych powoduje wytwarzanie mniejszej ilości nadmiaru osadu: ok. 0,2 kg nadmiaru osadu/kg BZT<sub>5</sub> eliminowanego (jako sucha substancja). W oczyszczalniach o wysokim obciążeniu powstaje wyższa jednostkowa ilość osadu nadmiernego.

Do napowietrzania aktywnej biomasy i napędu pomp potrzebna jest energia elektryczna. Jednostkowe zużycie energii podczas rozkładu/eliminacji 1 kg BZT<sub>5</sub> wynosi 0,3 – 3 kWh. Zależy ono głównie od rodzaju i konstrukcji zastosowanego układu napowietrzania, prawidłowego określenia wielkości instalacji i ładunku, dla jakiego zaprojektowany został układ osadu czynnego:

- układy osadu czynnego o wysokim obciążeniu wymagają od około 0,3 do 0,5 kg O<sub>2</sub>/kg BZT<sub>5</sub> eliminowanego;
- układy osadu czynnego o niskim obciążeniu wymagają od 1,5 do 2 kg O<sub>2</sub>/kg BZT<sub>5</sub> eliminowanego.

W konsekwencji zużycie energii w układach z osadem czynnym o wysokim obciążeniu wynosi ok. 0,5 kWh/kg BZT<sub>5</sub> eliminowanego, zaś w układach z osadem czynnym o niskim obciążeniu mieści się w przedziale od 1,5 do 2 kWh/kg BZT<sub>5</sub> eliminowanego. Jeśli układ o niskim obciążeniu jest dobrze zaprojektowany, to można osiągnąć wielkość < 1 kWh/kg BZT<sub>5</sub> eliminowanego [ 91, Möbius 1997]. Taką wielkość można również stosować dla porównania oczekiwanych kosztów eksploatacji różnych układów oczyszczania ścieków.

### Oddziaływania na procesy i środowisko

Biologiczne oczyszczanie ścieków metodą tlenową wymaga energii (np. do napowietrzaczy i pomp) i wytwarza osad, który zwykle wymaga obróbki przez wykorzystaniem lub unieszkodliwieniem.

Szczególnie w okresie letnim oczyszczalnia ścieków z papierni może emitować uciążliwe odory. Przy odpowiednim zaprojektowaniu i sterowaniu procesem oczyszczania ścieków można uniknąć uciążliwych odorów (zob. punkt 2.9.14).

### Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki

Nie ma zastosowania w zakładach, w których biologiczny ładunek zanieczyszczeń w ściekach po oczyszczaniu wstępnym jest bardzo niski, i z tego powodu oczyszczanie biologiczne nie jest uzasadnione pod względem technicznym lub ekonomicznym.

### Aspekty ekonomiczne

Podane poniżej dane dotyczące kosztów inwestycyjnych biologicznych oczyszczalni ścieków mogą tylko w przybliżeniu określić skalę tych kosztów. Porównując koszty inwestycyjne w oparciu o ładunek

zanieczyszczeń (np. kg ChZT), należy pamiętać, że oczyszczalnie ścieków są często przewymiarowane z powodu przewidywanego wzrostu produkcji w przyszłości.

Niemniej jednak, poniżej zestawiono szereg przykładów oczyszczalni zainstalowanych w papierniach francuskich:

- metoda osadu czynnego w papierni produkującej papier drukowy (produkcja 200 t papieru na dobę): 2 mln euro;
- metoda osadu czynnego w papierni produkującej papier drukowy (produkcja 300 t papieru na dobę): 3 mln euro;
- biofiltracja dla papierni produkującej papiery specjalne i techniczne (produkcja 130 t papieru na dobę): 1,5 mln euro;
- metoda osadu czynnego w papierni produkującej papier drukowy (produkcja 260 t papieru na dobę, co odpowiada 2,5 t ChZT na dobę): 2 mln euro
- metoda osadu czynnego w papierni produkującej tekturę falistą (produkcja 100 t papieru na dobę): 1,5 mln euro [wszystkie dane pochodzą z CTP Grenoble].

Koszty inwestycyjne można podsumować w sposób następujący:

- oczyszczanie ścieków metodą osadu czynnego: 300 – 600 euro/kg ChZT/dobę;
- biofiltracja: 500 euro/kg ChZT/dobę.

Koszty inwestycyjne zależą przede wszystkim od dobowego ładunku zanieczyszczeń, jaki ma być poddany procesowi oczyszczania.

### Motywacja do wdrożenia

Wiele państw członkowskich określiło wymagania dla ścieków z papierni, według których oczyszczanie biologiczne zostało uznane za najlepszą dostępną technikę BAT na poziomie sektora. W rezultacie wiele papierni w Europie zbudowało biologiczne oczyszczalnie ścieków lub inne instalacje do oczyszczania ścieków o porównywalnej sprawności.

### Instalacje referencyjne

W papierniach europejskich działa wiele oczyszczalni ścieków stosujących metodę tlenową.

### Bibliografia

[ 91, Möbius 1997 ], [ Dane dot. kosztów z CTP w Grenoble, 1999 ], [ 113, PTS 1998 ], [ 138, PP TWG 2009 ], [ 244, Pulp and Paper TWG 2007 ], [ 248, Hamm 2007 ].

## 7.3.12 III stopień oczyszczania – strącanie chemiczne

### Opis

Zob. podpunkt 2.9.11.3.1.

### Główne korzyści środowiskowe

Zmniejszenie emisji fosforu i zawiesiny ogólnej oraz częściowo substancji organicznych (zawiesin i związków koloidalnych).

### Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

W tabeli 7.28 podano średnie roczne wielkości dla zakładów szwedzkich, w których strącanie chemiczne jest stosowane łącznie z oczyszczaniem biologicznym. Różnego rodzaju szwedzkie papiernie i wytwornie masy stosują wytrącanie chemiczne: są to papiernie niezintegrowane (wytwarzające papiery powlekane, bibułki tissue), zintegrowane zakłady przetwarzające włókna wtórne, wytwarzające papier gazetowy, wytwornie masy CTMP lub zintegrowane zakłady wytwarzające masę celulozową (zob. podpunkt 3.3.1.14). W tabeli 7.28 niekoniecznie przedstawiono zakłady stosujące wszystkie dotyczące wody techniki BAT, a raczej poziomy emisji osiągnięte przy użyciu wytrącania chemicznego w odniesieniu do przedmiotowych parametrów, tj. zawiesiny ogólnej, azotu i fosforu. Ten rodzaj oczyszczania w mniejszym stopniu

wpływa na ładunek ChZT.

Tabela 7. 28 Efektywność strącania chemicznego/flokulacji jako odrębnej metody lub III stopnia oczyszczania ścieków z papierni.

Zakład, rodzaj papieru, proces wyrobu masy	Przepływ ścieków m <sup>3</sup> /t	ChZT po oczyszczeniu <sup>(1)</sup>		Zawiesina ogólna <sup>(1)</sup>		Fosfor ogólny <sup>(1)</sup>		Azot ogólny <sup>(1)</sup>	
		kg/t	mg/l <sup>(2)</sup>	kg/t	mg/l <sup>(2)</sup>	kg/t	mg/l <sup>(2)</sup>	kg/t	mg/l <sup>(2)</sup>
Munkedal, zakupiona masa celulozowa	3	0,5	166	0,2	66	2,1	0,7	35	12
Nyboholm, bibułki tissue, zakupiona masa celulozowa	13	2,2	170	0,3	23	4	0,3	33	2,5
Grycksbo, papiery powlekane, zakupiona masa celulozowa	7	0,5	71	0,11	16	0,4	0,06	4	0,6
Hallsta, papier gazetowy, masa TMP, ścier, włókna wtórne odbarwione	12	5,3	441	0,4	33	3	0,25	48	4
Ortviken, papier gazetowy, masa TMP	20	3,8	190	0,2	10	4	0,2	79	4
Braviken, papier gazetowy, masa TMP, włókna wtórne odbarwione	15	2,4	160	0,4	27	5	0,33	75	5
Inlands, włókna wtórne nieodbarwione	24	4,9	204	0,7	30	13	0,5	82	3,4
Katrinefors, bibułki tissue, włókna wtórne odbarwione	51	3,4	66	0,5	10	6	0,12	175	3,4
Edet, bibułki tissue, włókna wtórne odbarwione	37	4,7	127	0,78	21	10	0,3	141	3,8
Fors, masa CTMP, papier do opakowań	27	6	222	0,4	15	3	0,1	57	2,1

<sup>(1)</sup> Poziomy emisji odnoszą się do ilości wyprodukowanego papieru (a nie do wytworzonej masy).  
<sup>(2)</sup> Stężenia obliczone ze zgłoszonego rocznego przepływu i ładunku ścieków.  
*Źródło:* Szwedzka Federacja Przemysłu Leśnego i szwedzkie dane statystyczne z 2007 r.

Osiągnięto wskaźniki redukcji ma poziomie około 97-99% dla zawiesiny ogólnej i 70% dla ChZT dla ścieków surowych (przed jakimkolwiek oczyszczeniem, tj. przed wstępnym osadnikiem). Redukcja ChZT wynika głównie z ograniczenia zawiesiny ogólnej. Tylko nieznacznie (o około 10%) zmniejszono rozpuszczalną część ChZT (i BZT). Redukcję rozpuszczalnych związków wyrażonych jako ChZT i BZT może zapewnić oczyszczanie biologiczne (zob. punkt 7.3.11).

Stosunek ChZT/BZT o wartości około 3 po chemicznym strącaniu pokazuje, że znaczna część usuniętych ChZT zawiera substancje mniej podatne na rozkład biologiczny i dlatego potencjalnie bardziej szkodliwe. Wskazuje również, że ścieki nadają się do dalszego oczyszczania biologicznego.

Ilość wytworzonego osadu mieści się w przedziale 3 – 6 kg/m<sup>3</sup>, w tym 60 – 80% wody (po prasach lub wirówkach zawartość suchej substancji wynosi około 20 – 40%).

Koszt chemikaliów jest znaczny, a oczyszczanie jest selektywne; substancje obojętne nie są wychwytywane tak skutecznie jak dysocjowane jony lub cząstki koloidalne i zawiesiny.

### **Oddziaływania na procesy i środowisko**

W wyniku strącania zawiesiny ogólnej, biogenów i w mniejszym stopniu substancji organicznych za pomocą chemikaliów nieorganicznych powstaje duża ilość trudnego do odwadniania osadu, który często wywozi się na składowisko. Stosowanie środków strącających powoduje wzrost zawartości soli (chlorków lub siarczanów) w ściekach. Ilość użytych soli metali zwykle mieści się w przedziale od 200 do 400 g/m<sup>3</sup>.

Oczyszczanie wymaga zużycia pewnej ilości energii przez pompy i napędy.

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Proces można stosować zarówno w nowych, jak i istniejących papierniach. Jest stosowany zwłaszcza w mniejszych zakładach.

### **Aspekty ekonomiczne**

Koszty inwestycyjne oczyszczania fizyczno chemicznego wynoszą 1 mln euro dla papierni produkującej papier drukowy o wydajności 100 t na dobę. Koszty inwestycyjne oczyszczania metodą strącania chemicznego obejmują zbiornik wyrównawczy, wyposażenie do rozpuszczania chemikaliów, wyposażenie do dozowania chemikaliów, urządzenie do strącania i flokulacji oraz osadnik. Nie były dostępne żadne dane dotyczące kosztów eksploatacyjnych.

### **Motywacja do wdrożenia**

Strącanie chemiczne ścieków z papierni niezintegrowanych zwykle stosuje wtedy, gdy należy usunąć ze ścieków biogeny, zawieszinę ogólną lub organiczne cząstki nierozpuszczalne.

### **Instalacje referencyjne**

Zob. tabelę 7.28.

### **Bibliografia**

[Szwedzka Federacja Przemysłu Leśnego i szwedzkie dane statystyczne z 2007 r.]

## **7.3.13 Odwadnianie i zagęszczanie osadu przed końcowym unieszkodliwieniem lub termicznym przekształceniem**

### **Opis**

W czasie wytwarzania masy i papieru oraz w zakładowych oczyszczalniach ścieków powstają duże ilości osadu w instalacjach oczyszczania wstępnego, oczyszczania biologicznego z osadem czynnym oraz flokulacji chemicznej, obejmującej także oczyszczanie ścieków zawierających mieszanki powlekające. Mniejsza ilość osadu powstaje w stawach napowietrzanych i instalacjach beztlenowych.

Gospodarka osadami w papierniach obejmuje następujące główne fazy:

- Ponowne użycie osadu włóknistego z oczyszczania wstępnego. Jest stosowane w wielu przypadkach.
- Zagęszczanie i odwadnianie osadu włóknistego/biologicznego (chemicznego).
- Końcowe unieszkodliwianie odwodnionego osadu.

Ponowne użycie osadu włóknistego stosuje się w przypadkach, gdy jest to odpowiednie ze względu na wymagania produkowanych wyrobów. W obecności osadu biologicznego/chemicznego należy odwoźnić przynajmniej część osadu włóknistego zamiast go użyć ponownie ze względu na to, że osad biologiczny i chemiczny charakteryzuje się bardzo słabą odwadnialnością i zwykle miesza się je z osadem włóknistym w celu spełnienia warunków odwadniania.

Odwadnianie ma na celu usunięcie możliwie jak największej ilości wody z osadu, żeby zmniejszyć koszty transportu i ułatwić jego końcowe unieszkodliwienie. Do odwadniania osadu można zastosować różne rodzaje urządzeń mechanicznych.

Biologiczne i chemiczne osady zwykle wstępnie odwadnia się przed odwodnieniem i zagęszczaniem. Oznacza to wzrost zawartości suchej substancji z około 1-2 % do 3-4% lub więcej. Wstępnego odwadniania zwykle dokonuje się w stołach grawitacyjnych, grawitacyjnych zagęszczarkach tarczowych, hydrostatycznych zagęszczarkach tarczowych, a także w zagęszczarkach wirówkowych w przypadku osadu biologicznego.

Odwodnianie musi poprzedzić kondycjonowanie osadu za pomocą flokulantów. Zwykle dodaje się polielektrolit. Dotyczy to szczególnie mieszanin osadu biologicznego i/lub chemicznego, ale często kondycjonuje się również osad zawierający włókna dodając do niego flokulanty.

Do odwadniania stosuje się następujące rodzaje urządzeń:

- prasy taśmowe (prasy dwusitowe),
- prasy ślimakowe,
- odstojniki wirowe,
- prasy z filtrem komorowym.

Instalacje zbudowane w latach 80-tych i 90-tych XX wieku było wyposażane w prasy taśmowe. Charakteryzują się one niezawodnością działania i zapewniają dość wysoką zawartość suchej substancji na poziomie 40 -50% dla osadu włóknistego i 25-40% dla mieszaniny osadu włóknistego /biologicznego (chemicznego). W ostatnim czasie występuje tendencja do stosowania pras ślimakowych.

Prasy ślimakowe można stosować do dwóch celów:

- w celu zwiększenia zawartości suchej substancji suchej po odwodnieniu w prasach taśmowych: w przybliżeniu można uzyskać wzrost suchej substancji o 10%,
- w celu bezpośredniego odwadniania; można uzyskać wyższą zawartość suchej substancji w porównaniu z odwadnianiem na prasie taśmowej.

Od kilku lat obserwuje się coraz większy zakres stosowania pras ślimakowych, wynikający ze wzrastającego zainteresowania termicznym przekształcaniem osadu, które wymaga wysokiej zawartości suchej substancji. W wypadku termicznego przekształcania osadu należy również rozważyć suszenie osadu w celu zwiększenia jego wartości opałowej (zob. podpunkt 2.9.6.1.4).

Odstojniki wirowe stosuje się obecnie głównie do odwadniania osadów o bardzo słabej odwadnialności, takich jak czysty osad chemiczny lub biologiczny (jeśli jest odwadniany oddzielnie). Zapewniają one niższą zawartość suchej substancji niż prasy taśmowe lub ślimakowe.

### **Główne korzyści środowiskowe**

Odwadnianie osadu może zmniejszyć objętość i wagę osadu, co ogranicza ilość do transportu i unieszkodliwienia.

### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Do wstępnego odwadniania osadu włóknistego w papiernictwie stosuje się również bębnowe filtry obrotowe pracujące w sposób ciągły lub grawitacyjne zagęszczarki tarczowe, zapewniające zawartość suchej substancji na poziomie 8% i klarowny filtrat o niskiej zawartości zawiesiny cząstek stałych.

We wszystkich zakładach produkujących papier i tekturę stosuje się wiele rodzajów urządzeń odwadniających, poczynając od filtrów bębnowych o niskiej wydajności (pod względem zawartości suchej substancji), a kończąc na wysokowydajnych prasach ślimakowych.

W większości przypadków sprawdziły się prasy taśmowe (prasy dwusitowe) i prasy ślimakowe wykorzystywane w celu osiągnięcia wysokiej suchości osadu.



**Oddziaływania na procesy i środowisko**

Nie zgłoszono znaczących oddziaływań.

**Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Rozwiązanie to może być stosowane w nowych i istniejących papierniach.

**Aspekty ekonomiczne**

Zgłoszone koszty zależą od ilości i rodzaju osadu, jaki ma być zagęszczony i odwodniony. Według danych od dostawcy [108, Krieger, Bellmer 2010], całkowite koszty inwestycyjne układu zagęszczania/odwadniania osadu z przemysłu papierniczego, obejmującego wstępną zagęszczarkę i pasy ślimakowe (tylko urządzenia bez oprzyrządowania, układów elektrycznych i sterujących, rurociągów, zaworów i prac budowlanych) wynoszą:

- dla przedziału 5 – 10 BDt na dobę, tj. bezwzględnie suchych ton osadu, około 16 000 – 31 000 euro za tonę osadu (bezwzględnie suchą) na dobę;
- dla przedziału 50 – 100 BDt na dobę: około 8000 – 16 000 euro za tonę osadu (bezwzględnie suchą) na dobę.

Niższe wartości odnoszą się do osadu o lepszej odwadnialności, takiego jak osad włóknisty lub osad odbarwiony; wyższe dotyczą trudniejszego do odwodnienia osadu o większym udziale osadu biologicznego i chemicznego. Zawartość suchej masy w osadzie wzrasta z 1,5 – 3% aż do 40 – 60%.

Koszty eksploatacyjne pras silnikowych obejmują:

- koszty energii: 1,5 – 3 euro za tonę osadu (bezwzględnie suchą) na dobę;
- koszt flokulantów: 4 – 16 euro za tonę osadu (bezwzględnie suchą) na dobę;
- roczne koszty konserwacji stanowią w przybliżeniu 5 – 10% kosztów inwestycyjnych urządzeń (głównie obróbka wału ślimaka i nowe sita bębnowe).

Koszty zależą w pewnym stopniu od składu osadu i zapotrzebowania na chemikalia do flokulacji.

**Motywacja do wdrożenia**

Celem wdrożenia tej techniki jest uzyskanie wyższej zawartości suchej substancji ułatwiającej transport i końcowe unieszkodliwienie osadu. Technika ta zapewnia możliwie jak najwyższą zawartość suchej substancji, a przez to najwyższą wartość opałową, jeśli w celu końcowego unieszkodliwienia stosuje się termiczne przekształcenie.

**Instalacje referencyjne**

Liczne zakłady na całym świecie, dla wszystkich rodzajów ścieków.

**Bibliografia**

[1, Finnish BAT Report 1997 – Fiński raport nt. BAT, 1997 ], [75, Pöyry 1997 ], [108, Krieger, Bellmer 2010 ].

**7.3.14 Zapobieganie powstawaniu, ponowne użycie i przetwarzanie pozostałości produkcyjnych**

Zob. punkt 2.9.8.

**7.3.15 Oszczędzanie energii w papiernictwie****Opis**

Analiza porównawcza (benchmarking) jest często punktem wyjścia do poprawy efektywności energetycznej. Analiza porównawcza w odniesieniu do najlepszych praktyk stanowi proces porównywania zużycia pary i energii elektrycznej w procesach własnych papierni z poziomem efektywności papierni reprezentujących najlepszą praktykę, które stosują podobne procesy i wywarzają podobne produkty. Porównanie to pozwala ocenić możliwości usprawnienia wykorzystywania energii i opracować plany określające sposób uzyskania poprawy efektywności energetycznej. Zużycie pary i energii należy ustalić całościowo dla zakładu, uwzględniając wszystkie niezbędne części procesu produkcyjnego, takie jak uzdatnianie wody, wytwarzanie energii elektrycznej, oczyszczanie ścieków, odkorowanie (jeśli występuje), rozczynianie i wyrób papieru.

Użycie modeli symulacyjnych stanowi najbardziej odpowiednią metodę określania bilansu masowego i energetycznego procesów i całej papierni. Dla różnych rodzajów papieru istnieją przybliżone modele. Całkiem łatwo można dokonać walidacji tych modeli przeprowadzając rozsądną ilość pomiarów i doskonaląc podstawowe modele dotyczące procesów. Żeby można było wprowadzić dane do modelu, należy znać ilość zakupionej energii elektrycznej i paliw oraz szczegółowo znać zużycie energii elektrycznej. Trzeba też znać średnie zużycie i wahania zużycia energii w czasie.

Dane dotyczące zużycia energii oraz technologie wykorzystywane w procesie określają poziom odniesienia, który następnie można porównać z papierniami reprezentującymi najlepszą praktykę. Jednakże, ustalanie poziomu odniesienia komplikuje fakt, iż nie ma dwóch dokładnie takich samych papierni oraz to, że papiernie są eksploatowane w odmienny sposób. W ramach produkcji niektórych rodzajów papieru występuje duże zróżnicowanie jednostkowych poziomów zużycia energii.

Po ustaleniu poziomu odniesienia operatorzy papierni mogą ocenić, jaką poprawę efektywności energetycznej mogą przynieść zmiany procesu i zmiany sposobu prowadzenia procesu. Niektóre z tych działań są związane z inwestycjami mającymi na celu zastąpienie, przebudowę lub modernizację urządzeń produkcyjnych i przeważnie nie są podejmowane w celu uzyskania oszczędności energii. Jednocześnie, podnoszą one wydajność i jakość produktów oraz zmniejszają koszty. W punktach 2.9.5 i 2.9.6 omówiono działania horyzontalne mające na celu zmniejszenie zużycia energii w wytwórniach masy i papierniach, które mają zastosowanie do większości rodzajów papieru.

Analizując możliwości poprawy w papierni można wykorzystać dostępne techniki zestawione w tabeli 7.29. Oszczędności, jakie można uzyskać przy użyciu pewnej techniki, mają charakter tylko orientacyjny, ponieważ ich bardziej precyzyjne i wiarygodne ustalenie wymaga wiedzy dotyczącej aktualnego poziomu zużycia energii w papierni (przed wdrożeniem działań) i efektów zintegrowania technik zapewniających oszczędności energii. Ponadto, na zużycie energii duży wpływ ma skład masy. W niektórych przypadkach wymagania produkcyjne związane z jakością papieru mogą ograniczać zakres zastosowania niektórych technik, a niekiedy w starych papierniach nie można wprowadzić nowych technik lub nie jest to uzasadnione ekonomicznie. Większość rozwiązań wymienionych w tabeli 7.15 omówiono w niniejszym dokumencie (odniesienia krzyżowe podano w pierwszej kolumnie od lewej), źródłem innych jest [\[ 249, Blum i in. 2007 \]](#).

Tabela 7. 29 Dostępne rozwiązania zapewniające oszczędności energii i orientacyjne możliwości poprawy

Nr odniesienia, punkt BREF <sup>(1)</sup>	Technika/rozwiązanie	Proces	Osiągalne oszczędności (kWh/t)		Rodzaj papieru, jeśli dotyczy
			En. elektr.	En. cieplna	
Nr 1, 6.3.10.1	Rozczynianie wysokostężeniowe (do 20%)	Rozczynianie	3 – 8	-	Papier z włókien wtórnych
Nr 2, 6.3.10.2	Wysoce sprawne sortowanie	Sortowanie	2 – 10	-	Papier z włókien wtórnych
Nr 3, 6.3.10.3	Zamknięcie dyspergatora (potrzebne są próby)	Dyspergowanie	15 – 30	10 – 20	Papier z włókien wtórnych
Nr 4, 2.9.6.2.3	Bardziej precyzyjne wymiarowanie pompowania, sterowanie pomp za pomocą napędów bezstopniowych, napędy bezprzekładniowe	Rozczynianie, sortowanie, oczyszczanie, doprowadzenie masy do wlewu	20 – 30	-	Wszystkie rodzaje
Nr 5, 7.3.15.2	Optymalizacja istniejących rafinerów	Rozczynianie masy	5 – 15	-	Papiery bezdrzewne do drukowania i pisania, bibułki tissue, papiery specjalne
Nr 6, brak	Najnowsze technologie rafinowania	Rafinowanie masy	Do 100	-	Papiery bezdrzewne do drukowania i pisania, bibułki tissue, papiery specjalne
Nr 7, brak	Skrzynki parowe	Prasowanie	-	Okolo 50	Masa mechaniczna i TMP, wytwórnie masy z włókien wtórnych
Nr 8, 2.9.6.2.1	Optymalizacja układu próżniowego (np. turbodmuchawy zamiast pomp z pierścieniem wodnym)	Formowanie, odwadnianie, prasowanie	10 – 60	-	Wszystkie rodzaje
Nr 9, 7.3.15.1	Technologia rozszerzonej strefy prasowania (wzrost zawartości substancji stałych przed suszeniem)	Prasowanie	-	Do 200	Papiery do drukowania i pisania z włókien wtórnych
Nr 10, 2.9.6.1.2	Użycie termosprężarek (zmniejszenie strat kondensatora)	Suszenie	-	5 – 120	Wszystkie rodzaje
Nr 11, brak	Optymalizacja wytwarzania i utrzymanie sieci dystrybucji	Sprężone powietrze	5 – 10	-	Wszystkie rodzaje
Nr 12, 7.3.15.3/2.9.6.1.3	Optymalizacja odzyskiwania ciepła i obiegu powietrza, izolacja	Suszenie	-	40 – 100	Wszystkie rodzaje
Nr 13, 2.9.6.2.2	Użycie wysokosprawnych silników (EFF1)	Wszystkie podsystemy	0 – 15	-	Wszystkie rodzaje
Nr 14, 5.3.9	Odzyskiwanie ciepła z rafinerów masy TMP	Rafinery masy TMP	-	1 000 (1 500kWh/t pulp)	Wytwórnie masy TMP

Nr 15, 7.3.15.3	Odzyskiwanie ciepła z gorących ścieków z bielenia	Bielenie	-	5 – 10	Masa mechaniczna i TMP z włókien wtórnych
Nr 16, 2.9.6.1.1	Odzyskiwanie ciepła z dmuchaw osiowych (jeśli są użyte) dostarczających powietrze do okapturzenia części suszącej	Suszenie	-	20 – 30	Wszystkie z wyjątkiem bibułki tissue
Nr 17, 7.3.15.3	Odzyskiwanie ciepła z powietrza odprowadzanego z okapturzenia cylindra Yankee za pomocą wieży filtracyjnej ze złożem	Suszenie	-	Do 50	Bibułki tissue
Nr 18, 7.3.15.3	Wstępne ogrzewanie wody do natrysków za pomocą wymiennika ciepła	Formowanie i odwadnianie, prasowanie	-	Do 30	Wszystkie rodzaje
Nr 19, 2.9.6.1.4	Użycie ciepła wtórnego do suszenia osadu lub podniesienia jakości odwodnionej biomasy	Oczyszczanie ścieków	-	30 - 50	Wszystkie rodzaje
Nr 20, brak	Odzyskiwanie ciepła z gorącego powietrza odprowadzanego z suszenia podczerwienią	Suszenie mieszanek powlekających	-	BD	Powlekane
<sup>(1)</sup> Podane numery odsyłają do danej techniki przedstawionej w tabeli 7.31. Zużycie energii związane z zastosowaniem BAT. Jeśli nie podano numeru odniesienia rozwiązanie, wzięto z [ 249, Blum et al. 2007 ], gdzie jest ono opisane bardziej szczegółowo.					

Inne działania, które są również związane z efektywnością energetyczną, obejmują wspomaganie obsługi wstęgi papieru w celu zmniejszenia częstości zrywów papieru lub dobre gospodarowanie w zakresie wykorzystywania wody (ponowne użycie i zawrócenie do procesu). W większości przypadków oszczędzanie wody oznacza oszczędności energii, ponieważ wiąże się z wyższą temperaturą procesu i mniejszą ilością wody do podgrzania. W wielu przypadkach zamknięte obiegi wody chłodzącej mogą ograniczyć całkowite zużycie wody o prawie 20 m<sup>3</sup> na tonę papieru.

Stosując określone rozwiązania mające na celu oszczędzanie energii należy uwzględnić orientacyjne poziomy zużycia energii podane w tabeli 7.30.

**Tabela 7. 30 Orientacyjne poziomy zużycia ciepła i energii elektrycznej dla różnych rodzajów papierni niezintegrowanych wytwarzających papiery do zastosowań poligraficznych i bibułki tissue z konwencjonalnym układem suszenia.**

Rodzaj papierni	Orientacyjny poziom zużycia energii w zakresie ciepła procesowego (kWh/t)	Orientacyjny poziom zużycia energii w zakresie energii elektrycznej (kWh/t)
Niezintegrowana wytwarzająca papiery do zastosowań poligraficznych (powlekane lub niepowlekane)	1300 – 1700 (górną zakres przedziału odnosi się głównie do papierów powlekanych)	550 – 800 (górną zakres przedziału obejmuje powlekanie i rafinowanie)
Niezintegrowana wytwarzająca bibułki tissue	1800 – 2100	900 – 1100
Wytwarzająca papiery specjalne	Nie dotyczy (**)	
(**) Na skutek dużej różnorodności produktów, zmiennego składu surowców i odmiennego procesu produkcyjnego, papiernie znacznie się różnią pod względem zużycia energii.		

Ustalając orientacyjne poziomy zużycia energii podane powyżej w tabeli 7.30, uwzględniono następujące granice systemu:

- (1) Poziomy zużycia energii odnoszą się do produkcji netto całych papierni, obejmując pompy, mieszadła i sprężone powietrze. Uwzględniono również peryferyjne podsystemy wody surowej i ścieków, osadu i odrzutów, jak np. flotację rozpuszczonym powietrzem, prasy ślimakowe do odrzutów lub osadu oraz oczyszczanie ścieków.
- (2) Ujęte przedziały obejmują wszystkie jednostki procesowe związane z przygotowaniem masy i wyrobem papieru, począwszy od przenośnika zasilającego lub rozwłókniania na mokro, a kończąc po ostatniej nawlekarko-krajarce, tj. przed przetwarzaniem papieru.
- (3) W obliczeniach zużycia energii nie uwzględniono energii pierwotnej wprowadzonej w paliwach do wytwarzania energii elektrycznej, ale ujęto wykorzystane w procesie ciepło i energię elektryczną. Zużycie energii elektrycznej obejmuje suszenie podczerwienią (IR).
- (4) W odniesieniu do ciepła poziomy zużycia energii odnosi się do pojemności cieplnej użytej pary i dolnej wartości opałowej gazu w przypadku suszenia podczerwienią i powietrzem. Zużycie ciepła obejmuje gazowe suszenie podczerwienią.

Poza wyborem technik, ważną kwestią (zob. punkt 2.9.5) jest sposób eksploatacji (efektywna energetycznie praktyka) i zarządzanie energią. Urządzenia nie są często wykorzystywane w optymalnie efektywny energetycznie sposób, a dzięki lepszemu zarządzaniu można uzyskać dalsze oszczędności.

Metoda pinch point służąca do optymalnej integracji cieplnej papierni może stanowić przydatne narzędzie umożliwiające dalszą optymalizację energetyczną procesów.

W tabeli 7.31 przedstawiono przykłady poziomów jednostkowego zużycia energii dla różnych rodzajów papierni przy użyciu kombinacji efektywnych energetycznie technik. Zestawiono również pewne cechy papierni, np. używane surowce, stosowane techniki i wielkość papierni. Stosowane techniki zapewniające oszczędności energii ponumerowano zgodnie z tabelą 7.29.

Zapotrzebowanie energii również zależy od jakości produktu (zwłaszcza w papierniach wytwarzających bibułki tissue). Z tego powodu podane w tabeli 7.31 zgłoszone przedziały zużycia energii w papierniach należy traktować tylko jako określające orientacyjnie zapotrzebowanie ciepła technologicznego i energii elektrycznej w efektywnych energetycznie papierniach. W porównaniu z tymi przedstawionymi liniami wyrobu papieru wciąż mogą istnieć możliwości poprawy dzięki zastosowaniu wszystkich dostępnych technik, łącznie z optymalną integracją procesów.

Tabela 7. 31 Przykłady poziomów zużycia energii związanych z zastosowaniem niektórych technik, które należy uwzględnić w odniesieniu do produkcji różnych rodzajów papieru.

Rodzaj papieru	Zużycie ciepła i energii elektrycznej (kWh/t)		Miks użytych surowców	Uwagi	Odniesienie	Rodzaj piapierni	Zastosowane techniki (zob. tabelę 7.28)
	Energia el.	Ciepło					
Papiernia zintegrowana, masa mechaniczna, papiery powlekane	Energia el.	1 200	40% masa mechaniczna, 30% włókna pierwotne, 30% pigmenty do powlekania	Linia ścieru	[ 249, Blum i in. 2007 ]	600 000 t/rok papierów do magazynów na trzech maszynach papierniczych	Nr 7; 9; 10; 13; 15; 16; 18
	Ciepło	1 700					
Papiernia zintegrowana, papiery bezdrzewne niepowlekane	Energia el.	600	100% włókna pierwotne (+ wypełniacze)		[ 249, Blum i in. 2007 ]	400 000 t/rok papierów drukowych na dwóch maszynach papierniczych	Nr 4; 6; 10; 13; 18
	Ciepło	1 300					
Papiernia zintegrowana, papiery bezdrzewne powlekane	Energia el.	600	60% włókna pierwotne 40% wypełniacze i pigmenty do powlekania		[ 249, Blum i in. 2007 ]	300 000 t/rok powlekanych papierów bezdrzewnych do drukowania i pisania na dwóch maszynach papierniczych	Nr 4; 13; 10
	Ciepło	1 200					
Włókna wtórne bez odbarwiania (opakowania)	Energia el.	300	100% włókna wtórne (zwykle rodzaje)	Rodzaje: na warstwę pofalowaną i środkową tektury falistej	[ 249, Blum i in. 2007 ]	300 000 t/rok papieru podłożowego do tektury falistej na jednej maszynie papierniczej	Nr 1; 9; 10; 13
	Ciepło	1 100					
Włókna wtórne z odbarwianiem (papiery do zastosowań poligraficznych)	Energia el.	900	100% włókna wtórne (zwykle i średnie rodzaje)		[ 249, Blum i in. 2007 ]	70 000 t/rok papierów z włókien wtórnych na jednej maszynie papierniczej	Nr 2; 9; 13; 18; 19
	Ciepło	1 200					
Tektura z włókien wtórnych (z odbarwianiem)	Energia el.	450	100% włókna wtórne (zwykle i średnie rodzaje)	Niepowlekana	[ 249, Blum i in. 2007 ]	100 000 t/rok tektury na pudełka składane na jednej maszynie papierniczej	Nr 4; 7; 9; 10
	Ciepło	1 000					
Papiernia niezintegrowana, bibułka tissue	Energia el.	900	100% włókna pierwotne	Bez użycia maszyn typu TAD	[ 249, Blum i in. 2007 ]	50 000 t/rok chusteczki na jednej maszynie do bibulek tissue	Nr 4; 10; 13; 17
	Ciepło	2 000					

Uwaga: Przelicznik zużycia energii: 1 kWh = 3,6 MJ, np. 1700 kWh/t ciepła × 3,6 = 6120 MJ/t ciepła.  
 Źródło: [ 249, Blum i in. 2009 ]

Techniki opisane w podpunktach 7.3.15.1 i 7.3.15.3 należy traktować jako przykłady możliwych oszczędności energii dzięki zastosowaniu efektywnych energetycznie technik. Integracja procesów, skuteczne odzyskiwanie ciepła z powietrza odprowadzanego z części suszącej i z innych strat oraz efektywne energetycznie rafinowanie i osiągnięcie największej zawartości suchej substancji stanowią najważniejsze aspekty dotyczące zmniejszenia zużycia energii w papiernictwie. Wzajemne powiązania zużycia energii i zaopatrzenia w energię również silnie wpływają na efektywne energetycznie rozwiązania.

### **7.3.15.1 Optymalizacja odwadniania w części prasowej maszyny papierniczej (prasy o rozszerzonej strefie styku)**

#### **Opis**

Maszyna papiernicza stanowi ogromny proces odwadniania. Składa się ona w zasadzie z trzech głównych części:

- części sitowej, w której ma miejsce formowanie wstęgi, pierwszy etap odwadniania grawitacyjnego i odsysanie próżniowe;
- części prasowej, w której ma miejsce dalsze odwadnianie mokrej wstęgi metodami mechanicznymi;
- części suszącej, w której ma miejsce suszenie wstęgi w celu osiągnięcia końcowej suchości przez odparowanie na cylindrach podgrzewanych parą.

Po części prasowej (zob. również rys. 7.1) suchość wstęgi wynosi zwykle 45-50%, tj. pozostaje około 1 kg wody/1 kg wsadu. Do odparowania tych ostatnich „kropli wody” potrzebna jest długa część susząca zużywająca dużo energii.

W maszynie papierniczej większość energii jest zużywana na suszenie papieru (para: 572 kWh/t). Energia elektryczna jest potrzebna do napędu walców i cylindrów (energia elektryczna: 100 kWh/t) oraz do wytwarzania próżni (energia elektryczna: 67 kWh/t). Im wyższa jest suchość wstęgi papieru po części prasowej, tym niższe jest zapotrzebowanie na energię cieplną potrzebną do końcowego suszenia papieru. Zwiększenie suchości wstęgi papieru wchodzącej do części suszącej o 1% umożliwia zaoszczędzenie około 4% ciepła (para niskociśnieniowa o ciśnieniu około 2 barów). Z tego powodu należy podjąć działania w celu osiągnięcia jak najwyższej suchości wstęgi w procesie prasowania w części mokrej maszyny papierniczej.

W konwencjonalnej prasie ze strefą styku docisk w strefie styku osiągnął górną wartość graniczną i nie można go już zwiększyć w celu poprawy odwadniania w części prasowej. Zastępując konwencjonalne prasy o krótkiej strefie styku prasami o szerokiej strefie styku, tzw. prasami typu „shoe”, można osiągnąć wyższy impuls prasowania niż w prasach konwencjonalnych, co zapewnia bardziej intensywne odwadnianie mokrej wstęgi oraz wyższą suchość wstęgi po części prasowej. Stały element odwadniający (shoe) jest dociskany hydraulicznie do przeciwwalca. Taka konstrukcja prasy zapewnia znaczne rozszerzenie strefy prasowania i wydłużenie czasu kontaktu w strefie styku w porównaniu z konwencjonalnymi prasami. Wysoka suchość po prasach pozwala zaoszczędzić energię w procesie suszenia oraz zapewnia płynny przebieg procesu w części suszącej dzięki dobrej wytrzymałości wstęgi w stanie mokrym.

#### **Główne korzyści środowiskowe**

Skutki dla środowiska są związane z zaoszczędzeniem energii cieplnej potrzebnej do suszenia papieru. Po zainstalowaniu prasy ze stałym elementem odwadniającym w istniejących maszynach do produkcji papieru opakowaniowego i tektury odnotowano wzrost suchości w zakresie od 5 do 15% [69, IFP 1998]. Wzrost ten zależy w znaczącym stopniu od poprzedniej wydajności przebudowanej części prasowej i wybranej konstrukcji nowej prasy typu „shoe”.

W jednym przypadku przebudowa części prasowej spowodowała wzrost suchości o 6% po zainstalowaniu jednej prasy ze stałym elementem odwadniającym. Jednostkowe zapotrzebowanie pary do suszenia papieru zmniejszyło się z 2,13 do 1,76 tony pary na tonę papieru, co pozwoliło zaoszczędzić 18% energii cieplnej. Redukcja emisji do powietrza z procesu wytwarzania energii zależy

w znacznym stopniu od rodzaju stosowanego paliwa kopalnego. We wspomnianym zakładzie w ciągu roku zaoszczędzono 46 000 ton pary (co odpowiada 5,1 miliona m<sup>3</sup> gazu ziemnego i zmniejszeniu emisji CO<sub>2</sub> o 8900 ton).

W maszynach papierniczych o ograniczonej wydajności suszenia zmniejszenie wilgotności wstęgi o 1% przekłada się na wzrost wydajności o 4-5%. Jeśli wydajność suszenia maszyny papierniczej nie jest ograniczona, można odpowiednio zmniejszyć zużycie pary w części suszącej. Oszczędności pary w części suszącej mogą osiągnąć 170 kWh/t.

Natomiast dla danej gęstości papieru poprawa suchości zależy od składu masy włóknistej. W przypadku papierów bezdrzewnych zastosowanie prasy ze stałym elementem odwadniającym zapewnia wzrost suchości po prasach o około 3 – 5 punktów procentowych. Dla rodzajów drzewnych suchość wzrasta o około 4 - 7 punktów procentowych. Różnica ta jest jeszcze większa - do 12 punktów procentowych - dla szybkobieżnych maszyn, ponieważ jeśli wstęga przebywa przez długi czas w strefie prasowania ze stałym elementem odwadniającym, suchość pozostanie na wysokim poziomie przy wzroście prędkości maszyny. Podczas produkcji papierów drzewnych można wykorzystać pełną wydajność prasy typu „shoe”, ponieważ najlepsze własności papieru można uzyskać przy wysokim docisku w strefie styku

Wymiana prasy walcowej na prasę ze stałym elementem odwadniającym w maszynie papierniczej zwykle pozwala oszczędzić ogółem od 20 do 30% energii zużywanej w procesie suszenia.

### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

Jednym z przykładów przebudowy prasy jest zakład Nordland Papier w Niemczech. W zwartym układzie części prasowej z prasą o trzech strefach styku w maszynie produkującej papier przebitkowy w ostatniej strefie styku zamontowano prasę ze stałym elementem odwadniającym. Po przebudowie suchość wstęgi po części prasowej wzrosła o około 3-4 punkty procentowe. Jednocześnie, prędkość produkcji wzrosła z 850 m/min do 1200 m/min, co przyniosło wzrost produkcji o 30%. W celu zapewnienia takiej poprawy suchości zastosowano w prasie docisk liniowy 500-600 kN/m. Późniejsza produkcja pobiła wszelkie rekordy, a maszyna po przebudowie osiągnęła najwyższą wydajność produkcji papieru wysokogatunkowego na świecie. Oszczędności pod względem jednostkowego zapotrzebowania pary do suszenia papieru wyniosły 30%.

Podobne wyniki osiągnięto w kilku instalacjach na całym świecie, które przebudowano w równorzędnym zakresie.

### **Oddziaływania na procesy i środowisko**

Zastąpienie konwencjonalnej strefy styku walców strefą rozszerzoną nie ograniczy znacząco zapotrzebowania na energię elektryczną. Prasa ze stałym elementem odwadniającym charakteryzuje się wyższym jednostkowym zużyciem energii elektrycznej. Rekompensuje je mniejsza ilość stref docisku w części suszącej. Zmniejszone zużycie energii cieplnej można przeliczyć na redukcję emisji.

Prasa ze stałym elementem odwadniającym umożliwia zwiększenie prędkości maszyny przy utrzymaniu płynności eksploatacji. Wysoka sprawność umożliwia zaoszczędzenie surowców i energii oraz zapewnia wyższy efektywny czas pracy przy zmniejszonej ilości odpadów.

Wysoka suchość po prasach oznacza niższe zapotrzebowanie energii, a przez to niższą emisję z wytwarzania energii.

Wzrost suchości po prasie ze stałym elementem odwadniającym zwiększa gęstość pozorną i spoistość wewnętrzną wysuszonej wstęgi. Zależność jest niemal liniowa. Wyższa wytrzymałość wstęgi papieru zwykle podnosi płynność eksploatacji maszyny papierniczej dzięki mniejszej ilości zrywów wstęgi. Zapewnia to wyższą wydajność maszyny papierniczej. Na przykład, jeśli po zamontowaniu prasy ze stałym elementem odwadniającym ilość niezaplanowanych zrywów wstęgi zmniejszy się o dwa w ciągu doby (o czasie trwania przerwy 20 min), to dobową wydajność maszyny papierniczej wzrośnie o prawie 3%.

Jeśli zdolność produkcyjna maszyny papierniczej jest ograniczona z powodu wydajności suszenia, mniejsze zapotrzebowanie pary do suszenia po zamontowaniu prasy ze stałym elementem odwadniającym umożliwia zwiększenie prędkości maszyny papierniczej. W takich przypadkach



produkcję można zwiększyć o 20% przy tej samej ilości pary jak przed zastosowaniem prasy ze stałym elementem odwadniającym.

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Prasę ze stałym elementem odwadniającym można stosować zarówno w nowych, jak i istniejących maszynach papierniczych produkujących większość rodzajów papieru (oprócz bibulek tissue) pod warunkiem, że w części prasowej jest odpowiednia przestrzeń, a konstrukcja budynku pozwala na

zamontowanie cięższej prasy ze stałym elementem odwadniającym. W niektórych przypadkach należy zwiększyć maksymalny udźwig suwnicy w hali maszyny ze względu na cięższe walce prasy ze stałym elementem odwadniającym. Z powodu wysokich dodatkowych kosztów inwestycyjnych w przypadku mniejszych maszyn o zmniejszonej szerokości roboczej poniżej 2,5 m korzyści ekonomiczne są wątpliwe.

Dla gatunków papieru, w przypadku których ważna jest objętość, przeważnie papierów bezdrzewnych, zalecany jest długi element odwadniający (250 mm) o niskim docisku (600 kN/m). Natomiast do produkcji papierów drzewnych można stosować krótszy element odwadniający (180 mm) o wyższym docisku (800 kN/m).

Opracowano także prasę ze stałym elementem odwadniającym dla szybkobieźnych maszyn (obecnie do 2000 m/min).

### **Aspekty ekonomiczne**

Całkowite koszty inwestycyjne prasy ze stałym elementem odwadniającym dla maszyny papierniczej o szerokości roboczej 5 m wynoszą około 10 mln euro (uwzględniając całą instalację). Koszty eksploatacyjne, obejmujące filce, pokrycie walców, szlifowanie walców i energię do napędu prasy ze stałym elementem odwadniającym, są mniej więcej takie same jak koszty eksploatacyjne prasy konwencjonalnej. Oszczędności pary do suszenia papieru wahają się od 10 do 15 euro na tonę pary, co daje jednostkowe zużycie pary na poziomie 2 ton pary na tonę papieru i oszczędności od 20 do 30 euro na tonę papieru.

Okres zwrotu nakładów na przebudowę prasy wynosi zwykle około 2,5 roku, jeśli nie ma żadnych innych ograniczeń dla zwiększenia prędkości maszyny

### **Motywacja do wdrożenia**

Istnieje wiele przyczyn skłaniających do wdrożenia prasy ze stałym elementem odwadniającym.. Oprócz lepszych właściwości wytrzymałościowych, można ograniczyć koszty dzięki zmniejszeniu zapotrzebowania na parę do suszenia papieru przy stałej jego produkcji lub dzięki zwiększeniu wydajności produkcji przy identycznych kosztach eksploatacji. Wyższa suchość przynosi oszczędności energii. Konstrukcję części prasowej można uprościć. Prasa ze stałym elementem odwadniającym jest kluczowym czynnikiem umożliwiającym dalszy wzrost prędkości maszyny. W nowoczesnej szybkobieźnej maszynie papierniczej wymagana długość części suszącej jest o 35% krótsza dzięki jednej poszerzonej strefie styku w części prasowej. Lepsze odwadnianie zapewnia poprawę jakości wyrobu (wyższą jednorodność papieru).

### **Instalacje referencyjne**

Z powodu wyższej wydajności odwadniania prasę ze stałym elementem odwadniającym najpierw zastosowano do produkcji warstwy płaskiej tektury falistej na początku lat 80-tych XX wieku, a około 10 lat później zamontowano ją na maszynie papierniczej.

Na całym świecie pracuje kilka przebudowanych i nowych maszyn szybkobieźnych, w których zastosowano prasę ze stałym elementem odwadniającym. Od 1997 roku wszystkie nowe szybkobieźne maszyny papiernicze (produkujące papiery powlekane o niskiej gramaturze, kalandrowane itd.) wyposażano w prasy ze stałym elementem odwadniającym.

W Niemczech pracują następujące instalacje produkujące papier siarczanowo-makulaturowy na pokrycie tektury falistej (testliner) oraz papier na warstwę pofalowaną tektury falistej (wellenstoff) (w kolejności alfabetycznej): Papierfabrik Adolf Jass/Fulda, Papierfabrik Klingele/Weener, Papierfabrik

Schoellershammer/Düren, SCA Packaging Industriepapier/Aschaffenburg, Stone Europa Karton Aktiengesellschaft, RCF DE 4, RCF DE 6.

**Bibliografia**

[ 69, IFP 1998 ].

### 7.3.15.2 Zastosowanie wysokowydajnych rafinerów lub optymalizacja istniejących rafinerów

#### Opis

W przypadku wielu rodzajów papieru rafinowanie masy stanowi istotny etap procesu zapewniający osiągnięcie wymaganych własności papieru. Rafinowanie jest procesem energochłonnym. W wysokowydajnych rafinerach ograniczono zużycie energii w czasie pracy bez obciążenia na skutek strat silnika, pompowania i tarcia. Zmniejszenie zużycia energii w czasie pracy bez obciążenia znacząco zwiększa efektywność wykorzystania energii elektrycznej w procesie rafinowania: w zależności od zastosowania, w niekorzystnych warunkach, zużycie energii w czasie pracy bez obciążenia może stanowić 30 – 50% zużycia energii przez rafiner. Można uzyskać znaczące oszczędności energii elektrycznej albo dzięki zastosowaniu nowych wysokowydajnych rafinerów, albo dzięki optymalizacji sposobu eksploatacji istniejących rafinerów.

#### Główne korzyści środowiskowe

Oszczędności energii elektrycznej wykorzystywanej do rafinowania dzięki zmniejszeniu zużycia energii w czasie pracy bez obciążenia.

#### Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

Zakres osiągniętych oszczędności energii w rafinerach w znacznym stopniu zależy od wykorzystanego surowca, wymaganych efektów rafinowania oraz tego, czy rafinerie zostały w całości wymienione. W papierniach zastosowano różne rozwiązania oparte na rafinerach o bardziej efektywnej konstrukcji:

- W papierni wytwarzającej papiery do zastosowań poligraficznych uzyskano oszczędności na poziomie 110 kWh/t podczas rafinowania masy w stosunku do poprzednio używanych rafinerów stożkowych dzięki zastosowaniu zoptymalizowanych rafinerów (np. wielotarczowych lub z dwoma cylindrami).
- W przypadku produkcji papierów specjalnych (np. bibuły do kondensatorów, papierów ozdobnych lub zabezpieczonych) dużą część zużycia energii elektrycznej powoduje rafinowanie masy w celu spełnienia wymagań dotyczących jakości produktu. Często znaczne zmiany w instalacji rafinowania nie są możliwe lub wymagają dużych nakładów. Jednakże, w wielu papierniach można by uzyskać oszczędności usprawniając istniejące instalacje rafinowania poprzez optymalizację działania pomp zasilających, obciążenia roboczego i sposobu eksploatacji. W przykładowej papierni (wytwarzającej w ciągu roku 50 000 ton specjalnego papieru podłożowego) dwa rafinerie pracują szeregowo. Obciążenie robocze obu rafinerów stanowiło około 50% zainstalowanej mocy, a zużycie energii w czasie pracy bez obciążenia stanowiło około 40% całkowitego zużycia energii elektrycznej. Kiedy wzrasta zużycie energii elektrycznej do rafinowania i obciążenie robocze, zmniejsza się udział zużycia energii w czasie pracy bez obciążenia. Sposób eksploatacji zmieniono na podawanie partiami. Zakres możliwych oszczędności stanowił 18% zużycia energii elektrycznej, jakiego wymagały rafinerie. Nieciągła eksploatacja rafinera oznaczała konieczność jego częstszego uruchamiania.

#### Oddziaływania na procesy i środowisko

Brak negatywnych oddziaływań na procesy i środowisko.

#### Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki

Możliwość zastosowania wysokowydajnych rafinerów zależy od wykorzystywanego surowca i wymaganych własności papieru lub masy włóknistej. Może je zastosować zarówno w nowych, jak i istniejących zakładach wykorzystujących masę z włókien pierwotnych.

Proces rafinowania można zmodyfikować w papierniach, w których albo instalacja rafinowania jest zbyt duża, albo jest ona eksploatowana w nieefektywny sposób. Konieczne może być dostosowanie mocy pompy zasilającej, zdolności do rafinowania i pojemności kadzi magazynowych, żeby zapewnić niezawodną eksploatację.

### Aspekty ekonomiczne

Zmiana urządzeń do rafinowania oznacza znaczną modyfikację procesu, co oznacza wysokie koszty inwestycyjne. W tabeli 7.32 przedstawiono jako przykład uproszczoną ocenę ekonomiczną zastosowania wysokowydajnych rafinerów (300 bezwzględnie suchych ton na dobę) do rafinowania krótkich włókien (drzew liściastych).

**Tabela 7. 32 Obliczenia kosztów rafinera (300 bezwzględnie suchych ton na dobę) dla rafinowania włókien drzew liściastych.**

Aspekty istotne dla kosztów	Zużycie energii	Koszty/oszczędności
Zużycie w papierni bez wysokowydajnych rafinerów	2 145 kWh/t	
Zużycie w papierni z wysokowydajnymi rafinerami	2 100 kWh/t	
Oszczędności energii elektrycznej (12%)	45 kWh/t lub 9770 MWh/rok	488 500 euro/rok
Dwutlenek węgla	6 077 t/rok	91 155 euro/rok
Całkowite oszczędności (energia elektryczna, redukcja emisji CO <sub>2</sub> )		580 000 euro/rok
Koszty inwestycyjne wysokowydajnego rafinera		600 000 euro
<b>Czas zwrotu 1 rok</b>		
Uwaga: Założenia oceny ekonomicznej: koszt energii elektrycznej: 50 euro/MWh (2007); emisja CO <sub>2</sub> (miks energetyczny w Niemczech): 622 g/kWh; koszty dwutlenku węgla: 15 euro/t.		
Źródło: [ 249, Blum i in. 2009 ]		

W wielu przypadkach można zmienić sposób eksploatacji rafinerów bez inwestycji. W indywidualnych przypadkach uzasadnione ekonomicznie może być zwiększenie pojemności kadzi.

### Motywacja do wdrożenia

Zmniejszenie kosztów dzięki oszczędnościom energii elektrycznej. Możliwa jest poprawa jakości produktów.

### Instalacje referencyjne

Kilka zakładów w Europie zainstalowało nowe rafinerie lub wypełnienia rafinerów. Liczne zakłady w Europie (przynajmniej cztery w Niemczech) zoptymalizowały sposób eksploatacji rafinerów.

### Bibliografia

[ 249, Blum i in. 2007 ]

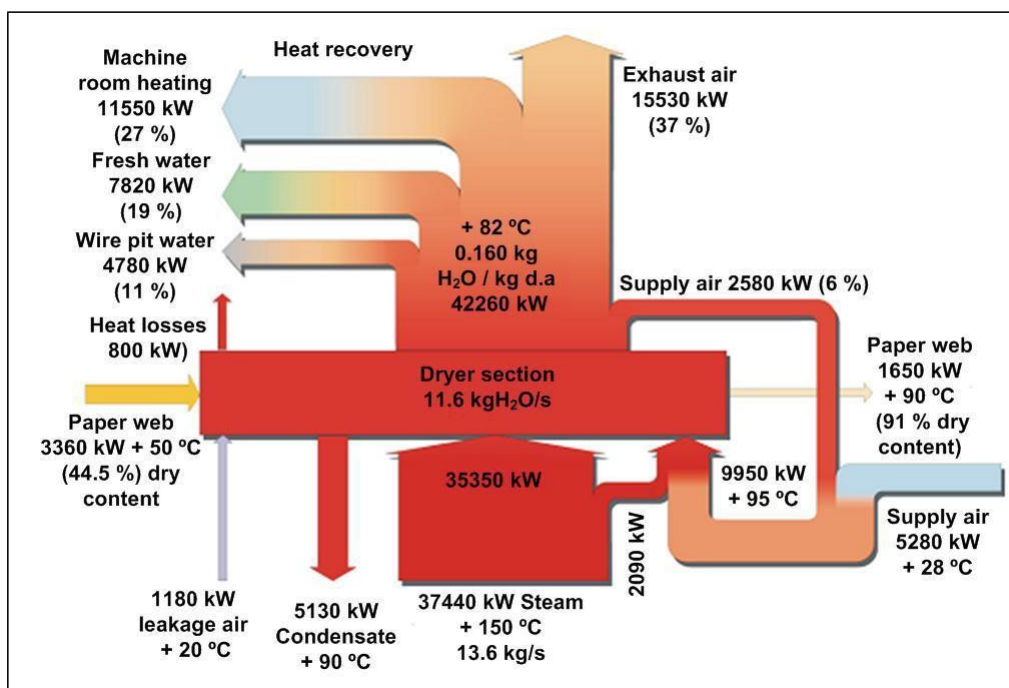
### 7.3.15.3 Odzyskiwanie kondensatu parowego i zastosowanie efektywnych układów odzyskiwania ciepła z powietrza odprowadzanego

#### Opis

Zadaniem układu odzyskiwania ciepła jest wykorzystanie energii odpadowej pochodzącej z procesu technologicznego w sposób uzasadniony ekonomicznie. Prawie cała energia cieplna zużywana w papierni jest wykorzystywana do suszenia papieru i z tego powodu część susząca bez wątpienia zużywa najwięcej energii cieplnej w całej maszynie papierniczej. Rys. 7.32, pierwotnie przygotowany przez firmę Metso Paper Air Systems, przedstawia proces odzyskiwania ciepła w skandynawskich warunkach zimowych. W Europie Środkowej będzie występować mniejsze zapotrzebowanie na odzyskiwanie ciepła bez względu na wyższe temperatury powietrza i wód (zob. rys. 7.33.). Na rys. 7.32 pokazano główne przepływy energii w części suszącej maszyny papierniczej wytwarzającej papier gazetowy i wyposażoną w rekuperatory ciepła w systemie powietrze – powietrze i powietrze - woda. Na rys. 7.33 pokazano wykres Sankeya dla sytuacji, w której nie odzyskuje się ciepła do ogrzewania hali maszyny. Wartości na rys. 7.32 można przeliczyć z kW na kWh/t lub na MJ/t, najpierw dzieląc liczbę kW przez zdolność produkcyjną wyrażoną w tonach na godzinę, np. dla powietrza wywiewanego:

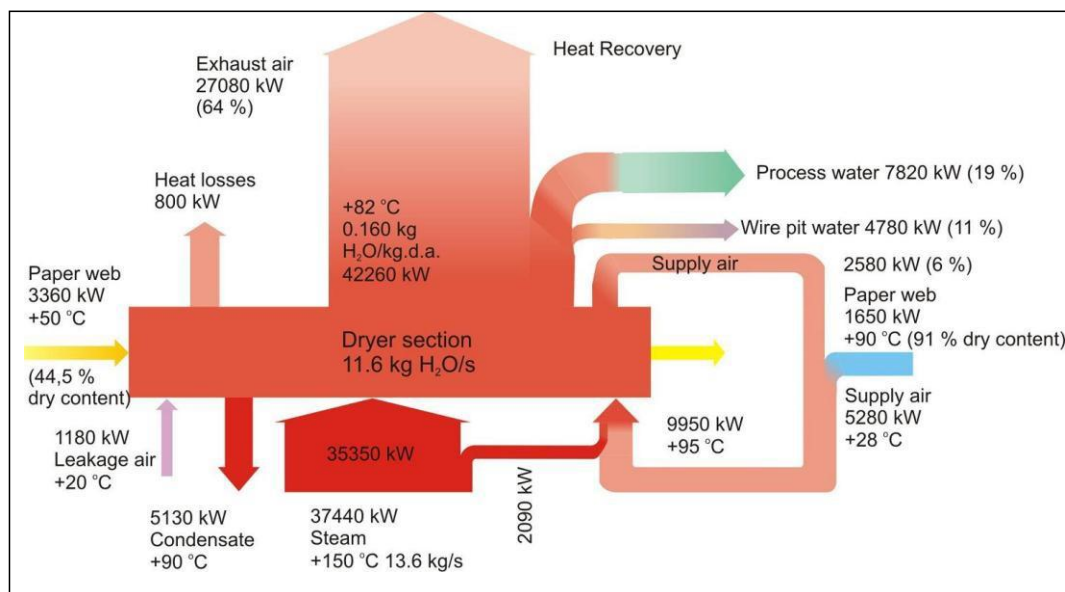
$$\frac{15530 \text{ kW} \times 24 \text{ h} / \text{d}}{980 \text{ t} / \text{d}} = 380 \text{ kWh/t}$$

Wartość w kWh/t można przeliczyć na MJ/t w następujący sposób:  $380 \text{ kWh/t} \times 3,6 \text{ MJ/kWh} = 1368 \text{ MJ/t}$ .



Rysunek 7. 32 Wykres Sankeya dla maszyny wytwarzającej papier gazetowy (980 t/d).

Machine room heating	Ogrzewanie hali maszyn
Fresh water	Woda świeża
Wire pit water	Woda podsitowa
Heat losses	Straty ciepła
Paper web	Wstęga papieru
(44.5 %) dry content	Suchość (44,5%)
leakage air	Powietrze z nieszczelności
Condensate	Kondensat
37440 kW Steam	37440 kW Para
Dryer section	Część susząca
Heat recovery	Odzyskiwanie ciepła
Exhaust air	Powietrze odprowadzane
Supply air	Powietrze doprowadzane
Paper web	Wstęga papieru
Supply air	Powietrze doprowadzane



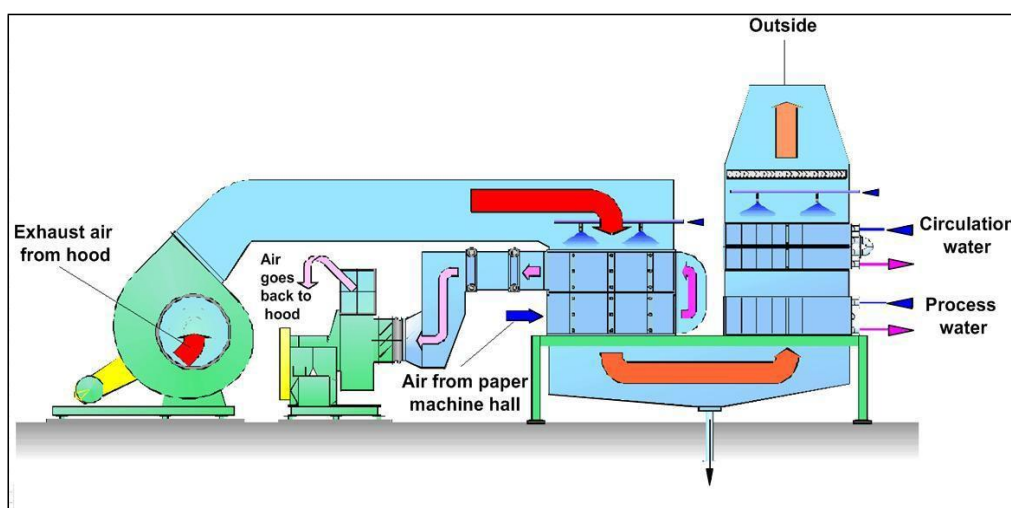
Rysunek 7. 33 Typowy wykres Sankeya dla maszyny papierniczej w cieplejszych regionach.

Paper web	Wstęga papieru
(44,5 % dry content)	(Suchość 44,5%)
Leakage air	Powietrze z nieszczelności
Condensate +90 °C	Kondensat +90 °C
Steam	Para
+150 °C 13.6 kg/s	+150°C 13,6 kg/s
Heat losses 800 kW	Straty ciepła 800 kW
Exhaust air 27080 kW (64 %)	Powietrze odprowadzane 27080 kW (64%)
Heat Recovery	Odzyskiwanie ciepła
Process water 7820 kW (19 %)	Woda produkcyjna 7820 kW (19%)
Wire pit water 4780 kW (11 %)	Woda podsitowa 4780 kW (11%)
Supply air	Powietrze doprowadzane
Paper web 1650 kW	Wstęga papieru 1650 kW
+90 °C (91 % dry content)	+90°C (Suchość 91%)
Supply air 5280 kW +28 °C	Powietrze doprowadzane 5280 kW +28°C
Source: [ CEPI Comments WD Chap 7 ]	Źródło: [ Uwagi CEPI WD rozdz. 7 ]

Mniej więcej 80% energii potrzebnej w części suszącej jest dostarczane do cylindrów suszących w postaci pary pierwotnej, a reszta jest dostarczana jako powietrze suszące, z nieszczelności oraz wraz ze wstęgą. Prawie cała ilość energii wychodzącej z części suszącej jest odprowadzana z powietrzem odprowadzanym z układu. W układzie odzyskiwania ciepła zwykle najpierw odzyskuje się ciepło do podgrzania powietrza doprowadzanego do części suszącej, a następnie wody obiegowej lub wody świeżej (np. do natrysków). Odzyskane ciepło zawarte w wodzie

obiegowej wykorzystuje się głównie do podgrzewania powietrza w układzie wentylacyjnym budynku. W poważnym zakresie odzyskane ciepło wykorzystuje się również do podgrzewania wody technologicznej (np. do natrysków) i wody podsitowej. Wody podsitowej nie podgrzewa się w wytwórniach masy TMP, ale np. w wytwórniach masy wykorzystujących włókna wtórne. Powietrze doprowadzane do części suszącej jest zawsze podgrzewane przez układ odzyskiwania ciepła.

Do odzyskiwania ciepła wykorzystuje się wymienniki ciepła powietrze - powietrze lub powietrze - woda, płytowe wymienniki ciepła, a w niektórych przypadkach płuczki w celu podgrzania wody technologicznej przy użyciu odzyskanego ciepła (zob. rys. 7.34). Płytowe wymienniki ciepła są głównie stosowane do podgrzewania powietrza doprowadzanego pod osłonę oraz powietrza w układzie wentylacyjnym hali maszyn. Najbardziej powszechnym zastosowaniem wymienników ciepła powietrze - woda jest podgrzewanie wody obiegowej i wody technologicznej. Te wymienniki ciepła stanowią część wież rekuperacji ciepła. Na rys. 7.34 przedstawiono przykład łącznego układu odzyskiwania, którym najpierw podgrzewane jest powietrze doprowadzane pod osłonę, a następnie woda obiegowa.



Rysunek 7. 34 Przykład wieży rekuperacji ciepła.

Exhaust air from hood	Powietrze odprowadzane z osłony
Air goes back to hood	Powietrze wraca do osłony
Air from paper machine hall	Powietrze z hali maszyny papierniczej
Outside	Na zewnątrz
Circulation water	Woda obiegowa
Process water	Woda technologiczna

### Główne korzyści środowiskowe

Można zaoszczędzić znaczne ilości pary pierwotnej, co odpowiednio oznacza mniejsze oddziaływanie procesu wytwarzania pary na środowisko. Osiągnięcia zależą, między innymi, od warunków klimatycznych.

### Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne

Dostępne są różne rodzaje układów odzyskiwania ciepła, zależnie od dostawców maszyn. Optymalny układ odzyskiwania ciepła musi być zaprojektowany indywidualnie, żeby spełnić określone wymagania dla każdej papierni oraz dla każdego zastosowania. Zwykle wymienniki ciepła są wyposażone w

urządzenia przemywające, utrzymujące powierzchnie w czystości oraz zapobiegające ich zapychaniu się.

Poniżej zestawiono dalsze możliwości odzyskiwania ciepła w papierniach. Możliwość ich zastosowania zależy głównie od źródła włókien, stosowanych procesów i dostępnych, jeszcze niewykorzystywanych źródeł ciepła.

- Wytwórnice masy TMP: odzyskiwanie ciepła z rafinerów masy TMP (zob. punkt 5.3.9);
- Zintegrowane papiernie wytwarzające masę mechaniczną i termomechaniczną: odzyskiwanie ciepła z procesu bielenia (wymiana między ściekami z bielenia i klarownym filtratem z maszyny papierniczej). Filtrat z etapu bielenia ma podwyższoną temperaturę około 55 – 60°C. Ciepło to można odzyskać do podgrzania sklarowanej wody podsitowej z maszyny papierniczej. Może ono zastąpić bezpośrednie użycie pary do podgrzania wody podsitowej. Co do zasady rozwiązanie to można zastosować w wytwórniach masy wykorzystujących włókna wtórne z odbarwieniem i bieleniem [249, Blum i in. 2007]
- Większość rodzajów papieru: wstępne podgrzewanie wody do natrysków przy użyciu odpowiedniego źródła ciepła odpadowego. Na przykład, można odzyskać przy pomocy wymienników ciepła i wykorzystać w tym celu ciepło z kondensatora pary, niewykorzystane ciepło odpadowe z części suszącej maszyny papierniczej lub (w przypadku papierów powlekanych) powietrze odprowadzane z osłony powlekarki .
- Papiernie wytwarzające bibułki tissue: powietrze odprowadzane z okapturzenia cylindra Yankee może się ochładzać, gdy bezpośrednio styka się z klarownym filtratem do procesu wyrobu papierniczego, który trzeba podgrzać. Np. w wieży filtracyjnej ze złożem gorące powietrze z okapturzenia cylindra Yankee może być skierowane w przeciwnym kierunku do klarownego filtratu, który trzeba podgrzać. Można zaoszczędzić parę do podgrzewania wody podsitowej [249, Blum i in. 2007].

Badania z zakresu integracji energetycznej całkiem często ustalają szereg dodatkowych źródeł ciepła, które można by wykorzystać, ale nie dostarczają informacji określających właściwych użytkowników energii. Co do zasady modernizacja układu przesyłu ciepła (np. poprzez zastosowanie pomp ciepła lub termosprężarek – zob. podpunkt 2.9.6.1.2) może zwiększyć zakres odzyskiwania ciepła, umożliwiając użycie ciepła, na przykład, do suszenia mokrych paliw lub osadu i zwiększenia ilości energii uzyskiwanej ze spalania (podpunkt 2.9.6.1.4) .

### **Oddziaływania na procesy i środowisko**

Brak oddziaływań na procesy i środowisko. Działania podjęte w celu zaoszczędzenia energii powinny być oparte na dokładnym bilansie energetycznym całego zakładu z uwzględnieniem schematów przepływu energii i alternatywnych rozwiązań technologicznych. Istnieje silny związek między układami wodnymi i energetycznymi.

### **Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Odzyskiwanie ciepła można prowadzić zarówno w nowych, jak i istniejących instalacjach. Zawsze można stosować wymienniki ciepła do podgrzewania powietrza doprowadzanego pod osłonę. Możliwość wykorzystania odzyskanego ciepła do ogrzewania wody obiegowej (do ogrzewania hali maszyny) lub wody technologicznej zależy od szczególnych cech produkcji i warunków klimatycznych. Z powodu wzajemnego oddziaływania pomiędzy jednostkami układu, można uzyskać optymalny układ odzyskiwania ciepła tylko po przeprowadzeniu analizy całego układu ogrzewania.

### **Aspekty ekonomiczne**

Inwestycje w układy odzyskiwania ciepła mają zwykle krótki okres zwrotu. Odzyskiwanie możliwe jak największej ilości ciepła nie zawsze jest uzasadnione ekonomicznie, co również zależy od ceny energii. Należy zawsze przeprowadzić analizę określonej sytuacji w papierni.

### **Motywacja do wdrożenia**

Oszczędności energii, zmniejszenie ilości powstających skroplin i mgły.

### **Instalacje referencyjne**



Liczne zakłady w Europie.

### **Bibliografia**

[ 249, Blum et al. 2007 ].

## **7.3.16 Środki ograniczania hałasu**

Zob. również punkt 2.9.13.

### **Opis**

W ciągu produkcji papieru występuje wiele źródeł hałasu (zob. podpunkt 7.2.2.8). Z tego powodu wiele papierni monitoruje emisję hałasu, a niektóre z nich prowadzą modelowanie hałasu w celu prognozowania uciążliwości powodowanych przez hałas w pobliżu papierni. Główne źródła hałasu, takie jak wyciągi ciśnieniowe, wentylatory wyciągowe i wyciągi pomp próżniowych, można wyposażać w tłumiki absorpcyjne lub reaktywne. Osłony dźwiękoszczelne wentylatorów wyciągowych stanowią inny skuteczny środek tłumienia hałasu.

W odniesieniu do planowania i eksploatacji instalacji niezbędne środki zapobiegające powstawaniu hałasu należy podjąć już w fazie planowania. Podczas wdrażania środków ograniczania hałasu należy uwzględnić następujące aspekty techniczne:

- otrzymywanie informacji we wczesnej fazie o emisji hałasu przez urządzenia, instalacje i ich części;
- stosowanie maszyn i procesów o niskim poziomie hałasu (ograniczenie hałasu u źródła);
- ograniczenie wytwarzania i przenoszenia hałasu;
- zmniejszenie emisji dźwięku, np. stosowanie tłumików dźwięku, rezonatorów rurowych lub obu rodzajów urządzeń łącznie;
- obudowy dźwiękoszczelne hałaśliwych urządzeń;
- konserwacja maszyn i wyposażenia do izolowania akustycznego.

Punktem wyjścia do ograniczania poziomu hałasu są wymagania odpowiednich organów uzależnione od lokalizacji papierni (odległość do sąsiedztwa, obszaru rekreacyjny lub przemysłowego itp.). Punkty emisji (odniesienia) mogą być zlokalizowane na granicy papierni i/lub w kilku miejscach na obszarze zabudowy mieszkaniowej.

### **Główne korzyści środowiskowe**

Zmniejszenie emisji hałasu i uciążliwości.

### **Oddziaływania na procesy i środowisko**

Tłumiki mogą powodować większe straty ciśnienia powietrza odprowadzanego, co prowadzi do nieznacznego wzrostu zużycia energii elektrycznej przez wentylatory, natomiast to dodatkowe zużycie energii elektrycznej nie jest znaczące.

### **Oddziaływanie na środowisko i dane operacyjne**

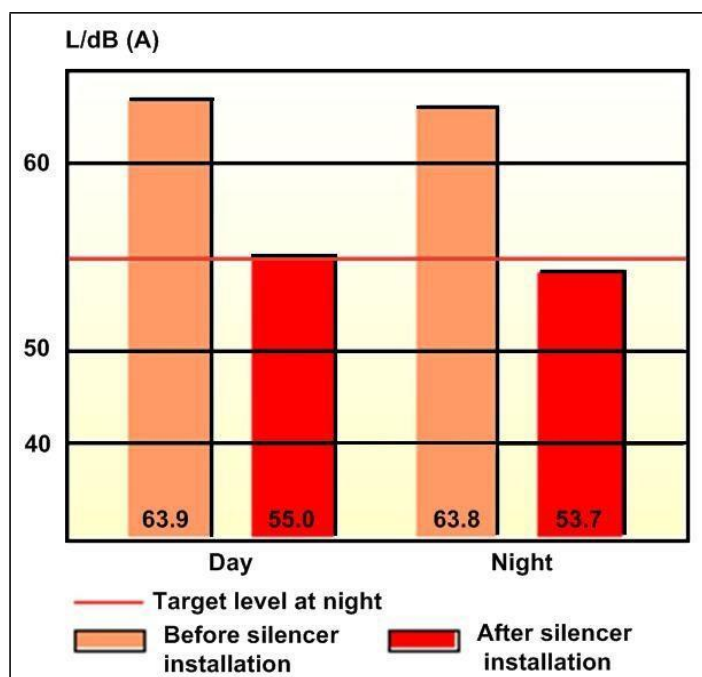
Skuteczne tłumiki ograniczające poziom hałasu zewnętrznego zastosowano w wielu papierniach w Europie. Wymagają konserwacji, obejmującej regularne czyszczenie i wymianę materiału absorpcyjnego (w razie potrzeby), jeśli powietrze odprowadzane wilgoć i pyły.

### **Przykład 1: Montaż tłumików absorpcyjnych (w papierni francuskiej)**

W tym przypadku dopuszczalne poziomy ciśnienia akustycznego skorygowane charakterystyką A w tych rejonach wsi, które graniczą z papiernią, wynoszą 65 dB (A) w dzień i 55 dB (A) w nocy. Pomiarzy źródeł hałasu pokazały, że zamknięte osłony wentylatorów wyciągowych należały do największych

źródeł hałasu. Obliczenia wykazały, że ich wytłumienie o 15 dB (A) wystarczy do uzyskania w punktach odniesienia dopuszczalnego w nocy poziomu hałasu wynoszącego 55 dB (A).

Hałas wentylatora można scharakteryzować jako hałas o szerokim paśmie i dlatego w tym przypadku tłumiki absorpcyjne są odpowiednie. Tłumiki absorpcyjne są skuteczne w przypadku średnich i wyższych częstotliwości. Wentylatory są zlokalizowane na zewnątrz i dlatego również wymagają izolacji dźwiękowej. Na rys. 7.35 pokazano poziomy hałasu przed i po zamontowaniu tłumika w jednym punkcie emisji (z uwzględnieniem izolacji dźwiękowej).

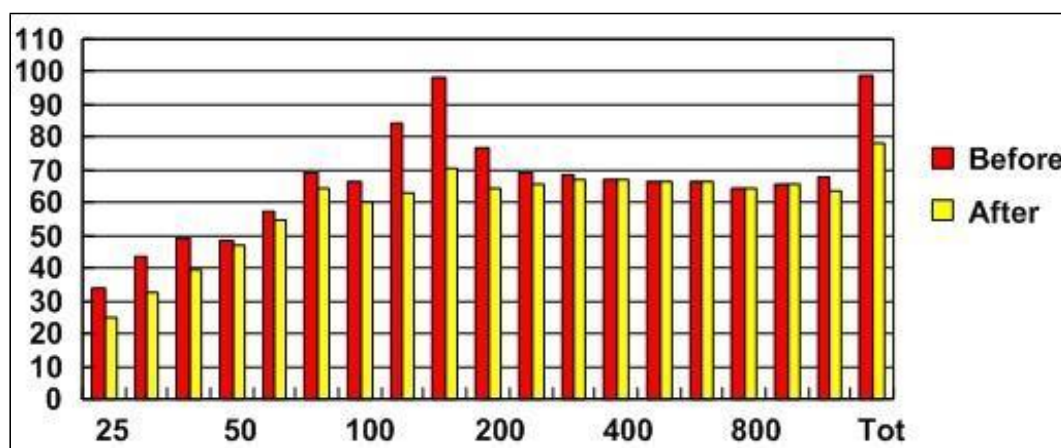


Rysunek 7. 35 Równoważny poziom dźwięku A ( $L_{Aeq}$ ) w jednym punkcie referencyjnym przed i po zamontowaniu tłumika.

L/dB (A)	L/dB (A)
Day	Dzień
Night	Noc
Target level at night	Dopuszczalny poziom hałasu w nocy
Before silencer installation	Przed zamontowaniem tłumików
After silencer installation	Po zamontowaniu tłumików

### Przykład 2: Montaż tłumików reaktywnych (w niemieckiej pielni)

W tym przypadku emisja hałasu z pomp próżniowych maszyny papierniczej powodowała zbyt wysoki poziom hałasu w punkcie odniesienia poza terenem zakładu. Pomiary poziomów ciśnienia akustycznego w odległości 1 m od wylotu pompy próżniowej wykazały szczytowy poziom hałasu dla częstotliwości 160 Hz (zob. rys. 7.36). Poziom ten był wyższy o ponad 10 dB(A) od poziomu dla jakiegokolwiek innej częstotliwości. Tłumiki reaktywne (np. rezonatory rurowe) okazały się skuteczne dla niższych częstotliwości (poniżej 500 Hz) i zostały w tym przypadku zainstalowane. Pomiary po zamontowaniu tłumików pokazały, że szczytowy poziom hałasu został obniżony o około 28 dB (A) i osiągnięto poziom docelowy 26,9 dB (A) w punkcie emisji.



Rysunek 7.36 Tłumienie dźwięku za pomocą rezonatorów rurowych. Poziomy hałas przed i po zamontowaniu tłumików.

Before	Przed
After	Po

Kiedy dopuszczalny poziom hałasu w odległości 1 m od wylotu wentylatorów lub pomp próżniowych jest niższy, należy zastosować jednocześnie tłumiki reaktywne i absorpcyjne. Dla wentylatorów zainstalowanych na zewnątrz należy zamontować specjalne obudowy dźwiękoszczelne.

**Przykład 3: Ogólne ograniczenie hałasu emitowanego przez ciąg maszyn (papiernie w Niemczech i Szwecji)**

Na podstawie punktów emisji (odniesienia) w otoczeniu papierni zapewniono poziom ciśnienia akustycznego  $L_{pA}$  (1 m) = 70 dB(A) w odległości 1 m od każdego źródła hałasu zewnętrznego. Wszystkie dostarczane obecnie w Europie maszyny papiernicze są wyposażone w dużą ilość tłumików. Nowoczesna papiernia w Szwecji wytwarzająca papier satynowany do magazynów i papiernia w Niemczech wytwarzająca niepowlekanie papiery drukowe podlegają tym samym wymaganiom dotyczącym poziomu ciśnienia akustycznego jak określone powyżej.

W tych przypadkach liczba urządzeń tłumiących dźwięki, które zamontowano w celu ograniczenia hałasu zewnętrznego, wynosi 60 – 70 jednostek dla jednej linii produkcyjnej, podobnych do pokazanych na rys. 7.37.

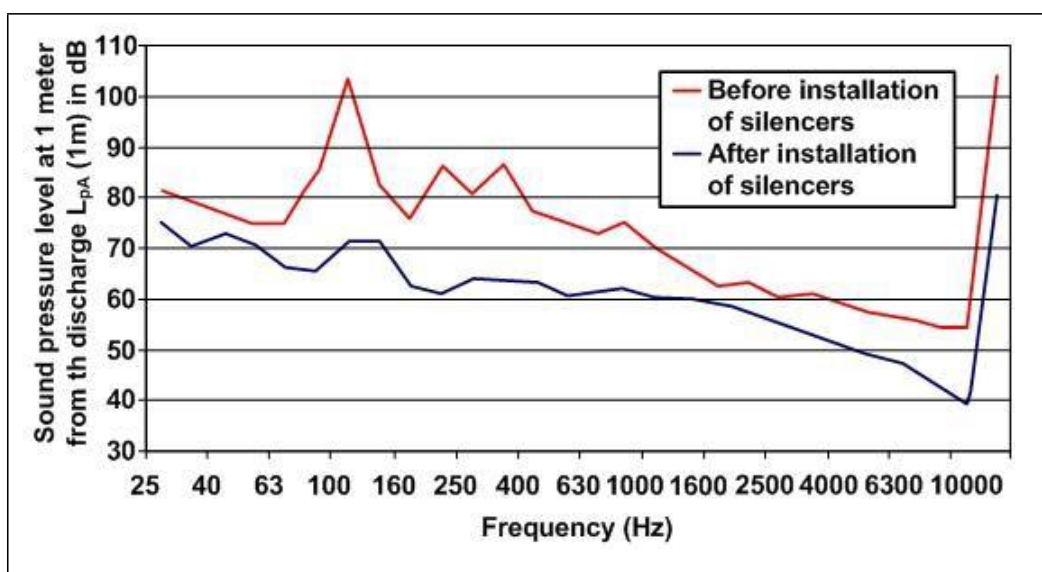


Rysunek 7.37 Tłumiki na dachu papierni.

Dla instalacji wentylacyjnej w części mokrej instaluje się labiryntowe absorpcyjne tłumiki kulisowe, żeby zapewnić skuteczne tłumienie hałasu w szerokim paśmie. Dla instalacji wentylacyjnej innych procesów instaluje się skuteczne tłumiki kulisowe. Bardzo ważne jest to, żeby tłumiki miały drzwiczki zapewniające dostęp w celu czyszczenia i wymiany kulis na miejscu. Dla wyciągów turbodmuchaw emitujących poziom ciśnienia akustycznego  $L_{pA}(1\text{ m}) = 135\text{ dB(A)}$  potrzebne jest bardzo dużo środków tłumiących dźwięk, żeby umożliwić osiągnięcie poziomu  $L_{pA}(1\text{ m}) = 70\text{ dB(A)}$ . W tym celu należy zastosować kombinację absorpcyjnych tłumików kulisowych i reaktywnych wielootworowych rezonatorów rurowych.

**Przykład 4: Tłumienie hałasu emitowanego przez pompy próżniowe (w szwedzkiej pielni)**

Dla pomp próżniowych emitujących szczytowy poziom hałasu dla niskich częstotliwości wymagana jest kombinacja tłumików absorpcyjnych i reaktywnych. W przypadku pielni w Szwecji wytwarzającej papier gazetowy gwarantowaną wielkością był poziom ciśnienia akustycznego  $L_{pA}(1\text{ m}) = 75\text{ dB(A)}$  w odległości 1 m od punktu emisji. Dodatkową gwarantowaną wielkością był maksymalny poziom  $L_p(1\text{ m}) = 103\text{ dB(A)}$  dla częstotliwości 100 Hz of  $L_p(1\text{ m}) = 103\text{ dB(A)}$ . Bez korygowania charakterystyką A gwarantowaną wielkością był poziom  $L_p(1\text{ m}) = 79\text{ dB(A)}$ . W oparciu o pomiary terenowe wymiarowano tłumik reaktywny dla częstotliwości 100 Hz i tłumik kulisowy dla całego zakresu częstotliwości. Na rys. 7.38 przedstawiono zmierzony poziom ciśnienia akustycznego przed i po zamontowaniu tłumików. Znacząco zmniejszono poziom hałasu dla częstotliwości 100 Hz.



Rysunek 7. 38 Tłumienie hałasu emitowanego przez pompy próżniowe za pomocą tłumików.

Sound pressure level at 1 meter from th discharge $L_{pA}$ (1m) in dB	Poziom ciśnienia akustycznego $L_{pA}$ (1m) w dB w odległości 1 m od punktu emisji
Before installation of silencers After installation of silencers	Przed zainstalowaniem tłumików Po zainstalowaniu tłumików
Frequency(Hz)	Częstotliwość (Hz)

**Kwestie techniczne mające wpływ na możliwość zastosowania techniki**

Środki tłumienia hałasu zewnętrznego można stosować zarówno w nowych, jak i istniejących zakładach. Różnią się głównie procedurą określania bieżących i wymaganych poziomów hałasu.

W przypadku istniejących maszyn procedura tłumienia rozpoczyna się od pomiarów poziomu hałasu w punktach imisji (odniesienia) na obszarach zabudowy mieszkaniowej. Pomiary będą dalej wykonywane w zakładzie, aby ustalić najbardziej krytyczne źródła hałasu. Wielkość tłumików ustala się na podstawie zarówno pomiarów, jak i obliczeń.

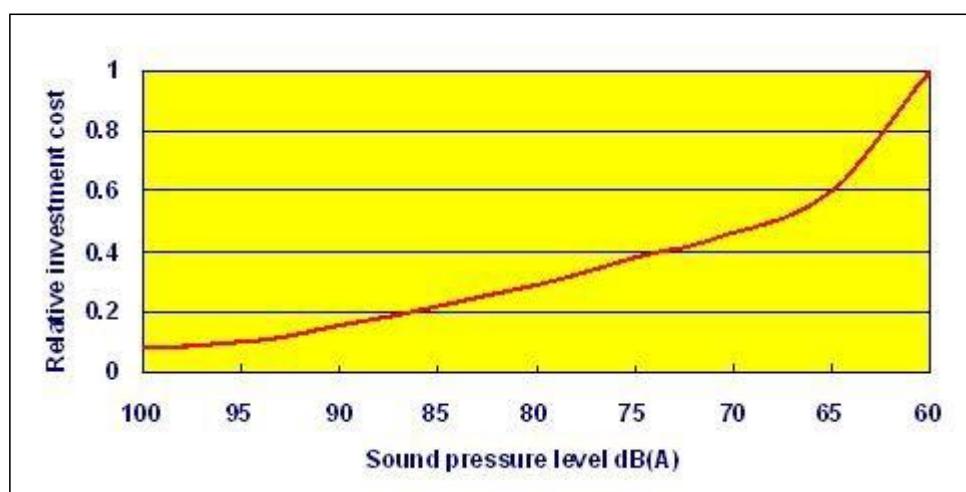
W nowych instalacjach poziomy mocy akustycznej są oparte na danych dostarczonych przez dostawcę urządzenia (zgodnie z normami od ISO 3740 do ISO 3747 dla maszyn lub ISO 8297 dla instalacji przemysłowych). Obliczenia spodziewanych poziomów hałasu w punktach imisji w określonej odległości wykonywane są za pomocą programów komputerowych dla rozchodzenia się hałasu, np. zgodnie z normą DIN ISO 9613-2:1999, oceniających emisje ze wszystkich istotnych źródeł hałasu. Ograniczenia miejsca i obecnie rozplanowanie zakładu mogą ograniczać możliwość zastosowania rozwiązań lub prowadzić do opracowania nieco innych rozwiązań.

### Aspekty ekonomiczne

Bardzo trudno jest podać dokładne dane dotyczące kosztu urządzeń służących do ograniczania hałasu, ponieważ zależą one od wielkości papirni, rodzaju produkowanego papieru, prędkości maszyny itp. Ogólny koszt ograniczania hałasu (zewnętrznego i wewnętrznego) w ciągu produkcji papieru jest szacowany na poziomie 0,5% kosztów inwestycyjnych maszyn lub może być nawet wyższy, zależnie od docelowych poziomów hałasu.

Koszty ograniczania hałasu zewnętrznego emitowanego przez maszynę papierniczą wynoszą od 0,2 do 0,4 mln euro w zależności od poziomu docelowego i zakresu dostawy.

Na rys. 7.39 przedstawiono względne koszty ograniczania hałasu zewnętrznego. Jeśli docelowy poziom ciśnienia akustycznego zostaje obniżony z 85 dB(A) do 75 dB(A), koszty się podwajają.



Rysunek 7. 39 Względne koszty ograniczania hałasu zewnętrznego.

Relative investment cost	Względne koszty inwestycyjne
Sound pressure level dB(A)	Poziom ciśnienia akustycznego dB(A)

### Motywacja do wdrożenia

Wymagania dotyczące ograniczania hałasu przeważnie wynikają z obowiązkowych poziomów ustalonych przez władze dla punktów imisji (odniesienia) w społecznościach lokalnych lub na granicach papirni. Dla dostawców maszyn wielkościami gwarantowanymi są poziomy hałasu w punktach imisji (odniesienia) albo poziom mocy akustycznej lub ciśnienia akustycznego u źródeł hałasu.

Oficjalne wymagania w różnych krajach oraz dyrektywy UE spowodowały zaostrzenie wymagań dotyczących zapobiegania emisji hałasu już w fazie projektowania maszyny papierniczej. Określiły również normy hałasu dla istniejących urządzeń i ograniczania hałasu zewnętrznego. W zależności od rodzaju obszaru narażonego na hałas z papierni, w celu zapobiegania szkodliwemu wpływowi hałasu na otoczenie muszą być przestrzegane jego określone poziomy.

### **Instalacje referencyjne**

W wielu zakładach w Europie wdrażane są ogólne środki ograniczania hałasu. W większości europejskich papierni stosowane są różne typy, konstrukcje oraz ilości tłumików.

## 7.4 Nowo powstające techniki

W tym podrozdziale omówiono niektóre obiecujące techniki, których (jeszcze) nie uważa się za BAT ze względu na etap ich rozwoju. Niemniej jednak, w stosownym czasie mogą one zostać uznane za BAT i dlatego opisano je zwięźle tutaj. Należy zauważyć, że celem opisu obiecujących technik w tym podrozdziale nie jest przedstawienie kompletnego przeglądu wszystkich nowych istotnych rozwiązań. Rozwój technologii w przemyśle papierniczym determinuje zmniejszona rentowność. Wyższe koszty czynników produkcji i zmniejszające się ceny sprzedaży wymagają rozwiązań nowej generacji, które stanowią reakcję na rosnącą konkurencję ze strony mediów elektronicznych i tworzyw sztucznych oraz obaw społeczeństwa dotyczących zmian klimatu, dostępności wody i energii oraz zrównoważonego rozwoju.

### Wprowadzenie

Najnowsze rozwiązania i przewidywane technologie pokazują, że papiernie przyszłości będą prawdopodobnie miały następujące cechy:

- wyższa efektywność energetyczna;
- zmniejszone oddziaływania na środowisko (emisje do powietrza, wody i gleby, odory i hałas);
- nowe własności włókien;
- przetwarzanie w celu uzyskania wysokiego stężenia masy;
- nowoczesne metody sterowania;
- nowe koncepcje zwiększenia wartości dodanej produktu.

Mogą powstać skuteczne nowatorskie technologie dla wszystkich części ciągu maszyny papierniczej. W tabeli 7.33 przedstawiono w zarysie przykłady tematyki prac badawczo-rozwojowych.

Tabela 7. 33 Nowo powstające techniki do zastosowania w ciągu maszyny papierniczej.

Proces	Wyższa efektywność energetyczna	Zmniejszone zużycie wody	Wartość dodana
<b>Procesy rozczyniania</b>			
Nowe rozczynianie mechaniczne	+++	0	+
Przetwarzanie włókien wtórnych w celu poprawy jakości	+	0	++
Skuteczna technologia mycia masy	+	+++	++
Enzymy (np. użycie esterazy do zmniejszenia wielkości i kleistości substancji lepkich)/ biochemikalia	++	+	++
<b>Przygotowanie masy</b>			
Metody frakcjonowania w celu podniesienia wartości masy	+	0	++
Wewnętrzne uzdatnianie wody	-	+++	++
Metody modyfikacji włókien	+	0	+++
Przetworzenie w celu uzyskania wyższego stężenia	+	++	0
<b>Wyrób papieru</b>			
Nowe techniki formowania wstęgi	++	++	+
Uproszczona konstrukcja prasy typu „shoe”	+	+	++
Suszenie uderzeniowe	-	0	++
Użycie wody chłodzącej jako wody technologicznej	++	+++	0
Rozszerzenie zakresu zawracania wody do procesu/sterowania nią	-	++	+
Uproszczenie układów w celu zwiększenia płynności działania maszyny	+	0	0
Wielowarstwowe technologie formowania	++	-	++
Technologie formowania papieru o wysokim stężeniu	++	++	++
<b>Wykończanie</b>			
Powlekanie kurtynowe	+	0	++
Powlekanie natryskowe	+	0	++
Kalander z taśmą metalową	+	0	++
Środek zaklejający z wysoką zawartością suchej masy	+	+	++
Powlekanie proszkowe	++	+	++
<b>Różne</b>			
Napędy bezpośrednie	++	0	0
Bardziej precyzyjne wymiarowanie	++	+	0
Odzyskiwanie ciepła pompami ciepła	++	0	0
Nowoczesne metody sterowania	++	++	++
Materiały o niskim współczynniku tarcia	++	+	0
Nowy układ próżniowy	+++	+	0
<i>Źródło:</i> M.Karlsson, UPM, 2010			
<b>Objaśnienia:</b>			
+++ = duży efekt pozytywny; ++ = średni efekt pozytywny; + = efekt pozytywny; 0 = brak efektu; - = efekt negatywny			
<b>W krótkim okresie</b>		<b>W średnim okresie</b>	<b>W długim okresie</b>



Szczególny nacisk będzie kładziony na zapewnienie wyższej efektywności energetycznej, mniejszych oddziaływań na środowisko i nowych cech produktów. Jednakże, technologie te będą rozwijać się z uwzględnieniem różnych koncepcji biorafinerii. Wzrośnie zainteresowanie różnymi procesami mającymi na celu produkcję paliw transportowych i chemikaliów z biomasy. W przyszłości papiernie staną się zakładami wytwarzającymi wiele produktów (zob. podrozdział 2.1).

Dynamiczna symulacja oraz narzędzia integracji całego zakładu pomogą w nowy sposób kompleksowo zoptymalizować zarządzanie procesem technologicznym w papierni. Automatyzacja oraz „inteligentne” rozwiązania będą coraz częściej stosowane w maszynach papierniczych i staną się ich integralnym elementem. Na przykład czujniki pomogą przewidywać własności papieru za pomocą kilku odpowiednich pomiarów, co umożliwi szybkie i sprawne sterowanie procesem, np. w przypadku zmiany rodzaju papieru. Produkcja na maszynach szybkobieżnych wymaga nowych metod pomiaru. Oprócz pomiarów stężenia i przepływu wykonywane będą bezpośrednie analizy chemiczne dla potrzeb optymalizacji procesu technologicznego.

Koszty inwestycyjne nowych, bardziej kompleksowych technologii stanowią znaczący czynnik decydujący o rentowności papierni, który działa na korzyść dużych papierni. Wzrost sprawności i zmniejszanie emisji są ze sobą ściśle powiązane. Technologie oczyszczania wody będą coraz bardziej złożone. Wdrożenie i odpowiednie utrzymanie tych technik stanowi wyzwanie dla mniejszych papierni.

W kolejnych punktach zostaną omówione niektóre z nowo powstających technik ograniczenia zużycia surowców oraz obniżenia poziomu emisji. Techniki te są nadal w fazie opracowywania. Niektóre z nich są obecnie przedmiotem badań, ponieważ stwarzają obiecujące perspektywy dla ich wykorzystania w przyszłości, a inne już pracują w kilku instalacjach na skalę przemysłową.

Podane informacje zawierają krótki opis techniki, ocenę stanu zaawansowania rozwoju, korzyści dla środowiska, oddziaływanie na środowisko, aspekty ekonomiczne, jeśli już są dostępne dane oraz bibliografię.

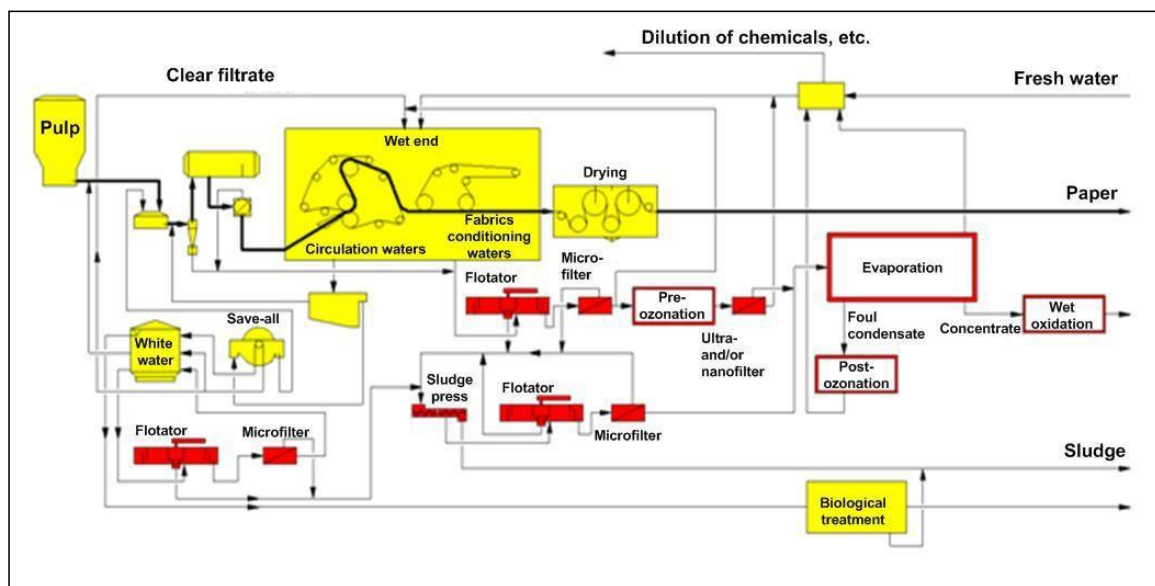
#### **7.4.1 Papiernie o minimalnej ilości ścieków – zoptymalizowana konstrukcja obiegów wodnych i zaawansowane technologie oczyszczania ścieków**

##### **Opis**

Zaawansowane technologie oczyszczania ścieków w przemyśle celulozowo-papierniczym koncentrują się głównie na dodatkowych membranowych reaktorach biologicznych, membranowych technikach filtracji takich jak: mikro-, ultra- lub nano-filtracja, oczyszczaniu ozonem i odparowaniu. Z powodu względnie ograniczonego zastosowania w skali przemysłowej, niekiedy stosunkowo wysokich kosztów oraz większej złożoności procesu oczyszczania ścieków, obecnie w skali przemysłowej pracuje tylko kilka instalacji oczyszczania III stopnia tych ścieków.

Techniki te można by stosować w szczególności do oczyszczania w ramach procesu jako tzw. „nerki” w celu wyeliminowania substancji, które mają negatywny wpływ na wydajność produkcji lub jakość papieru.

Na rys. 7.40 przedstawiono przykład możliwego wewnętrznego oczyszczania wody technologicznej i jej zwracania do procesu, obejmującego filtrację membranową, ozonowanie i odparowanie.



Rysunek 7. 40 Przykład możliwego wewnętrznego oczyszczania wody technologicznej.

Clear filtrate	Klarowny filtrat
Pulp	Masa
Wet end	Część mokra
Circulation waters	Woda obiegowa
Fabrics conditioning waters	Woda z kondycjonowania suszników
White water	Woda podsitowa
Save-all	Wyławiacz
Flotator	Flotator
Microfilter	Mikrofiltr
Sludge press	Prasa do osadu
Flotator	Flotator
Microfilter	Mikrofiltr
Pre- ozonation	Wstępne ozonowanie
Drying	Suszenie
Dilution of chemicals, etc.	Rozcieńczanie chemikaliów itd.
Fresh water	Woda świeża
Paper	Papier
Evaporation	Wyparka
Ultra- and/or nanofilter	Ultra- i/lub nanofiltr
Foul condensate	Zanieczyszczony kondensat
Concentrate	Koncentrat

Wet oxidation	Utlenianie na mokro
Post- ozonation	Ozonowanie wtórne
Sludge	Osad
Biological treatment	Oczyszczanie biologiczne
Source: [ 26, Edelman et al. 1997 ]	Źródło: [ 26, Edelman i in. 1997 ]

### Stan rozwoju

Techniki te zastosowano w skali przemysłowej tylko w kilku instalacjach na świecie. W zależności od zastosowanej techniki wciąż występują problemy z eksploatacją i względnie wysokie koszty. Niedawno uzyskano więcej doświadczenia w zakresie technik ultrafiltracji. Ultrafiltracja czystych filtratów skutecznie usuwa zawieszoną część stałą, bakterie i ekstrakty lipofilne, tak że można zastąpić uzyskanym permeatem wodę świeżą w dozowaniu chemikaliów i w natryskach maszyny papierniczej. Zgłoszono, że w wytwórni masy mechanicznej ultrafiltracja ograniczyła bielenie i zużycie chemikaliów w części mokrej oraz zapewniła lepszą płynność działania maszyny i wyższą jakość papieru [143, T.Sutela i in. 2006].

Jednakże, techniki te należy poważnie rozważyć podczas budowy nowych papierni lub modernizacji albo zwiększania wydajności istniejących papierni. Techniki zwiększonego zawracania wody do procesu można również stosować w celu ograniczenia zużycia wody świeżej w istniejących papierniach bez całkowitego zamknięcia obiegu wody. Oczekuje się, że techniki te w niedalekiej przyszłości będą coraz częściej stosowane w przemyśle papierniczym. Istnieje tendencja do rezygnacji oczyszczania „na końcu rury” na rzecz oczyszczania częściowych strumieni wody technologicznej w ramach procesu. Można oczekiwać, że pionierami stosującymi te techniki będą zakłady zlokalizowane blisko odbiorników ścieków, które muszą spełniać bardzo rygorystyczne wymagania lub kiedy nie można w żadnym zakresie zwiększyć ładunku zanieczyszczeń odprowadzanego do wód. Jeśli takie papiernie zamierzają zwiększyć moce produkcyjne, to muszą zastosować jedną lub kilku w wyżej wymienionych technik.

Stan technik oczyszczania wód obiegowych w przemyśle papierniczym można podsumować w następujący sposób:

- Filtry do wyławiania włókien (często stosowana technika). Można zwiększyć ilość uzyskiwanego superklarownego filtratu do ponownego wykorzystania, np. poprzez zastosowanie mikrofiltrów.
- Flotacja (sprawdzona w skali przemysłowej).
- Prasy myjące (sprawdzone w skali przemysłowej).
- Technika odwadniania odrzutów i osadu (sprawdzona w skali przemysłowej)
- Oczyszczanie biologiczne w ramach procesu technologicznego (zrealizowano pierwsze zastosowania w przemyśle) z (częściowym) zawracaniem do procesu oczyszczonej wody technologicznej; w niektórych przypadkach stosowane razem z zespołem dekarbonizacji.
- Filtracja wstępna + filtracja membranowa (ultra i nanofiltracja) (zrealizowano pierwsze zastosowania przemysłowe).
- Filtracja wstępna + odparowanie (zrealizowano pierwsze zastosowania przemysłowe). Jeśli wodę świeżą zastępuje woda z odparowania, to prawdopodobnie nie będzie to miało wpływu na chemizm procesu, ani też na wytwarzanie papieru.
- Ozonowanie (co najmniej trzy zastosowania w przemyśle europejskim). Jeśli wodę świeżą zastępuje częściowo uzdatniona woda, może to powodować gromadzenie się szkodliwych substancji. Na przykład, nieorganiczne sole nie są usuwane i mogą wchodzić w reakcje z chemikaliami stosowanymi w procesie i wyposażeniem. Te potencjalne skutki należy kontrolować i poszerzać wiedzę na temat wymaganej jakości wody.
- Enzymatyczne oczyszczanie wody technologicznej (w fazie badań).

### Konsekwencje dla środowiska

Celem zaawansowanych technologii oczyszczania ścieków/wód technologicznych jest zwykle usunięcie zanieczyszczeń, które nie zostały usunięte za pomocą zwykłego oczyszczania biologicznego, jak np. oczyszczania metodą osadu czynnego. Takimi zanieczyszczeniami są resztkowe ChZT, barwa, biogeny lub zawiesina cząstek stałych. Zaawansowane procesy oczyszczania wód pozwalają uzyskać wodę o wysokiej jakości. W konsekwencji istnieje większa szansa ponownego wykorzystania „ścieków” w procesie jako wody świeżej. W ten sposób zaawansowane procesy oczyszczania wód mogą przyczyniać się do dalszego zamknięcia obiegów wodnych. Mogą być jednak także stosowane do uzyskania niższych ładunków w ściekach odprowadzanych do odbiornika.

Bardzo często znaczny wzrost mocy produkcyjnych papierni zachęca do poszukiwania nowych rozwiązań technicznych zapewniających mniejszy poziom zanieczyszczeń. Niektóre władze w Europie wymagają, żeby ilość ścieków i odpadów z zakładów, które zamierzają zwiększyć moce produkcyjne, nie przekraczała poziomu sprzed inwestycji. Oznacza to, że należy opracować nowe metody zmniejszenia zużycia wody świeżej oraz ograniczenia ilości odpadów stałych.

#### **Aspekty ekonomiczne**

Brak danych.

#### **Bibliografia**

[ 26, Edelmann i in. 1997 ], [ 143, T.Sutela i in. 2006 ].

### **7.4.2 Wyrób papieru z gęstej masy (przetwarzaniu przy małej ilości wody)**

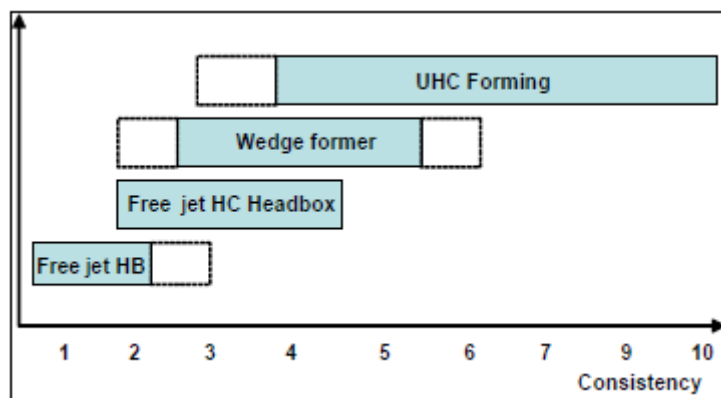
#### **Opis**

W najnowocześniejszym procesie wyrobu papieru produkty papierowe formuje się z zawiesiny wodnej o niskim stężeniu (około 0,6 – 1,0%) składającej się z włókien, wypełniaczy i chemikaliów. Zawiesinę tę przepompowuje się przez wlew, który rozprowadza ją na sicie z tworzywa sztucznego. Dzięki złożonej konstrukcji wlewu, tworzą się wystarczające warunki turbulentne przepływu, utrzymujące jednorodność zawiesiny papierniczej podczas późniejszego procesu odwadniania. Z powodu niskiego stężenia trzeba użyć chemikaliów, żeby zwiększyć retencję składników masy na papierze. Odzyskiwanie niezatrzymanego materiału i wody wymaga zużycia bardzo dużej ilości energii oraz licznych operacji jednostkowych i urządzeń technologicznych.

Z tego powodu, zwiększenie stężenia masy oznaczałoby postęp technologiczny w papiernictwie. Oczekuje się, że użycie gęstej masy w krótkim obiegu będzie wymagało zużycia o 50% mniej energii i o 30% mniej energii próżni, a kapitałochłonność procesu zmniejszyłaby się o 30%. Dzięki lepszej retencji, zmniejszyłoby się także zużycie chemikaliów i ładunek zanieczyszczeń odprowadzany z procesu do środowiska.

#### **Stan rozwoju**

Pierwsze badania nad zwiększeniem stężenia formowanej masy przeprowadzono w latach 80-tych XX wieku, np. w Finlandii, ale nie zakończyły się one pełnym sukcesem. W wyniku wczesnych badań uzyskano wstęgę o niewystarczającej jakości na skutek trudności z utrzymaniem dostatecznie turbulentnych warunków podczas odwadniania wstęgi. Jednakże, w ostatnich latach dokonano znacznego postępu dzięki zintegrowaniu wlewu i odwadniania (zob. rys. 7.41). Obecny możliwy zakres eksploatacji aktualnych maszyn będzie można najprawdopodobniej rozszerzyć poprzez optymalizację całego procesu, np. surowców, maszyn, tkanin i chemikaliów. Jednakże, może to prowadzić do trudności w odwadnianiu lub płynności działania maszyny papierniczej. Niedawne badania pokazały, że poważne trudności, które trzeba pokonać, są związane z fluidyzacją i sortowaniem gęstej masy włóknistej.



Rysunek 7. 41 Typowe stężenie w wlewie stosowane we wczesnych badaniach nad formowaniem gęstej masy.

Free jet HB	Wlew o swobodnym strumieniu
Free jet HC Headbox	Wlew o swobodnym strumieniu z gęstą masą
Wedge former	Former klinowy
UHC Forming	Formowanie ultragęstej masy
Consistency	Stężenie

Przełom w wyrobie papieru z gęstej masy wymagałby nowej technologii, w ramach której obecne operacje jednostkowe, tj. wlew, odwadnianie i prasowanie, zostałyby zintegrowane, tworząc zwartą strukturę, zapewniającą wyrób pożądanych rodzajów papieru z gęstej masy włóknistej. Jak pokazują wyniki niedawnych badań, wyrób papieru z gęstej masy można uznać za możliwy w następstwie jego dalszego rozwoju.

Wyrób papieru z gęstej masy wymagałby jej wysokiego stężenia podczas doprowadzenia do wlewu, w krótkim obiegu, w czasie procesów fluidyzacji i odwadniania. Należy dokonać postępu w zakresie mieszania włókien i chemikaliów oraz sortowania, usuwania powietrza, fluidyzacji i odwadniania masy włóknistej, a także w zakresie sterowania procesem. Jednym z kluczowych zadań w zakresie sterowania procesem jest wiarygodny system pomiarów procesu, w tym, między innymi, własności wstęgi.

Modelowania będzie wymagało wymiarowanie procesu oraz analiza i określenie optymalnej koncepcji procesu. Jednym z głównych problemów jest stabilność procesu. W odniesieniu do kontroli surowców użycie czujników wizyjnych i nowych technik pomiaru umożliwi identyfikację własności materiałów wprowadzanych do procesu, a przez to dokonanie dostatecznego postępu w zakresie optymalizacji i sterowania procesem. Ogólna dynamiczna analiza systemowa wykorzystania energii przy użyciu symulacji i optymalizacji przyniesie rozwiązania zmniejszające straty energii w porównaniu z osiągalnymi rezultatami nowoczesnej analizy stanu ustalonego, np. metody pinch point. Dzięki dynamicznemu zharmonizowaniu jednostek produkcyjnych, można radykalnie ograniczyć ilość pośrednich elementów buforowych. Przyniesie to poważne oszczędności energii w systemach produkcyjnych, np. dzięki ograniczeniu zakresu pompowania oraz zarówno energii, jak i kapitału w nowych i przebudowanych systemach produkcyjnych.

### Konsekwencje dla środowiska

Woda świeża jest wprowadzana do procesu produkcji z gęstej masy jako woda do natrysków i woda do rozcieńczania chemikaliów, dokładnie tak jak w nowoczesnych procesach. Żeby ograniczyć do minimum użycie wody świeżej, strumienie odprowadzane z sortowania i odzyskiwania włókien powinny mieć małą objętość, a połączenie formera i zespołu odzyskiwania włókien powinno zapewnić wysokiej jakości wodę obiegową o bardzo niskim zawartości cząstek stałych oraz substancji rozpuszczonych i koloidowych (DisCo).

Oczekuje się, że formowanie produktów papierowych z gęstej masy będzie wymagać nowych innowacyjnych rozwiązań technologicznych, które znacząco zmniejszą zużycie energii i wody w procesach wyrobu papieru. Wyrób papieru z gęstej masy zmniejszy koszty pompowania, zwiększy retencję włókien przy użyciu mniejszej ilości chemikaliów i uprości proces w części mokrej. Łącznie z zamkniętym obiegiem wody i wyższą temperaturą procesu, formowanie wstęgi z gęstej masy może doprowadzić do dramatycznego zmniejszenia zużycia energii przez linię produkcyjną.

### Aspekty ekonomiczne

System wysokostężeniowy tworzy nową platformę dla produkcji wielu różnych rodzajów papieru i tektury, która będzie oznaczać zmianę paradygmatu w produkcji papieru. Prowadzone są obecnie badania w skali pilotażowej nad wyrobem papieru z gęstej masy.

Narzędzia modelowania i symulacji będą stanowić integralną część prac rozwojowych zarówno na poziomie jednostkowego procesu, jak i na poziomie analizy mającej ustalić, jak zmieni się konstrukcja papieru w wyniku formowania papieru z gęstej masy. Podczas opracowywania modeli i metod sterowania procesem formowania zostaną zastosowane nowe techniki pomiaru. Wyrób papieru z gęstej masy zapewni znaczącą przewagę europejskim zakładom celulozowo-papierniczym, ponieważ taki system może zmniejszyć nie tylko energię, ale również użycie dodatków chemicznych. Wyrób papieru z gęstej masy dobrze integruje się z zamkniętym obiegiem wody i nowymi technikami odzyskiwania ciepła oraz metodami obróbki powierzchni papieru. Ponadto, będzie można wytwarzać nowe rodzaje produktów [ Uwagi CEPI D1].

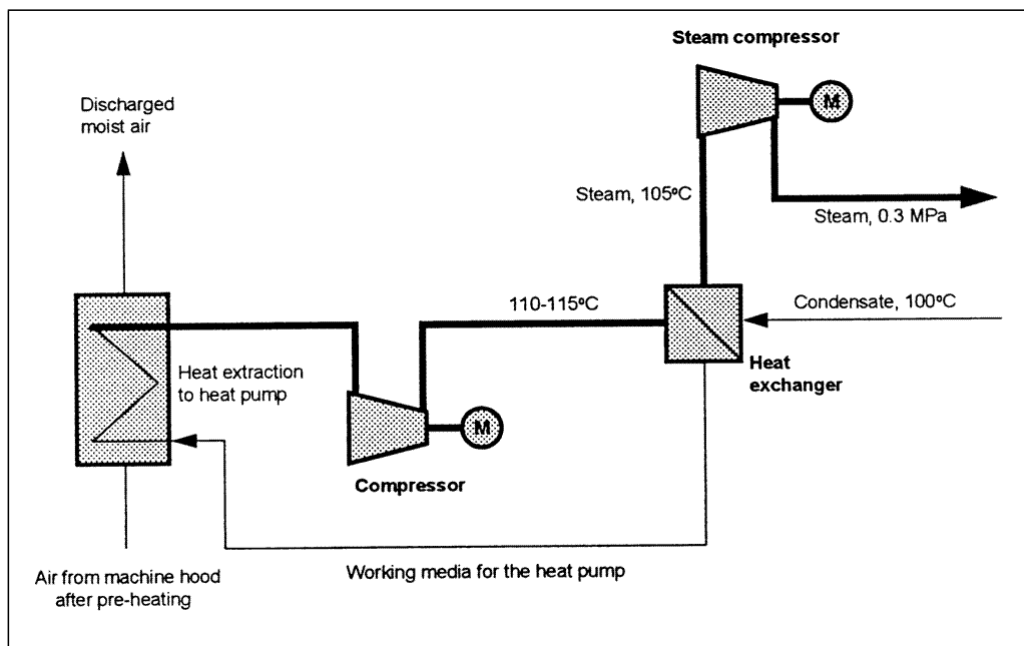
### Bibliografia

1. Waris, T. Sakeamassarainaus, Paperija ja Puu- paper and Timber 3.1998, str. 213 i nast. (w języku fińskim) (1988).
1. Maleshenko, A., Ilmoniemi, E., Kaasalainen, H. Web-forming Unit of a Paper or Board Machine. WO 2006120294 (A1), 2008.
2. Gullichsen, J., Ilmoniemi, E., Kaasalainen, H. and Manninen, T., A Method for Feeding high-consistency Pulp to a Formation Support and high-consistency Headbox, WO 2009063135 (A1), 2009.

## 7.4.3 Odzyskiwanie ciepła za pomocą pomp ciepła

### Opis

Pomp ciepła używa się do pompowania ciepła z jednego ośrodka (np. powietrza) do innego (np. wody.) Na rys. 7.42 przedstawiano przykład stosowania pompy ciepła dla maszyny papierniczej. Źródłem ciepła jest wilgotne powietrze z dla maszyny papierniczej.



Rysunek 7. 42 Układ z pompą ciepła do wytwarzania pary technologicznej.

Discharged moist air	Odprowadzane wilgotne powietrze
Heat extraction to heat pump	Pobieranie ciepła przez pompę ciepła
Air from machine hood after pre-heating	Powietrze z okapturzenia maszyny po wstępnym podgrzewaniu
Compressor	Sprężarka
Working media for the heat pump	Czynnik roboczy pompy ciepła
Steam, 105°C	Para 105°C
Steam compressor	Sprężarka parowa
Steam, 0.3 MPa	Para 0,3 MPa
Condensate, 100°C	Kondensat 100°C
Heat exchanger	Wymiennik ciepła

### Stan rozwoju

W przemyśle celulozowo-papierniczym pompy ciepła mają wiele zastosowań, ale wysokie koszty inwestycyjne ograniczają wykorzystanie tego rodzaju urządzeń. Ponadto, problemy środowiskowe związane z konwencjonalnymi czynnikami roboczymi dodatkowo utrudniają wykorzystanie pomp ciepła pomimo ich korzystnej termodynamiki.

### Konsekwencje dla środowiska

Na przykład, odprowadzane wilgotne powietrze może mieć temperaturę 105°C przy temperaturze rosy 61°C. W takim przypadku pompa ciepła może wytwarzać ciepło odpowiadające 750 kWh/t lub 2,7 GJ/t za pomocą tylko 1/3, czyli 250 kWh/t mocy zużywanej przez silniki sprężarki. Wynika to z całkiem typowej wartości współczynnika sprawności równej 3.

### Aspekty ekonomiczne

Potencjał tej techniki jest duży, ale ilość instalacji faktycznie pracujących w przemyśle celulozowo-papierniczym jest mała z powodu kosztów inwestycyjnych oraz wspomnianych trudności z

odpowiednimi czynnikami roboczymi. Ponieważ jest to technika konwencjonalna, potrzebny jest przełom wynikający z odkrycia lub opracowania nowych odpowiednich czynników, a także bardziej efektywnych kosztowo urządzeń, zwłaszcza sprzęzarek.

### **Bibliografia**

[ Raport SEPA 4713-2.1997]

## **7.4.4 Narzędzia integracji całego zakładu**

### **Opis**

Ze względu na stopień złożoności procesu wyrobu papieru, rozwój technologiczny w tym sektorze jest realizowany stopniowo. Złożoność procesu technologicznego można zilustrować przykładem wykorzystania wody. Zwiększone zawracanie wody do obiegu będzie prowadzić do zmiany chemizmu procesu, obniżenia zakresu wykorzystania ciepła wtórnego, zmiany gospodarki wodnej, nowych strumieni odrzutu, zmian procesu oczyszczania ścieków, zwiększonego zużycia energii elektrycznej i zmniejszonego zużycia ciepła. Natomiast na zużycie energii ma także wpływ prędkość produkcji i stan rozwoju operacji jednostkowych maszyny papierniczej. Wybór technologii procesu będzie miał wpływ na bilans energetyczny w papierni. Można wyciągnąć wniosek, że inteligentne rozwiązania technologiczne w przyszłości będą starały się połączyć cały układ energii - wody - włókien - chemikaliów w celu odpowiedniego zintegrowania całego procesu wytwórczego.

### **Stan rozwoju**

W fazie rozwoju znajduje się szereg narzędzi komputerowych umożliwiających analizę złożonych układów, z uwzględnieniem skutków oddziaływań na procesy i środowisko (pozycje 1-9). Przeprowadzono także pierwsze badania analityczne w zintegrowanych papierniach. Należy jednak zauważyć, że narzędzia integracji całego zakładu nie wykluczają całkowicie potrzeby przeprowadzania badań w instalacji pilotażowej.

### **Konsekwencje dla środowiska**

Kluczową kwestią jest opracowanie procesów i rozwiązań technologicznych dla papierni umożliwiających obniżenie emisji do atmosfery i wody oraz jednocześnie ograniczenie powstawania odpadów stałych i zużycia energii. Nowy proces powinien spełnić wymagania dotyczące lepszej jakości papieru i płynności eksploatacji oraz lepszego zarządzania procesem. Wymaga to lepszego poznania przebiegu procesów. Należy także zidentyfikować zmiany procesu spowodowane zastosowaniem nowych technik, tak żeby opracować odpowiednią dla niego technologię.

Jest więc oczywiste, że nowe narzędzia optymalizacji procesu mogą wspomagać rozwój przyszłych procesów produkcji papieru. Niektóre narzędzia komputerowe obejmują następujące kwestie lub funkcje:

1. informacje o stężeniach zanieczyszczeń w różnych fazach procesu;
2. modele zachowania się zanieczyszczeń;
3. parametry technologiczne dla metod oddzielania i oczyszczania;
4. metody optymalizacji koncepcji oczyszczania ścieków z uwzględnieniem stężenia i zachowania się zanieczyszczeń;
5. identyfikacja źródeł ciepła i urządzeń je pochłaniających;
6. metody optymalizacji wykorzystania ciepła poprzez staranną integrację procesu;
7. informacje o emisji z nowo projektowanej papierni do powietrza i odbiorników ścieków oraz o wytwarzaniu odpadów stałych;
8. szczegółowe zaprojektowanie procesu na podstawie wybranych rozwiązań;
9. metody analizowania i zwiększania płynności eksploatacyjnej procesu.

### **Aspekty ekonomiczne**

Brak danych. Oprogramowanie narzędzi integracji całego zakładu nie jest dużą inwestycją, lecz wymaga poświęcenia przez wykwalifikowanych pracowników wielu godzin pracy na dostosowanie oprogramowania do charakterystyki papierni.



**Bibliografia**

[ 27, Edelmann i in. 1999 ].

## 8 NAJLEPSZE DOSTĘPNE TECHNIKI (BAT) – KONKLUZJE

### Zakres

Poniższe konkluzje z obszaru BAT dotyczą działalności wyszczególnionej w sekcjach 6.1 (a) i 6.1 (b) Załącznika I do Dyrektywy 2010/75/UE, tj. zintegrowanej i niezintegrowanej produkcji w instalacjach przemysłowych:

- (a) pulpy drzewnej lub innych materiałów włóknistych
- (b) papieru lub tektury o wydajności przekraczającej 20 ton dziennie.

Konkluzje te dotyczą w szczególności niżej wymienionych procesów, obszarów działania i urządzeń:

- (i) pulpowania chemicznego:
  - (a) procesu siarczanowego
  - (b) procesu siarczynowego
- (ii) pulpowania mechanicznego i chemo-mechanicznego
- (iii) przetwarzania papieru w ramach recyklingu z odbarwianiem lub bez
- (iv) wytwarzania papieru i powiązanych z tym procesów
- (v) wszystkich kotłów odzysknicowych i pieców wapienniczych używanych w papierniach i celulozowniach.

Niniejsze konkluzje z obszaru BAT nie obejmują niżej wymienionych pól działania:

- (i) produkcji pulpy z niedrzewnych surowców włóknistych (np. produkcji pulpy z roślin jednorocznych)
- (ii) stacjonarnych silników o spalaniu wewnętrznym
- (iii) obiektów energetycznego spalania zasilanych parą lub energią elektryczną innych niż kotły odzysknicowe
- (iv) suszarek z wewnętrznymi palnikami wchodzących w skład maszyn papierniczych i powlekarek.

W tabeli wyszczególnione zostały inne dokumenty referencyjne dotyczące sektora, do którego odnoszą się omawiane konkluzje z obszaru BAT:

Dokumenty referencyjne	Działalność
Przemysłowe systemy chłodzenia (ang. ICS)	Przemysłowe systemy chłodzenia, np. chłodnie kominowe, płytowe wymienniki ciepła
Ekonomika i wzajemne powiązania między różnymi komponentami środowiska (ang. ECM)	Ekonomika i wzajemne powiązania między różnymi komponentami środowiska technik
Emisje ze składowania (ang. EFS)	Emisje z baków, rurociągów i składowanych chemikaliów
Wydajność energetyczna (ang. ENE)	Ogólna wydajność energetyczna
Duże obiekty energetycznego spalania (ang. LCP)	Wytwarzanie pary i elektryczności przez obiekty energetycznego spalania w papierniach i celulozowniach
Ogólne zasady monitoringu (ang. MON)	Monitoring emisji
Spalanie odpadów (ang. WI)	Spalanie odpadów na miejscu oraz współspalanie
Przetwarzanie odpadów (ang. WT)	Przetwarzanie odpadów na paliwa

## Uwagi ogólne

Techniki wymienione i opisane w niniejszych konkluzjach z obszaru BAT nie są ani normatywne, ani wyczerpujące. Inne techniki zapewniające przynajmniej taki sam poziom ochrony środowiska również mogą być użyte.

O ile nie postanowiono inaczej, konkluzje z obszaru BAT mają powszechne zastosowanie.

## Poziomy emisji związane z BAT

Jeżeli poziomy emisji związane z najlepszymi dostępnymi technikami (ang. BAT-AELs) podane są w różnych jednostkach lecz dotyczą tego samego uśrednionego okresu (jak koncentracja i niektóre wartości obciążenia), różne sposoby definiowania BAT-AELs należy traktować jako alternatywne zamienniki.

W przypadku zintegrowanych i wieloproduktowych papierń i celulozowni poziomy emisji związane z BAT zdefiniowane dla poszczególnych procesów (pulpowania, wytwarzania papieru) lub/i produktów należy połączyć zgodnie z regułą mieszania opartą na ich skumulowanym przepływie.

## Okresy uśrednienia dla emisji zanieczyszczeń do wody

O ile nie postanowiono inaczej, okresy uśrednienia związane z BAT-AELs należy definiować tak, jak w tabeli poniżej:

Średnia dobową	Średnia z 24-godzinne go okresu pobierania próbek wyciągana jako proporcjonalna do przepływu próbka złożona (1) lub, w przypadku gdy zachodzi wystarczająca stabilność przepływu, wyciągana jako próbka czasowo proporcjonalna (1)
Średnia roczna	Średnia wszystkich średnich dobowych wyciąganych przez rok, ważona zgodnie z dzienną produkcją i wyrażana jako iloraz masy emitowanych substancji do jednostki masy wytworzonych lub przetworzonych produktów

(1) W szczególnych przypadkach może zachodzić potrzeba zastosowania innej procedury pobierania próbek, np. próby wrywkowej

## Warunki referencyjne emisji zanieczyszczeń do atmosfery

Poziomy emisji zanieczyszczeń do atmosfery związane z BAT odnoszą się do standardowych warunków: suchego gazu, temperatury 273,15 K oraz ciśnienia 101,3 kPa. Jeśli BAT-AELs podawane są jako wartości stężeń, określany jest referencyjny poziom  $O_2$  (% na jednostkę).

### Konwersja do referencyjnego poziomu koncentracji tlenu

Poniższy wzór pozwala obliczyć stężenie emisji przy referencyjnym poziomie tlenu

$$E_R = \frac{21-O_R}{21-O_M} \times E_M$$

gdzie:

$E_R$  (mg/Nm<sup>3</sup>): stężenie emisji odniesione do referencyjnego poziomu tlenu  
 $O_R$  (vol%): referencyjny poziom tlenu  
 $E_M$  (mg/Nm<sup>3</sup>): stężenie emisji w odniesieniu do mierzonych poziomu tlenu  $O_M$   
 $O_M$  (vol %): mierzony poziom tlenu

### Okresy uśrednienia dla emisji zanieczyszczeń do atmosfery

O ile nie postanowiono inaczej, okresy uśrednienia związane z BAT-AELs należy definiować tak, jak w tabeli poniżej:

Średnia dobową	Średnia z 24 godzin oparta o ważne średnie godzinowe mierzone w sposób ciągły
Średnia z okresu pobierania próbek	Średnia wartość z trzech kolejnych co najmniej 30-minutowych pomiarów
Średnia roczna	W przypadku ciągłego pomiaru – średnia ze wszystkich ważnych średnich godzinowych. W przypadku pomiarów okresowych – średnia ze wszystkich średnich z okresu pobierania próbek uzyskana w ciągu roku

### Definicje

Dla potrzeb niniejszych konkluzji związanych z BAT obowiązują poniższe definicje:

Pojęcie	Definicja
Nowa instalacja	Instalacja wprowadzona na teren zakładu po publikacji niniejszych konkluzji dotyczących BAT lub całkowita wymiana instalacji z wykorzystaniem istniejących fundamentów, która nastąpiła po publikacji niniejszych konkluzji związanych z BAT
Istniejąca instalacja	Instalacja niebędąca nową instalacją
Gruntowny remont	Znacząca zmiana w projekcie lub technologii instalacji/systemu redukcji wraz ze znacznymi poprawkami lub wymianą w zakresie jednostek produkcyjnych i związanych z nimi wyposażeniem
Nowy układ odpylający	Układ odpylający po raz pierwszy uruchomiony na terenie zakładu po publikacji niniejszych konkluzji dotyczących BAT
Istniejący układ odpylający	Układ odpylający niebędący nowym układem odpylającym
Niekondensujące gazy o nieprzyjemnym zapachu (ang. NCG)	Termin odnoszący się do gazów o nieprzyjemnym zapachu uwalnianych podczas produkcji celulozy siarczanowej
Skoncentrowane niekondensujące gazy o nieprzyjemnym zapachu (ang. CNCG)	Inna nazwa: silne gazy o nieprzyjemnym zapachu. Gazy zawierające związki siarki zredukowanej (TRS) uwalniane podczas gotowania, odparowywania i usuwania kondensatów
Silne gazy o nieprzyjemnym zapachu	Skoncentrowane niekondensujące gazy o nieprzyjemnym zapachu (ang. CNCG)
Słabe gazy o nieprzyjemnym zapachu	Rozrzedzone niekondensujące gazy o nieprzyjemnym zapachu – gazy zawierające TRS niebędące silnymi gazami o nieprzyjemnym zapachu (np. gazy ulatniające się z baków, filtrów, wanien do odprowadzania wiórów, filtrów do ciasta wapiennego, suszarek)
Słabe gazy reszkowe	Słabe gazy uwalniane w inny sposób niż przez kotły odzysknicowe, wapienniki czy palniki TRS

Pojęcie	Definicja
Pomiar ciągły	Pomiary dokonywane przy użyciu automatycznego systemu pomiarowego (ang. AMS) na

	stałe zainstalowanego na terenie zakładu
Pomiar okresowy	Wyznaczanie wielkości mierzonej (określonej ilości substancji mającej być mierzoną) w sprecyzowanych odstępach czasowych przy użyciu metod manualnych lub automatycznych
Emisje rozproszone	Emisje spowodowane przez bezpośredni (niesterowany) kontakt substancji lotnych lub pyłu ze środowiskiem w normalnych warunkach pracy
Produkcja zintegrowana	Zarówno masa włóknista jak i papier/tektura produkowane są w tym samym zakładzie. Masa włóknista nie jest zwykle suszona przed produkcją papieru/tektury
Produkcja niezintegrowana	Albo (a) produkcja masy włóknistej na sprzedaż w zakładach nieposiadających maszyn papierniczych, albo (b) produkcja papieru/tektury przy użyciu masy włóknistej produkowanej w innych zakładach (masy na sprzedaż)
Produkcja netto	(i) W przypadku papieru: niepakowana, nadająca się do sprzedaży produkcja po ostatnim nawijaniu, tj. przed przetworzeniem (ii) W przypadku powlekarek off-line: produkcja po powlekanii (iii) W przypadku produkcji bibuły: produkcja nadająca się do sprzedaży prosto z maszyny przed wszelkimi procesami przewijania i bez korowania (iv) W przypadku celulozowni produkujących masę włóknistą na sprzedaż: produkcja po pakowaniu (v) W przypadku zakładów zintegrowanych: produkcja masy włóknistej netto odnosi się do produkcji po pakowaniu oraz masy włóknistej transportowanej do papieru (masa włóknista liczona jako 90% suchości, tj. w stanie powietrzno-suchym). Produkcja papieru netto: patrz (i)
Papiernia produkująca papier specjalistyczny	Papiernia produkująca wiele rodzajów papieru i tektury do celów specjalistycznych (przemysłowych i nieprzemysłowych). Produkty ww. papierni charakteryzują się szczególnymi cechami, stosunkowo małym rynkiem zbytu lub niszowym zastosowaniem, często przeznaczonym i projektowanym dla pojedynczych klientów lub grup docelowych. Przykłady papieru specjalistycznego: bibuła papierosowa, bibuła filtracyjna, papier metalizowany, papier termiczny, papier samokopiujący, etykiety samoprzylepne, papier powlekany, jak również płyty gipsowo-kartonowe oraz specjalistyczny papier do woskowania, izolacji, pokrycia dachu, asfaltowania i innych specyficznych zastosowań. Wszystkie ww. rodzaje wykraczają poza standardowe kategorie papieru.
Drewno twarde	Drewno gatunków takich jak np. osika, buk, brzoza czy eukaliptus. Termin „drewno twarde” jest używany jako przeciwieństwo pojęcia „drewno miękkie”.
Drewno miękkie	Drewno pochodzące z drzew iglastych takich jak np. sosna czy świerk. Termin „drewno miękkie” jest używany jako przeciwieństwo pojęcia „drewno twarde”.
Kaustyzacja	Proces w cyklu produkcji wapna, gdzie wodorotlenek (biała ciecz) jest regenerowany przy pomocy reakcji $\text{Ca(OH)}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 (\text{s}) + 2\text{OH}^-$

## Skróty

Skrót	Znaczenie
ADt	Liczba ton masy włóknistej w stanie powietrzno-suchym rozumianym jako 90% suchość
AOX	Adsorbowalne halogenki organiczne mierzone według EN ISO 9562, standardowej metody analizy ścieków
BOD	Biochemiczne zapotrzebowanie tlenu. Ilość rozpuszczonego tlenu potrzebna mikroorganizmom do rozłożenia materii organicznej w ściekach
CMP	Chemo-mechaniczna masa włóknista
CTMP	Chemo-termo-mechaniczna masa włóknista
COD	Chemiczne zapotrzebowanie tlenu. Ilość chemicznie utlenianej materii organicznej w ściekach (termin zwykle odnosi się do analizy z utlenianiem dichromianem)
Skrót	Znaczenie
DS	Sucha masa, wyrażona jako udział procentowy
DTPA	Kwas pentetynowy (środek kompleksujący i chelatujący używany w bieleniu wodą

	utlenioną)
ECF	Bez udziału chloru cząsteczkowego
EDTA	Kwas edetynowy (środek kompleksujący i chelatujący)
H <sub>2</sub> S	Siarkowodór
LWC	Papier powlekany wagi lekkiej
NO <sub>x</sub>	Suma tlenku azotu (NO) i dwutlenku azotu (NO <sub>2</sub> )
NSSC	Neutralny siarczyn pół-chemiczny
RCF	Włókna odzyskane w wyniku recyklingu
SO <sub>2</sub>	Dwutlenek siarki
TCF	Bez użycia chloru
Total nitrogen (tot-N)	Azot całkowity (tot-N). Zawiera azot organiczny, wolny amoniak i jon amonowy + (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N), azotyny (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N) i azotany (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N)
Total phosphorus (tot-P)	Fosfor całkowity (tot-P). Zawiera rozpuszczony fosfor oraz dowolny nierozpuszczalny fosfor przeniesiony do ścieków w formie wydzielań lub przez mikroby
TMP	Termomechaniczna masa włóknista
TOC	Całkowity węgiel organiczny
TRS	Całkowita siarka zredukowana. Suma wymienionych zredukowanych cuchnących związków siarki wygenerowanych w procesie pulpowania: siarkowodoru, merkaptanu metylowego, siarczku dimetylu, disiarczku dimetylu. Określana jako siarka
TSS	Całkowita substancja zawieszona (w ściekach). Substancja zawieszona składa się z małych fragmentów włókien, wypełniaczy, wysoko przetworzonych związków chemicznych, nieregularnej biomasy (kolonii mikroorganizmów) i innych małych cząsteczek
VOC	Lotne związki organiczne, zdefiniowane w Artykule 3(45) Dyrektywy 2010/75/UE

## 8.1 Ogólne konkluzje związane z BAT dla przemysłu papierniczego i celulozowego

Szczegółowe konkluzje dotyczące BAT zamieszczone w sekcjach 8.2-8.6 również mają zastosowanie i uzupełniają ogólne konkluzje BAT wymienione w niniejszej sekcji.

### 8.1.1. System zarządzania środowiskowego

**BAT 1. Aby poprawić ogólny wpływ na środowisko wywierany przez zakłady produkujące masę włóknistą, papier i tekturę, poprzez najlepsze dostępne techniki należy wdrażać i stosować system zarządzania środowiskowego (ang. EMS), który uwzględnia wszystkie niżej wymienione zasady:**

- (a) zaangażowanie kierownictwa, włączając w to kierownictwo wyższego szczebla
- (b) wprowadzenie definicji polityki ekologicznej, która uwzględnia potrzebę stałego polepszania instalacji przez kierownictwo
- (c) planowanie i stosowanie niezbędnych procedur oraz celów w łączności z planami finansowymi i inwestycjami
- (d) wdrażanie procedur przy szczególnym uwzględnieniu:

- struktury i zakresu obowiązków
- szkolenia, świadomości i kompetencji
- komunikacji
- zaangażowania pracowników
- dokumentacji
- wydajnej kontroli procesu

(vii) programów naprawczych

(viii) przygotowania i reakcji na sytuacje nadzwyczajne

(ix) zapewnienia zgodności z przepisami dotyczącymi środowiska

(e) kontrola poczynań i wdrażanie działań naprawczych ze szczególnym uwzględnieniem:

- (i) monitoringu i pomiarów (patrz także: Dokument Referencyjny nt. Ogólnych Zasad Monitoringu)
- (ii) działalności naprawczej i prewencyjnej
- (iii) przechowywania danych
- (iv) niezależnego (jeśli to możliwe) wewnętrznego i zewnętrznego audytu celem sprawdzenia, czy EMS zgadza się z planowymi ustaleniami i jest prawidłowo wdrażany i stosowany

(f) ocena EMS-u i jego ciągłej przydatności, adekwatności i efektywności przez kierownictwo wyższego szczebla

(g) śledzenie rozwoju energooszczędnych technologii

(h) rozważanie wpływu na środowisko ewentualnej likwidacji danej instalacji na etapie projektu nowego zakładu, jak również podczas całej jego pracy

(i) regularne stosowanie sektorowej analizy porównawczej.

#### **Kwestie techniczne związane ze stosowalnością**

Zakres (np. poziom szczegółowości) i rodzaj systemu zarządzania środowiskowego (np. oparty o normy lub nie) będą zasadniczo odnosić się do charakteru, skali i złożoności instalacji, jak również do zasięgu oddziaływania na środowisko takiej instalacji.

### **8.1.2 Zarządzanie surowcami i dobre gospodarowanie**

**BAT 2. Najlepsze dostępne techniki muszą uwzględniać zasady dobrego gospodarowania, aby zminimalizować wpływ procesu produkcji na środowisko używając kombinacji poniższych technik:**

	<b>Technika</b>
a	Uważna selekcja i kontrola chemikaliów i dodatków
b	Analiza materiałów wejściowych i wyjściowych przy użyciu rejestru substancji chemicznych, włączając w to właściwości chemiczne i toksykologiczne
c	Zminimalizowanie użycia chemikaliów do najniższego poziomu wymaganego przez specyfikację jakości produktu końcowego
d	Unikanie stosowania szkodliwych substancji (np. dyspersji zawierającej etoksyłowany nonylofenol, środków czyszczących lub środków powierzchniowo czynnych) oraz zastąpienie tychże mniej szkodliwymi odpowiednikami
e	Minimalizacja przenikania szkodliwych substancji do gleby wskutek przecieku, odkładania się substancji powietrznych, czy nieprawidłowego przechowywania surowców, produktów lub pozostałości
f	Stworzenie programu zarządzania wyciekami oraz rozszerzenie stanu posiadania odpowiednich źródeł, a tym samym zapobieganie zanieczyszczeniom gleby i wód gruntowych
g	Odpowiednie zaprojektowanie systemów rurociągów i magazynowania umożliwiające utrzymanie powierzchni w czystości przy zredukowanej potrzebie mycia i czyszczenia

**BAT 3. Aby zredukować emisję nietłwo biodegradowalnych organicznych czynników chelatujących, takich jak EDTA czy DTPA, przy bieleniu nadtlenkami, BAT muszą uwzględniać użycie kombinacji poniższych technik:**

	<b>Technika</b>	<b>Zastosowanie</b>
a	Ustalenie ilości czynników chelatujących emitowanych do atmosfery poprzez cykliczne pomiary	Nie stosuje się w przypadku zakładów nieużywających czynników chelatujących
b	Optymalizacja procesu celem zredukowania konsumpcji i emisji czynników chelatujących, które nie ulegają łatwej biodegradacji	Nie stosuje się w przypadku zakładów eliminujących przynajmniej 70% EDTA/DTPA w swoich oczyszczalniach ścieków lub w procesie oczyszczania
c	Preferencyjne stosowanie biodegradowalnych	Zastosowanie zależy od dostępności stosownych substytutów (np.

czynników chelatujących lub eliminacja tychże oraz stopniowe wycofywanie niedegradowalnych produktów	środków biodegradowalnych spełniających wymaganą jasność w przypadku masy włóknistej)
--	---

### 8.1.3 Gospodarowanie wodą i ściekami

**BAT 4. Aby zredukować wielkość generowanych zanieczyszczeń i ścieków przy przechowywaniu i przygotowaniu drewna, BAT muszą uwzględniać użycie kombinacji poniższych technik:**

	Technika	Zastosowanie
a	Suche korowanie (opis: patrz Sekcja 8.7.2.1)	Ograniczone zastosowanie w przypadku, gdy wysoka czystość i jasność jest wymagana do wybielania metodą typu TCF
b	Posługiwanie się polanami drewna w taki sposób, by uniknąć zanieczyszczenia kory i drzewa przez piasek i kamienie	Zasadniczo możliwe do zastosowania
c	Brukowanie obszaru składu surowca drzewnego, szczególnie powierzchni używanych do składowania zrębków	Zastosowanie może być ograniczone przez rozmiar składu
d	Kontrola przepływu zraszania i zminimalizowanie powierzchniowych wód spływowych w składzie surowca drzewnego	Zasadniczo możliwe do zastosowania
e	Zbiór zanieczyszczonych wód spływowych ze składu i wydzielenie zawiesiny ścieków przed uzdatnianiem biologicznym	Zastosowanie może być ograniczone przez stopień zanieczyszczenia wód spływowych (mała koncentracja) lub/i rozmiar oczyszczalni ścieków (duże jednostki)

**Przepływ ścieków przy suchym korowaniu związany z BAT wynosi 0.5-2.5 m<sup>3</sup> / Adt**

**BAT 5. Aby ograniczyć użycie świeżej wody i generowanie ścieków, w związku z BAT należy zamknąć system wody w stopniu technicznie wykonalnym zgodnie z rodzajem wytwarzanej masy włóknistej i papieru, używając kombinacji poniższych technik:**

	Technika	Zastosowanie
a	Monitoring i optymalizacja zużycia wody	Zasadniczo możliwe do zastosowania
b	Ewaluacja opcji recyrkulacji wody	
c	Zbilansowanie stopnia zamknięcia obiegu wody i potencjalnych wad; jeśli to konieczne, użycie dodatkowego sprzętu	
d	Oddzielenie mniej zanieczyszczonej wody uszczelniającej od pomp do generowania próżni i ponowne użycie	
e	Oddzielenie czystej wody chłodzącej od zanieczyszczonej wody przemysłowej i ponowne użycie	
f	Ponowne użycie wody przemysłowej i zastąpienie nią świeżej wody (recyrkulacja wody i zamknięcie obiegu wodnych)	Zastosowanie w przypadku nowych zakładów i znacznej przebudowy. Zastosowanie może być ograniczone przez jakość wody i/lub wymaganą jakość produktu lub ograniczenia techniczne (jak opady/osady w systemie wodnym), jak również zwiększoną uciążliwość zapachu
g	Linie technologiczne do obróbki (części) wód przemysłowych zainstalowane celem poprawienia jakości wody i umożliwienia recyrkulacji lub ponownego użycia	Zasadniczo możliwe do zastosowania



Przepływ ścieków związany z BAT w miejscu wypływu po oczyszczeniu, wyrażony jako średnia roczna:

Sektor	Przepływ ścieków związany z BAT
Bielona masa celulozowa	25-50 m <sup>3</sup> / ADt
Niebielona masa celulozowa	15-40 m <sup>3</sup> / ADt
Siarczynowa bielona masa włóknista	25-50 m <sup>3</sup> / ADt
Magnefitowa masa włóknista	45-70 m <sup>3</sup> / ADt
Rozpuszczalna masa włóknista	40-60 m <sup>3</sup> / ADt
Masa pół-chemiczna obojętnosiarczynowa	11-20 m <sup>3</sup> / ADt
Masa włóknista mechaniczna	9-16 m <sup>3</sup> / t
Chemo-mechaniczna i chemo-termo-mechaniczna masa włóknista	9-16 m <sup>3</sup> / ADt
Włókna odzyskane w wyniku recyklingu bez odbarwiania	1.5-10 m <sup>3</sup> /t (większy koniec zakresu wiąże się z produkcją składanych kartonów na opakowania)
Włókna odzyskane w wyniku recyklingu z odbarwianiem	8-15 m <sup>3</sup> / t
Produkcja bibuły bazująca na RCF z odbarwianiem	10-25 m <sup>3</sup> / t
Zakłady niezintegrowane	3.5-20 m <sup>3</sup> / t

#### 8.1.4 Zużycie energii i wydajność

**BAT 6. Aby zredukować zużycie paliwa i energii w papierniach i celulozowniach, w związku z BAT należy wykorzystać technikę (a) i kombinację poniższych technik:**

	Technika	Zastosowanie
a	Zastosowanie systemu zarządzania energią, który zawiera wszystkie ww. cechy: i. Ocena całego zużycia i produkcji energii przez zakład ii. Znalezienie, określenie i zoptymalizowanie potencjału do odzyskania energii iii. Monitoring i utrzymanie zoptymalizowanej sytuacji zużycia energii	Zasadniczo możliwe do zastosowania
b	Odzyskiwanie energii poprzez spalanie odpadów i pozostałości po produkcji masy włóknistej i papieru mających wysoką zawartość organiczną i wartość kaloryczną, biorąc pod uwagę BAT 12	Możliwe do zastosowania tylko wówczas, gdy recykling lub ponowne użycie odpadów i pozostałości po produkcji masy włóknistej i papieru mających wysoką zawartość organiczną i wartość kaloryczną nie jest możliwe
c	Pokrycie zapotrzebowania na parę i energię do procesów produkcji poprzez kogenerację ciepła i energii w najwyższym możliwym stopniu	Możliwe do zastosowania w przypadku nowych zakładów i przy znacznych przeróbkach źródeł energii. Zastosowanie w istniejących zakładach może być ograniczone przez układ budynku i rozmiar dostępnej przestrzeni
d	Użycie nadmiaru ciepła do suszenia biomasy i osadu, do podgrzewania wody zasilającej kocioł i wody przemysłowej, do ogrzania budynków itp.	Możliwość zastosowania tej techniki może być ograniczone gdy źródła ciepła i lokalizacje do ogrzania są daleko od siebie
e	Zastosowanie termokompresora	Możliwe do zastosowania zarówno w nowych, jak i starszych zakładach, przy wszystkich rodzajach papieru i oblewarkach pod warunkiem, że para średniociśnieniowa jest dostępna
f	Oddzielanie pary wodnej i kondensacja przewodów rurowych	Zasadniczo możliwe do zastosowania
	<b>Technika</b>	<b>Zastosowanie</b>

g	Zastosowanie energooszczędnych systemów próżniowych do odwadniania	Zasadniczo możliwe do zastosowania
h	Zastosowanie wysokowydajnych silników elektrycznych, pomp i mieszadeł	
i	Zastosowanie falowników przy wentylatorach, kompresorach i pompach	
j	Dostosowanie poziomu ciśnienia pary do rzeczywistych potrzeb	

**Opis:**

Technika (c): jednoczesne generowanie energii cieplnej oraz energii elektrycznej lub/i mechanicznej w jednym procesie, mającym miejsce w elektrociepłowni. W przemyśle celulozowym i papierniczym elektrociepłownie zwykle wykorzystują turbiny parowe lub/i gazowe. Ekonomiczna opłacalność (możliwe do osiągnięcia oszczędności i czas zwrotu) będzie zależała głównie od kosztów energii i paliwa.

**8.1.5 Emisje zapachu**

Gdy chodzi o emisje gazów o nieprzyjemnym zapachu zawierających siarkę w procesie siarczanowym i siarczynowym, patrz: stosowne BAT podane w Sekcjach 8.2.2 i 8.3.2.

**BAT 7. Aby zapobiegać emisjom wonnych składników pochodzących z kanalizacji sanitarnej lub je zredukować, w związku z BAT należy zastosować kombinację niżej podanych technik:**

Technika	
<b>I Możliwe do zastosowania w przypadku zapachów związanych z zamknięciem systemów wodnych</b>	
a	Zaprojektowanie papierń, magazynów, zbiorników do przechowywania wody, rur i pojemników w taki sposób, by zapobiec przedłużonej retencji, powstawaniu martwych stref i obszarów słabego mieszania w obwodach wodnych i podobnych jednostkach, celem uniknięcia niekontrolowanego odkładania się substancji, jak również rozkładu i rozpadu gnilnego materii organicznej i biologicznej
b	Użycie biocydów, dyspergatorów lub środków utleniających (np. katalizatorów dezynfekujących zawierających nadtlenek wodoru) celem kontroli zapachu i wzrostu ilości bakterii gnilnych
c	Instalacja wewnętrznych jednostek przetwarzania (tzw. nerek) celem redukcji koncentracji materii organicznej, a w konsekwencji możliwych problemów z zapachem w systemach czystej wody
<b>II Możliwe do zastosowania w przypadku zapachów związanych z oczyszczaniem ścieków i wykorzystaniem osadów ściekowych, aby uniknąć sytuacji, kiedy ścieki lub osady nabierają charakteru beztlenowego</b>	
a	Instalacja zamkniętych systemów kanalizacyjnych z kontrolowanymi odpowietrznikami. W niektórych przypadkach użycie chemikaliów celem zminimalizowania tworzenia się siarkowodoru oraz utlenienia tegoż w systemach kanalizacyjnych
b	Unikanie zbytniego napowietrzenia w zbiornikach wyrównawczych z zapewnieniem wystarczającego mieszania
c	Zapewnienie wystarczającej przestrzeni napowietrzania i urządzeń mieszających w zbiornikach napowietrzania; regularny przegląd systemu napowietrzania
d	Zagwarantowanie odpowiedniego wykorzystania osadnika wtórnego, odpowiedniego zbierania osadu oraz pompowania szlamu zwrotnego
e	Ograniczenie czasu retencji osadu w osadnikach poprzez stałe wysyłanie osadu do jednostek odwadniających
f	Unikanie przetrzymywania ścieków w zbiornikach dłużej niż to konieczne; utrzymanie zbiorników pustymi
g	Jeśli w użyciu są suszarnie osadów, odpylenie lub/i biofiltracja (jak przy filtrowaniu kompostu) gazów z odpowietrzników ciepłych suszarni osadów
Technika	
h	Zastąpienie chłodni powietrznych spawanymi płytowymi wymiennikami ciepła przy oczyszczaniu nieuzdatnionej wody

### 8.1.6 Monitorowanie kluczowych parametrów procesów oraz emisji do wody i powietrza

**BAT 8.** W związku z BAT należy monitorować kluczowe parametry procesów zgodnie z poniższą tabelą:

<b>I Monitoring kluczowych parametrów procesów związanych z emisjami do atmosfery</b>	
<b>Parametr</b>	<b>Częstotliwość monitoringu</b>
Ciśnienie, temperatura, tlen, zawartość pary wodnej i CO w gazach spalinowych w procesach spalania	Ciągła
<b>II Monitoring kluczowych parametrów procesów związanych z emisjami do wody</b>	
<b>Parametr</b>	<b>Częstotliwość monitoringu</b>
Przepływ wody, temperatura i pH	Ciągła
Zawartość P i N w biomase, indeks osadu, nadwyżka amoniaku i ortofosforanu w ściekach oraz badani mikroskopowe biomasy	Okresowa
Wielkość przepływu i zawartość CH <sub>4</sub> w biogazie wytwarzanym w czasie beztlenowego oczyszczania ścieków	Ciągła
Zawartość H <sub>2</sub> S i CO <sub>2</sub> w biogazie wytwarzanym w czasie beztlenowego oczyszczania ścieków	Okresowa

**BAT 9.** W związku z BAT należy regularnie przeprowadzać monitoring i pomiary emisji do atmosfery, jak wskazano poniżej, zgodnie z częstotliwością wskazaną w normach EN. Jeśli normy EN nie są dostępne, należy posłużyć się ISO lub innymi normami krajowymi czy międzynarodowymi, które gwarantują przedstawienie danych na równoważnym naukowym poziomie.

	<b>Parametr</b>	<b>Częstotliwość monitorowania</b>	<b>Zastosowanie</b>	<b>Monitoring związany z</b>
a	Nox i SO <sub>2</sub>	Ciągła	Kocioł odzysknicowy	BAT 21 BAT 22 BAT 36 BAT 37
		Okresowa lub ciągła	Wapiennik	BAT 24 BAT 26
		Okresowa lub ciągła	Przystosowany palnik TRS	BAT 28 BAT 29
b	Pył	Okresowa lub ciągła	Kocioł odzysknicowy (do procesu siarczanowego) i wapiennik	BAT 23 BAT 27
		Okresowa	Kocioł odzysknicowy (siarczynowy)	BAT 37
c	TRS (w tym H <sub>2</sub> S)	Ciągła	Kocioł odzysknicowy	BAT 21
		Okresowa lub ciągła	Wapiennik i przystosowany palnik TRS	BAT 24 BAT 25 BAT 28
	<b>Parametr</b>	<b>Częstotliwość monitorowania</b>	<b>Zastosowanie</b>	<b>Monitoring związany z</b>
	TRS (w tym H <sub>2</sub> S)	Okresowa	Rozproszone emisje z różnych źródeł (jak np. linia do produkcji masy)	BAT 11 BAT 20

			celulozowej, zbiorniki, wanny do wiórów) i słabe gazy resztkowe	
d	NH <sub>3</sub>	Okresowa	Kocioł odzysknicowy wyposażony w SNCR	BAT 36

**BAT 10. W związku z BAT należy przeprowadzać monitoring i pomiary emisji do wody, jak wskazano poniżej, zgodnie z częstotliwością wskazaną w normach EN. Jeśli normy EN nie są dostępne, należy posłużyć się ISO lub innymi normami krajowymi czy międzynarodowymi, które gwarantują przedstawienie danych na równoważnym naukowym poziomie.**

	Parametr	Częstotliwość monitorowania	Monitoring związany z
a	Chemiczne zapotrzebowanie tlenu lub całkowity węgiel organiczny (1)	Codzienna (2) (3)	BAT 19 BAT 33 BAT 40 BAT 45 BAT 50
b	Biochemiczne zapotrzebowanie tlenu (proces 5- lub 7-dniowy)	Cotygodniowa (raz w tygodniu)	
c	Całkowita substancja zawieszona	Codzienna (2) (3)	
d	Azot całkowity	Cotygodniowa (raz w tygodniu) (2)	
e	Fosfor całkowity	Cotygodniowa (raz w tygodniu) (2)	
f	Kwas edetynowy, kwas pentetynowy (4)	Comiesięczna (raz w miesiącu)	
g	Adsorbowalne halogenki organiczne (wg EN ISO 9562:2004) (5)	Comiesięczna (raz w miesiącu)	BAT 19: bielona masa celulozowa
		Raz na dwa miesiące	BAT 33: oprócz produkcji bez użycia chloru oraz produkcji z użyciem naturalnego siarczanu pół-chemicznego BAT 40: oprócz produkcji chemo-mechanicznej i chemo-termo-mechanicznej masy włóknistej BAT 45 BAT 50
h	Odpowiednie metale (np. Zn, Cu, Cd, Pb, Ni)	Raz w roku	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Istnieje tendencja do zastępowania chemicznego zapotrzebowania tlenu całkowitym węglem organicznym z powodów ekonomicznych i ekologicznych. Jeśli całkowity węgiel organiczny jest już zmierzony jako kluczowy parametr procesu, nie ma potrzeby mierzenia chemicznego zapotrzebowania tlenu; jednakże korelacja między ww. dwoma parametrami musi być ustalona dla konkretnego źródła emisji i przy oczyszczaniu ścieków.</li> <li>Można również zastosować metody szybkiego testowania. Rezultaty szybkich testów należy regularnie sprawdzać (np. raz na miesiąc) na podstawie norm ESO. Jeśli normy EN nie są dostępne, należy posłużyć się ISO lub innymi normami krajowymi czy międzynarodowymi, które gwarantują przedstawienie danych na równoważnym naukowym poziomie.</li> <li>Dla zakładów pracujących krócej niż 7 dni w tygodniu częstotliwość monitorowania chemicznego zapotrzebowania tlenu i całkowitej substancji zawieszonych może być ograniczona do dni, w których zakład pracuje. Można też wydłużyć okres pobierania próby do 48 lub 72 godzin.</li> <li>Stosuje się, gdy kwas edetynowy i kwas pentetynowy (czynniki chelatujące) biorą udział w procesie.</li> <li>Nie stosuje się w przypadku zakładów mających dowód na to, że nie generują adsorbowalnych halogenków organicznych i nie dodają ich wraz z dodatkami chemicznymi i surowcami.</li> </ul>			

**BAT 11. W związku z BAT należy regularnie monitorować i oceniać wielkość rozproszonych emisji całkowitej siarki zredukowanej z odpowiednich źródeł.**

#### Opis

Ocenianie wielkości rozproszonych emisji całkowitej siarki zredukowanej może odbywać się w postaci pomiarów okresowych. Ocenianie wielkości rozproszonych emisji emitowanych z różnych źródeł, jak np.

linia produkcji masy celulozowej, zbiorniki czy wanna na wióry, może odbywać się w postaci pomiarów bezpośrednich.

### 8.1.7 Gospodarowanie odpadami

**BAT 12.** Aby ograniczyć ilość odpadów przeznaczonych do usunięcia, w związku z BAT należy wdrożyć system oceny (włączając w to rejestry odpadów) i gospodarowania odpadami, tym samym ułatwiając ponowne użycie tychże lub, jeśli to niemożliwe, recykling albo „inny sposób odzyskania odpadów”, włączając w to kombinację poniższych technik.

	Technika	Opis	Zastosowanie
a	Rozdzielenie zbiorów odpadów różnych frakcji (włączając w to rozdzielenie i klasyfikację odpadów niebezpiecznych)	Patrz: Sekcja 8.7.3	Zasadniczo możliwe do zastosowania
b	Łączenie pasujących frakcji odpadów, aby otrzymać mieszanki mogące być lepiej zutilizowanymi		Zasadniczo możliwe do zastosowania
c	Wstępna obróbka pozostałości po procesie przed ponownym użyciem lub recyklingiem		Zasadniczo możliwe do zastosowania
d	Odzyskanie materiałów i recykling pozostałości po procesie na miejscu		Zasadniczo możliwe do zastosowania
e	Odzyskanie energii na miejscu lub poza nim z odpadów o wysokiej zawartości organicznej		W przypadku utylizacji pozamiejscowej, zastosowanie zależy od dostępności strony trzeciej
f	Utylizacja materiałów z zewnątrz		Zależy od dostępności strony trzeciej
g	Wstępna obróbka odpadów przed usunięciem		Zasadniczo możliwe do zastosowania

### 8.1.8. Emisje do wody

Dalsze informacje o gospodarce ściekami w papierniach i celulozowniach, jak również BAT-AELs specyficzne dla poszczególnych procesów znajdują się w sekcjach 8.2-8.6.

**BAT 13.** Aby zredukować emisje azotanów (azotu i fosforu) do wód, do których odprowadzane są ścieki, w związku z BAT należy zastąpić dodatki chemiczne z dużą zawartością azotu i fosforu dodatkami z niską zawartością tychże.

#### Zastosowanie

Możliwe do zastosowania jeśli azot z dodatków chemicznych nie jest biodostępny (tj. jeśli nie może służyć jako azotan w uzdatnianiu biologicznym) lub gdy istnieje nadwyżka w bilansie azotanowym.

**BAT 14.** Aby ograniczyć emisje zanieczyszczeń do wód, do których odprowadzane są ścieki, w związku z BAT należy zastosować wszystkie niżej wymienione techniki.

	Technika	Opis
a	Uprzednie oczyszczanie (fizykochemiczne)	Patrz: Sekcja 8.7.2.2
b	Powtórne oczyszczanie (biologiczne) (1)	
(1) Niemożliwe do zastosowania w zakładach, gdzie obciążenie biologiczne ścieków po uprzednim oczyszczeniu jest bardzo niskie, np. w papierniach produkujących papier specjalistyczny		

**BAT 15.** Jeśli potrzebne jest dalsze usuwanie substancji organicznych, azotu i fosforu, w związku z BAT należy zastosować trzecie oczyszczanie wg wskazówek z sekcji 8.7.2.2.

**BAT 16.** Aby zredukować emisje zanieczyszczeń z biologicznych oczyszczalni ścieków do wód, w związku z BAT należy zastosować wszystkie niżej wymienione techniki.

Technika	
a	Właściwe zaprojektowanie i użytkowanie biologicznej oczyszczalni ścieków
b	Regularna kontrola aktywnej biomasy
c	Dostosowanie wsparcia azotanowego (azot i fosfor) do rzeczywistych potrzeb aktywnej biomasy

### 8.1.9 Emisje hałasu

**BAT 17. Aby zredukować emisje hałasu z papierń i celulozowni, w związku z BAT należy zastosować kombinację poniższych technik.**

	Technika	Opis	Zastosowanie
a	Program redukcji hałasu	Program obejmuje identyfikację źródła hałasu i obszary dotknięte ww. niedogodnością, pomiar poziomu hałasu celem pogrupowania źródeł zgodnie z natężeniem tegoż, jak również identyfikację najbardziej efektywnej pod względem kosztów kombinacji technik oraz jej wprowadzenie i monitoring	Zasadniczo możliwe do zastosowania
b	Strategiczne rozplanowanie lokalizacji wyposażenia, jednostek i budynków	Poziom hałasu może być zmniejszony poprzez zwiększenie dystansu między podmiotem emitującym a odbiorcą, jak również poprzez użycie budynków jako ekranów akustycznych	Zasadniczo możliwe do zastosowania w nowych zakładach. W przypadku istniejących zakładów relokacja sprzętu i jednostek produkcyjnych może być ograniczona przez brak przestrzeni oraz wysokie koszty
c	Zastosowanie technik operacyjnych oraz technik zarządzania w budynkach zawierających hałaśliwy sprzęt	W skład niniejszej techniki wchodzi: <ul style="list-style-type: none"> <li>• polepszona inspekcja i utrzymanie sprzętu celem zapobiegania usterkom,</li> <li>• zamykanie drzwi i okien w obszarach objętych programem,</li> <li>• używanie sprzętu przez doświadczonych pracowników,</li> <li>• unikanie hałaśliwych działań w nocy,</li> <li>• wprowadzenie kontroli hałasu przy użytkowaniu</li> </ul>	Zasadniczo możliwe do zastosowania
d	Odseparowanie hałaśliwego sprzętu i jednostek	Odseparowanie hałaśliwego sprzętu, takiego jak obrabiarki do drewna, jednostki hydrauliczne, oraz kompresory wewnątrz osobnych struktur, takich jak budynki lub gabinety akustyczne, gdzie okładziny wewnętrzne i zewnętrzne zrobione są z materiałów pochłaniających energię uderzenia	
e	Zastosowanie mało hałaśliwego sprzętu oraz reduktorów hałasu przy sprzęcie i kanałach		
f	Instalacja izolacji przeciwwibracyjnej	Przeciwwibracyjna izolacja maszynierii oraz oddzielenie źródeł hałasu i potencjalnie rezonujących części	
g	Dźwiękoszczelność budynków	W skład niniejszej techniki potencjalnie może wejść: <ul style="list-style-type: none"> <li>• dźwiękochłonne materiały w ścianach i sufitach,</li> <li>• dźwiękoszczelne drzwi,</li> </ul>	

	Technika	Opis	Zastosowanie
		<ul style="list-style-type: none"> <li>• podwójne szyby</li> </ul>	
h	Łagodzenie hałasu	Przenoszenie hałasu może zostać zredukowane poprzez postawienie barier między emitującymi a odbiorcami. Stosowne bariery to np. ściany ochronne, nasypy i budynki. Zalecane techniki łagodzenia hałasu to np. instalowanie tłumików przy hałaśliwym sprzęcie, takim jak zbiorniki parowe czy wentylatory	Zasadniczo możliwe do zastosowania w nowych zakładach. W przypadku istniejących już zakładów wprowadzenie przeszkód może być ograniczone przez małą przestrzeń
i	Stosowanie większych obrabiarek do drewna celem skrócenia czasu podnoszenia i transportu, jak również hałasu generowanego przez belki spadające na stos lub stół doprowadzający		Zasadniczo możliwe do zastosowania
j	Poprawa sposobu pracy, np. zrzucanie belek na stos lub stół doprowadzający z mniejszej wysokości, czy natychmiastowa informacja zwrotna od pracowników nt. poziomu hałasu		

### 8.1.10 Likwidacja

**BAT 18.** Aby zapobiec ryzyku zanieczyszczeń przy likwidacji zakładu, w związku z BAT należy zastosować ogóle techniki podane poniżej.

	Technika
a	Upewnienie się, że podziemne rury i zbiorniki są ominięte w fazie projektu lub że ich lokalizacja jest dobrze znana i udokumentowana
b	Wydanie instrukcji co do opróżnienia urządzeń procesowych, rurociągów i zbiorników
c	Zapewnienie czystego zamknięcia w przypadku likwidacji zakładu, np. posprzątania i rewitalizacji obszaru. Naturalne funkcje ziemi powinny być zachowane, jeśli to możliwe
d	Zastosowanie programu monitoringu, szczególnie w przypadku wód gruntowych, w celu wykrycia ewentualnego przyszłego oddziaływania terenu zakładu lub przyległych powierzchni na środowisko
e	Stworzenie i utrzymanie schematu zamknięcia zakładu bazując na analizie ryzyka, uwzględniając przejrzystą organizację przebiegu zamknięcia zakładu, jak również biorąc pod uwagę stosowne szczególne lokalne uwarunkowania

## 8.2 Konkluzje związane z BAT dotyczące procesu siarczanowego

Oprócz konkluzji z niniejszej sekcji, do zintegrowanych papierń i celulozowni odnoszą się także specyficzne dla procesu konkluzje BAT związane z produkcją papieru zawarte w Sekcji 8.6.

### 8.2.1 Ścieki i emisje do wody

**BAT 19.** Aby ograniczyć emisje zanieczyszczeń do wód, do których odprowadzane są ścieki, w związku z BAT należy stosować bielenie całkowicie bezchlorowe lub nowoczesną metodę ECF (opartą na tlenie, dwutlenku chloru i nadtlenku wodoru; patrz: opis w sekcji 8.7.2.1), jak również pasującą kombinację technik wymienionych w BAT 13, BAT 14, BAT 15, BAT 16 oraz technik podanych poniżej.

	Technika	Opis	Zastosowanie
a	Zmodyfikowane gotowanie przed wybielaniem	Patrz: Sekcja 8.7.2.1	Zasadniczo możliwe do zastosowania
b	Delignifikacja tlenowa przed wybielaniem		
c	Separacja zanieczyszczonych cząsteczek od dobrych włókien w procesie pulpowania i wydajne mycie masy celulozowej		
d	Częściowy recykling wód przemysłowych w wybielarniach		Recykling wody może być ograniczony przez osad powstały wskutek wybielania

e	Skuteczny monitoring wycieków i zanieczyszczeń wraz ze stosownym systemem odzysku	Zasadniczo możliwe do zastosowania
f	Zapewnienie skutecznego parowania czarnej cieczy, jak również odpowiedniej pojemności kotła odzysknicowego, aby radzić sobie z obciążeniami szczytowymi	
g	Usuwanie zanieczyszczonych (brudnych) kondensatów i ponowne użycie kondensatów w procesie	

### Poziomy emisji związane z BAT

Patrz: Tabela 8.1 i 8.2. Niniejsze poziomy emisji nie mają zastosowania w przypadku likwidowanych celulozowni.

Wzorcowy przepływ ścieków dla celulozowni jest zamieszczony w BAT 5

**Tabela 8.1 Poziomy emisji związane z BAT dotyczące bezpośredniego zrzutu ścieków do wód przez zakłady wytwarzające białą masę celulozową**

Parametr	Średnia roczna kg/ADt (1)
Chemiczne zapotrzebowanie tlenu	7-20
Zawiesiny stałe ogółem	0,3-1,5
Azot całkowity	0,05-0,25 (2)
Fosfor całkowity	0,01-0,03 (2) Eukaliptus: 0,02-0,11 kg/ADt (3)
Adsorbowane organicznie związane chlorowce (4) (5)	0-0,2

(1) Przedziały związane z BAT-AEL odnoszą się do rynkowej produkcji pulpy oraz do działów produkcji masy włóknistej w zakładach zintegrowanych (bez emisji występujących przy produkcji papieru).  
(2) W przypadku małych biologicznych oczyszczalni ścieków poziomy emisji mogą być nieco wyższe.  
(3) Górna granica zakresu odnosi się do zakładów korzystających z eukaliptusa pochodzącego z regionów o wyższym poziomie fosforu (jak np. eukaliptus iberyjski).  
(4) Odnosi się do zakładów używających chlorowych środków wybielających.  
(5) W przypadku zakładów produkujących pulpę o dużej sile, sztywności i czystości (np. do kartonowych opakowań do napojów czy papieru LWC) poziom emisji może sięgać nawet 0,25 kg/ADt

**Tabela 8.2 Poziomy emisji związane z BAT dotyczące bezpośredniego zrzutu ścieków do wód przez zakłady wytwarzające niebiałą masę celulozową**

Parametr	Średnia roczna kg/ADt (1)
Chemiczne zapotrzebowanie tlenu	2,5-8
Zawiesiny stałe ogółem	0,3-1,0
Azot całkowity	0,1-0,2 (2)
Fosfor całkowity	0,01-0,02 (2)

(1) Przedziały związane z BAT-AEL odnoszą się do rynkowej produkcji pulpy oraz do działów produkcji masy włóknistej w zakładach zintegrowanych (bez emisji występujących przy produkcji papieru).  
(2) W przypadku małych biologicznych oczyszczalni ścieków poziomy emisji mogą być nieco wyższe.

Biochemiczne zapotrzebowanie tlenu w wymienionych zanieczyszczeniach powinno być niskie (około 25 mg/l; 24-godzinna próbka złożona)

## 8.2.2 Emisje do atmosfery

### 8.2.2.1 Redukcja emisji w silnych i słabych cuchnących gazach

**BAT 20. Aby ograniczyć emisje zapachowe oraz emisje całkowitej siarki zredukowanej w silnych i**



słabych gazach, w związku z BAT należy zapobiegać emisjom rozproszonym poprzez wychwytywanie wszystkich gazów odlotowych zawierających siarkę, włączając w to wszystkie odpowietrzniki emitujące siarkę, stosując wszystkie niżej wymienione techniki.

	Technika	Opis
a	System zbiórki silnych i słabych gazów złownych przy pomocy: <ul style="list-style-type: none"> <li>osłon, ssawek, przewodów oraz systemów odprowadzających o stosownej pojemności,</li> <li>ciągłego systemu wykrywania przecieków,</li> <li>środków ochronnych i takiego sprzętu.</li> </ul>	
b	Spalanie silnych i słabych niekondensujących gazów	Spalanie może być przeprowadzone przy użyciu: <ul style="list-style-type: none"> <li>kotła odzysknicowego,</li> <li>wapiennika (1)</li> <li>odpowiedniego palnika NDG wyposażonego w płuczki wodne do usuwania SO<sub>x</sub>,</li> <li>kotła energetycznego (2)</li> </ul> Aby zapewnić stałą dostępność spalania cuchnących silnych gazów, należy zainstalować systemy wspierające. Wapienniki mogą służyć jako wsparcie kotłów odzysknicowych; za dalsze wsparcie mogą służyć pochodnie oraz stosowny kocioł parowy
c	Rejestrowanie niedostępności systemu spalania i emisji powstałych w związku z nimi (3)	
(1) Poziomy emisji SO <sub>x</sub> w wapiennikach znacznie się podnoszą, gdy silne gazy niekondensujące są umieszczane w tychże bez użycia zasadowych płuczek (2) Możliwe do zastosowania przy słabych cuchnących gazach (3) Możliwe do zastosowania przy silnych cuchnących gazach		

#### Zastosowanie

Techniki zasadniczo możliwe do zastosowania przy nowych zakładach lub znacznych przebudowaniu zakładów istniejących. Instalacja potrzebnego sprzętu może być trudna dla istniejących zakładów z powodu ograniczeń przestrzeni i rozkładu pomieszczeń. Zastosowanie spalania może być ograniczone z powodu bezpieczeństwa – w takich przypadkach należy używać płuczek wodnych.

**Poziomy emisji związany z BAT** dla całkowitej siarki zredukowanej w emitowanych słabych gazach reszkowych wynosi 0,05-0,2 kg S/ADt

### 8.2.2.2 Redukcja emisji z kotła odzysknicowego

#### Emisje SO<sub>2</sub> i całkowitej siarki zredukowanej

**BAT 21.** Aby ograniczyć emisje SO<sub>2</sub> i całkowitej siarki zredukowanej z kotła odzysknicowego, w związku z BAT należy zastosować kombinację poniższych technik.

	Technika	Opis
a	Zwiększenie ilości suchej masy w ługu czarnym	Ług czarny może zostać skoncentrowany w procesie parowania przed spalaniem
b	Zoptymalizowane spalanie	Warunki spalania mogą być poprawione np. poprzez dobre zmieszanie powietrza i paliwa, kontrolę zawartości pieca itd.
c	Płuczka wodna	Sekcja 8.7.1.3

#### Poziomy emisji związane z BAT

Patrz: Tabela 8.3

Tabela 8.3 Związane z BAT poziomy emisji SO<sub>2</sub> i całkowitej siarki zredukowanej z kotła odzysknicowego

Parametr		Średnia dzienna (1) (2) mg/Nm <sup>3</sup> przy 6% O <sub>2</sub>	Średnia roczna (1) mg/Nm <sup>3</sup> przy 6% O <sub>2</sub>	Średnia roczna (1) kg S/ADt
SO <sub>2</sub>	DS < 75%	10-70	5-50	-
	DS 75-83%	10-50	5-25	-

	(3)			
<b>Calkowita siarka zredukowana</b>		1-10 (4)	1-5	-
<b>Siarka gazowa (TRS-S+SO<sub>2</sub>-S)</b>	<b>DS &lt; 75%</b>	-	-	0,03-0,17
	<b>DS 75-83% (3)</b>			0,03-0,13
<p>(1) Zwiększenie zawartości suchej masy w ługu czarnym skutkuje mniejszymi emisjami SO<sub>2</sub> i większymi emisjami NO<sub>x</sub>. W związku z tym kocioł odzysknicowy z niskimi poziomami emisji dla SO<sub>2</sub> może mieścić się w górnej granicy zakresu dla NO<sub>x</sub> i odwrotnie.</p> <p>(2) BAT-AELs nie odnoszą się do okresów, w których kocioł odzysknicowy pracuje na mniejszej zawartości suchej masy niż zwykle z powodu zamknięcia lub naprawy działu zajmującego się czarnym ługiem.</p> <p>(3) Jeśli kocioł odzysknicowy miałby spalać ług czarny przy DS &gt; 83%, poziomy emisji SO<sub>2</sub> i siarki gazowej muszą być rozpatrzone w zależności od indywidualnych przypadków.</p> <p>(4) Przedział nie ma zastosowania do spalania silnych cuchnących gazów.</p> <p>DS = zawartość suchej masy w ługu czarnym</p>				

### Emisje NO<sub>x</sub>

**BAT 22. Aby ograniczyć emisje NO<sub>x</sub> z kotła odzysknicowego, w związku z BAT należy zastosować zoptymalizowany system spalania mający wszystkie niżej podane cechy.**

Technika	
a	Skomputeryzowana kontrola spalania
b	Dobre wymieszanie paliwa i powietrza
c	Stopniowane podajniki powietrza, np. poprzez zastosowanie różnych rejestrów powietrza i okien wlotowych

### Zastosowanie

Technika (c) ma zastosowanie przy nowych kotłach odzysknicowych oraz znacznej przebudowie istniejących kotłów, jako że ww. technika wymaga znacznych zmian w podajnikach powietrza i piecu.

### Poziomy emisji związane z BAT

Patrz: Tabela 8.4

**Tabela 8. 4 Poziomy związane z BAT dla emisji NO<sub>x</sub> z kotła odzysknicowego**

Parametr		Średnia roczna (1) mg/Nm <sup>3</sup> przy 6% O <sub>2</sub>	Średnia roczna (1) kg/NO <sub>x</sub> /ADt
<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>Drewno miękkie</b>	120-200 (2)	DS < 75%: 0,8-1,4 DS 75-83% (3): 1,0-1,6
	<b>Drewno twarde</b>	120-200 (2)	DS < 75%: 0,8-1,4 DS 75-83% (3): 1,0-1,7
<p>(1) Zwiększenie zawartości suchej masy w ługu czarnym skutkuje zwiększeniem emisji NO<sub>x</sub> i zmniejszeniem emisji SO<sub>2</sub>. W związku z tym kocioł odzysknicowy z niskimi poziomami emisji dla SO<sub>2</sub> może mieścić się w górnej granicy zakresu dla NO<sub>x</sub> i odwrotnie.</p> <p>(2) Rzeczywisty poziom emisji NO<sub>x</sub> w konkretnym zakładzie zależy od zawartości suchej masy i azotu w ługu czarnym, jak również spalanej kombinacji gazów i innych przepływów zawierających azot (np. rozpuszczony gaz wentylacyjny, metanol oddzielony od kondensatu, czy bioodpady). Czym większa zawartość suchej masy, zawartość azotu w czarnym ługu oraz ilość spalanych gazów i innych przepływów zawierających azot, tym bliżej górnej granicy zakresu BAT-AEL będą znajdowały się emisje.</p> <p>(3) Jeśli kocioł odzysknicowy miałby spalać czarny ług z DS &gt; 83%, poziom emisji NO<sub>x</sub> należy rozpatrywać w zależności od konkretnego przypadku.</p> <p>DS = zawartość suchej masy w ługu czarnym</p>			

### Emisje pyłu

**BAT 23. Aby zredukować emisje pyłu z kotła odzysknicowego, w związku z BAT należy użyć elektrofiltru lub kombinacji elektrofiltru i płuczki wodnej.**

**Opis**

Patrz: Sekcja 8.7.1.1

**Poziomy emisji związane z BAT**

Patrz; Tabela 8.5

**Tabela 8.5 Poziomy związane z BAT dla emisji pyłu z kotła odzysknicowego**

Parametr	System zapobiegania pyleniu	Średnia roczna mg/Nm <sup>3</sup> przy 6% O <sub>2</sub>	Średnia roczna kg pyłu/ADt
Pył	Nowy lub po znacznej przeróbce Istniejący	10-25 10-40 (1)	0,02-0,20 0,02-0,3 (1)

(1) Dla istniejącego kotła odzysknicowego wyposażonego w elektrofiltr i zbliżającego się do końca bycia użytkowanym, poziomy emisji mogą wzrosnąć z czasem do 50 mg/Nm<sup>3</sup> (poziom równoważny z 0,4 kg/ADt)

**8.2.2.3 Redukcja emisji z wapiennika****Emisje SO<sub>2</sub>**

**BAT 24.** Aby zredukować emisje SO<sub>2</sub> z wapiennika, w związku z BAT należy zastosować jedną lub więcej technik podanych poniżej.

	Technika	Opis
a	Selekcja paliwa / stosowanie paliwa niskosiarkowego	Patrz: Sekcja 8.7.1.3
b	Ograniczenie spalania w wapienniku silnych cuchnących gazów zawierających siarkę	
c	Kontrola zawartości Na <sub>2</sub> S w wapnie gaszonym	
d	Stosowanie płuczki zasadowej	

**Poziomy emisji związane z BAT**

Patrz: Tabela 8.6

**Tabela 8.6 Poziomy emisji związane z BAT dla SO<sub>2</sub> i emisje siarki z wapiennika**

Parametr (1)	Średnia roczna mg SO <sub>2</sub> /Nm <sup>3</sup> przy 6% O <sub>2</sub>	Średnia roczna kg S/ADt
SO <sub>2</sub> gdy silne gazy nie są spalane w wapienniku	5-70	-
SO <sub>2</sub> gdy silne gazy są spalane w wapienniku	55-120	-
Siarka gazowa (TRS-S + SO <sub>2</sub> -S) gdy silne gazy nie są spalane w wapienniku	-	0,005-0,07
Siarka gazowa (TRS-S + SO <sub>2</sub> -S) gdy silne gazy są spalane w wapienniku	-	0,055-0,12

(1) Silne gazy to także metanol i terpentyna

**Emisje całkowitej siarki zredukowanej**

**BAT 25.** Aby zmniejszyć emisje całkowitej siarki zredukowanej z wapiennika, w związku z BAT należy zastosować jedną lub więcej technik podanych poniżej.

	Technika	Opis
a	Kontrola nadmiaru tlenu	Patrz: Sekcja 8.7.1.3
b	Kontrola zawartości Na <sub>2</sub> S w wapnie gaszonym	
c	Połączenie elektrofiltru i płuczki zasadowej	Patrz: Sekcja 8.7.1.1

**Poziomy emisji związane z BAT**

Patrz: Tabela 8.7

**Tabela 8.7 Poziomy związane z BAT dla emisji całkowitej siarki zredukowanej i siarki z wapiennika**

Parametr	Średnia roczna mg S/Nm <sup>3</sup> przy 6% O <sub>2</sub>
Całkowita siarka zredukowana	<1-10 (1)
(1) W przypadku wapienników spalających silne gazy (w tym metanol i terpentynę) górny zakres przedziału AEL może sięgać nawet do 40mg/Nm <sup>3</sup>	

**Emisje NOx**

**BAT 26.** Aby zredukować emisje NOx z wapiennika, należy zastosować kombinację niniejszych technik.

	Technika	Opis
a	Zoptymalizowane spalanie i kontrola spalania	Patrz: Sekcja 8.7.1.2
b	Dobre zmieszanie paliwa i powietrza	
c	Używanie palnika z niską zawartością NOx	
d	Selekcja paliwa/używanie paliwa niskoazotowego	

**Poziomy emisji związane z BAT**

Patrz: Tabela 8.8

**Tabela 8.8 Poziomy związane z BAT dla emisji NOx z wapiennika**

Parametr	Średnia roczna mg/Nm <sup>3</sup> przy 6% O <sub>2</sub>	Średnia roczna kg NOx/ADt
NOx	Paliwa ciekłe	100-200 (1)
	Paliwa gazowe	100-350 (2)
(1) W przypadku korzystania z paliw ciekłych zrobionych z materii roślinnej (np. terpentyna, metanol, olej talowy), włączając w to uboczne produkty procesu pulpowania, poziomy emisji mogą wynosić nawet 350 mg/Nm <sup>3</sup> (0,35 kg NOx/ADt).		
(2) W przypadku korzystania z paliw gazowych zrobionych z materii roślinnej (np. gazy niekondensujące), włączając w to uboczne produkty procesu pulpowania, poziomy emisji mogą wynosić nawet 450 mg/Nm <sup>3</sup> (0,45 kg NOx/ADt).		

**Emisje pyłu**

**BAT 27.** Aby zredukować emisje pyłu pochodzące z wapiennika, w związku z BAT należy użyć elektrofiltru lub kombinacji elektrofiltru i płuczki wodnej.

**Opis**

Patrz: Sekcja 8.7.1.1

**Poziomy emisji związane z BAT**

Patrz: Tabela 8.9

**Tabela 8.9 Poziomy związane z BAT dla emisji pyłu pochodzących z wapiennika**

Parametr	System odpylania	Średnia roczna mg/Nm <sup>3</sup> przy 6% O <sub>2</sub>	Średnia roczna kg pyłu/ADt
Pył	Nowy lub po znacznych przeróbkach	10-25	0,005-0,02
	Istniejący	10-30 (1)	0,005-0,03 (1)
(1) W przypadku istniejących wapienników wyposażonych w elektrofiltr zbliżających się do końca bycia użytkowymi, poziomy emisji mogą z czasem wzrosnąć do 50 mg/Nm <sup>3</sup> (0,05 kg/ADt)			

### 8.2.2.4 Redukcja emisji z palnika do silnych gazów cuchnących (dedykowanego palnika TRS)

**BAT 28.** Aby zredukować emisje SO<sub>2</sub> pochodzące ze spalania silnych cuchnących gazów w dedykowanym palniku TRS, w związku z BAT należy użyć zasadowej płuczki SO<sub>2</sub>.

#### Poziomy emisji związane z BAT

Patrz: Tabela 8.10

**Tabela 8. 10** Poziomy związane z BAT dla emisji SO<sub>2</sub> powstałych wskutek spalania silnych gazów w dedykowanym palniku TRS

Parametr	Średnia roczna mg/Nm <sup>3</sup> przy 9% O <sub>2</sub>	Średnia roczna kg S/ADt
SO <sub>2</sub>	20-120	-
<b>Całkowita siarka zredukowana (TRS)</b>	1-5	
<b>Siarka gazowa (TRS-S + SO<sub>2</sub> -S)</b>	-	0,002-0,05 (1)

(1) Niniejszy przedział BAT-AEL bazuje na przepływie gazu w zakresie 100-200 Nm<sup>3</sup> /ADt

**BAT 29.** Aby zredukować emisje NO<sub>x</sub> pochodzące ze spalania silnych cuchnących gazów w dedykowanym palniku TRS, w związku z BAT należy użyć jednej lub więcej podanych niżej technik.

	Technika	Opis	Zastosowanie
a	Optymalizacja palnika/spalania	Patrz: Sekcja 8.7.1.2	Zasadniczo możliwe do zastosowania
b	Stopniowe spalanie		Zasadniczo możliwe do zastosowania przy nowych zakładach lub po znacznych przeróbkach. W przypadku istniejących zakładów, możliwe do zastosowania tylko gdy przestrzeń pozwala na rozmieszczenie sprzętu

#### Poziomy emisji związane z BAT

Patrz: Tabela 8.11

**Tabela 8. 11** Poziomy związane z BAT dla emisji NO<sub>x</sub> powstałych wskutek spalania silnych gazów w dedykowanym palniku TRS

Parametr	Średnia roczna mg/Nm <sup>3</sup> przy 9% O <sub>2</sub>	Średnia roczna kg NO <sub>x</sub> /ADt
NO <sub>x</sub>	50-400 (1)	0,01-0,1 (1)

(1) Jeśli w istniejącym zakładzie nie jest możliwe przejście na stopniowe spalanie, poziomy emisji mogą wynosić nawet 1000 mg/Nm<sup>3</sup> (0,2 kg/ADt).

### 8.2.3 Generacja odpadów

**BAT 30.** Aby zapobiec generacji odpadów i zminimalizować ilość wyrzucanych odpadów stałych, w związku z BAT należy dokonać recyklingu pyłu z elektrofiltrów kotłów odzysknicowych do ługu czarnego.

#### Zastosowanie

Recyrkulacja pyłu może być ograniczona przez pozaprocesowe elementy w pyle.

### 8.2.4 Zużycie energii i wydajność

**BAT 31.** Aby zredukować zużycie energii cieplnej (pary), zmaksymalizować korzyści pochodzące z używanych nośników energii, jak również zmniejszyć zużycie elektryczności, w związku z BAT należy

**zastosować kombinację poniższych technik.**

	<b>Technika</b>
a	Uzyskanie wysokiej zawartości suchej masy z kory poprzez użycie wydajnych pras lub suszenie
b	Użycie wysokowydajnych kotłów parowych, np. z niskimi temperaturami gazów odlotowych
c	Zastosowanie wydajnego wtórnego systemu ogrzewania
d	Zamknięcie obiegów wodnych, włączając w to wybielarnie
e	Wysokie skondensowanie masy włóknistej (technika średniej lub wysokiej gęstości)
f	Zastosowanie wysokowydajnego urządzenia odparowującego
g	Odzyskiwanie ciepła ze zbiorników rozpuszczających (np. przy pomocy płuczki odpowietrznika)
h	Odzyskiwanie i użycie strumieni niskich temperatur ze ścieków i innych odpadowych źródeł ciepła do ogrzewania budynków, wody zasilającej kotły energetyczne oraz wody przemysłowej
i	Stosowne użycie wtórnego ciepła i wtórnych kondensatów
j	Monitoring i kontrola procesów przy użyciu zaawansowanych systemów kontroli
k	Zoptymalizowane użycie zintegrowanej sieci kontroli ciepła
l	Odzyskiwanie ciepła z gazu odlotowego z kotła odzysknicowego między elektrofiltrem a wentylatorem
ł	Zapewnienie tak wysokiej gęstości masy włóknistej jak to tylko możliwe przy myciu i analizie
m	Stosowanie kontroli prędkości w różnych dużych silnikach
n	Stosowanie wydajnych pomp próżniowych
o	Stosowne określenie wielkości przewodów, pomp i wentylatorów
p	Zoptymalizowanie poziomów zbiorników

**BAT 32. Aby zwiększyć wydajność produkcji energii elektrycznej, w związku z BAT należy zastosować kombinację poniższych technik**

	<b>Technika</b>
a	Wysoka zawartość suchej masy w ługu czarnym (zwiększa wydajność kotłów, generacji pary, a w związku z tym także generacji elektryczności)
b	Wysokie ciśnienie i temperatura w kotle; w nowych kotłach odzysknicowych ciśnienie może wynosić min. 100 barów, a temperatura 510°C
c	Ciśnienie pary wylotowej w turbinie przeciwprężnej tak niskie jak to tylko technicznie wykonalne
d	Turbina kondensacyjna do produkcji energii z nadmiarowej pary
e	Wysoka efektywność turbin
f	Wstępne ogrzewanie wody zasilającej do temperatury bliskiej temperaturze wrzenia
<b>Technika</b>	
g	Wstępne ogrzewanie powietrza do spalania i paliwa podawanego do kotła

### 8.3 Konkluzje BAT dotyczące procesu siarczynowego

Oprócz konkluzji z niniejszej sekcji, do zintegrowanych papierni i celulozowni odnoszą się także specyficzne dla procesu konkluzje BAT związane z produkcją papieru zawarte w Sekcji 8.6.

#### 8.3.1 Ścieki i emisje do wody

**BAT 33. Aby zapobiegać i zredukować emisje zanieczyszczeń z całego zakładu do wód, do których odprowadzane są ścieki, w związku z BAT należy zastosować odpowiednią kombinację technik**

zawartych w BAT 13, BAT 14, BAT 15, BAT 16, jak również technik podanych poniżej.

	Technika	Opis	Zastosowanie
a	Rozszerzone zmodyfikowane gotowanie przed wybielaniem	Patrz: Sekcja 8.7.2.1	Zastosowanie może być ograniczone przez wymagania co do jakości masy włóknistej (gdy wymagana jest duża gęstość)
b	Delignifikacja tlenowa przed wybielaniem		Zasadniczo możliwe do zastosowania
c	Dokładne badanie masy celulozowej i efektywne mycie tejsze		Ograniczone zastosowanie w likwidowanych celulozowniach, gdy wielostopniowe biologiczne potraktowanie ścieków zapewnia lepszą ogólną sytuację w temacie ochrony środowiska
d	Odprowadzenie ścieków na etapie ekstrakcji gorących roztworów zasadowych i spalanie koncentratów w kotle sodowym		Ograniczone zastosowanie w przypadku zakładów produkujących masę włóknistą o dużej jasności oraz zakładów produkujących specjalistyczną pulpę do celów chemicznych
e	Wybielanie całkowicie bezchlorowe		Zastosowanie ograniczone do zakładów, które używają tej samej bazy do gotowania i adiustacji pH w procesie wybielania
f	Wybielanie w zamkniętym obiegu		Zastosowanie może być ograniczone przez takie czynniki jak jakość produktu (np. czystość i jasność), liczba kappa przed gotowaniem, hydrauliczna pojemność instalacji i zbiorników, jak również możliwość czyszczenia wyposażenia myjącego
g	Wstępne wybielanie bazujące na MgO oraz recyrkulacja płynów myjących od wstępnego wybielania do mycia masy celulozowej		Zasadniczo możliwe do zastosowania w zakładach bazujących na magnezie. Wymagana jest wolna przestrzeń w kotle odzysknicowym oraz obieg popiołu
h	Dostosowanie pH słabej cieczy przed skorzystaniem z urządzenia odparowującego lub w środku tegoż		Zasadniczo możliwe do zastosowania
i	Beztlenowe oczyszczanie kondensatów z urządzeń odparowujących		Możliwe do zastosowania gdy konieczne jest zachowanie anaerobowego oczyszczania ścieków
j	Resztkowanie i odzyskiwanie SO <sub>2</sub> z kondensatów z urządzeń odparowujących		Zasadniczo możliwe do zastosowania
k	Efektywny monitoring wycieków i ich zawartości wraz z chemicznym i energetycznym systemem odzyskiwania		

### Poziomy emisji związane z BAT

Patrz: Tabela 8.12 i 8.13. Niniejsze poziomy nie mają zastosowania do likwidowanych celulozowni oraz produkcji specjalistycznej masy celulozowej do celów chemicznych.

Wzorcowy przepływ ścieków dla procesu siarczynowego jest zawarty w BAT 5.

**Tabela 8. 12 Poziomy emisji związane z BAT dotyczące bezpośredniego zrzutu ścieków do wód przyjmujących z celulozowni produkujących siarczynową bieloną masę celulozową oraz masę magnefitową.**

Parametr	Siarczynowa bielona masa celulozowa (1)	Masa magnefitowa (1)
	Średnia roczna kg/ADt (2)	Średnia roczna kg/ADt
Chemiczne zapotrzebowanie tlenu	10-30 (3)	20-35
Zawiesiny stałe ogółem	0,4-1,5	0,5-2,0
Azot całkowity	0,15-0,3	0,1-0,25

Fosfor całkowity	0,01-0,05 (3)	0,01-0,07
	<b>Średnia roczna</b> mg/l	
Adsorbowalne halogenki organiczne	0,5-1,5 (4) (5)	
<p>(1) Zakresy BAT-AEL odnoszą się do produkcji rynkowej masy celulozowej oraz celulozowni funkcjonujących w ramach zakładów zintegrowanych (nie dotyczą emisji powstałych wskutek produkcji papieru).</p> <p>(2) BAT-AEL nie odnoszą się do naturalnych celulozowni tłuszczoodpornych</p> <p>(3) BAT-AEL dla chemicznego zapotrzebowania tlenu i fosforu całkowitego nie odnoszą się do rynkowej masy celulozowej bazującej na eukaliptusie</p> <p>(4) Celulozownie produkujące rynkową pulpę siarczynową mogą stosować etap łagodnego wybielania ClO<sub>2</sub> celem spełnienia wymagań produktowych, a w związku z tym emitować adsorbowalne halogenki organiczne</p> <p>(5) Nie dotyczy zakładów z produkcją całkowicie bezchlorową</p>		

**Tabela 8. 13 Poziomy emisji związane z BAT dotyczące bezpośredniego zrzutu ścieków do wód przyjmujących z celulozowni produkujących siarczynową masę celulozową z neutralnym siarczynem pół-chemicznym**

Parametr	Średnia roczna kg/ADt (1)
Chemiczne zapotrzebowanie tlenu	3,2-11
Zawiesiny stałe ogółem	0,5-1,3
Azot całkowity	0,1-0,2 (2)
Fosfor całkowity	0,01-0,02
<p>(1) Zakresy BAT-AEL odnoszą się do produkcji rynkowej masy celulozowej oraz celulozowni funkcjonujących w ramach zakładów zintegrowanych (nie dotyczą emisji powstałych wskutek produkcji papieru).</p> <p>(2) Z powodu wyższych emisji specyficznych dla procesu, przedziały dla azotu całkowitego nie odnoszą się do pulpowania z neutralnym siarczynem pół-chemicznym bazującego na jonie amonowym.</p>	

Oczekuje się, że koncentracja biologicznego zapotrzebowania na tlen w oczyszczanych ściekach będzie niska (ok. 25 mg/l jako 24-godzinna próbka kompozytowa).

### 8.3.2 Emisje do atmosfery

**BAT 34.** Aby zapobiec emisjom SO<sub>2</sub> i zredukować je, w związku z BAT należy zebrać wszystkie wysoko skoncentrowane gazowe strumienie SO<sub>2</sub> z produkcji kwasów, komór fermentacyjnych, dyfuzorów lub zbiorników przedmuchowych i odzyskać komponenty siarkowe.

**BAT 35.** Aby zapobiec rozproszonym cuchnącym i zawierającym siarkę emisjom z mycia, przesiewu i parowania oraz zredukować je, w związku z BAT należy zebrać słabe gazy i zastosować jedną z poniższych technik.

	Technika	Opis	Zastosowanie
a	Spalanie w kotle odzysknicowym	Patrz: Sekcja 8.7.1.3	Niemożliwe do zastosowania w przypadku zakładów produkujących pulpę siarczynową przy użyciu gotowania opartego na wapnie. Takie zakłady nie posiadają kotła odzysknicowego
b	Płuczka wodna		Zasadniczo możliwe do zastosowania

**BAT 36.** Aby zredukować emisję NO<sub>x</sub> z kotła odzysknicowego, w związku z BAT należy zastosować zoptymalizowany system spalania korzystając z jednej lub więcej technik podanych poniżej.

	Technika	Opis	Zastosowanie
a	Zoptymalizowanie kotła odzysknicowego poprzez kontrolę warunków spalania	Patrz: Sekcja	Zasadniczo możliwe do zastosowania



b	Stopniowa iniekcja zużytego płynu	8.7.1.2	Możliwe do zastosowania przy nowych dużych kotłach odzysknicowych oraz znacznych przeróbkach kotłów
c	Selektywna redukcja niekatalityczna		Modernizacja istniejących kotłów odzysknicowych może być ograniczona przez problemy ze skalowaniem oraz związane z tym większe wymagania co do utrzymania i czyszczenia. Nie zanotowano przypadków zastosowania omawianej techniki w zakładach bazujących na jonie amonowym, jednakże z powodu specyficznych właściwości zbędnego gazu, selektywna redukcja niekatalityczna nie przyniesie efektu. Technika niemająca zastosowania w przypadku zakładów bazujących na sodzie z powodu ryzyka eksplozji

### Poziomy emisji związane z BAT

Patrz: Tabela 8.14

**Tabela 8. 14 Poziomy związane z BAT dla emisji NOx i NH3 z kotła odzysknicowego**

Parametr	Średnia dzienna mg/Nm <sup>3</sup> przy 5% O <sub>2</sub>	Średnia roczna mg/Nm <sup>3</sup> przy 5% O <sub>2</sub>
NOx	100-350 (1)	100-270 (1)
NH <sub>3</sub> (przepływ amoniaku w selektywnej redukcji niekatalitycznej)		<5

(1) W przypadku zakładów bazujących na jonie amonowym może wystąpić wyższy poziom NOx – do 580 mg/Nm<sup>3</sup> jako średnia dzienna i do 450 mg/Nm<sup>3</sup> jako średnia roczna

**BAT 37. Aby zredukować emisje pyłu i SO<sub>2</sub> z kotła odzysknicowego, w związku z BAT należy zastosować jedną z poniższych technik oraz ograniczyć użycie kwasów przy płuczkach do minimum pozwalającego na ich prawidłowe funkcjonowanie.**

	Technika	Opis
a	Elektrofiltr lub multicyklony z wieloetapowymi zwężkami-płuczkami	Patrz: Sekcja 8.7.1.3
b	Elektrofiltr lub multicyklony z wieloetapowymi płuczkami z podwójnymi wewnętrznymi strumieniami	

### Poziomy emisji związane z BAT

Patrz: Tabela 8.15

**Tabela 8. 15 Poziomy związane z BAT dla emisji pyłu i SO<sub>2</sub> z kotła odzysknicowego**

Parametr	Średnia z okresu objętego próbą mg/Nm <sup>3</sup> przy 5% O <sub>2</sub>	
Pył	5-20 (1) (2)	
SO <sub>2</sub>	Średnia dzienna mg/Nm <sup>3</sup> przy 5% O <sub>2</sub> 100-300 (3) (4) (5)	Średnia roczna mg/Nm <sup>3</sup> przy 5% O <sub>2</sub> 50-250 (3) (4)

(1) W przypadku kotłów odzysknicowych pracujących w zakładach, gdzie używane jest ponad 25% drewna twardego (bogatego w potas) w surowcach, emisje pyłu mogą wynosić nawet 30 mg/Nm<sup>3</sup>  
(2) Zakresy BAT-AEL dla pyłu nie mają zastosowania w przypadku zakładów bazujących na jonie amonowym  
(3) Z powodu wyższych emisji specyficznych dla procesu, BAT-AEL dla SO<sub>2</sub> nie mają zastosowania w przypadku kotłów odzysknicowych pracujących w „kwasowych” warunkach, tj. używając cieczy siarczynowej jako środka do mycia (część procesu odzyskiwania siarczyny)  
(4) W przypadku istniejących wieloetapowych zwężek-płuczek, emisje SO<sub>2</sub> mogą wynosić nawet 400 mg/Nm<sup>3</sup> jako średnia dzienna i 350 mg/Nm<sup>3</sup> jako średnia roczna  
(5) Nie ma zastosowania w czasie „operacji kwasowej”, tj. okresów prewencyjnego splukiwania i mycia osadów w płuczkach. W

ww. czasie emisje mogą wynosić do 300-500 mg SO<sub>2</sub>/Nm<sup>3</sup> (przy 5% O<sub>2</sub>) przy myciu jednej płuczki oraz do 1200 mg SO<sub>2</sub>/Nm<sup>3</sup> (średnia półgodzinna wartość przy 5% O<sub>2</sub>) przy myciu ostatniej zmywarki

**Poziom aktywności środowiskowej związany z BAT** to trwanie „operacji kwasowej” przez około 240 godzin w roku dla płuczki oraz mniej niż 24 godziny w miesiącu dla ostatniej płuczki monosiarczynowej.

### 8.3.3 Zużycie energii i wydajność

**BAT 38.** Aby zredukować zużycie energii cieplnej (pary), zmaksymalizować korzyści przynoszone przez nośniki energii oraz zmniejszyć zużycie elektryczności, w związku z BAT należy zastosować kombinację poniższych technik.

	Technika
a	Wysoka zawartość suchej masy w korze, osiągnięta przez użycie wydajnej prasy oraz suszenia
b	Wysokowydajne kotły parowe, np. z niskimi temperaturami spalin
c	Efektywny wtórny system ogrzewania
d	Zamknięte systemy wodne, włączając w to wybielarnię
e	Wysoka koncentracja masy celulozowej (osiągnięta przez zastosowanie technik średniej lub wysokiej gęstości)
f	Odzyskiwanie i użycie strumieni niskich temperatur ze ścieków i innych wtórnych źródeł ciepła do ogrzewania budynków, wody zasilającej kocioł energetyczny oraz wód przemysłowych
g	Stosowne użycie wtórnego ciepła i wtórnego kondensatu
h	Monitoring i kontrola procesów przy użyciu zaawansowanych systemów kontroli
i	Zoptymalizowana i zintegrowana sieć wymienników ciepła
	Technika
j	Zapewnienie tak wysokiej gęstości masy celulozowej, jak to tylko możliwe, poprzez mycie i kontrole
k	Zoptymalizowane poziomy zbiorników

**BAT 39.** Aby zwiększyć efektywność produkcji energii, w związku z BAT należy zastosować kombinację poniższych technik

	Technika
a	Duże ciśnienie i temperatura w kotle odzysknicowym
b	Ciśnienie wyjściowe pary w turbinie przeciwprężnej tak niskie, jak to technicznie wykonalne
c	Turbina kondensacyjna do produkcji energii z nadmiarowej pary
d	Wysoka wydajność turbin
e	Wstępne grzanie wody zasilającej do temperatury bliskiej wrzeniu
f	Wstępna grzanie powietrza do spalania i paliwa wprowadzanego do kotłów

## 8.4 Konkluzje BAT dotyczące pulpownia mechanicznego i chemo-mechanicznego

Konkluzje z obszaru BAT zawarte w niniejszej sekcji odnoszą się do wszystkich zintegrowanych zakładów produkujących masę włóknistą mechaniczną, papier i tekturę, jak również do zakładów produkujących wyłącznie masę włóknistą mechaniczną, chemo-mechaniczną i chemo-termo-mechaniczną. Oprócz konkluzji z niniejszej sekcji, do produkcji papieru w ww. zakładach zintegrowanych odnoszą się także wnioski z **BAT 49, BAT 51, BAT 52 c oraz BAT 53.**

### 8.4.1 Ścieki i emisje do wody

**BAT 40.** Aby zredukować zużycie świeżej wody, przepływ ścieków oraz ilość zanieczyszczeń, w związku z BAT należy użyć stosownej kombinacji technik podanych w BAT 13, BAT 14, BAT 15 i BAT 16 oraz technik podanych poniżej.

	Technika	Opis	Zastosowanie
a	Przepływ wody przemysłowej pod prąd oraz rozdzielanie systemów wodnych	Patrz: Sekcja 8.7.2.1	Zasadniczo możliwe do zastosowania
b	Wybielanie wysokiej gęstości		
c	Etap mycia przed rafinacją pulpy mechanicznej z miękkiego drewna przy użyciu wstępnej obróbki wiórem		
d	Zastąpienie NaOH przez Ca(OH) <sub>2</sub> lub Mg(OH) <sub>2</sub> występującymi jako alkalia w bieleniu nadtlenkami		W przypadku najwyższych poziomów jasności zastosowanie może być ograniczone
e	Odzyskiwanie włókien i wypełniaczy oraz wykorzystanie białej wody (produkcja papieru)		Zasadniczo możliwe do zastosowania
f	Optymalny projekt i konstrukcja zbiorników oraz skrzyń (produkcja papieru)		

#### Poziomy emisji związane z BAT

Patrz: Tabela 8.16. BAT-AEL odnoszą się także do zakładów produkujących pulpę mechaniczną. Referencyjny przepływ ścieków dla zakładów zintegrowanych (pulpą mechaniczną, chemo-mechaniczną i chemo-termo-mechaniczną) znajduje się w BAT 5.

**Tabela 8. 16 Poziomy emisji związane z BAT dla bezpośredniego zrzutu ścieków do wód przyjmujących wskutek zintegrowanej produkcji papieru oraz produkcji tektury z pulpy mechanicznej wytwarzanej na miejscu**

Parametr	Średnia roczna kg/t
Chemiczne zapotrzebowanie tlenu	0,9-4,5 (1)
Zawiesiny stałe ogółem	0,06-0,45
Azot całkowity	0,03-0,1 (2)
Fosfor całkowity	0,001-0,01

(1) W przypadku wysoko bielonej pulpy mechanicznej (70-100% włókien w papierze końcowym) emisje mogą wynosić do 8 kg/t.  
(2) Jeżeli biodegradowalne lub dające się wyeliminować czynniki chelatujące nie mogą być użyte z powodu wymagań co do jakości masy celulozowej (np. duża jasność), emisje azotu całkowitego mogą być wyższe niż ww., w związku z czym należy je wyznaczyć w zależności od konkretnego przypadku.

**Tabela 8. 17 Poziomy emisji związane z BAT dla bezpośredniego zrzutu ścieków do wód przyjmujących z zakładów produkujących chemo-mechaniczną i chemo-termo-mechaniczną masę celulozową**

Parametr	Średnia roczna kg/ADt
Chemiczne zapotrzebowanie tlenu	12-20
Zawiesiny stałe ogółem	0,5-0,9
Azot całkowity	0,15-0,18 (1)
Fosfor całkowity	0,001-0,01

(1) Jeżeli biodegradowalne lub dające się wyeliminować czynniki chelatujące nie mogą być użyte z powodu wymagań co do jakości masy celulozowej (np. duża jasność), emisje azotu całkowitego mogą być wyższe niż ww., w związku z czym należy je wyznaczyć w zależności od konkretnego przypadku.

Koncentracja biologicznego zapotrzebowania tlenu w oczyszczanych ściekach powinna być nieduża (ok. 25 mg/l jako 24-godzinna próbka kompozytowa).

## 8.4.2 Zużycie energii i wydajność

**BAT 41.** Aby zredukować zużycie energii cieplnej i elektrycznej, w związku z BAT należy zastosować kombinację poniższych technik.

	Technika	Zastosowanie
a	Korzystanie z energooszczędnych rafinerii	Możliwe do zastosowania w przypadku wymiany, przebudowy lub modernizacji wyposażenia procesowego
b	Intensywne odzyskiwanie wtórnego ciepła z rafinowania termomechanicznej i chemo-termo-mechanicznej masy włóknistej i użycie odzyskanej pary przy suszeniu papieru lub pulpy	Zasadniczo możliwe do zastosowania
c	Zminimalizowanie strat włókien przy użyciu wydajnych systemów rafinujących (wtórnych rafinerii)	
d	Instalacja energooszczędnego wyposażenia, włączając w to zautomatyzowaną kontrolę procesu zamiast manualnej	
e	Redukcja zużycia świeżej wody przy użyciu wewnętrznego zarządzania wodami procesowymi, jak również systemów recykulacji	
f	Redukcja bezpośredniego stosowania pary poprzez uważną integrację procesu przy użyciu np. analizy punktów zbliżenia	

## 8.5 Konkluzje z obszaru BAT dotyczące przygotowania papieru do recyklingu

Niniejsze konkluzje BAT odnoszą się do wszystkich zintegrowanych zakładów odzyskujących włókna poprzez recykling oraz do takich celulozowni. Oprócz konkluzji z poniższej sekcji, do produkcji papieru w zintegrowanych zakładach odzyskujących włókna, wytwarzających także masę celulozową i tekturę, odnoszą się również wnioski z **BAT 49, BAT 51, BAT 52c oraz BAT 53.**

### 8.5.1 Zarządzanie materiałami

**BAT 42.** Aby zapobiec zanieczyszczeniu gleby i wód podziemnych oraz zminimalizować ryzyko tegoż, jak również zredukować oddziaływanie wiatru na papier do recyklingu i rozproszone emisje pyłu z miejsca składowania papieru do recyklingu, w związku z BAT należy zastosować kombinację poniższych technik.

	Technika	Zastosowanie
a	Utwardzenie podłoża w miejscu składowania papieru do recyklingu	Zasadniczo możliwe do zastosowania
b	Zbiór zanieczyszczonej wody odpływowej w obszarze składowania papieru do recyklingu i oczyszczenie jej w oczyszczalni (czysta woda deszczowa, np. z dachów, może być zbierana osobno)	Zastosowanie może być ograniczone przez stopień zanieczyszczenia wody odpływowej (mała koncentracja) lub/i rozmiar oczyszczalni ścieków (duże jednostki)
c	Otoczenie miejsca składowania papieru do recyklingu ogrodzeniem chroniącym przed wiatrem	Zasadniczo możliwe do zastosowania
d	Regularne sprzątanie miejsca składowania papieru do recyklingu, zamiatanie połączonych z nim dróg oraz opróżnianie kanalizacji burzowych celem zredukowania rozproszonych emisji pyłu. Ww. działania zredukują pozostałości po papierze roznoszone przez wiatr, włókna i niszczenie papieru przez ruch na miejscu jego	Zasadniczo możliwe do zastosowania

	przechowywania, co może powodować dodatkowe emisje pyłu, szczególnie w porze suszy	
e	Składowanie bali lub luźnego papieru pod dachem celem ochrony materiału przed wpływem pogody (wilgocią, mikrobiologicznymi procesami degradacji itd.)	Zastosowanie może być ograniczone przez rozmiar obszaru

## 8.5.2 Ścieki i emisje do wody

**BAT 43.** Aby zredukować zużycie świeżej wody, przepływ ścieków oraz ilość zanieczyszczeń, w związku z BAT należy zastosować kombinację poniższych technik.

	Technika	Opis
a	Rozdzielenie systemów wodnych	Patrz: Sekcja 8.7.2.1
b	Przepływ wody przemysłowej pod prąd i recykulacja wody	
c	Częściowy recykling oczyszczanych ścieków po oczyszczaniu biologicznym	Wiele zakładów odzyskujących włókna poprzez recykling wprowadza także biologicznie oczyszczone ścieki z powrotem w obieg wodny, szczególnie zakłady produkujące wytwory fałdowane lub Testliner
d	Klaryfikacja białej wody	Patrz: Sekcja 8.7.2.1

**BAT 44.** Aby zachować zaawansowane zamknięcie obiegu wody w zakładach przygotowujących papier do recyklingu oraz uniknąć możliwych negatywnych efektów wzmożonego recyklingu wody przemysłowej, w związku z BAT należy zastosować kombinację podanych niżej technik.

	Technika	Opis
a	Monitoring i stała kontrola jakości wody przemysłowej	Patrz: Sekcja 8.7.2.1
b	Prewencja i eliminacja biofilmów przy użyciu metod, które minimalizują emisje biocydów	
c	Usunięcie wapnia z wody przemysłowej poprzez kontrolowane wydzielanie węgla wapnia	

### Zastosowanie

Techniki a-c mogą być stosowane w zakładach odzyskujących włókna poprzez recykling, gdzie istnieje zaawansowane zamknięcie obiegu wodnego.

**BAT 45.** Aby zapobiegać zanieczyszczeniom wód przyjmujących przez wpływające doń ścieki z całego zakładu oraz zredukować ilość zanieczyszczeń, w związku z BAT należy użyć stosownej kombinacji technik zawartych w BAT 13, BAT 14, BAT15, BAT 16, BAT 43 i BAT 44.

W przypadku zakładów zintegrowanych zakładów odzyskujących włókna poprzez recykling, zakresy BAT-AEL zawierają także emisje z produkcji papieru, jako że obiegi białej wody w maszynach papierniczych są ściśle związane z obiegami używanymi przy przygotowaniu surowca.

### Poziomy emisji związane z BAT

Patrz: Tabela 8.18 i 8.19

Poziomy emisji związane z BAT zamieszczone w tabeli 8.18 odnoszą się także do celulozowni odzyskujących włókna poprzez recykling bez odbarwiania, a poziomy z tabeli 8.19 odnoszą się także do celulozowni odzyskujących włókna poprzez recykling z odbarwianiem.

Referencyjny przepływ ścieków dla zakładów odzyskujących włókna poprzez recykling został zamieszczony w BAT 5.

**Tabela 8. 18 Poziomy emisji związane z BAT dla bezpośredniego zrzutu ścieków do wód przyjmujących wskutek zintegrowanej produkcji papieru i tektury z masy celulozowej z włóknami po recyklingu, wyprodukowanej na miejscu bez odbarwiania**

Parametr	Średnia roczna kg/t
Chemiczne zapotrzebowanie tlenu	0,4(1)-1,4
Zawiesiny stałe ogółem	0,02-0,2 (2)
Azot całkowity	0,008-0,09
Fosfor całkowity	0,001-0,005 (3)
Adsorbowane organicznie związane chlorowce	0,5 dla papieru odpornego na działanie wody
(1) W przypadku zakładów z całkowicie zamkniętym obiegiem wodnym nie ma emisji chemicznego zapotrzebowania tlenu	
(2) W przypadku istniejących zakładów poziomy mogą wynosić nawet 0,45 kg/t z powodu ciągłego pogarszania się jakości papieru do recyklingu i trudności z ciągłym ulepszaniem oczyszczalni ścieków	
(3) Dla zakładów z przepływem ścieków pomiędzy 5 a 10 m <sup>3</sup> /t górna granica zakresu wynosi 0,008 kg/t.	

**Tabela 8. 19 Poziomy emisji związane z BAT dotyczące bezpośredniego zrzutu ścieków do wód przyjmujących wskutek zintegrowanej produkcji papieru i tektury z pulpy z włókien poddanych recyklingowi wraz z odbarwianiem na miejscu**

Parametr	Średnia roczna kg/t
Chemiczne zapotrzebowanie tlenu	0,9-3,0 0,9-4,0 dla bibuły
Zawiesiny stałe ogółem	0,08-0,3 0,1-0,4 dla bibuły
Azot całkowity	0,01-0,1 0,01-0,15 dla bibuły
Fosfor całkowity	0,002-0,01 0,002-0,015 dla bibuły
Adsorbowane organicznie związane chlorowce	0,5 dla papieru odpornego na działanie wody

Koncentracja biologicznego zapotrzebowania tlenu w oczyszczanych ściekach powinna być nieduża (ok. 25 mg/l jako 24-godzinna próbka kompozytowa).

### 8.5.3 Zużycie energii i wydajność

**BAT 46. W związku z BAT należy zredukować zużycie energii w papierniach odzyskujących włókna poprzez recykling korzystając z kombinacji podanych niżej technik.**

	Technika	Zastosowanie
a	Produkcja masy celulozowej o wysokiej gęstości do produkcji papieru, który ma być zredukowany do pojedynczych włókien	Zasadniczo możliwe do zastosowania w przypadku nowych zakładów, jak również przy znacznej modernizacji zakładów istniejących
b	Wydajny przesiew grubych i drobnych elementów poprzez zoptymalizowanie konstrukcji wirnika oraz urządzeń do przesiewu, co pozwoli użyć mniejszego sprzętu z mniejszym zużyciem energii	
c	Energooszczędne przygotowanie produktu, pozbycie się nieczystości najszybciej jak to możliwe w procesie repulpowania, zastosowanie zoptymalizowanych komponentów maszynowych w jak najmniejszej liczbie, a tym sposobem skrócenie energochłonnego przetwarzania włókien	

## 8.6 Konkluzje z obszaru BAT dotyczące produkcji papieru i związanych z tym procesów

Konkluzje z niniejszej sekcji odnoszą się do niezintegrowanych papierń i zakładów produkujących tekturę, jak również do działów wytwarzania papieru i tektury ze zintegrowanych zakładów zajmujących się procesami siarczanowym i siarczynowym oraz produkcją pulpy chemo-mechanicznej i chemo-termo-mechanicznej.

**BAT 49, BAT 51, BT 52c i BAT 53** odnoszą się do wszystkich zintegrowanych papierń i celulozowni.

Oprócz konkluzji BAT z niniejszej sekcji, do zintegrowanych zakładów zajmujących się procesami siarczanowym i siarczynowym oraz produkcją pulpy chemo-mechanicznej i chemo-termo-mechanicznej odnoszą się także konkluzje BAT specyficzne dla procesu pulpowania.

### 8.6.1 Ścieki i emisje do wody

**BAT 47. Aby ograniczyć generowanie ścieków, w związku z BAT należy zastosować kombinację podanych niżej technik.**

	Technika	Opis	Zastosowanie
a	Optimalny projekt i konstrukcja zbiorników i skrzyń	Patrz: Sekcja 8.7.2.1	Możliwe do zastosowania w nowych zakładach, jak również w istniejących zakładach pod warunkiem znacznych przeróbek
b	Odzyskiwanie włókien i wypełniaczy oraz zarządzanie białą wodą		Zasadniczo możliwe do zastosowania
c	Recykulacja wody		Zasadniczo możliwe do zastosowania. Rozpuszczone materiały organiczne, nieorganiczne i koloidalne mogą wpływać na ponowne użycie wody w sekcji sitowej
d	Optimalizacja pryszniców w maszynie papierniczej		Zasadniczo możliwe do zastosowania

**BAT 48. Aby zredukować zużycie świeżej wody i emisje do wody z papierń specjalistycznych, w związku z BAT należy zastosować kombinację podanych niżej technik.**

	Technika	Opis	Zastosowanie
a	Poprawa planowania produkcji papieru	Poprawione planowanie celem zoptymalizowania kombinacji i długości partii produkcji	Zasadniczo możliwe do zastosowania
b	Zarządzanie obiegiem wodnym celem wpasowania się w zmiany	Dostosowanie obiegów wodnych do wymagań niesionych przez zmiany w klasach i kolorach papieru oraz w używanych dodatkach chemicznych	
c	Przygotowanie oczyszczalni ścieków na zmiany	Dostosowanie oczyszczalni ścieków do wymagań niesionych przez zmiany przepływów, jak również przez niską gęstość oraz różnorodność typów i ilości dodatków chemicznych	
d	Dostosowanie systemu ponownego pulpowania i pojemności skrzyń		
e	Minimalizacja wypuszczania dodatków chemicznych (np. środków wodo- i tłuszczoodpornych) zawierających związki per- lub polifluorowane lub przyczyniające się do powstawania takichż związków		Zastosowanie ograniczone do zakładów produkujących papier o właściwościach tłuszczo- lub wodoodpornych

f	Przestawienie się na wyroby pomocnicze o niskiej zawartości adsorbowanych organicznie związanych chlorowców (np. celem zastąpienia środków na wytrzymałość w stanie mokrym bazujących na żywicach epichlorohydrynowych	Zastosowanie ograniczone do zakładów produkujących papier o klasach wytrzymałych w stanie mokrym
---	--	--

**BAT 49.** Aby zredukować emisje pokrywających kolorów i lepiszczy, które mogą zakłócić pracę biologicznej oczyszczalni ścieków, w związku z BAT należy zastosować niżej podaną technikę a lub, jeśli to nie jest technicznie wykonalne, technikę b.

	Technika	Opis	Zastosowanie
a	Odzyskiwanie pokrywających kolorów / recykling pigmentów	Ścieki zawierające pokrywające kolory są zbierane osobno. Pokrywające chemikalia są odzyskiwane przez np. : i) ultrafiltrację, ii) proces przesiewania-flokulacji-odwadniania wiążący się z powrotem pigmentów do procesu pokrywania. Oczyszczona woda może być ponownie użyta w procesie	W przypadku ultrafiltracji zastosowanie może być ograniczone, gdy: 1. ładunki ścieków są bardzo małe, 2. ścieki z procesu pokrywania są generowane w różnych miejscach zakładu, 3. w czasie pokrywania ma miejsce wiele zmian, 4. różne przepisy na koloryzację są niekompatybilne
b	Uprzednie oczyszczenie ścieków, które zawierają pokrywające kolory	Ścieki, które zawierają kolory pokrywające są oczyszczane np. poprzez flokulację, aby ochronić następne biologiczne oczyszczanie ścieków	Zasadniczo możliwe do zastosowania

**BAT 50.** Aby zapobiegać zanieczyszczeniu wód przyjmujących przez ścieki oraz zredukować ilość substancji zanieczyszczających z całego zakładu, w związku z BAT należy zastosować pasującą kombinację technik wyszczególnionych w BAT 13, BAT 14, BAT 15, BAT 47, BAT 48 i BAT 49.

#### Poziomy emisji związane z BAT

Patrz: Tabela 8.20 i 8.21

BAT-AEL z ww. tabel mają zastosowanie także do procesu wytwarzania papieru i tektury w zintegrowanych zakładach zajmujących się procesami siarczanowym i siarczynowym oraz produkcją pulpy chemo-mechanicznej i chemo-termo-mechanicznej.

Referencyjny przepływ ścieków dla niezintegrowanych papierń i zakładów produkujących tekturę został zamieszczony w BAT 5.

**Tabela 8. 20 Poziomy emisji związane z BAT dla bezpośredniego zrzutu ścieków do wód przyjmujących z niezintegrowanych papierń i zakładów produkujących tekturę (wyluczając papier specjalistyczny)**

Parametr	Średnia roczna kg/t
Chemiczne zapotrzebowanie tlenu	0,15-1,5 (1)
Zawiesiny stałe ogółem	0,02-0,35
Azot całkowity	0,01-0,1 0,01-0,15 dla bibuły
Fosfor całkowity	0,003-0,012
Adsorbowane organicznie związane chlorowce	0,05 dla papieru dekoracyjnego i papieru odpornego na działanie wody
(1) W przypadku zakładów produkujących papier graficzny, górna granica zakresu odnosi się do zakładów, które używają skrobi w procesie pokrywania	



Koncentracja biologicznego zapotrzebowania tlenu w oczyszczanych ściekach powinna być nieduża (ok. 25 mg/l jako 24-godzinna próbka kompozytowa).

**Tabela 8. 21 Poziomy emisji związane z BAT dla bezpośredniego zrzutu ścieków do wód przyjmujących z niezintegrowanych papierń produkujących papier specjalistyczny.**

Parametr	Średnia roczna kg/t (1)
Chemiczne zapotrzebowanie tlenu	0,3-5 (2)
Zawiesiny stałe ogółem	0,10-1
Azot całkowity	0,015-0,4
Fosfor całkowity	0,002-0,04
Adsorbowane organicznie związane chlorowce	0,05 dla papieru dekoracyjnego i papieru odpornego na działanie wody

(1) Zakłady o cechach charakterystycznych, jak np. duża liczba zmian klas (np.  $\geq 5$  na dzień jako średnia roczna) lub produkcja bardzo lekkiego papieru specjalistycznego ( $\leq 30$  g/m<sup>2</sup> jako średnia roczna) mogą mieć wyższe emisje niż górna granica zakresu.  
(2) Górna granica zakresu odnosi się do zakładów produkujących bardzo rozdrobniony papier, który wymaga intensywnej rafinacji oraz do zakładów z częstymi zmianami klas papieru (np.  $\geq -2$  zmiany dziennie jako średnia roczna).

### 8.6.2 Emisje do atmosfery

**BAT 51.** Aby zredukować emisje lotnych związków organicznych z maszyn do powlekania on-line i off-line, w związku z BAT należy wybrać takie przepisy (kompozycje), które redukują ww. emisje.

### 8.6.3 Generowanie odpadów

**BAT 52.** Aby zminimalizować ilość odpadów stałych, w związku z BAT należy zapobiegać generacji odpadów i przeprowadzać operacje recyklingu przy użyciu kombinacji poniższych technik (patrz też: ogólne zalecenia BAT 20)

	Technika	Opis	Zastosowanie
a	Odzyskiwanie włókien i wypełniaczy oraz zarządzanie białą wodą	Patrz: Sekcja 8.7.2.1	Zasadniczo możliwe do zastosowania
b	System recykulacji papieru do repulpowania	Papier do repulpowania pochodzący z różnych lokalizacji/faz wytwarzania papieru jest zbierany, repulpowany, po czym wraca do surowców włóknistych	Zasadniczo możliwe do zastosowania
c	Odzyskiwanie kolorów pokrywających / recykling pigmentów	Patrz: Sekcja 8.7.2.1	
d	Ponowne użycie odpadów włóknistych z pierwszego oczyszczenia ścieków	Odpady z dużą zawartością włókien pochodzące z pierwszego oczyszczenia ścieków mogą być ponownie użyte w procesie produkcji	Zastosowanie może być ograniczone przez wymagania co do jakości produktu

### 8.6.4 Zużycie energii i wydajność

**BAT 53.** Aby zredukować konsumpcję energii cieplnej i elektrycznej, w związku z BAT należy skorzystać z kombinacji niżej podanych technik.

	Technika	Zastosowanie
a	Energooszczędne techniki przesiewania (zoptymalizowany projekt i obsługa wirnika oraz sit)	Możliwe do zastosowania w nowych zakładach lub po znacznych przeróbkach
b	Najlepsza praktyka rafinowania z odzyskiwaniem ciepła z rafinerii	

c	Zoptymalizowane odwadnianie w sekcji prasowej maszyny papierniczej / szerokiej prasy dociskowej	Niemożliwe do zastosowania przy bibule i wielu specjalistycznych klasach papieru
d	Odzyskiwanie kondensatu parowego oraz użycie wydajnych systemów odzyskiwania ciepła z powietrza odlotowego	Zasadniczo możliwe do zastosowania
e	Redukcja bezpośredniego zużycia pary wskutek dokładnej integracji procesu przy użyciu np. analizy punktów zbliżenia	
f	Wysokowydajne rafinerie	
g	Optymalizacja trybu pracy w istniejących rafineriach (np. redukcja wymagań co do energii w stanie bez obciążenia)	Zasadniczo możliwe do zastosowania
h	Zoptymalizowany projekt pomp, sterowanie napędem o zmiennej prędkości przy pompach, napędy bezpośrednie	
i	Najnowocześniejsze technologie rafinowania	
j	Ogrzewanie wstęgi papieru komorą parową celem poprawy możliwości drenowania i odwadniania	Niemożliwe do zastosowania przy bibule i wielu specjalistycznych klasach papieru
k	Zoptymalizowany system próżniowy (np. turbowentylatory zamiast pomp z pierścieniem wodnym)	Zasadniczo możliwe do zastosowania
l	Optymalizacja generacji i poprawa sieci dystrybucji	
ł	Optymalizacja odzyskiwania ciepła, systemu powietrznego, izolacji	
m	Użycie wysokowydajnych silników	
n	Uprzednie podgrzanie wody prysznicowej przy pomocy wymiennika ciepła	
o	Użycie zbędnego ciepła do suszenia osadów lub polepszania odwodnionej biomasy	
p	Odzyskiwanie ciepła z dmuchaw osiowych (jeśli są w użyciu) do zapasowego powietrza dla suszarek	
r	Odzyskiwanie ciepła z zużytego powietrza z suszarki Yankee przy pomocy złoża biologicznego	
s	Odzyskiwanie ciepła z podczerwonego zużytego gorącego powietrza	

## 8.7 Opis technik

### 8.7.1 Opis technik dla prewencji i kontroli emisji do atmosfery

#### 8.7.1.1 Pył

Technika	Opis
Elektrofiltr	Elektrofiltry sprawiają, że cząsteczki zostają zebrane i rozdzielone pod wpływem pola elektrycznego. Elektrofiltry mogą pracować w rozlicznych warunkach.
Płuczka zasadowa	Patrz: Sekcja 8.7.1.3 (płuczka wodna)

#### 8.7.1.2 NO<sub>x</sub>

Technika	Opis
Zmniejszenie stosunku paliwa do powietrza	Niniejsza technika bazuje głównie na następujących aspektach: (1) dokładnej kontroli powietrza użytego do spalania (mało nadmiarowego tlenu), (2) minimalizacji przecieków powietrza do pieca, (3) zmodyfikowanym projekcie komory spalania.
Zoptymalizowane spalanie i kontrola tegoż	Bazując na ciągłym monitoringu stosownych parametrów spalania (np. zawartości O <sub>2</sub> i CO, stosunku paliwa do powietrza, niespalonych składników), technika

	korzysta z technologii kontroli do osiągnięcia najlepszych warunków spalania. Formacja i emisje NO <sub>x</sub> mogą być zmniejszone przez dostosowanie bieżących parametrów, dystrybucji powietrza, nadmiarowego tlenu, kształtowania płomieni oraz profilu temperatury.
Stopniowe spalanie	Stopniowe spalanie bazuje na dwóch strefach spalania z kontrolowanym stosunkiem powietrza i temperatury w pierwszej komorze. Pierwsza strefa spalania działa w warunkach sub-stechiometrycznych aby zmienić związki amoniaku w elementarny azot w wysokiej temperaturze. W drugiej strefie dodatkowa transza powietrza dopełnia spalania w niższej temperaturze. Po dwuetapowym procesie spalania, gaz odlotowy wlatuje do drugiej komory aby odzyskać ciepło z gazów, produkując parę do procesu.
Selekcja paliwa / paliwo niskoazotowe	Użycie paliw z niską zawartością azotu powoduje redukcję ilości emisji NO <sub>x</sub> z oksydacji azotu zawartego w paliwie podczas spalania. Spalanie skoncentrowanych gazów niekondensujących lub paliw opartych na biomase zwiększa emisje NO <sub>x</sub> w porównaniu do oleju lub naturalnego gazu, jako że skoncentrowane gazy niekondensujące i inne paliwa drewnopochodne zawierają więcej azotu niż olej czy gaz naturalny. Z powodu wyższych temperatur spalania, spalanie gazu zwiększa poziom NO <sub>x</sub> w porównaniu ze spalaniem oleju.
Palnik z niską zawartością tlenków azotu	Palniki z niską zawartością azotu bazują na zasadzie redukcji szczytowych temperatur płomienia, opóźniając lecz dopełniając proces spalania i zwiększając transfer ciepła (podwyższoną emisyjność płomienia). Może być to związane ze zmodyfikowanym projektem komory spalania.
Stopniowa iniekcja zużytego płynu	Iniekcja zużytego płynu siarczynowego do kotła na wielu wertykalnie ułożonych poziomach zapobiega formacji NO <sub>x</sub> i zapewnia całkowite spalanie.
Selektywna redukcja niekatalityczna	Niniejsza technika bazuje na redukcji NO <sub>x</sub> do azotu poprzez reakcję z amoniakiem lub mocznikiem w wysokiej temperaturze. Woda amoniakalna (do 25% NH <sub>3</sub> ), struktury-prekursorzy amoniaku lub roztwór mocznika są wstrzykiwane do gazu spalającego celem redukcji NO do N <sub>2</sub> . Reakcja ma optymalny efekt przy okienku temperaturowym wynoszącym ok. 830°C do 1050°C. Czas retencji musi być również zarezerwowany dla wstrzykniętych środków, aby zareagowały one z NO. Dawki amoniaku lub mocznika muszą być kontrolowane, aby utrzymać NH <sub>3</sub> na niskim poziomie.

### 8.7.1.3 Prewencja i kontrola emisji SO<sub>2</sub> oraz całkowitej siarki zredukowanej

Technika	Opis
Wysoka zawartość suchej masy w ługu czarnym	Wraz z wyższą zawartością suchej masy w ługu czarnym wzrasta temperatura spalania. To zaś odparowuje więcej sodu (Na), który wiąże SO <sub>2</sub> formując Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , redukując tym sposobem emisje SO <sub>2</sub> z kotła odzysknicowego. Negatywnym efektem wyższej temperatury jest fakt możliwości wzrostu emisji NO <sub>x</sub> .
Selekcja paliwa / paliwo niskosiarkowe	Użycie niskosiarkowego paliwa z zawartością siarki ok. 0,02%-0,05% wagi (np. leśna biomasa, kora, olej niskosiarkowy, gaz) redukuje emisje SO <sub>2</sub> generowane przez oksydację siarki w paliwie podczas spalania
Zoptymalizowane spalanie	Techniki takie jak system kontroli wydajnego spalania (obejmujący paliwo powietrzne, temperatura, czas spalania), kontrola nadmiarowego tlenu lub dobrego zmieszania powietrza i paliwa
Kontrola zawartości Na <sub>2</sub> S w porcji wapna gaszonego	Wydajne mycie i filtrowanie wapna gaszonego zmniejsza koncentrację Na <sub>2</sub> S, redukując tym sposobem formację siarkowodoru w piecu przemysłowym podczas procesu ponownego spalania
Zbiór i odzyskiwanie emisji SO <sub>2</sub>	Wysoko skoncentrowane gazowe strumienie SO <sub>2</sub> z produkcji kwaśnej cieczy, komór fermentacyjnych, dyfuzorów, czy zbiorników przedmuchowych są zbierane. SO <sub>2</sub> jest następnie odzyskiwana w zbiorniku absorpcyjnym z różnymi wartościami ciśnienia. Obie czynności wykonuje się tak ze względów ekonomicznych, jak i środowiskowych
Spalanie cuchnących gazów i całkowitej siarki zredukowanej	Zebrane silne gazy mogą być zniszczone wskutek spalania ich w kotle odzysknicowym, specjalnym palniku całkowitej siarki zredukowanej czy wapienniku. Zebrane słabe gazy mogą być spalane w kotle odzysknicowym,

	wapienniku, kotle energetycznym lub specjalnym palniku całkowitej siarki zredukowanej. Rozpuszczone gazy z urządzeń odpowietrzających mogą być spalane w nowoczesnych kotłach odzysknicowych
Zbiór i spalanie słabych gazów w kotle odzysknicowym	Spalanie słabych gazów (duża powierzchnia, niska koncentracja SO <sub>2</sub> ) połączone z systemem wspierającym. Słabe gazy i inne cuchnące składniki są równocześnie zbierane do spalania w kotle odzysknicowym. Ze zbędnego gazu z kotła odzysknicowego przy pomocy wieloetapowych płuczek płynących pod prąd odzyskiwany jest dwutlenek siarki, który zostaje ponownie użyty jako środek chemiczny do gotowania. Płuczek używa się jako wsparcia systemu
Płuczka wodna	Gazowe składniki są rozpuszczane w stosownej cieczy (wodzie lub ługu alkalicznym). Może zostać również osiągnięte równoczesne usunięcie składników stałych i gazowych. Przy pomocy strumienia płuczki gazy odlotowe zostają nasycone wodą – oddzielenie kropli jest wymagane przed wpustem gazu odlotowego. Uzyskana ciecz musi zostać oczyszczona, a materia nierozpuszczalna zostaje zebrana przez filtrację lub sedymentację
Elektrofiltr lub multicyklony z wieloetapowymi płuczkami-zwężkami lub wieloetapowe płuczki z podwójnym wlotem	Oddzielenie pyłu jest przeprowadzane w elektrofiltrze lub wieloetapowym cyklonie. W procesie magnezowo-siarczynowym pył zatrzymany w elektrofiltrze składa się głównie z MgO i w mniejszym stopniu z K, Na czy Ca. Odzyskany pył MgO zostaje zawieszony w wodzie, po czym jest czyszczony i gaszony, aby uzyskać Mg(OH) <sub>2</sub> , który zostaje użyty jako alkaliczny środek czyszczący w wieloetapowych płuczkach, by odzyskać komponent siarkowy z chemikaliów do gotowania. W procesie siarczynowym z wykorzystaniem jonów amonowych baza amoniakowa (NH <sub>3</sub> ) nie jest odzyskiwana, jako że rozkłada się w azocie w procesie spalania. Po usunięciu pyłu gaz odlotowy jest chłodzony wskutek przejścia przez wodną płuczkę chłodzącą, po czym przechodzi przez trzy- lub więcej etapową płuczkę gazów odlotowych, gdzie emisje SO <sub>2</sub> są usuwane przez alkaliczny środek z Mg(OH) <sub>2</sub> w przypadku procesu magnezowo-siarczynowego, a w przypadku procesu siarczynowego z wykorzystaniem jonów amonowych przez 100% świeży środek z NH <sub>3</sub> .

## 8.7.2 Opis technik redukcji zużycia świeżej wody/przepływu ścieków oraz ładunku zanieczyszczeń w ściekach

### 8.7.2.1 Techniki zintegrowane z procesem produkcji

Technika	Opis
Okorowanie suche	Suche okorowanie belek drzewnych w suchych bębnach odwirowujących (woda zostaje użyta tylko przy myciu belek – później podlega recyklingowi z minimalnym oczyszczeniem w oczyszczalni ścieków)
Bielenie całkowicie bezchlorowe	Podczas bielenia całkowicie bezchlorowego użycie wybielaczy zawierających chlor jest zupełnie wykluczone, tak jak emisje organicznych i chlorowcoorganicznych substancji wybielających
Nowoczesne bielenie bez udziału chloru cząsteczkowego	Nowoczesne bielenie bez udziału chloru cząsteczkowego minimalizuje zużycie dwutlenku chloru poprzez użycie jednego lub więcej spośród niniejszych etapów bielenia: tlen, etap gorącej kwaśnej hydrolizy, etap ozonowy przy średniej lub wysokiej gęstości, etapy z atmosferycznym nadtlenkiem wodoru i nadtlenkiem wodoru pod ciśnieniem, etap z użyciem gorącego dwutlenku chloru
Rozszerzona delignifikacja	Rozszerzona delignifikacja poprzez (a) zmodyfikowane gotowanie lub (b) delignifikację tlenową poprawia stopień delignifikacji pulpy (zmniejszając liczbę kappa) przed bieleniem i w związku z tym redukuje zużycie chemikaliów bielących i chemiczne zapotrzebowanie tlenu w ściekach. Zmniejszenie liczby kappa o jedną jednostkę przed bieleniem może zredukować chemiczne zapotrzebowanie tlenu wydzielane w wybielarniach o ok. 2kg COD/ADt. Usunięta lignina może być odzyskana i przesłana do systemu odzyskiwania chemikaliów i energii
(a) Rozszerzone zmodyfikowane gotowanie	Rozszerzone gotowanie (w systemie ciągłym lub wsadowym) obejmuje dłuższe okresy gotowania pod zoptymalizowanymi warunkami (np. koncentracja metali alkalicznych w cieczy do gotowania jest zmniejszana na początku i zwiększana na końcu procesu

	gotowania), aby pozyskać jak największą ilość ligniny przed bieleniem bez niepotrzebnej degradacji węglowodanów lub nadmiernej straty wytrzymałości masy celulozowej. W związku z tym zużycie chemikaliów w kolejnym stadium bielenia i organiczna zawartość ścieków z wybielarni może być zredukowana
(b) Delignifikacja tlenowa	Delignifikacja tlenowa stanowi możliwość pozbycia się znacznej frakcji ligniny pozostałej po gotowaniu jeśli gotownia musi działać z wyższymi liczbami kappa. Masa celulozowa reaguje z tlenem w środowisku zasadowym aby zlikwidować część resztkowej ligniny
Zamknięte i wydajne przesiewanie i mycie masy celulozowej	Przesiewanie masy celulozowej jest przeprowadzane przy użyciu dziurkowanych sit ciśnieniowych w zamkniętym wielostopniowym cyklu. Nieczystości i łuski są w związku z tym usuwane na wczesnym etapie procesu. Mycie masy celulozowej oddziela rozpuszczone chemikalia organiczne i nieorganiczne od włókien pulpy. Brązowa pulpa może być najpierw myta w komorze fermentacyjnej, a potem w wysokowydajnych maszynach przed i po tlenowej delignifikacji, tj. przed bieleniem. Przeniesienie, chemiczna konsumpcja w bieleniu, jak również emisje ścieków zostają zredukowane. Dodatkowo proces pozwala na odzyskiwanie chemikaliów gotujących z wody myjącej. Wydajne mycie jest przeprowadzane poprzez wieloetapowe czyszczenie pod prąd, jak również używanie filtrów oraz pras. System wodny w jednostce zajmującej się przesiewaniem jest całkowicie zamknięty
Częściowy recykling wody procesowej w wybielarni	Pozostałości kwaśne i zasadowe zostają recyklowane w wybielarni w kierunku przeciwnym do przepływu pulpy. Woda zostaje przemieszczona albo do oczyszczalni ścieków, albo, w nielicznych przypadkach, do jednostki mycia post-tlenowego. Wydajne maszyny myjące w pośrednich stadiach mycia są warunkiem niskich emisji. Przepływ ścieków z wybielarni wynoszący 12-25 m <sup>3</sup> jest osiągany w wydajnych zakładach zajmujących się procesem siarczanowym

Technika	Opis
Efektywny monitoring ścieków i ich zawartości, połączony z odzyskiwaniem energii i chemikaliów	Efektywny system kontroli ścieków, zlewni i regeneracji, który zapobiega przypadkowym emisjom wysoko organicznych, a czasem toksycznych ładunków lub szczytowym wartościom pH (w przypadku wtórnych oczyszczalni ścieków) obejmuje: <ul style="list-style-type: none"> <li>• przewodność lub monitoring pH w strategicznych lokalizacjach celem wykrycia strat i przecieków,</li> <li>• zbiór odprowadzonej lub wylanej cieczy podczas najwyższej możliwej koncentracji suchej masy,</li> <li>• ponowne wdrożenie zebranych cieczy i włókien do procesu w stosownych lokalizacjach,</li> <li>• zapobieganie przeciekom skoncentrowanych lub szkodliwych przepływów z obszarów krytycznych dla procesu (włączając w to olej talowy i terpentynę) do biologicznej oczyszczalni ścieków,</li> <li>• ergonomiczne zbiorniki buforowe do zbierania i przechowywania toksycznych lub gorących skoncentrowanych cieczy</li> </ul>
Utrzymanie wystarczającego poziomu parowania ługu czarnego i pojemności kotła odzysknicowego celem poradzenia sobie z obciążeniem szczytowym	Odpowiednia pojemność zarówno miejsca parowania ługu czarnego, jak i kotła odzysknicowego zapewniają możliwość poradzenia sobie z dodatkowym ładunkiem cieczy i suchej masy w związku ze zbiorem wycieków lub ścieków z wybielarni. To zmniejsza straty słabego ługu czarnego, innych skoncentrowanych odpadów procesowych i (potencjalnie) pozostałości z wybielarni. Wieloczynnościowa maszyna odparowująca koncentruje słaby ług czarny z mycia masy celulozowej, a w niektórych przypadkach także bio-ścieki z oczyszczalni ścieków lub/i siarczan sodu z sekcji ClO <sub>2</sub> . Dodatkowa pojemność parowania powyżej normy zapewnia odpowiedni plan awaryjny do odzyskiwania odpadów i zarządzania potencjalnym strumieniem odpadów z wybielarni
Usuwanie zanieczyszczonych kondensatów i ponowne użycie kondensatów w procesie	Usuwanie zanieczyszczonych kondensatów i ponowne użycie kondensatów nadających się do tego redukuje pobór świeżej wody przez zakład i wsad organiczny w oczyszczalni ścieków. W kolumnie usuwającej para jest wpuszczana pod prąd do uprzednio przefiltrowanych kondensatów, które zawierają mieszkankę zredukowanej siarki, terpeny, metanol i inne mieszkanki organiczne. Substancje lotne kondensatu gromadzą się jako para na pewnej wysokości, jako że gazy niekondensujące i metanol zostają wycofane z systemu. Oczyszczone kondensaty mogą być ponownie użyte w procesie, np. przy czyszczeniu w

	<p>wybielarni, myciu masy celulozowej, w obszarze kaustykacji (mycie z błota i rozcieńczanie, prysznice filtrujące błoto), jako płyn usuwający całkowitą siarkę zredukowaną w wapiennikach czy jako woda uzupełniająca w białej cieczy.</p> <p>Usunięte gazy niekondensujące z najbardziej skoncentrowanych kondensatów zostają zintegrowane w systemie zbiórki dla silnych gazów złownonych i ulegają spalaniu. Gazy usunięte ze średnio zanieczyszczonych kondensatów zostają zebrane do stosownego systemu gazowego i również ulegają spalaniu</p>
Odparowywanie i spalanie odpadów ze stadium gorącej zasadowej ekstrakcji	Odpady zostają najpierw skoncentrowane poprzez parowanie, a następnie spalane jako biopaliwo w kotle odzysknicowym. Węglan sodu zawierający pył i palony na dnie pieca zostaje rozpuszczony, aby odzyskać roztwór sody.
Recykulacja płynów myjących od wstępnego bielenia do mycia masy celulozowej i parowania celem redukcji emisji z wstępnego bielenia bazującego na MgO	<p>Warunkiem wstępnym zastosowania tej techniki jest stosunkowo niska liczba kappa (np.14-16) po gotowaniu, odpowiednia pojemność zbiorników, parowników i kotła odzysknicowego, aby poradzić sobie z dodatkowymi przepływami, możliwość umycia sprzętu czyszczącego z osadu, jak również średni poziom jasności pulpy (<math>\leq 87\%</math> ISO), jako że technika ta może w niektórych przypadkach powodować niewielką utratę jasności.</p> <p>Dla producentów pulpy rynkowej lub innych podmiotów, które muszą osiągnąć bardzo duży poziom jasności (<math>&gt; 87\%</math> ISO) zastosowanie wstępnego bielenia MgO może być trudne</p>
Przepływ wody przemysłowej pod prąd	W zakładach zintegrowanych świeża woda jest wprowadzana głównie przez prysznice maszyn papierniczych, z których płynie w górę do działu pulpowania

Technika	Opis
Rozdzielenie systemów wodnych	Systemy wodne różnych jednostek (np. jednostki pulpowania, bielenia czy maszyny papierniczej) są rozdzielane poprzez mycie i odwadnianie pulpy (np. przy pomocy prasy myjącej). Separacja zapobiega przeniesieniu zanieczyszczeń na kolejne etapy procesu oraz zapewnia usunięcie zbędnych substancji z mniejszych jednostek
Bielenie nadtlenkami	W przypadku bielenia nadtlenkami masa celulozowa jest odwadniana np. poprzez przewód dwużyłowy lub inny instrument, zanim dodane zostaną chemikalia bielące. To pozwala na wydajniejsze użycie tychże chemikaliów i skutkuje otrzymaniem czystszej pulpy, mniejszym stopniem przenoszenia szkodliwych substancji do maszyny papierniczej, jak również generowaniem mniejszej ilości chemicznego zapotrzebowania tlenu. Pozostałe nadtlenki mogą zostać poddane recykulacji i trafić do ponownego użycia
Odzyskiwanie włókien i wypełniaczy oraz gospodarka białą wodą	<p>Białą wodą z maszyny papierniczej można gospodarować przy pomocy niniejszych technik:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• narzędzia typu „zachowaj wszystko” (zazwyczaj bębny, filtry strzykawkowe lub systemy flotacji ciśnieniowej drobnopęcherzykowej), które oddzielają substancje stałe (włókna i wypełniacze) od wody przemysłowej. Flotacja ciśnieniowa drobnopęcherzykowa w pętłach białej wody zmienia stałą zawiesinę, drobne elementy, drobny materiał koloidalny i substancje anionowe w zbiory, które zostają potem usunięte. Odzyskane włókna i wypełniacze są ponownie wprowadzane do procesu. Czysta biała woda może być ponownie użyta w prysznicach z mniej restrykcyjnymi wymaganiami co do jakości wody,</li> <li>• dodatkowa ultrafiltracja we wstępnie przefiltrowanej białej wodzie generuje niezwykle czysty przesącz, który można użyć jako wysoko ciśnieniowa woda prysznicowa, woda uszczelniająca oraz środek do rozcieńczania dodatków chemicznych</li> </ul>
Klaryfikacja białej wody	Systemy klaryfikacji wody używane prawie wyłącznie w przemyśle papierniczym bazują na sedymentacji, filtracji (filtr strzykawkowy) i flotacji. Najczęściej używaną techniką jest flotacja ciśnieniowa drobnopęcherzykowa. Anionowe odpady i drobinki zostają zgrupowane w dających się fizycznie ogarnąć kłaczkach przy pomocy dodatków. Wysokocząsteczkowe, rozpuszczalne polimery lub elektrolity nieorganiczne zostają spożytkowane jako flokulanty. Wygenerowane aglomeraty (kłaczkki) są następnie spuszczone do zbiornika klaryfikującego. Podczas flotacji ciśnieniowej drobnopęcherzykowej materiał zawieszin stałych zostaje połączony z pęcherzykami powietrza
Recykulacja wody	Klaryfikowana woda zostaje zrecykulowana jako woda procesowa w ramach jednej jednostki lub, w przypadku zakładów zintegrowanych, idzie z maszyny papierniczej do

	celulozowni, a następnie z celulozowni do jednostki okorowującej. Ścieki są głównie odprowadzane z miejsc najbardziej zanieczyszczonych (np. czysty filtrat z filtru strzykawkowego w pulpowaniu, okorowaniu)
Optymalny projekt i konstrukcja zbiorników i skrzyń (produkcja papieru)	Zbiorniki na masę celulozową i białą wodę są skonstruowane tak, aby wytrzymać fluktuacje procesu i zmieniające się przepływy także podczas uruchamiania i zamykania
Etap mycia przed rafinacją mechanicznej pulpy z drewna miękkiego	Niektóre zakłady wstępnie obrabiają wióry drewna miękkiego poprzez połączenie grzania ciśnieniowego, wysokiej kompresji i impregnacji w celu poprawienia parametrów masy celulozowej. Etap mycia przed rafinacją i bielaniem znacznie zmniejsza chemiczne zapotrzebowanie tlenu poprzez usuwanie niedużego, lecz bardzo skoncentrowanego strumienia ścieków, którym można się zająć osobno
Zastąpienie NaOH Ca(OH) <sub>2</sub> lub Mg(OH) <sub>2</sub> użytymi jako alkalia w bielaniu nadtlenkami	Użycie Ca(OH) <sub>2</sub> jako alkalium skutkuje ok. 30-procentowym zmniejszeniem emisji chemicznego zapotrzebowania tlenu przy utrzymaniu wysokiej jasności. Również Mg(OH) <sub>2</sub> może zastąpić NaOH.
Bielenie w zamkniętym obiegu	W zakładach zajmujących się procesem siarczynowym używających sodu jako bazy do gotowania, ścieki z wybielarni mogą być potraktowane np. ultrafiltracją, flotacją oraz separacją żywicy i tłustych kwasów, co pozwala na bielanie w zamkniętym obiegu. Filtry z bielania i mycia zostają ponownie użyte w pierwszym stadium czyszczenia po gotowaniu i przesłane z powrotem do jednostek chemicznego odzyskiwania
<b>Technika</b>	<b>Opis</b>
Dostosowanie pH słabej cieczy przed/w środku parownika	Neutralizacja odbywa się przed parowaniem lub po pierwszym etapie parowania celem pozostawienia kwasów organicznych rozpuszczonymi w koncentracji, aby zostały przesłane wraz z cieczą do kotła odzysknicowego
Beztlenowa gospodarka kondensatami z parowników	Patrz: Sekcja 8.7.2.2 (mieszane oczyszczanie tlenowo-beztlenowe)
Usuwanie i odzyskiwanie SO <sub>2</sub> z kondensatów z parowników	SO <sub>2</sub> jest usuwany z kondensatów; koncentraty są oczyszczane biologicznie, podczas gdy SO <sub>2</sub> zostaje wysłany do odzyskania jako środek chemiczny do gotowania.
Monitoring i ciągła kontrola jakości wody przemysłowej	Optymalizacja całego systemu „włókno-woda-dodatek chemiczny-energia” jest niezbędna w przypadku zaawansowanych wodnych systemów zamkniętych. Wymaga ona ciągłego monitoringu jakości wody, jak również motywacji, wiedzy i działań pracowników w obszarze środków niezbędnych do zapewnienia odpowiedniej jakości wody
Prewencja i eliminacja biofilmów poprzez użycie metod minimalizujących emisje biocydów	Ciągłe przybywanie mikroorganizmów poprzez wodę i włókna prowadzi do specyficznej równowagi mikrobiologicznej w każdej papierni. Aby zapobiec zbyt niemu przyrostowi mikroorganizmów, depozytów aglomerowanej biomasy lub biofilmów w obiegu wodnym i sprzęcie, często należy użyć biocydów czy biodispersantów. W czasie dezynfekcji katalitycznej z nadtlaniem wodoru, biofilmy i wolne bakterie zostają wyeliminowane z wody przemysłowej i zawiesiny papierowej przy pomocy metod minimalizujących emisje biocydów
Usuwanie wapnia z wody przemysłowej poprzez kontrolowane opady z węglanu wapnia	Zmniejszenie koncentracji wapnia poprzez kontrolowane pozbywanie się węglanu wapnia (np. w komorze flotacji ciśnieniowej drobnopęcherzykowej) zmniejsza ryzyko niepożądanych opadów węglanu wapnia czy osadów w systemie wodnym i sprzęcie, np. w rolkach, przewodach, pokryciach i dyszach prysznicowych, rurach i biologicznych oczyszczalniach ścieków
Optymalizacja pryszniców w maszynie papierniczej	Optymalizacja pryszniców wiąże się z: a) ponownym użyciem wody przemysłowej (np. klaryfikowanej białej wody) celem zmniejszenia zużycia świeżej wody, jak również b) założeniem specjalnych dysz na prysznicie

### 8.7.2.2 Oczyszczanie ścieków

<b>Technika</b>	<b>Opis</b>
Pierwsze oczyszczanie	Oczyszczanie fizyko-chemiczne, takie jak wyrównywanie, neutralizacja i sedymentacja. Wyrównywanie (np. w zbiornikach wyrównawczych) stosowane jest do zapobiegania większym zmianom w przepływie, temperaturze i koncentracji zanieczyszczeń. W związku z tym wyrównywanie zapobiega nadmiernemu obciążeniu oczyszczalni.

Drugie (biologiczne) oczyszczanie	Oczyszczanie ścieków przy pomocy mikroorganizmów odbywa się poprzez proces tlenowy i beztlenowy. W drugim etapie klaryfikacji substancje stałe i biomasa zostają odseparowane od ścieków poprzez sedymentację, czasem połączoną z flokulacją
a) Oczyszczanie tlenowe	Podczas tlenowego biologicznego oczyszczania ścieków biodegradowalny rozpuszczalny i koloidalny materiał znajdujący się w wodzie jest przetwarzany przez mikroorganizmy w obecności powietrza częściowo do postaci stałej substancji komórkowej (biomasy), a częściowo do dwutlenku węgla i wody. Podczas oczyszczania tlenowego korzysta się z: <ul style="list-style-type: none"> <li>• jedno- lub wieloetapowego osadu czynnego,</li> <li>• reaktorów biofilmowych,</li> <li>• biofilmu/osadu czynnego (mała biologiczna oczyszczalnia ścieków).</li> </ul> Technika składa się z połączenia nośników ruchomych i osadu czynnego. Wygenerowana biomasa (nadmiarowy osad) jest oddzielona od ścieków przed transportem wody do wód przyjmujących
<b>Technika</b>	<b>Opis</b>
b) Mieszane oczyszczenie tlenowo-beztlenowe	Oczyszczanie beztlenowe zmienia organiczną zawartość ścieków w metan, dwutlenek węgla, siarkowodór itp. przy pomocy mikroorganizmów bez udziału powietrza. Proces zachodzi w hermetycznym bioreaktorze. Mikroorganizmy zostają w zbiorniku jako biomasa (osad). Biogaz wytworzony w tym biologicznym procesie zawiera metan, dwutlenek węgla i inne gazy, takie jak wodór czy siarkowodór, i nadaje się do generacji energii. Oczyszczanie beztlenowe powinno być przeprowadzane przed oczyszczaniem tlenowym z powodu pozostałości chemicznego zapotrzebowania tlenu. Uprzednie oczyszczanie beztlenowe redukuje ilość osadu generowanego przez oczyszczanie biologiczne
Trzecie oczyszczanie	Zaawansowane oczyszczanie obejmuje techniki takie jak filtracja (w celu dalszej eliminacji substancji stałych), nityfikacja oraz denityfikacja dla usunięcia azotu lub flokulacja/precypitacja, po której następuje filtracja dla usunięcia fosforu. Trzecie oczyszczanie jest zwykle stosowane w przypadkach, gdy pierwsze i biologiczne oczyszczanie nie wystarczają do zapewnienia niskich poziomów zawiesin stałych ogółem, azotu i fosforu, które mogą być wymagane np. w związku z lokalnymi warunkami
Prawidłowo zaprojektowana i pracująca biologiczna oczyszczalnia ścieków	Prawidłowo zaprojektowana i pracująca biologiczna oczyszczalnia ścieków obejmuje odpowiedni projekt i wymiarowanie zbiorników (np. osadników) stosownie do hydrauliki i specyfiki zanieczyszczeń. Niskie emisje zawiesin stałych ogółem są osiągnięte poprzez zapewnienie dobrego osadzenia aktywnej biomasy. Okresowe kontrole projektu, wymiarowania i użytkowania oczyszczalni ułatwia osiągnięcie ww. celów

### 8.7.3 Opis technik zapobiegania generacji odpadów i gospodarki odpadami

<b>Technika</b>	<b>Opis</b>
Ocena odpadów i zarządzanie nimi	Systemy oceniania odpadów i zarządzania odpadami stosowane są do znalezienia wykonalnych opcji zoptymalizowania prewencji, ponownego użycia, odzyskiwania, recyklingu i ostatecznego pozbycia się odpadów. Inwentarze odpadów pozwalają na identyfikację i klasyfikację typów, charakterystyki, ilości i pochodzenia każdej frakcji
Osobna zbiórka różnych frakcji odpadów	Osobna zbiórka różnych frakcji odpadów w miejscach ich pochodzenia oraz, jeśli to możliwe, natychmiastowe ich składowanie może poprawić opcje ponownego użycia lub recykulacji. Osobna zbiórka obejmuje także segregację i klasyfikację niebezpiecznych frakcji (np. resztek olejów lub tłuszczów, olejów hydraulicznych i transformatorowych, zużytych baterii, resztek sprzętu elektrycznego, rozpuszczalników, farb, biocydów lub resztek chemicznych)
Łączenie stosownych frakcji pozostałości	Łączenie stosownych frakcji pozostałości zależnie od preferowanych opcji ponownego użycia/recyklingu, dalszej gospodarki czy wyrzucenia
Wstępna obróbka pozostałości przed	Wstępna obróbka obejmuje techniki takie jak: <ul style="list-style-type: none"> <li>• odwadnianie, np. osadów, kory lub odpadów, a w niektórych przypadkach</li> </ul>



ponownym użyciem lub recyklingiem	<p>suszenie, aby poprawić możliwość ponownego użycia przed utylizacją (np. poprawić wartość kaloryczną przed spalaniem) lub</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• odwadnianie w celu zredukowania wagi i objętości przed transportem. Do odwadniania używa się pras taśmowych, kuźniarek, wirówek dekantujących lub komorowych pras filtracyjnych</li> <li>• łamanie/rozdrabnianie odpadów, np. z recyklingu włókien i usuwania metalowych części, przeprowadzane celem poprawienia charakterystyki spalania przed spalaniem</li> <li>• biologiczna stabilizacja przed odwadnianiem, jeśli przewidujemy utylizację rolniczą</li> </ul>
<b>Technika</b>	<b>Opis</b>
Odzyskiwanie materiałów i pozostałości po procesie na miejscu	<p>Procesy odzyskiwania materiałów obejmują techniki takie jak:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• oddzielanie włókien od strumieni wody i recyrkulacja do surowca,</li> <li>• odzyskiwanie dodatków chemicznych, pigmentów farb itp.,</li> <li>• odzyskiwanie chemikaliów do gotowania przy pomocy kotłów odzysknicowych, kaustyzacji itp.</li> </ul>
Odzyskiwanie energii na miejscu i poza nim z odpadów o dużej zawartości organicznej	<p>Odpady z okorowania, wiórowania, przesiewów itp. takie jak kora, osady włókniste czy inne, głównie organiczne odpady, są spalane (z powodu swojej wartości kalorycznej) w spalarniach lub elektrowniach wykorzystujących biomasę do odzyskiwania energii</p>
Zewnętrzna utylizacja materiałów	<p>Utylizacja materiałów z odpowiednich odpadów pochodzących z produkcji pulpy i papieru może być przeprowadzana w innych sektorach przemysłowych, poprzez np.:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• spalanie w piecach przemysłowych lub mieszanie z surowcami do produkcji cementu, ceramiki lub cegieł (włączając w to odzyskiwanie energii),</li> <li>• kompostowanie odpadów papierniczych lub ziemnych spożytkowując stosowne frakcje w rolnictwie,</li> <li>• spożytkowanie odpadów z frakcji nieorganicznych (piasku, kamieni, żwiru, popiołu, wapna) w budownictwie, np. w brukowaniu, robotach drogowych, łataniu dziur itp.</li> </ul> <p>Przydatność frakcji odpadów do utylizacji zewnętrznej zależy od składu odpadów (zawartość nieorganiczna/mineralna) i dowodów na to, że przewidywane operacje recyklingu nie czynią szkody środowisku i zdrowiu</p>
Wstępna obróbka frakcji odpadów przed ich usunięciem	<p>Wstępna obróbka odpadów przed ich usunięciem obejmuje środki (takie jak odwadnianie, suszenie) redukujące wagę i objętość, aby ułatwić transport lub usuwanie</p>

## 9 WNIOSKI KOŃCOWE I ZALECENIA DLA PRZYSZŁEJ PRACY

### Czas trwania procesu oceny

Kluczowe momenty procesu oceny zostały podsumowane w tabeli 9.1

**Tabela 9.1 Kluczowe momenty procesu oceny dokumentów referencyjnych z obszaru BAT (ang. BREF) dotyczących produkcji mas włóknistych, papieru i tektury**

Kluczowy moment	Data
Reaktywacja Technicznej Grupy Roboczej (ang. TWG)	19 kwietnia 2006 r.
Zaproszenie do składania wniosków	31 maja 2006 r.
Posiedzenie początkowe	13-15 listopada 2006 r.
Pierwsze zebranie danych	2007 r.
Drugie zebranie danych	2009 r.
Pierwszy szkic poprawionego PP BREF (BREF dotyczących produkcji papieru i masy celulozowej)	19 kwietnia 2010 r.
Koniec okresu komentowania pierwszego szkicu (otrzymano 1836 komentarzy)	21 czerwca 2010 r.
Trzecie zebranie danych (powietrze)	Wiosna 2011 r.
Drugi szkic poprawionego PP BREF	4 maja 2012 r.
Koniec okresu komentowania drugiego szkicu (otrzymano 1451 komentarzy)	13 lipca 2012 r.
Końcowe spotkanie TWG	22-26 kwietnia 2013 r.

W czasie procesu oceny zostało przeprowadzonych łącznie 31 wizyt na miejscu w sześciu państwach członkowskich UE, podczas których zbadano wszystkie podsektory produkcji masy celulozowej i papieru oraz papiernie o różnych rozmiarach, konfiguracjach i poziomach skomplikowania.

### Źródła informacji i luki informacyjne

Podczas procesu oceny dokumentów referencyjnych z obszaru BAT dotyczących produkcji mas włóknistych, papieru i tektury (PP BREF) Techniczna Grupa Robocza (TWG) poczyniła około 3500 komentarzy. Znaczne źródła informacji stanowiły Konfederacja Europejskiego Przemysłu Papierniczego (CEPI) oraz 13 państw członkowskich UE. Zbieranie danych poskutkowało uzyskaniem rozlicznych informacji na temat danych dotyczących emisji i technik używanych w zakładach papierniczych: otrzymano około 130 kwestionariuszy. Wszystkie dokumenty zostały ocenione przez EIPPCB (Europejskie Biuro ds. Zintegrowanego Zapobiegania Zanieczyszczeniom i Ich Kontroli). W związku z powyższym, powyżej 280 dokumentów zostało sklasyfikowanych w poprawionym PP BREF (patrz: Bibliografia).

### Stopień porozumienia osiągnięty podczas wymiany informacji

Co do konkluzji z obszaru BAT, osiągnięto wysoki stopień porozumienia, jednakże wyrażano też pewne poglądy odrębne, co znalazło odzwierciedlenie w poniższej tabeli.

**Tabela 9.2 Rozbieżne opinie**

Numer rozbieżnej opinii	Członek TWG	Rozbieżna opinia
2	ES	Odrębne zdanie zostało wyrażone przez przedstawicieli Hiszpanii, którzy uznali, że w konkluzjach BAT nie powinno być odniesienia do maksymalnej wartości koncentracji emisji biologicznego zapotrzebowania tlenu bez podania związanego z nią przepływu ścieków
3	AT, DE, EEB	Odrębne zdanie zostało wyrażone przez przedstawicieli Austrii i Niemiec, popieranym przez Europejskie Biuro Ochrony Środowiska (EEB), którzy uznali, że poziomy emisji związane z BAT (BAT-AELs) dla emisji do wody powinny się zasadniczo odnosić do średnich dziennych

4	AT, DE, EEB	Odrębne zdanie zostało wyrażone przez przedstawicieli Austrii i Niemiec, popieranych przez Europejskie Biuro Ochrony Środowiska (EEB), którzy uznali, że poziomy emisji związane z BAT (BAT-AELs) dla emisji do atmosfery powinny się zasadniczo odnosić do średnich krótkoterminowych, np. średnich dziennych
6	ES, PT, PL, CEPI	Odrębne zdanie zostało wyrażone przez przedstawicieli Hiszpanii i Konfederację Europejskiego Przemysłu Papierniczego (CEPI), popieranych przez przedstawicieli Polski i Portugalii, którzy uznali, że górna granica poziomu emisji związanego z BAT (BAT-AELs) jako średniej rocznej dla gazowej siarki i kotłów odzysknicowych przy procesie siarczanowym (BAT 21) powinna być zwiększona z 0,17 do 0,21 kg S/ADt
8	IT, FR, PL, CEPI	Odrębne zdanie zostało wyrażone przez przedstawicieli Włoch, popieranych przez Francję, Polskę i CEPI, którzy uznali, że górna granica poziomu emisji związanego z BAT (BAT-AELs) dla fosforu całkowitego przy spuszczeniu ścieków do wód przyjmujących wskutek zintegrowanej produkcji papieru i tektury z pulpy ze zrecyklowanych włókien bez odbarwiania na miejscu (BAT 45) powinna być zwiększona z 0,005 kg/t do 0,01 kg/t jako średnia roczna

### Konsultacja na forum i późniejsze formalne przyjęcie procedur zawartych w konkluzjach BAT

Zgodnie z Artykułem 13 (3) Dyrektywy, forum wyraziło swoją opinię co do szkicu dokumentu referencyjnego BAT dotyczącego produkcji mas włóknistych, papieru i tektury, który został zaprezentowany na spotkaniu forum 20 września 2013 r.:

- Forum powitało szkic dokumentu referencyjnego BAT dotyczącego produkcji mas włóknistych, papieru i tektury zaprezentowany przez Komisję.
- Forum zatwierdziło dyskusję prowadzoną na spotkaniu 20 września 2013 r. i zgodziło się na zmiany w szkicu dokumentu referencyjnego BAT dotyczącego produkcji mas włóknistych, papieru i tektury, zawarte w Aneksie A, które zostaną włączone do ostatecznej wersji dokumentu.
- Forum potwierdziło, że komentarze z Aneksu B wyrażają poglądy niektórych członków forum, jednakże nie udało się osiągnąć konsensusu w sprawie ewentualnego włączenia ww. do ostatecznej wersji dokumentu.

Następnie Komisja wzięła pod uwagę opinię forum dotyczącą Artykułu 13 Dyrektywy ws. Emisji Przemysłowych (IED) podczas przygotowywania szkicu decyzji wykonawczej Komisji ustalając konkluzje BAT dla produkcji mas włóknistych, papieru i tektury. Komitet zebrany w sprawie Artykułu 75 IED na spotkaniu 6 maja 2014 r. wydał pozytywną opinię co do szkicu decyzji wykonawczej Komisji.

Ponadto:

- a) Decyzja Wykonawcza Komisji 2014/687/UE ustalając konkluzje BAT dla produkcji mas włóknistych, papieru i tektury została przyjęta 26 września 2014 r. i opublikowana w Dzienniku Urzędowym Unii Europejskiej (OJ L 284, 30.9.2014, s.76)

### Rekomendacje dla przyszłej pracy

Wymiana informacji pokazała, że istnieją jeszcze obszary, co do których trzeba będzie zebrać kolejne dane podczas następnego rewizji PP BREF. Obszary te obejmują:

- nagłą potrzebę zebrania danych co do krótkoterminowych emisji zanieczyszczeń wody i powietrza i związanych z nimi przepływów, bazując na dobrze zaprojektowanym i zaakceptowanym kwestionariuszu. Rzecz dotyczy: zakładów zajmujących się procesami siarczanowym i siarczynowym, mechanicznym wytwarzaniem masy celulozowej, produkcją papieru z włókien z recyklingu z odbarwianiem lub bez, zakładów niezintegrowanych oraz papierń specjalistycznych,
- nagłą potrzebę dyskusji nt. tego, czy emisje danych zanieczyszczeń emitowanych przez sektor papierniczy powinny być wyrażane w stężeniu czy/i ładunku,
- potrzebę poprawy jakości i porównywalności raportowanych danych (np. harmonizacji metod otrzymywania krótko- i długoterminowych średnich, rozróżnienia między nowymi a istniejącymi zakładami),
- nagłą potrzebę zebrania danych co do konsumpcji energii wg zharmonizowanej metodologii (np. używając kryteriów wymienionych w regulujących to narzędziach, takich jak Ecolabel UE),
- zebranie informacji o zakładach zajmujących się procesem siarczanowym przeprowadzających trzecie oczyszczanie ścieków (włączając w to zakłady spoza UE),
- potrzebę zebrania informacji nt. emisji CO z wapienników w sektorze procesu siarczanowego oraz z

---

kotłów odzysknicowych w sektorze procesu siarczynowego, włączając w to możliwe wzajemne powiązania (NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, wydajność energetyczna),

- potrzebę zebrania danych nt. przepływów związanych z emisjami SO<sub>2</sub> i całkowitej siarki zredukowanej, jak również dalszych danych nt. emisji NO<sub>x</sub> ze specjalistycznych palników całkowitej siarki zredukowanej w sektorze procesu siarczanowego,
- nagłą potrzebę zebrania danych nt. emisji z rozpuszczających procesów siarczanowego i siarczynowego,
- potrzebę zebrania kontekstualnych informacji w związku z chemicznym zapotrzebowaniem tlenu i emisjami azotu całkowitego w przypadku niezintegrowanych papierń i zakładów produkujących tekturę (wyłączając papiernie specjalistyczne).

#### **Sugerowane tematy dla dalszej pracy w obszarach badań i rozwoju**

Poprzez programy badań i rozwoju technologicznego Komisja wydaje i popiera serię projektów dotyczących czystych technologii, oczyszczania pojawiających się ścieków, jak również technologii recyklingu i strategii zarządzania. Projekty te mogą potencjalnie dostarczyć pożytecznej wiedzy przy przyszłych ocenach BREF. Czytelnicy są zatem zaproszeni do informowania Europejskiego Biura IPPC o wszelkich wynikach badań mających związek z zakresem dokumentu (patrz także: piąta sekcja wstępu do tegoż dokumentu).

„Projekt dwóch drużyn” został wprowadzony przez CEPI w celu zidentyfikowania przełomowych technologii, które mogą przyczynić się do zmniejszenia śladów węgla w wytwarzaniu papieru i celulozy. Przykładem tychże technologii może być zastosowanie mieszanin eutektycznych oraz otwarta kondensacja parowa.

## 10 ANEKSY

### 10.1 Aneks I: Określanie wielkości emisji dla specyficznych zrzutów ścieków ze zintegrowanych zakładów produkujących chemiczną masę celulozową lub/i zakładów wieloproduktowych

Metoda określania wielkości emisji dla specyficznych zrzutów ścieków ze zintegrowanych zakładów produkujących chemiczną masę celulozową lub/i zakładów wieloproduktowych zaproponowana w Sekcji 2.1.3 jest wyjaśniona poniżej przy pomocy dwóch przykładów.

**Przykład 1: wieloproduktowy zakład składający się ze zintegrowanego działu procesu siarczanowego i produkcji papieru, działu pulpowania chemo-termo-mechanicznego oraz działu wytwarzania masy celulozowej i papieru z włókien poddanych recyklingowi**

Wieloproduktowy zakład podany w przykładzie wytwarza białoną siarczanową masę celulozową, cienki papier niepowlekany, pulpę chemo-termo-mechaniczną, papier powlekany zawierający drewno oraz odbarwioną masę celulozową i papier z włókien poddanych recyklingowi. Ścieki ze wszystkich działów są mieszane przed oczyszczaniem i wysyłane do pierwszego biologicznego oczyszczania. Aby ocenić stopień przyjazności środowisku w tym zakładzie, koncentraty zanieczyszczeń i związany z nimi przepływ są mierzone w końcowym punkcie zrzutu ścieków.

Profil produkcji, produkcja netto (2008) i pojemność zakładu są podane w tabeli 10.1 (dane zostały zmodyfikowane przez EIPPCB, jako że służą jedynie przykładowej ilustracji):

**Tabela 10.1 Profil produkcji zakładu wieloproduktowego**

Typ produkcji	Pojemność produkcji [ADt/dzień]	Produkcja netto [ADt/dzień]
Bielona pulpa siarczanowa z drewna twardego i miękkiego (większość masy celulozowej jest używana do produkcji papieru w tym samym zakładzie)	1320	1200
Pulpa chemo-termo-mechaniczna (cała masa celulozowa jest używana do produkcji papieru zawierającego drewno w tym samym zakładzie)	225	207
Papier niepowlekany cienki niezawierający drewna	1345	1077
Papier powlekany zawierający drewno	830	600
Papier bazujący na papierze z odzysku z odbarwioną pulpą	370	312
Całkowita produkcja netto (papier i nieco pulpy rynkowej; część masy celulozowej jest kupiona, aby uzyskać wymaganą równowagę włókien)	2570	2047
<i>Źródło:</i> Instytut Biopolimerów i Włókien Chemicznych, Laboratorium Ochrony Środowiska, Łódź, 2009		

#### Obliczanie emisji dla specyficznych zrzutów ścieków

Metoda obliczania zaprezentowana jest na przykładzie emisji chemicznego zapotrzebowania tlenu. Bieżące BAT-AEL dla chemicznego zapotrzebowania tlenu w ww. typach produkcji zostały skompilowane w tabeli 10.2.

Tabela 10. 2 BAT-AEL dla chemicznego zapotrzebowania tlenu w różnych typach produkcji w zakładzie wieloproduktowym

Typ produkcji	BAT-AEL <sub>cod</sub> BREF [kg/ADt]	Wartości BAT-AEL <sub>cod</sub> użyte do obliczeń [kg/ADt]
Bielona pulpa siarczanowa	7-20 (rozdział 8)	Kompetentne władze lokalne mogą zdecydować, czy stosować się do górnej/dolnej granicy podanych przedziałów czy też do jakiejś wartości pośrodku (patrz np. punkty I i II poniżej)
Niepowlekany cienki papier (bez drewna)	0,15-1,5 (rozdział 8)	
Papier i pulpa mechaniczna (zintegrowane)	0,9-4,5 (rozdział 8)	
Papier i pulpa z włókien poddanych recyklingowi wraz z odbarwioną pulpą (zintegrowane)	0,9-3,0 (rozdział 8)	

I Obliczenia bazujące na górnej granicy przedziałów BAT-AEL dla chemicznego zapotrzebowania tlenu:

*Równanie (1):* Ładunek  $CO_D = 1200 \times 20 + 1077 \times 1,5 + 600 \times 4,5 + 312 \times 3 = 29251,5$  kg/dzień

*Równanie (2)* przy użyciu wartości przepływów z przedziałów z sekcji 3.2, 7.2, 5.2 i 6.2:

$\Sigma$ przepływ =  $1200 \times 40 + 1077 \times 12,5 + 600 \times 16 + 312 \times 11,5 = 74651$  m<sup>3</sup> / dzień

Obliczanie przepływu wg równania (2) i przy użyciu równania (1) daje korespondującą koncentrację chemicznego zapotrzebowania tlenu wynoszącą ok. 390 mg/l. Inni czytelnicy mogą preferować posługiwanie się ładunkami całkowitymi i jedynie korespondującymi przepływami.

II Obliczenia bazujące na dolnej granicy przedziałów BAT-AEL:

*Równanie (1):* Ładunek  $CO_D = 1200 \times 7 + 1077 \times 0,15 + 600 \times 0,9 + 312 \times 3 = 10037,55$  kg/dzień

Biorąc pod uwagę ten sam przepływ obliczony wcześniej, wychodzi nam korespondująca koncentracja chemicznego zapotrzebowania tlenu wynosząca ok. 135 mg/l dla tego konkretnego multiproduktu.

Emisje innych parametrów zanieczyszczeń, takich jak biologiczne zapotrzebowanie tlenu, całkowita siarka zredukowana, adsorbowalne związki halogenoorganiczne, fosfor całkowity, azot całkowity i konkretne przepływy ścieków mogą być obliczone w taki sam sposób jak ww. przykład z chemicznym zapotrzebowaniem tlenu.

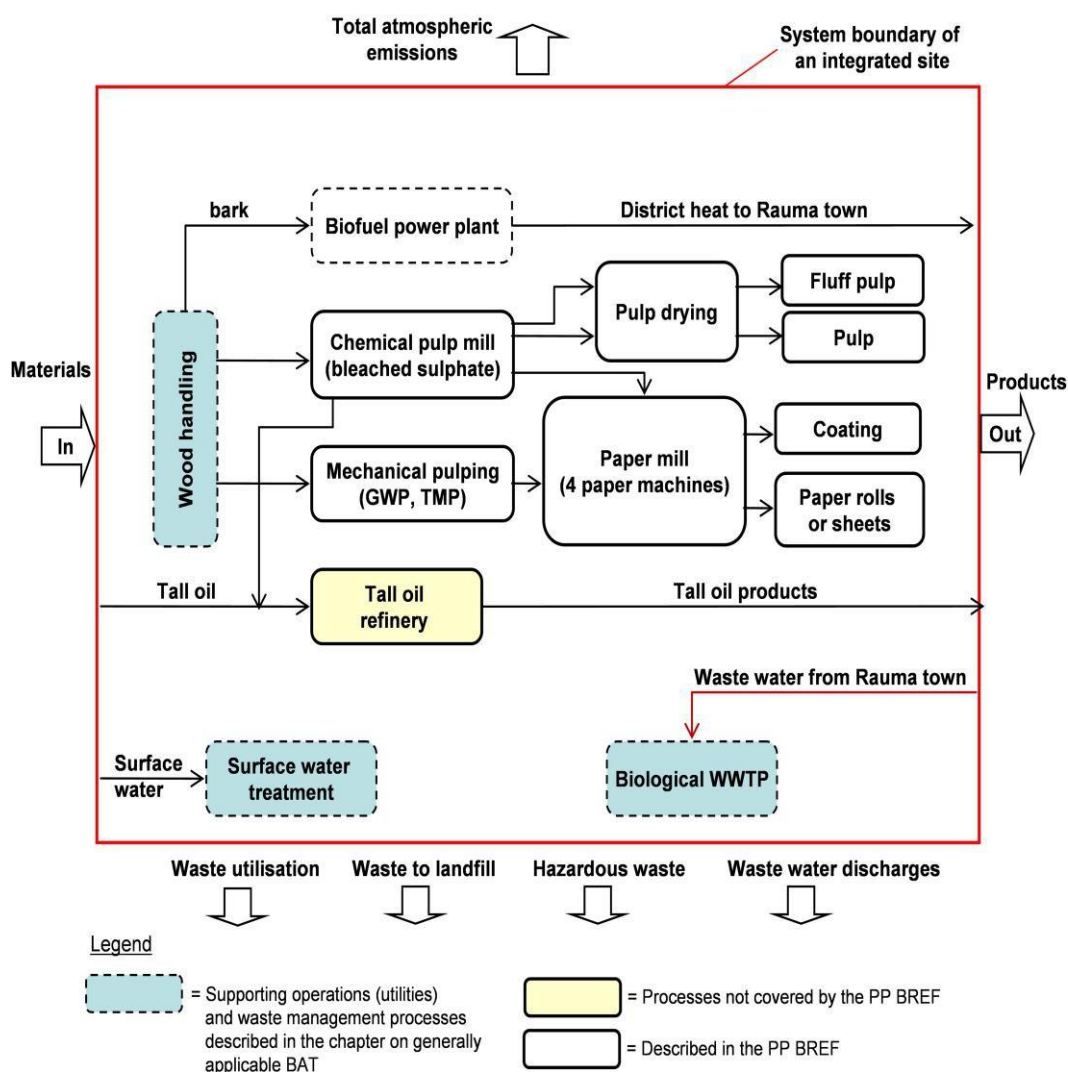
**Przykład 2: zintegrowany zakład produkujący papier i pulpę siarczanową, jak również powlekane i niepowlekane papiery graficzne**

Zakład z przykładu znajduje się nad morzem na zachodnim wybrzeżu Finlandii niedaleko miasta Rauma. Na terenie jednego kompleksu znajdują się: celulozownia, rafineria oleju talowego, elektrownia na biopaliwo, cztery linie produkcyjne do papieru, linia do pulpy celulozowej, podwójna linia do okorowania, dwa rozdrabniacze, trzy działy produkcji pulpy termomechanicznej, oczyszczalnia wód powierzchniowych, połączona biologiczna oczyszczalnia ścieków przemysłowych i komunalnych oraz wysypisko do odpadów przemysłowych.

Moce produkcyjne zakładu to 600 000 ton/rok pulpy siarczanowej bez chloru cząsteczkowego, z czego 150 000 ton to pulpa celulozowa, a 1 280 000 ton przeznaczone jest na papier superkalandrowany i lekki papier powlekany. Moce produkcyjne rafinerii oleju talowego to 100 000 ton/rok. Elektrownia na biopaliwo wytwarza także energię do ogrzania miasta Rauma.

Ilustracja 10.1 przedstawia procesy produkcyjne i inne ważne działania w zintegrowanych zakładach miasta Rauma. W tym przypadku celulozownie i papiernie są posiadane i zarządzane przez różne kompanie. Oy Metsä-Botnia Ab odpowiada za wszystkie operacje związane z procesem siarczanowym, a UPM-Kymmene Oyj odpowiada za pulpowanie mechaniczne, funkcjonowanie papierni, linię do produkcji pulpy celulozowej oraz połączoną oczyszczalnię ścieków. Elektrownia na biopaliwo i rafineria oleju talowego są również

zarządzane przez niezależne firmy. Papiernia może także kupować pulpę siarczanową i celulozową poza zakładem, jednak nie od Metsä-Botnia.



Rysunek 10. 1 Przykład zintegrowanej papierni i celulozowni: produkcja i procesy wspierające w zakładach z miasta Rauma

Język angielski	Język polski
Total atmospheric emissions	Łączne emisje do atmosfery
System boundary of an integrated site	Granica systemu jednostki zintegrowanej
Bark	Kora
Biofuel power plant	Elektrownia na biopaliwo
District heat to Rauma town	Energia cieplna na użytek komunalny miasta Rauma
Materials	Materiały
Wood handling	Obróbka drewna
Chemical pulp mill (bleached sulphate)	Celulozownia produkująca chemiczną masę celulozową (siarczynową bieloną)
Pulp drying	Suszenie masy celulozowej
Fluff pulp	Pulpa celulozowa
Pulp	Masa celulozowa (masa włóknista)
In	Do (środku)
Mechanical pulping (GWP, TMP)	Pulpowanie mechaniczne (ścier drzewny, termomechaniczna

	masa włóknista)
Paper mill (4 paper machines)	Papiernia (4 maszyny papiernicze)
Coating	Powlekanie
Paper rolls or sheets	Zwoje lub kartki papieru
Products	Produkty
Out	Na zewnątrz
Tall oil	Olej talowy
Tall oil refinery	Rafineria oleju talowego
Tall oil products	Produkty z oleju talowego
Surface water	Woda powierzchniowa
Surface water treatment	Oczyszczanie wody powierzchniowej
Biological WWTP	Biologiczna oczyszczalnia ścieków
Waste water from Rauma town	Ścieki z miasta Rauma
Waste utilisation	Utylizacją odpadów
Waste to landfill	Odpady na składowisko
Hazardous waste	Niebezpieczne odpady
Waste water discharges	Zrzuty ścieków
Legend	Legenda
Supporting operations (utilities) and waste management processes described in the chapter on generally applicable BAT	Działania wspierające (usługi) i procesy z zakresu gospodarki odpadami opisane w rozdziale dotyczącym najlepszych dostępnych technik zasadniczo możliwych do zastosowania
Processes not covered by the PP BREF	Procesy, którymi nie zajmują się dokumenty PP BREF
Described in the PP BREF	Procesy opisane w ww. dokumentach

### Podział emisji z połączonej oczyszczalni ścieków w zakładach z miasta Rauma, włączając w to jednostkę produkującą chemiczną masę celulozową oraz papiernię

Ścieki z dwóch ww. zakładów, jak również z miasta, są łączone i oczyszczane w instalacji z osadem czynnym. Biologiczne zapotrzebowanie tlenu, fosfor, azot i substancje stałe ogółem są dzielone wg przepływu i zmierzonego stężenia przy wyjściu. Maksymalny przepływ dla celulozowni to 29 364 m<sup>3</sup>/dzień (~ 17,8 m<sup>3</sup>/ADt), dla papierni – 35 800 m<sup>3</sup>/dzień (~ 10,2 m<sup>3</sup>/ADt), a dla miasta Rauma – 10 424 m<sup>3</sup>/dzień. Może to być uzasadnione przez fakt, że w biologicznej oczyszczalni ścieków bakterie potrzebują pewnej minimalnej rozpuszczalnej koncentracji biodegradowalnej substancji organicznej i składników odżywczych, aby żyć. Koncentracja ta jest osiągalna poprzez odpowiednie zwymiarowanie oczyszczalni. Oczyszczalnia jest bowiem zaprojektowana tak, aby osiągnąć minimalną koncentrację biologicznego zapotrzebowania tlenu, natomiast koncentracja składników odżywczych jest kontrolowana poprzez dodawanie tychże składników do procesu celem zapewnienia prawidłowego funkcjonowania procesu biologicznego. Zwiększanie lub zmniejszanie ładunku biologicznego zapotrzebowania tlenu lub składników odżywczych w oczyszczalni w sposób umiarkowany nie zmienia ostatecznej koncentracji. Dodatkowe biologiczne zapotrzebowanie tlenu jest szybko konsumowane przez bakterie, a kontrola składników odżywczych determinuje konieczność dodawania czegokolwiek celem osiągnięcia wymaganego poziomu przy wyjściu. Dodawanie większej ilości (przepływu) świeżej wody do procesu i oczyszczalni zwiększa całkowity ładunek emisji, ponieważ koncentracja pozostaje niezmienną. Koncentracja substancji stałych po procesie sedymentacji zależy od przepływu, a zwiększony przepływ zwiększa koncentrację, jak również ładunek całkowity.

Emisja chemicznego zapotrzebowania tlenu jest w tym przypadku podzielona według rozpuszczalnej części tegoż (w praktyce filtrowanej) z przepływów wejściowych. Jednakże inny charakter chemicznego zapotrzebowania tlenu w zakładzie produkującym chemiczną masę celulozową oraz papierni jest brany pod uwagę. Redukcja chemicznego zapotrzebowania tlenu do rozpuszczalnego chemicznego zapotrzebowania tlenu w instalacji z osadem czynnym wynosi zwykle 80-85%. Korespondująca liczba dla chemicznego

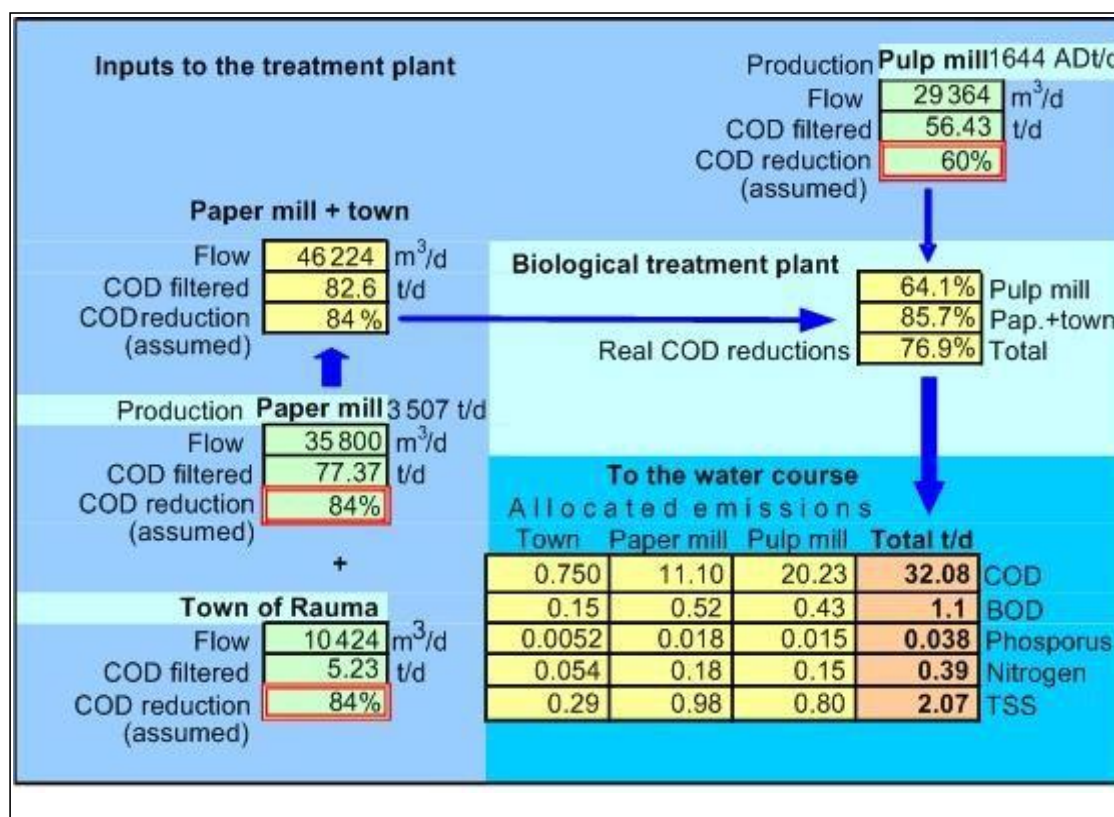


zapotrzebowania tlenu przy chemicznej masie celulozowej wynosi zwykle 55-70%, zależnie od podprocesów w zakładzie.

W przypadku Rauma, oszacowane wskaźniki redukcji rozpuszczalnego chemicznego zapotrzebowania tlenu są wyznaczane dla dwóch zakładów: 84% dla papierni i 60% dla celulozowni (patrz: ilustracja 10.2). Jako że te dwie redukcje nigdy nie są identyczne z całkowitą redukcją zakładu przez dany czas, muszą być adaptowane. Adaptacja podlega selekcji, aby wyrażała proporcjonalnie tą samą zmianę emisji dla obu zakładów w porównaniu do oszacowanych wyników redukcji. W tym przypadku rzeczywiste wskaźniki redukcji dla chemicznego zapotrzebowania tlenu wynoszą 64% dla celulozowni i ok. 87% dla papierni.

Redukcja początkowego ładunku chemicznego zapotrzebowania tlenu z celulozowni z 56,34 t/dzień przez 64% daje wynik 20,2 t/dzień, co koresponduje ze specyficzną dla produktu wartością 12,3 kg/COD/ADt, biorąc pod uwagę maksymalną możliwą produkcję (1644 Adt/dzień, 365 dni operacyjnych). W przypadku papierni początkowy ładunek chemicznego zapotrzebowania tlenu wynoszący 77,37 t/dzień jest redukowany do 11,1 t/dzień (~ 86%), co koresponduje ze specyficznym ładunkiem chemicznego zapotrzebowania tlenu wynoszącym 3,2 kg COD/t, biorąc pod uwagę maksymalną możliwą produkcję (3507 t/dzień, 365 dni operacyjnych).

Rysunek 10.2 podsumowuje przykładowo założenia czynione względem rozmieszczenia emisji z połączonej oczyszczalni ścieków dla zintegrowanego zakładu produkującego chemiczną i mechaniczną masę celulozową oraz papier drukarski.



Rysunek 10. 2 Rozmieszczenie emisji z połączonej oczyszczalni ścieków w zintegrowanych zakładach w Raumie, gdzie znajduje się także celulozownia produkująca chemiczną masę celulozową oraz papiernia

Język angielski	Język polski
Inputs to the treatment plant	Zrzut do oczyszczalni
Production	Produkcja
Pulp mill	Celulozownia
Flow	Przepływ
COD filtered	Chemiczne zapotrzebowanie tlenu filtrowane

COD reduction (assumed)	Oszacowana redukcja chemicznego zapotrzebowania tlenu
Paper mill + town	Papiernia + miasto
Biological treatment plant	Biologiczna oczyszczalnia ścieków
Real COD reductions	Rzeczywista redukcja chemicznego zapotrzebowania tlenu
Pap. + town	Papiernia + miasto
Total	Łącznie
To the water course	Do cieków wodnych
Allocated emissions	Rozmieszczone emisje
Town	Miasto
Paper mill	Papiernia
Total t/d	Łączna liczba ton na dzień
COD	Chemiczne zapotrzebowanie tlenu
BOD	Biologiczne zapotrzebowanie tlenu
Phosphorus	Fosfor
Nitrogen	Azot
TSS	Zawiesiny stałe ogółem
Town of Rauma	Miasto Rauma
Source: Finnish Environment Institute	Źródło: Fiński Instytut Ochrony Środowiska

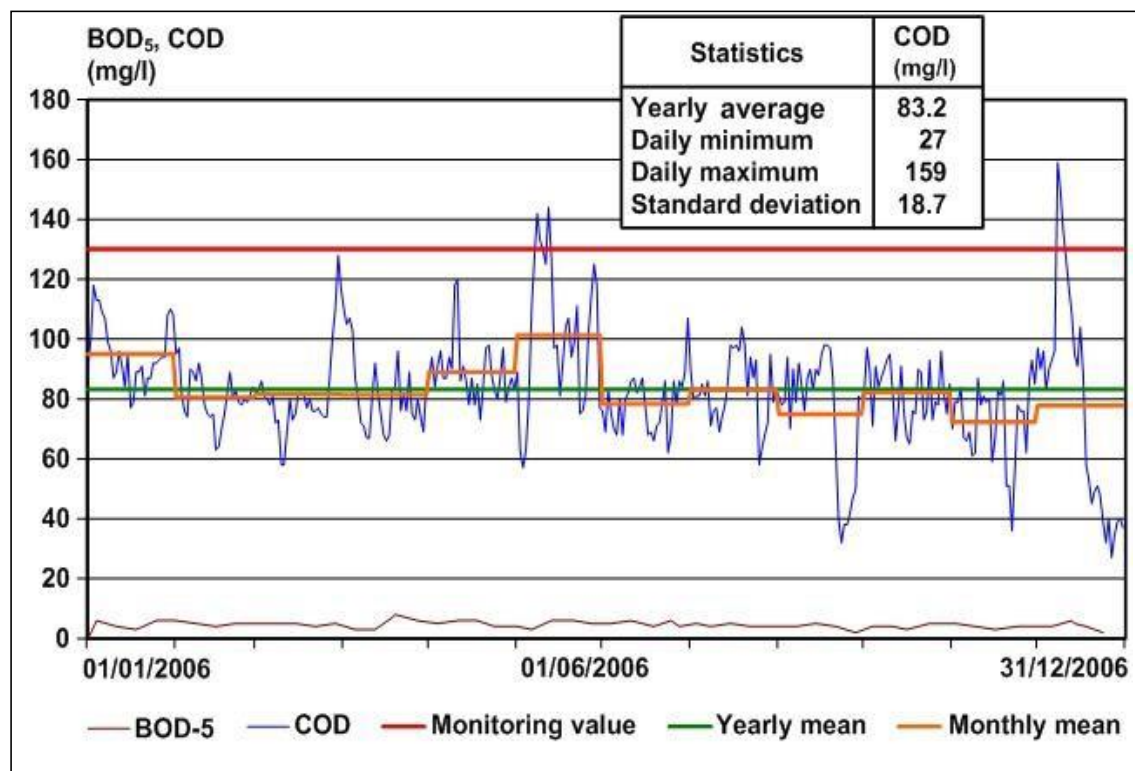
## 10.2 Aneks II: Zmienność emisji w czasie

### 10.2.1 Zmienność emisji podczas różnych okresów referencyjnych

Przy pozwoleniach i ustalaniu warunków pozwoleń bierze się pod uwagę zgodność papierń i celulozowni, różnorodne emisje bazujące na stężeniu lub ładunku czy wartości docelowe z różnymi okresami referencyjnymi (średnie dzienne, miesięczne, roczne). Aby ułatwić jak skorzystanie z podanych danych dot. emisji w jak największym stopniu, wydaje się użytecznym omówić związki pomiędzy różnymi stosowanymi okresami referencyjnymi celem poczynienia wiarygodnego porównania ww. danych i obiektywnej interpretacji przedziałów BAT-AEL. Dane zaprezentowane w niniejszym dokumencie odnoszą się do różnych okresów referencyjnych – roku, miesiąca lub dnia.

#### Emisje do wody

Emisje do wody (i atmosfery) podczas różnych okresów referencyjnych zmieniają się w czasie, co należy brać pod uwagę przy ustalaniu zakresu BAT-AEL dla danego zakładu. Emisje chemicznego zapotrzebowania tlenu i biologicznego zapotrzebowania tlenu 5 w papierni i celulozowni produkującej pulpę mechaniczną z przykładu są zaznaczone na ilustracji 10.3 jako średnie dzienne, miesięczne i roczne. Przykład pokazuje wielkość fluktuacji emisji w czasie całego roku i daje pojęcie o zasadności ustalania różnych okresów referencyjnych (np. średnich dziennych, miesięcznych i rocznych). Standardowe wychylenie i dopuszczalną wielkość (wartość monitoringu) są również podane w przykładzie.



Rysunek 10.3 Emisje chemicznego i biologicznego zapotrzebowania tlenu po biologicznym oczyszczaniu ścieków wyrażone jako średnie dzienne, miesięczne i roczne

Język angielski	Język polski
BOD <sub>5</sub>	Biologiczne zapotrzebowanie tlenu 5
Statistics	Statystyka
COD	Chemiczne zapotrzebowanie tlenu
(mg/l)	Ilość miligramów na litr
Yearly average	Średnia roczna
Daily minimum	Minimum dzienne
Daily maximum	Maksimum dzienne
Standard deviation	Standardowe wychylenie
BOD-5	Biologiczne zapotrzebowanie tlenu 5
COD	Chemiczne zapotrzebowanie tlenu
Monitoring value	Wartość monitoringu
Yearly mean	Średnia roczna
Monthly mean	Średnia miesięczna
Source: [178, R. Spörl 2009]	Źródło: [178, R. Spörl 2009]

Przy pomocy powyższego przykładu i innych badań, np. [177, Hiszpańskie Ministerstwo Ochrony Środowiska 2009] czy [178, R. Spörl 2009], można omówić najważniejsze aspekty związane ze zmiennością emisji w czasie. Konkluzje tegoż omówienia są zaprezentowane poniżej:

- Dane dotyczące emisji z różnymi okresami referencyjnymi pokazują różną fluktuację i mają różne wartości absolutne. Im dłuższy okres referencyjny, tym mniejszy może być stosowny limit emisji.
- Średnia roczna wartość to średnia wszystkich mierzonych emisji w ciągu całego roku.
- Średnią miesięczną najlepiej określać poprzez zakres minimum-maksimum. Największe wartości średnich miesięcznych zostały przyjęte jako BAT-AEL, jeśli je podano, ponieważ cały miesiąc jest uważany za znaczący przedział czasu. Żadne wartości nie zostały pominięte.
- Średnie wartości dzienne mierzone w 24-godzinnych mieszanych próbkach w czasie całego roku zwykle pokazują typowe zachowanie w ramach danego przedziału, jednak czasem można

zaobserwować także większe szczytowe wartości. Przyjmowanie najwyższej średniej dziennej wartości całej partii jako referencyjną dla osiągniętych emisji nie daje reprezentatywnego obrazu całego wpływu na środowisko wywieranego przez zakład (na ilustracji 10.3 byłaby to wartość chemicznego zapotrzebowania tlenu wynosząca 159 mg/l określona w ramach 24-godzinnej próbki mieszanej). Takie podejście przeceniałoby znaczenie kilku dni, kiedy występują odstępstwa, zakłócenia czy wychylenia od normalnych warunków operacyjnych, co w konsekwencji doprowadziłoby do nierozsądnie wielkiego poziomu emisji. Rzeczywista praca zakładu wykonywana w normalnych warunkach operacyjnych nie byłaby w związku z tym odzwierciedlona w tym poziomie emisji.

- Zatem zakresy BAT-AEL dla średnich dziennych okresów referencyjnych bazują na zestawie danych uwzględniających obserwacje odstające. Takie podejście koresponduje z normalnymi warunkami operacyjnymi, co oznacza, że niecodzienne odstępstwa lub zakłócenia są wykluczane. Jednakże typowe krótkoterminowe przerwy w procesie produkcyjnym (np. zerwanie wstęgi w maszynie papierniczej) są uznawane za część normalnej pracy zakładu, jako że zerwanie wstęgi w maszynie papierniczej zdarza się regularnie, np. raz dziennie (lub częściej). Podczas normalnej pracy, fluktuacja danych emisji jest głównie przypadkowa i w związku z tym praktyczną zasadą jest odrzucanie obserwacji odstających poprzez niebranie pod uwagę wartości, które znajdują się powyżej lub poniżej średniej rocznej plus podwójne wychylenie standardowe (odrzucenie obserwacji odstającej  $>$  średnia roczna  $+ 2 \times$  wychylenie standardowe). To koresponduje mniej więcej z wartością z 97-ego centyla. W naszym przykładzie (patrz: ilustracja 10.3) wartości emisji  $>$  120 mg/l i  $<$  45 mg/l byłyby odrzucone. W przykładzie następujące wartości byłyby także uznane za nietypowe: zwiększone wartości chemicznego zapotrzebowania tlenu występujące przez kilka dni w czerwcu i grudniu, kiedy zakładowe testy rozwoju nowych produktów doprowadziły do wyższych poziomów, jak również mniejsze wartości chemicznego zapotrzebowania tlenu spowodowane przez przestoje w kilku dniach września i grudnia.
- Prostą metodą odrzucenia nietypowych wartości szczytowych celem ustalenia przedziałów BAT-AEL jest obliczenie 95-ego centyla dla średnich wartości dziennych. Inne centyle i podejścia są także możliwe i stosowane w Europie.
- Nie istnieje stała relacja między danymi dot. emisji w różnych okresach referencyjnych. Jednakże przybliżone wartości mogą być ustalone z rozsądną dokładnością. Należy zauważyć, że wszystkie przybliżenia bazują na znacznej liczbie założeń, które muszą być zanalizowane gdy się ich używa. Zmienność emisji może być scharakteryzowana przez użycie wychylenia standardowego. Inną opcją jest użycie czynników zmienności, tj. np. stosunku pomiędzy średnimi dziennymi/miesięcznymi a średnią roczną.
- Ustalenie czynników zmienności, tj. dotyczących stosunku między średnimi dziennymi a średnią roczną, umożliwia przybliżone obliczenie lub oszacowanie korespondujących poziomów emisji w ramach średnich dziennych, miesięcznych i rocznych.
- Ostatnie badania dotyczące zmienności emisji podczas różnych okresów referencyjnych przeprowadzone dla czterech dużych i średnich hiszpańskich papierń i celulozowni pokazały czynniki zmienności pomiędzy średnimi dziennymi i rocznymi [177, [Hiszpańskie Ministerstwo Ochrony Środowiska 2009](#)]. Wszystkie badane zakłady realizowały BAT i osiągały poziomy emisji w ramach zakresów związanych z wdrożeniem BAT, jak zostało to zawarte w BREF. Analiza skupiła się wyłącznie na zawieszinach stałych ogółem i chemicznym zapotrzebowaniu tlenu. Wszystkie mierzone wartości były brane pod uwagę przy obliczaniu średnich miesięcznych i rocznych, jednak tylko 95% wyników dziennych było brane pod uwagę przy obliczaniu średnich dziennych – najwyższe wartości były odrzucane. Najwyższe 5% nie było brane pod uwagę, ponieważ należało przedstawić bardziej reprezentatywną sytuację, która mogłaby być uznana za normalne warunki pracy. Wyrażone jako specyficzne ładunki emisji (kg TSS/ADt i kg COD/ADt), czynniki zmienności lub stosunek średniej rocznej do wartości 95-ego centyla średnich dziennych z czterech zakładów wynosiły 2,3 dla zawieszin stałych ogółem i 1,7 dla chemicznego zapotrzebowania tlenu. W innych krajach i zakładach istnieją także wyniki badań z nieco mniejszymi lub większymi stosunkami. W tabeli 10.3 rzeczywiste zmierzone i obliczone specyficzne dane dotyczące ładunku emisji chemicznego zapotrzebowania tlenu są pokazane jako trzy osobne okresy referencyjne (rok, miesiąc, dzień).

**Tabela 10.3 Średnie wartości roczne, miesięczne i dzienne dla specyficznych emisji chemicznego zapotrzebowania tlenu (COD) z czterech zakładów**

Typ zakładu	COD kg/ADt			Czynnik zmienności średniej dziennej / rocznej
	Średnia roczna	Najwyższa średnia	95-ty centyl wartości	

		miesięczna	średnich dziennych	
Rynkowa bielona siarczanowa masa celulozowa	11,15	12,82	17,12	1,53
Siarczanowa masa celulozowa częściowo zintegrowana z papierem powlekanym	7,17	7,95	14,25	1,99
Papier pakowy z odbarwianiem	1,04	1,15	1,85	1,78
Papier powlekany	1,71	2,08	2,65	1,55

Źródło: [177, Hiszpańskie Ministerstwo Ochrony Środowiska 2009]

- Zakładając, że poziomy emisji są mniej więcej normalnie rozmieszczone, ostatnie badania zaproponowały łatwy wzór do konwersji poziomów koncentracji emisji z jednego okresu referencyjnego (np. dnia) do rocznych lub miesięcznych wartości emisji poprzez użycie wychylenia standardowego [178, R. Spörl 2009]. Jednakże w niektórych przypadkach (np. przy emisjach fosforu, azotu i zawiesin stałych ogółem) wartości odpadów są rozmieszczone nierówno.
- Zmienność wartości emisji różni się między parametrami danego zakresu. Ilustracja 10.3 pokazuje, że wartości BOD<sub>5</sub> są raczej stabilne i zawsze wynoszą poniżej 25 mg/l jako średnia dzienna. Poziomy emisji COD zmieniają się w czasie w ramach danego przedziału.
- Zmiany emisji w czasie w ramach danego przedziału są nieuniknione. Jednakże istnieje wiele środków gwarantujących sprawniejsze przeprowadzanie procesów i techniki kontroli. Zapobieganie szczytowym emisjom i redukcja ich uważane jest za jedną z najlepszych możliwych technik.

Czytelnik niniejszego dokumentu powinien mieć świadomość różnic pomiędzy średnimi dziennymi, miesięcznymi i rocznymi wartościami emisji. Wartości emisji powinny być zawsze interpretowane razem z korespondującym okresem referencyjnym.

### Emisje do atmosfery

Hiszpański raport nt. analizy zmienności emisji do atmosfery z kotłów odzysknicowych i wapienników [10, Hiszpańskie Ministerstwo Ochrony Środowiska 2012] pokazuje zmiany w ramach wartości uzyskane z próbki dziennej i korespondującej średniej rocznej. Obliczono stosunek maksymalnych wartości dziennych do średniej wartości rocznej. Tylko 95% dziennych wyników było użyte jako dzienne wartości – najwyższe wyniki były odrzucane. Tabela 10.4 pokazuje zmienność w przypadku kotłów odzysknicowych, a tabela 10.5 pokazuje tę zmienność w wapiennikach.

Tabela 10.4 Czynniki zmienności dziennej/rocznej w przypadku kotłów odzysknicowych

Zmienność emisji do atmosfery z kotłów odzysknicowych						
Dzienna/roczna średnia wartość z 95-tego centyla						
Numer kotła odzysknicowego	Parametr					Średnia zmienności dziennych/rocznych w kotłach odzysknicowych
	Pył	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>	TRS	SH <sub>2</sub>	
1	1,6	1,23	2,67		2,35	2,1
2	1,94	1,13	2,17	1,33		
3	1,96			4,2		
4	1,87		2,26	2,71	1,8	
5	2,56	1,18	2,98	1,91	2	
6	1,77	1,59	2,52		2,12	

7	1,32	1,27	1,94		2,6	
8	1,77		2,43	3,72	2,07	
Średnia zmienność dzienna/roczna	1,85	1,28	2,42	2,77	2,16	

Źródło: [10. Hiszpańskie Ministerstwo Ochrony Środowiska 2012]

Tabela 10. 5 Czynniki zmienności dziennej/rocznej w przypadku wapienników

Zmienność emisji do atmosfery z wapienników						
Dzienna/roczna średnia wartość z 95-tego centyla						
Numer wapiennika	Parametr					Średnia zmienności dziennych/rocznych w wapiennikach
	Pył	NOx	SO <sub>2</sub>	TRS	SH <sub>2</sub>	
1	1,7	1,54	2,56		2,72	2,23
2	1,67			2,4		
3	2,34	2,17	2,81	2,91		
4	1,6	1,33	3,92	1,59	1,55	
5	2,67	1,66	1,99		2,84	
Średnia zmienność dzienna/roczna	2,00	1,68	2,82	2,3	2,37	

Źródło: [10. Hiszpańskie Ministerstwo Ochrony Środowiska 2012]

### 10.2.2 Powody zmienności emisji i przeciwdziałanie

Większość danych dot. emisji przedstawionych w niniejszym dokumencie reprezentuje przeciętne sytuacje dziejące się w czasie całego roku. W innych przypadkach podane są średnie wartości dzienne, miesięczne i roczne. Między danymi dot. emisji bazującymi na różnych okresach referencyjnych mogą być znaczne różnice, np. dzienne i roczne średnie mogą się różnić o 50% lub więcej. Zróżnicowanie pojedynczych emisji w określonym czasie zależy od typu instalacji, źródła emisji, projektu i przeprowadzania procesu, kontroli procesu, utrzymania sprzętu, danej substancji i innych czynników.

Zmienność emisji jest głównie obserwowana przy średnich wartościach dziennych. Powody zmienności emisji i możliwe przeciwdziałanie [177, Hiszpańskie Ministerstwo Ochrony Środowiska 2009] są podane poniżej.

- Zmienność powodowana przez istnienie produktów pośrednich w procesie produkcji. Impact – głównie na średnich wartościach dziennych.
- Zmienność powodowana przez różnice w surowcach (drewno z różnych regionów i krajów, zmiany gatunków drewna, zmienna jakość papieru do recyklingu). Nieodłączne zmiany powodowane zmiennością surowców mogą być znaczące w przypadku średnich dziennych i miesięcznych.
- Zmienność powodowana zmianami w klasie papieru i masy celulozowej.

W pewnych przypadkach zmiany w klasie jakościowej produkowanego papieru wymagają opróżniania i czyszczenia obiegów białej wody i pulpy, co z kolei generuje znaczny wzrost zrzutu zanieczyszczeń. Jest to szczególnie istotne w przypadku papieru specjalistycznego i kolorowego. Częstotliwość i zakres takich zmian w klasie produkowanego papieru, jak również organizacja i względna częstość, w znacznej mierze zależą od różnych czynników rynkowych. Grupowanie klas podobnej jakości w tej samej partii produkcyjnej, wymaganie zmian w taki sposób, że cykle czyszczenia są minimalizowane czy możliwość specjalizacji w jednym typie produktu są czynnikami, które należy brać pod uwagę. Dobra komunikacja

między pracownikami oczyszczalni ścieków i produkcji dotycząca znacznych zmian w produkcji jest najlepszą praktyką. Pozwala to na przedsięwzięcie stosownych środków gwarantujących osiągnięcie zamierzonej jakości odpadów.

Zmienność łączona ze zmianami w klasach papieru produktów jest znaczna w przypadku średnich dziennych i może być zauważalna przy średnich miesięcznych.

- Zmienność powodowana przez pracę i kontrolę procesu.

Zmiany tego typu zależą od projektu instalacji, sposobu, w jaki się z niej korzysta, istniejących systemów kontroli oraz treningu, motywacji i wykształcenia pracowników zakładu. Wprowadzenie systemu zarządzania ochroną środowiska przyczynia się do redukcji takich zmian. Przy wyborze którejs z najlepszych dostępnych technik do wdrożenia zazwyczaj preferuje się te, które zapewniają większą stabilność i czynią z niej priorytet zamiast tych, które mogą generować zakłócenia.

- Zmienność towarzysząca użytkowaniu oczyszczalni ścieków.

Istnienie basenu do sytuacji nadzwyczajnych lub zbiornika, gdzie przypadkowe zrzuty mogą być gromadzone przed pojawieniem się w oczyszczalni chroni oczyszczanie biologiczne i zapobiega niszczeniu systemu biologicznego. Co więcej, homogenizowanie ścieków dopływających do oczyszczalni przy pomocy zbiornika wyrównującego hydraulicznie lub w sensie ładunku organicznego znacznie poprawia pracę oczyszczalni i redukuje zmienność przy ściekach. Możliwe awarie w biologicznej oczyszczalni czy wtórnym osadniku muszą być regularnie przewidywane wskutek kontroli i naprawiane jeśli trzeba. Proces oczyszczania osadem czynnym jest podatny na perturbacje i w związku z tym potrzebuje nadzoru. Należy również zapobiegać tworzeniu się „pęczniącego osadu” przy pomocy dobrego projektu i użytkowania oczyszczalni.

Zmienność pojedynczych emisji w czasie zależy od typu instalacji, źródła emisji, danego środka zanieczyszczającego, projektu instalacji i pracy przy tejże, kontroli i przeprowadzania procesu, wymiarowania, stosowania i kontroli technik redukcji emisji oraz innych czynników. Porównywanie danych z różnych okresów referencyjnych musi być także przeprowadzane z uwagą.

Nie ma praktycznej zasady co do konwersji średnich rocznych do średnich miesięcznych czy dziennych próbek kompozytowych. W ramach danego zakresu można stwierdzić, że im krótszy jest okres uśrednienia, tym większa zmienność emisji. Średnie wartości miesięczne zwykle zmieniają się w jakimś stopniu z miesiąca na miesiąc (zależnie od produkcji, jakości drewna, warunków klimatycznych itp.). Tylko analiza statystyczna każdego przypadku daje wiarygodną odpowiedź na temat rzeczywistego zakresu zmian.

### Czynniki zmienności

Czynniki zmienności mogą być definiowane jako stosunek maksymalnej rozważanej średniej dziennej (np. 95-ty centyl) do maksimum miesięcznego lub średniej rocznej. Tabela 10.3 powyżej podaje pewne przykłady czynników zmienności między średnimi wartościami dziennymi a rocznymi. Jako średnia, średnia wartość dzienna (95-ty centyl) dla emisji chemicznego zapotrzebowania tlenu była o 70% wyższa niż średnia roczna.

Nie ma wiarygodnej arytmetycznej metody, która pozwalałaby na bezpośrednie porównanie wartości długo- i krótkoterminowych czy pochodzenia jednych od drugich. Jednakże istnieją pewne pragmatyczne podejścia, bazujące na praktycznych doświadczeniach różnych krajów mogące dać pewne pojęcie o rzędzie wielkości, w ramach którego rezultaty pomiarów z różnych okresów uśrednienia mogą się różnić.

1. Co do odprowadzania ścieków oczyszczonych biologicznie z celulozowni produkujących chemiczną masę celulozową, w Niemczech uważa się, że wartość monitoringu bazująca na średnich dziennych jest o około 60% wyższa niż średnia wartość roczna. Dla przykładu wartość monitoringu bazująca na 24-godzinnym okresie objętym próbą wynosząca 40 kg COD/t jest równa średniej rocznej wynoszącej 25 kg/t masy celulozowej. Dzienna wartość monitoringu uważana jest za zgodną, gdy cztery z pięciu próbek znajdują się poniżej limitu i żadna wartość nie przekracza limitu o więcej niż 100%.
2. Według praktycznej szwedzkiej zasady można oczekiwać, że średnie miesięczne będą do 20% procent wyższe niż średnia roczna w danym roku.

## GLOSARIUSZ

Glosariusz ma na celu ułatwienie zrozumienia informacji zawartych w niniejszym dokumencie. Definicje pojęć zawarte w tym słowniku nie są definicjami prawnymi (nawet jeśli niektóre z nich mogą pokrywać się z definicjami zawartymi w przepisach europejskich), lecz mają za zadanie pomóc czytelnikowi zrozumieć kilka kluczowych terminów w kontekście ich wykorzystania w konkretnym sektorze objętym tym dokumentem.

Glosariusz ten jest podzielony na następujące sekcje:

- I. Kody krajów ISO
- II. Jednostki i współczynniki przeliczeniowe
- III. Pierwiastki chemiczne
- IV. Wzory chemiczne powszechnie stosowane w powyższym dokumencie
- V. Skróty i definicje techniczne

### I. Kody krajów ISO

Kod ISO	Kraj
<i>Kraje członkowskie</i>	
BE	Belgia
BG	Bułgaria
CZ	Czechy
DK	Dania
DE	Niemcy
EE	Estonia
IE	Irlandia
EL	Grecja
ES	Hiszpania
FR	Francja
IT	Włochy
CY	Cypr
LV	Łotwa
LT	Litwa
LU	Luksemburg
HU	Węgry
MT	Malta
NL	Holandia
AT	Austria
PL	Polska
PT	Portugalia
RO	Rumunia
SI	Słowenia
SK	Słowacja
FI	Finlandia
SE	Szwecja
UK	Wielka Brytania
<p>Ważne Kolejność protokolarna państw członkowskich opiera się na porządku alfabetycznym ich nazw geograficznych w oryginalnym języku (językach).</p>	



## II. Jednostki i współczynniki przeliczeniowe

Termin	Znaczenie
°C	Stopień Celsjusza
ADt	W niniejszym dokumencie zużycie specyficzne chemiczne i zużycie energii, kosztów i emisji wyrażone jest jako „w 90% wysuszonej na powietrzu pulpy”.
Bar	Bar (1013bar=100kPa lub 1atm)
BDt	Tony metryczne wysuszonej pulpy (stosowane np. jako jednostka odniesienia do mechanicznego zużycia energii); zawartość suchej masy w 100% pulpy; zwanej także bezwzględnie suchą lub przesuszoną
cm	Centymetr
d	Dzień
dB(A)	Hałas mierzony w decybelach ważonych A (niechciany dźwięk) jest wyrażony jako logarytmiczny stosunek zmierzonego poziomu hałasu. Jednostką tego stosunku jest decybel (dB). Ludzkie ucho jest mniej wrażliwe na niskie częstotliwości dźwięku. W miernikach poziomu dźwięku stosuje się filtr, który koryguje widma dźwięku zgodnie z wrażliwością ucha. Nazywa się to poziomem dźwięku ważonym w decybelach ważonych A, w dB(A).
DS	Substancje rozpuszczone
g	Gram
h	Godzina
J	Dżul
K	Kelvin (0°C=273.15K)
kg	Kilogram (1kg=1000g)
kWh	Kilowatogodzina(1kWh=3600kJ=3.6MJ)
l	Litr
m	Metr
m <sup>3</sup>	Metr sześcienny, kubik
m <sup>3</sup> <sub>svb</sub>	Objętość litego drewna z wyłączeniem kory
mg	miligram (1mg=10 <sup>-3</sup> g)
mg/Nm <sup>3</sup>	Nm <sup>3</sup> - Masa emitowanych substancji związanych z objętością gazów odlotowych w warunkach normalnych (temperatura od 273,15 K i ciśnienie 1013 mbar), po odliczeniu zawartości pary wodnej w gazach odlotowych; stężenia te odnoszą się zawsze do określonego standardu zawartości O <sub>2</sub> (% O <sub>2</sub> ).
MJ	Megadżul (1MJ=1000kJ=0.2778kWh)
MWh	Megawatogodzina
Nm <sup>3</sup>	Nm <sub>3</sub> Znormalizowany kubik-odnosi się do objętości gazów odlotowych w warunkach normalnych (273.15K, 1013 mbar), po odliczeniu zawartości pary wodnej w gazach odlotowych (suchy gaz).
Pa	Pascal (1Pa=1N/m <sup>2</sup> )
ppm	Część milionowa; wartość pomnożona przez masę cząsteczkową podzielona przez 22.41= mg/m <sup>3</sup> ; np. 1ppmv NO <sub>2</sub> =2.05mg NO <sub>2</sub> /Nm <sup>3</sup> , 1ppmv SO <sub>2</sub> = 2.85mgSO <sub>2</sub> /Nm <sup>3</sup> , 1ppmvCO=mg 1.25CO/Nm <sup>3</sup> , 1ppmvH <sub>2</sub> S=mg 1.71H <sub>2</sub> S/Nm <sup>3</sup>
ppmv	Część milionowa do objętości
s	Sekunda
svb	Objętość litego drewna z wyłączeniem kory (m <sup>3</sup> )
t	(system metryczny) tona (1000kg lub 10 <sup>6</sup> g)
t/r	Tony na rok
μ	micro=1×10 <sup>-6</sup> ; np.um= mikrometr,ug= mikrogram
vol-%	Procent do objętości (również %v/v)
W	Wat (1W=1J/s)
r.	Rok

## III.Pierwiastki chemiczne

Symbol	Name	Symbol	Name
Al	Glin	Hg	Rtęć

C	Węgiel	K	Potas
Ca	Wapń	Mg	Magnez
Cd	Kadm	Na	Sód
Cl	Chlor	N	Azot
Cu	Miedź	O	Tlen
F	Fluor	P	Fosfor
Fe	Żelazo	Pb	Ołów
H	Wodór	S	Siarka

#### IV. Wzory chemiczne powszechnie stosowane w powyższym dokumencie

Wzór chemiczny	Nazwa
CaO	Tlenek wapnia (wapno palone)
CaCO <sub>3</sub>	węglan wapnia
CH <sub>3</sub> CO <sub>3</sub> H	Kwas nadoctowy
CH <sub>3</sub> SH	Merkaptan metylowy
CH <sub>3</sub> SCH <sub>3</sub>	siarczek dimetylu
CH <sub>3</sub> SSCH <sub>3</sub>	dwusiarczek dimetylu
CO	tlenek węgla
ClO <sub>2</sub>	dwutlenek chloru
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	kwask siarkowy
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	hydronadtlenki
HCl	kwask chlorowodorowy
HF	fluorowodór (często w postaci wodnego roztworu kwasu fluorowodorowego)
MgO	tlenek magnezu
Mg(OH) <sub>2</sub>	wodorotlenek magnezu
Mg(HSO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	wodorowęglan magnezu
MgSO <sub>4</sub>	siarczan magnezu
NaOH	Wodorotlenek sodu (soda kaustyczna)
NaClO <sub>3</sub>	chlolan sodu
Na <sub>2</sub> S	siarczek sodu
Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	węglan sodu
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>	krzemianu sodu (szkło wodne)
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>4</sub>	ditionin sodu
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	siarczan sodu
Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	tiosiarczan sodu
NH <sub>4</sub> -N	amon (obliczony jako N)
NO <sub>2</sub> -N	azotyny (obliczony jako azot)
NO <sub>3</sub> -N	azotany (Obliczony jako N)
NO <sub>x</sub>	suma tlenku azotu (NO) i dwutlenku azotu (NO <sub>2</sub> ) wyrażona jako NO <sub>2</sub>
O <sub>2</sub>	tlen
O <sub>3</sub>	ozon
SO <sub>2</sub>	dwutlenek siarki

#### V. Skróty i definicje

Skróty/Akronimy	
<b>Bezwzględnie sucha:</b>	Sucha zawartość w 100% masy; zwana również wysuszoną lub przesuszoną
<b>Aktywny chlor</b>	Aktywny chlor zawierający składniki wybielające przeliczane w sposób jakby były chlorkiem (Cl <sub>2</sub> ), to jest jak gdyby miały taką samą wagę przez równowartość utleniania jak chlor: 1kg Cl <sub>2</sub> = 1kg aktywnego chloru; 1 kilogram ClO <sub>2</sub> = 2.63 kg aktywnego chloru.

<b>ADT</b>	W tym dokumencie, zużycie specyficzne chemiczne i zużycie energii, kosztów i emisji jest wyrażone jako „na 90% masy suszonej na powietrzu ( <i>air dry</i> )”. → suszona na powietrzu
<b>Tlenowe</b>	Procesy „wymagające tlenu”. Procesy, w których mikroorganizmy rozkładają materiał biodegradowalny w obecności tlenu. Termin ten jest stosowany do klasyfikacji gazowych biologicznych oczyszczalni ścieków.
<b>Tlenowe oczyszczalnie ścieków</b>	Biologiczne oczyszczanie ścieków, które występuje w obecności tlenu.
<b>Suszone na powietrzu</b>	Waga masy wysuszonej w powietrzu (ADT) oznacza zawartość 90% suchej masy; w przypadku papieru wysuszonego w powietrzu oznacza papier z wilgotnością do 6%.
<b>Alfa-celuloza</b>	Wysoko rafinowana, nierozpuszczalna celuloza, z której zostały usunięte cukry, pektyny i inne substancje rozpuszczalne. Zwana również chemiczną celulożą.
<b>Beztlenowe</b>	Procesy w których mikroorganizmy rozkładają biodegradowalny materiał pod nieobecność tlenu. Używane jako część procesu oczyszczania ścieków.
<b>Ścieki beztlenowe</b>	Oczyszczanie biologiczne ścieków, które występuje w przypadku braku tlenu.
<b>AOX</b>	Adsorbowane organicznie związane halogeny mierzone wg standardowej metody ENISO9562 dla ścieków. Zasadą jest do adsorpcja organicznych składników próbki na węglu aktywnym, oddzielenie od próbki węgla przez filtrację, i palenie węgla z tlenem w specjalnym urządzeniu AOX. HX są tworzone z początkowego organicznie związanego halogenu i wchłaniane do elektrolitu, w którym zostały one ustalone przez mikro -kulometryczne miarkowanie. Wynik jest wyrażony jako chlorek w mg Cl/l.
<b>Kocioł pomocniczy</b>	„Pomocniczy” oznacza normalnie „zależny”, „dodatkowy”, „ekstra”, „nieliniowy” lub „małe urządzenie do obsługi głównej działalności”. Przemysł celulozowo-papierniczy produkuje większość własnego ciepła i dużą część własnej energii elektrycznej w ramach swojej podstawowej działalności. Dlatego termin „kocioł pomocniczy”, często wykorzystywany w literaturze, może wprowadzać w błąd, odnosząc się do kotłów parowych pracujących przez cały rok i zróżnicowanych w wielkości, zużyciu paliwa lub warunkach obciążenia. Jeśli używany jest termin „kocioł pomocniczy”, odnosi się on do obiektów energetycznego spalania o nominalnej mocy cieplnej <50 MW w tym połączonych gazowych turbin, fluidalnych reaktorów, bloków parowych, obiektów energetycznego spalania wykorzystujących pozostałości pulpy i produktów papierowych lub produktów ubocznych jako paliwo (np. kora, szlam, makulatura, odrzuty), oraz instalacji spalania > 50 MW, jeśli są one eksploatowane w warunkach obciążenia poszczególnych sektorów (np. bloki parowe, turbiny gazowe o łączonym cyklu). Dla konwencjonalnych większych zakładów spalania przekraczających 50 MW, należy odnieść się do LCPBREF.
<b>Dostępność (systemu oczyszczania NCG)</b>	Opisuje całkowitą skuteczność poboru gazu i systemu oczyszczania dla silnego i słabego NCG w pulpie siarczanowej. Dostępność oczyszczania powinna obejmować zarówno pierwotne spalanie i system zapasowy, czyli procent przepływu gazu do systemu oczyszczania bez względu na system oczyszczania. System zapasowy jest uważany za równie ważny co system podstawowy, a kiedy jest on potrzebny, wyjątkowo emisja jest wstrzymana do momentu uruchomienia systemu zapasowego. Dostępność uzdatniania powinna obejmować zarówno gromadzenie i spalanie. Na przykład, jeżeli stopa zbioru słabego gazu wynosi 98% a skuteczność oczyszczania w oczyszczaniu 99,5%, to ostateczna suma dostępności wynosi 97,5%.
<b>BAT</b>	Najlepsza Dostępna Technika, wg art. 3 (10) Dyrektywy 2010/75/UE w sprawie emisji przemysłowych (IED).
<b>BAT-AEL</b>	Poziom emisji powiązany z Najlepszymi Dostępnymi Technikami zgodnie z art.3 (12) dyrektywy 2010/75 / UE w sprawie emisji przemysłowych (IED).
<b>BCTMP</b>	Bielone CTMP.
<b>Biocydy</b>	Substancje i preparaty zawierające jedną lub więcej substancji czynnych przeznaczonych do zniszczenia, zapobiegania lub kontroli bakterii i glonów za pomocą chemicznych lub biologicznych środków aktywnych. Używane do uzdatniania surowej wody i kontroli i zapobiegania rozwojowi bakterii w obiegu wody.
<b>Bio-rozkładalność</b>	Zdolność substancji organicznej do bycia utlenianą biologicznymi bakteriami. Jest mierzona za pomocą testów BZT, zapotrzebowania na tlen.
<b>Biopaliwa</b>	Paliwa odnawialne pochodzące z roślin, np. drewno (włącznie z czarnym ługiem i korą).
<b>Bio-szlam</b>	Osad biologiczny uzyskany z systemów osadów czynnych lub w innych biologicznych oczyszczalniach ścieków.
<b>Czarny ług</b>	Zużyty ług pulpy siarczanowej w związkach nieorganicznych i rozpuszczonych związkach organicznych
<b>Zdolność bielenia</b>	Zdolność wybielenia pulpy jest zazwyczaj oceniana przez określenie ilości wymaganych chemikaliów wybielających lub zużytych do uzyskania pewnej określonej jasności.
<b>Bielenie</b>	Proces rozjaśniania włókien przez usunięcie substancji kolorowej lub odbarwiania jej.

<b>BLG</b>	Gazowanie czarnego ługu.
<b>BZT</b>	Biochemiczne zapotrzebowanie na tlen; ilość rozpuszczonego tlenu wymagana przez drobnoustroje w celu rozłożenia substancji organicznych w ściekach. BZT jest związane z zawartością substancji, które mogą być utleniane biochemicznie. BZT można uznać za łatwo ulegającą degradacji części CZT. Jednostka miary jest mg O <sub>2</sub> / l.
<b>BZT<sub>5lub7</sub></b>	Biologiczne zapotrzebowanie na tlen oceniane za pomocą standardowego 5-dniowego testu lub 7-dniowego testu.
<b>Sucha</b>	Zawartość suchej masy w 100% pulpy, zwana także „przesuszoną” lub „bezwzględnie suchą”.
<b>BREF</b>	Dokument referencyjny BAT w rozumieniu art. 3 (11) Dyrektywy 2010/75 / UE w sprawie emisji przemysłowych (IED).
<b>Odrzut</b>	Papier, który został odrzucony na którymkolwiek etapie procesie produkcji.
<b>Masa celulozowa</b>	Zawiesina masy niebielonej.
<b>Brązowy ług</b>	Wykorzystany ług siarczyn pulpy w organicznych i rozpuszczonych nieorganicznych związkach .
<b>C</b>	Oznacza etap chlorowania wybielającego przy użyciu cząsteczek chloru zdyspergowanego i rozpuszczonego w wodzie. Nie jest już używany w Europie.
<b>Kaustyzacja</b>	Proces w cyklu wapna, w którym wodorotlenek (biały ług) regeneruje się w wyniku reakcji $Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3(s) + 2OH^-$ . Zielony ług.
<b>CCGT</b>	Turbiny Gazowe Łączonego Cyklu.
<b>CEN</b>	Europejski Komitet Normalizacyjny.
<b>CEPI</b>	Konfederacja Europejskiego Przemysłu Papierniczego. Kraje powiązane z <b>CEPI</b> : W 2008 roku 18 krajów europejskich było związanych z CEPI: AT, BE, CH, CZ, DE, ES, FI, FR, HU, IT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SK, UK , Kraje wśród UE-27, które nie są związane z CEPI to: BG, DK, EE, GR, IE, LV, LT, LU, MT, SI, CY. Produkcja w jedenastu pozostałych państwach członkowskich UE jest mniejsza niż 5% całkowitej produkcji, zarówno dla produkcji celulozy jak i papieru.
<b>Zmiana rodzaju wytwarzanego papieru</b>	Jedna lub więcej zmian w składzie produktu na maszynie papierniczej z następujących typowych przyczyn: - gramatura zmienia się o więcej niż 5g; i/lub - zmiany więcej niż jednej mierzalnej cechy charakterystycznej, tj. poziom bieli, wilgotność, poziom porowatości itd., i / lub - zmiany w składzie pulpy (różne rodzaje masy celulozowej lub zawartość twardego/miękkiego drewna) i / lub; - zmiana chemikaliów funkcjonalnego papieru (zmiana funkcjonalności w całości produktu i/ lub na powierzchni) w czasie produkcji.
<b>Elektrociepłownia CHP</b>	Elektrociepłownia kogeneracyjna łącząca ciepło i energię.
<b>Pulpa chemiczna</b>	Materiały włókniste uzyskane przez usunięcie z surowego materiału znacznej części nie-celulozowych składników, które mogą być usunięte przez obróbkę chemiczną (gotowanie, delignifikację, wybielanie).
<b>CNCG</b>	Skoncentrowane nieskrapające się gazy o nieprzyjemnym zapachu, określane także jako silne gazy o nieprzyjemnym zapachu. Są to gazy z gotowania, odparowania i z usuwania kondensatu zawierające TRS.
<b>CZT</b>	Chemiczne zapotrzebowanie na tlen wskazujące ilość chemicznie utlenianej materii organicznej w ściekach (zwykle odnoszące się do analizy z utleniania dwuchromianu).
<b>Wydajności zbioru dla NCG</b>	Termin używany dla pulpy siarczanowej. Efektywność zbioru CNCG może być wyrażona jako emisja CNCG w kg S/ADt generowanych ilości CNCG w kg/ADt. Efektywność zbioru DNCG może być wyrażona jako emisja DNCG w kg/ADt wytworzonej ilości DNCG jak S / ADt. Celulozownie powinny mierzyć/obliczyć/oszacować okresowy przepływ uwolnionego gazu i spisać czas przejścia, przepływ gazu i zbliżone zawartości siarki w uwolnionym śmierdzącym gazie.
<b>Próbka zbiorcza</b>	Próbka zbiorcza odnosi się do próbki wodnej, która jest pobierana w sposób ciągły w danym okresie czasu lub próbki składającej się z wielu próbek pobranych w sposób ciągły lub nieciągły w ciągu danego okresu (trwającego 24 godziny) i mieszanych.
<b>Kondensat</b>	Płyn, na przykład woda, uzyskany się po schłodzeniu gazu lub pary.
<b>Spójność</b>	Procent masy wysuszonego na powietrzu ( lub przesuszonego) włóknistego materiału w produkcji lub stanie zawieszenia. Rozróżniane są: niska konsystencja (3-5%, LC), średnia konsystencja 10-15%, MC) i wysoka konsystencja (30-50%, HC).
<b>Wyżymak</b>	Komora pod sekcją prasową stołu formacji do otrzymywania wykończenia krawędzi i przerwania arkuszy w produkcji papieru.
<b>Oddziaływanie na procesy i środowisko</b>	Ewentualna zmiana presji środowiska z jednego elementu środowiska na drugi. Dzieje się tak na przykład w przypadku, gdy zainstalowany jest filtr w celu zmniejszenia emisji do atmosfery; powietrze jest oczyszczone, ale generowane są gazy.
<b>CSF</b>	Odwadnialność według normy kanadyjskiej – miara szybkości z jaką woda zacznie wypływać z pulpy, im mniejsza liczba, tym wolniej woda odpływa z pulpy.

<b>CTMP</b>	Pulpa chemo-termalno –mechaniczna.
<b>D</b>	Oznacza etap wybielania dwutlenkiem chloru przy użyciu wodnego roztworu dwutlenku chloru (ClO <sub>2</sub> ).
<b>DAF</b>	Oczyszczanie ścieków za pomocą flotatora.
<b>Średnia wartość dzienna, woda</b>	Średnia w 24 godzinny okresie próbkowania, wykonanego jako próbka proporcjonalnego przepływu. Proporcjonalnie czasowo próbkowanie może być używane pod warunkiem, że wykazana została wystarczająca stabilność przepływu.
<b>Średnia wartość dzienna, powietrze</b>	Średnia w ciągu 24 godzin, w oparciu o prawidłowe średnie godzinowe, mierzone pomiarem ciągłym.
<b>DAV</b>	Średnia wartość dzienna.
<b>Delignifikacja</b>	Rozpuszczanie i usuwanie ligniny ze zrębków (gotowanie: początkowe, luzem i resztkowa delignifikacja) lub z włókien (etap tlenowy i wybielania).
<b>Denitryfikacja</b>	Biologiczny proces redukcji azotanów, w wyniku którego może ostatecznie powstać molekularny azot (N <sub>2</sub> ) przez serię pośrednich produktów gazowych tlenków azotu.
<b>Odbarwianie</b>	Proces usuwania farby z zadrukowanego papieru do recyklingu, ale również ogólne usuwanie innych materiałów niepożądanych.
<b>DG</b>	Dyrekcja Generalna (Komisji Europejskiej).
<b>Emisje rozproszone</b>	Emisje wynikające z bezpośredniego (niekanałowego) kontaktu substancji lotnych lub pyłów z otoczeniem w normalnych warunkach. Rozproszone emisje występują w trakcie normalnej pracy w celulozowniach chemicznych i są wydalone jako słabe gazy z wentylacji zbiorników i urządzeń w linii włókien, parowania, gotowania oleju roślinnego i kaustyzacji zakładu (np. rozpuszczanie zapachów). Minimalizacja jest możliwa przez przeniesienie ich do kanałowych emisji (np. poprzez pozбиieranie ich) i dalsza obróbka (spalanie) z NCG.
<b>DIP</b>	Odbarwiona pulpa, pulpa produkowana z drukowanej makulatury, np. gazetowej, poprzez proces odbarwiania.
<b>Pomiary bezpośrednie</b>	Szczegółowe określenie ilościowe emitowanych związków u źródła.
<b>Uwolnienie</b>	Fizyczne wydalenie zanieczyszczenia przez określone wyloty, np. system tunelowy, kanalizacja, kanały ściekowe.
<b>Rozpraszenie</b>	Obróbka mechaniczna włókien makulatury w celu rozproszenia cząsteczek atramentu
<b>DLN</b>	Specjalny rodzaj palnika o niskiej emisji NO <sub>x</sub> ; DLN oznacza technologię „Dry Low NO <sub>x</sub> ”, która jest stosowana głównie w przypadku turbin gazowych. Redukuje ona emisję NO <sub>x</sub> przez wstępne spalanie w wielostrefowych wkładkach do spalania i przez urządzenia sterujące, które kierują paliwo do różnych stref wyłożenia
<b>DNCG</b>	Rozcieńczone, nie skraplające się gazy zapachowe, określane również jako słabe gazy o nieprzyjemnym zapachu. Zawierają TRS i nie są silnymi gazami zapachowymi (np. gazy pochodzące z mycia zbiorników, filtrów, koszów na zrębki, filtrów piasku, suszarek).
<b>Osady</b>	Resztki ługu zielonego.
<b>Suchy koniec</b>	Część procesu produkcji papieru po ukształtowaniu pasów papieru.
<b>DS</b>	Masa sucha, wyrażona jako % wagi.
<b>DTPA</b>	Kwas dietylenotriaminopentaoctowy (środek kompleksujący /chelatuujący stosowany w wybielaniu nadtlakiem).
<b>DTVG</b>	Rozpuszczające gazy zbiornika odpowietrzającego. Gazy o wysokiej zawartości siarki.
<b>Pył</b>	Jeśli wyodrębniony z gazów odlotowych jako „masa stężenia pyłu” zgodnie z odpowiednią metodą standardową (na przykład Metoda grawimetryczna EN13284-1): stałe cząstki o dowolnym kształcie, strukturze i gęstości, rozproszone w fazie gazowej, które pozostają w górze specyficznego filtra i na nim po wysuszeniu w określonych warunkach.
<b>E</b>	Oznacza etap zasadowej ekstrakcji, w zakładzie wybielania z zastosowaniem wodorotlenku sodu (NaOH)
<b>EC</b>	Komisja Europejska.
<b>ECF</b>	Bez udziału chloru cząsteczkowego. Sekwencja wybielaczy zawierających dwutlenek chloru, ale nie gaz chloru cząsteczkowego.
<b>ECF-light</b>	To samo co ECF, ale z niewielkim wykorzystaniem dwutlenku chloru, zazwyczaj poniżej 10 kg ClO <sub>2</sub> / Adt. Należy zauważyć, że określenie „ECF-Light” nie jest dobrze zdefiniowane w środowisku technicznym.
<b>ECO</b>	Ekonomizer. Urządzenie do wstępnego ogrzewania wody zasilającej (woda do cyklu pary wodnej) do kotła poprzez wymianę ciepła z gazami spalinowymi.
<b>EDTA</b>	Etylenowy kwas sorbowy, czynnik kompleksowy/ chelatuujący.
<b>EIPPCB</b>	Europejskie Biuro IPPC. Zintegrowane Zapobieganie Zanieczyszczeniom i ich Kontrola.
<b>Usuwalna</b>	Cecha substancji organicznej, która wykazuje zdolność do bycia usuniętą z np. ścieków poprzez adsorpcję do biomasy; niekoniecznie równa biodegradacji;
<b>EMAS</b>	System Ekozarządzania i Audytu
<b>Emisja</b>	Jest to bezpośrednie lub pośrednie uwolnienie substancji, wibracji, ciepła lub hałasu z

	punktowych lub rozproszonych źródeł w instalacji, do powietrza, wody lub ziemi (z dyrektywy 2010/75/UE).
<b>Poziomy emisji i zużycia związane z zastosowaniem BAT</b>	BAT AEL (powiązane poziomy emisji).
<b>Współczynnik emisji</b>	Obliczony średni poziom emisji danego zanieczyszczenia, dla danego źródła, w stosunku do jednostek aktywności lub produktu, np. kg CZT/ADt.
<b>EMS</b>	System Zarządzania Środowiskowego.
<b>ENISO14001</b>	Norma Europejska (EN) opublikowana przez Międzynarodową Organizację Normalizacyjną (ISO) w sprawie standardów zarządzania środowiskowego.
<b>Technika „końca rury”</b>	Technika, która zmniejsza końcową emisję lub zużycie przez dodatkowy proces, ale nie zmienia to zasadniczego działania głównego procesu. Synonimy: technika wtórna, technika redukcji.
<b>E/O</b>	Ekstrakcyjny etap bielenia z użyciem wodorotlenku sodu, z następującym dodatkiem gazowego tlenu, jako czynnikiem wymuszającym.
<b>EOP</b>	Ekstrakcyjny etap bielenia z użyciem wodorotlenku sodu, z następującym dodaniem roztworu nadtlenu wodoru i tlenu, jako czynnikiem wymuszającym.
<b>E/P</b>	Ekstrakcyjny etap bielenia z użyciem wodorotlenku sodu, z następującym dodaniem roztworu nadtlenu wodoru, jako czynnikiem wymuszającym.
<b>EPA</b>	Agencja Ochrony Środowiska.
<b>ESP</b>	Filtr elektrostatyczny.
<b>ETS</b>	Europejskie Sympozjum Bibuły, Europejskie Stowarzyszenie Producentów Bibuły.
<b>UE</b>	Unia Europejska.
<b>UE-10</b>	Cypr, Czechy, Estonia, Węgry, Łotwa, Litwa, Malta, Polska, Słowacja i Słowenia.
<b>UE-15</b>	Państwa członkowskie Unii Europejskiej przed 1 Maja 2004. Austria, Belgia, Dania, Finlandia, Francja, Niemcy, Grecja, Irlandia, Włochy, Luksemburg, Holandia, Portugalia, Hiszpania, Szwecja i Wielka Brytania.
<b>UE-25, UE-15 + UE-10</b>	Państwa członkowskie Unii Europejskiej od 1 maja 2004 r. do 31 grudnia 2006 r.
<b>UE-27</b>	Państwa członkowskie Unii Europejskiej od 1 stycznia 2007 r.
<b>EUR</b>	Euro, waluta europejska.
<b>Eutrofizacja</b>	Zanieczyszczenia wód przez ścieki, nawozy wymywane z ziemi, a także odpady przemysłowe (azotany i fosforany nieorganiczne). Te związki stymulują wzrost glonów, zmniejszając zawartości tlenu w wodzie, a tym samym zabijając zwierzęta z wysokimi wymaganiami tlenu
<b>Powietrze wylotowe</b>	Przetłaczane powietrze (gazy odlotowe) z instalacji zanieczyszczonej składnikami gazowymi, zazwyczaj o niskich stężeniach
<b>FAS</b>	Dwutlenek tiomocznika; redukcyjny środek wybielający.
<b>FEI</b>	Fiński Instytut Ochrony Środowiska.
<b>FF</b>	Filtr tkaninowy
<b>Wypełniacze</b>	Papiernicze dodatki/pigmenty, glinki zwykle mineralne, kreda, talk lub węglany wapnia.
<b>Materiał drobnziarnisty</b>	Materiał o małych rozmiarach cząstek w maszynach papierniczych zazwyczaj definiowany jako materiał poniżej 75 mikronów.
<b>Flokulant</b>	Substancja, która powoduje agregację lub zbrzylenie zawieszonych cząstek.
<b>Flokulacja</b>	Łączenie się zdestabilizowanych cząsteczek w mikrokłaczkę a następnie w (kłaczkę), które następnie sedymentują.
<b>Gaz spalinowy</b>	Gaz odlotowy, który wypuszcza się do atmosfery za pośrednictwem kanału dymowego, którym jest rura lub kanał do przenoszenia gazów wydechowych z kominka, pieca, kotła lub generatora pary.
<b>Popiół lotny</b>	Nieorganiczne pozostałości spalania wprowadzone do gazów odlotowych z kotła spalania, np. kotła biomasowego.
<b>Częsta zmiana rodzaju papieru</b>	Jedna lub więcej zmian w produkcie w maszynie papierniczej dziennie jako średnia roczna, spełniające jedną lub więcej z następujących cech: (i) zmiany gramatury równe i ponad 5 g/m <sup>2</sup> ; (ii) zmiany w więcej niż jednej mierzalnej cesze produktu, czyli stopień białości, wilgotność, poziom porowatości itp.; (iii) zmiany w składzie pulpy (różne rodzaje pulpy lub twardego/miękkiego drewna); (iv) zmiana funkcjonalnych chemikaliów (zmiana funkcjonalności w całości produktu / lub na powierzchni) w czasie produkcji.
<b>FSC</b>	Rada Dobrej Gospodarki Leśnej
<b>FTOH</b>	Alkohol fluorotelomerowy
<b>Emisje lotne</b>	niezorganizowane emisje lotne mogą wystąpić z przecieków podczas nieregularnych operacji. Dla zminimalizowania tegoż, pierwszą opcją jest profilaktyka przez dobrą konserwację, monitorowanie i kontrola procesu.
<b>Masa papiernicza</b>	Mieszanka różnych materiałów mieszanych w zawieszynie, z których wykonany jest papier lub tektura. Głównymi składnikami są: włóknisty materiał (masa), wypełniacze,

	środki klejące, utwardzacz na mokro lub inne dodatki, barwniki.
<b>Gramatura</b>	Waga w gramach jednego metra kwadratowego papieru lub tektury (g/m <sup>2</sup> ).
<b>Zielony ług</b>	Wodny roztwór siarczku sodowego i węglanu sodowego. Półprodukt w siarczanowym odzysku chemicznym.
<b>Osady zielonego ługu</b>	Osad z sedymentacji klarowania zielonego ługu.
<b>GW</b>	Ścier drzewny.
<b>Najlepsza praktyka</b>	Wyrażenie stosowane do określenia technik, metod, procesów, które są uważane za bardziej skuteczne w dostarczaniu określonych rezultatów niż inne techniki, metody lub procesy.
<b>Drewno twarde</b>	Gatunki drzew, w tym osika, buk, brzoza i eukaliptus. Termin twarde drewno jest stosowany jako przeciwieństwo drewna miękkiego.
<b>Wlew</b>	Tu zaczyna się dodawanie pulpy do maszyny papierniczej.
<b>Hexa</b>	Kwas heksutronowy
<b>Kwas heksutronowy</b>	Nienasycone grupy kwasowe uranu utworzone zgodnie z zasadowymi warunkami gotowania z ksylenów w pulpie.
<b>HC</b>	Wysokie stężenie, pulpa o konsystencji przedziale 30-50% zawartości suchej masy.
<b>HHV</b>	Wyższa wartość opałowa.
<b>HP</b>	Wysokie ciśnienie (pary wodnej).
<b>IED</b>	Dyrektywa 2010/75/UE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 24 listopada 2010 roku w sprawie emisji przemysłowych (zintegrowane zapobieganie zanieczyszczeniom i ich kontrola).
<b>Imisja</b>	Występowanie i poziom zanieczyszczeń, zapachów lub hałasu w środowisku.
<b>IMPEL</b>	Sieć Unii Europejskiej na rzecz wdrażania i przestrzegania prawa ochrony środowiska.
<b>Instalacja stacjonarna</b>	Jednostka techniczna, w której są przeprowadzane jeden lub więcej rodzajów działalności wymienionych w załączniku I do IED, oraz wszystkie inne bezpośrednio związane działania prowadzone na tym samym miejscu, które mają techniczny związek z tymi działaniami i które mogłyby mieć wpływ na emisje i zanieczyszczenie.
<b>Inspekcja</b>	Proces składający się z badań, kontroli, sprawdzenia i walidacji w jednostce przemysłowej, prowadzony przez organy lub przez ekspertów wewnętrznych i zewnętrznych, w celu analizy i oceny procedur, trybu pracy, warunków pracy procesu i związanych z nimi urządzeń, odporności mechanicznej, poziomu wydajności, a także zapisy i wyniki uzyskane przez operatora przemysłowego.
<b>Zintegrowana produkcja/zintegrowana celulozownia</b>	Gdy pulpa i papier są produkowane w tym samym miejscu. Pulpa nie jest suszona przed produkcją papieru. Produkcja papieru i/lub tektury jest połączona bezpośrednio z produkcją pulpy.
<b>IPPC</b>	Zintegrowane zapobieganie zanieczyszczeniom i kontrola
<b>IR</b>	Podczerwień.
<b>ISO</b>	Międzynarodowa Organizacja Standaryzacji.
<b>% ISO</b>	Jednostka jasności pulpy według ISO
<b>ISV</b>	Indeks objętości osadów, objętość w ml zajęta przez 1 gram osadu czynnego po rozliczeniu w określonych warunkach, na określony czas, zwykle 30 minut.
<b>I-TEQ</b>	Międzynarodowe równoważniki toksyczności, używane dla dioksyn i furanów.
<b>JRC</b>	Wspólne centrum badawcze
<b>Liczba Kappa</b>	Mierzy zawartość ligniny resztkowej w niebielonej pulpie, ustalonej po rozcierania i przed wybielania. Im mniejsza jest liczba Kappa, tym mniej jest ligniny. Liczba Kappa jest bezwymiarowa.
<b>Pulpa siarczanowa</b>	Masa siarczanowa wyprodukowana przy użyciu siarczku sodu jako głównego składnika chemicznego gotowania. Zrębki są trawione w ugotowanym ługu zasadowym, wodnym roztworze wodorotlenku sodowego i siarczku sodu (biały ług).
<b>L Aeq</b>	Równoważny ciągły A-ważny poziom ciśnienia akustycznego.
<b>LC</b>	Niskie stężenie konsystencji pulpy w przedziale 3%-5% zawartości suchej masy.
<b>LCP</b>	Duży obiekt energetycznego spalania, patrz LCPBREF i załącznik IV do Dyrektywy IED.
<b>LCA</b>	Ocena cyklu życia.
<b>LCV</b>	Dolna wartość opałowa.
<b>Lignina</b>	Substancja drewniana, polimer aromatyczny w ścianie komórkowej rośliny. Substancja wiążąca naturalnych włókien. Lignina rozpuszcza się razem z węglowodanami w procesie roztwarzania.
<b>Wapiennik</b>	Jednostka w cyklu odzyskiwania siarczanowego. W tym wapienniku, piasek jest spalany do wapna: $\text{CaCO}_3(\text{s}) + \text{ciepło} \rightarrow \text{CaO}(\text{s}) + \text{CO}$ .
<b>Szlam wapienny</b>	Składa się przede wszystkim z węglanu wapnia wytworzonego w procesie kaustyzacji w produkcji białego ługu.
<b>LP</b>	Niskie ciśnienie (pary wodnej).
<b>LVHC</b>	Niski wolumen, wysokie stężenie gazów nieskraplających.
<b>LWC</b>	Lekki papier powlekany.

<b>Magnefit</b>	Proces roztwarzania siarczynowego oparty na magnezie.
<b>Dodatkowe związki chemiczne</b>	Zamienne chemikalia nabyte w celu pokrycia strat chemicznych różnego rodzaju.
<b>Pulpa rynkowa</b>	Pulpa produkowana i suszona w jednej celulozowni na sprzedaż do producentów papieru w innych miejscach.
<b>MBR</b>	Bioreaktor membranowy.
<b>MBBR</b>	Reaktor biologiczny ze złożem ruchomym
<b>MC</b>	Średnie stężenie konsystencji pulpy w przedziale 8-15% zawartości suchej masy.
<b>Środek</b>	Technika lub kombinacja technik.
<b>Zmierzona wartość</b>	Wynik pomiaru.
<b>Pomiar</b>	Zestaw operacji dla określenia wartości danej wielkości.
<b>Układ pomiarowy</b>	Kompletny zestaw instrumentów pomiarowych i innego sprzętu, w tym wszystkich procedur operacyjnych wykorzystywanych do przeprowadzania określonych pomiarów.
<b>Pulpa mechaniczna</b>	Pulpa papiernicza wykonana w całości za pomocą środków mechanicznych z różnych surowców, tj. przez szlifowanie drewna powierzchnią ścierną (ścier drzewny) lub przetwarzanie zrębków i trocin poprzez rafiner (mechaniczna rafineria pulpy). Pulpa mechaniczna zawiera znaczne ilości związków nie celulozowych.
<b>Żywica MF</b>	Żywica melaminowo-formaldehidowa.
<b>MLSS</b>	Mieszane zawiesiny ługów.
<b>Kompensacja wilgoci dla biomasy</b>	Zakresy ogólnej wydajności elektrociepłowni są obliczane przy zastosowaniu dolnej wartości opałowej dla paliw z biomasy z kompensacją wilgoci według $LCV_{af} = LCV_{dry} \times (1 - M_w) - l_{25} \times M_w$ [168 M.Huhtinenetal.2000 ], gdzie: $LCV_{af}$ dolna wartość opałowa dla spalonego paliwa $LCV_{dry}$ dolna wartość opałowa dla suchego paliwa $M_w$ masa wody w paliwie (kg H <sub>2</sub> O / kg paliwa) $l_{25}$ ciepło parowania wody w temperaturze 25 ° C.
<b>Państwo członkowskie</b>	Państwo członkowskie Unii Europejskiej.
<b>Celulozownia wieloprodukcyjna</b>	Zakład produkcyjny, gdzie produkowana jest pulpa, papier i produkty na bazie drewna z szerokiej gamy (towary cięte, pulpy chemiczne, pulpy mechaniczne lub pulpy z przetwórstwa papieru do recyklingu, różne rodzaje papierów i tektury i produkty uboczne pochodzące z drewna). Celulozownia może być zakładem wielu produktów (produkcja różnego rodzaju pulp), ale nie zintegrowanym zakładem (np. bez produkcji celulozy i papieru).
<b>MWC</b>	Papier powlekany średniej wagi.
<b>NCG</b>	Nieskrapający gaz zapachowy odnoszący się do cuchnących gazów pulpy siarczanowej
<b>Zawartość N w czarnym ługu</b>	Zawartość azotu w czarnym ługu. Zawartość N jest określana przez jedną z następujących metod: (zmodyfikowana) KCL-SFS 5507, zmodyfikowana metoda Kjeldahla, metoda KCL, metoda Buchi-O, DINISO11261, metoda SP0528 (analiza elementarna przeprowadzona przez Institut Sveriges Tekniska Forsknings, SE), SCN termo-przewodzące komórki, itp. Brak zharmonizowanej metody.
<b>Produkcja niezintegrowana / celulozownia niezintegrowana</b>	„Produkcja niezintegrowana” oznacza: (a) produkcję rynkowej pulpy (na sprzedaż) w zakładach, w których nie działają maszyny papiernicze, lub (b) produkcję papieru/tektury przy użyciu tylko pulpy produkowanej w innych zakładach (pulpa rynkowa).
<b>Neutralizacja</b>	Podwyższenie pH roztworów kwasowych lub obniżenie pH roztworów zasadowych do obojętnego pH (pH 7).
<b>Nitryfikacja</b>	Proces biologiczny ułatwiony przez bakterie, w którym amoniak jest przekształcany najpierw do azotynu, a następnie do azotanu.
<b>Nm<sup>3</sup></b>	Normalny suchy gaz w warunkach standardowych (273,15 Kand 1013 hPa, po odliczeniu zawartości pary wodnej w gazach odlotowych).
<b>NPE</b>	Elementy nieprocesowe, które mogą gromadzić się podczas zamykania w obiegu wody w celulozowniach, takie jak Al, Si, Ca, Mg, Mn.
<b>NSSC</b>	Neutralna siarczynowa półchemiczna pulpa jest najbardziej popularnym rodzajem pulpy półchemicznej, która jest produkowana przez kombinację chemicznego i mechanicznego rozcierania. W tym procesie, zrębki drewniane trawi się częściowo w celu osłabienia wiązań pomiędzy włóknami i ligniną. Zrębki są następnie poddawane obróbce mechanicznej w rafinerze.
<b>O</b>	Oznacza etap delignifikacji/bielenia z udziałem gazowego tlenu (O <sub>2</sub> ).
<b>OTNOC</b>	Warunki operacyjne inne niż zwyczajnie
<b>Utleniony biały ług</b>	Produkowany, gdy siarczek białego ługu utlenia się do tiosiarczanu, zwykle przez powietrze.
<b>P</b>	Oznacza etap zasadowy wybielania nadtlaniem wodoru (H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) w postaci cieczy
<b>Paa</b>	Oznacza etap bielenia kwasem nadoctowym (CH <sub>3</sub> COOOH). Używany w wybielaniu TCF.



<b>Papier</b>	Arkusz z włókien z pewną liczbą dodanych substancji chemicznych. Według gramatury, można wyróżnić: papier <150g / m <sup>2</sup> <tektura <250 g / m <sup>2</sup> <karton.
<b>PCDD / F</b>	Polichlorowane dibenzo-para-dioksyny/furany
<b>PEFC</b>	Program Zrównoważonego Zarządzania Zasobami Leśnymi.
<b>PFC</b>	Perfluorowane i polifluorowane chemikalia.
<b>PFOA</b>	Kwas perfluorooctowy
<b>PFOS</b>	Kwas perfluorooctanosulfonowy / perfluorooctanosulfonianowy.
<b>PGW</b>	ścier drzewny poddany ciśnieniu (rozcieranie).
<b>Analiza Linnhoffa</b>	Metoda analizy i optymalizacji zużycia energii w procesach i zakładach. Metoda zintegrowana ze sposobem, odpowiednia, aby określić, gdzie i jak dużo energii ma być stosowane w termodynamicznie zoptymalizowanym systemie. Dane procesowe są reprezentowane jako składniki przepływu energii, lub strumieni, jako funkcja zależności obciążenia cieplnego od temperatury. Dane te ukazane są jako krzywe złożone, po jednej dla wszystkich strumieni gorąca (uwalniających ciepło) i jeden dla wszystkich strumieni zimna (wymagających ciepła).
<b>Parametr</b>	Mierzalne wielkości reprezentujące główne cechy grupy statystycznej.
<b>Cząstki stałe</b>	Pył. Cały materiał, który jest stały w punkcie pomiaru całkowitej ilości cząstek stałych, odnosi się do wszystkich nieorganicznych i organicznych, stałych i ciekłych materiałów (kropelki i aerozole), które mogą występować w gazach odlotowych.
<b>Smola</b>	Materiał żywiczny w pierwotnej pulpie.
<b>PM<sub>2.5</sub></b>	Cząstki stałe, który przechodzą przez wlot sortujący z wydajnością 50% dla średnicy aerodynamicznej 2,5µm.
<b>PM<sub>10</sub></b>	Cząstki stałe, który przechodzą przez wlot sortujący z wydajnością 50% dla średnicy aerodynamicznej 10 µm.
<b>Zanieczyszczenia</b>	Pojedyncza substancja lub grupy substancji, które mogą uszkodzić lub wpłynąć na środowisko.
<b>Moc</b>	Pojęcie mocy odnosi się do energii elektrycznej.
<b>Dyfuzor ciśnienia</b>	Urządzenia do mycia pulpy, w którym pulpa jest myta przez wypieranie pod ciśnieniem.
<b>Moce produkcyjne</b>	Waga produktów (suszonych na powietrzu) jakie instalacja może wyprodukować w ciągu określonego czasu (dzień, miesiąc, rok).
<b>Rozcieranie</b>	Proces przekształcania włókna surowego (np. drewno) lub włókna z recyklingu na pulpę używaną w wytwarzaniu papieru.
<b>Q</b>	Oznacza kwasowy etap wybielania gdzie środek chelatujący, EDTA lub DTPA, jest używany do usuwania metali, przede wszystkim w bieleniu nadtlakiem wodoru.
<b>Jakość danych</b>	Dane dostarczone w ramach wymiany informacji o BAT można podzielić na kategorie w zależności od jakości danych: • D: zmierzone dane na podstawie analizy statystycznej • E: ocena eksperta na podstawie kilku wyników pomiarów • M: modelowane dane (np. wyniki przetwarzania przepływu N) • A: ocena eksperta w oparciu o konkluzje na podstawie analogii.
<b>RCF</b>	Włókna z recyklingu; pulpa uzyskana z przetwarzania papieru do recyklingu
<b>Odzysk</b>	Określony w dyrektywie ramowej w sprawie odpadów WE jako każda operacja w której głównym wynikiem jest to, aby odpady służyły użyteczności poprzez zastąpienie innych materiałów, które w przeciwnym wypadku zostałyby użyte do spełnienia danej funkcji, lub odpady przygotowywane do spełnienia takiej funkcji w danym zakładzie lub w szerszej gospodarce.
<b>Kocioł odzysknicowy</b>	Parowy kocioł i reaktor chemiczny w systemie odzyskiwania siarczynu i siarczanu; spala czarny i brązowy ług w wysokiej temperaturze i generuje parę i energię.
<b>Recykling</b>	Określony w dyrektywie ramowej w sprawie odpadów WE jako każdy proces odzysku, w którym odpady są ponownie przetwarzane w produkty, materiały lub substancje, wykorzystywane w pierwotnym celu lub innych celach.
<b>Odzyskana pulpa włóknista</b>	Włóknisty materiał, który już przeszedł przez produkcję papieru i/lub tektury.
<b>Ponowne użycie</b>	Określone w dyrektywie ramowej w sprawie odpadów WE jako każda operacja w ramach której produkty lub składniki, które nie są odpadami są wykorzystywane ponownie do tego samego celu, dla którego zostały stworzone.
<b>Warunki referencyjne</b>	Warunki, które zostały określone, np. w związku z prowadzenia procesu, przy pobieraniu próbek i określając poziom emisji.
<b>Rafinacja</b>	Proces mechanicznej obróbki włókien w celu rozwijania wytrzymałości.
<b>Skuteczność usuwania</b>	Wyraża jak skutecznie działa proces uzdatniania. Zazwyczaj jest ona wyrażona jako procent usunięcia w stosunku do wstępnego obciążenia emisji.
<b>RMP</b>	Masa mechaniczna rafinerowa.
<b>Woda opadowa</b>	Część wody z roztopionego śniegu i opadów, która nie wnika w podłoże, ale spływa po powierzchni.
<b>Wanienka ściekowa</b>	Urządzenia wykorzystywane do regeneracji włókien i wypełniaczy z białej wody.

	Zazwyczaj działają na zasadzie filtracji, sedymentacji, flokulacji lub flotacji.
<b>SC</b>	Papier mocno kalandrowany.
<b>Zgorzeliny</b>	Depozyty nieorganiczne w urządzeniach procesowych (mogą czasami zawierać także związki organiczne).
<b>Aparat absorpcyjny</b>	Sprzęt do oczyszczania gazu za pomocą cieczy.
<b>SEPA</b>	Szwedzka Agencja Ochrony Środowiska.
<b>SEC</b>	Zużycie energii właściwej.
<b>SGW</b>	Klasyczny ścier drzewny (pulpa).
<b>Łuski</b>	Wiązki włókien, nierozwłóknione w gotowaniu.
<b>Wskaźnik wielkości osadów (SVI)</b>	Objętość w mililitrach zajmowana przez 1 g zawiesiny po 30 minut osiadania. SVI jest zazwyczaj używany do monitorowania charakterystyk osiadania osadu czynnego i innych zawiesin biologicznych.
<b>SNCR</b>	Selektywna redukcja niekatalityczna.
<b>Mydło</b>	Produkt reakcji pomiędzy ługami w ługach siarczanowych i kwasami tłuszczowymi części drewna, które wytrącają się, gdy woda odparowuje z zużytej cieczy z pulpy.
<b>Drewno miękkie</b>	Drewno z drzew iglastych, w tym sosny i świerka. Termin miękkiego drewna jest używany jako przeciwieństwo twardego drewna.
<b>Specjalistyczne zakłady papiernicze</b>	Zakłady produkujące wiele rodzajów papieru i tektury dla celów specjalnych (przemysłowych i/lub nieprzemysłowych), które cechują szczególne właściwości, stosunkowo małe zastosowanie rynkowe lub niszowe zastosowanie końcowe, które są często specjalnie zaprojektowane dla określonej grupy klientów lub użytkowników końcowych, przykłady tej szeroko zakrojonej kategorii papierów specjalistycznych obejmują między innymi bibułki papierosowe, bibuły, metalizowany papier, papier termiczny, papier samokopiujący, etykiety, papier powlekany, jak również kartony gipsowe i papiery do woskowania, izolacyjne, pokrycia dachowe, asfaltowe i inne określone aplikacje lub zastosowania. Wszystkie te gatunki nie są ujęte w standardowych kategoriach papieru.
<b>Zużycie wody</b>	Ilość wody używanej podczas produkcji (wód powierzchniowych, wód gruntowych), która jest pobierana z zasobów zewnętrznych. Popyt słodkiej wody jest związany z produkcją netto wysuszoną na powietrzu i jest wyrażona w m <sup>3</sup> /ADt. Słodka woda, które są wykorzystywane wyłącznie do celów chłodzenia (np. woda, że nie mająca kontaktu z włóknami i dodatkami), a która jest bezpośrednio odprowadzana do ścieków nie jest wliczona. Ponadto, ścieki wytwarzane w elektrowniach parowych i na miejscu nie są wliczone.
<b>SS</b>	Zawieszone cząstki stałe.
<b>SSL</b>	Zużyty roztwór siarczynu. Ciecz, która pozostaje po procesie roztwarzania siarczynowego, w którym drewno jest przetwarzane do celulozy z wodorosiarczanem pod wpływem ciepła i ciśnienia.
<b>Substancje lepkie</b>	Materiały sklejające się ze sobą; klejowe zanieczyszczenia w papierze do recyklingu.
<b>Stock</b>	W papiernictwie: mieszanie zawiesiny przesiewanej masy papierniczej i dodanie wypełniaczy i dodatków chemicznych stosowanych do wytwarzania papieru.
<b>Stripper</b>	Kolumna destylacyjna do oczyszczania kondensatu.
<b>Sulfidacja</b>	Sulfidacja (%) = $(2 [\text{HS}^-] / [\text{OH}^-] + \text{HS}^-]) \times 100$ stosunek jonów siarkowodoru i suma wodorotlenku i jonów siarczkowych wodoru w białej wodzie. Stosunek ten wyraża jako mol/mol.
<b>Pulpa siarczynowa</b>	Chemiczna masa celulozowa, gdzie różne siarczyny lub wodorosiarczyny stosuje się jako główną substancję do gotowania.
<b>Przegrzewacz</b>	Rury parowe w górnej części kotła, w których temperatura wytworzonej pary wodnej jest wyższa niż temperatura pary nasyconej.
<b>SUSD</b>	Uruchamianie, wyłączenie.
<b>Smolej</b>	Płynny produkt składający się z wyciągów z czarnego ługu.
<b>TCF</b>	Całkowicie wolne od związków chloru. Wybielanie pulpy bez użycia środków chemicznych ze związkami chloru.
<b>Techniki (z IED)</b>	Obejmują zarówno stosowaną technologię, jak i sposób, w jaki dana instalacja jest projektowana, wykonywana, konserwowana, eksploatowana i wycofywana z eksploatacji.
<b>Pulpa termo-mechaniczna</b>	Pulpa papiernicza wykonana w całości za pomocą środków mechanicznych z różnych surowców, ale najczęściej z drewna. W procesie roztwarzania cieplnego surowiec poddaje się wstępnej obróbce cieplnej. Pulpa termomechaniczna zawiera znaczne ilości związków niecelulozowych.
<b>TMP</b>	Pulpa termo-mechaniczna.
<b>Azot całkowity (tot-N)</b>	Azot całkowity (tot-N) podany jako N obejmuje azot organiczny, wolny amoniak i amon ( $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ ), azotyny ( $\text{NO}_2^- \text{-N}$ ) i azotany ( $\text{NO}_3^- \text{-N}$ ).
<b>Fosfor całkowity (tot-P)</b>	Fosfor całkowity (tot-P) podany jako P zawiera rozpuszczony fosfor plus nierozpuszczalne fosforan przeniesione do ścieku w postaci osadów lub w drobnoustrojach.

<b>TOC</b>	Całkowity węgiel organiczny; Alternatywny pomiar dla CZT. Metoda analityczna stosowana w celu określenia zawartości substancji organicznych w próbkach ścieków.
<b>Efektywność uzdatniania dla NCG</b>	Patrz: dostępność.
<b>TRS</b>	Całkowite zmniejszenie zawartości siarki w gazach spalinowych. Suma kolejnych obniżonych cuchnących związków siarkowych wytwarzanych w procesie roztwarzania: siarczku wodoru, metylu, siarczku dimetylu i dwusiarczku dimetylu, wyrażone jako siarka.
<b>TSS</b>	Zawiesiny stałe ogółem (w ściekach). Zawiesina składa się z małych fragmentów włókien, wypełniaczy, materiałów drobnoziarnistych, nieosiadłej biomasy (aglomeracji mikroorganizmów) i innych małych cząstek.
<b>Terpentyna</b>	Mieszanina terpenów, głównie pinenów, otrzymanych przez destylację z parą wodną gumy żywicznej odzyskanej z kondensacji fermentacyjnych nadmiarowych gazów w procesie gotowania twardego drewna przez proces roztwarzania siarczanowego.
<b>TWG</b>	Techniczna grup robocza.
<b>UASB</b>	Reaktor/proces przepływu beztlenowego osadu.
<b>UBA</b>	<i>Umwelt Bundes Amt</i> - Federalna Agencja Ochrony Środowiska, np. w Niemczech lub Austrii.
<b>Lepkość pulpy</b>	Służy do oceny stopnia degradacji celulozy w trakcie gotowania i bielenia. Wyrażona jako ml/g.
<b>VOC</b>	Lotne związki organiczne.
<b>Vol%</b>	Procent objętości.
<b>Mokra część</b>	Końcowa część procesu wytwarzania papieru przed utworzeniem pasów papieru.
<b>Biały ług</b>	Ług gotujący zasady, wodny roztwór NaOH i Na <sub>2</sub> S, dla siarczanowego rozcierania.
<b>Biała woda</b>	Ogólne określenie dla wszystkich wód procesu wytwarzania papieru, które zostały oddzielone od produktu i zawiesiny pupy, albo w maszynie papierniczej albo na wyposażeniu dodatkowym, takim jak zagęszczacze, podkładki, waniarki ściekowe i szlifierki miazgi. Niesie ze sobą pewną ilość włókien i może zawierać różne ilości wypełniaczy i barwników.
<b>Papier i/lub tektura zawierająca drewno</b>	Papier i tektura zawierające znaczne ilości związków celulozowych (więcej niż 5%), jako główny składnik składu włókna.
<b>Papier i/lub tektura niezawierająca drewna</b>	Papier i tektura zawierające w składzie włókien w zasadzie tylko pulpę chemiczną; W praktyce jednak może ona zawierać małą ilość innych włókien i pulpy (mniej niż 5% związków innych niż celulozowe).
<b>WID</b>	Dyrektywa 2000/76/WE Parlamentu Europejskiego z dnia 4 grudnia 2000 roku w sprawie spalania odpadów.
<b>WWTP</b>	Oczyszczalnia ścieków.
<b>Cylinder Yankee</b>	Duży pojedynczy cylinder używany głównie do suszenia bibuł /ręczników.
<b>Średnia roczna wartość, woda</b>	(obciążenie) Średnia (ważona zgodnie z codzienną wartością produkcji) od średnich dobowych pobranych z częstotliwością ustaloną dla odpowiednich parametrów w ciągu roku, wyrażona jako masa emitowanych substancji na jednostkę masy produktów / materiały generowane lub przetworzone.
<b>Średnia roczna wartość, powietrze</b>	Średnia przez okres jednego roku na podstawie ważnych średnich jednogodzinnych zmierzonych za pomocą pomiaru ciągłego.
<b>Wydajność</b>	Ilość użytecznych włókien po roztwarzaniu i/lub rozjaśnianiu lub odbarwianiu, wyrażona jako procent użytecznych włókien w stosunku do wsadu surowca.
<b>Z</b>	Oznacza etap wybielenia za pomocą gazowego ozonu (O <sub>3</sub> ).

## Pulpa i definicje klasy papieru według CEPI

### 1. Definicje papieru

#### 1.1 Papier graficzny

**Papier gazetowy, dziennikarski:** Papier używany przede wszystkim do drukowania gazet. Jest wykonany głównie ze ścieru drzewnego i/ lub papieru z recyklingu, z dodatkiem lub bez niewielkiej ilości wypełniacza. Waży zwykle w zakresie od 40g/m<sup>2</sup> do 52 g/m<sup>2</sup>, lecz może być tak duży jak 65 g/m<sup>2</sup>. Papier gazetowy jest wykańczany maszynowo lub lekko kalandrowany, biały lub lekko zabarwiony i jest stosowany w szpulach do prasy drukarskiej, offsecie lub flexo-druku. Zharmonizowany kod CEPI dla papieru gazetowego wynosi 100000000.

**Niepowlekany mechaniczny:** papier nadający się do drukowania lub innych celów graficznych, w którym mniej niż 90% masy włókien składających się z włókien pulpy chemicznej. Gatunek ten znany jest również jako ścier drzewny lub papier zawierających drewno, lub papier magazynowy, taki jak mocno wypełniony, kalandrowanego papier do konsumenckich czasopism drukowanych metodą wklęsłodruku i offsetu. Zharmonizowany kod CEPI dla niepowlekanego papieru mechanicznego to 211000000.

**Niepowlekany bezdrzewny:** papier nadający się do drukowania lub innych celów graficznych, w których co najmniej 90% masy włókien składających się z włókien pulpy chemicznych. Typy papieru bezdrzewnego mogą być wykonane z różnych wsadów ze zmienną zawartością napelniacza mineralnego i o różnych zakresach procesów wykończeniowych, takich jak rozkrawanie, kalandrowanie, wygładzanie i nadawanie znaków wodnych. Ta klasa obejmuje większość papierów biurowych, takich jak formularze, papiery do kopiarek, komputerów, materiały piśmienne i papier książkowy. Pozycja ta obejmuje barwione i przycięte papiery „powlekane” (pokrycie mniejsze niż 5 g na stronę) są objęte tą pozycją. Zharmonizowany kod CEPI dla niepowlekanego papiery bezdrzewnego to 231 000000.

**Papiery powlekane:** każdy papier nadający się do drukowania lub innych celów graficznych oraz powleczony jednostronnie lub obustronnie minerałami takimi jak kaolin (glinka), węgiel wapnia, itd. Powłoka może nałożona być za pomocą różnych metod, zarówno na maszynowych jak i niemaszynowych i może być uzupełniona o super-kalandrowanie. Papier powlekany mechaniczne jest wykonany z włókna wytwarzanego głównie (90%) za pomocą mechanicznego procesu roztwarzania i są znane również jako powlekany ścier drzewny. Powlekane bez-drzewne papiery są wykonane z włókna wytwarzane głównie (90%) na drodze procesu chemicznego roztwarzania i są znane również jako powlekane wolne arkusze. Zharmonizowany kod CEPI dla papieru powlekanego mechanicznego to 212000000, a dla powlekanego bezdrzewnego 23 000000.

#### 1.2 Sanitarne i gospodarcze

Obejmuje szeroki zakres bibuł i i innych papierów higienicznych do użytku w gospodarstwach domowych lub obiektach handlowych i przemysłowych. Przykładami są: papier toaletowy i bibułki do twarzy, ręczniki kuchenne, chusteczki przemysłowe, ręczniki do rąk. Niektóre bibułki są również używane do produkcji pieluszek dziecięcych, podpasek itp. Produkty szpulowe wykonane są z nieprzetworzonej pulpy lub odzyskanych włókien lub ich mieszaniny. Poinformowano w statystykach produkcyjnych o wadze szpuli przed konwersją do produktów gotowych. Statystyki importu i eksportu jednak biorą pod uwagę handel zarówno wyrobów na szpulach i wyrobów gotowych. Zharmonizowany kod CEPI dla papierów sanitarno-gospodarczych to 700000000.

#### 1.3 Opakowania

Materiały do pudełek: papiery i tektury wykorzystywane głównie w produkcji tektury falistej. Są one wykonane z dowolnej kombinacji nieprzetworzonych i odzyskanych włókien i mogą być bielone, niebielone lub nakrapiane. *Fluting* jest to warstwa środkowa bez warstw zwanych wkładkami. Wliczone są *kraft liner*, *liner Test*, pół-chemiczny *fluting* i *fluting* oparty na recyklingu papieru (Wellenstoff). Główne zastosowania to kartony z tektury falistej, opakowań transportowe,

przechowywanie i ekspozycja produktów. Znane również jako papiery surowcowe, produkty opakowaniowe z materiałów falistych, kartony, tektury obłożeniowe lub warstwy pofalowane. Zharmonizowany kod CEPI dla materiałów do pudełek to 3000000000.

**Karton:** może być jedno- lub wielowarstwowy, powlekany lub niepowlekany. Wykonany jest z włókien pierwotnych i /lub odzyskanych, i ma dobre właściwości zginania, sztywności i możliwość cięcia. Stosowany jest głównie w opakowaniach produktów konsumenckich, takich jak mrożonki, kosmetyki i dla pojemniki z płynem. Znany również jako tektura lita, składany karton, karton opakowaniowy lub płyta nośna. Zharmonizowany kod CEPI dla tego typu materiałów to 400 0000000.

**Opakowania (do 125g/m<sup>2</sup>):** papiery, których głównym zastosowaniem jest owijanie lub opakowanie, wykonane z dowolnej kombinacji włókien nieprzetworzonych, odzyskanych, lub bielonych lub niebielonych. Mogą one podlegać różnym wykończeniom i/lub procesów znakowania. Wliczone są tu: papier workowy, inne papiery do owijania, papier siarczynowy i papiery tłuszczo-odporne. Zharmonizowany kod CEPI dla opakowań to 500 0000000.

**Inne papiery, głównie do pakowania:** kategoria ta obejmuje wszystkie papiery i tektury, głównie do pakowania, inne niż wymienione powyżej. Większość z nich wytwarza się z odzyskanych włókien, np. szara tektura i przechodzą konwersję, która w niektórych przypadkach może być dla końcowych zastosowań innych niż opakowania w tym okładki książek i gier. Znane również jako szare płyty lub *unlined chip*. Zharmonizowany kod CEPI dla opakowań to 600 0000000

#### 1.4 Specjalne (inne)

**Pozostały papier i karton do celów przemysłowych i specjalnych:** Ta kategoria szeroka obejmuje bibułki do papierosów, papiery filtrowe, termo-papier, samo-kopiujący papier, etykiety jak również płyty gipsowe i specjalne papiery do woskowania, izolacyjne, pokrycia dachowe, asfaltowanie i dla innych specyficznych aplikacji lub działań. Zharmonizowany kod CEPI dla opakowań to 800 0000000

## 2. Definicje pulp

Rodzaje pulp są klasyfikowane zgodnie z ich procesem produkcyjnym. Główne gatunki to:

### 2.1 Pulp mechaniczne

Kamienny ścier drzewny: pulpa produkowana przez szlifowanie drewna do stosunkowo krótkich włókien. Miazga ta jest stosowana głównie w papierze gazetowym i w papierze zawierającym drewno, jak LWC (powlekany lekki) i papiery SC. Zharmonizowany kod CEPI to 923000000.

Termo-mechaniczna pulpa (TMP): pulpa wytwarzana w procesie cieplnym, gdzie cząstki drewna zmiękczone są przez parę przed wejściem do rafinatora pod ciśnieniem. TMP ma przede wszystkim takie wykorzystanie jak kamienny ścier drzewny. Warianty dwóch powyższych procesów produkują ścier drzewny i rafinowaną mechaniczną pulpę. Zharmonizowany kod CEPI to 923.400.000.

### 2.2 Pulpy pół-chemiczne

Pół-chemiczne pulpy wytwarza się w dwuetapowym procesie, który obejmuje częściowe trawienie za pomocą środków chemicznych, a następnie obróbkę mechaniczną w rafinerze tarczowym. Pulpa ta jest stosowana głównie w produkcji środka *fluting* dla tektury falistej. Zharmonizowany kod CEPI to 921000000

Chemi- termo-mechaniczne pulpy (CTMP): pulpy wytwarzane w sposób podobny jak TMP, ale cząstki drewna są chemicznie oczyszczane przed wejściem do maszyny. Pulpa ma właściwości dostosowane do produkcji bibulek. Niekiedy CTMP jest stosowana w papierze drukarskim i do pisania. CTMP sklasyfikowane są jest pulpy pół-chemiczne w Zharmonizowanym Systemie Współpracy Celnej. W FAO, jak również w innych statystykach branżowych, takie pulpy chemiczno-termo-mechaniczne są identyfikowane z pulpą mechaniczną.

### 2.3 Pulpy chemiczne

**Siarczyn:** pulpy produkowane przez gotowanie zrębków w zbiorniku ciśnieniowym w obecności ługu wodorosiarczynu. Wykorzystuje się je do papierów drukarskich i do pisanie i bibulek, papierów higienicznych, tekstyliów i różnych substancji chemicznych (pochodne celulozy).

**Siarczan (lub kraft)** pulpa wytwarzana podczas gotowania zrębków w zbiornikach ciśnieniowych, w obecności ługu wodorotlenku sodu (sody). Pulpa może być niebielona lub bielona. Zastosowania są powszechne, bieloną pulpę można szczególnie wykorzystać do prac graficznych, bibuły i płyt kartonowych. Pulpa niebielona jest powszechnie stosowana w wkładkach dla tektury falistej, opakowaniach, papierowych workach i torbach, kopertach i innych niebielonych papierach specjalnych. Zharmonizowany kod CEPI to 922100000.

### 2.4 Inne pulpy

Pulpy wytwarzane z włókien innych niż drewno, takich jak wyłoki z trzciny cukrowej, słoma, kenaf, resztki bawełny i konopi.

### 2.5 Pulpa odbarwiona

Pulpa z papieru z recyklingu, z których farby i inne zanieczyszczenia zostały usunięte.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Fiński Raport BAT, *The Finnish Background Report for the EC Documentation of Best Available Techniques for Pulp and Paper Industry*, Ministerstwo Środowiska w Finlandii, 1997.
- [2] CEPI, *Annual Statistics 2008 .European Pulp and Paper Industry*, [Roczniki Statystyczne CEPI] CEPI, 2009.
- [3] CEPI, *Harmonised List for Paper and Board Grades*, 2007.
- [4] CEPI, *Sustainability Report 2009*, CEPI, 2009, str. 60.
- [5] Bentley et al. Mill report: McKinley Paper goes from zero to success in less than four years', *TAPPI Journal*, t. 82, nr 1, 1999-03-25, 1999.
- [6] BMU Austria, *Sector Waste Management Concept for Paper and Pulp Industry. Prevention-Utilisation-Disposal*, Ministerstwo Środowiska, Wiedeń, Austria, 1995.
- [7] Italian TWG, *BAT and economy of scale in the paper sector*, 2007, str. 12.
- [8] Borschke i in., 'Papermaking in view of an optimized waste and water management', *Das Papier*, t. 21. Jahrg., Numer. 6A, 1997, str. V 146-153, 1997.
- [9] Dyrektywa 2004/8/WE, „Dyrektywa 2004/8/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 11 lutego 2004 w sprawie wspierania kogeneracji w oparciu o zapotrzebowanie na ciepło użytkowe na rynku wewnętrznym energii i zmieniająca Dyrektywę 92/42/EWG”, t.L.52, Numer 50, 21.02.2004, 2004.
- [10] Hiszpańskie Ministerstwo Środowiska, *Variability analysis of Recovery Boiler and Limekiln Pulp and Paper .Industry air emissions over different averaging periods*, 2012.
- [11] Braunspergere i in., 'Slime Control without Chemicals', *Wochenbl.f. Papierfabrikat.*, t. 124(1996), Numer. 5, 1996, str. 192-194.
- [12] Dyrektywa 2010/75/UE, 'Dyrektywa 2010/75/UE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 24 listopada 2010 w sprawie emisji przemysłowych (zintegrowane zapobieganie zanieczyszczeniom i ich kontrola)', *Oficjalny Dziennik Unii Europejskiej*, t. L334, 17.12.2010, 2010, str. 17-119.
- [13] Landälv i in., 'A status report on the Chemrenewable motor fuels and demonstration plant projects', *Konferencja PulPaper 2010*, 2010, Helsinki, Finlandia.
- [14] CEPI, *BAT in the Manufacturing of Pulp*, CEPI, 1997.
- [15] CEPI, *BAT for Paper Manufacturing*, CEPI, 1998.
- [16] CEPI, *BAT in the Manufacturing of Pulp. Complementary Information on BAT Candidates*, CEPI, 1998.
- [17] Nurmesniemi, *Tertiary treatment of biologically treated wastewater from the pulp and papermill-internal report assessing findings of the WWF report on the Celco-pulp mill in Valdivia, Chile*, Sora Enso Oyj, Environmental affairs, 2010, str. 2.
- [18] RAIZ, *Partial closure of bleach plant*, RAIZ–Instituto de Investigaçãoda Florestaedo Papel, 2011.

- [19] G.Sousa, 'Extended modified cooking (batch or continuous) to a low Kappa', Korespondencja prywatna, 2011.
- [20] Pikka, 'Advances in eucalyptus pulp bleaching technology', *3 Sympozjum nt. Siarczynowej pulpy eukaliptusowej*, 2007, Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazylia.
- [21]Diedrich i in., 'In-line biological process water treatment in a zero effluent discharge paper mill', *Das Papier*, t. 51, numer 6A, str. V 153-V 159, 1997.
- [22]Driessen i in., *Anaerobic treatment of pulp and papermill effluents– status quo and new developments. Water Science & Technology 55 (2007), numer. 6, 223-230*, 2007.
- [23] Dutch Notes on BAT, *Dutch Notes on BAT for Paper and Board from Recycled Fibres*,1996.
- [24] Furtado, 'Effect of the acid stage in ECF bleaching on Eucalyptus glob ulus kraft pulp bleachability and strength.', *Pulp and paper Canada*, Vol. 12,102, 2001.
- [25] ISO, Technical committee 207, 2010.
- [26] Edelmann i in., 'Towards effluent free paper mill', *DasPapier*,Vol.21. Jahrg., numer 6A, 1997, str. V138-145.
- [27] Edelmann i in., 'Closed water cycles and environmental issues in paper production', *Międzynarodowa Konferencja nt. Integracji Procesu*, 1999, Kopenhaga.
- [28] CEN643, European list of standard grades of recovered paper and board, 2001.
- [29] ISO, ISO 14001:2004, 2004.
- [30] DG Environment, What is Emas?, 2010.
- [31] IAF, International Accreditation Forum website, 2010.
- [32] Vakkilainen, Pulp Mill Energy and Recovery Processes. Lecture13: Malodorous gas handling (DNCG, CNCG). 8-17 Listopada. 2007, Helsiński Uniwersytet Technologii Department Technologii Produkcji Leśnej, 2007.
- [33] COM, Assessment of the data collection on air emissions from European kraft pulp mills, Luty-Kwiecień 2011,2011.
- [34] Kankkonen i in., 'Enhancing the power generation in a modern Greenfield pulp mill. Records of 2010 International Chemical Recovery Conference, March 29- April 1, 2010, Międzynarodowa Konferencja nt. Odzysku Chemicznego 2010, 29 Marzec -1 Kwiecień, Williamsburg, Virginia, USA, t .2, str. 323–335', Williamsburg Lodge, Williamsburg, Virginia, USA.
- [35] Raukola i in., 'Increasing power generation with black liquor recovery boiler', *2002 Jesienna Konferencja Techniczna TAPPI, 8 -11 Wrzesień*, 2002, San Diego, Kalifornia, USA.
- [36] SCAN, SCAN CM- 45:00, zmieniony 2000: COD and TOC removable by washing, 2000.
- [37] B. Eckert i in., 'Improving fiber yield through borate autoausticizing', *Tappi/ Solutions/*, t. kwiecień 2005, 2005, str. 33-34.
- [38] M. Björk i in., 'Partial borate autoausticizing trial increases capacity at Swedish mill', *Tappi Journal*, t. 4, Numer 9, 2005, 2005, str.15-19.
- [39] M. Michniewicz i in., 'The technique for sodium carbonate autoausticization with sodium metaborate', *Polish Paper Review*, t.66, Numer 5, 2010, 2010, str. 263-268.
- [40] B.Bujanovic i in., 'Comparative studies of kraft and kraft-borate pulping of black spruce', *Journal of Pulp and Paper Science*, t. 29, Nr 6, 2003, 2003, str.190-196.
- [41] H.Tranetal., 'Partial autoausticizing of krafts melt with sodium borates', *Tappi/Solutions/*, t. wrzesień. 2001, 2001, str. 1-16.



- [42] Botnia Rauma, 'Air emissions-Botnia Rauma mill. Presentation given during a mission to Finland, 23.02.2009', Korespondencja prywatna, 2009.
- [43] Evans, 'An overview of the water recovery process at Millar Western's', Wiosenna Konferencja CPPA, 1991, Whistler, B.C. 1991.
- [44] Evans, 'Start up of Millar Western's zero discharge BCTMP mill in Meadow Lake', *Konferencja nt. Pulpy, Tappi*, 1992, Boston, MA.
- [45] Evans i in., 'Meadow Lake' success opens the door for kraft bleach plant closure', *Pacific Paper Expo*, 1993, Vancouver, B.C.
- [46] M. Lundberg i in., 'Effect of Ammonia Injection on Black Liquor Recovery Boiler NO<sub>x</sub> Emissions and Ash Chemistry, TAPPI Engineering, Pulping & Environmental Conference, August 24-27, 2008', *Konferencja TAPPI nt. Inżynierii, i Produkcji Masy Drzewnej Środowiska Sierpień 24-27, 2008*, 2008, Portland, Oregon, USA.
- [47] FEI, *The aquatic environmental impact of pulping and bleaching operations- an overview*, The Finnish Environment, 1996.
- [48] Mao i in., 'Effect of chloride and potassium on borate autocausticizing reactions during black liquor combustion', *Pulp & Paper Canada*, tom 107 (10), 2006, str. T 201-204.
- [49] N. Berglin i in., 'Experiences from feeding and co-firing of lignin powder in a limekiln', *Międzynarodowa Konferencja nt. Odzysku Chemicznego 2010, 29 marca -1 kwietnia 2010*, 2010, Williamsburg, Virginia, USA.
- [50] Decyzja 2000/532/WE, Decyzja Komisji Europejskiej 2000/532/WE z 3 maja 2000 zastępująca Decyzję 94/3/WE stanowiącą listę odpadów zgodnie z artykułem 1 (a) Dyrektywy Rady 75/442/EWG w sprawie odpadów i Decyzją Rady 94/904/WE stanowiącą listę odpadów niebezpiecznych zgodnie z Artykułem 1(4) Dyrektywy Rady 91/689/EWG w sprawie niebezpiecznych odpadów, *Dziennik Urzędowy Wspólnot Europejskich*, tom L226, 6.9.2000, 2000, str.3-22.
- [51] R. Honkanen, 'Experiences in Various Chloride Removal Technologies', *Międzynarodowa Konferencja nt. Odzysku Chemicznego 2010, 29 marca -1 kwietnia 2010*, 2010, Williamsburg, Virginia, USA.
- [52] Goncalves i in., 'Factors affecting chloride and potassium removal efficiency of a re-recovery boiler precipitator ash treatment system.', 2009.
- [53] Fromson i in., 'Good project execution: a science not an art', *47 Coroczna Generalna Konferencja*, 1993, Roorua, Australia, kwiecień 1993.
- [54] N. DeMartini i In., *Black Liquor Gasification – State of the Art*, Forest Cluster Ltd., 2010.
- [55] M. Naqvi i in., 'Bio-refinery system in a pulp mill form ethanol production with comparison of pressurized black liquor gasification and dry gasification using direct causticization', *Applied Energy*, 2011.
- [56] Naqvi i in., 'Black liquor gasification integrated in pulp and paper mills: A critical review.', *Bioresource Technology*, Tom .101(2010), 2010, str. 8001-8015.
- [57] O. Grigoray, *Gasification of Black Liquor as a Way to Increase Power Production at Kraft Pulp Mills. Praca Dyplomowa*, Uniwersytet Technologii Lappeenranta, Wydział Technologii, 2009, str. 86.
- [58] K. Grönblad i in., 'Ombyggnad av sodapanna SP-7 Skutskär (Rebuild of recovery boiler SP-7 in Skutskär)', *Sodahuskonferens, ÅF-IPK*, 2000, Sztokholm, Szwecja.
- [59] Hamm i in., 'Anaerober Abbau von Abwässern altpapier verarbeitender Papierfabriken', *Das Papier* t. 45, No.10A, 1991, str. V55-V63.
- [60] Hamm, 'Utilization and final disposal of paper mill waste- what is the answer', *Wochenbl. F. Papierfabr.*, T.Nr. 9,409 -413, 1996.

- [61] Wallén i in., 'Operational performance of Billerud Gruvon's new recovery boiler with environmental friendly solutions. TAPPI Proceedings: Fall Technical Conference, 8-11 September 2002', *Jesienna Konferencja Techniczna TAPPI, Wrzesień. 2002*, 2002, San Diego, Kalifornia, USA.
- [62] Hedenberg, *Nitrogen and phosphorus in pulp wood*, Miljö 95/96, 1996.
- [63] Salmenoja, 'NOx emissions from kraft pulp mills. Presentation given during a mission to Rauma in February 2009', Korespondencja prywatna, 2009.
- [64] J. Malmström, *NOx emissions from Swedish recovery boilers*, Szwedzka Federacja Przemysłu Drzewnego, 2010.
- [65] N. DeMartini i in., *Final summary report on nitrogenoxide emissions from Finnish pulp mills*, Finnish Recovery Boiler Committee, 2010.
- [66] FRBC, *NOx emissions from recovery boilers—why discrepancy between Finnish and Swedish values*, Finnish Recovery Boiler Committee, 22.12.2010, 2010, str. 12.
- [67] Hynninen, *Study for the Finnish Forest Industries Federation on tertiary treatment*, Biosim Networking Group AB, Föglö, Finlandia, 2008, str. 1.
- [68] IFP, *Biodegradability of chemical additives for papermaking and paper converting*, Instytut Nauki I Technologii Papieru, Darmstadt, Niemcy, 1997, 1997.
- [69] IFP, *Report on BAT for the Production of Case making Materials (Test liner and Wellenstoff)*, Instytut Nauki I Technologii Papieru, Darmstadt, Niemcy, 1998.
- [70] González, 'Submitted environmental performance data and background information from the eucalyptus-based kraft pulp mill UPMS. A. Fray Bentos, Uruguay', Korespondencja prywatna, 2011.
- [71] Pöyry, *Tech/Econ Evaluation of Water Pollution Control in Pulp Mills*, 1992.
- [72] R. Campo i in., 'Celite plays in the top division', *Results Pulpaper*, t.3, Nr 2009, 2009, str. 2.
- [73] ASPAPEL/CELPA, *Environmental issues specific to eucalyptus-based kraft pulp-making*, 2010.
- [74] Pöyry, *Techno-Economic Study on the Reduction Measures, Based on BAT of Emissions (water, waste, air) from the Paper and Board Manufacturing Industry*, EU, 1994.
- [75] Pöyry, *A compilation of BAT techniques in Pulp and Paper Industry*, Jaakko Pöyry Oyj, 1997.
- [76] Pöyry, *BAT emissions of the pulp and paper industry in the European Union. Strategic background paper*, 1998.
- [77] Costa i in., 'Low environmental impact bleaching sequences for attaining high brightness level with Eucalyptus SPP pulp', *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, t.t.26, Nr. 1, Styczeń. -Marzec 2009, 2009, str. 11-22.
- [78] Hostachy, 'Ozone-enhanced bleaching of softwood kraft pulp (peer-reviewed)', *Tappi-Journal*, t. Sierpień 2010, 2010, str.14-21.
- [79] Dyllick i Hamschmidt, (cytowany w) Klemisch H. i R. Holger, *Umweltmanagementsysteme in kleinen und mittleren Unternehmen—Befunde bisheriger Umsetzung*, *KNI Papers 01/02, Styczeń 2002*, str. 15, t. 73, 2000, str.15.
- [80] Koepf-Bank, 'Biologische Reinigung des Abwasserseiner altpapierverarbeiten den Papierfabrik', *Allg. Papier-Rdsch*, t. 115, Nr 40, 1991, str.1092-1098.
- [81] Krieger, 'New developments in rejects and sludge dewatering', *Paper Technology*, t. 39, Nr. 4, 1998, str.45-50.

- [82] Clausen J., M. Keiland M. Jungwirth, *The State of EMA Sin the EU. Eco-Management as a Tool for Sustainable Development—Literature Study, Institute for Ecologica lEconomy Research (Berlin) and Ecologic*, Instytut Międzynarodowej I Europejskiej Polityki Środowiskowej, 2002, str. 15.
- [83] Roz. 1221/, 'Rozporządzenie (WE) Nr 1221/2009 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 25 listopada 2009 w sprawie dobrowolnego udziału organizacji w systemie ekozarządzania i audytu wspólnoty (EMAS), zmieniającej rozporządzenie (WE) Nr 761/2001 i Decyzję Komisji 2001/681/WE i 2006/193/WE', *Dziennik Urzędowy Wspólnot Europejskich*, t. L 342, 22.12.2009, 2009, str. 1-45.
- [84] T. Lind i in., 'Electrostatic precipitator performance and trace element emissions from two kraft recovery boilers', *Environmental Science & Technology*, t. 40, Nr 2, 15 stycznia 2006.
- [85] P. Mikkanen, *Fly ash particle formation in kraft re-recovery boilers.*, Helsiński Uniwersytet Technologiczny: VTT Publications, Espoo, 2000, str. P421.
- [86] Merkel, 'Waste Paper Treatment and Energy Consumption', *WfP*, t. nr. 5, 1997, str. 211-215.
- [87] Jouttijärvi i in., 'Controlling the eutrophying properties of biologically treated wastewater from pulp and paper mills', *6 Międzynarodowa konferencja nt. Działania Efektów Wycieków z Celulozowni. 9 -12 kwietnia 2006*, 2006, Vitoria, Brazylia.
- [88] CEN, *EN13725:2003 Air quality- Determination of odour concentration by dynamic olfactometry*, CEN, 2003.
- [89] RFCNL1, 'Personal communication with expert from the RFCNL1 based corrugated base paper mill', Korespondencja prywatna, 2010.
- [90] J. Schrijver i in., 'Biocides for deposit control in the production of corrugated base paper, in: Chemical additives for the production of pulp & paper', *Edytowane przez ZELLCHEMINGTC 'Chemical Additives'*, 2008, str. 319 -339.
- [91] Möbius, *Pulp and paper industry wastewater. Biological treatment of wastewater from pulp and paper manufacturing*, Monachium, Niemcy, 1997, 2 edycja.
- [92] F. Schmid i in., 'Filtration sanlagen zur Verbesserung der Ablauf qualiltätin biologischen Abwasserreinigungsanlagen Jednostki filtracyjne polepszające jakość cieków z biologicznie oczyszczanych ścieków', *Wochenbl.f. Papierfabrikation (WfP)*, t. 5, 2002, str. 309 -311.
- [93] Mönnigmann i in., 'Abwasser freie Papierfabrik- Traumoder Alptraum?', *Das Papier*, t. 50, Nr 6, 1996, str. 357-364.
- [94] F. Schmid i in., *Vergleichende Betrachtung und Anwendungsempfehlungen zum Einsatz von Online-Messtechnik in biologischen Abwasserreinigungsanlagen der Papierindustrie*, Instytut Badawczy Papieru PTS, 2002.
- [95] M. Cordes-Tolle i in., 'Einsatz und Erfahrungen mit Online-Messgeräten beider Überwachung von biologischen Abwasserreinigungsanlagen', *ipw Das Papier 2000*, t. nr. 7, 2000, str. T114-T118.
- [96] Nokelainen i in., 'Wet end control-results and new possibilities', Konferencja *Pulpaper "EcoPaper/Tech"*, 1995, Helsinki, czerwiec.
- [97] Nokelainen i in., 'Control of retention and ash', Konferencja *PIRA "Użycie mineralów w wytwarzaniu papieru"*, 1997, Manchester, WB.
- [98] G. Weinberger i in., 'Optimierung von Betriebsbedingungen zur Vermeidung von Betriebsstörungen in biologischen Abwasserreinigungsanlagen ,in :Betrieb biologischer Abwasserreinigungsanlagen—Optimale Konzepte und Vermeidung von Betriebsstörungen', *Betrieb biologischer Abwasserreinigungsanlagen—Optimale Konzepte und Vermeidung von Betriebsstörungen*, PTS-Manuskript: PTS-MS50219, 2002, Monachium ,Niemcy.

- [99] Nygard i in., *Coating chemical regeneration by ultrafiltration*, 1997.
- [100]M. Cordes-Tolle, *Optimierung und Kontrolle der Stickstoff- und Phosphorversorgung, in: Betrieb biologischer Abwasserreinigungsanlagen – Der Weg zur stabilen Anlage*, Instytut Badawczy Papieru PTS, 2000.
- [101] G. Weinberger, *Steigerung der Leistungsfähigkeit und der Betriebssicherheit anaerober Reinigungsprozess in der Papierindustrie durch Verbesserung der Schlammeigenschaften*, Instytut Badawczy Papieru PTS, 2004, str. 85.
- [102]I. S. Kimetal., 'The effect of calcium on the membrane biofouling in the membrane bioreactor (MBR)', *Water Research*, t. 40, Nr 14, 2006, str. 2756-2764.
- [103]P. Fischer, 'Product and system technology of Voith Paper Environmental Solutions for sustainable paper production', *Tappsa Journal*, t. wrzesień 2008, 2008, str. 30-34.
- [104]Paper and Timber, 'Firing pulp and paper making residues at small power plants', *Paper and Timber*, T.T.75, Nr 8, 1993.
- [105]F. Hutter, 'Strategie der Energieversorgung in der Papierindustrie (strategia dostarczania energii w przemyśle papierniczym)', *Wochenblatt für Papierfabrikation*, t. 23-24, 2007, str. 1280.
- [106]F. Hutter, 'Data related to the environmental performance of the recently built CCGT plant at the paper and carton board mill in RCFDE2', Korespondencja prywatna, 2010.
- [107]H. Schwarz, 'Personal communication about the MBR built at Köhler Pappen Gengenbach', Korespondencja prywatna, 2010.
- [108]Krieger, Bellmer, 'Investment and operating costs for sludge dewatering machinery', Korespondencja prywatna, 2010.
- [109]PARCOM, *BAT and BEP for the Sulphite and Kraft Pulp Industry*, 1994.
- [110]N. Kaindl, 'Advanced wastewater treatment at LCA Laakirchen AG, presentation during a site visit on 15 May 2009', Korespondencja prywatna, 2009.
- [111]Möbius, 'Wastewater in the pulp and paper industry - today and in retrospect', *PTS Symposium Technologiczne nt. Wody i Środowiska, 10./11. Vov. 2009*, 2009, Monachium, Niemcy.
- [112]Kaindl, 'Weitergehende Abwassereinigung mittels Ozonungand nach folgender Biofiltration', *ipw Das Papier* 2007, t. 1, 2006, str. T130-T135.
- [113]PTS, *Operation of biological Wastewater Treatment Plants - Reasons and Prevention of Disturbances*, Papiertechnische Stiftung PTS (Specjaliści Technologii Papieru), 1998.
- [114]PTS-FB, *Measures for reduction of gaseous emissions from paper and coating machines*, Munich: Papiertechnische Stiftung (PTS), 1997, str. 108.
- [115]C. H. Möbius i in., 'Combined ozonation and biofilm treatment for reuse of paper mill wastewaters', *Water Science and Technology*, t. 49, Nr 4, 2004, str. 319-323.
- [116]Rampotas i in., 'The netFloc system - the tool to remove extractives and NPE', *Konferencja Tappi nt. Zmniejszenia Wycieków z Celulozowni* 1996, Tappi.
- [117]Kaindl, *Weiter gehende Reinigung von mechanisch und biologisch vorgereinigtem Abwasser der Papierindustrie mittels Ozonbehandlung und nachfolgender Biofiltration (zaawansowane oczyszczanie celulozowych mechanicznych i biologicznych przez ozonację i biofiltrację)*, Wiedeński Uniwersytet Techniczny, Austria, 2009, Praca Doktorancka

- [118]A.Helble i in., 'Current experience with the use of membrane bioreactor technology for the treatment of paper mill effluent', *PTS Sympozjum Technologiczne nt. Wody i Środowiska*, 2009, Monchium, Niemcy.
- [119]Botnia, Annual Report 2009, 2010.
- [120]RIZA, *A Broad Approach to Water Loop Closure at Papierfabriek Doetinchem (and Appendix Report)*, RIZA, 1997.
- [121]RIZA, *The evaluation of substances and preparations in the context of the pollution of Surface water Act*, Riza, 1997.
- [122] Veracel, Sustainability 2008, 2009.
- [123]Roitto i in., 'Environment-friendly coating: recycling of coating chemicals', *Konferencja nt. zyskowej produkcji papierow powlekanych*, 1997.
- [124]Mäntyniemi, 'Novel solutions for pulp mill energy intensification', *Konferencja Pulpaper 2010. Wprowadzając nowy wzrost 2010*, Helsinki, Finlandia.
- [125]Schwarzetal., 'Peripheral subsystems for water, sludge and rejects', *WfP*, t. nr 18, 1995, str.792-802.
- [126]Sebbas, 'Reuse of kraft mill secondary condensates', *Tappi Journal*, t. lipiec 1988, 1988
- [127]SEPA report, *Reduction of Atmospheric Emissions from Pulp Industry*, Szwedzka Agencja Ochrony Środowiska, 1992.
- [128]P. McKeoughetal., 'Higher-value energy products from biomass-a technology overview', *Konferencja Pulpaper2010. Wprowadzając nowy wzrost*, 2010, Helsinki, Finlandia.
- [129] SEPA report, *Environmental Impact of Pulp and Paper Mill Effluents .A strategy for Future Environmental Risk Assessments*, 1997.
- [130]SEPA report, *Energy conservation in the pulp and paper industry*, 1997.
- [131]SEPA report, *Aspects on Energy and Environment Costs in Connection with Production of Kraft Pulp, Recycled Fibre and TMP*, 1997.
- [132]Solid waste handbook, *Solid waste handbook for the paper industry*, 1996.
- [133]A. V. Heiningen, 'Overview of forest biorefinery concepts; opportunities and challenges', *Konferencja Pulpaper 2010. Wprowadzając nowy wzrost*, 2010, Helsinki, Finlandia.
- [134]SödraVärö, 'Personal communication during a site visit carried out 17 February 2009', Korespondencja prywatna, 2009.
- [135]KRAFTS E1 mill, 'Personal Communication with the environmental affairs manager of the KRAFTS E1 mill in Sweden', Korespondencja prywatna, 2010.
- [136]Sweet i in., 'Millar Western's zero liquid effluent market BCTMP mill one year after start-up', *Konferencja Wybrzeża Pacyfiku I Zachodnich Oddziałów*, 1993, CPPA, Whistler. [137]K.Touminen, 'Future pulp mill with energy products', *Konferencja Pulpaper2010. Wprowadzając nowy wzrost*, 2010, Helsinki, Finlandia.
- [138]PP TWG, *Questionnaires for data collection 2009*, EIPPCB, 2009.

- [139]ASPAPPEL, *Guía de gestión de residuos (fábricas de pasta, papel y cartón) (Przewodnik po zarządzaniu odpadami (wytwórnice pulpy, papieru i kartonu))*, ASPAPPEL, 2008, s. 109.
- [140]Tappi proceedings, 'Design considerations for cost-effective kraft and sulphite pulping liquor spill control system', *Konferencja Tappi nt. Zmniejszania Wycieków z Celulozowni*, 1996, Tappi.
- [141]Kuula i in., 'Ultrafiltration membrane technology—more efficiency through water and coating color recycling', *17 Międzynarodowe Sympozjum w Monachium 2-4 kwietnia 2008*, 2008, Monachium, Niemcy.
- [142]C.Finke i in., *Coating colour recovery within paper production .Final report within the environmental innovation program of the German Ministry of Environment*, Niemiecka Agencja Ochrony Środowiska Umweltbundesamt (UBA), 2009, str. 53.
- [143]T. Sutela i in., '*Ultrafiltration membrane technology enables runnability improvements and reduced water consumption in paper and board mills*', Chemiczne Technologie w Produkcji papieru, PTS Munich, 2006, Monachium, Niemcy.
- [144]Sutela, 'Long term experience of ultrafiltration at paper industry', *PTS Seminarium 'Technologia Membrany w przemyśle papierniczym'*, 2008, Monachium, Niemcy.
- [145]UBA Report, *Avoidance of wastewater by closed water loops within-line process water treatment in a paper mill*, Niemiecka Agencja Ochrony Środowiska, 1996.
- [146]Möbius, *Abwasser der Papier- und Zellstoffindustrie 3. Auflage*, November 2002, Revision Dezember 2008 (odpady z przemysłu celulozowego i papierniczego), 2008.
- [147]J. Sommeretal., 'Reststoffverwertung in der Papierindustrie am Beispiel des Heizkraftwerkes Wörth der Papierfabrik Palm-Konzept, Realisierung, Inbetriebnahme und erste Betriebserfahrungen', *Berliner Abfallwirtschafts- und Energiekonferenz-Optimierung der Abfallverbrennung*, 2009, Berlin, Niemcy.
- [148] Voith, 'Mastering environmental and economic challenges with the integrated paper mill concept', 9 Sympozjum nt. odpadów przemysłu drzewnego. 17 czerwca 2009, 2009, Fredericton, Nowy Brunswick, Kanada.
- [149]H.Hilbert, 'Leistungsvergleich Schwebebettreaktor und Anaerob-Stufe zur Hochlast behandlung von Abwässer einer Deinking-Papierfabrik (Porównanie pomiędzy reaktorem z złożem ruchomym w fazie beztlenowej dla uzdatniania wysoko złożonych ścieków w celulozowni odbarwiającej)', *GWF Wasser-Abwasser*, t.149, Nr 4, 2008, str. 355-363.
- [150]Bülöwi in., 'Complete water system closure', *Pulp and Paper International*, t. nr.8, 2003, str. 14-17.
- [151]Bülöwi i in., 'Schließung des Wasserkreislauf seiner Altpapier verarbeiten den Papierfabrik unter besonderer Berücksichtigung der Calcium-Problematik', *ipw/ DasPapier*, t. nr 1, 2003, str.31-38.
- [152]I.Demel i in., 'Kriterien für die Rückführung biologisch gereinigter Wässer in die Produktion (engl. Kryteria dla recykulacji biologicznie oczyszczonej wody procesowej)', *ipw/ DasPapier*, t. nr 1 i 2, 2004, str. Nr.1, str.37-40, Nr. 2, str. 33-35.
- [153]J. Sundholm, *Mechanical pulping. Book5*, Stowarzyszenie Fińskich Inżynierów Papieru & TAPPI, Helsinki, 1998, Papermaking Science and Technology.
- [154]Virtapohja i in., 'Accelerated biodegradation of EDTA in a conventional activated sludge plant under alkaline conditions', *Konferencja Środowiskowa TAPPI*, 1997, Minnesota, USA.
- [155]Ward i in., 'Millar Western Meadow Lake. A success story in effluent treatment', *Polączona Konferencja ds. Środowiska Ministerstw Środowiska Kanady i Niemiec*, 1993, Monachium, Niemcy.

- [156]L D Leipzig, 'Monthly self-monitoring reports from Stora Enso Sachsen GmbH (sierpień 2008-lipiec 2009)', Korespondencja prywatna, 2010.
- [157]KRAFTS E1 mill, 'Daily average emission data over the year 2009 of the wastewater treatment plant of the KRAFTS E1 mill', Korespondencja prywatna, 2010.
- [158]RFCNL1, 'Daily average emission data of the wastewater treatment plant RCFNL1 over the year 2009', Korespondencja prywatna, 2010.
- [159]Steube i in., 'The greatest possible reduction in BOD, COD, AOX and EDTA in the biological effluent treatment plant of the Stendal pulp mill', *PTS Sympozjum nt. Technologii Wody i Środowiska 2005*, 2005, Monachium, Niemcy.
- [160]LVSA, 'Self-monitoring report of the wastewater treatment plant of the kraft pulp mill Stendal, DE (2008)', Korespondencja prywatna, 2009.
- [161]C. Hoelgero i in., 'Phosphonate als ökologisch sinnvolle Alternative zu DTPA-Ergebnisse einer Studie bei MD Albrück', *Wochenbl. f. Papierfabrikation*, t.136(2008), Nr 11-12, 2008, str. 666-669.
- [162]U.Hamm, *Technical evaluation of the use of chelating agents at the SE Hagen paper mill (German: Fachliche Bewertung des Komplexbildner einsetzes beider Stora Enso Kabel GmbH & Co.KG, Hagen)*, PMV, Uniwersytet Techniczny Darmstadt, 2009, str.55.
- [163]J.Lahtinen i in., 'Water and energy savings in vacuum generation-how to utilize modern process and variable speed drive technology', *Sympozjum nt.Wodnej i Środowiskowej Technologii*, PTS Monachium, 2009, Monachium, Niemcy.
- [164]M.Kara, 'Energy use, visions and technology, opportunities in Finland', 2007,Helsinki, Finlandia.
- [165]ZELLCHEMING, *Chemical additives for the production of pulp and paper. Functional essential –ecological beneficial.*, Deutscher Fachverlag, 2008.
- [166]KRAFT S E1 mill, 'Daily average emission data of the bubbling fluidized bed boiler equipped with SNCR from the KRAFT S E1 mill', Korespondencja prywatna, 2010.
- [167]BMUJF, *Emissionsbegrenzung und Anwendungsbereiche von Gasturbinen und GuD-Anlagen*, Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie, 1999.
- [168]M.Huhtinen i in., *Combustion of bark*, TAPPI PRESS, 2000, str. Papermaking Science and Technology, Book 6 B.
- [169]Nilsson i in., *Continuum-Rethinking BAT Emissions of the Pulp and Paper Industry in the European Union*, Fiński Instytut Środowiska, 2007, str. 41.
- [170]Pöyry, *Combined heat and power. Report by order of CEPI*, 2010.
- [171]R.Morin, 'Daily average data over a complete year (2008) from the Södra Värö kraft pulp mill', Korespondencja prywatna, 2009.
- [172]A.Schweizer, 'Daily average data over a complete year for the recovery boiler and the limekiln of Zellstoff Pöls AG, AU', Korespondencja prywatna, 2010.
- [173] J. Queiser, 'Pulp mill Arneburg. On-line transfer of emission data 2009 to the competent authority', Korespondencja prywatna, 2009.
- [174]M.Ahlroth i in., *3FS Förutsättningar för framtidens sodapanna- En värmeteknisk studie.(Szanse kotłów odzyskinicowych przyszłości - badania)*, Instytut Badań Inżynierii Termalnej Värmeforsk, 2009, str. 265.
- [175]Recovery Boiler Committee, *Recommended procedure for incineration of non-condensable gases. Second, updated version dated March 31,2006*, Finnish Recovery Boiler Committee, 2006.
- [176]Hämäläinen, 'Technical description of malodorous gas collection in Botnia mills', Korespondencja

prywatna, 2009.

[177]Hiszpańskie Ministerstwo Środowiska, *Variability analysis of pulp and paper sector emissions to water over different averaging periods. Presented in the framework of the European process for the review of the Pulp and Paper BREF*, 2009.

[178]R.Spörl, *Revision des BVT-Merkblattes für die Papier-und Zellstoffherstellung. Teilbericht 2:Vergleichbarkeit von Berichtsdaten*, Instytut Badań Papieru PTS Monachium, 2009.

[179]O.Blum, 'Optimierung des Wärmehaushalts–Reduzierung der Ablauftemperatur im Vorfluter', *PTS Seminar Wasserkreisläufe in der Papiererzeugung*, 2006, Monachium, Niemcy.

[180]A.Well, 'Simulation zur Prognose für die Rückführung von biologisch gereinigtem Abwasser', *PTS Seminar Betrieb biologischer Abwasserreinigungsanlagen*, 2006, Drezno, Niemcy.

[181]Kappen i in., *Reduzierung der spezifischen Abwassermenge durch Optimierung der Wasserkreisläufe beider Erzeugung holzfreier Papiere*, Instytut Badań Papieru PTS, 2003.

[182]J.Kappen i in ., 'Utilisation of waste heat-on essential approach to the carbon dioxide problem', *Konferencja Pulpaper 2004*, 2004, Helsinki, Finlandia.

[183]J.Kappeni in ., 'Modelling and simulation in pulp and paper industry, Proceedings of Model Validation Workshop, Espoo, Finland, 2005', *COST Action E36 Modelling and simulation in pulp and paper industry*,t.1455–0873,VTT Centrum Badań Technicznych Finlandii, 2005, Espoo, Finlandia.

[184]Alonsoi in., *Main specifications of different software packages .COSTE 36 Modelling and Simulation in the pulp and paper industry*, COST, 2006.

[185]J.Zürcher, 'Turbair vacuum systems. The most efficient vacuum systems for dewatering; Proceedings of the COST Strategic Workshop 'Improving Energy Efficiency in Papermaking', Amsterdam, 9-11 czerwca 2008, 2009.

[186]Lahtineni in., 'Water and energy savings in vaccum generation-How to utilize modern process and variable speed drive technology; in H.-J.Öller(ed.), *PTS Sympozjum Technologiczne nt. Wody i Środowiska*, 2009, 2.

[187]Busmann i in., 'Geruchs-und Schleimeliminierung in der Papier industrie. Einsatz des 'MolClean' –Verfahrens bei Pappen-und Wellpappenroh papierherstellern (Eliminacja odoru i szlamu w przemyśle papierniczym)', *Allgemeine Papier-Rundschau (APR)*, t.03, Nr 2008, 2008, str.24-28.

[188]Pöyry, *Odour emission from pulp and paper production*, Pöyry Management Consulting Oy, 2010, str. 5.

[189]Norrström, *Steam and power generation in pulp and paper mills*, ÅF-Engineering AB, Sztokholm, Szwecja, 2010, str. 22.

[190]TBU Stubenvoll, *Description of technical measures for reduction of NOx emissions from fluidized bed boilers. Final report (po Niemiecku)*,Technisches Büro für Umweltschutz-TBU,2004.

[191]FFIF, *Energy efficiency in the Finnish pulp and paper industry*, 2007.

[192]GIRL, 'Determination and assessment of odour in ambient air (Guideline on odour in ambient air/GOAA) dated 29 February 2008, translated version from March 2003, in 2009 an updated and complemented version has been published (in German only)', *Niedersächsischen Ministerialblatt*,2008.

[193]Axegårdetal., *Ecocyclic Pulp Mill- "KAM". Final report 1996-2002*, STFI (obecnie Innventia), Sztokholm, 2003.

[194]Francis, *Reporting guidelines for energy use in pulp and paper operations*, FP Innovations-Paprican, 2007, str. 110.



- [195]CEN, *EN16001:2009: Energy management systems-Requirements with guidance for use*, lipiec 2009, 2009.
- [196]Blum, 'Energy efficiency analysis–cost effectiveness in energyconsumption', *PTS news, Monachium*, t. 2006, 2006.
- [197]IEA, *Tracking Industrial Energy Efficiency and CO2 Emissions. In support of the G8 Plan of Action*, IEA, 2007, str. 324.
- [198]Porle, *Electrostatic precipitators for industrial applications. REHVA Guidebook*, REHVA-Federacji Europejskiego Stowarzyszenia Grzewczego I Klimatyzacji, 2005, str.117.
- [199] Herrlander, 'E-mail communication on key elements on ESP application in the pulp and paper sector', styczeń 2010, Korespondencja prywatna, 2010.
- [200]Rozporządzenie REACH (WE) Nr 1907/, 'Rozporządzenie (WE) Nr 1907/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 18 grudnia 2006 w sprawie rejestracji, oceny, udzielania zezwoleń i stosowanych ograniczeń w zakresie chemikaliów (REACH)', *Oficjalny Dziennik Wspólnot Europejskich*,, t. L 396, 30.12.2006, 2006, str.1-849.
- [201]Ingemansson Technology AB, *Report 12-01823-A. A consequential study (inSwedish) made for the Swedish Forest Industry Federation (SFIF)*, Szwedzka Federacja Przemysłu Leśnego (SFIF),2005.
- [202]Svanberg, Telefoniczna rozmowy kwalifikacyjne, Styczeń 2010, z przedstawicielami Szwedzkich celulozowni (Rottneros/ Utansjömill, StoraEnso/ Norrsundetmill, ArcticPaper/ Håfreströmmill)', Korespondencja prywatna, 2010.
- [203] Dyrektywa 2000/76/WE, 'Dyrektywa 2000/76/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 4 grudnia 2000 w sprawie spalania odpadów', *Oficjalny Dziennik Wspólnot Europejskich*,, t. L 332, 28.12.2000, 2000, str. 91-111.
- [204] Portugal, *Phosphorus emissions from the production of eucalyptus kraft pulp–update*, Portuguese TWG, 2007, s.3.
- [205]Ramowa Dyrektywa Wodna 98/WE, 'Dyrektywa 2008/98/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 19 Listopada 2008 o odpadach uchylającej niektóre Dyrektywy', *Oficjalny Dziennik Wspólnot Europejskich*, t. L 312, 22.11.2008, 2008, str. 3-30.
- [206] Akso Nobel, *Complete degradation of EDTA in biological wastewater treatment plants*, Akso Nobel, 2007, str. 2.
- [207]T.Tamminen i in., 'Dust and flue gas chemistry during rapid changes in the operation of black liquorrecovery boilers: Part 3-Gaseous emissions', *Tappi Journal*, t.1, Nr 7 (wrzesień 2002), 2002, str. 25-29.
- [208]Langi i in., *Fate and degradation of complexing agents used in pulp and paper production*, Ekolab Environmental Ltd, 2007.
- [209]Schacher i in., *New complexing agents for the pulp and paper industry*, Holz Forschung, 2007, str. 3.
- [210]T.Tamminen i in., 'Dust and flue gas chemistry during rapid changes in the operation of black liquor recovery boilers: Part 2-Dust composition', *Tappi Journal*, t.t.1, Nr.6 (Sierpień 2002),2002.
- [211]Technical University of Denmark and Novozymes, *Proposal of five enzyme applications in pulp and paper industry for BAT or Emerging Techniques*, Duński Uniwersytet Techniczny Novozymes, 2007.
- [212]T. Tamminen,i in., 'Dust and flue gas chemistry during rapid changes in the operation of black

- liquor recovery boilers: Part 1-Dust formation', *Tappi Journal*, t.t.1,Nr.5(lipiec 2002), 2002, str. 27-31.
- [213]Pelin, 'Text proposal on the preparation of ClO<sub>2</sub> for the bleaching of pulp', Korespondencja prywatna, 2009.
- [214]Dyrektywa Seveso II (96/82/WE), 'Dyrektywa 96/82/WE z dnia 9 grudnia 1996 w sprawie kontroli niebezpieczeństwa poważnych awarii związanych z substancjami niebezpiecznymi (Dyrektywa Seveso II)', *Oficjalny Dziennik Wspólnot Europejskich t. L010*, 14.01.1997, 1996, str.13-33.
- [215]Aubriot, 'Performance data of the biological wastewater treatment plant of the Tembec sulphite pulp mill, Tartas', Korespondencja prywatna, 2009.
- [216]Patt, *Einsatz von Komplexbildnern in der TCF-Bleiche von Magnesium Bisulfitzellstoffen*, Uniwersytet w Hamburgu, Chemiczna Technologia Drewna, 2009, str.8.
- [217]Lenzing, 'Technical descriptions and emissions from the evaporation and incineration of the EOP concentrates in a sodium boiler', Korespondencja prywatna, 2009.
- [218]Karlsen, *Borregaard's sodium liquor (biofuel) boiler projects*, Borregaard Industries Ltd., 2008.
- [219]SCA Mannheim, 'Emissions daten der Rauchgasreinigungsanlage der SCA Mannheim (Emissionsfernüberwachung)', Korespondencja prywatna, 2009.
- [220]Kroiß, 'Emissions to water for the Lenzing AG sulphite mill (viscose)', Korespondencja prywatna, 2009.
- [221]Sankari, 'Confidential material about AES and ISA in mill scale (kraft and mechanical pulp)', Korespondencja prywatna, 2009.
- [222]S.Metsärinne i in., *Biodegradation of novel aminoacid derivatives suitable for complexing agents in pulp bleaching applications*, Nauka o Środowisku, 2007, str. 45–51.
- [223]H.Hyvönen i in., 'Studies on biodegradable chelating ligands: complexation of iminodisuccinic acid (ISA) with Cu (II), Zn (II), Mn (II) and Fe (III) ions in aqueous solution', *Green Chemistry*, t. 5, 2003, str. 410–414.
- [224]Aschacher, 'Comments and supplements on a draft text on 'Reduction of emissions from the use of chelating agents in the peroxide stages of the bleach 'plant'', Korespondencja prywatna, 2009.
- [225]Hupa, *Nitrogen oxide emissions from pulp mills and the factors affecting them– a summary of the current knowledge*, Report for the Finnish Recovery Boiler Committee, 2005 str. 15.
- [226]Vakkilainen i in., 'Nitrogen Oxide Emissions from Recovery Boilers/ Pulp Mills–Scandinavian Perspective', *Konferencja TAPPI nt. Inżynierii, Produkcji Masy Drzewnej i Środowiska*, 2005, Philadelphia, USA.
- [227]SCA Aschaffenburg, 'Personal communication on' Example 1: Energetic utilization of rejects from RCF mills without de-inking in reject incineration plants'; reviewing and updating information', Korespondencja prywatna, 2009.
- [228]Sappi Stockstadt, 'Example of organic loads before and after treatment from the Stockstadt mill, Sappi Fine Paper Europe', Korespondencja prywatna, 2009.
- [229]Stubenvolletal., *Overview of NO<sub>x</sub> and Dust emissions of the Austrian pulp and paper industry*, Umweltbundesamt, 2007.
- [230]Selling, 'Contributions to the text' Closed loop bleaching in a sodium based sulphite mill using ultrafiltration, flotation and separation", Korespondencja prywatna, 2009.
- [231]Schwarz, 'E-mail communication in June/ July2009', Korespondencja prywatna, 2009.
- [232]Symposium Slovenia, 'Providing the Cardboard Manufacturer MM-Karton in Hirschwang, Austria with Energy from Operational Waste', *Symposium, Słoweński Przemysł Papierowy, 2007,2007*, Słowenia.

- [233]Hammetal., 'Sulfatzellstoffe ein Vergleich ihrer Umweltbelastungen', *Das Papier*, Tom 2003, nr T22, 2003, str. 42-49.
- [234]Schwarz, 'Klein verbrennungsanlage für die thermische Reststoffverwertung auf Basis der Schleuderrad technik für die Papier industrie', *Wochenblatt für Papier fabrikation (WfP)*, Tom 23-24, Numer 2007, 2007, str. 73.
- [235]Schwarz, 'Comparison and development of waste paper handling in Germany, Europe and globally', *ipw Das Papier2007 T130-T135*, T. 10, Nr 2007, 2007, str. 6.
- [236]COM, 'Data from questionnaires from 8 sulphite pulp mills in Europe', *Korespondencja prywatna* 2009.
- [237]Bajpai, *Environmentally benign approach s for pulp bleaching*, Elsevier B.V., 2005.
- [238] Stora Enso Oyj Heinola Fluting Mill, *Production scheme of a Neutral Sulphite Semi Chemical mill (220000t/yr) with chemical and energy recovery units*, 2009.
- [239]Garseg, *Process flow of a sulphite mill producing speciality pulp and various products based on the conversion of the spent sulphite liquor*, 2009.
- [240]Biocel Paskov, *Preparation of chlorine ioxide by the 'Kesting method' (Biocel Paskova.s.)*, 2009.
- [241]Biocel Paskov, *Scheme of the manufacturing of fodder yeast and separation of lingo-sulfonates from the spent sulphite liquor*, 2009.
- [242]Sappi Ehingen, *Pressure screens for final screening*, 2009.
- [243]Biocel Paskov, 'Example for an ECF bleaching sequence for sulphite paper pulping', *Korespondencja prywatna*, 2009.
- [244]Pulp and Paper TWG, *Questionnaires for data collection*, 2007.
- [245]van Tuijl, 'Typical fibreline of a sulphite pulp mill manufacturing pulp for papermaking' , *Korespondencja prywatna*, 2009.
- [246]Sappi Ehingen, *A real view of an integrated sulphite pulp mill that produces coated fine paper including power plant and wastewater treatment plant*, 2009.
- [247]TÜV Süd, *Bericht über die Durchführung von Emissionsmessungen an der Laugen verbrennungsanlage; Ybbstaler Zellstoff GmbH Kematen; 20.03.2009*, 2009.
- [248]Hamm, *Revision of best available technique reference document for the pulp & paper industry: use of energy saving techniques*, UBA Germany (Federalna Niemiecka Agencja Środowiskowa) 2007.
- [249]Blum i in., *Revision of best available technique reference document for the pulp & paper industry: use of energy saving techniques*, UBA Germany (Federalna Niemiecka Agencja Środowiskowa) i PTS München, 2009.
- [250] Kwestionariusze, 'Received questionnaires from the following sulphite pulp mills', *Korespondencja prywatna*, 2009.
- [251]TÜV-Bayern, *Bericht über die Abnahmemessung NOx- Minderung am Laugenkessel*, 2009.
- [252]Johansson i in. *,Drying of biofuel utilizing waste heat*, S.E.P. Scandinavian Energy Project AB, 2004.
- [253]Mondi Neusiedler/ Ybbstaler Zellstoff, 'Personal Communication via E-mail', *Korespondencja prywatna*, 2009.

- [254]Kunz, 'Personal communication via E-mail', Korespondencja prywatna, 2009.
- [255]Peter, 'Personal communication via E-mail', Korespondencja prywatna, 2009.
- [256]Kogler, 'Personal Communication via E-mail' Korespondencja prywatna, 2009.
- [257]Soedra, 'Personal communication', Korespondencja prywatna, 2009.
- [258]Botnia, *A real view Botnia*, 2008.
- [259] Komunikat COM 2006/C90/04, 'Komunikat Komisji na w sprawie wyników analizy ryzyka i strategii ograniczania ryzyka stwarzanego przez ftalan dibutyli;3,4-dichloroanilina; ftalan diizodecyli; kwas 1,2-benzenodikarboksylowy, dwu-rozgałęzione C 9-11estry alkilowe, bogate w C 10; ftalan diizodecyli; kwas 1,2-benzenodikarboksylowy, dwu-rozgałęzione C 8-10 estry alkilowe, bogate w C 9; kwas etylenodiaminotetraoctowy; octan metyli; kwas monochlorooctowy; n-Pentan; etylenodiaminotetraoctan tetrasodu (2006/C90/04) ', *Oficjalny Dziennik Wspólnot Europejskich*, 2006.
- [260] Zalecenie COM 2006/283/EC, zalecenie Komisji 2006/283/WE z dnia 11 kwietnia 2006 r. w sprawie środków mających na celu zmniejszenie ryzyka dla następujących substancji: ftalan dibutyli;3,4-dichloroanilina; ftalan diizodecyli; kwas 1,2-benzenodikarboksylowy, dwu-rozgałęzione C 9-11estry alkilowe, bogate w C 10; ftalan diizodecyli; kwas 1,2 benzenodikarboksylowy, dwu-rozgałęzione C 8-10 estry alkilowe, bogate w C 9; kwas etylenodiaminotetraoctowy; octan metyli; kwas monochlorooctowy; n-Pentan; etylenodiaminotetraoctan tetrasodu (2006/283/EC)', *Oficjalny dziennik Wspólnot Europejskich L 104/45*, Tom 13.04.2006, 2006.
- [261]Papermaking Science& Technology, *Papermaking Science and Technology, Chemical Pulping, Book 6A*, Fapet Oy, Jyväskylä Finlandia,2000.
- [262]ISO7827, *Water quality-Evaluation in anaqueous medium of the ultimate aerobic biodegradability of organic compounds-Method by analysis of dissolved organic carbon(DOC)*, ISO, 1994, str. 7.
- [263] Dyrektywa 2008/105/WE, 'Dyrektywa 2008/105/EC Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 16 Grudnia 2008 w sprawie norm jakości środowiska w dziedzinie polityki wodnej, zmieniającą i w następstwie uchylającą dyrektywy 82/176/EWG, 83/513/EWG, 84/156/EWG, 84/491/EWG, 86/280/EWG i zmieniającą Dyrektywę 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady ', *Oficjalny dziennik Wspólnot Europejskich*, Tom L 348, 24.12.2008, 2008, str. 84-97.
- [264]Ramowa Dyrektywa Wodna 2000/60/WE, 'Dyrektywa 2000/60/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 Października 2000 ustanawiająca ramy działania Wspólnoty na polu polityki wodnej ', *Oficjalny dziennik Wspólnot Europejskich*, Tom L327, 22.12.2000, 2000, str. 1-72.
- [265] Dyrektywa 1999/31/WE,' Dyrektywa Rady 1999/31/WE z dnia 26 Kwietnia 1999 w sprawie składowisk odpadów, *Oficjalny dziennik Wspólnot Europejskich*, Tom. L182, 16.07.1999, 1999, str.1-19.
- [266]Ragnar, Kvaerner, *The technology of oxygen delignification and bleaching of chemical pulp*, Kvaerner, 2002.
- [267]Lenzing, *Modern recovery boiler technology*, Lenzing, 2009.
- [268]COM, *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Energy Efficiency (ENEBREF)*, Komisja Europejska, JRC IPTS EIPPCB, 2009.
- [269] COM, *Reference Document on the General Principles of Monitoring (MONREF)*, Komisja Europejska, JRC IPTS EIPPCB,2003.

- 
- [270]COM, *Best Available Techniques (BAT) Reference Document to Industrial Cooling Systems (ICSBREF)*, Komisja Europejska, JRC IPTS EIPPCB, 2001.
- [271]COM, *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Large Combustion Plants (LCPBREF)*, Komisja Europejska, JRC IPTS EIPPCB, 2006.
- [272]COM, *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Production of Cement, Lime and Magnesium Oxide (CLMBREF)*, Komisja Europejska, JRC IPTS EIPPCB, 2013.
- [273]COM, *Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Waste Incineration (WIBREF)*, Komisja Europejska, JRC IPTS EIPPCB, 2006.
- [274]CTP, *Study on BREF-Application and suggestions on supporting tools*, LUCENSES CpA (Ed.), 2002.
- [275]Inquiry Ojanen, *Inquiry of measures related to closing down pulp and paper mills -summary of replies*, Regionalne Centrum Środowiska Południo-wschodniej Finlandii, 2009.
- [276]Sixta, *Handbook of pulp*, Wiley-VCH, Weinheim, 2006.
- [277]Loquenz, *SCA Mannheim Chemical recovery-an expert report on the emission situation including possibilities for improvement*, 2007.
- [278]Wickstroem, 'Membrane process in gallowes Stora Nymoella to go 'green'', *Symposium Tappi nt. Zmniejszania Wycieków z Celulozowni, Październik 23-24, 1997,1997, San Francisco*.
- [279]TNO, 'Membrane technology in the pulp and paper industry', *Cost Action E14 "W stronę Likwidacji Odpadów Płynnych w dostarczaniu włókna dla wytwarzania papieru"*, 5 listopada 1999, 1999, Madryt, Hiszpania
- [280]Wickstroem, 'Pretreatment of wastewater from the oxygen stages in an ultrafiltration plant followed by aerobic treatment of the total effluent ', *Korespondencja prywatna* 2009.
- [281]Project Paper BREF, *Technical guidelines (water management concept) for paper makers in European regions with difficult boundary conditions on how to operate mills with minimum water use*, 2002.

*Europe Direct* to usługa, która pomaga znaleźć odpowiedzi na pytania na temat Unii Europejskiej

Bezpłatny Numer Telefonu (\*): 0080067891011

(\*)Niektórzy operatorzy komórkowi nie zezwalają na połączenia pod numery 008000 lub mogą pobierać za nie opłaty.

Wiele dodatkowych informacji na temat Unii Europejskiej dostępnych jest przez internet na serwerze:

<http://europa.eu>.

Jak uzyskać dostęp do publikacji Unii Europejskiej?

Nasze publikacje dostępne są w EUBookshop (<http://bookshop.europa.eu>), gdzie można złożyć zamówienie u dowolnego agenta sprzedaży.

Urząd Publikacji posiada światową sieć agentów sprzedaży. Informacje o szczegółach kontaktu można otrzymać wysyłając faks po numer (352)2929-42758.

Komisja Europejska

**EUR27235EN - Wspólne Centrum Badawcze-Institut Perspektywicznych Studiów Technologicznych**

Tytuł: Najlepsze Dostępne Techniki (BAT) Dokument referencyjne dla produkcji mas włóknistych, papieru i tektury

Autorzy: Michael Suhr, Gabriele Klein, Ioanna Kourti, Miguel Rodrigo Gonzalo, Germán Giner Santonja, Serge Roudier, Luis Delgado Sancho

Luksemburg: Urząd Publikacji Unii Europejskiej  
2015–901pp.–21.0x29.7cm

EUR–Seria Badań Naukowo-Technicznych –ISSN1831-9424 (online) ISBN978-92-79-48167-3(PDF)

Data wydania:10.2791/370629

## Misja JRC

Misją Wspólnego Centrum Badawczego jako służby naukowej Komisji jest zapewnienie polityce UE niezależnego wsparcia w całym cyklu politycznym, opartego na dowodach naukowych i technicznych.

Działając we ścisłej współpracy z dyrekcjami generalnymi, JRC odnosi się do kluczowych wyzwań społecznych, przy jednoczesnym pobudzaniu innowacji poprzez tworzenie nowych metod, narzędzi oraz norm i dzielenia się swoją fachową wiedzą z Państwami Członkowskimi, środowiskiem naukowym i partnerami międzynarodowymi.

*Służba społeczeństwu*

Data wydania: 10.2791/370629

ISBN 978-92-79-48167-3