

Dokument referencyjny WCB

Dokument referencyjny dotyczący najlepszych dostępnych technik (BAT) w zakresie produkcji szkła

Dyrektywa w sprawie emisji przemysłowych
2010/75/UE (Zintegrowane zapobieganie
zanieczyszczeniom i ich kontrola)

SCALET Bianca
Maria, GARCIA
MUÑOZ Marcos,
5155A Aivi Querol,
ROUDIER Serge,
DELGADO
SANCHO Luis
2013



Komisja Europejska
Wspólne Centrum Badawcze
Instytut Perspektywicznych Studiów Technologicznych

Dane kontaktowe

Europejskie biuro IPPC

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

Faks: +34 95 4488 426

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

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

Niniejsza publikacja to dokument referencyjny Wspólnego Centrum Badawczego Komisji Europejskiej

Informacje prawne

Na podstawie decyzji Komisji z dnia 12 grudnia 2011 w sprawie ponownego wykorzystywania dokumentów Komisji (2011/833/UE) niniejszy dokument referencyjny podlega nieodpłatnemu ponownemu wykorzystaniu, z wyjątkiem fragmentów objętych prawami stron trzecich (takich jak rysunki, tabele, dane, materiał pisemny i analogiczne materiały, do których prawa w zakresie dalszego wykorzystania trzeba nabyć osobno od odpowiednich właścicieli). Komisja Europejska nie ponosi odpowiedzialności za jakiegokolwiek konsekwencje wynikające z ponownego wykorzystania niniejszej publikacji. W każdym przypadku ponownego wykorzystania należy podać źródło materiałów i nie wolno zmieniać oryginalnego znaczenia lub przesłania.

Europe Direct to służba udzielająca pomocy przy poszukiwaniu odpowiedzi na pytania dotyczące Unii Europejskiej.

Bezpłatny numer kontaktowy(*): 00 800 6 7 8 9 10 11

(* Niektórzy operatorzy telefonów komórkowych nie zezwalają na połączenia z numerami zaczynającymi się od cyfr 00 800 lub w przypadku takich połączeń mogą być naliczane koszty.

Wiele dodatkowych informacji na temat Unii Europejskiej można znaleźć w internecie. Dostęp do nich można uzyskać za pośrednictwem serwera Europa <http://europa.eu/>.

JRC 78091

EUR 25786 EN

ISBN 978-92-79-28284-3 (pdf)

ISBN 978-92-79-28285-0 (druk)

ISSN 1831-9424 (online)

ISSN 1018-5593 (druk)

doi: 10.2791/69502

Luksemburg: Urząd Publikacji Unii Europejskiej, 2013

© European Union, 2013

Zezwala się na reprodukcję niniejszej publikacji pod warunkiem podania źródła.

Wydrukowano w Hiszpanii.

Dokument referencyjny dotyczący najlepszych dostępnych technik (BAT) w zakresie produkcji szkła

Dyrektywa 2010/75/UE w sprawie emisji przemysłowych
(zintegrowane zapobieganie zanieczyszczeniom i ich kontrola)

Autorzy:

SCALET Bianca Maria,
GARCIA MUÑOZ Marcos,
SISSA Aivi Querol,
ROUDIER Serge,
DELGADO SANCHO Luis

2013

UR 25786 EN

Podziękowania

Niniejszy raport opracowało przez Europejskie Biuro Zintegrowanego Zapobiegania Zanieczyszczeniom i ich Kontroli (EIPPCB) przy Wspólnotowym Centrum Badawczym Komisji Europejskiej – Instytut Perspektywicznych Studiów Technologicznych (IPTS), działające pod nadzorem Pana Serge'a Roudiera (Kierownika europejskiego biura IPPC) i Luisa Delgado (szefa Działu „Zrównoważona Produkcja i Konsumpcja”).

Głównym autorem niniejszego dokumentu referencyjnego z EIPPCB była Pani Bianca Maria Scalet. Pracę rozpoczął Pan Marcos García Muñoz i Pani Aivi Sissa Queirolo.

Niniejszy dokument sporządzono w ramach wdrażania dyrektywy w sprawie emisji przemysłowych (2010/75/UE) i odzwierciedla on wymianę informacji przeprowadzoną zgodnie z art. 13 dyrektywy w sprawie emisji przemysłowych, w odniesieniu do produkcji szkła.

W wymianie informacji uczestniczyły państwa członkowskie (Belgia, Bułgaria, Dania, Niemcy, Irlandia, Hiszpania, Francja, Włochy, Luksemburg, Węgry, Niderlandy, Austria, Polska, Portugalia, Rumunia, Finlandia, Szwecja, Wielka Brytania), stowarzyszenia przemysłowe reprezentujące europejskich producentów szkła (CPIV, FEVE, Glass for Europe, APFE, European Domestic Glass, ESGA, EURIMA, ECFIA, ANFFECC) i Ökopol reprezentujący Europejskie Biuro Ochrony Środowiska.

Cały zespół EIPPCB miał swój wkład w opracowywanie niniejszego dokumentu oraz prowadził jego recenzję.

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

Dokument referencyjny dotyczący najlepszych dostępnych technik...	Kod
Przemysłu ceramiczny	CER
Wspólne systemy oczyszczania ścieków i gazów odlotowych oraz zarządzanie nimi w sektorze chemicznym	CWW
Emisje z miejsc składowania	EFS
Efektywność energetyczna	ENE
Przemysł przetwórstwa metali żelaznych	FMP
Przemysł spożywczy, napojów i mleczarski	FDM
Przemysłowe systemy chłodzenia	ICS
Intensywny chów drobiu i świń	IRPP
Produkcja żelaza i stali	IS
Duże obiekty energetycznego spalania	LCP
Wielkotonażowa produkcja związków nieorganicznych – amoniaku, kwasów i nawozów	LVIC-AAF
Wielkotonażowa produkcja związków nieorganicznych – stałych i innych	LVIC-S
Wielkotonażowa produkcja związków organicznych	LVOC
Gospodarowanie skałą płonną oraz odpadami przerobczymi pochodzącymi z działalności	MTWR
<i>Przemysł szklarski</i>	<i>GLS</i>
Produkcja związków organicznych głęboko przetworzonych	OFC
Przemysł metali nieżelaznych	NFM
Produkcja cementu, wapna i tlenku magnezu	CLM
Przemysł chloro-alkaliczny	CAK
Produkcja polimerów	POL
Produkcja związków nieorganicznych specjalnego przeznaczenia	SIC
Przemysł celulozowo-papierniczy	PP
Rafineria olejów mineralnych i gazu	REF
Rzeźnie i przemysł produktów ubocznych pochodzenia zwierzęcego	SA
Kuźnie i odlewnie	SF
Powierzchniowa obróbka metalu i materiałów z tworzyw sztucznych	STM
Obróbka powierzchniowa z wykorzystaniem rozpuszczalników organicznych	STS
Garbowanie skór	TAN
Przemysł tekstylny	TXT
Spalarnie odpadów	WI
Przemysł przetwarzania odpadów	WT
Konserwacja drewna i produktów z drewna produktami chemicznymi	WPC
Produkcja płyt drewnopochodnych	WBP
Dokument referencyjny...	
Ekonomika i efekty wzajemnych powiązań pomiędzy różnymi komponentami środowiska	ECM
Ogólne zasady monitoringu	MON

Elektroniczne wersje projektu i końcowych wersji tych dokumentów są publicznie dostępne i można je pobrać ze strony: <http://eippcb.irc.ec.europa.eu/>.

WSTĘP

1. Status dokumentu

Jeśli nie określono inaczej, wszystkie odniesienia do dyrektywy znajdującej się w tym dokumencie dotyczą dyrektywy 2010/75/UE Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie emisji przemysłowych (zintegrowane zapobieganie zanieczyszczeniom i ich kontrola) (wersja przekształcona).

Dokument referencyjny (BREF) dotyczący oryginalnych najlepszych dostępnych technik (BAT) w zakresie produkcji szkła został przyjęty przez Komisję Europejską w 2001 roku. Niniejszy dokument powstał w wyniku przeglądu oryginalnego dokumentu referencyjnego (BREF), który rozpoczął się w kwietniu 2006 r.

Niniejszy Dokument referencyjny dotyczący najlepszych dostępnych technik (BAT) w zakresie produkcji szkła stanowi część serii dokumentów odzwierciedlających wyniki wymiany informacji pomiędzy państwami członkowskimi Unii Europejskiej, zainteresowanymi branżami, organizacjami pozarządowymi promującymi ochronę środowiska oraz Komisją w celu opracowania, dokonania przeglądu oraz, w razie potrzeby, aktualizacji dokumentów referencyjnych BAT zgodnie z art. 13 ust. 1 dyrektywy. Niniejszy dokument został opublikowany przez Komisję Europejską zgodnie z art. 13 ust. 6 dyrektywy.

Na podstawie art. 13 ust. 5 dyrektywy decyzja wykonawcza Komisji 2012/134/UE ustanawiającej konkluzje dotyczące najlepszych dostępnych technik (BAT) zawartych w rozdziale 5 została przyjęta dnia 28 lutego 2012 r. i opublikowana w dniu 8 marca 2012 r.¹

2. Uczestnicy wymiany informacji

Zgodnie z wymogami art. 13 ust. 3 dyrektywy w celu promowania wymiany informacji Komisja ustanawia forum złożone z przedstawicieli państw członkowskich, zainteresowanych branż i organizacji pozarządowych promujących ochronę środowiska (decyzja Komisji z dnia 16 maja 2011 ustanawiająca forum wymiany informacji na mocy artykułu 13 Dyrektywy 2010/75/UE w sprawie emisji przemysłowych (2011/C 146/03), Dz.Urz. C 146 z 17.05.2011, str. 3).

Członkowie Forum wyznaczają ekspertów technicznych tworzących techniczną grupę roboczą będącą głównym źródłem informacji potrzebnych do przygotowania niniejszego dokumentu. Prace technicznej grupy roboczej były prowadzone przez europejskie biuro IPPC (Wspólne Centrum Badawcze Komisji).

3. Struktura i treść dokumentu

Rozdziały 1 i 2 zawierają ogólne informacje na temat przemysłu szklarskiego i technik stosowanych w tym sektorze.

Rozdział 3 zawiera dane i informacje dotyczące efektywności środowiskowej czynnych w czasie sporządzania niniejszego dokumentu instalacji z tego sektora w zakresie bieżących emisji, zużycia i charakteru surowców, zużycia wody, wykorzystania energii i wytwarzania odpadów.

W rozdziale 4 bardziej szczegółowo opisano techniki mające na celu zapobieganie lub, jeżeli nie jest to możliwe, zmniejszanie oddziaływania na środowisko instalacji z tego sektora, które uwzględniono przy określaniu BAT.

¹ Dz.Urz. UE L 70, 08.03.2012, s. 1.

W stosownych przypadkach informacje te obejmują poziomy efektywności środowiskowej (np. poziomy emisji i zużycia), które mogą zostać osiągnięte przy zastosowaniu wymienionych technik, związanego z nimi monitorowania i kosztów oraz pozostałe kwestie w zakresie wzajemnych powiązań pomiędzy różnymi komponentami środowiska związane z powyższymi technikami.

W rozdziale 5 przedstawiono wnioski na temat BAT zdefiniowane w art. 3 ust. 12 dyrektywy.

W rozdziale 6 przedstawiono informacje na temat „nowych technik” określonych w art. 3 ust. 14 dyrektywy.

Uwagi końcowe i zalecenia dla przyszłych prac przedstawiono w rozdziale 7.

4. Źródła informacji na temat BAT.

Niniejszy dokument opiera się na informacjach zebranych z wielu źródeł, w szczególności przez techniczną grupę roboczą, którą ustanowiono specjalnie na potrzeby wymiany informacji na mocy art. 13 dyrektywy. Informacje te zostały zebrane i ocenione przez europejskie biuro IPPC (Wspólne Centrum Badawcze), które prowadziło prace mające na celu określenie BAT, kierując się zasadami ekspertyzy technicznej, przejrzystości i neutralności. Z wielką wdzięcznością odnosimy się do pracy wykonanej przez techniczną grupę roboczą oraz wszystkich uczestników procesu opracowywania BAT.

Konkluzje dotyczące BAT opracowano w ramach wielokrotnie powtarzanej procedury, na którą składały się następujące etapy:

- określenie kluczowych zagadnień w zakresie ochrony środowiska w sektorze;
- zbadanie technik najodpowiedniejszych z punktu widzenia powyższych kluczowych zagadnień;
- określenie najlepszych poziomów efektywności środowiskowej na podstawie danych dostępnych w Unii Europejskiej i na świecie;
- zbadanie warunków, w jakich osiągnięto powyższe poziomy efektywności środowiskowej, takich jak koszty, efekty wzajemnych powiązań pomiędzy różnymi komponentami środowiska, a także główne przesłanki stojące za wdrożeniem danych technik;
- wybór najlepszych dostępnych technik (BAT), związanych z nimi poziomów emisji (i inne poziomy efektywności środowiskowej) oraz ich monitorowanie w tym sektorze zgodnie z art. 3 ust. 10 oraz z załącznikiem III do dyrektywy.

Kluczową rolę na każdym z tych etapów odgrywała opinia ekspertów z europejskiego biura IPPC i technicznej grupy roboczej, którzy również odpowiadają za sposób przedstawienia informacji w niniejszym dokumencie.

W miarę możliwości dane ekonomiczne zostały podane wraz z opisem technik przedstawionych w rozdziale 4. Dane te dają ogólne pojęcie o poziomie kosztów operacyjnych i korzyści. Jednak rzeczywisty koszt wdrożenia danej techniki może zależeć w znacznym stopniu od konkretnej sytuacji odnoszącej się do danej instalacji, której nie da się kompleksowo ocenić w tym dokumencie. W razie braku danych dotyczących kosztów wnioski odnoszące się do ekonomicznej użyteczności technik zostały sformułowane na podstawie obserwacji istniejących instalacji.

5. Przegląd dokument referencyjny BAT (BREF)

BAT jest dynamiczną koncepcją, a przegląd BREF jest procesem ciągłym. Na przykład, mogą pojawić się nowe działania i techniki, nauka i technologie stale się rozwijają, a nowe i pojawiające się procesy są wprowadzane do przemysłu z dobrym

skutkiem. W celu odzwierciedlenia tych zmian i ich konsekwencji dla BAT niniejszy dokument będzie okresowo poddawany przeglądowi i w razie potrzeby odpowiednio aktualizowany.

6. Dane kontaktowe

Wszelkie uwagi i sugestie należy kierować do europejskiego biura IPPC w Instytucie Perspektywicznych Studiów Technologicznych na następujący adres:

European Commission
Institute for Prospective Technological Studies
European IPPC Bureau
Edificio Expo
c/ Inca Garcilaso, 3
E-41092 Seville, Spain
Telephone: +34 95 4488 284
Fax: +34 95 4488 426
E-mail: JRC-IPTS-EIPPCB@ec.europa.eu
Internet: <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu>

Dokument referencyjny dotyczący najlepszych dostępnych technik (BAT) w zakresie produkcji szkła

WSTĘP.....	6
ZAKRES	27
1 INFORMACJE OGÓLNE.....	28
1.1 Struktura przemysłu szklarskiego	28
1.2 Wprowadzenie	29
1.2.1 Charakterystyka szkła	32
1.2.2 Ogólna klasyfikacja rodzajów szkła	33
1.2.3 Historia produkcji szkła	34
1.3 Szkło opakowaniowe	36
1.3.1 Opis sektora	36
1.3.2 Produkty i rynki zbytu	38
1.3.3 Uwarunkowania handlowe i finansowe.....	39
1.3.4 Główne kwestie dotyczące ochrony środowiska	40
1.4 Szkło płaskie	40
1.4.1 Opis sektora	40
1.4.2 Produkty i rynki zbytu	42
1.4.3 Uwarunkowania handlowe i finansowe.....	43
1.4.4 Główne kwestie dotyczące ochrony środowiska	44
1.5 Włókna szklane ciągłe	45
1.5.1 Opis sektora	45
1.5.2 Produkty i rynki zbytu	47
1.5.3 Uwarunkowania handlowe i finansowe.....	47
1.5.4 Główne kwestie dotyczące ochrony środowiska	47
1.6 Szkło gospodarcze	48
1.6.1 Opis sektora	48
1.6.2 Produkty i rynki zbytu.....	50
1.6.3 Uwarunkowania handlowe i finansowe.....	51
1.6.4 Główne kwestie dotyczące ochrony środowiska	52
1.7 Szklą specjalne	53
1.7.1 Opis sektora	53
1.7.2 Produkty i rynki zbytu	54
1.7.3 Uwarunkowania handlowe i finansowe.....	56
1.7.4 Główne kwestie dotyczące ochrony środowiska	57
1.8 Wełna mineralna.....	57
1.8.1 Opis sektora	57
1.8.2 Produkty i rynki zbytu	59
1.8.3 Uwarunkowania handlowe i finansowe.....	59
1.8.4 Główne kwestie dotyczące ochrony środowiska	60
1.9 Wysokotemperaturowa wełna izolacyjna.....	61
1.9.1 Opis sektora	61
1.9.2 Produkty i rynki zbytu	61
1.9.3 Uwarunkowania handlowe	64
1.9.4 Główne kwestie dotyczące ochrony środowiska	64

1.10 Fryty	65
1.10.1 Opis sektora.....	65
1.10.2 Produkty i rynki zbytu	66
1.10.3 Uwarunkowania handlowe	66
1.10.4 Główne kwestie dotyczące ochrony środowiska.....	67
2. Procesy i techniki	68
2.1 Transport materiałów	68
2.2 Topienie szkła	69
2.2.1 Surowce szklotwórcze.....	69
2.2.2 Proces topienia.....	71
2.3 Techniki topienia	74
2.3.1 Piece regeneracyjne.....	76
2.3.2 Konwencjonalny piec rekuperacyjny.....	78
2.3.3 Topienie tlenowo-paliwowe	79
2.3.4 Topienie elektryczne	79
2.3.5 Topienie z wykorzystaniem paliw kopalnych w połączeniu z energią elektryczną.....	80
2.3.6 Okresowe topienie zestawu	81
2.3.7 Specjalne konstrukcje pieców wytopowych	82
2.4 Szkło opakowaniowe	82
2.5 Szkło płaskie	86
2.5.1 Proces produkcji szkła float.....	86
2.5.2 Proces produkcji szkła walcowanego (szkło wzorzyste i zbrojone)	88
2.6 Włókno szklane ciągłe.....	89
2.7 Szkło gospodarcze	91
2.8 Szkło specjalne	94
2.9 Wełna mineralna.....	98
2.9.1 Wełna szklana	98
2.9.2 Wełna skalna	102
2.10 Wysokotemperaturowa wełna izolacyjna (ASW/RCF i AES)	105
2.11 Fryty.....	107
2.11.2 Piece stosowane do wyrobu fryt.....	108
2.11.3 Fryty jako surowiec w produkcji szkliva ceramicznego i emalii	110
3. Aktualne poziomy zużycia i emisji.....	110
3.1 Wprowadzenie.....	110
3.2 Ogólna charakterystyka przemysłu szklarskiego	111
3.2.1 Nakłady produkcyjne	112
3.2.2 Efekty końcowe procesu produkcyjnego.....	114
3.2.2.1 Emisje zanieczyszczeń do powietrza	115
3.2.2.2 Emisje zanieczyszczeń do środowiska wodnego	119
3.2.2.3 Emisje innych odpadów	120
3.2.3 Energia	121
3.2.4 Hałas	126
3.3 Szkło opakowaniowe	126
3.3.1 Nakłady produkcyjne	127
3.3.2 Emisje zanieczyszczeń do powietrza.....	129

3.3.2.1	Surowce.....	129
3.3.2.2	Topienie	129
3.3.2.3	Operacje technologiczne następujące po procesie topienia	141
3.3.3	Emisje zanieczyszczeń do środowiska wodnego	142
3.3.4	Inne odpady.....	143
3.3.5	Energia	143
3.4	Szko płaskie	146
3.4.1	Nakłady produkcyjne.....	147
3.4.2	Emisje zanieczyszczeń do powietrza.....	148
3.4.2.1	Surowce.....	148
3.4.2.2	Topienie	148
3.4.2.3	Operacje technologiczne następujące po procesie topienia	151
3.4.3	Emisje zanieczyszczeń do środowiska wodnego	151
3.4.4	Inne odpady.....	152
3.4.5	Energia	152
3.5	Włoko szklane ciagle.....	153
3.5.1	Procesowy materiały wejściowe.....	155
3.5.2	Emisje do powietrza.....	156
3.5.2.1	Surowce.....	156
3.5.2.2	Topienie	156
3.5.2.3	Działania końcowe	158
3.5.2.4	Rozproszone/niezorganizowane emisje	158
3.5.3	Emisje do wody	159
3.5.4	Pozostałe odpady	161
3.5.5	Energia	161
3.6	Szko gospodarcze	162
3.6.1	Procesowe materiały wejściowe	164
3.6.2	Emisje do powietrza.....	165
3.6.2.1	Surowce.....	165
3.6.2.2	Topienie	165
3.6.2.3	Końcowe działania.....	166
3.6.2.4	Rozproszone/ulotne emisje	167
3.6.3	Emisje do wody	167
3.6.4	Pozostałe odpady	168
3.6.5	Energia	168
3.7	Szko specjalne	169
3.7.1	Produkcyjne (procesowe) materiały wejściowe	170
3.7.2	Emisje do powietrza.....	171
3.7.2.1	Surowce.....	171
3.7.2.2	Topienie	172
3.7.2.3	Działania końcowe	172
3.7.2.4	Rozproszone/ulotne emisje	172

3.7.3	Emisje do wody	173
3.7.4	Pozostałe odpady	173
3.7.5	Energia	173
3.8	Wetna mineralna.....	174
3.8.1	Procesowe materiały wejściowe	174
3.8.2	Emisje do powietrza.....	175
3.8.2.1	Surowce.....	176
3.8.2.2	Topienie	177
3.8.2.3	Działania końcowe	184
3.8.2.4	Rozproszone/ulotne emisje	185
3.8.3	Emisje do wody	186
3.8.4	Pozostałe odpady	186
3.8.5	Energia.....	187
3.9	Wetny do izolacji wysokotemperaturowej (High Temperature Insulation Wools) 188	
3.9.1	Procesowe materiały wejściowe	188
3.9.2	Emisje do powietrza.....	189
3.9.2.1	Surowce.....	189
3.9.2.2	Topienie	189
3.9.2.3	Działania końcowe	189
3.9.2.4	Rozproszone/niezorganizowane emisje	189
3.9.3	Emisje do wody	190
3.9.4	Pozostałe odpady	190
3.9.5	Energia	190
3.10	Fryty.....	191
3.10.1	Procesowe materiały wejściowe	191
3.10.2	Emisje do powietrza.....	192
3.10.2.1	Surowce.....	192
3.10.2.2	Topienie	192
3.10.2.3	Działania końcowe	194
3.10.2.4	Rozproszone/ulotne emisje	194
3.10.3	Emisje do wody	194
3.10.4	Pozostałe odpady	194
3.10.5	Energia	195
4	TECHNIKI, KTÓRE NALEŻY ROZWAŻYĆ PRZY USTALANIU BAT	195
4.1	Wstęp	195
4.2	Dobór techniki topienia	198
4.2.1	Topienie elektryczne	201
4.2.2	Obsługa i konserwacja pieców	207
4.3	Techniki przechowywania i postępowania z materiałami.....	209
4.3.1	Techniki przechowywania materiałów	209
4.3.2	Techniki postępowania z durowcami	210
4.4	Techniki kontrolowania emisji do powietrza z procesu topienia	211
4.4.1	Pył zawieszony	211

4.4.1.1	Techniki pierwotne	215
4.4.1.2	Filtry elektrostatyczne.....	220
4.4.1.3	Filtry workowe.....	232
4.4.1.4	Kolektory mechaniczne.....	241
4.4.1.5	Środki filtrujące w wysokich temperaturach.....	242
4.4.1.6	Płuczki wodne	243
4.4.2	Tlenki azotu (NO _x)	244
4.4.2.1	Modyfikacje procesu spalania.....	245
4.4.2.2	Przygotowanie zestawu.....	252
4.4.2.3	Specjalne konstrukcje pieców	254
4.4.2.4	Proces FENIX	256
4.4.2.5	Topienie tlenowo-paliwowe.....	259
4.4.2.6	Chemiczna redukcja paliwem	273
4.4.2.7	Selektywna redukcja katalityczna (SCR).....	278
4.4.2.8	Selektywna redukcja niekatalityczna (SNCR).....	289
4.4.3	Tlenek siarki (SO _x).....	292
4.4.3.1	Wybór paliwa.....	293
4.4.3.2	Zmiany w zestawie szklarskim.....	294
4.4.3.3	Oczyszczanie na sucho lub pół-sucho.....	296
4.4.3.4	Oczyszczanie na mokro.....	307
4.4.4	Fluorki (HF) i chlorki (HCl)	310
4.4.4.1	Redukcja u źródła.....	311
4.4.4.2	Techniki oczyszczania	313
4.4.5	Tlenki węgla.....	313
4.5	Techniki kontroli emisji do powietrza z czynności innych niż topienie	314
4.5.1	Szkło opakowaniowe	314
4.5.2	Szkło płaskie	315
4.5.3	Włókna szklane ciągłe.....	316
4.5.4	Szkło gospodarcze	317
4.5.5	Szkło specjalne	317
4.5.6	Wetna mineralna.....	318
4.5.6.1	Obszar formowania	318
4.5.6.2	Komora polimeryzacyjna	329
4.5.6.3	Schładzanie produktu.....	334
4.5.6.4	Obróbka i pakowanie produktu.....	335
4.5.6.5	Wyziewy powstające przy produkcji wetny mineralnej	335
4.5.7	Wysokotemperaturowe wetny izolacyjne	339
4.5.8	Fryty.....	341
4.6	Techniki kontroli emisji do wody	341
4.7	Techniki minimalizacji ilości pozostałych odpadów.....	344
4.8	Energia	346

4.8.1	Techniki topienia a konstrukcja pieca	348
4.8.2	Kontrola spalania oraz dobór paliwa	350
4.8.3	Zastosowanie stłuczki.....	351
4.8.4	Kotły odzysknicowe.....	353
4.8.5	Wstępne podgrzewanie zestawu i stłuczki	356
4.9	Systemy zarządzania środowiskiem.....	360
5	KONKLUZJE DOTYCZĄCE BAT W ODNIESIENIU DO PRODUKCJI SZKŁA	364
	ZAKRES	364
	DEFINICJE	364
	INFORMACJE OGÓLNE	365
	Okresy uśredniania i warunki referencyjne dla emisji do powietrza.....	365
	Przeliczanie na referencyjne stężenie tlenu	366
	Przeliczanie stężeń na jednostkowe emisje masowe	366
	DEFINICJE NIEKTÓRYCH CZYNNIKÓW ZANIECZYSZCZENIA POWIETRZA	367
	OKRESY UŚREDNIANIA DLA ZRZUTÓW ŚCIEKÓW	367
5.1	Ogólne konkluzje dotyczące BAT dla produkcji szkła.....	368
5.1.1	Systemy zarządzania środowiskowego.....	368
5.1.2	Efektywność energetyczna.....	368
5.1.3	Magazynowanie i przygotowanie surowców	369
5.1.4	Podstawowe techniki ogólne	370
5.1.5	Emisje do wody z procesów produkcji szkła.....	373
5.1.6	Odpady z procesów produkcji szkła.....	375
5.2	Konkluzje dotyczące BAT dla wytwarzania szkła opakowaniowego	376
5.2.1	Emisje pyłu z pieców do topienia.....	376
5.2.2	Tlenki azotu (NO _x) z pieców do topienia	376
5.2.3	Tlenki siarki (SO _x) z pieców do topienia	378
5.2.4	Chlorowodór (HCl) i fluorowodór (HF) z pieców do topienia	379
5.2.5	Metale z pieców do topienia	380
5.2.6	Emisje z procesów końcowych.....	380
5.3	Konkluzje dotyczące BAT dla wytwarzania szkła płaskiego	382
5.3.1	Emisje pyłu z pieców do topienia	382
5.3.2	Tlenki azotu (NO _x) z pieców do topienia	382
5.3.3	Tlenki siarki (SO _x) z pieców do topienia	384
5.3.4	Chlorowodór (HCl) i fluorowodór (HF) z pieców do topienia	385
5.3.5	Metale z pieców do topienia.....	385
5.3.6	Emisje z procesów końcowych.....	386
5.4	Konkluzje dotyczące BAT dla produkcji włókna szklanego ciągłego.....	387
5.4.1	Emisje pyłu z pieców do topienia	387
5.4.2	Tlenki azotu (NO _x) z pieców do topienia.....	388
5.4.3	Tlenki siarki (SO _x) z pieców do topienia	389
5.4.4	Chlorowodór (HCl) i fluorowodór (HF) z pieców do topienia	389
5.4.5	Metale z pieców do topienia	390
5.4.6	Emisje z procesów końcowych	391
5.5	Konkluzje dotyczące BAT dla produkcji szkła gospodarczego.....	391
5.5.1	Emisje pyłu z pieców do topienia.....	391
5.5.2	Tlenki azotu (NO _x) z pieców do topienia.....	392

5.5.3 Tlenki siarki (SO _x) z pieców do topienia	394
5.5.4 Chlorowodór (HCl) i fluorowodór (HF) z pieców do topienia.....	394
5.5.5 Metale z pieców do topienia	395
5.5.6 Emisje z procesów końcowych	397
5.6 Konkluzje dotyczące BAT dla produkcji szkła specjalnego	398
5.6.1 Emisje pyłu z pieców do topienia.....	398
5.6.2. Tlenki azotu (NO _x) z pieców do topienia.....	398
5.6.3 Tlenki siarki (SO _x) z pieców do topienia	400
5.6.4 Chlorowodór (HCl) i fluorowodór (HF) z pieców do topienia.....	401
5.6.5 Metale z pieców do topienia	402
5.6.6 Emisje z procesów końcowych	402
5.7 Konkluzje dotyczące BAT dla produkcji wełny mineralnej	403
5.7.1 Emisje pyłu z pieców do topienia.....	403
5.7.2. Tlenki azotu (NO _x) z pieców do topienia.....	404
5.7.3 Tlenki siarki (SO _x) z pieców do topienia	405
5.7.4 Chlorowodór (HCl) i fluorowodór (HF) z pieców do topienia.....	406
5.7.5 Siarkowodór (H ₂ S) z pieców do topienia wełny skalnej	407
5.7.6 Metale z pieców do topienia	407
5.7.7 Emisje z procesów końcowych	407
5.8 Konkluzje dotyczące BAT dla produkcji wysokotemperaturowej wełny izolacyjnej (HTIW) 409	
5.8.1 Emisje pyłu z topienia i procesów końcowych	409
5.8.2 Tlenki azotu (NO _x) z topienia i procesów końcowych	410
Tlenki siarki (SO _x) z topienia i procesów końcowych.....	411
5.8.4 Chlorowodór (HCl) i fluorowodór (HF) z pieców do topienia	411
5.8.5 Metale z pieców do topienia i procesów końcowych.....	411
5.8.6 Lotne związki organiczne z procesów końcowych.....	412
5.9 Konkluzje dotyczące BAT dla produkcji fryt.....	412
5.9.1 Emisje pyłu z pieców do topienia	412
5.9.2. Tlenki azotu (NO _x) z pieców do topienia.....	413
5.9.3 Tlenki siarki (SO _x) z pieców do topienia	414
5.9.4 Chlorowodór (HCl) i fluorowodór (HF) z pieców do topienia	415
5.9.5 Metale z pieców do topienia	415
5.9.6 Emisje z procesów końcowych	416
Słowniczek:	416
5.10 Opis technik	416
5.10.1 Emisje pyłu	416
5.10.2 Emisje NO _x	417
5.10.3 Emisje SO _x	418
5.10.4 Emisje HCl, HF	418
5.10.5 Emisje metali.....	419
5.10.6 Łączone emisje gazowe (np. SO _x , HCl, HF, związki boru)	419
5.10.7 Łączone emisje (ciało stałe + gaz)	420
5.10.8 Emisje z operacji cięcia, szlifowania, polerowania	420
5.10.9 Emisje H ₂ S, lotnych związków organicznych.....	420
5.10.10 Emisje pyłu	421
5.10.11 Emisje NO _x	421

5.10.12	Emisje SO _x	422
5.10.13	Emisje HCl, HF	422
5.10.14	Emisje metali.....	423
5.10.15	Łączone emisje gazowe (np. SO _x , HCl, HF, związki boru)	424
5.10.16	Łączone emisje (ciało stałe + gaz)	424
5.10.17	Emisje z operacji cięcia, szlifowania, polerowania.....	424
5.10.18	Emisje H ₂ S, lotnych związków organicznych	425
6	NOWE TECHNIKI	426
6.1	Glas Flox ® System spalania w wysokiej temperaturze	426
6.2	Zaawansowane podgrzewacze do stłuczki szklanej i wsadu	427
6.2.1	Projekt PRECIOUS.....	427
6.2.2	Projekt PRAXAIR BCP	427
6.3	Nowe preparaty produktu	429
6.4	Wtrysk odpadów w procesie produkcji wełny skalnej	430
6.5	Technologia topienia ze spalaniem pod powierzchnią	431
6.6	Przetwarzanie spalin z udziałem suchego wodorowęglanu sodu i waloryzacji chemicznej pozostałości przetwarzania gazu.....	433
6.7	Stosowanie ceramicznych i katalityczno-ceramicznych filtrów do usuwania wielu zanieczyszczeń z procesowych gazów odlotowych.....	435
6.8	Filtr elektrostatyczny NASU dla nanocząstek	437
6.9	Technologia płuczki opartej o naładowaną chmurę	438
7	KOŃCOWE UWAGI I ZALECENIA W ODNIESIENIU DO PRZYSZŁYCH PRAC	441
8	ZAŁĄCZNIKI	445
8.1	Załącznik I: Metoda szacowania kosztów kontroli zanieczyszczenia powietrza oraz wzajemnych powiązań pomiędzy różnymi komponentami środowiska.....	445
8.1.1	Koszty uwzględnione w wycenie ekonomicznej	446
8.1.2	Porównanie kosztów różnych technologii	448
8.1.3	Dane dotyczące kosztów kontroli zanieczyszczenia powietrza	448
8.1.4	Podział kosztów kontroli zanieczyszczenia powietrza w systemach łączonych, z uwzględnieniem więcej niż jednego czynnika zanieczyszczającego	449
8.1.5	Efekty wzajemnych powiązań pomiędzy różnymi komponentami środowiska (ang. cross-media effects).....	450
8.1.6	Przykładowe obliczenie kosztów	451
8.1.7	Dane dotyczące kosztów systemów kontroli zanieczyszczenia powietrza stosowanych w odniesieniu do pieców szklarskich	454
8.2	Załącznik II: Przykładowe bilanse siarki dla przemysłowych pieców szklarskich	476
8.3	Załącznik III: Monitorowanie emisji.....	480
8.3.1	Główne czynniki zanieczyszczające	481
8.3.2	Monitorowanie emisji	482
8.4	Załącznik IV: Obliczanie przeliczników na potrzeby przeliczania stężeń na emisje masowe	489
	SŁOWNIK.....	492
	BIBLIOGRAFIA	497

Spis tabel

Tabela 1.1: Przybliżony podział produkcji przemysłu szklarskiego na sektory dla lat 1996 (UE-15) i 2005 (UE-25)	31
Tabela 1.2: Rozmieszczenie instalacji do produkcji szkła opakowaniowego oraz wielkość produkcji w państwach członkowskich	37
Tabela 1.3: Liczba instalacji produkujących szkło opakowaniowe w określonych przedziałach wydajności produkcji	37
Tabela 1.4: Właściciele i lokalizacja wanien float w UE-27 w roku 2007	41
Tabela 1.5: Joint ventures posiadające wanny float w UE-27 w 2007 r.	41
Tabela 1.6: Liczba wanien float w państwach członkowskich UE-27 w 2007 r.	41
Tabela 1.7: Udział procentowy w określonych przedziałach wydajności produkcji szkła float	42
Tabela 1.8: Szacowany rozwój wykorzystania zdolności produkcyjnych oraz nadwyżki produkcji szkła float w UE-27	43
Tabela 1.9: Liczba pieców i instalacji do produkcji włókien ciągłych w państwach członkowskich	46
Tabela 1.10: Liczba pieców do produkcji włókien ciągłych w określonych przedziałach zdolności produkcyjnej	46
Tabela 1.11: Liczba i rozmieszczenie instalacji IPPC produkujących szkło gospodarcze w państwach członkowskich w 2006r.	49
Tabela 1.12: Liczba instalacji do produkcji szkła gospodarczego w określonych przedziałach wydajności produkcji w 2006 r. (szacunkowa)	49
Tabela 1.13: Podział sektora szkieł specjalnych w roku 2005	54
Tabela 1.14: Rozmieszczenie geograficzne głównych zakładów produkcji szkieł specjalnych w UE	55
Tabela 1.15: Koszty inwestycyjne związane z instalacjami do produkcji szkieł specjalnych	56
Tabela 1.16: Liczba instalacji do produkcji wełny mineralnej w UE-27	58
Tabela 1.17: Liczba instalacji do produkcji wełny mineralnej w określonych przedziałach wydajności produkcji	58
Tabela 1.18: Rozmieszczenie instalacji HTIW w państwach członkowskich	61
Tabela 1.19: Rozmieszczenie instalacji do produkcji fryt o całkowitej zdolności produkcyjnej wynoszącej ponad 20 ton dziennie (szacunek na rok 2008)	65
Tabela 1.20: Liczba instalacji produkujących fryty w Hiszpanii w określonych przedziałach wydajności produkcji (szacunkowa)	65
Tabela 2.1: Najważniejsze surowce szklotwórcze	69
Tabela 2.2: Pierwiastki stosowane do barwienia szkła krzemianowego	70
Tabela 2.3: Szacunkowe zestawienie typów pieców w UE w 2005 roku (dla instalacji >20 t/dobę)	75
Tabela 2.4: Typowy skład szkła opakowaniowego	83
Tabela 2.5: Typowy skład szkła płaskiego sodowo-wapniowego- krzemowego	86
Tabela 2.6: Typowy skład szkła E dla produktów z włókna szklanego przeznaczonych do ogólnego zastosowania	89
Tabela 2.7: Typowy skład szkła E dla produktów z jedwabiu włókna szklanego stosowanych w płytach drukowanych i lotnictwie	89
Tabela 2.8: Składy chemiczne głównych produktów sektora szkła specjalnego	97
Tabela 2.9: Typowy skład wełny mineralnej	98
Tabela 2.10: Typowy skład chemiczny wełny ASW/RCF i AES wyrażony jako procent masy	105
Tabela 3.1: Surowce powszechnie stosowane w przemyśle szklarskim	112

Tabela 3.2: Warunki odniesienia dla danych dotyczących emisji.....	116
Tabela 3.3: Zestawienie emisji zanieczyszczeń pochodzących z procesu topienia.....	116
Tabela 3.4: Klasyfikacja metali i ich związków	117
Tabela 3.5: Potencjalne emisje metali ciężkich z procesu topienia bez zastosowania urządzeń ograniczających emisję.....	118
Tabela 3.6 Teoretyczne zapotrzebowanie na energię do topienia najbardziej popularnych szkieł z zestawów bez użycia zewnętrznej stłuczki	122
Tabela 3.7 Przykłady typowej dystrybucji energii wytworzonej przy produkcji najbardziej powszechnego szkła przemysłowego.	123
Tabela 3.8: Przykłady jednostkowego zużycia energii dla szeregu pieców szklarskich.....	125
Tabela 3.9: Nakłady produkcyjne i efekty procesu technologicznego dla branży opakowań szklanych (wartości orientacyjne, dotyczą jednej tony stopionego szkła)	127
Tabela 3.10: Materiały stosowane przy produkcji szkła opakowaniowego	127
Tabela 3.11 Dane statystyczne dotyczące rozmiarów i rodzajów pieca pochodzące z badania FEVE (wartości za rok 2005).	130
Tabela 3.12 Dane statystyczne dotyczące całkowitej ilości stłuczki używanej przez piece produkujące szkło opakowaniowe. Dane te pochodzą z badań wykonanych przez FEVE dla różnych kolorów szkła (2005).	131
Tabela 3.13 Jednostkowa energia topnienia w piecach różnych typów i rozmiarów na podstawie badań FEVE (2005).....	132
Tabela 3.14: Emisje pyłu z pieców produkujących szkło opakowaniowe z i bez systemu redukcji na podstawie badań FEVE (rok odniesienia 2005)	134
Tabela 3.15 Emisje SO _x z pieców do produkcji szkła opakowaniowego, z i bez systemów redukcji, na podstawie badań FEVE (rok odniesienia 2005).....	136
Tabela 3.16 Emisje NO _x z pieców do produkcji szkła opakowaniowego dla różnych rodzajów paliwa i technologii pieców, na podstawie badań FEVE (rok odniesienia 2005)	137
Tabela 3.17: Emisje HCl i HF dla pieców z i bez systemu redukcji stosowanych w branży opakowań szklanych, w oparciu o badania FEVE (rok odniesienia 2005)	138
Tabela 3.18 Emisje metali z pieców do produkcji szkła opakowaniowego z i bez systemów redukcji, na podstawie badań FEVE (rok odniesienia 2005).....	140
Tabela 3.19: Typowe wartości emisji nie poddanej redukcji powstałej w wyniku uszlachetniania powierzchni szkła opakowaniowego chlorkiem cyny	141
Tabela 3.20: Typowe wartości emisji nie poddanej redukcji powstałej w wyniku uszlachetniania powierzchni szkła opakowaniowego przy użyciu SO ₃	142
Tabela 3.21: Całkowite bezpośrednie zużycie energii (zakład) na tonę produktu, w oparciu o badania FEVE dotyczące produkcji butelek/słoików i szkła perfumeryjnego i aptecznego...	144
Tabela 3.22: Materiały stosowane przy produkcji szkła płaskiego	147
Tabela 3.23 Zestawienie systemów kontroli zanieczyszczeń powietrza (APC) stosowanych w sektorze szkła płaskiego w Europie	149
Tabela 3.24: Poziomy emisji zanieczyszczeń dla pieców wytopowych dla szkła płaskiego bez systemu redukcji oraz dla pieców z instalacją systemu redukcji	150
Tabela 3.25: Przegląd materiałów wejściowych i wyjściowych dla sektora włókna szklanego ciągłego.	154
Tabela 3.26: Materiały wykorzystane we włóknie szkła ciągłego.	155
Table 3.27 Rozkład związków boru w różnych temperaturach i etapach oczyszczania.....	156
Tabela 3.28. Poziomy emisji z pieców do włókno szklanego ciągłego.	157
Tabela 3.29: Przegląd materiałów wejściowych i wyjściowych dla sektora szkła gospodarczego.	163
Tabela 3.30: Materiały wykorzystane w sektorze szkła gospodarczego.....	164
Tabela 3.31. Podsumowanie emisji do atmosfery z pieców do szkła gospodarczego.	166
Tabela 3.32 Typowe stężenie mierzone w punkcie wylotu, po oczyszczaniu	168
Tabela 3.33: Materiały wykorzystane w sektorze szkła specjalnego	170
Tabela 3.34: Więcej szczegółowych informacji znajduje się w materiałach wejściowych dla	

szkła ceramicznego i sodowo-wapniowych rurek szklanych	170
Tabela 3.35: Materiały wykorzystane w sektorze wełny mineralnej.....	174
Tabela 3.36. Ilości gazów odlotowych w głównych procesach w sektorze wełny mineralnej	176
Tabela 3.37 Pełny zakres emisji z pieców do topienia wełny mineralnej w UE-27, w roku 2005	178
Tabela 3.38 Emisje pyłu z elektrycznych i ogrzewanych gazem pieców stosowanych przy produkcji wełny szklanej (rok 2005).....	179
Tabela 3.39 Emisje SO _x z pieców stosowanych do topienia przy produkcji wełny szklanej (rok 2005)	180
Tabela 3.40 Emisje NO _x z pieców stosowanych do topienia przy produkcji wełny szklanej (rok 2005).....	180
Tabela 3.41: Emisje HCl, HF i CO z pieców do topienia do produkcji wełny szklanej	181
Tabela 3.42 Emisje pyłu, SO _x , NO _x , HCl i HF z pieców do topienia stosowanych przy produkcji wełny szklanej (rok 2005).....	182
Tabela 3.43 Emisje H ₂ S, CO, CO ₂ i metali z pieców do topienia stosowanych przy produkcji wełny skalnej (rok 2005)	183
Tabela 3.44 Pełny zakres emisji z działań końcowych w procesach sektora wełny szklanej w roku 2005.....	184
Tabela 3.45 Pełny zakres emisji z działań końcowych w procesach sektora wełny szklanej w roku 2005.....	185
Tabela 3.46: Wytwarzania i utylizacja odpadów stałych w sektorze wełny mineralnej	187
Tabela 3.47 Zużycie energii w produkcji wełny mineralnej	187
Tabela 3.48: Materiały wykorzystane w sektorze wełny do izolacji wysokotemperaturowej	188
Tabela 3.49: Materiały wykorzystane w sektorze produkcji fryty	191
Tabela 3.50 Typowe poziomy emisji z pieców do topienia dla sektorafryt	192
Tabela 3.51: Przykłady poziomu emisji NO _x z instalacji produkującej fryty działających w różnych warunkach spalania i z użyciem różnych preparatów wsadowych.....	193
Tabela 4.1: Informacje na temat każdej techniki opisanej w niniejszym rozdziale.....	195
Tabela 4.2: Główne zalety i wady wytopu elektrycznego.....	203
Tabela 4.3: Przykładowa instalacja dla zastosowania topienia elektrycznego dla szkła gospodarczego sektor (szkło kryształowe i kryształ ołowiowy).....	203
Tabela 4.4: Przykładowa instalacja dla zastosowania wytopu elektrycznego w sektorze szkła specjalnego	206
Tabela 4.5: Główne zalety i wady podstawowych/pierwotnych technik ograniczenia pyłów	219
Tabela 4.6: Główne zalety i wady filtrów elektrostatycznych.....	224
Tabela 4.7: Poziomy emisji pyłów związane z wykorzystaniem filtrów ESP dla przykładowych instalacji	226
Tabela 4.8: Podsumowanie Przykłady rzeczywistych kosztów filtrów elektrostatycznych stosowanych przy produkcji szkła płaskiego, opakowaniowego, szkła specjalnego oraz wełny mineralnej	230
Tabela 4.9: Główne zalety i wady filtrów workowych.....	235
Tabela 4.10: Przykłady rzeczywistych kosztów filtrów workowych stosowanych w sektorze szkła specjalnego w dwóch instalacjach	240
Tabela 4.11: Główne zalety i wady cyklonów.....	242
Tabela 4.12: Główne zalety i wady filtrów funkcjonujących w wysokiej temperaturze.....	243
Tabela 4.13: Główne zalety i wady płuczek wodnych	244
Tabela 4.14: Główne zalety i wady modyfikacji spalania.....	250
Tabela 4.15: Przykłady poziomów emisji NO _x związanych ze stosowaniem modyfikacji procesu spalania	250
Tabela 4.16: Główne zalety i wady topienia szkła w piecach tlenowo-paliwowych.....	265
Tabela 4.17: Poziomy emisji NO _x związane ze stosowaniem tlenowo-paliwowego procesu	

wytapiania w przykładowych instalacjach.....	266
Tabela 4.18: Przykłady kosztów rzeczywistych i szacunkowych wytapiania tlenowo-paliwowego w sektorach szkła opakowaniowego i specjalnego.....	272
Tabela 4.19: Główne zalety i wady technologii 3R	276
Tabela 4.20: Poziomy emisji NO _x związane ze stosowaniem technologii selektywnej redukcji katalitycznej na przykładach	281
Tabela 4.21: Wyniki nieciągłych pomiarów emisji NO _x z pieca do wytapiania szkła float ..	282
Tabela 4.22: Główne zalety i wady technologii selektywnej redukcji katalitycznej	283
Tabela 4.23: Dane dotyczące kosztów związanych ze stosowaniem technologii selektywnej redukcji katalitycznej, przykładowo w odniesieniu do instalacji wytwarzających szkło opakowaniowe, płaskie i specjalne	287
Tabela 4.24: Zakłady wykorzystujące technologię selektywnej redukcji katalitycznej wraz z parametrami operacyjnymi	288
Tabela 4.25: Główne zalety i wady technologii selektywnej redukcji niekatalitycznej.....	290
Tabela 4.26: Orientacyjne zakresy emisji SO _x z pieców do szkła sodowo-wapiennego dla różnych paliw	293
Tabela 4.27. Orientacyjne efektywności absorpcji Ca(OH) ₂ w suchej absorpcji	300
Tabela 4.28: Orientacyjne wskaźniki redukcji SO _x dla suchego oczyszczania z Ca(OH) ₂ ..	300
Tabela 4.29. Orientacyjne wskaźniki redukcji SO _x dla suchego oczyszczania z Na ₂ CO ₃	301
Tabela 4.30: Rzeczywista skuteczność usuwania kwasowych zanieczyszczeń gazowych dla suchego oczyszczania z innego rodzaju odczynnikiem absorpcji i warunkami pracy	301
Tabela 4.31: Orientacyjne wskaźniki redukcji SO _x dla suchego oczyszczania związku Na ₂ CO ₃ :	302
Tabela 4.32: Orientacyjne wskaźniki redukcji SO _x dla pół-suchego oczyszczania z Ca(OH) ₂	302
Tabela 4.33. Główne zalety i wady związane z użyciem suchych i półsuchych technik oczyszczania	304
Tabela 4.34: Poziomy emisji związane z zastosowaniem suchego oczyszczania w połączeniu z systemem filtracji w instalacji przykładowych.....	305
Tabela 4.35: Poziomy emisji związane ze stosowaniem oczyszczania na mokro w piecu elektrycznym do produkcji specjalnego szkła w przykładowej instalacji.	310
Tabela 4.36: Emisje stałe i gazowe z obszaru formowania w instalacji produkcji wełny szklanej, w której stosowany jest mokry ESP	326
Tabela 4.37: Główne zalety i wady mokrych filtrów elektrostatycznych (WESP)	326
Tabela 4.38: Główne zalety i wady stosowania filtrów z wełny skalnej.....	328
Tabela 4.39: Główne zalety i wady spalania gazów odlotowych.....	332
Tabela 4.40: Ogólnie osiągalne wartości dla emisji do powietrza z czynności innych niż topienie w sektorze produkcji wełny mineralnej z zastosowaniem różnych technik.....	337
Tabela 4.41: Koszty inwestycyjne i operacyjne technik redukcji emisji dla czynności innych niż topienie	339
Tabela 4.42: Lista potencjalnych technik oczyszczania ścieków w przemyśle szklarskim....	343
Tabela 4.43: Typowe wartości bezpośredniego zużycia energii osiągnięte poprzez zastosowanie dostępnych technik/środków minimalizujących zużycie energii	347
Tabela 4.44: Przykładowe instalacje, w których kotły odzysknicowe (wymienniki ciepła) stosowane są w różnych sektorach przemysłu szklarskiego.....	354
Tabela 4.45: Przykładowa instalacja stosująca bezpośrednie wstępne podgrzewanie zestawu i stłuczki w piecu do produkcji szkła opakowaniowego.....	359
Tabela 5.1: Warunki referencyjne dla odpowiadających BAT poziomów emisji do powietrza	365
Tabela 5.2: Orientacyjne przeliczniki stosowane przy przeliczaniu mg/Nm ³ na kg/tonę wytopionego szkła w oparciu o efektywność energetyczną.....	367
Tabela 5.3 Odpowiadające BAT poziomy emisji tlenu węgla z pieców do topienia.....	372
Tabela 5.4: Odpowiadające BAT poziomy emisji amoniaku przy zastosowaniu techniki	

Tabela 5.5: Odpowiadające BAT poziomy emisji dotyczące zrzutów ścieków pochodzących z procesu produkcji szkła do wód powierzchniowych.....	374
Tabela 5.6: Odpowiadające BAT poziomy emisji pyłu z pieca do topienia w sektorze szklarki opakowaniowego.....	376
Tabela 5.7: Odpowiadające BAT poziomy emisji NO _x z pieca do topienia w sektorze szklarki opakowaniowego.....	377
Tabela 5.8: Odpowiadające BAT poziomy emisji NO _x z pieca do topienia w sektorze szklarki opakowaniowego w przypadku wykorzystania azotanów w zestawie lub specjalnych warunków spalania utleniającego w przypadku krótkich cykli produkcyjnych lub pieców do topienia o wydajności <100 t/dobę.	378
Tabela 5.9: Odpowiadające BAT poziomy emisji SO _x z pieca do topienia w sektorze szklarki opakowaniowego.....	379
Tabela 5.10: Odpowiadające BAT poziomy emisji HCl i HF z pieca do topienia w sektorze szklarki opakowaniowego.....	379
Tabela 5.11: Odpowiadające BAT poziomy emisji metali z pieca do topienia w sektorze szklarki opakowaniowego.....	380
Tabela 5.12: Odpowiadające BAT poziomy emisji do powietrza z procesów powlekania na gorąco w sektorze szklarki opakowaniowego w przypadku oddzielnego oczyszczania spalin z procesów końcowych.....	381
Tabela 5.13: Odpowiadające BAT poziomy emisji SO _x z procesów końcowych, kiedy SO ₃ jest wykorzystywany w procesach obróbki powierzchniowej w sektorze szklarki opakowaniowego, w przypadku oddzielnego oczyszczania.....	381
Tabela 5.14: Odpowiadające BAT poziomy emisji pyłu z pieca do topienia w sektorze szklarki płaskiego.....	382
Tabela 5.15: Odpowiadające BAT poziomy emisji NO _x z pieca do topienia w sektorze szklarki płaskiego.....	383
Tabela 5.16: Odpowiadające BAT poziomy emisji NO _x z pieca do topienia w sektorze szklarki płaskiego w przypadku wykorzystania azotanów w zestawie do wytwarzania specjalnych rodzajów szkła w ograniczonej liczbie krótkich cykli produkcyjnych.....	384
Tabela 5.17: Odpowiadające BAT poziomy emisji SO _x z pieca do topienia w sektorze szklarki płaskiego.....	385
Tabela 5.18: Odpowiadające BAT poziomy emisji HCl i HF z pieca do topienia w sektorze szklarki płaskiego.....	385
Tabela 5.19: Odpowiadające BAT poziomy emisji metali z pieca do topienia w sektorze szklarki płaskiego, z wyjątkiem szkła barwionego selenem.....	386
Tabela 5.20: Odpowiadające BAT poziomy emisji selenu z pieca do topienia w sektorze szklarki płaskiego w przypadku wytwarzania szkła barwionego.....	386
Tabela 5.21: Odpowiadające BAT poziomy emisji do powietrza z procesów końcowych w sektorze szklarki płaskiego w przypadku oddzielnego oczyszczania.....	387
Tabela 5.22: Odpowiadające BAT poziomy emisji pyłu z pieca do topienia w sektorze włókna szklanego ciągłego.....	388
Tabela 5.23: Odpowiadające BAT poziomy emisji NO _x z pieca do topienia w sektorze włókna szklanego ciągłego.....	388
Tabela 5.24: Odpowiadające BAT poziomy emisji SO _x z pieca do topienia w sektorze włókna szklanego ciągłego.....	389
Tabela 5.25: Odpowiadające BAT poziomy emisji HCl oraz HF z pieca do topienia w sektorze włókna szklanego ciągłego.....	390
Tabela 5.26: Odpowiadające BAT poziomy emisji metali z pieca do topienia w sektorze włókna szklanego ciągłego.....	390
Tabela 5.27: Odpowiadające BAT poziomy emisji do powietrza powstających w ramach procesów końcowych w sektorze włókna szklanego ciągłego w przypadku, gdy są one oczyszczane oddzielnie.....	391
Tabela 5.28: Odpowiadające BAT poziomy emisji pyłu z pieca do topienia w sektorze szklarki gospodarczego.....	392
Tabela 5.29: Odpowiadające BAT poziomy emisji NO _x z pieca do topienia w sektorze	

szkła gospodarczego	393
Tabela 5.30: Odpowiadające BAT poziomy emisji NO _x z pieca do topienia w sektorze szkła gospodarczego w przypadku, w którym azotany są używane w zestawie w określonej liczbie krótkich cykli produkcyjnych lub są wykorzystywane w piecach do topienia o wydajności < 100 t/dobę wytwarzających specjalny rodzaj szkła sodowo-wapniowego (szkło bezbarwne/wysokobezbarwne lub kolorowe szkło zawierające selen) oraz specjalne szkło innego rodzaju (tj. szkło borokrzemowe, tworzywo szklano-ceramiczne, szkło opalowe, kryształ oraz kryształ ołowiowy).....	394
Tabela 5.31: Odpowiadające BAT poziomy emisji SO _x z pieca do topienia w sektorze szkła gospodarczego	394
Tabela 5.32: Odpowiadające BAT poziomy emisji HCl i HF z pieca do topienia w sektorze szkła gospodarczego	395
Tabela 5.33: Odpowiadające BAT poziomy emisji metali z pieca do topienia w sektorze szkła gospodarczego, z wyjątkiem szkła odbarwionego przy pomocy selenu.....	396
Tabela 5.34: Odpowiadające BAT poziomy emisji selenu z pieca do topienia w sektorze szkła gospodarczego w przypadku, gdy szkło zostało odbarwione przy pomocy związków selenu	396
Tabela 5.35: Odpowiadające BAT poziomy emisji ołowiu z pieca do topienia w sektorze szkła gospodarczego w przypadku wykorzystywania ołowiu do produkcji kryształu ołowiowego	397
Tabela 5.36: Odpowiadające BAT poziomy emisji do powietrza z końcowych procesów pyłących w sektorze szkła gospodarczego w przypadku, gdy są one oczyszczane oddzielnie	397
Tabela 5.37: Odpowiadające BAT poziomy emisji HF powstających wskutek stosowania procesów polerowania kwasem w sektorze szkła gospodarczego w przypadku, gdy są one oczyszczane oddzielnie	397
Tabela 5.38: Odpowiadające BAT poziomy emisji pyłu z pieca do topienia w sektorze szkła specjalnego	398
Tabela 5.39: Odpowiadające BAT poziomy emisji NO _x z pieca do topienia w sektorze szkła specjalnego	399
Tabela 5.40: Odpowiadające BAT poziomy emisji NO _x z pieca do topienia w sektorze szkła specjalnego w przypadku stosowania azotanów w zestawie.....	400
Tabela 5.41: Odpowiadające BAT poziomy emisji SO _x z pieca do topienia w sektorze szkła specjalnego	401
Tabela 5.42: Odpowiadające BAT poziomy emisji HCl i HF z pieca do topienia w sektorze szkła specjalnego	401
Tabela 5.43: Odpowiadające BAT poziomy emisji metali z pieca do topienia w sektorze szkła specjalnego	402
Tabela 5.44: Odpowiadające BAT poziomy emisji pyłu i metali z procesów końcowych w sektorze szkła specjalnego w przypadku, gdy są one oczyszczane oddzielnie	403
Tabela 5.45: Odpowiadające BAT poziomy emisji HF powstających wskutek stosowania procesów polerowania kwasem w sektorze szkła specjalnego	403
Tabela 5.46: Odpowiadające BAT poziomy emisji pyłu z pieca do topienia w sektorze wełny mineralnej	403
Tabela 5.47: Odpowiadające BAT poziomy emisji NO _x z pieca do topienia w sektorze wełny mineralnej	404
Tabela 5.48: Odpowiadające BAT poziomy emisji NO _x z pieca do topienia w sektorze wełny szklanej w przypadku stosowania azotanów w zestawie	405
Tabela 5.49: Odpowiadające BAT poziomy emisji SO _x z pieca do topienia w sektorze wełny mineralnej	406
Tabela 5.50: Odpowiadające BAT poziomy emisji HCl i HF z pieca do topienia w sektorze wełny mineralnej	406
Tabela 5.51: Odpowiadające BAT poziomy emisji H ₂ S z pieca do topienia do produkcji wełny skalnej	407
Tabela 5.52: Odpowiadające BAT poziomy emisji metali z pieca do topienia w sektorze wełny mineralnej	407
Tabela 5.53: Odpowiadające BAT poziomy emisji powietrza z procesów końcowych w	

sektorze wełny mineralnej w przypadku, gdy są one oczyszczane oddzielnie	408
Tabela 5.54: Odpowiadające BAT poziomy emisji pyłu z pieca do topienia w sektorze HTIW	409
Tabela 5.55: Odpowiadające BAT poziomy emisji z końcowych procesów pyłących w sektorze HTIW w przypadku, gdy są one oczyszczane oddzielnie	410
Tabela 5.56: Odpowiadające BAT poziomy emisji NO _x z pieca do opalania smaru w sektorze HTIW	411
Tabela 5.57: Odpowiadające BAT poziomy emisji SO _x z pieca do topienia i procesów końcowych w sektorze HTIW	411
Tabela 5.58: Odpowiadające BAT poziomy emisji HCl i HF z pieca do topienia w sektorze HTIW	411
Tabela 5.59: Odpowiadające BAT poziomy emisji metali z pieca do topienia lub procesów końcowych w sektorze HTIW	412
Tabela 5.61: Odpowiadające BAT poziomy emisji pyłu z pieca do topienia w sektorze produkcji fryt	413
Tabela 5.62: Odpowiadające BAT poziomy emisji NO _x z pieca do topienia w sektorze produkcji fryt	414
Tabela 5.63: Odpowiadające BAT poziomy emisji SO _x z pieca do topienia w sektorze produkcji fryt	414
Tabela 5.64: Odpowiadające BAT poziomy emisji HCl i HF z pieca do topienia w sektorze produkcji fryt	415
Tabela 5.65: Odpowiadające BAT poziomy emisji metali z pieca do topienia w sektorze produkcji fryt	415
Tabela 5.66: Odpowiadające BAT poziomy emisji do powietrza z procesów końcowych w sektorze produkcji fryt w przypadku, gdy są one oczyszczane oddzielnie	416
Tabela 6.1: Informacje na temat oddziaływania na środowisko dla instalacji katalicznego filtra ceramicznego	435
Tabela 7.1 przedstawia podzielone poglądy wyrażone przez członków TGW i odnotowane.....	442
Tabela 7.1: poglądy podzielone.....	442
Tabela 8.1: Emisje pośrednie związane z zużyciem substancji chemicznych i energii elektrycznej	450
Tabela 8.2: Przykładowe wyliczenia kosztów (ESP plus oczyszczanie za pomocą Ca(OH) ₂) dla opalanego gazem pieca do szkła płaskiego, o wydajności 700 ton dziennie....	452
Tabela 8.3: Szacunkowe koszty systemów kontroli zanieczyszczenia powietrza z zastosowaniem filtrów elektrostatycznych oraz scrubbingu na sucho, stosowane w odniesieniu do gazów spalinowych pochodzących z pieców szklarskich.....	455
Tabela 8.4: Szacunkowe koszty systemów kontroli zanieczyszczenia powietrza z zastosowaniem filtrów workowych oraz scrubbingu, stosowane w odniesieniu do gazów spalinowych pochodzących z pieców szklarskich	457
Tabela 8.5: Porównanie metod usuwania SO _x , HCl, HF oraz innych gazowych czynników zanieczyszczających z gazów spalinowych pochodzących z pieców szklarskich.....	460
Tabela 8.6: Przegląd szczegółowych kosztów związanych z różnymi technikami kontroli zanieczyszczenia powietrza (APC) stosowanymi w piecach szklarskich w celu ograniczenia emisji pyłu i SO _x	463
Tabela 8.7: Szacunkowe przykładowe koszty i powiązane bezpośrednie i pośrednie emisje związane z zastosowaniem zasadniczych środków ograniczania emisji NO _x	466
Tabela 8.8: Przykładowe szacunkowe koszty dotyczące zastosowania dodatkowych środków mających na celu ograniczenie emisji NO _x	469
Tabela 8.9: Dodatkowe koszty związane z zastosowaniem technik DeNO _x (w EUR/tonę szkła wytopionego).....	471
Tabela 8.10: Szacunkowe szczegółowe pośrednie emisje na tonę szkła wytopionego dla pieców do różnych rodzajów szkła oraz różnych technik kontroli zanieczyszczenia powietrza (APC)	473
Tabela 8.11: Surowce i typowa zawartość siarki w procesie produkcji wełny mineralnej.....	479
Tabela 8.12: Typowa zawartość SO ₃ w powszechnie stosowanych rodzajach stłuczki....	479

Tabela 8.13: Główne czynniki zanieczyszczające, jakie należy uwzględnić w pomiarach emisji w przemyśle szklarskim	481
Tabela 8.14: Techniki monitorowania ciągłego.....	485
Tabela 8.15: Progowe wartości przepływu masowego dla ciągłego monitorowania emisji....	486
Tabela 8.16: Techniki monitorowania nieciągłego	486
Tabela 8.17: Przykładowe wartości granic wykrywalności dla pomiaru emisji pochodzących z produkcji szkła.....	488
Tabela 8.18: Przykładowe wartości granic wykrywalności dla rozszerzonych niepewności pomiaru emisji pochodzących z przemysłu szklarskiego	489

Spis rysunków

Rysunek 1.1: Wykres prezentujący zmiany w produkcji w podziale na sektory (dane od 2004 r. odnoszą się do UE-25).....	32
Rysunek 1.2: Najbardziej popularne wysokotemperaturowe wełny izolacyjne stosowane w temperaturach od 600°C do 1800°C.....	62
Rysunek 2.1: Piec regeneracyjny opalany poprzecznie.....	77
Rysunek 2.2: Przekrój poprzeczny pieca regeneracyjnego.....	77
Rysunek 2.3: Regeneracyjny piec U-płomienny o pojedynczym kanale.....	78
Rysunek 2.4: Plan regeneracyjnego pieca U-płomiennego.....	78
Rysunek 2.5: Formowanie metodą tłocząco-dmuchającą i dmuchąco-dmuchającą.....	84
Rysunek 2.6: Proces produkcji szkła float.....	87
Rysunek 2.7: Proces produkcji szkła walcowanego.....	88
Rysunek 2.8: Formowanie wyrobu szklanego w procesie prasowania.....	92
Rysunek 2.9: Formowanie artykułów szklanych w procesie wirowania.....	93
Rysunek 2.10: Typowy zakład wełny szklanej.....	98
Rysunek 2.11: Typowy obieg wody w procesie wełny mineralnej.....	100
Rysunek 2.12: Typowy zakład wełny skalnej.....	102
Rysunek 2.13 Typowy piec szybowy z gorącym podmuchem.....	103
Rysunek 2.14 Metoda wydmuchiwania równoległego.....	105
Rysunek 2.15 Metoda wydmuchiwania poziomego.....	106
Rysunek 2.16 Przędzenie.....	106
Rysunek 2.17 Schemat produkcji fryt.....	108
Rysunek 2.18: Schemat typowego pieca do produkcji fryt ze opalaniem paliwowo-powietrznym wzbogaconym tlenem oraz odzyskiem ciepła.....	109
Rysunek 2.19: Schemat typowego pieca do produkcji fryt z opalaniem tlenowo- paliwowym.....	109
Rysunek 3.1 Typowa dystrybucja wody w zakładzie szkła opakowaniowego.....	120
Rysunek 3.2 Krzywe trendu dla całkowitej energii topnienia przy produkcji szkła perfumeryjnego i aptecznego, na podstawie badań FEVE (dane z 2005 roku – nie uwzględniono energii pierwotnej dla dogrzewu elektrycznego lub produkcji tlenu).....	133
Rysunek 3.3 Zużycie energii w produkcji szkła opakowaniowego – typowe butelki, słoiki (nie reprezentatywne dla zakładów produkujących opakowania dla perfum/kosmetyków).....	144
Rysunek 3.4 Średnie zużycia energii w piecach produkujących szkło opakowaniowe wyrażone w GJ/tonę wytopionego szkła i znormalizowane względem 50% stłuczki.....	146
Rysunek 3.5: Zapotrzebowanie mocy dla typowej produkcji szkła płaskiego metodą float ..	153
Rysunek 3.6 Przykład bilansu wodnego typowego dla instalacji do włókien szklanych ciągłych.....	160
Rysunek 3.7. Bezpośrednia dystrybucja zużycia energii dla typowego procesu włókien szkła ciągłego.....	162
Rysunek 3.8. Zużycie energii w produkcji sodowo-wapniowo-krzemionkowej zastawy stołowej.....	169
Rysunek 3.9: Przewidywane stężenie SO ₂ w zależności od ilości procentowej ponownie użytego brykietu cementowego w załadunku wsadu w piecu szybowym.....	177
Rysunek 4.1: Filtr elektrostatyczny.....	221
Rysunek 4.2: Wyniki emisji pyłowych (miesięczne pomiary punktów) z pieca wytwarzającego szkło float opalanego olejem wyposażonego w filtr ESP oraz suche oczyszczanie Ca(OH) ₂	225
Rysunek 4.3: Koszty na tonę stopionego szkła dla kontroli zanieczyszczenia powietrza poprzez oczyszczanie na sucho oraz filtry, przy całkowitym usunięciu pyłu z filtra, dla pieców wytwarzających szkło float w zależności od wydajności wytopu.....	228

Rysunek 4.4: Schemat filtra workowego (tkaninowego)	232
Rysunek 4.5: Szacunkowe koszty dla suchych płuczek wieżowych w połączeniu z filtrami workowymi dla pieców wytwarzających szkło opakowaniowe, zakładając całkowite usunięcie pyłu z filtra oraz 25 % usunięcie SO _x	238
Rysunek 4.6: Emisje.....	257
Rysunek 4.7: Różnica w określonych kosztach wytapiania po konwersji pieców konwencjonalnych na piece tlenowe dla różnych instalacji w zakresie produkcji szkła (szkło opakowaniowe, float, włókno szklane oraz zastawa stołowa).....	270
Rysunek 4.8: Zmiany stężenia NO _x zachodzące z czasem, dla pieca do wytapiania szkła float wyposażonego w instalację selektywnej redukcji katalitycznej	282
Rysunek 4.9: Ciągłe udoskonalanie w ramach modelu EMS	361
Rysunek 6.1 Schemat zaawansowanego podgrzewacza wsadu i stłuczki szklanej	428
Rysunek 6.2 Schemat pieca do topienia ze spalaniem pod powierzchnią	432
Rysunek 6.3: Schemat ładowarki typu „sonic jet charger”	437
Rysunek 6.4: Schemat systemu płuczki opartej o naładowaną chmurę	439
Rysunek 8.1: Bilans siarki dla pieca do wytopu szkła płaskiego z recyklingiem całego pyłu z filtra	477
Rysunek 8.2: Bilans siarki dla pieca do wytopu szkła opakowaniowego z recyklingiem części pyłu z filtra.....	478
Rysunek 8.3: Schemat bilansu siarki dla pieca opalanego mieszanką tlenowo-paliwową z recyklingiem pyłu z filtra.....	480

ZAKRES

Niniejszy dokument referencyjny (BREF) w zakresie produkcji szkła odnosi się do następujących rodzajów działalności wymienionych w załączniku I do dyrektywy 2010/75/UE:

- 3.3: wytwarzanie szkła, łącznie z włóknem szklanym, z wydajnością przetopu przekraczającą 20 ton dziennie;
- 3.4: wytop substancji mineralnych, łącznie z produkcją włókien mineralnych, o wydajności przekraczającej 20 ton dziennie.

Inne dokumenty referencyjne, które są istotne dla sektora, o którym mowa w niniejszym dokumencie to:

- Emisje z miejsc magazynowania (EFS) – Magazynowanie i przygotowanie surowców;
- Efektywność energetyczna (ENE) – Ogólna efektywność energetyczna;
- Ekonomia i efekty wzajemnych powiązań pomiędzy różnymi komponentami środowiska (ECM) – Ekonomia technik i efekty ich wzajemnych powiązań w odniesieniu do różnych komponentów środowiska;
- Ogólne zasady monitorowania (MON) – Monitorowanie emisji i zużycia

Następujące rodzaje działalności wykraczają poza zakres niniejszego dokumentu

referencyjnego:

- produkcja szkła wodnego, objęta dokumentem referencyjnym dotyczącym wytwarzania wielkotonażowych chemikaliów nieorganicznych (substancje stałe i inne (LVIC-S));
- produkcja wełny polikrystalicznej;
- produkcja lusterek, objęta dokumentem referencyjnym dotyczącym obróbki powierzchniowej z wykorzystaniem rozpuszczalników organicznych (STS).

Zakres BREF nie obejmuje kwestii, które dotyczą wyłącznie bezpieczeństwa w miejscu pracy lub bezpieczeństwa produktów, ponieważ tych spraw nie obejmuje dyrektywa. Są one omawiane tylko wtedy, gdy mają wpływ na sprawy objęte zakresem dyrektywy.

1 INFORMACJE OGÓLNE

1.1 Struktura przemysłu szklarskiego

Rodzaje działalności objętej niniejszym dokumentem są bardzo zróżnicowane pod względem skali, stosowanych technologii i powiązanych kwestii środowiskowych. Przy ustalaniu, czy dana instalacja jest zgodna z zakresem definicji zawartych w załączniku I, uwzględniona została łączna wydajność każdej czynności topienia danej instalacji. Na potrzeby niniejszego dokumentu jako punkt odniesienia przyjęte zostało 20 ton dziennie wyprodukowanej stopionej masy. Takie podejście nie ma na celu narzucić interpretację definicji zawartej w dyrektywie, a ma raczej zapewnić zgodność prezentowanych tu informacji ze standardową terminologią stosowaną w przemyśle szklarskim.

Na potrzeby niniejszego dokumentu działalność przemysłowa objęta definicjami zawartymi w punktach 3.3 i 3.4 załącznika I do dyrektywy 2010/75/UE będzie zwana dalej „przemysłem szklarskim”, składającym się z ośmiu sektorów. Sektory różnią się pod względem wytwarzanych produktów, jednak pokrywają się w pewnym stopniu. Te osiem sektorów to:

1. Szkło opakowaniowe
2. Szkło płaskie
3. Włókna szklane ciągłe
4. Szkło gospodarcze
5. Szkło specjalne (bez szkła wodnego)
6. Wełna mineralna (z podziałem na wełnę szklaną i kamienną)
7. Wysokotemperaturowe wełny izolacyjne (bez wełny polikrystalicznej)
8. Fryty.

Sektor produkcji wysokotemperaturowej wełny izolacyjnej (high temperature insulation wool – HTIW) różni się znacznie od pozostałych sektorów przemysłu szklarskiego. Zwykła wydajność instalacji wynosi około 5 – 10 ton dziennie, czyli poniżej wymogu 20 ton dziennie zawartego w dyrektywie. Sektor ten jednak w pełni wpisuje się w cele dokumentu referencyjnego BAT, z którego to powodu został zawarty w dokumencie referencyjnym BAT w zakresie produkcji szkła [GLS BREF].

Produkcja wełny polikrystalicznej, która jest uzyskiwana metodą zol-żel z wodnych roztworów przedzalnicznych i nie jest topiona w wysokiej temperaturze, nie została objęta niniejszym dokumentem w związku z tą właśnie cechą produktu.

Produkcja szkła wodnego jest natomiast objęta dokumentem referencyjnym BAT pt. Produkcja wielkotonazowych związków nieorganicznych – substancje stałe i inne [Large Volume Inorganic Chemicals – Solids and Others Industry] (LVIC-S). [138, KE 2007]

Oprócz podstawowych czynności wytwórczych niniejszy dokument obejmuje również czynności bezpośrednio z nimi powiązane, które mogą mieć wpływ na emisje lub zanieczyszczenia środowiska. W związku z tym dokument ten dotyczy również czynności od odbioru surowców, przez produkcję wszelkich produktów pośrednich, aż do wysyłki produktów końcowych. Niektóre czynności nie zostały uwzględnione, gdyż nie są one związane w sposób bezpośredni z czynnością główną. Nie uwzględnione zostało na przykład dalsze przetwarzanie szkła płaskiego w inne produkty (np. szyby zespolone lub produkty dla branży motoryzacyjnej). Również i w tym przypadku podejście to nie ma na celu przesądzać o interpretacji dyrektywy przez państwa członkowskie. W dokumencie omówione zostały następujące czynności:

- transport i przechowywanie surowców
- mieszanie i przenoszenie
- topienie i klarowanie
- formowanie (np. wanna float, walcowanie, prasowanie, wydmuchiwanie, wyciąganie włókien, termiczne rozdrabnianie fryt)
- kondycjonowanie (np. odprężanie, odpuszczanie)
- powlekanie, w tym nanoszenie spoiw i smarów
- obróbka powierzchni (np. polerowanie kwasem)

- utwardzanie i suszenie
- mielenie
- obróbka, krojenie i pakowanie
- składowanie, przewóz i przetwarzanie odpadów.

1.2 Wprowadzenie

[19, CPIV 1998] [27, EURIMA 1998] [63, CPIV Annual report 2007] [65, GEPVP-Proposals for GLS revision 2007] [68, Domestic Glass Data update 2007] [69, EURIMA data collection 2007]

Przemysł szklarski w Unii Europejskiej (UE) jest bardzo zróżnicowany zarówno pod względem wytwarzanych produktów, jak też i stosowanych technik produkcyjnych. Gama produktów rozciąga się od wysublimowanych ręcznie formowanych kielichów ze szkła ołowiowego do olbrzymich ilości szkła float produkowanych na potrzeby przemysłu budowlanego i motoryzacyjnego. Techniki produkcji obejmują natomiast zarówno niewielkie piece elektryczne w sektorze produkcji wysokotemperaturowej wełny izolacyjnej (HTIW), jak też i poprzeczno-płomienne piece regeneracyjne w sektorze produkcji szkła płaskiego, wytwarzające do 1 000 ton dziennie. Szerzej pojęty przemysł szklarski obejmuje również wiele mniejszych instalacji wytwarzających mniej niż 20 ton dziennie. Na potrzeby niektórych danych statystycznych zawartych w niniejszym rozdziale nie sposób było wyłączyć tych mniejszych zakładów, jednak ich wpływ na dane jest niewielki, gdyż stanowią one mniej niż 5% całkowitej produkcji tej gałęzi przemysłu.

Przemysł szklarski to przemysł masowej produkcji towarów powszechnego użytku, choć opracowanych zostało wiele sposobów podnoszenia wartości masowo wytwarzanych produktów w celu zapewnienia konkurencyjności branży. Ponad 80% produktów sprzedawanych jest innym gałęziom przemysłu, natomiast sam przemysł szklarski jest w dużym stopniu zależny od przemysłu budowlanego, spożywczego oraz rozlewniczego. Ta ogólna charakterystyka nie dotyczy jednak wszystkich jego sektorów, gdyż niektóre mniejsze gałęzie produkują wysokiej wartości produkty techniczne lub konsumpcyjne.

W późnych latach 90. przemysł szklarski kontynuował proces reorganizacji. W celu ograniczenia kosztów i zwiększenia konkurencyjności na rynku globalnym, a także dla osiągnięcia korzyści z efektu skali, firmy łączyły się i coraz mniej było niezależnych operatorów. Grupy, które zdominowały branżę, stały się bardziej międzynarodowe, natomiast odbiorcy coraz częściej wymagali jednolitej jakości, niezależnie od kraju, w którym używane były produkty. Przemysł szklarski UE przodował pod względem rozwoju technologicznego, w związku z czym było prawdopodobne, że skorzysta na większej wydajności przemysłu w nadchodzących latach.

W momencie sporządzania niniejszego dokumentu, oprócz godnego uwagi wyjątku Saint-Gobain, niewiele dużych firm działa w więcej niż dwóch z ośmiu sektorów wymienionych w poprzednim punkcie. Owens Corning Corporation dla przykładu specjalizuje się w technologii włókien szklanych, ciągłego włókna szklanego i wełny szklanej. PPG to duży międzynarodowy producent szkła płaskiego i ciągłego włókna szklanego, ale nie działa już na rynku produkcji szkła płaskiego w Europie i obsługuje jedynie zakłady produkcji włókien szklanych ciągłych. Natomiast Pilkington Group specjalizuje się głównie w działaniach na rynku szkła płaskiego.

Głównymi problemami środowiskowymi związanymi z przemysłem szklarskim są emisje zanieczyszczeń do atmosfery i zużycie energii. Wytwarzanie szkła to proces wymagający dużej ilości energii i wysokiej temperatury, czego skutkiem jest emisja produktów spalania oraz wysokotemperaturowego utleniania azotu atmosferycznego, czyli dwutlenku siarki, dwutlenku węgla i tlenków azotu. Emisje z pieca zawierają również pył z utleniania się i późniejszej kondensacji lotnych materiałów zestawu. Na podstawie danych z przemysłu szklarskiego szacuje się, że w 2005 r. emisje zanieczyszczeń do atmosfery zawierały 6 500 ton pyłu, 105 000 ton NO_x; 80 000 ton SO₂ i 22 mln ton CO₂ (emisje bezpośrednie). Emisje te stanowiły ok. 0,8% całkowitych emisji UE. [158, EEA – NEC report 2008]. Łączne zużycie energii przez przemysł szklarski wynosiło ok. 311 PJ (86,5 mln MWh). Z całkowitego zużycia energii 15% zużywane jest w postaci energii elektrycznej, 30% jako olej napędowy, a 55% w postaci gazu ziemnego.

Różne strategie i polityki energetyczne państw członkowskich mogą mieć bezpośredni wpływ na jakość i ilość emisji zanieczyszczeń do atmosfery związanych z cyklem produkcyjnym (np. emisje

NO_x, SO_x z oleju napędowego lub gazu ziemnego).

Emisje zanieczyszczeń do wody są stosunkowo niewielkie i niewiele problemów można powiązać bezpośrednio z przemysłem szklarskim. W niektórych sektorach dochodzi jednak do zanieczyszczania wód, co zostało omówione w poszczególnych częściach tego dokumentu. Poziom odpadów stałych jest również ogólnie niewysoki i wiele inicjatyw zostało podjętych w celu ograniczenia ilości wytwarzanych odpadów oraz stosowania recyklingu odpadów wewnątrzzakładowych i pokonsumenckich.

Ogólnie rzecz biorąc surowce do produkcji szkła to łatwo dostępne, stosunkowo nieszkodliwe, naturalne lub wytworzone przez człowieka substancje. Z zaopatrzeniem w surowce nie wiążą się żadne znaczące problemy dotyczące ochrony środowiska, a poziomy generacji odpadów są zwykle bardzo niskie.

Wiele z sektorów w przemyśle szklarskim korzysta z dużych pieców o pracy ciągłej i średnim okresie użytkowania od 10 do 12 lat, a w niektórych przypadkach 20 lat i więcej. Piece te wiążą się z dużym obciążeniem kapitałowym, a ciągle działanie pieca i jego okresowe przebudowy stanowią naturalny cykl inwestycyjny procesu. Wprowadzanie poważniejszych zmian w technologii topienia jest najbardziej ekonomiczne, jeśli towarzyszy przebudowie pieca. Ma to również zastosowanie do złożonych wtórnych działań mających na celu ograniczenie zanieczyszczeń, które muszą być przeprowadzane w sposób prawidłowy oraz do wszelkich koniecznych procesów oczyszczania gazu. Wiele usprawnień w funkcjonowaniu pieca, w tym instalację technik wtórnych, można również wprowadzić w czasie działania pieca. W przypadku mniejszych pieców wymagających częstszej przebudowy i niższych nakładów kapitałowych korzyści płynące z koordynacji pro-ekologicznych usprawnień oraz napraw pieca są mniej istotne, jednak usprawnienia pro-ekologiczne mogłyby być bardziej opłacalne, gdyby zostały skoordynowane z innymi inwestycjami.

Całkowita produkcja przemysłu szklarskiego w UE-15 w 1996 r. szacowana była na 29 mln ton (bez HTIW i fryt). W 2005 r. całkowita produkcja w UE-25 wynosiła ok. 37,7 mln ton, z uwzględnieniem wszystkich sektorów. Orientacyjny podział na sektory został zaprezentowany w tabeli 1.1. W latach 1997 – 2005 byliśmy świadkami stałego wzrostu ogólnej wielkości produkcji. Wzrost i/lub wahania w każdym sektorze przedstawiały się jednak inaczej, co zostanie omówione w dalszej części dokumentu. Światowy kryzys zdecydowanie ograniczył poziom produkcji w większości sektorów od roku 2008.

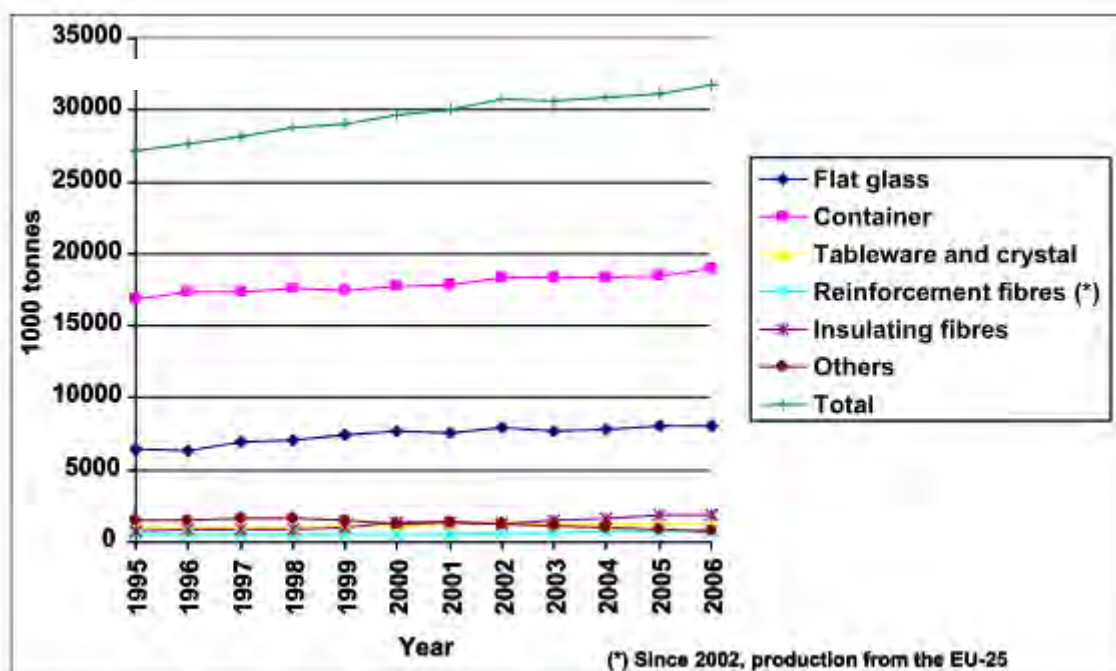
Tabela 1.1: Przybliżony podział produkcji przemysłu szklarskiego na sektory dla lat 1996 (UE-15) i 2005 (UE-25)

Sektor	Produkcja w UE		
	% całości		mln ton
	1996 UE-15	2005 UE-25	2005
Szkło opakowaniowe	60	53,0	20,00
Szkło płaskie	22	24,8	9,37
Włókna szklane ciągłe	1,8	2,47	0,93
Szkło gospodarcze	3,6	3,86	1,46
Szklane specjalne (bez szkła wodnego)	5,8	2,04	0,77
Wetna mineralna	6,8	9,54	3,60
Wysokotemperaturowe wetny izolacyjnej	b.d.	0,11	0,04
Fryta szklana i emalierska	b.d.	3,31	1,25
Inne	b.d.	0,85	0,32
RAZEM			37,74

b.d. = brak danych
 Źródło: [62, CPIV Update for Glass BREF 2007]

Wzrost całkowitej produkcji szkła oraz produkcji w pięciu największych sektorach w latach 1995 – 2006 został przedstawiony na rysunku 1.1. Na wykresie dane z lat 1995 – 2003 odnoszą się do UE-15, podczas gdy dane po 2004 r. do UE-25. Tylko w odniesieniu do włókien wzmacniających dane produkcji dla roku 2002 odnoszą się do UE-25.

Na rysunku 1.1 nie zostały uwzględnione dane związane z produkcją fryt i wysokotemperaturowej wetny izolacyjnej.



EN	PL
Flat glass	Szkło płaskie
Container	Szkło opakowaniowe
Tableware and crystal	Zastawa stołowa i kryształy
Reinforcement fibres (*)	Włókna wzmacniające (*)
Insulating fibres	Włókna izolacyjne
Others	Inne
Total	Razem
Year	Rok
(*) Since 2002, production from the EU-25	(*) Od roku 2002, produkcja z UE-25

Rysunek 1.1: Wykres prezentujący zmiany w produkcji w podziale na sektory (dane od 2004 r. odnoszą się do UE-25)

W porównaniu z rokiem 1995 (współczynnik 100), poziom produkcji w UE-15 osiągnął w 2006 r. współczynnik 125,7 dla szkła płaskiego, 112,2 dla szkła opakowaniowego, 124,3 dla zastawy stołowej i kryształów, a 163,1 dla włókien wzmacniających.

W 2002 r. rozszerzenie Unii Europejskiej z 15 do 25 krajów przyczyniło się do niewielkiego wzrostu całkowitej produkcji szkła równego 2,6%. W porównaniu z 2004 r. (współczynnik 100) poziom produkcji UE-25 osiągnął w 2006 r. współczynnik 105,1 dla szkła płaskiego, 105,7 dla szkła opakowaniowego, 92,4 dla zastawy stołowej i kryształów oraz 114,9 dla włókien wzmacniających [63, CPIV Annual report 2007].

Wydajność poszczególnych sektorów jest bardzo zróżnicowana, a powiązania między nimi bywają nieznaczące. Tym, co łączy wszystkie rodzaje działalności omawiane w niniejszym dokumencie, jest topienie materii nieorganicznej w celu uzyskania stopionego szkła lub substancji szkło-podobnej, która jest następnie formowana w produkty.

Pod wieloma względami każdy z sektorów przemysłu szklarskiego jest sam w sobie odrębną gałęzią przemysłu, produkując bardzo odmienne produkty dla różnych rynków i borykając się z innymi problemami. W punktach od 1.3 do 1.10 niniejszego rozdziału zaprezentowany został każdy z tych sektorów i wskazane zostały istotne czynniki, które na nie oddziałują. Tam, gdzie było to możliwe, informacje zostały zaprezentowane w sposób umożliwiający dokonanie porównań pomiędzy sektorami. Ze względu na różne struktury, organizację i priorytety każdego sektora, informacje czasem będą różniły się poziomem szczegółowości i swoim charakterem. Należy być na to przygotowanym, gdyż względna waga danych parametrów będzie różniła się w zależności od sektora.

1.2.1 Charakterystyka szkła

[22, Schott 1996]

Termin „szkło” nie ma prostej, wygodnej definicji. W najogólniejszym znaczeniu szkło to zbiorczy termin określający nieograniczoną liczbę materiałów o różnym składzie będących w stanie szklistym. Bardziej konkretnie termin ten stosowany jest w odniesieniu do stanu materii nieorganicznej, który może być podobny do stanu stałego, jednak ma właściwości wysoce lepkiej cieczy, która nie wykazuje ani krystalicznej struktury ani konkretnej temperatury topnienia, tj. cieczy przechłodzonej. W przemyśle szklarskim termin ten jest zwykle stosowany w odniesieniu do szkieł krzemionkowych, czyli do substancji zawierających duży udział krzemionki (SiO_2), które w sposób naturalny tworzą szkło w normalnych warunkach schładzania ze stanu stopionego.

Szkło ma strukturę podobną do cieczy, jednak w temperaturze pokojowej reaguje na przyłożenie siły elastycznym odkształceniem, przez co musi być uznane za substancję zachowującą się jak ciało stałe. Stosowanie terminu szkło jest zwykle ograniczone do substancji nieorganicznych i nie stosuje się go wobec materii organicznej, takiej jak przezroczyste tworzywa sztuczne.

Szklistą strukturę mogą stworzyć różne materiały chemiczne, takie jak tlenki krzemu, boru, germanu, fosforu i arsenu. Podczas szybkiego chłodzenia ze stanu stopionego przechodzą w stan stały bez krystalizacji, tworząc szkło. Te substancje szklotwórcze zachowują się tak samo po zmieszaniu z innymi metalicznymi składnikami, z zastrzeżeniem pewnych ograniczeń co do składu przyszłych związków. Dodanie tych modyfikujących szkło

elementów, z których najbardziej popularne są tlenki metali alkalicznych jako topniki (sodu, potasu, litu itp.), tlenki metali ziem alkalicznych (wapna, magnezu, baru strontu itp.) czy inne metale modyfikujące szkło (tj. tlenek glinu) zmienia stosunki wiązań i strukturalne ugrupowania, co skutkuje zmianą właściwości fizycznych i chemicznych szkła. Stan szklisty nie jest ograniczony do tlenków i może być również obserwowany, kiedy pewne związki siarki i selenu poddaje się gwałtownemu schładzaniu. W warunkach ekstremalnych można zrobić szkło z niektórych stopów metali niezawierających tlenków, natomiast wiele cieczy organicznych przechodzi w stan szklisty w niskich temperaturach (np. gliceryna w temperaturze -90°C).

Szkło jest niestabilne energetycznie w porównaniu z kryształem o tym samym składzie chemicznym. Ogólnie rzecz biorąc w czasie schładzania stopionej substancji krystalizacja zaczyna się, kiedy temperatura spada poniżej temperatury topnienia. W przypadku szkła proces ten nie zachodzi, gdyż składające się na niego zespoły cząsteczkowe (czworościany SiO_4 w szkłe krzemionkowym) są ze sobą powiązane przestrzennie poprzecznymi wiązaniami. Aby mogły uformować się kryształy, połączenia te muszą być najpierw przerwane, żeby mogły wytworzyć się zarodki kryształów. Mogłoby to nastąpić jedynie w niskich temperaturach, jednak w takich warunkach lepkość roztopionego wsadu uniemożliwia przestrukturyzowanie cząsteczek i krystalizację. Ogólnie rzecz biorąc dążenie do krystalizacji (deszkliżacji) zmniejsza się w miarę zmniejszania się temperatury (w zakresie temperatur poniżej temperatury topnienia) oraz w miarę wzrostu liczby i rodzajów różnych składników w substancji.

Właściwości mechaniczne szkła są dość specyficzne. Faktyczna wytrzymałość szkła na rozciąganie jest kilkaset razy mniejsza niż teoretyczna wartość obliczona na podstawie energii wiązań chemicznych. Wytrzymałość na rozciąganie zależy w dużej mierze od stanu powierzchni szkła i obecności wewnętrznych wad. Obróbka, taka jak powlekanie, polerowanie ogniowe i sprężanie może znacznie zwiększyć wytrzymałość szkła na rozciąganie, jednak wciąż pozostanie ona znacznie poniżej wartości teoretycznej.

Wiele rodzajów szkła może pęknąć pod wpływem gwałtownych zmian temperatury. Ma to kilka przyczyn: przede wszystkim niewielka przewodność ciepła, stosunkowo wysoki współczynnik rozszerzalności temperaturowej szkła bogatego w litowce oraz ograniczona wytrzymałość na rozciąganie. Szkła można podzielić na dwie kategorie: te o współczynniku rozszerzalności temperaturowej poniżej $6 \times 10^{-6}/\text{K}$ nazywane są „twardym szkłem”, a te o wyższym współczynniku rozszerzalności temperaturowej nazywane są „miękkim szkłem”.

1.2.2 Ogólna klasyfikacja rodzajów szkła

[22, Schott 1996] [100, ICF BREF revision 2007]

Szkło to substancja o zróżnicowanym składzie, który dla większej prostoty wyrażany jest konwencjonalnie za pomocą względnych proporcji jego składników tlenków (SiO_2 , Na_2O , CaO , B_2O_3 , itp.), choć nie występują one w szkłe same w sobie.

Najczęściej stosowana klasyfikacja rodzajów szkła oparta jest na składzie chemicznym, co prowadzi do wyodrębnienia czterech głównych grup: szkło sodowo-wapniowe, ołowiowe i kryształowe, borokrzemianowe oraz specjalne. Ponad 95% całego wyprodukowanego szkła należy do pierwszych trzech kategorii. Tysiące szkieł specjalnych produkowanych zwykle w niewielkich ilościach stanowią pozostałe 5%. Poza nielicznymi wyjątkami większość szkieł produkowana jest na bazie krzemianów, których głównym składnikiem jest dwutlenek krzemu (SiO_2).

Wyjątkiem w tej klasyfikacji rodzajów szkła jest wełna skalna, której typowy skład chemiczny nie pasuje do żadnej z powyższych kategorii. Typowy skład wełny skalnej zaprezentowany został w tabeli 2.9.

Szkła sodowo-wapniowe

Znaczna większość szkła produkowanego na skalę przemysłową ma bardzo podobny skład chemiczny i nosi wspólną nazwę szkła sodowo-wapniowego. Typowe szkło sodowo-wapniowe składa się w 71 – 75% z dwutlenku krzemu (SiO_2 uzyskanego w większości z piasku), w 12 – 16% z tlenku sodu („sody” Na_2O z sody kalcynowanej – Na_2CO_3), w 10 – 15% z tlenku wapnia („wapna palonego” CaO z wapienia – CaCO_3) oraz z niewielkich ilości innych składników nadających szkłu specyficznych właściwości. W niektórych zestawach szklarskich część tlenku wapnia lub tlenku sodu zastępowana jest odpowiednio tlenkiem magnezu (MgO) i tlenkiem potasu (K_2O). Bardziej szczegółowe składy chemiczne szkła podane są w rozdziale 2 w odpowiednich podrozdziałach.

Szkło sodowo-wapniowe wykorzystywane jest do produkcji butelek, słoików, flakonów (perfum i kosmetyków), codziennej zastawy stołowej i szyb okiennych. Powszechne stosowanie szkła sodowo-wapniowego wynika z jego właściwości chemicznych i fizycznych. Jedną z najważniejszych jego właściwości jest doskonale przepuszczanie światła, z którego wynika jego zastosowanie do produkcji szkła płaskiego i wyrobów przezroczystych. Ma ono również gładką, nieporowatą powierzchnię, która jest obojętna chemicznie, w związku z czym łatwo je czyścić i nie ma ono wpływu na smak zawartości pojemników. Wytrzymałość tego szkła na rozciąganie oraz na zmiany temperatury jest wystarczająca dla tych zastosowań, natomiast surowce do jego produkcji są stosunkowo niedrogie, a ich topienie opłacalne. Im wyższa zawartość metali alkalicznych w szkłe, tym wyższy współczynnik rozszerzalności termicznej i mniejsza odporność chemiczna oraz odporność na szok termiczny. Szkło sodowo-wapniowe nie nadaje się ogólnie rzecz biorąc do zastosowań wiążących się z drastycznymi lub nagłymi zmianami temperatury.

Szkło ołowiowe i szkło kryształowe

Tlenek ołowiu może być stosowany do zastąpienia dużej części tlenku wapnia w zestawie do produkcji szkła zwanego popularnie szkłem ołwiowym. Jego typowy skład to 54 – 65% SiO_2 , 25 – 30% PbO (tlenku ołowiu), 13 – 15% Na_2O lub K_2O oraz różne inne mniej istotne składniki. Taki skład chemiczny z ponad 24% zawartością tlenku ołowiu daje szkło o dużej gęstości i wysokim współczynniku załamania światła, a co z tego wynika wspaniałym połysku i dźwięczności, jak również wspaniałej plastyczności, pozwalającej na uzyskanie różnorodnych kształtów i zdobień. Do typowych wyrobów z tego rodzaju szkła należą wysokiej jakości szklanki, karafki, misy i przedmioty dekoracyjne. Tlenek ołowiu może być częściowo lub w całości zastąpiony tlenkami baru, cynku lub potasu w szkłe nazywanym szkłem kryształowym o mniejszym połysku lub gęstości niż szkło ołwiowe. Precyzyjne definicje związane z właściwościami chemicznymi i fizycznymi zawarte są w dyrektywie Rady 69/493/EWG w sprawie zbliżenia ustawodawstw państw członkowskich odnoszących się do szkła kryształowego.

Szkło borokrzemianowe

Szkło borokrzemianowe zawiera tlenki boru i krzemu. Jego typowy skład to 70 – 80% SiO_2 , 7 – 15% B_2O_3 , 4 – 8% Na_2O lub K_2O oraz 2 – 7% Al_2O_3 (tlenku glinu). Szkło o takim składzie wykazuje dużą odporność na korozję chemiczną i zmiany temperatur (niski współczynnik rozszerzalności termicznej). Jego zastosowania obejmują składniki procesów chemicznych, sprzęt laboratoryjny, pojemniki farmaceutyczne, oświetlenie, sprzęty kuchenne, drzwiczki kuchenek i płyty grzewcze. Wiele rodzajów szkła borokrzemianowego ma w niewielkich ilościach zastosowanie techniczne i uważane jest za przynależne do kategorii szkła specjalnego.

Innym zastosowaniem szkła borokrzemianowego jest produkcja włókien szklanych, zarówno ciągłych jak i izolacji z wełny szklanej. Oprócz odporności chemicznej i niskiego współczynnika rozszerzalności temperaturowej trójtlenek boru odgrywa również ważną rolę w rozwłóknianiu stopionego szkła. Zwykły skład włókien szklanych różni się od składu przedstawionego powyżej. Na przykład szkło typu E ma w swoim składzie 52 – 56%, SiO_2 , 16 – 25%, tlenków metali ziem alkalicznych, 5 – 10%, B_2O_3 , 12 – 6% Al_2O_3 oraz inne mniej istotne składniki. Należy zauważyć, że nowe składy chemiczne z niewielką zawartością boru lub bez niego stają się coraz bardziej istotne w produkcji włókien szklanych ciągłych.

Szklą specjalne

Jest to niezwykle różnorodna grupa obejmująca specjalistyczne produkowane w niewielkich ilościach produkty o wysokiej wartości, których skład chemiczny jest bardzo zróżnicowany i zależy od pożądanych właściwości produktów. Niektóre z ich zastosowań to: specjalistyczne produkty borokrzemianowe, szkło optyczne, szkło na potrzeby elektrotechnologii i elektroniki, lampy elektronopromieniowe, stopione produkty krzemionkowe, szkło łączeniowe, lampy rentgenowskie, szklą pośrednie do spajania, panele LCD, szklą spiekane, elektrody i tworzywa szklano-ceramiczne. Więcej informacji na temat składu chemicznego szkła technicznego znajduje się w rozdziale 2.

1.2.3 Historia produkcji szkła

[19, CPIV 1998][22, Schott 1996]

Materiały szkliste występują w naturze, na przykład obsydian o składzie porównywalnym do szkła wytwarzanego przez człowieka występuje często na obszarach wulkanicznych. Materiał ten złożony głównie z dwutlenku krzemu oraz związków sodu i wapnia był wykorzystywany przez człowieka pierwotnego do wytwarzania grotów strzał, włóczni i noży. Inną naturalną postacią szkła są tektyty powstałe z krzepnięcia stopionych skał wystrzelonych w powietrze, w momencie uderzenia meteorytu w powierzchnię ziemi oraz fulguryty powstające po uderzeniu błyskawicy w piasek.

Choć nie wiemy, kiedy szkło zostało wyprodukowane w sposób sztuczny po raz pierwszy, najstarsze ślady jego użytkowania pochodzą z ok. 3500 r. p.n.e. Uważa się, że produkcja szkła wywodzi się z Egiptu i Mezopotamii, ale rozwinęła się w późniejszym czasie niezależnie w Chinach, Grecji i Północnym Tyrolu. Starożytną produkcję szkła łączy się z produkcją ceramiki lub brązu, w czasie których mogło ono powstać jako produkt uboczny. Jego najwcześniejszym zastosowaniem była biżuteria i niewielkie naczynia. Produkcja wzrosła znacznie około 1500 r. p.n.e., kiedy zaczęto wytwarzać większe i bardziej praktyczne przedmioty (misy, naczynia i czarki) przez formowanie szkła wokół rdzenia z piasku lub gliny. Pierwszą istotną rewolucją technologiczną w produkcji szkła było wynalezienie puszczeli do wydmuchiwania szkła w pierwszym wieku naszej ery w Palestynie lub w Syrii. Technika ta polegała na przyklejaniu roztopionej masy szklarskiej do końca puszczeli, do której rzemieślnik wdmuchiwał z drugiego końca powietrze z płuc, kształtując pęcherz miękkiego szkła. Technika ta pozwalała na produkcję różnorodnych kształtów i rozprzestrzeniła się na cały zachodni świat, np. we Włoszech i Francji.

Produkcja szkła w Europie rozwijała się następnie w średniowieczu, a Wenecja została europejskim centrum sztuki szklarskiej. W XIV wieku warsztaty szklarskie były rozsiane po całym kontynencie, natomiast we Francji opracowana została produkcja płaskich szyb okiennych. Przez całe wieki szyby okienne były wydmuchiwane za pomocą puszczeli w podłużną bańkę w kształcie walca, który rozcinano wzdłuż i rozprostowywano, póki był jeszcze gorący. Szyby okienne były bardzo małe, ponieważ można było transportować jedynie bardzo ograniczone ilości szkła. Nowa technika polegała na wydmuchiwaniu szkła za pomocą puszczeli w dużą bańkę, która była następnie otwierana na końcu przeciwnym do tego, w którym szkło przyczepione było do puszczeli i rozprostowywane pod wpływem obracania puszczeli. Po wynalezieniu procesu odlewania płyt w 1688 r. za rządów Ludwika XIV możliwe stało się wytwarzanie dużych tafli luster. W tym samym czasie angielscy producenci szkła rozwinęli produkcję szkła ołowiowego, uzyskując materiał o wysokim połysku i czystym brzmieniu.

W XVIII wieku w niektórych fabrykach produkowano już ponad milion butelek rocznie (ok. 3 tony dziennie), wykorzystując techniki dmuchania przy pomocy ust. W czasie rewolucji przemysłowej w XIX wieku postęp technologiczny przyspieszył: piece zaczęto opalać węglem zamiast drewnem, zastosowano pierwsze automatyczne maszyny, a do wydmuchiwania stosowane było powietrze skompresowane w metalowych formach. Pod koniec XIX wieku Friedrich Siemens wynalazł wannę szklarską o ruchu ciągłym, co pozwoliło na nieprzerwaną produkcję na dużą skalę i zastosowanie urządzeń mechanicznych.

W XX wieku miały miejsce dwa przełomowe wydarzenia: pełna mechanizacja procesu wytwarzania butelek po wprowadzeniu pierwszych automatów rzędowych IS (individual section) około roku 1920 oraz wynalezienie metody float do produkcji szkła płaskiego w 1962 roku. Obecnie automaty IS mogą produkować ponad 500 butelek na minutę, natomiast metodą float można wytworzyć do 1 000 ton szkła dziennie.

1.3 Szkło opakowaniowe

1.3.1 Opis sektora

[19, CPIV 1998] [62, CPIV Update for Glass BREF 2007] [64, FEVE 2007] [125, FEVE 2009]

Szkło opakowaniowe to największy sektor przemysłu szklarskiego UE, stanowiący od 50 do 60% całkowitej produkcji szkła, w zależności od roku odniesienia. Sektor ten obejmuje produkcję szklanych opakowań, czyli butelek i słoików stosowanych do pakowania jedzenia, napoi, kosmetyków i perfum, środków farmaceutycznych oraz produktów technicznych. W 2005 r. w sektorze tym wyprodukowanych zostało 20 mln ton szkła opakowaniowego w piecach działających na terenie UE-25 oraz 21 mln ton w UE-27. Wzrost produkcji został zaobserwowany w 2006 r., natomiast w 2007 r. w UE-27 wyprodukowane zostały 22 mln ton.

Średnio w UE-15 produkcja rosła co roku o 0,9%. Dane dotyczące produkcji w 2007 r. potwierdzają tendencję wzrostową w przemyśle szklarskim, która doprowadziła do 4-procentowego wzrostu w tym roku. Kryzys finansowy i wynikające z niego zmniejszenie popytu konsumentów doprowadziły jednak w 2008 i 2009 roku do ograniczenia zdolności produkcyjnych przez czasowe lub permanentne zamknięcie pieców i/lub linii produkcyjnych. Co bardziej istotne, w znaczny sposób ograniczyło to dostęp branży do kapitału i inwestycji.

W czasie sporządzania niniejszego dokumentu (rok 2010) istnieje około 70 przedsiębiorstw ze 170 instalacjami, a w sektorze tym zatrudnionych jest bezpośrednio około 40 000 pracowników. Szkło opakowaniowe produkowane jest w 19 z 27 państw członkowskich (zob. tabela 1.2).

Za produkcją UE-27 stoi obecnie kilka dużych grup (Ardagh Glass, BA Vidro, O-I Europe, Saint-Gobain, Vetropack i Vidrala) oraz wiele małych, niezależnych firm i grup, które mogą stanowić faktyczną konkurencję dzięki istnieniu regionalnych i niszowych rynków. Europa jest największym producentem szkła opakowaniowego, natomiast na drugim i trzecim miejscu plasują się USA i Japonia. Rozmieszczenie geograficzne w sektorze wraz ze wskazaniem udziału produkcji głównych państw członkowskich zaprezentowane zostały w tabeli 1.2.

Tabela 1.2: Rozmieszczenie instalacji do produkcji szkła opakowaniowego oraz wielkość produkcji w państwach członkowskich

Państwo członkowskie	Liczba instalacji	Produkcja na terytorium UE W tonach x 10 ³ ⁽¹⁾			Udział w produkcji na terytorium UE w % ⁽¹⁾		
		2005	2006	2007	2005	2006	2007
Niemcy	39	3 895	3 886	4 080	19	19	19
Francja	24	3 784	3 828	3 722	18	18	17
Włochy	32	3 543	3 549	3 621	17	17	17
Hiszpania	20	2 144	2 148	2 222	10	10	10
Zjednoczone Królestwo	13	2 081	2 160	2 244	10	10	10
Polska	17	1 088	1 120	1 230	5	5	6
Portugalia	6	1 024	1 096	1 231	5	5	6
Holandia	5						
Austria	3						
Czechy	5						
Belgia	2						
Grecja	2						
Dania	1						
Szwecja	1						
Estonia	1						
Finlandia ⁽²⁾	1						
Węgry	1						
Słowacja	1						
Rumunia	1						
Łotwa	0						
Litwa	0						
Cypr	0						
Bułgaria	0						
Irlandia	0						
Słowenia	0						
Malta	0						
Luksemburg	0						
Suma pośrednia „Innych” ⁽³⁾		3 164	3 085	3 239	15	15	15
Razem	175	20 723	20 872	21 589			

⁽¹⁾ Dane z FEVE.
⁽²⁾ Zakład został zamknięty w 2009 roku.
⁽³⁾ Dostępne dane dla: Austrii, Belgii, Bułgarii, Czech, Danii, Finlandii, Grecji, Węgier, Holandii, Rumunii, Słowacji i Szwecji zostały podane razem jako „inne” ze względu na ich tajność.
Źródło: [85, Spanish BAT Glass Guide 2007] [125, FEVE 2009]

Najczęściej występującą wydajnością instalacji do produkcji szkła jest od 300 do 600 ton dziennie. Typowe rozmieszczenie instalacji o różnej wydajności, ograniczone do zakładów objętych ankietą przeprowadzoną przez FEVE (134 instalacje z 175 w UE-27) zostało zaprezentowane w tabeli 1.3.

Tabela 1.3: Liczba instalacji produkujących szkło opakowaniowe w określonych przedziałach wydajności produkcji

Wydajność produkcji (liczba ton dziennie)	<150	150 do 300	300 do 600	600 do 1 000	>1 000
Liczba instalacji w każdym przedziale	15	38	56	23	2
Udział procentowy instalacji w każdym przedziale	11,2	28,4	41,8	17,2	1,5

Źródło: [126, FEVE 2009]

1.3.2

Produkty i rynki zbytu

[19, CPIV 1998]

Szkło opakowaniowe ma podstawowy skład sodowo-wapniowy i topione jest w piecach opalonym paliwem kopalnym lub, w wyjątkowych przypadkach, w piecach elektrycznych. Stopione szkło formowane jest w produkty przez automaty rządowe (IS). Tam, gdzie jest to wskazane, do szkła dodawane są środki barwiące, a na gotowe produkty nakładane są powłoki.

Pod względem wielkości produkcji najważniejszymi produktami sektora produkcji szkła opakowaniowego są butelki do wina, piwa, alkoholi wysokoprocentowych, napoi bezalkoholowych itp. oraz słoiki o szerokich szybkach na potrzeby przemysłu spożywczego. Produkty te są zwykle uważane za masowe towary powszechnego użytku, ale inną ważną częścią tego sektora jest produkcja opakowań dla przemysłu farmaceutycznego i drogowego o większej wartości. Większość produkcji sprzedawana jest odbiorcom przemysłowym w UE, którzy następnie sprzedają swoje opakowane produkty w UE oraz reszcie świata. Względne znaczenie poszczególnych odbiorców przemysłowych różni się znacznie pomiędzy państwami członkowskimi. Widać to na przykładzie dużego zróżnicowania krajowego zapotrzebowania na szklane pojemniki oraz zróżnicowania oczekiwanych produktów, zwłaszcza pod względem kolorów, kształtów, rozmiarów i wzorów.

Największymi odbiorcami są trzy gałęzie przemysłu. Przemysł rozlewniczy odbiera około 75% tonażu szklanych opakowań. Sektor ten obejmuje wina oraz wina musujące, wina alkoholizowane, alkohole wysokoprocentowe, piwa i piwa smakowe, alkohole smakowe, napoje bezalkoholowe, soki owocowe i wody mineralne. Sektor spożywczy odbiera około 20% tonażu (głównie słoiki). Obejmuje on szeroką gamę produktów takich jak: mokre i suche przetwory, mleko i produkty mleczne, dżemy, kremy i pasty, sosy, oleje, ocet itp. Przemysł farmaceutyczny i drogowy oraz opakowania produktów technicznych (flakoniki), które są zwykle małymi buteleczkami, odpowiadają za pozostałe ok. 5% tonażu szkła opakowaniowego.

Istotną cechą tego sektora jest to, że odległość miejsca produkcji od miejsca dostawy popularnych butelek do napojów oraz słoików jest zwykle nie większa niż kilkaset kilometrów, gdyż koszt transportu pustych opakowań jest stosunkowo wysoki w porównaniu do ceny ich sprzedaży. Co więcej istnieją specyficzne lokalne lub regionalne rynki z charakterystycznymi szklanymi opakowaniami, zwłaszcza w branży napojów alkoholowych (poszczególne regiony produkcji wina, whisky, koniaku, szampana i piwa), które przeciwdziałają koncentracji rynku. Flakony, zwłaszcza droższych perfum i kosmetyków są bardziej narażone na międzynarodową konkurencję.

Z drugiej strony ciągle powiększanie się i zwiększanie wpływu światowych grup produkcji artykułów spożywczych i napoi, artykułów farmaceutycznych i kosmetyków przejawiało się w latach 1997 – 2005 większą koncentracją i internacjonalizacją w przemyśle szklarskim w połączeniu z większą specjalizacją pod względem dostarczanych produktów (coraz rzadziej spotyka się firmy wytwarzające produkty z więcej niż jednego sektora szklarskiego).

1.3.3 Uwarunkowania handlowe i finansowe

[19, CPIV 1998] [63, CPIV Raport roczny 2007]

Przemysł szkła opakowaniowego to stosunkowo dojrzała branża obsługująca bardzo dynamiczne rynki, która w latach 1997 – 2006 ogólnie rzecz biorąc wciąż powoli wzrastała. Przejściowe lub lokalne zmiany są oczywiście nieuniknione, ale spodziewane jest utrzymanie się tej ogólnej tendencji w średnim okresie. Konkurencja ze strony alternatywnych materiałów opakowaniowych będzie prawdopodobnie wciąż stanowiła wyzwanie dla tego sektora.

Choć piece mają długie okresy eksploatacji, ze względu na ich dużą liczbę co roku znaczna część mocy produkcyjnych zbliżyć się będzie do momentu, w którym konieczna będzie ich przebudowa. W sektorze szkła opakowaniowego nadwyżki mocy produkcyjnych są zwykle lokalne i krótkookresowe. Konkurencja ze strony materiałów alternatywnych jest istotnym czynnikiem wyznaczającym poziom cen.

Ze względu na koszty transportu większość produktów sprzedawana jest w promieniu 500 km od miejsca produkcji, a więc import i eksport są raczej ograniczone. Sprawa ma się jednak inaczej w przemyśle drogowym, gdzie eksportowane może być nawet 40% produkcji. W 2005 r. eksport przewyższył import o ok. 70%, czyli 931 784 w stosunku do 262 192 ton, ale w 2006 r. eksport wzrósł jedynie o 0,5%, a import o 11,7%. Cały handel z krajami spoza UE obejmuje jedynie 4,6% produkcji sektora wynoszącej 20 mln ton. Obszary na obrzeżach UE mogą jednak odczuwać silną presję konkurencji ze strony krajów spoza UE, które często mają znacznie niższe ceny przy akceptowalnej jakości produktów. Sytuacja ta występuje zwłaszcza w odniesieniu do produktów o niższej wartości. Należy jednak zauważyć, że chociaż opakowania są sprzedawane na rynkach lokalnych, towary w szklanych opakowaniach są często eksportowane w dużych ilościach poza UE (np. wina, wysokoprocentowe alkohole, piwa, perfumy, oleje).

Na rynek zbytu szkła opakowaniowego może mieć wpływ szeroka gama czynników. Głównym zagrożeniem są alternatywne materiały opakowaniowe, zwłaszcza tworzywa sztuczne (głównie PET – politereftalan etylenu), metale (stal i aluminium) oraz laminowane kartony.

Głównymi zaletami szkła opakowaniowego są duża odporność chemiczna i własności barierowe (ochrona i zachowanie jakości zawartości), atrakcyjny wygląd (przezroczystość, kolor, wzór itp.) do prezentowania towarów i identyfikacji marki, możliwość przetworzenia w nowe butelki, możliwość ponownego zamknięcia, łatwość czyszczenia i możliwość ponownego wykorzystania. Ponadto przyroda dysponuje dużą ilością surowców, z których produkowane jest szkło. Pozycja szkła względem konkurencji różni się znacznie w zależności od regionu i rodzaju produktu, preferencji na rynku, kosztów i zmian w sposobach pakowania. Głównymi wadami szkła są jego masa i ryzyko stłuczenia.

Inne istotne czynniki związane są z wahaniami zapotrzebowania na pakowane produkty. Na przykład ze zmianami w nawykach konsumentów, takimi jak konsumpcja mniejszej ilości win o lepszej jakości. Czynniki klimatyczne wpływające na zbiory w winnicach i spożycie piwa oraz napojów bezalkoholowych w okresie letnim również mogą okazać się istotne. Wahania na rynku walutowym oraz dominujący lokalny klimat gospodarczy wpływają na zapotrzebowanie na towary o dużej wartości takie jak perfumy i alkohole wysokoprocentowe.

Produkcja szkła wymaga dużych nakładów kapitału, co pozwala na wejście na rynek jedynie dość dużym przedsiębiorstwom ze znacznymi zasobami finansowymi. Długofalowy powolny wzrost oznacza, że chociaż budowane są nowe piece, zwykle są one wznoszone przez firmy już działające w danym regionie albo przez inne istniejące firmy wchodzące na regionalny rynek. Znaczną część wzrostu sprzedaży umożliwi modernizacja już istniejących zakładów w czasie zaplanowanej przebudowy. Ogólnie rzecz biorąc mamy do czynienia z tendencją przejmowania mniejszych spółek przez większe.

Cykl inwestycyjny jest długi. Ogólnie rzecz biorąc piece do produkcji szkła opakowaniowego działają nieprzerwanie lub z jedną albo dwiema niewielkimi naprawami przez ponad 20 lat, po czym są przebudowywane z częściową lub całkowitą wymianą konstrukcji w zależności od jej stanu. Prosta przebudowa średniej wielkości pieca (topiącego około 250 ton szkła dziennie) kosztuje ok. 3 – 5 mln EUR lub więcej. Faktyczny koszt może być znacznie wyższy, gdyż przebudowa może okazać się dogodnym momentem do przeprowadzenia modernizacji. Nowy zakład podobnej wielkości budowany od podstaw z infrastrukturą i obsługą to koszt rzędu 40 – 50 mln EUR.

1.3.4 Główne kwestie dotyczące ochrony środowiska

Głównymi problemami środowiskowymi związanymi z produkcją szkła opakowaniowego są wysoka temperatura i nakład energii wymagane w tym procesie. To skutkuje emisją produktów spalania i wysokotemperaturowego utleniania azotu atmosferycznego, czyli dwutlenku siarki, dwutlenku węgla i tlenków azotu. Emisje z pieca zawierają również pył (z odparowywania i późniejszej kondensacji lotnych materiałów zestawu) oraz śladowe ilości chlorków, fluorków i metali obecnych jako zanieczyszczenia surowców. Możliwe jest ograniczenie tych emisji przy zastosowaniu rozwiązań technicznych, jednak każde z nich pociąga za sobą implikacje finansowe i środowiskowe.

W sektorze udało się wprowadzić duże ulepszenia umożliwiające znaczące ograniczenie emisji z pieców i zużycia energii. Postęp został osiągnięty zwłaszcza w zakresie podstawowych technik ograniczania emisji tlenków azotu i dwutlenku siarki.

Poziom produkcji odpadów w sektorze jest bardzo niski. W sektorze coraz częściej korzysta się z przetworzonego szkła (stłuczki). W 2008 r. średni poziom utylizacji stłuczki pokonsumenckiej w sektorze szkła opakowaniowego w UE wyniósł około 50% całości wykorzystanych surowców, przy czym niektóre instalacje utylizowały 80% lub więcej szkła z recyklingu. W produkcji niektórych rodzajów wyrobów, które wymagają wysokiego poziomu bezbarwności, np. na potrzeby niektórych perfum lub luksusowych kosmetyków, ale też alkoholi wysokoprocentowych, nie da się korzystać ze szkła z recyklingu ze względu na niejednorodność lub zanieczyszczenia szkła barwionego.

Zdecydowaną przewagą szkła nad alternatywnymi materiałami opakowaniowymi jest łatwość recyklingu i ponownego wykorzystania. Produkcja szkła opakowaniowego nie powinna na ogół prowadzić do znaczących problemów z zanieczyszczeniem wód. Woda używana jest głównie do czyszczenia i chłodzenia, więc może być od razu oczyszczana lub wykorzystywana ponownie.

1.4 Szkło płaskie

1.4.1 Opis sektora

[19, CPIV 1998] [65, GEPYP-Proposals for GLS revision 2007] [127, Glass for Europe 2008]

Szkło płaskie stanowi drugi co do wielkości sektor przemysłu szklarskiego w UE-27, stanowiąc ok. 26% całkowitej produkcji szkła w 2005 r., 28% w 2006 r. i 29% w 2007 roku. Sektor ten obejmuje produkcję szkła float i szkła walcowanego. Szkło float jest produktem głównym, natomiast szkło walcowane stanowi tylko ok. 3,5% całości produkcji i produkuje się go coraz mniej, podczas gdy produkcja szkła float zwiększała się przez lata.

W 2007 r. w sektorze wyprodukowano zostało 9,5 mln ton szkła w 58 wannach float działających w UE-27. W UE-27 istnieje dziewięciu producentów szkła float i cztery zakłady produkcji szkła walcowanego. Szkło płaskie produkowane jest w 16 państwach członkowskich.

W 2007 r. w sektorze zatrudnionych było bezpośrednio około 17 000 pracowników do produkcji szkła płaskiego. Średni roczny wzrost produkcji szkła płaskiego wynosi 2 – 3%.

Produkcja szkła płaskiego to interes globalny zdominowany przez cztery główne grupy. Pod względem wielkości światowej sprzedaży są to kolejno: Asahi Glass (AGC Flat Glass Europe), NSG (Pilkington, UK), Saint-Gobain (Francja) i Guardian Industries (USA).

Informacje odnośnie posiadanych wanien float zaprezentowane zostały w tabeli 1.4 oraz w tabeli 1.5 (UE-27, 2007 r.).

Tabela 1.4: Właściciele i lokalizacja wanien float w UE-27 w roku 2007

Firma	Liczba wanien	Lokalizacja
Saint-Gobain	16	Niemcy (4), Francja (3), Belgia (2), Hiszpania (2), Włochy (1), Portugalia (1), Zjednoczone Królestwo (1), Polska (1), Rumunia (1)
AGC Fiat Glass Europe	13	Belgia (4), Francja (2), Włochy (2), Holandia (1), Czechy (3), Hiszpania (1)
Pilkington	12	Niemcy (4), Zjednoczone Królestwo (3), Włochy (2), Finlandia (1), Szwecja (1), Polska (1)
Guardian	8	Luksemburg (2), Hiszpania (2), Niemcy (1), Zjednoczone Królestwo (1), Węgry (1), Polska (1)
Euroglas	3	Francja (1), Niemcy (2)
Manfredoma Vetro/Sangalli	1	Włochy (1)
Sisecam	1	Bułgaria (1)
Interpane	1	Francja(1)
Ges Scaieni	1	Rumunia (1)
Razem	56	

Tabela 1.5: Joint ventures posiadające wanny float w UE-27 w 2007 r.

Firma	Liczba wanien	Lokalizacja
AGC Fiat Glass Europe/Scheuten	1	Belgia
Saint-Gobain/Pilkington	1	Włochy

Rozmieszczenie geograficzne w sektorze i wydajność instalacji zaprezentowane zostały w tabeli 1.6 oraz tabeli 1.7:

Tabela 1.6: Liczba wanien float w państwach członkowskich UE-27 w 2007 r.

Państwo członkowskie	Liczba wanien float	Udział w produkcji na terytorium UE w %
Niemcy	11	19,0
Francja	7	12,1
Włochy	7	12,1
Belgia	7	12,1
Zjednoczone Królestwo	5	8,6
Hiszpania	5	8,6
Polska	3	5,2
Czechy	3	5,2
Luksemburg	2	3,45
Rumunia	2	3,45
Finlandia	1	1,7
Holandia	1	1,7
Portugalia	1	1,7
Szwecja	1	1,7
Węgry	1	1,7
Bułgaria	1	1,7
Razem	58	100

Źródło: [127, Glass for Europe 2008]

Tabela 1.7: Udział procentowy w określonych przedziałach wydajności produkcji szkła float

Przedział wydajności (tony/dzień)	% w przedziale wydajności w UE-27
<400	1
400 do 550	37
550 do 700	48
>700	14

1.4.2 Produkty i rynki zbytu

[19, CPIV 1998] [65, GEPVP – Proposals for GLS revision 2007]

W UE produkowane są dwa rodzaje szkła płaskiego: szkło walcowane i szkło float. Choć, ściśle rzecz biorąc, istnieją także inne odmiany szkła płaskiego, jednak nie zostały one uwzględnione w opisie tego sektora albo ze względu na ich ujęcie w sektorze szkła specjalnego, albo dlatego, że nie spełniają kryterium produkcji 20 ton dziennie zawartego w dyrektywie 2008/1/WE. Większość szkła walcowanego to szkło ornamentowe lub zbrojone i stanowi ok. 3,5% całkowitej produkcji sektora. Szkło ornamentowe wykorzystywane jest do budowy szklarni, do celów dekoracyjnych oraz wszędzie tam, gdzie światło powinno zostać rozproszone, na przykład w szklanych przegrodach, oknach łazienek oraz panelach fotowoltaicznych. Szkło float stanowi pozostałe 95% produkcji i wykorzystywane jest przede wszystkim w przemyśle budowlanym i motoryzacyjnym.

Przed wynalezieniem metody float przez firmę Pilkington w 1962 r. istniały dwa główne rodzaje szkła niewzorzystego: szkło ciągnięte i szkło płaskie walcowane. Najbardziej rozpowszechnioną metodą produkcji szkła ciągniętego była metoda Pittsburgh polegająca na pionowym ciągnięciu szkła z wanny. W masie szklanej zanurzany jest ogniotrwały blok formujący, a szkło wyciągane jest przez system chłodzonych wałków. W trakcie ciągnięcia szkło przechodzi przez ok. 12-metrowy szyb odprężający, po czym jest przycinane do pożądanego kształtu. Zanim upowszechnione zostało szkło float, szkło płaskie walcowane było szkłem najwyższej jakości. Jest ono wytwarzane ze szkła walcowanego lub grubych tafli szkła ciągniętego przez szlifowanie i polerowanie powierzchni z użyciem obracających się tarcz na dużych blatach lub taśmach. Bliźniaczy proces polega na polerowaniu szkła z obu stron jednocześnie. Proces szlifowania i polerowania generuje duże ilości odpadów stałych.

Zalety metody float (oszczędność, asortyment produktów, nieduże ilości odpadów i jakość) są tak duże, że od jej wprowadzenia w 1962 r. szkło ciągnięte i szkło płaskie walcowane były stopniowo wypierane i nie są już produkowane w UE. Niektóre produkty ze szkła walcowanego są wciąż polerowane na specjalne potrzeby, a coraz mniejsze ilości szkła ciągniętego i szkła płaskiego walcowanego są wciąż produkowane w niektórych częściach świata. Na potrzeby tego dokumentu produkcja szkła ciągniętego i szkła płaskiego walcowanego może zostać uznana za techniki przestarzałe.

Najważniejszymi rynkami zbytu szkła float są przemysł budowlany i motoryzacyjny. Największym rynkiem zbytu jest przemysł budowlany, który odbiera od 75 do 85% produkcji, natomiast większość z pozostałych 15 do 25% przetwarzane jest na szyby w przemyśle motoryzacyjnym. Część szkła jest po prostu przycinana do odpowiedniego rozmiaru i używana bezpośrednio, ale większość wyprodukowanego szkła płaskiego przetwarzana jest w inne produkty. W przemyśle motoryzacyjnym są to laminowane szyby przednie, boczne i tylne oraz szyberdachy. Głównym przetworzonym produktem na potrzeby przemysłu budowlanego są izolowane okna w postaci jedno lub dwukomorowych szyb zespolonych, często z jedną taflą szkła powlekanego. Szyby zespolone odpowiadają za 40 – 50% produkcji na potrzeby rynku budowlanego, podczas gdy pozostałą część stanowią produkty srebrzone, powlekane, hartowane i laminowane, z których każdy rodzaj ma 10 – 15% udziału w rynku.

1.4.3 Uwarunkowania handlowe i finansowe

[19, CPIV 1998] [63, CPIV Annual report 2007] [127, Glass for Europe 2008]

Całkowity handel z krajami spoza UE obejmuje średnio ok. 15% produkcji UE z nieznaczną przewagą eksportu nad importem. Około 10% produkcji eksportowane jest do krajów spoza UE, natomiast podobna, choć raczej mniejsza ilość (6,3% w 2006 dla nieprzetworzonego szkła) importowana jest na rynek UE, głównie z Dalekiego Wschodu. To podsumowanie dotyczy zarówno nieprzetworzonego, jak i przetworzonego szkła. Transport szkła płaskiego jest drogi, więc najbardziej opłacalne są dostawy do klientów znajdujących się jak najbliżej miejsca produkcji. Przy 58 liniach produkcyjnych działających w 2007 r. w UE oraz intensywnej konkurencji między firmami odległość, na jaką transportowane jest szkło, może być znaczna, choć zawsze ogranicza ją koszt. Przeważająca większość szkła produkowanego i przetwarzanego w UE sprzedawana jest w Europie Zachodniej.

Po kilku latach importu na dość niskim i malejącym poziomie, od 2005 r. ilość szkła float importowanego spoza UE-27 nagle się podwoiła. W roku 2007 obserwowany był bezprecedensowy szczyt importu spoza UE stanowiący około 11% całości produkcji w UE, głównie z Chin. W tym samym roku eksport do krajów spoza UE stanowił 10,5% całkowitej produkcji w UE. W związku z dużymi nadwyżkami wydajności w Chinach spodziewany jest dalszy wzrost importu w niedalekiej przyszłości. Innymi dużymi importerami do Europy są Turcja, USA, Indonezja, Izrael i Rosja.

Podstawowa produkcja szkła płaskiego jest przedmiotem dojrzałego i cyklicznego handlu na rynku masowych towarów powszechnego użytku. Od roku 1986 do 2000 sektor wykazywał znaczący roczny wzrost w granicach 2 – 3%. Tendencja wzrostowa została potwierdzona w latach 2000 – 2006 zarówno w UE-15, jak i UE-27. Nadwyżki produkcji w sektorze doprowadziły jednak do konieczności prowadzenia walki cenowej oraz realnego spadku cen. Ceny mogą się wahać pomiędzy rynkami, ale były szczególnie niskie w Niemczech, kraju będącym największym producentem. Popyt na szkło płaskie jest ściśle związany z cyklami gospodarczymi, gdyż jest uzależniony od przemysłu budowlanego i motoryzacyjnego. W okresach wzrostu gospodarczego i wysokiego popytu na szkło płaskie może to być całkiem dochodowy biznes, jednak w czasie dołków lub recesji bywa wręcz przeciwnie.

W latach 2000 – 2007 możliwości produkcyjne wykorzystywane były w ok. 90 procentach. W branży panuje przekonanie, że długoterminową zyskowność może zapewnić tylko wykorzystanie zdolności produkcyjnych w ponad 90%. Szacowany rozwój wykorzystania zdolności produkcyjnych istniejących wani float w UE-27 oraz nadwyżki produkcji zaprezentowane zostały w tabeli 1.8.

Tabela 1.8: Szacowany rozwój wykorzystania zdolności produkcyjnych oraz nadwyżki produkcji szkła float w UE-27

Koniec roku	Zbywalna wielkość produkcji	Sprzedaż producentów z UE-27 na świecie	Wykorzystanie zdolności produkcyjnej w sprzedaży producentów z UE-27 na świecie	
			Nadwyżka	Wykorzystanie
	tys. ton	tys. ton	tys. ton	%
2007	9 576	8 921	655	93,16
2008 (†)	9 709	9 141	568	94,15
2009 (†)	10 319	9 516	803	92,22
2010 (†)	10 808	9 938	870	92,20

(†) Dane szacunkowe
Źródło: [127, Glass for Europe 2008]

Produkcja szkła płaskiego, a zwłaszcza szkła float, jest bardzo kapitałochłonna, gdyż wymaga znacznych zasobów finansowych, długofalowych inwestycji oraz specjalistycznych umiejętności technicznych. Z tego powodu nie ma wielu międzynarodowych producentów. Istnieją mniejsi producenci, jednak nie są to częste przypadki.

Piece do produkcji szkła float działają nieprzerwanie przez 12 do 15 lat, po czym są przebudowywane z częściową lub całkowitą wymianą konstrukcji w zależności od jej stanu. Większa przebudowa to koszt rzędu 30 – 50 mln euro, natomiast nowa linia produkcyjna (zwykle o wydajności 500 ton dziennie) kosztowałaby około 100 – 150 mln EUR.

1.4.4 Główne kwestie dotyczące ochrony środowiska

[65, GEPYP – Proposals for GLS revision 2007]

Głównymi problemami środowiskowymi związanymi z produkcją szkła float są wysoka temperatura i nakład energii wymagane w tym procesie. To skutkuje emisją produktów spalania i wysokotemperaturowego utleniania azotu atmosferycznego, czyli dwutlenku siarki, dwutlenku węgla i tlenków azotu. Emisje z pieca zawierają również pył (z odparowywania i późniejszej kondensacji lotnych materiałów zestawu szklarskiego) oraz śladowe ilości chlorków, fluorków i metali obecnych jako zanieczyszczenia surowców. Możliwe jest ograniczenie tych emisji przy zastosowaniu rozwiązań technicznych, jednak każde z nich pociąga za sobą implikacje finansowe i środowiskowe.

Odpady szklane wytworzone na miejscu są zwracane do pieca, natomiast w zakresie recyklingu odpadów przetworzonych i pokonsumenckich sektor również poczynił znaczne postępy. Stłuczka szkła płaskiego jest użytecznym surowcem dla innych sektorów przemysłu szklarskiego, zwłaszcza sektora szkła opakowaniowego i wełny izolacyjnej. Zgodnie z szacunkami do 95% odpadów szklanych z przetwórstwa poddawana jest jakiejś formie recyklingu. Produkcja szkła płaskiego nie powinna na ogół prowadzić do znaczących problemów z zanieczyszczeniem wód. Woda używana jest głównie do czyszczenia i chłodzenia, więc może być od razu oczyszczana lub wykorzystywana ponownie.

W produkcji szkła płaskiego można zaobserwować znaczne postępy na rzecz ochrony środowiska, dzięki środkom podstawowym i wtórnym emisje zostały znacznie ograniczone i osiągnięto ograniczenie zużycia energii. Od 1960 do 1995 r. zużycie energii zostało zmniejszone o 60%, podczas gdy w latach 1996 – 2006 osiągnięto redukcję o kolejne 20%. Teoretyczne minimum wymagane do stopienia szkła to 0,76 MWh/t (2,74 GJ/t), a dalsze ograniczenie zużycia energii wymagałoby znacznych postępów w dziedzinie technologii. [128, ECORYS 2008]. Faktyczna minimalna wartość zużycia energii wynosi ok. 5 GJ/t na początku eksploatacji pieca (zob. pkt. 3.4.5). Rozpatrując ogólne oddziaływanie sektora produkcji szkła płaskiego na środowisko, warto jest rozważyć pewne korzyści środowiskowe związane z jego produktami. Na przykład całkowity bilans energetyczny związany z produkcją szyb obejmuje zarówno energię zużytą do ich produkcji, jak też ich wpływ na energię zużywaną przez budynek, w okresie, w którym wmontowane są szyby (powiedzmy 30 lat).

Sektor budowlany odpowiada za co najmniej 40% zużycia energii w UE, z czego połowa zużywana jest do ogrzewania domów. Modernizacja istniejących i nowych budynków w Europie przez zastępowanie zwykłych lub podwójnych szyb przez nisko-emisyjne szyby zespolone znacznie poprawia izolację termiczną. Straty ciepła są ograniczane do mniej niż 20% w porównaniu z pojedynczymi szybami oraz do mniej niż 40% w porównaniu ze zwykłymi podwójnymi szybami. Może to mieć istotny wpływ na zużycie energii w budynkach.

Zaawansowane technologicznie produkty na potrzeby rynku motoryzacyjnego pomagają zredukować zużycie paliwa przez zmniejszanie masy oraz zredukować obciążenie klimatyzacji przez zastosowanie szyb atermicznych.

Szacunkowa redukcja zużycia energii potrzebnej do ogrzewania, która mogłaby zostać osiągnięta przez upowszechnienie stosowania wydajnych, nisko-energetycznych lub potrójnych szyb we wszystkich nowych i istniejących budynkach w UE-27 przełożyłaby się na 975 000 TJ energii rocznie, co odpowiada 97 mln ton CO₂ emisji rocznie. [159, Glass for Europe 2009]

Efektom zastosowania szyb atermicznych w budynkach posiadających klimatyzację może być dodatkowa redukcja emisji CO₂ szacowana na 15 do 80 mln ton rocznie. [160, Glass for Europe 2008]

W okresie użytkowania szkła redukcja emisji CO₂ osiągnięta dzięki zastosowaniu wydajnych energetycznie produktów ze szkła zdecydowanie przewyższy emisje związane z jego produkcją.

Bibliografia

[GEPVP: 'LOW-E GLASS IN BUILDINGS – Impact On The Environment & On Energy Savings – Contribution of the flat glass industry towards reducing greenhouse gas emissions & energy consumption in the EU-15' [Niskoenergetyczne szyby w budynkach – Wpływ na środowisko i oszczędność energii –

wkład przemysłu szklarskiego w ograniczanie emisji gazów cieplarnianych i zużycia energii w UE-15] (2000)]

[GEPVP: 'ENERGY & ENVIRONMENTAL BENEFITS from Advanced Double Glazing in EU Buildings' [Korzyści energetyczne i środowiskowe płynące z zaawansowanych zespolonych szyb w budynkach UE] (marzec 2005)]

[ECOFYS: 'Impact of the improvement of thermal insulation (CTE2) on the CTE' [Wpływ udoskonalenia izolacji termicznej (CTE2) na CTE] (lipiec 2004)]

[Raport TNO: 'Impact of Solar Control Glazing on energy and CO₂ savings in Europe' [Wpływ szyb atermicznych na oszczędność energii i CO₂ w Europie] (lipiec 2007)]

1.5 Włókna szklane ciągłe

[66. APFE UPDATE IPPC Glass BREF 2007] [67. APFE Plant survey 2007]

1.5.1 Opis sektora

[19, CPIV 1998]

Produkcja włókien szklanych ciągłych jest jednym z najmniejszych sektorów przemysłu szklarskiego pod względem tonażu, jednak jego produkty mają stosunkowo wysoką wartość w stosunku do swojej masy. Sektor ten obejmuje produkcję włókien szklanych ciągłych, które są następnie przetwarzane w inne produkty. Nie jest on tożsamy z produkcją izolacyjnych włókien szklanych, które powstają w wyniku innego procesu i noszą zwykle nazwę „wełny szklanej”.

W 2005 r. w sektorze tym wyprodukowanych zostało 933 400 ton włókien w 34 piecach działających w 17 miejscach do produkcji szkła typu E w UE-25 oraz niewielkich ilości włókien szklanych typu C i AR. W roku 2005 w sektorze zatrudnionych było bezpośrednio 6 500 pracowników.

W sektorze można było zaobserwować pokaźny wzrost w latach 1997 – 2007 z uwzględnieniem zwiększenia produkcji w czterech nowych zakładach produkcyjnych na Łotwie, w Czechach i Słowacji. W UE działało siedmioro producentów: Ahlstrom, Johns Manville, Lanxess, P-D Oschatz, Owens Corning, PPG i Saint-Gobain Vetrotex. W 2007 r. Owens Corning przejął Saint-Gobain Reinforcements and Composites [zbrojenia i kompozyty], z których utworzył OCV Reinforcements. Warunkiem przejęcia było zbycie dwóch lokalizacji nowo utworzonej spółki OCV Company na rzecz nowej spółki pod nazwą 3B-Fibreglass. Saint-Gobain zachował swój dział Textile Solutions [rozwiązań materiałowych] jako oddzielna organizacja. Największą z wymienionych firm jest obecnie OCV Reinforcements z zakładami we Francji, Niemczech, Włoszech, Belgii i Hiszpanii. Następne w kolejności w UE są PPG, 3B i Johns Manville z zakładami w całej UE-25.

Z perspektywy globalnej w 2005 r. USA były największym producentem wytwarzającym 40% światowej produkcji, natomiast Europa i Azja wytwarzały odpowiednio 20 i 25%. Największym producentem na świecie jest Owens Corning, natomiast na drugim i trzecim miejscu znajdują się Vetrotex i PPG. Geograficzne rozmieszczenie w sektorze i wydajność pieców zaprezentowane zostały w tabeli 1.9 oraz tabeli 1.10.

Tabela 1.9: Liczba pieców i instalacji do produkcji włókien ciągłych w państwach członkowskich

Państwo członkowskie	Liczba instalacji	Liczba pieców (działających w 2005 r.)	Produkcja w UE-25	
Niemcy	3	5		
Belgia	2	5		
Czechy	2	4		
Francja	2	4		
Włochy	2	3		
Finlandia	1	3		
Słowacja	1	3		
Holandia	1	2		
Zjednoczone Królestwo	1	2		
Hiszpania	1	2		
Łotwa	1	1		
Razem	17	34		3 400 ton w 2005

Tabela 1.10: Liczba pieców do produkcji włókien ciągłych w określonych przedziałach zdolności produkcyjnej

Wydajność produkcji (liczba ton dziennie)	<50	50 do 100	>100
Liczba pieców w każdym zakresie (2005 r.)	11	11	12

1.5.2 Produkty i rynki zbytu

[19, CPIV 1998] [66, APFE UPDATE IPPC Glass BREF 2007]

Włókna szklane ciągle produkowane i dostarczane są w zróżnicowanych postaciach, takich jak: rowing, maty, włókna cięte, tekstylia (przędza), cienka tkanina i włókna mielone. Głównym ich zastosowaniem (w ok. 90%) jest wzmocnienie materiałów kompozytowych (tworzyw wzmacnianych włóknami szklanymi – TWS) poprzez wzmacnianie żywicy termoutwardzalnej i termoplastycznej. Kompozyty mają szeroką gamę zastosowań przemysłowych w UE dzięki ich dużej wytrzymałości w stosunku do wagi, niedużej masie i odporności na korozję. Nowe zastosowania są nieustannie opracowywane.

Głównym rynkiem zbytu materiałów kompozytowych są przemysł budowlany, sektor motoryzacyjny i transportowy oraz przemysł elektryczny i elektroniczny. Inne zastosowania obejmują rury i zbiorniki, urządzenia rolnicze, maszyny przemysłowe oraz zastosowania w sektorze morskim, sportu i rekreacji.

Gwałtownie rosnącym rynkiem zbytu kompozytów z włókien szklanych jest energia odnawialna, a zwłaszcza energia wiatrowa. Drugim co do ważności zastosowaniem jest produkcja materiałów włókienniczych wykorzystywanych na podobnych rynkach co kompozyty, choć oczywiście w innym celu. Głównym rynkiem zbytu szklanych materiałów włókienniczych jest przemysł elektroniczny, w którym są one wykorzystywane do produkcji płyt z obwodami drukowanymi. Produkcja materiałów włókienniczych na ten cel przenosi się w znacznej mierze do Azji ze względu na konkurencję na rynku.

Sektor ten cieszy się szeroką i coraz bardziej zróżnicowaną gamą klientów oraz znaczącym udziałem handlu zagranicznego. Handel zagraniczny ogranicza wpływ wahań na konkretnych rynkach lub w regionach geograficznych. Zwiększa jednak zagrożenie ze strony konkurencji z regionów o niższych kosztach produkcji.

1.5.3 Uwarunkowania handlowe i finansowe

[19, CPIV 1998] [66, APFE UPDATE IPPC Glass BREF 2007]

Sektor włókien szklanych ciągłych wykazuje w okresie długoterminowym solidny wzrost. Jego produkty mają stosunkowo dużą wartość, można je transportować i charakteryzuje się on znaczącym udziałem handlu zagranicznego. Choć zapotrzebowanie na jego produkty rośnie, duża konkurencja hamuje wzrost cen i ogranicza rentowność. Średnie wykorzystanie zdolności produkcyjnej w 2005 r. wynosiło około 95%.

W 2005 r. eksport i import stanowiły odpowiednio 27% i ponad 44% produkcji UE, co daje ujemny bilans handlowy i wskazuje na rosnące przenikanie rynku przez towary importowane głównie z Azji.

Produkcja włókien szklanych ciągłych jest bardzo kapitałochłonna, gdyż wymaga znacznych zasobów finansowych, długofalowych inwestycji oraz pracowników ze specjalistycznymi umiejętnościami technicznymi. Z tego powodu nie ma zbyt wielu międzynarodowych ani mniejszych producentów.

Piece w tym sektorze działają nieprzerwanie przez 8 do 12 lat, po czym są przebudowywane z częściową lub całkowitą wymianą konstrukcji w zależności od jej stanu. Przebudowa średniej wielkości pieca (topiącego około 250 ton szkła dziennie) to koszt rzędu 8 mln EUR. Nowy zakład podobnej wielkości budowany od podstaw z infrastrukturą i obsługą to koszt rzędu 75 – 90 mln EUR.

1.5.4 Główne kwestie dotyczące ochrony środowiska

[66, APFE UPDATE IPPC Glass BREF 2007]

Wytwarzanie włókien szklanych ciągłych wiąże się ze stosunkowo niewielką produkcją odpadów w porównaniu z wieloma innymi gałęziami przemysłu. Produkcja cienkich włókien może jednak powodować pęknięcia, co z kolei prowadzi do powstawania większej ilości odpadów z tony produktu niż wynosi średnia w przemyśle szklarskim. W 2005 r. można było zaobserwować redukcję w ilości stopionego szkła składowanego na wysypiskach, częściowo dzięki udoskonaleniu wydajności procesu

produkcji, a częściowo dzięki odzyskaniu go to ponownego użycia. Odzyskiwanie do pieców do produkcji włókien szklanych jest nadal niełatwe, ale wciąż podejmowane są próby uporania się ze związanymi z tym problemami.

Produkcja włókien szklanych na ogół nie pociąga za sobą problemów związanych z zanieczyszczeniem wód. Woda wykorzystywana jest głównie do czyszczenia i schładzania, jednak możliwe są emisje związane ze stosowaniem materiałów powłokowych. Emisje mogą powstawać podczas przygotowywania i transportu powłok, podczas ciągnięcia oraz operacji obróbki wtórnej. Emisje mogą zostać zminimalizowane dzięki zastosowaniu właściwych technik transportu i zabezpieczenia przed rozsypaniem podczas zestawiania, natomiast pozostałe zanieczyszczenia można usunąć przy wykorzystaniu technik standardowych.

Głównymi problemami środowiskowymi związanymi z produkcją włókien szklanych ciągłych są wysoka temperatura i nakład energii wymagane w tym procesie. Skutkuje to emisją produktów spalania i wysokotemperaturowego utleniania azotu atmosferycznego, czyli dwutlenku siarki, dwutlenku węgla i tlenków azotu. Emisje z pieca zawierają również pył (z odparowywania i powtórnej kondensacji lotnych materiałów zestawu) oraz śladowe ilości chlorków i metali obecnych jako zanieczyszczenia surowców. Powstały pył oddzielony za pomocą filtracji od gazów spalinowych nie jest w większości przypadków odzyskiwany do ponownego użycia w piecu ze względu na zjawisko rozkurzania oraz na obecność składników żrących/korozyjnych, takich jak chlorek sodu (NaCl).

Z uwagi na specyfikę procesu rozwłókniania w zestawie szklarskim mogą występować różne ilości fluorków, co może prowadzić do emisji fluorowodoru. Jest to złożony problem, który został omówiony bardziej szczegółowo w rozdziale 4. Możliwe jest ograniczenie tych emisji przy zastosowaniu rozwiązań technicznych, jednak każde z nich pociąga za sobą implikacje finansowe i środowiskowe. W produkcji włókien szklanych można zaobserwować znaczne postępy na rzecz ochrony środowiska, emisje zostały znacznie ograniczone i osiągnięto ograniczenie zużycia energii. Rozpatrując ogólne oddziaływanie tego sektora na środowisko, warto jest rozważyć pewne korzyści środowiskowe związane z jego materiałami kompozytowymi, które są głównymi produktami końcowymi wytwarzanymi z włókien szklanych. Oprócz licznych korzyści technicznych produkcja materiałów kompozytowych wymaga ogólnie znacznie mniejszej ilości energii niż produkcja materiałów, które zastępują, zwłaszcza stali i aluminium. W transporcie prowadzą one do redukcji masy (co pozwala na oszczędność paliwa) i charakteryzują się większą trwałością dzięki wysokiej odporności na korozję.

Ostatnimi czasy natomiast przyczyniły się do rozwoju opłacalnych konstrukcji na potrzeby farm wiatrowych, zwłaszcza łopat, co stanowi duży i cenny wkład do przemysłu energii odnawialnych oraz światowych wysiłków na rzecz redukcji emisji CO₂.

1.6 Szkło gospodarcze

1.6.1 Opis sektora

[28, Domestic 1998] [68, Domestic Glass Data update 2007]

Sektor produkcji szkła gospodarczego jest jednym z najmniejszych sektorów w przemyśle szklarskim wytwarzającym 4% całkowitej produkcji. Sektor ten obejmuje produkcję zastawy stołowej, sprzętów kuchennych i przedmiotów dekoracyjnych, w tym szklanek, filiżanek, półmisek, talerzy, wazonów i ozdób. Produkcja szkła gospodarczego jest rozmieszczona w całej UE z ponad 300 instalacjami, z których ponad 120 znajduje się we Włoszech, a około 70 w Polsce.

Około 60 instalacji spełnia kryterium produkcji 20 ton dziennie jako całkowitej wydajności topienia instalacji składającej się z jednego pieca lub więcej, zgodnie z dyrektywą 2008/1/WE i to one odpowiadają za większość produkcji UE. W 2006 r. całkowita produkcja w UE-27 wynosiła około 1,46 mln ton.

Do największych producentów szkła gospodarczego w Europie należą Arc International (Francja), Bormioli Rocco e Figlio, Bormioli Luigi i RCR Cristalleria Italiana (Włochy), Durobor (Belgia), Duralex (Francja), Pasabahce (Bułgaria), Riedel Nachtmann (Niemcy), Waterford Crystal (Irlandia), Zwiesel (Niemcy) oraz Libbey (Portugalia). Jak zostało to już wspomniane wcześniej, istnieje wiele mniejszych firm, które często specjalizują się w produktach o wartości dodanej (szkle ołowiowym itp.).

Geograficzne rozmieszczenie w sektorze wraz z szacunkowym udziałem w produkcji oraz wydajność

instalacji zaprezentowane zostały w tabeli 1.11 i tabeli 1.12.

Tabela 1.11: Liczba i rozmieszczenie instalacji IPPC produkujących szkło gospodarcze w państwach członkowskich w 2006r.

Państwo członkowskie	Liczba instalacji powyżej 20 t/dzień	Przybliżony udział % w produkcji UE
Francja	7	26,9
Niemcy	8	22,2
Włochy	7	11,7
Hiszpania	5	10,1
Polska	4	5,5
Czechy	8	5,2
Holandia	1	4,8
Słowacja	3	3,0
Belgia	1	1,7
Portugalia	1	1,6
Grecja	2	1,6
Bułgaria	1	1,3
Węgry	2	1,2
Irlandia	1	1,1
Austria	4	0,6
Szwecja	1	0,5
Finlandia	1	0,5
Słowenia	2	0,2
Zjednoczone Królestwo	1	0,2
Razem	60	1 463 000 ton w 2006 r.
<i>Źródło: [68, Domestic Glass Data update 2007]</i>		

Tabela 1.12: Liczba instalacji do produkcji szkła gospodarczego w określonych przedziałach wydajności produkcji w 2006 r. (szacunkowa)

Wydajność produkcji (liczba ton dziennie)	<20	20 do 100	>100
Liczba instalacji w każdym przedziale	>240	41	19
<i>Źródło: [68, Domestic Glass Data update 2007]</i>			

1.6.2 Produkty i rynki zbytu

[28, Domestic 1998]

Sektor szkła gospodarczego jest bardzo zróżnicowany pod względem produktów i stosowanych procesów. Gama produktów rozciąga się od masowych produktów powszechnego użytku do wysokiej wartości karafek i kielichów ze szkła ołowiowego. Metody formowania produktów obejmują sposoby manualne (piszczele i cięcie) jak również całkowicie zautomatyzowane. Podstawowe wyroby, wśród których szklanki stanowią ponad 50% produkcji, zostały wymienione w pkt. 1.6.1.

Większość produktów wytwarzanych jest ze szkła sodowo-wapniowego, które może być przezroczyste lub barwione. Szkło ołowiowe oraz szkło kryształowe są wykorzystywane do produkcji szklanek, karafek i przedmiotów dekoracyjnych o wysokim połysku i gęstości. Szkło opalowe stosowane jest do produkcji filiżanek, talerzy, plater i naczyń żaroodpornych. Borokrzemianowe szkło gospodarcze jest bardziej rozpoznawalne pod nazwą najbardziej popularnych marek, czyli Duran (Schott) i Pyrex (Arc International), a wytwarzane z niego produkty to przede wszystkim sprzęt kuchenny i odporna na wysokie temperatury zastawa stołowa. W niektórych przypadkach produkty o tym odmiennym składzie są odpuszczane, by zwiększyć ich odporność na szok termiczny i wstrząsy mechaniczne. Produkty z tworzywa szklano-ceramicznego są odporne na duże różnice temperatur i mają zastosowanie przy wysokich temperaturach, głównie jako sprzęty kuchenne.

Baza klientów będących użytkownikami końcowymi jest niezwykle obszerna, ale w sprzedaży bezpośredniej udział biorą głównie duzi detaliści i hurtownicy, choć niektórzy producenci prowadzą sprzedaż bezpośrednią skierowaną do odbiorców indywidualnych.

Na różne części rynku wpływa duża ilość rozmaitych czynników. Gusta konsumenckie i trendy społeczne są bardzo istotne. Na przykład konsekwencją bardziej swobodnego spożywania posiłków w Europie było większe zapotrzebowanie na tańsze naczynia o średniej jakości, natomiast popyt na szkło barwione zmienia się w czasie i różni się w zależności od regionu. Dla producenta ważne jest przewidywanie tych zmian i dostosowywanie się do nich, w związku z czym elastyczność jest wpisana w działania produkcyjne.

W konsekwencji skład szkła gospodarczego musi być dostosowany do konkretnych produktów i wymagań związanych z ich przetwarzaniem. Nawet podstawowy skład sodowo-wapniowy może różnić się znacząco od składu sodowo-wapniowego szkła płaskiego lub opakowaniowego.

Zwiększona automatyzacja produkcji szkła ołowiowego pozwoliła na produkcję tańszych przedmiotów o jakości bliskiej jakości wyrobów wytwarzanych ręcznie. Taki rodzaj produktu o wysokiej wartości jest jednak wysoce uzależniony od postrzegania przez klientów, w związku z czym dopisek „ręcznie wykonane” wciąż decyduje o wyższej cenie. Oznacza to, że ręczne wyroby raczej nie zostaną ograniczone (przynajmniej w perspektywie średnio-okresowej) do produktów na zamówienie.

1.6.3 Uwarunkowania handlowe i finansowe

[28, Domestic 1998]

Podobnie jak w przypadku większości sektorów przemysłu szklarskiego sektor szkła gospodarczego to dojrzała branża ciesząca się umiarkowanym długofalowym wzrostem popytu. Produkty ze szkła gospodarczego są łatwe w transporcie i stanowią przedmiot obrotu handlowego zarówno pomiędzy państwami członkowskimi UE jak i handlu z krajami spoza UE. Głównym zagrożeniem dla tego sektora jest konkurencja na rynkach krajowych ze strony zwiększonego importu oraz zwiększonej konkurencji na kluczowych rynkach eksportowych. Zwiększona konkurencja doprowadziła do zahamowania wzrostu cen i ograniczyła rentowność. W roku 2005 eksport i import stanowiły odpowiednio 26% i 28,5% produkcji w UE pod względem tonażu. Choć stanowi to o niezłym bilansie handlowym, większość importu była z Dalekiego Wschodu i Turcji, co znacznie przewyższyło eksport z krajów UE do tych regionów.

Tak jak w innych sektorach tej branży produkcja szkła na dużą skalę jest bardzo kapitałochłonna i wymaga znacznych długofalowych inwestycji. Konsekwencją tego jest niewielki udział producentów szkła gospodarczego produkujących ponad 20 ton dziennie. Choć tych kilka firm realizuje większość produkcji UE, niezwykle w sektorze szkła gospodarczego jest istnienie dużej liczby mniejszych, mniej kapitałochłonnych instalacji często specjalizujących się w ręcznym wytwarzaniu przedmiotów o wysokiej jakości lub w zajmowaniu nisz rynkowych. Te niewielkie ilości szkła mogą być produkowane w piecach donicowych i wannach wyrobowych, których budowa i eksploatacja jest stosunkowo niedroga, ale które nie mogą konkurować pod względem ekonomicznym na rynkach masowych.

W sektorze szkła gospodarczego stosowana jest szeroka gama pieców o różnych rozmiarach, w związku z czym różne są okresy, po upływie których wymagają one naprawy. Duże piece opalane paliwem kopalnym mogą funkcjonować przez 5 do 8 lat zanim konieczny będzie kapitalny remont. W przypadku pieców elektrycznych będzie to od 3 do 6 lat, a pieców donicowych – od 10 do 20 lat, przy czym donice muszą być wymieniane co 3 do 12 miesięcy. Kapitalny remont (z wyłączeniem maszyn formujących) typowego pieca elektronicznego topiącego 30 ton szkła ołowiowego dziennie to koszt rzędu 2 mln euro, natomiast nowy piec to koszt 8 mln EUR. Kapitalny remont (z wyłączeniem maszyn formujących) typowego pieca opalanego paliwem kopalnym topiącego 130 ton szkła sodowo-wapniowego dziennie to koszt rzędu 4 mln euro, natomiast nowy piec to koszt 12 mln EUR.

1.6.4 Główne kwestie dotyczące ochrony środowiska

Surowce do produkcji szkła gospodarczego to na ogół stosunkowo nieszkodliwe, naturalne lub wytworzone przez człowieka substancje. Wyjątek stanowi produkcja szkła ołowiowego lub szkła kryształowego, która wiąże się z zastosowaniem tlenku ołowiu i czasami trójtlenku arsenu lub antymonu, co wymaga ostrożnego transportu i przechowywania w celu uniknięcia emisji. W sektorze produkowanych jest stosunkowo niewiele odpadów, natomiast większość z wytwarzanej wewnętrznie słuczki podlega recyclingowi. Tam, gdzie to niemożliwe w związku z wymogami jakościowymi, słuczka jest odzyskiwana lub poddawana recyclingowi w sektorze szkła opakowaniowego (z wyjątkiem szkła ołowiowego i szkła kryształowego). Ogólnie rzecz biorąc stosowanie słuczki obcej w procesie nie jest praktykowane ze względu na wspomniane wyżej wymogi jakościowe.

Większość rodzajów produkcji szkła gospodarczego nie wiąże się ze znacznymi problemami w zakresie zanieczyszczenia wód. Woda używana jest powszechnie do czyszczenia i chłodzenia, więc może być od razu oczyszczana lub wykorzystywana ponownie. Stosowanie bardziej toksycznych związków chemicznych w szkło ołowiowym lub szkło kryształowym stwarza większe ryzyko zanieczyszczenia. Emisje mogą zostać zminimalizowane, a pozostałe zanieczyszczenia mogą zostać oczyszczone za pomocą standardowych technik.

Tak jak w przypadku innych sektorów przemysłu szklarskiego głównymi problemami środowiskowymi związanymi z produkcją szkła gospodarczego są wysoka temperatura i nakład energii wymagane w tym procesie. W przypadku pieców opalanych paliwem kopalnym skutkuje to emisją produktów spalania i wysokotemperaturowego utleniania azotu atmosferycznego, czyli dwutlenku siarki, dwutlenku węgla i tlenków azotu. Emisje z pieca zawierają również pył oraz śladowe ilości chlorków, fluorków i metali z odparowywania i późniejszej kondensacji lotnych materiałów zawartych w zestawie. Specyficzne surowce, stosowane by nadać produktowi końcowemu pożądane właściwości, mogą prowadzić do emisji fluorowodoru ze szkła opalowego wytwarzanego z surowców zawierających fluorek, związki boru ze szkła borokrzemianowego, tlenki azotu z zastosowania azotanów itp. Kiedy szkło jest polerowane, w grę wchodzi zanieczyszczenie powietrza, wody oraz produkcja odpadów.

Możliwe jest ograniczenie tych emisji przy zastosowaniu rozwiązań technicznych, jednak każde z nich pociąga za sobą implikacje finansowe i środowiskowe. W ostatnich latach można było zaobserwować postępy na rzecz ochrony środowiska w postaci znacznego ograniczenia emisji zanieczyszczeń oraz zużycia energii.

1.7 Szkła specjalne

1.7.1 Opis sektora

[26, Special 1998] [73, Special Glass Proposal 2007]

W roku 2005 sektor produkcji szkieł specjalnych jako piąty sektor pod względem tonażu wytworzył około 2,1% całkowitej produkcji przemysłu szklarskiego. Nie licząc szkła wodnego, w sektorze tym wyprodukowanych zostało 0,770 mln ton produktów (zob. tabela 1.13), ale cała zdolność produkcyjna wynosiła 1,29 mln ton.

Szkła specjalne to bardzo zróżnicowana grupa obejmująca szeroką gamę produktów o stosunkowo dużej wartości, takich jak: szkło w lampach elektrono-promieniowych – CRT (ekrany i lampy oscyloskopowe), szkło oświetleniowe (jarzeniówki/neonówki i żarówki), szklane rurki borokrzemianowe, sprzęt laboratoryjny i techniczny, szkło borokrzemianowe i ceramika szklana (sprzęty kuchenne oraz stosowane w wysokich temperaturach w gospodarstwie domowym), a także szkło optyczne, szkło kwarcowe, szkło na potrzeby przemysłu elektronicznego (np. panele LCD).

Sektor produkcji szkieł specjalnych pokrywa się w pewnym stopniu z innymi sektorami przemysłu szklarskiego, zwłaszcza z sektorem produkcji szkła gospodarczego w zakresie niektórych produktów borokrzemianowych i tworzywa szklano-ceramicznego. Nie jest to jednak istotny problem, gdyż produkty te stanowią jedynie niewielką część produkcji sektora.

W 2005 szklane rurki i żarówki stanowiły 53,5%, natomiast szkło CRT stanowiło 21,7% całkowitej zdolności produkcyjnej, będąc jednocześnie głównym przedmiotem produkcji w sektorze produkcji szkieł specjalnych.

W latach 2005 – 2007 zamkniętych zostało siedem zakładów w Zjednoczonym Królestwie, Francji, Niemczech, Litwie i Czechach produkujących ekrany i lampy oscyloskopowe CRT, na skutek czego w całej Europie pozostał tylko jeden wytwórca szkła CRT: Videocon będący własnością prywatnego hinduskiego konglomeratu, zlokalizowany w Polsce.

Podczas gdy produkcja szkła oświetleniowego, szkła borokrzemianowego i tworzywa szklano-ceramicznego zwykle przekracza próg 20 ton dziennie zawarty w Dyrektywie w sprawie emisji przemysłowych 2010/75/UE, większość małych producentów niewielkich ilości specjalistycznych produktów, takich jak szkło optyczne i szkło na potrzeby przemysłu elektronicznego, często nie osiąga tego progu.

Istnieje jednak kilka zintegrowanych instalacji, które wytwarzają szeroką gamę produktów produkowanych w małych i dużych ilościach, w którym to przypadku całkowita produkcja może przekraczać próg 20 ton dziennie.

Chociaż zwykle szkło wodne (krzemian sodowy) uważane jest za część przemysłu chemicznego, można je uzyskać topiąc piasek i sodę amoniakową. Czynność ta spełnia kryteria definicji zawartej w pkt. 3.3 oraz 3.4 załącznika I do dyrektywy 2010/75/UE. Na potrzeby pierwotnego dokumentu referencyjnego BAT w zakresie produkcji szkła przyjętego w 2001 r. działalność ta została uznana za część sektora produkcji szkieł specjalnych, ale obecnie jest objęta dokumentem referencyjnym BAT pt. Produkcja wielkotonazowych związków nieorganicznych – substancje stałe i inne [Large Volume Inorganic Chemicals – Solids and Others Industry] (LVIC-S) [<http://eippcb.jrc.es/reference/>].

1.7.2 Produkty i rynki zbytu

[26, Special 1998] [73, Special Glass Proposal 2007]

W tabeli 1.13 zaprezentowane zostały stosunkowe wielkości produkcji każdej części sektora. Szkło CRT oraz szklane rury oświetleniowe i żarówki stanowią prawie 80% zdolności wytwórczej.

Tabela 1.13: Podział sektora szkieł specjalnych w roku 2005

Rodzaj szkła	Wielkość produkcji (tony)	Zdolność produkcyjna (tony/rok)	Udział w zdolności produkcyjnej sektora (%)
Szkło CRT (panele i stożki)	230 000	280 000	21,7
Szklane rury oświetleniowe i żarówki	384 000	692 000	53,5
Szkło borokrzemianowe (bez rur)	50 000	90 000	7,0
Innego rodzaju szkło oświetleniowe (bez kwarcówek, jarzeniówek i żarówek)	30 000	60 000	4,6
Tworzywo szklano-ceramiczne	55 000	120 000	9,3
Szkło kwarcowe	5 000	15 000	1,2
Szkło optyczne	6 000	10 000	0,8
Inne rodzaje szkła	10 000	25 000	1,9
Szklą specjalne razem	770 000	1 292 000	100,0

Uwaga: Szkło wodne jest obecnie objęte dokumentem referencyjnym BAT pt. Produkcja wielkotonazowych związków nieorganicznych – substancje stałe i inne [Large Volume Inorganic Chemicals – Solids and Other Industry] (LVIC-S)
Źródło: [74, Special Glass breakdown 2007]

Najważniejsze produkty i rynki zbytu szkieł specjalnych zostały opisane poniżej.

Szkło do produkcji monitorów kineskopowych (CRT) a płaskie ekrany

Upadek rynku monitorów kineskopowych zbiega się w czasie z gwałtownym wzrostem produkcji płaskich ekranów, zwłaszcza do telewizorów i monitorów komputerowych. Większość instalacji zlokalizowana jest blisko dużych zakładów produkcyjnych ekranów LCD, np. w Azji. Stosowana jest albo metoda float albo pionowego ciągnięcia. Jak do tej pory tylko jeden zakład stosujący metodę float do produkcji szklanych ekranów został zbudowany w Europie przez firmę Schott AG w Niemczech. W roku 2008 zakład był wciąż raczej na etapie sondowania potrzeb klientów niż w fazie operacyjnej.

Szkło oświetleniowe

Wciąż produkowana jest duża ilość szkła oświetleniowego. Sektor ten obejmuje żarówki oraz oświetlenie fluorescencyjne (zarówno w gospodarstwach domowych jak i w miejscach publicznych), światła halogenowe i reflektory w pojazdach. Zastosowanie do ostatniego rodzaju produktów jest coraz radsze, gdyż szklane reflektory zastępowane są materiałami polimerowymi. Oświetlenie to dojrzały rynek, ale i tak trochę nadszarpnięty przez import z Dalekiego Wschodu. Reflektory i filtry chroniące przed temperaturą/promieniowaniem UV w projektorach video są produkowane w niewielkich ilościach, lecz mają dużą wartość dodaną.

Rurki szklane

Produkcję szklanych rurek napędza przede wszystkim medycyna i farmacja. Choć mówi się, że w dłuższej perspektywie polimery mogą stanowić zagrożenie dla branży, rynki zbytu rosną o kilka punktów procentowych rocznie, a europejskie miejsca produkcji wykorzystywały pełną zdolność produkcyjną w 2005 r. i jest tak nadal.

Oprócz zastosowań w farmacji szklane rurki są również produkowane na potrzeby oświetlenia. Wytwarzane są one w całej Europie, natomiast najwięcej rurek produkowanych jest w Niemczech. Ten rodzaj produktów wytwarza 11 firm: Schott, Osram, and Technische Glaswerke Ilmenau (Niemcy); Philips (Holandia); Demaglass (Zjednoczone Królestwo); Gerresheimer Pisa and Neubor Glass (Włochy); Lawson Mardon Wheaton (Francja); Averti (Hiszpania); EMGO (Belgia), General Electric (Węgry).

Tworzywo szklano-ceramiczne

Produkcja tworzywa szklano-ceramicznego wciąż rośnie w tempie ok. 10% rocznie (a więc podwoiła się prawie od roku 1997). Głównymi produktami z tego tworzywa są płyty grzewcze i szyby kominkowe. Dwie firmy w Europie (Schott w Niemczech i Keraglass we Francji) produkują „zielone szkło” wyłącznie w Europie z zastosowaniem wysokiej temperatury i technologii stosowanej do materiałów trudnotopliwych. Kiedy wyroby sprzedawane są poza Europą, transportowane są jako „zielone szkło”, natomiast ich wykończenie tj. ceramizacja i dekoracja następuje w pobliżu wytwórcy sprzętów (np. w USA, w Chinach). Niektóre firmy również topią zielone szkło w Chinach, jednak jak do tej pory uzyskane w ten sposób produkty nie spełniają europejskich standardów projektowych i jakościowych.

Szkło borokrzemianowe (bez rur)

Zastosowanie szkła borokrzemianowego w masowych produktach powszechnego użytku (np. dzbankach do kawy, sprzętach kuchennych, tackach w mikrofalówkach, sprzęcie laboratoryjnym i elementach potrzebnych zakładom chemicznym) jest bardzo dojrzałym sektorem. W czasie sporządzania niniejszego dokumentu (2010 r.) część dostaw na ten rynek pochodzi z krajów o niskich kosztach zatrudnienia, natomiast szklany sprzęt laboratoryjny jest coraz częściej zastępowany polimerami i jednorazowymi alternatywami. Ostatnimi czasy wysoki koszt surowców do produkcji polimerów odwraca tę tendencję, a szkło borokrzemianowe odzyskuje swoją pozycję na rynku. Nowym, coraz częstszym zastosowaniem szkła borokrzemianowego są rury z odbiornikami energii słonecznej, czy to w sposób bezpośredni czy po skupieniu energii słonecznej przez panele odbijające w elektrowniach słonecznych.

Szkło optyczne i korygujące

Produkcja szkieł optycznych i korygujących stanowi dwie dojrzałe gałęzie biznesu; pomimo pewnych problemów technicznych ich produkcja w Europie utrzymuje się na stosunkowo wysokim poziomie. Coraz większy udział w rynku mają jednak korygujące polimery. W niektórych częściach świata szkło jest jednak wciąż podstawowym materiałem do produkcji okularów korekcyjnych. W obszarze optyki do wielu wymagających zastosowań mogą być wykorzystywane wyłącznie produkty ze szkła. Sektor jest bardzo rozdrobniony. Niewielkie zakłady produkują nieduże ilości szkła w zaledwie niewielu rodzajach i o zaledwie kilku składach o wysokiej wartości dodanej wymagającej specjalnych surowców niezbędnych do nadania produktom pożądaných właściwości.

Zdolność produkcyjna pieców wynosi od 20 do 100 ton szkła sodowo-wapniowego i od 20 do 50 ton szkła borokrzemianowego dziennie. Piece do produkcji szkła sodowo-wapniowego to głównie poprzeczno-płomienne piece regeneracyjne, natomiast piece do produkcji szkła borokrzemianowego to w większości piece elektryczne, z których niektóre są rekuperacyjne, a niektóre są tlenowo-paliwowe. W tabeli 1.14 zaprezentowane zostały główne instalacje w UE produkujące szkła specjalne.

Tabela 1.14: Rozmieszczenie geograficzne głównych zakładów produkcji szkieł specjalnych w UE

Państwo członkowskie	Rodzaj produkcji	Instalacje
Niemcy	Szklane rury oświetleniowe /żarówki/ ceramika szklana	3
	Płaskie ekrany	1
Polska	Szkło CRT	1
	Żarówki	1
	Borokrzemianowy sprzęt kuchenny	1
Francja	Szklane rury oświetleniowe /żarówki/ ceramika szklana	2
Włochy	Rurki szklane	2
Belgia	Szklane rury oświetleniowe/żarówki	1
Holandia	Szklane rury oświetleniowe/żarówki	1
Zjednoczone Królestwo	Szklane rury oświetleniowe/żarówki	1
Hiszpania	Szklane rury oświetleniowe/żarówki	1
Węgry	Żarówki/elementy oświetleniowe	6
Austria	Reflektory	1
Razem		22

1.7.3 Uwarunkowania handlowe i finansowe

[26, Special 1998] [19, CPIV 1998] [73, Special Glass Proposal 2007]

Niektóre rodzaje produkcji szkieł specjalnych mają dobrze ugruntowaną pozycję, podczas gdy inne obsługują rozwijające się szybko rynki, natomiast niektóre firmy działają na wielu rynkach jednocześnie. Wzrost, zyski i perspektywy mogą się znacznie różnić dla różnych części tego sektora. Na przykład w 1996 r. w Europie produkcja szkła na potrzeby monitorów komputerowych znacznie wzrosła, podczas gdy zapotrzebowanie na szkło optyczne przeżywało stagnację w związku z konkurencją ze strony materiałów alternatywnych. Ogólny wzrost w tym sektorze w latach 1986 – 1996 był stabilny, a wartość produkcji wzrosła z 1,75 do 2,76 mld EUR. Sytuacja ta wyglądała całkowicie inaczej w 2005 r., kiedy zapotrzebowanie na kineskopy zmalało, a zwiększył się popyt na płaskie ekrany.

W 2005 r. unijny eksport szkieł specjalnych wynosił 8 1716 ton, a import 90 773 ton, co dało znaczny deficyt handlowy. Głównym źródłem importu (ok 45%) był Daleki Wschód, z czego 21,4% przypadało na Chiny.

Produkcja szkła specjalnego na dużą skalę jest bardzo kapitałochłonną działalnością wymagającą znaczących długofalowych inwestycji i umiejętności technicznych. Dowodem na to jest niewielka liczba wytwórców szkieł specjalnych w UE produkujących powyżej 20 ton dziennie. Choć tych kilka firm realizuje większość produkcji UE, w sektorze produkcji szkła specjalnego istnieje duża liczba mniejszych, mniej kapitałochłonnych instalacji często specjalizujących się w wytwarzaniu wymagających pod względem technicznym produktów o dużej wartości i wysokiej jakości.

Te niewielkie ilości szkła wytwarzane są w niedużych piecach, często elektrycznych, które mają krótsze cykle produkcyjne. Pomimo niewielkiej skali, działania te zwykle również wymagają znacznych długofalowych inwestycji w zaawansowany sprzęt, wykwalifikowanych pracowników oraz obszerne prace badawczo-rozwojowe.

W sektorze szkła specjalnego stosowana jest szeroka gama pieców, w związku z czym różne są okresy, po upływie których wymagają one naprawy. Duże piece opalane paliwem kopalnym do produkcji szkła specjalnego mogą funkcjonować przez 6 do 7 lat zanim konieczny będzie remont kapitalny. Dla pieców elektrycznych okres ten wynosi od 3 do 4 lat. W związku z dużym zróżnicowaniem sektora ciężko jest przewidzieć zwykle koszty. Przykładowe koszty inwestycyjne związane z głównymi produktami sektora szkła specjalnego zaprezentowane zostały w tabeli 1.15.

Tabela 1.15: Koszty inwestycyjne związane z instalacjami do produkcji szkieł specjalnych

Jednostka produkcyjna	Zdolność produkcyjna	Roczna wielkość produkcji	Całkowite inwestycje (w mln EUR)
Borokrzemianowy sprzęt kuchenny, szkło laboratoryjne itp.	Jeden piec (35 – 40 t/d)	Zwykle 26 mln sztuk	35 – 40
Płyty grzewcze z tworzywa szklano-ceramicznego	Jeden piec (65 t/d)	3,5 mln sztuk	75
Rurki szklane, topienie i ciągnięcie	Dwa piece (30 – 35 t/d)	16 000 ton netto	50 – 70
Żarówki (szkło sodowo-wapniowe)	Jeden piec (80 t/d)	100 mln sztuk	40 – 50

Źródło: [161, Special glass 2008]

1.7.4 Główne kwestie dotyczące ochrony środowiska

[73, Special Glass Proposal 2007]

Szeroka gama i wysoki poziom wyspecjalizowania produktów sektora szkła specjalnego są powodem wykorzystywania szerszej gamy surowców niż ma to miejsce w innych sektorach. Na przykład niektóre produkty (kineskopy monitorów, optyczne szkło flintowe) zawierają ponad 20% tlenku ołowiu. Niektóre składy chemiczne wymagają specjalnych substancji klarujących takich jak tlenki arsenu i antymonu, natomiast niektóre szkła optyczne mogą zawierać do 35% fluorków i 10% tlenku arsenu.

W sektorze produkowanych jest stosunkowo niewiele odpadów, natomiast większość z wytwarzanej wewnętrznie stłuczki podlega recyclingowi. Dbalność o jakość ogranicza wykorzystanie stłuczki obcej i pokonsumpcyjnej w procesie. W celu ułatwienia recydingu odpadów podejmowane były inicjatywy na rzecz standaryzacji składu szkła CRT, jednak w czasie sporządzania niniejszego dokumentu (2010 r.) produkcja monitorów kineskopowych znacznie się zmniejszyła, jak zostało to już zaznaczone w pkt. 1.7.1. Woda używana jest głównie do czyszczenia i chłodzenia, więc może być od razu oczyszczana lub wykorzystywana ponownie. Produkcja szkieł specjalnych może prowadzić do zanieczyszczania wód w związku ze szlifowaniem i polerowaniem, zwłaszcza szkieł zawierających ołów. Emisje mogą zostać zminimalizowane dzięki zastosowaniu właściwych technik transportu oraz odpowiednio zabezpieczonych pojemników, natomiast pozostałe zanieczyszczenia mogą być usuwane za pomocą technik standardowych.

Głównymi problemami środowiskowymi związanymi z wszystkimi piecami szklarskimi opalanymi paliwem kopalnym są wysoka temperatura i nakład energii wymagane w tym procesie. To skutkuje emisją produktów spalania i wysokotemperaturowego utleniania azotu atmosferycznego, czyli dwutlenku siarki, dwutlenku węgla i tlenków azotu. Emisje z pieca zawierają również pyły, a w surowcach znajdują się śladowe ilości chlorków, fluorków i metali. Specyficzne surowce, stosowane by nadać produktowi końcowemu pożądane właściwości, mogą prowadzić do emisji fluorowodoru z surowców zawierających fluorek, związki boru ze szkła borokrzemianowego, tlenki azotu z zastosowania azotanów oraz metale z substancji klarujących lub odbarwiających (np. Sb, As, Se). Kiedy w zestawie stosowane są materiały toksyczne, należy podejmować środki na rzecz zapobiegania emisji z transportu, przechowywania tych materiałów oraz z pieca. Możliwe jest ograniczenie tych emisji przy zastosowaniu rozwiązań technicznych, jednak każde z nich pociąga za sobą implikacje finansowe i środowiskowe. W ostatnich latach można zaobserwować postępy na rzecz ochrony środowiska w postaci znacznego ograniczenia emisji zanieczyszczeń oraz zużycia energii dzięki zastosowaniu środków podstawowych i wtórnych.

1.8 Wełna mineralna

1.8.1 Opis sektora

[27, EURIMA 1998] [69, EURIMA data collection 2007]

Sektor produkcji wełny mineralnej realizuje około 10% produkcji przemysłu szklarskiego. Obejmuje on produkcję materiałów izolacyjnych z wełny szklanej i skalnej, które nie są niczym innym jak przypadkowo ułożonymi włóknami o różnej długości połączonymi specjalną żywicą. Choć do opisu wełny szklanej używany jest czasem termin „włókna szklane”, nie należy mylić materiału izolacyjnego z produktami sektora włókien szklanych ciągłych, które wytwarzane są z zastosowaniem innych procesów i sprzedawane na innych rynkach.

W 2005 r. w sektorze zatrudnionych było ponad 21 000 pracowników w 62 instalacjach i wytwarzał on 3,6 mln ton produktów o wartości około 3 000 mln EUR. Od roku 1996 (UE-15) do roku 2005 (UE-25) produkcja wzrosła z 2 mln do 3,62 mln ton.

W UE funkcjonuje pięcioro głównych producentów: Saint-Gobain (21 instalacji w 13 państwach członkowskich); Rockwool International (15 instalacji w 10 państwach członkowskich); Paroc (7 instalacji w 4 państwach członkowskich); URSA (7 instalacji w 7 państwach członkowskich: Hiszpanii, Francji, Belgii Niemczech, Słowenii, na Węgrzech i w Polsce); oraz Knauf Insulation/Heraklith (połączone w 2006 z 10 instalacjami w 6 państwach członkowskich). Większość z tych firm prowadzi działalność również w krajach spoza UE lub w innych sektorach. W UE istnieje również kilkoro niezależnych producentów.

Geograficzne rozmieszczenie w sektorze produkcji wełny mineralnej wraz z szacunkowym udziałem w produkcji oraz wydajność instalacji zaprezentowane zostały w tabeli 1.16 i tabeli 1.17. W Angres, we Francji, zostanie jednak wybudowany nowy zakład, nieuwzględniony tutaj.

Tabela 1.16: Liczba instalacji do produkcji wełny mineralnej w UE-27

Państwo członkowskie	Liczba instalacji	Przybliżony udział % w produkcji UE
Niemcy	10	18,1
Polska	6	13,3
Francja	5	10,2
Holandia	2	8,8
Zjednoczone Królestwo	5	7,1
Dania	3	5,8
Finlandia	5	5,6
Hiszpania	4	4,8
Szwecja	3	4,2
Belgia	2	4,1
Czechy	2	3,4
Słowenia	3	3,0
Węgry	3	2,7
Słowacja	1	2,2
Austria	2	1,9
Włochy	2	1,5
Litwa	1	1,4
Portugalia	2	1,0
Grecja	1	0,8
Irlandia	1	0,2
Rumunia	1	0,2
Bułgaria	0	0,0
Cypr	0	0,0
Estonia	0	0,0
Łotwa	0	0,0
Luksemburg	0	0,0
Malta	0	0,0
Razem	64	3 654 333 ton
<i>Źródło: [69, EURIMA data collection 2007] [133, EURIMA Contribution listopad 2008]</i>		

W tabeli 1.17 zaprezentowana została liczba instalacji w określonych przedziałach wydajności produkcji w 2005 roku. W kilku z nich działa więcej niż jeden piec. Dane przedstawiają faktyczną produkcję w 2005 r., natomiast szacuje się, że większość instalacji pracowała od 10 do 20% poniżej swoich możliwości. Średnia produkcja na instalację w 2005 r. wynosiła około 58 064 ton. Należy zauważyć, że dane te odnoszą się do tonażu i danego zastosowania; produkty z wełny skalnej są znacznie gęstsze od produktów z wełny szklanej zwłaszcza w przedziale niższej gęstości.

Tabela 1.17: Liczba instalacji do produkcji wełny mineralnej w określonych przedziałach wydajności produkcji

Wydajność produkcji (liczba ton dziennie)	<27	27 do 82	82 do 164	164 do 274	>274
Wydajność produkcji (liczba ton dziennie)	<10 000	10 000 do 30 000	30 000 do 60 000	60 000 do 100 000	>100 000
Liczba instalacji w każdym przedziale	4	12	24	17	7
Uwaga: Liczba dni produkcyjnych w roku = 350					
<i>Źródło: [69, EURIMA data collection 2007] [133, EURIMA Contributions listopad 2008]</i>					

1.8.2 Produkty i rynki zbytu

[27, EURIMA 1998]

Wełna mineralna została wyprodukowana po raz pierwszy w 1864 r. przez zastosowanie strumienia pary wodnej do rozwłóknienia stopionego żużla wielkopieczowego stanowiącego odpad w procesie hutniczym. Dopiero w 1870 r. podjęto, chronioną patentami, produkcję na skalę przemysłową. Rynek rozrósł się znacznie w czasie II wojny światowej dzięki zapotrzebowaniu na tanie półfabrykaty do budowy nowych domów w miejsce zniszczonych. W 1943 r. w samych Stanach Zjednoczonych wyprodukowanych zostało 500 000 ton wełny mineralnej. W większości krajów wysokorozwiniętych izolacja termiczna została powszechnie przyjęta i stosowana jest praktycznie we wszystkich typach budownictwa. Oprócz właściwości termicznych izolację z wełny mineralnej charakteryzuje jeszcze zdolność pochłaniania dźwięków i ognioodporność.

Do głównych produktów należą filce o niskiej gęstości, maty i płyty o średniej i wysokiej gęstości, luźna wełna do wdmuchiwania i izolacje rur. Głównymi zastosowaniami tych produktów są: budowlane izolacje termiczne (ściany, dachy, podłogi itd.); ciągi ciepłownicze i wentylacyjne; instalacje przemysłowe (techniczne) (rurociągi, instalacje w przemyśle chemicznym, sektor budownictwa morskiego związany z wydobywaniem i przetwarzaniem ropy naftowej, przemysł okrętowy); ochrona przeciwpożarowa; ochrona przed hałasem (dźwiękochłonność i izolacja akustyczna); podłoża uprawowe. Wyroby z wełny skalnej i szklanej można stosować zamiennie, jednak w niektórych przypadkach wybór materiału jest uzależniony od indywidualnego zapotrzebowania. W wysokich temperaturach i tam, gdzie wymagana jest ochrona przeciwpożarowa, większe zastosowanie mają wyroby z wełny skalnej. Natomiast w przypadku lekkich konstrukcji odpowiedniejszy materiał stanowią prefabrykaty z wełny szklanej.

Najważniejszym rynkiem zbytu wełny mineralnej jest przemysł budowlany, który odbiera 70% produkcji i jest w dużym stopniu uzależniony od panującego klimatu gospodarczego i obowiązujących regulacji prawnych.

Pomimo wiedzy technicznej niezbędnej do wytwarzania izolacji z wełny mineralnej jest to w gruncie rzeczy produkt masowy powszechnego użytku. Konkurencyjność na tym rynku zbytu związana jest głównie z ceną wyrobów. To doprowadziło do zdecydowanej obniżki cen i spadku produkcji w sektorze. W przypadku wyrobów do zastosowań technicznych np. do izolacji rurociągów, konkurencja cenowa jest niewielka, ze względu na konieczność stosowania materiałów o wysokich parametrach termoizolacyjnych i ognioodpornych.

Ze względu na umiarkowany zakres temperatur wymagany do izolacji cieplnej elementów budowlanych, istnieje możliwość stosowania innych dostępnych materiałów izolacyjnych takich jak: pianki polimerowe (najbardziej konkurencyjne tworzywo), włókna celulozowe (pochodzące z przemielonych gazet), wermikulity i perlity oraz szkło piankowe. Jednak żaden z tych materiałów nie dorównuje wyrobom z wełny mineralnej pod wieloma względami eksploatacyjnymi (niska cena, izolacja termoakustyczna, niepalność, prosty sposób mocowania), jakkolwiek są one obecne na tym samym rynku zbytu.

1.8.3 Uwarunkowania handlowe i finansowe

[27, EURIMA 1998] [9, IPC Guidance S2 3.03 1996]

Sektor produkcji wełny mineralnej to dobrze ugruntowana i coraz bardziej konkurencyjna branża o rocznej stopie wzrostu wynoszącej około 3%. Produkty z wełny mineralnej mają niski stosunek wartości do ilości, co ogranicza odległość na jaką ich transport jest opłacalny. Mimo to w ramach UE handel kwitnie, ale w wymianę z krajami spoza UE zaangażowane jest mniej niż 5% produkcji. Handel z krajami spoza UE jest oczywiście największy w tych państwach członkowskich, które z nimi graniczą.

Produkcja wełny mineralnej jest bardzo kapitałochłonna, gdyż wymaga znacznych zasobów finansowych, długofalowych inwestycji oraz specjalistycznych umiejętności technicznych. Stanowi to poważną przeszkodę przed wejściem na rynek, w związku z czym większość producentów to duże spółki od dawna zajmujące się tą działalnością. Istnieje niewielu niezależnych wytwórców.

Sektor produkcji wełny mineralnej wykorzystuje piece tlenowe, elektryczne i rekuperacyjne do produkcji wełny szklanej oraz głównie piece szybowe z podgrzewanym dmuchem do produkcji wełny skalnej.

Okres eksploatacji pieców jest ograniczony i zależy od ich rodzaju. Rekuperacyjne piece tlenowe działają przez 8 do 12 lat zanim konieczny jest kapitalny remont, natomiast piece elektryczne przez 3 do 6 lat. Piece szybowe mają dłuższe okresy używalności, ale nie działają w sposób ciągły, lecz z przerwami co 1 do 3 tygodni.

Typowy zakład produkujący 60 000 ton wełny szklanej rocznie to koszt inwestycyjny rzędu 100 mln EUR. Zakład produkujący podobną ilość wełny skalnej (czyli ok. 120 000 ton rocznie) stanowi podobną inwestycję. Koszt wymiany pieca szklarskiego jest porównywalny do kosztów podanych dla innych sektorów.

1.8.4 Główne kwestie dotyczące ochrony środowiska

Tak samo jak wszystkie czynności związane z produkcją szkła, produkcja wełny mineralnej jest to energochłonny proces wymagający wysokich temperatur. W przypadku pieców opalanych paliwem kopalnym skutkuje to emisją produktów spalania i wysokotemperaturowego utleniania azotu atmosferycznego, czyli dwutlenku siarki, dwutlenku węgla i tlenków azotu. Emisje z pieca zawierają również pyły oraz śladowe ilości chlorków, fluorków i metali, jeśli są one obecne jako zanieczyszczenia surowców.

W sektorze produkcji wełny mineralnej występują jeszcze dwa istotne źródła emisji zanieczyszczeń: obszar formowania (gdzie na włókna nakładana jest substancja wiążąca) oraz komora polimeryzacyjna (w której produkt jest suszony a lepiszcze utwardzane). Proces formowania jest źródłem znacznych emisji pyłu, fenolu, formaldehydu, amoniaku i wody. Natomiast z komory polimeryzacyjnej wydostają się lotne składniki i produkty rozkładu lepiszcza pod wpływem temperatury, a także produkty spalania mieszanki paliwowej.

Możliwe jest ograniczenie tych emisji przy zastosowaniu rozwiązań technicznych, jednak każde z nich pociąga za sobą implikacje finansowe i środowiskowe. W sektorze produkcji wełny mineralnej można zaobserwować duże postępy na rzecz ochrony środowiska. Emisje zanieczyszczeń oraz zużycie energii zostały znacznie ograniczone.

Produkcja izolacji z wełny mineralnej nie wiąże się na ogół ze znacznymi problemami w zakresie zanieczyszczenia wód. Podstawowe procesy zużywają wodę bezpowrotnie, głównie ze względu na parowanie wody z obszaru formowania i z komory polimeryzacyjnej. Instalacje wody przemysłowej pracują zwykle w obiegu zamkniętym z oczyszczalnią ścieków. Należy jednak zachować odpowiednie środki ostrożności w celu ochrony przed zanieczyszczeniem systemu wody pitnej. Emisje mogą zostać zminimalizowane dzięki zastosowaniu właściwych technik transportu i zabezpieczeniom przed wyciekami, natomiast pozostałe zanieczyszczenia mogą być usuwane technikami standardowymi.

Rozpatrując ogólne oddziaływanie sektora na środowisko, warto jest rozważyć pewne korzyści środowiskowe związane z jego produktami. Produkcja tych tworzyw izolacyjnych wymaga stosunkowo niskich nakładów energetycznych w porównaniu do potencjalnych oszczędności wynikających z ich właściwości użytkowych. Już w czasie krótszym niż 1 miesiąc użycie wyrobów izolacyjnych z wełny mineralnej pozwala zaoszczędzić taką samą ilość energii, jaka jest potrzebna do ich wyprodukowania. Po 50 latach użytkowania, co jest powszechne w budynkach, ilość zaoszczędzonej energii może być 1 000 razy większa niż ilość zużyta w czasie produkcji. W porównaniu ze zwykłą emisją CO₂ z wytwarzania energii z paliwa kopalnego po 50 latach użytkowania produkt z wełny mineralnej może zaoszczędzić 1 000 razy więcej CO₂ niż zostało wyemitowane w czasie jego produkcji. W przypadku instalacji pracujących w wysokich temperaturach, na przykład rur, kotłów i zakładów przetwórczych, oszczędność może być znacznie większa, a środowiskowy zwrot z inwestycji może przyjść już po paru dniach, a nie tygodniach.

1.9 Wysokotemperaturowa wełna izolacyjna

1.9.1 Opis sektora

[41, ECFIA 1998] [16, ECFIA 2008] [143, ECFIA listopad 2008]

W niniejszym dokumencie omówiona została jedynie produkcja „bezpostaciowej” wysokotemperaturowej wełny izolacyjnej (HTIW) przez topienie substancji mineralnych. Niektóre rodzaje wełny (np. wełny polikrystaliczne – PCW) mogą być produkowane metodą zol-żel, która nie jest procesem chemicznym, jednak działalność ta nie spełnia kryteriów definicji zawartej w pkt. 3.3 lub 3.4 załącznika I do dyrektywy 2008/1/WE i w związku z tym nie będzie brana pod uwagę w niniejszym dokumencie.

Obecnie (w 2010 r.) istnieją w UE cztery zakłady produkcyjne, których szacunkowa wielkość produkcji wynosiła w 2005 r. ok. 42 750 ton (co stanowiło 0,11% całości produkcji przemysłu szklarskiego i 1,2% sektora wełny mineralnej), pochodzące głównie ze Zjednoczonego Królestwa, Francji i Niemiec. W UE działają trzy firmy: Thermal Ceramics (jeden zakład produkcyjny), Unifrax (dwa zakłady produkcyjne), i Rath (jeden zakład produkcyjny). Rozmieszczenie geograficzne zakładów produkcyjnych zostało zaprezentowane w tabeli 1.18.

Tabela 1.18 Rozmieszczenie instalacji HTIW w państwach członkowskich

Państwo członkowskie	Liczba instalacji
Francja	2
Niemcy	1
Zjednoczone Królestwo	1
Razem	4

1.9.2 Produkty i rynki zbytu

[41, ECFIA 1998] [16, ECFIA 2008] [70, VDI 3469-1 2007] [71, VDI 3469-5 2007] [129, EN 1094-1 2008] [176, TRGS 619 2007]

Istnieją dwa główne rodzaje nieorganicznej wysokotemperaturowej wełny izolacyjnej (HTIW). Oprócz najpowszechniej stosowanej wełny bezpostaciowej (AES oraz ASW/RCF) dostępna jest wełna polikrystaliczna (PCW).

Ściśle rzecz biorąc wełna AES należy do grupy wełny mineralnej ze względu na swój skład chemiczny. Jednak ze względu na specyfikę swojego zastosowania w obszarze związanym z wysokimi temperaturami, została zaliczona do produktów HTIW.

Bezpostaciowa wysokotemperaturowa wełna izolacyjna o 58% zawartości Al_2O_3 może zostać uzyskana w procesie topienia.

Zgodnie z normą europejską EN 1094-1 (Izolacyjne wyroby ogniotrwale – Część 1: Terminologia, klasyfikacja i metody badań wyrobów z wysokotemperaturowej wełny izolacyjnej – zob. www.cen.eu/cenorm/index.htm), bezpostaciowa HTIW omawiana w niniejszym dokumencie może zostać zdefiniowana w następujący sposób:

- wełny szklane glinowo-krzemianowe (ASW) znane jako ogniotrwale włókna ceramiczne (RCF)
 - wełna szklana glinowo-krzemianowa (bardzo czysta)
 - wełna szklana glinowo-krzemianowo-cyrkonowa.
- wełna szklana alkaliczno-krzemianowa (AES):
 - wełna szklana wapniowo-krzemianowa
 - wełna szklana wapniowo-magnezowo-krzemianowa
 - wełna szklana wapniowo-magnezowo-cyrkonowo-krzemianowa
 - wełna szklana magnezowo-krzemianowa.

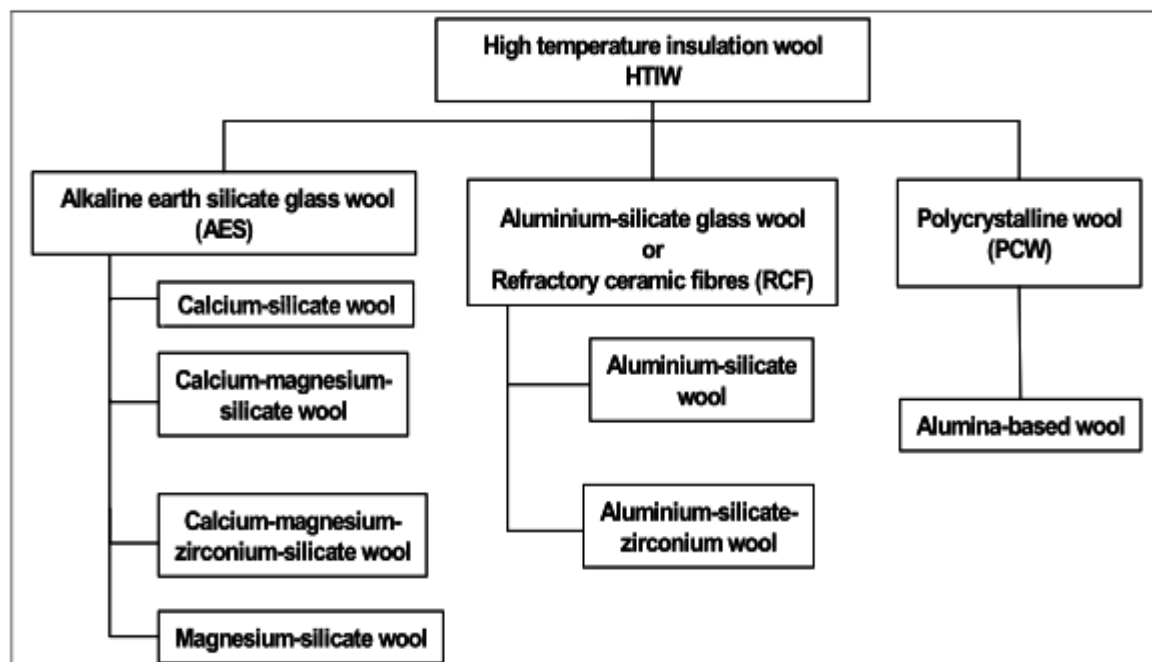
Wełna szklana wapniowo-magnezowo-cyrkonowo-krzemianowa nie jest już produkowana, jednak wciąż można ją znaleźć w instalacjach.

Wszystkie wyroby z HTIW cechuje:

- niska gęstość nasypowa,
- niewielka zdolność akumulowania ciepła,
- niski współczynnik przewodzenia ciepła oraz
- prawie nieograniczona odporność na szok termiczny.

Wyroby ASW/RCF nadają się szczególnie dobrze do oszczędzania dużej ilości energii przy temperaturze rzędu 600°C do 1400°C. Wełny AES (alkaliczno-krzemianowe) składają się z bezpostaciowych włókien uzyskanych dzięki stopieniu połączenia CaO, MgO, SiO₂ i ZrO₂. Produkty te są najczęściej stosowane przy temperaturach powyżej 1200°C.

Na rysunku 1.2 zaprezentowane zostały najbardziej popularne wysokotemperaturowe wełny izolacyjne stosowane w temperaturach od 600 do 1800°C.



Źródło: [71, VDI 3469-5 2007] |[116, ECFIA 2008] [129, EN 1094-1 2008]

Rysunek 1.2: Najbardziej popularne wysokotemperaturowe wełny izolacyjne stosowane w temperaturach od 600°C do 1800°C

EN	PL
High temperature insulation wool HTIW	Wysokotemperaturowa wełna izolacyjna HTIW
Alkaline earth silicate glass wool (AES)	Wełna szklana alkaliczno-krzemianowa (AES)
Calcium-silicate wool	Wełna wapniowo-krzemianowa
Calcium-magnesium-silicate wool	Wełna wapniowo-magnezowo-krzemianowa
Calcium-magnesium-zirconium-silicate wool	Wełna magnezowo-cyrkonowo-krzemianowa
Magnesium-silicate wool	Wełna wapniowo-krzemianowa
Aluminium-silicate glass wool or Refractory ceramic fibres (RCF)	Wełna szklana glinowo-krzemianowa lub ogniotrwale włókna ceramiczne (RCF)
Aluminium-silicate wool	Wełna glinowo-krzemianowa
Aluminium-silicate-zirconium wool	Wełna glinowo-krzemianowo-cyrkonowa

Polycrystalline wool (PCW)	Wełna polikrystaliczna (PCW)
Alumina-based wool	Wełna glinowa

Bezpostaciowa wełna glinowo-krzemianowa (ASW/RCF) jest głównie stosowana jako materiał do izolacji termicznej (600 – 1400°C) w zastosowaniach przemysłowych (90% wyłożenia urządzeń grzewczych i izolacja przemysłowa, 8% w przemyśle motoryzacyjnym i 2% do ochrony przeciwpożarowej). Alkaliczno-krzemianowa wełna szklana (AES) ma zastosowania głównie w gospodarstwie domowym (33%), jako izolacja przemysłowa (45%), ochrona przeciwpożarowa (12%), w przemyśle motoryzacyjnym (4) oraz inne (6%). Typowy asortyment wyrobów to: nieprzetworzona wełna, maty (filce lub moduły), płyty, papier, tworzywa formowane próżniowo i tekstylia. Wszystkie te wyroby uzyskiwane są na bazie wełny podstawowej.

Odbiorcą wielu wyrobów jest tradycyjny przemysł ciężki: przemysł chemiczny i petrochemiczny, hutnictwo żelaza i stali, przemysł szklarski, metali nieżelaznych, cementownie itd. W związku ze stosunkowo wysoką wartością wyrobów z HTIW ich transport na większość światowych rynków może być opłacalny. Oprócz zastosowań w urządzeniach grzewczych wyroby te są często stosowane jako składnik materiałów kompozytowych takich jak: katalizatory samochodowe, uszczelniacze, [177, VDI 3677 Part 1, draft edition 2009] okładziny tłoków i szczęk hamulcowych, osłony termiczne. Synteza tworzyw kompozytowych pochłania około 30 – 40% całkowitej produkcji.

1.9.3 Uwarunkowania handlowe

[41, ECFIA 1998] [116, ECFIA 2008]

Sektor HTIW wytwarza produkty niszowe mające zastosowania głównie w przemyśle. W porównaniu z całym sektorem produkcji wełny mineralnej jest to niewielka gałąź (1,2%), a jeszcze mniejsza w porównaniu z całym przemysłem szklarskim (0,11%). W 2008 r. tylko trzy firmy w UE zajmowały się produkcją bezpostaciowej HTIW, co wynika z konsolidacji w sektorze.

Głównym czynnikiem wpływającym na przemysł produkcji HTIW jest koszt produkcji (energia, surowce i koszty zatrudnienia).

Szacunkowy koszt budowy nowego zakładu produkcyjnego o typowej wielkości produkcji wynosi 6 – 8 mln EUR. Stosuje się tu piece elektryczne, dla których czas eksploatacji wynosi od 10 do 20 lat; koszt budowy takiego pieca ocenia się na 1 – 2 mln EUR. Remonty pieców (elektrody, wyłożenie itp., wedle potrzeby) przeprowadza się co około trzy miesiące, co stanowi koszt około 20 tys. EUR.

Głównymi czynnikami skłaniającymi użytkowników przemysłowych do stosowania tych wyrobów są korzyści płynące z oszczędności energii, mniejszej emisji CO₂, wyższej jakości wyrobów i większej elastyczności agregatów, w których stosowana jest HTIW. Znaczna ilość produkcji jest eksportowana, natomiast import utrzymuje się na stosunkowo niskim poziomie.

W związku ze wspomnianymi powyżej korzyściami w porównaniu z innymi materiałami ogniotrwałymi (takimi jak cegły lub wyroby odlewane), produkty z HTIW nadają się znakomicie do osiągnięcia znacznych oszczędności energii oraz redukcji emisji gazów cieplarnianych (tj. CO₂). Dla przykładu dzięki stosowaniu modułów HTIW w przemyśle hutniczym zaobserwowana została 30% oszczędność energii w porównaniu do tradycyjnych wyłożeń. W zastosowaniach w niższych temperaturach (<800°C) konkurencję stanowi wełna mineralna, a w niektórych zastosowaniach przy bardzo wysokich temperaturach (>1300°C) – wełna polikrystaliczna (PCW). Cena materiałów izolacyjnych z wełny skalnej lub szklanej jest dużo niższa niż tworzyw z wełny ASW/RCF i AES, natomiast wyroby z wełny polikrystalicznej są znacznie droższe. Ze względu na unikalne właściwości fizyczne i termiczne HTIW bezpośrednia konkurencja ze strony substytutów jest praktycznie nieobecna. O wyborze najwłaściwszego produktu (w tym izolacyjnych cegieł i wyrobów odlewanych) decydują wymogi danego zastosowania i warunki techniczne procesu produkcji.

1.9.4 Główne kwestie dotyczące ochrony środowiska

[116, ECFIA 2008]

W przeciwieństwie do innych sektorów przemysłu szklarskiego w branży HTIW stosuje się do topienia prawie wyłącznie piece elektryczne. W związku z tym bezpośrednia emisja z procesu topienia utrzymuje się na bardzo niskim poziomie i łatwo ją kontrolować (za pomocą filtrów lub usuwania pyłów).

Największe zagrożenie dla środowiska naturalnego stanowi emisja do atmosfery pyłu mogącego zawierać włókna. Z problemem tym radzą sobie systemy filtracji powietrza.

Według definicji zawartych w dyrektywie 67/548/EWG w sprawie substancji niebezpiecznych (zob. rozporządzenie (WE) nr 1272/2008), wełna szklana glinowo-krzemianowa/ogniotrwałe włókna ceramiczne sklasyfikowano jako substancje rakotwórcze 2. kategorii; zgodnie z Rozporządzeniem w sprawie klasyfikacji, oznakowania i pakowania substancji i mieszanin (WE) nr 1272/2008. Wełna AES została wyłączona z tej kategorii.

W związku z tą klasyfikacją poziom emisji włókien na stanowisku pracy oraz do otoczenia musi być starannie kontrolowany. Na ogół poziom odpadów jest stosunkowo niski. Niewielka emisja do środowiska wodnego ogranicza się do zawiesiny zawierającej pył. Z wtórnych procesów przetwórczych mogą pochodzić związki organiczne. W zakładach produkcji HTIW w UE poziom emisji zanieczyszczeń jest bardzo niski, ponieważ wszystkie instalacje, w których to jest konieczne, wyposażone są w systemy ograniczania emisji pyłu.

1.10 Fryty

1.10.1 Opis sektora

[47, ANFFECC 1999]

Mimo, że produkcja fryty jest ściśle związana z przemysłem ceramicznym, została ona ujęta w niniejszym dokumencie, gdyż spełnia kryteria definicji zawartej w pkt. 3.4 załącznika I do dyrektywy 2008/01/WE. Produkcję fryt w UE w 2005 r. szacuje się na 1,25 mln ton rocznie, jest ona zatem najmniejsza w całym przemyśle szklarskim. Trudno określić liczbę pracowników, ponieważ dla wielu przedsiębiorstw produkcja fryt stanowi tylko niewielką część działalności. Sektor ten obejmuje produkcję fryt do szkliv ceramicznych i emalii stosowanych do dekoracji tworzyw ceramicznych i metali. Fryty szklane lub ceramiczne stanowią około 95% całej produkcji fryt (do szkliv ceramicznych i emalii).

Szacuje się, że w UE działa około 50 zakładów produkujących fryty, zlokalizowanych głównie w Hiszpanii i we Włoszech. Największym na świecie producentem fryt jest Hiszpania wytwarzająca prawie 80% całkowitej produkcji w UE.

Rozmieszczenie geograficzne instalacji do produkcji fryt o całkowitej zdolności produkcyjnej wynoszącej ponad 20 ton dziennie w Europie zaprezentowane zostało w tabeli 1.19.

Tabela 1.19 Rozmieszczenie instalacji do produkcji fryt o całkowitej zdolności produkcyjnej wynoszącej ponad 20 ton dziennie (szacunek na rok 2008)

Państwo członkowskie	Liczba instalacji
Hiszpania	21
Włochy	9
Niemcy	5
Czechy	2
Francja	2
Holandia	2
Polska	2
Zjednoczone Królestwo	2
Portugalia	1
Belgia	1
Austria	1
Razem	48 (szacunek)

Źródło: [99, ITC-C080186 2008]

Rozmieszczenie zdolności produkcyjnej instalacji zlokalizowanych w Hiszpanii, która produkuje większość fryt, została zaprezentowana w tabeli 1.20.

Tabela 1.20: Liczba instalacji produkujących fryty w Hiszpanii w określonych przedziałach wydajności produkcji (szacunkowa)

Wydajność produkcji (liczba ton dziennie)	<50	50 do 150	>150
Liczba instalacji w każdym przedziale	4	12	5

Źródło: [98, ANFFECC Position of the Frit Sector 2005][99, ITC-C080186 2008]

1.10.2 Produkty i rynki zbytu

[47, ANFFECC 1999] [9, IPC Guidance S2 3.03 1996]

Głównym zastosowaniem fryt jest produkcja pigmentów i szkliw ceramicznych. Naniesiona na powierzchnię wyrobów ceramicznych (dachówki, ceramika stołowa) warstwa szkliwa, po wypaleniu tworzy trwałą powłokę o ochronnych i dekoracyjnych właściwościach. Fryty mogą być sprzedawane w czystej formie do zakładów ceramicznych, które tworzą swoje własne szkliwa; firmy produkujące fryty mogą też przygotowywać i rozprowadzać gotowe szkliwa. Zwykle ponad połowa wytopionych fryt wykorzystywana jest bezpośrednio w danym zakładzie do produkcji gotowych szkliw.

Fryty emalierskie stosuje się do produkcji emalii wykorzystywanych do nanoszenia na powierzchnie metaliczne powłok o wysokiej oporności chemicznej i korzystnych parametrach mechanicznych. Głównymi odbiorcami emalii są zakłady produkujące sprzęty kuchenne, takie jak emaliowane piekarniki, opiekacze, grille itp. Emalie stosuje się również do nakładania powłok w różnego typu zbiornikach, silosach, urządzeniach elektronicznych a także w wannach i znakach drogowych. Fryty emalierskie stanowią jedynie około 5% całej produkcji fryt.

Ze względu na stosunkowo wysoką wartość i niską objętość produktów, koszty transportu stanowią stosunkowo niewielką część całkowitej ceny produktu. W wyniku globalnej konsolidacji w tym przemyśle zmniejszyła się liczba zakładów, jednak istniejące instalacje są większe i obsługują rynki międzynarodowe.

Chociaż jest to wiodący i strategiczny sektor w UE, należy wziąć pod uwagę zagrożenie związane z możliwością produkcji fryt poza UE, gdyż środowiskowe regulacje prawne, koszt surowców oraz warunki społeczne i gospodarcze mogą zwiększyć udział fryt spoza UE w unijnym rynku.

1.10.3 Uwarunkowania handlowe

[47, ANFFECC 1999] [9, IPC Guidance S2 3.03 1996]

W ciągu ostatnich kilku lat produkcja fryt znacznie wzrosła, zwłaszcza w Hiszpanii. W UE panuje ostra konkurencja zarówno między producentami jak i z krajami spoza UE. Większość produkowanych w UE fryt zostaje rozprowadzona w państwach członkowskich, jednak eksport jest również ważnym obszarem działalności przedsiębiorstw. Produkcja fryt ceramicznych jest dobrze rozwiniętą gałęzią przemysłu, od wielu lat współpracującą z przemysłem ceramicznym. Konkurencja ze strony innych rodzajów szkliw, które nie zawierają fryty, jest nieznaczna ze względu na ich niewystarczające parametry techniczne.

Materiały alternatywne, takie jak powłoki z tworzyw sztucznych, zostały opracowane na potrzeby zastawy stołowej, jednak nie mogą się one równać z ceramiką szkliwioną (szkliwami zawierającymi frytę) z tych samych względów co szkliwa surowe, zwłaszcza w obecności kwasów organicznych zawartych w produktach spożywczych. Brak jest informacji, w jakim zakresie powłoki polimerowe mogą wpływać na rynek szkliwionych dachówek z frytą. W przypadku szkliw emalierskich zagrożenie ze strony substytutów jest niewielkie. Produkty alternatywne, jak np. farby, mogą być wykorzystywane do podobnych celów, jednak nie dorównują własnościom tradycyjnych emalii w zakresie odporności temperaturowej, chemicznej, ściernej oraz łatwości utrzymania w czystości.

1.10.4 Główne kwestie dotyczące ochrony środowiska

Głównymi problemami środowiskowymi związanymi z produkcją fryt są wysoka temperatura i nakład energii wymagane w tym procesie. Wynika to z emisji produktów spalania, do których należą tlenki azotu oraz z utleniania azotu atmosferycznego w wysokich temperaturach i z odparowywania materiałów stosowanych w zestawie. Do zanieczyszczeń emitowanych z pieca szklarskiego należą również pyły pochodzące z odparowywania i późniejszej kondensacji lotnego materiału, który może zawierać różne składniki w zależności od rodzaju surowców i substancji stosowanych w zestawie, takich jak śladowe ilości chlorków, fluorków oraz metali.

W celu ograniczenia emisji zanieczyszczeń możliwe jest stosowanie różnorodnych rozwiązań technicznych w zależności od możliwości finansowych firm.

W procesie produkcji fryt woda używana jest głównie do chłodzenia i czyszczenia instalacji. Woda pracuje zawsze w obiegu zamkniętym.

Poziom odpadów jest bardzo niski i pochodzi głównie z oddzielenia elementów stałych zawieszonych w wodzie. W wielu przypadkach istnieje możliwość ponownego wykorzystania odpadów z urządzeń odpylających.

2. Procesy i techniki

Pierwsze trzy części niniejszego rozdziału dotyczą powszechnie stosowanych surowców szklarskich oraz różnych aspektów topienia, które są wspólne dla większości sektorów przemysłu szklarskiego. Następne części opisują konkretne techniki stosowane w każdym sektorze. Trzy sektory, mianowicie sektor wełny skalnej, fryt i wysokotemperaturowa wełna izolacyjna, różnią się pomiędzy sobą w zakresie stosowanych surowców i technik. Różnice te będą opisane w podrozdziałach dotyczących omawianych sektorów.

2.1 Transport materiałów

Zróznicowanie przemysłu szklarskiego pociąga za sobą stosowanie szerokiej gamy surowców szklarskich. Większość tych surowców to nieorganiczne substancje stałe, minerały występujące naturalnie w przyrodzie lub produkty sztucznie otrzymane. Pod względem uziarnienia wahają się one od gruboziarnistych materiałów do bardzo drobnych proszków. W wielu sektorach stosowane są również ciecze i, w mniejszym zakresie, gazy.

Do stosowanych gazów zalicza się wodór, azot, tlen, dwutlenek siarki, propan, butan i gaz ziemny. Są one przechowywane i transportowane w konwencjonalny sposób, to znaczy bezpośrednio rurociągami, w przeznaczonych do tego celu składach i butlach. Stosowana jest szeroka gama substancji ciekłych, z których wiele wymaga ostrożnego transportu, np. fenol czy stężone kwasy nieorganiczne. W całym przemyśle mają zastosowanie wszystkie standardowe formy i sposoby przechowywania i transportu materiałów tj. magazynowanie luzem, pojemniki do ładunków masowych średniej wielkości (IBC), bębny i mniejsze pojemniki. Potencjalne techniki dla zminimalizowania emisji podczas przechowywania i transportu cieczy zostały omówione w rozdziale 4.

Gruboziarniste materiały (tj. o średnicy cząstki > 50 mm) są stosowane tylko w produkcji wełny skalnej. Materiały te dostarczane są przy pomocy transportu kolejowego lub drogowego, a następnie przenoszone bezpośrednio do silosów lub wysypane do boksów. Boksy do przechowywania, stosowane we wszystkich sektorach, mogą być otwarte, częściowo zamknięte lub zamknięte całkowicie. Jeśli gruboziarnisty materiał przechowywany jest w silosach, to są one zazwyczaj otwarte i napełniane są przy pomocy systemu przenośników. Następnie materiały przekazywane są do pieca za pomocą zamkniętego systemu przenośników. Materiały są mieszane w prosty sposób, poprzez równoczesne nakładanie ich na przenośnik zasilający.

Surowce granulowane i sproszkowane są dostarczane cysternami za pomocą transportu kolejowego lub drogowego, a następnie pneumatycznie lub mechanicznie przenoszone do silosów magazynowych. Pneumatyczne przenoszenie materiału wymaga, aby był on bezwzględnie suchy. Powietrze wychodzące z silosu jest zazwyczaj filtrowane. Surowce o mniejszej objętości mogą być dostarczane w workach lub beczkach, natomiast do mieszkarki podawane są zazwyczaj grawitacyjnie.

W dużych, pracujących w sposób ciągły zakładach surowce dostarczane są do mniejszych silosów pośrednich, skąd są podawane, najczęściej automatycznie, do naważania, co pozwala na precyzyjne skomponowanie „zestawu”. Zestaw jest następnie mieszany i przenoszony do obszaru pieca, gdzie jest podawany z jednego lub wielu koszy zasypowych. W przemyśle znajduje zastosowanie wiele różnych mechanizmów zasypników, począwszy od zupełnie otwartych systemów do całkowicie zamkniętych systemów zasypników ślimakowych. Aby zredukować pylenie drobnych cząstek z pieca podczas podawania i przenoszenia można wprowadzić około 0-4% wody do zestawu (niektóre procesy, np. produkcji szkła borokrzemowego, stosują suchy zestaw szklarski). Woda może być wprowadzana w postaci pary wodnej pod koniec operacji mieszania, ale surowce mogą również zawierać wodę związaną. W szkłe sodowo-wapniowym para wodna stosowana jest w celu utrzymania temperatury powyżej 37°C , w wyniku czego poprzez hydratację sody zabezpiecza się zestaw przed wysuszeniem.

Ze względu na ścierną naturę i większy rozmiar cząstek, stłuczka szklana jest zazwyczaj transportowana oddzielnie, nie z głównym zestawem, i z tego względu może być podawana do pieca w określonych ilościach przez oddzielny system.

W procesach działających w sposób nieciągły, zestawiarnia jest o wiele mniejsza i często obsługiwana ręcznie. Po wymieszaniu zestaw może być przechowywany w małych przewoźnych koszach, z których każdy zawiera jeden wsad do pieca. Można sporządzać różne wsady, czasami o różnych składach i przechowywać je blisko pieca, w celu zastosowania podczas specyficznych okresów topienia. Duże ilości wymieszanego zestawu nie mogą być zbyt długo przechowywane przed użyciem, ponieważ różne

składniki mogą osiadać na dno, co z kolei utrudni otrzymanie homogenicznego stopu. Obecność wody w zestawie pomaga złagodzić tę tendencję.

2.2 Topienie szkła

Topienie, czyli łączenie odrębnych surowców szklarskich w wysokiej temperaturze w celu otrzymania stopionego szkła, jest główną fazą w procesie produkcji szkła. Istnieje wiele sposobów topienia szkła w zależności od gotowego produktu, jego końcowego zastosowania, skali działania i przeważających czynników handlowych. Skład szkła, surowce szklarskie, techniki topienia, wybór paliwa i rozmiar pieca zależą od tych czynników.

Czas przebywania masy stopionego szkła w piecu różni się znacznie w zależności od rodzaju wytwarzanego szkła. Minimalny czas przebywania w piecu jest kluczowym parametrem decydującym o jakości szkła. Zazwyczaj im wyższa jakość wyprodukowanego szkła, tym dłuższy czas przebywania jest potrzebny, aby zapewnić doskonałą homogenizację i usunięcie ewentualnych kamieni, pęcherzyków itp., które mogłyby wpłynąć na właściwości produktu końcowego. Różnica w czasie przebywania masy stopionego szkła w piecu ściśle wiąże się z jednostkowym zużyciem energii. Zatem, przy danej pojemności pieca, poszczególne rodzaje wytworzonego szkła będą wiązały się z różnym zużyciem energii.

2.2.1 Surowce szklotwórcze

[19, CPIV 1998] [22, Schott 1996] [66, APFE UPDATE IPPC Glass BREF 2007]
[100, ICF BREF revision 2007]

Tabela 2.1 przedstawia najważniejsze surowce szklotwórcze.

Tabela 2.1: Najważniejsze surowce szklotwórcze

<p>Surowce szklotwórcze Piasek krzemionkowy, stłuczka z procesu, stłuczka pokonsumpcyjna</p> <p>Surowce pośrednie i modyfikatory Soda kalcynowana (Na_2CO_3), wapień (CaCO_3), tlenek wapnia (CaO), dolomit ($\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$), dolomit palony ($\text{CaO} \cdot \text{MgO}$), skaleń, sjenit nefelinowy, węglan potasu, fluoryt, tlenek glinu, tlenek cynku, tlenek ołowiu, węglan baru, węglan strontu, bazalt, bezwodny siarczan sodowy, siarczan wapnia i gips, siarczan baru, azotan sodu, azotan potasu, surowce zawierające bor (tj. borax, kolemanit, kwas borowy), tlenek antymonu, trójtlenek arsenu, żużel wielkopiecowy (wymieszany krzemian wapnia, glinu, magnezu oraz siarczek żelaza)</p> <p>Barwniki/odbarwiacze Chromit ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$), tlenek żelaza ($\text{Fe}_2\text{O}_3$), tlenek kobaltu, selen/selenin cynku, węgiel, siarczki (piryt)</p>

Szczegółowa tabela dotycząca surowców znajduje się w podrozdziale 3.2.1.

Piasek jest najważniejszym surowcem szklotwórczym, będącym głównym źródłem SiO_2 . Jest on powszechnie stosowanym materiałem, choć wiele złóż tego surowca nie ma odpowiedniej czystości do produkcji szkła. Temperatura topienia piasku jest zbyt wysoka, by proces był opłacalny, dlatego w celu jej obniżenia stosowane są topniki, takie jak tlenek sodu.

Soda kalcynowana (Na_2CO_3) jest głównym źródłem topnika tlenku sodu (Na_2O). Podczas topienia tlenek sodu wchodzi w skład stopu, natomiast dwutlenek węgla się ulatnia. Siarczan sodu dodawany jest jako środek klarujący i utleniający szkło oraz jest drugim źródłem tlenku sodu. Tlenek sodu wchodzi w skład szkła, natomiast gazowy tlenek siarki jest uwalniany przez stop. Węglan potasu (K_2CO_3) działa jako topnik i jest stosowany tylko w niektórych procesach, szczególnie do szkieł specjalnych. Tlenek potasu wchodzi w skład szkła, natomiast dwutlenek węgla jest emitowany.

Inne tlenki metali dodawane są do szkła w celu wzmocnienia sieci strukturalnej, a co za tym idzie zwiększenia twardości i odporności chemicznej szkła. Efekt ten można uzyskać dzięki tlenkowi wapnia (CaO), który jest wprowadzany do szkła jako węglan wapnia (CaCO₃), w postaci wapienia lub kredy. Może być również dodawany jako dolomit, który zawiera zarówno węglan wapnia, jak i węglan magnezu (MgCO₃). Tlenek glinu (Al₂O₃) jest dodawany w celu polepszenia odporności chemicznej, jak również zwiększenia lepkości w zakresie niskich temperatur. Jest on zazwyczaj dodawany jako sjenit nefelinowy (Na₂O.K₂O.Al₂O₃.SiO₂), skałek lub tlenek glinu, ale jest również obecny w żużlu wielkopieczowym i piasku skaleniowym.

Tlenek ołowiu (PbO i Pb₃O₄) stosowany jest w celu podniesienia współczynnika załamania światła szkła, co powoduje lepsze błyszczenie produktów, takich jak kryształy ołowiowe. Tlenek baru (pochodzący z węglanu baru), tlenek cynku czy tlenek potasu mogą być stosowane zamiast tlenku ołowiu, jednakże dają one mniejszą gęstość i błyszczenie szkła niż ma kryształ ołowiowy. Dają one również gorszy efekt pod względem procesu ręcznego formowania szkła.

Trójtlenek boru (B₂O₃) jest podstawą w niektórych produktach, szczególnie szkle specjalnym (szkło borokrzemowe) i w włóknie szklanym (wełna szklana i włókno ciągłe). Najważniejszym efektem jego stosowania jest obniżenie współczynnika rozszerzalności szkła, natomiast w włóknie szklanym zmiana lepkości i płynności, co pomaga w rozwłóknianiu, jak również wzrost odporności na działanie wody.

W tabeli 2.2 poniżej przedstawiono niektóre z pierwiastków stosowane do barwienia szkła. Barwniki mogą być dodawane do głównego zestawu lub do zasilacza pieca (w postaci barwnych fryt).

Tabela 2.2: Pierwiastki stosowane do barwienia szkła krzemianowego

Pierwiastek	Jon	Kolor
Miedź	(Cu ²⁺)	Jasnoniebieski
Chrom	(Cr ³⁺)	Zielony
	(Cr ⁶⁺)	Żółty
Mangan	(Mn ³⁺)	Fiolet
Żelazo	(Fe ³⁺)	Żółtobrazowy, bursztynowy w połączeniu z siarczynami
	(Fe ²⁺)	Niebieskozielony
Kobalt	(Co ²⁺)	Intensywny niebieski, w szklach boranowych, różowy
	(Co ³⁺)	Zielony
Nikiel	(Ni ²⁺)	Szarobrazowy, żółty, zielony, od niebieskiego do fioletu w zależności od matrycy szklanej
Wanad	(V ³⁺)	Zielony w szklach krzemianowych; brązowy w szklach boranowych
Tytan	(Ti ³⁺)	Fiolet (topiony w warunkach redukcyjnych).
Neodym	(Nd ³⁺)	Czerwonofioletowy
Selen	(Se ⁰)	Różowy lub brąz (również Se ²⁺ , Se ⁴⁺ , i Se ⁶⁺ , w zależności od typu szkła)
Kadm	(Cd ²⁺)	Żółty, pomarańczowy, czerwony i wzmacniacz koloru
Prazeodym	(Pr ³⁺)	Jasnozielony

Surowce zawierające fluor (tj. fluoryt CaF₂) są stosowane głównie do otrzymywania produktów nieprzezroczystych, co jest osiąganego dzięki powstawaniu w szkle kryształów, które dają efekt zmatowienia. Fluor stosowany jest również w sektorze produkcji włókna szklanego ciągłego, w celu optymalizacji napięcia powierzchniowego oraz własności lepkościowych dla lepszego rozwłókniania i zminimalizowania zrywania włókna.

Coraz ważniejszym surowcem szklarskim w produkcji szkła staje się stłuczka szklana (rozbite szkło), zarówno własna jak i obca. Praktycznie wszystkie procesy zawierają do obiegu stłuczkę własną, jednak w niektórych procesach ze względu na wymagania jakościowe dostarczenie odpowiedniej stłuczki obcej może być zbyt drogie. W produkcji włókna szklanego ciągłego

stłuczka przeważnie nie jest zwracana do obiegu, natomiast w sektorze szkła opakowaniowego stanowi ona czasem ponad 80% zestawu. Stłuczka wymaga mniejszej energii do stopienia niż czyste surowce, a każda jej tona zastępuje około 1,2 tony czystych surowców w zestawach większości szkieł sodowo-wapienno-krzemowych.

Aby zagwarantować jakość stłuczki odpowiednią dla procesu topienia i cech produktu końcowego, należy unikać lub wyeliminować z niej materiały ceramiczne, tworzywa szklano-ceramiczne, metale, materiał organiczny. Stosowanie stłuczki może bezpośrednio powodować emisję niektórych zanieczyszczeń.

Więcej informacji o zastosowaniu stłuczki można znaleźć w podrozdziale 4.8.3.

2.2.2 Proces topienia

[22 Schott 1996]

Proces topienia jest złożoną kombinacją reakcji chemicznych i procesów fizycznych. Niniejsza część zawiera jedynie krótkie streszczenie najważniejszych aspektów tego procesu. Topienie można podzielić na oddzielne fazy, które wymagają ścisłej kontroli.

Podgrzewanie

Konwencjonalnym i najbardziej znanym sposobem doprowadzania ciepła do topienia szkła jest spalanie paliw kopalnych nad warstwą lub stożkiem surowców i nad topiącym się zestawem, Zestaw jest następnie odprowadzany z pieca i wyprowadzany stamtąd w stanie stopionym. Temperatura potrzebna do stopienia i wyklarowania szkła zależy od konkretnej receptury i mieści się w zakresie 1300°C - 1550°C. W tych temperaturach przenoszenie ciepła dokonuje się głównie poprzez transmisję promieniowania, w szczególności od sklepienia pieca, podgrzewanego przez palniki do temperatury 1650°C, jak również od samych palników. W każdym piecu doprowadzanie ciepła jest tak zaplanowane, aby wywołać różnicę temperatur w topionym szkłe oraz wywołać krążenie prądów konwekcyjnych w topiącym się zestawie, co zagwarantuje stałą jednorodność szkła dostarczanego do procesu formowania. Masa stopionego szkła znajdująca się w piecu jest utrzymywana na stałym poziomie a średni czas przebywania szkła wynosi około 24 godziny w piecach do produkcji opakowań szklanych i 60- 72 godziny w piecach do produkcji szkła typu float.

Topienie

Z powodu niskiej przenikalności termicznej zestawu proces topienia jest początkowo bardzo wolny, w szczególności ze względu na zachodzenie licznych reakcji chemicznych i procesów fizycznych. Podczas podgrzewania materiały uwalniają wilgoć, natomiast niektóre surowce rozkładają się, co powoduje wydzielanie się zawartych w nich gazów. Pierwsze reakcje (odwęglenia) zachodzą w temperaturze około 500°C. Surowce przechodzą w stop w zakresie temperatur między 750°C i 1200°C. Najpierw pod wpływem topników rozpuszcza się piasek. Krzemionka z piasku wchodzi w reakcję w tlenkiem sodu pochodzącym z sody kalcynowanej i innymi surowcami tworząc krzemiany. W tym samym czasie uwalnia się ogromna ilość gazów pochodzących z rozkładu związków uwodnionych, węglanów, azotanów i siarczanów; następuje wydzielanie wody, dwutlenku węgla, tlenków azotu i tlenków siarki. W rezultacie stop szklany staje się przezroczysty a faza topienia dobiega końca. Ze względu na straty gazowe i eliminację przestrzeni międzyziarnowych objętość stopu wynosi około 35 - 50 % objętości zestawu szklarskiego.

Klarowanie i homogenizacja

Przed formowaniem produktów stop szklany musi być całkowicie jednorodny i wolny od pęcherzy. Oznacza to, że wszystkie składniki muszą ulec całkowitemu rozpuszczeniu i rozkładowi; ponadto ze stopionego szkła pęcherze muszą zostać wyeliminowane.

Eliminacja pęcherzy z topionego szkła określana jest jako proces klarowania, składający się z

klarowania pierwotnego (formowanie pęcherzy, wzrost pęcherzy i odpędzanie gazu ze stopionego szkła) oraz klarowanie wtórne (rozpuszczanie pęcherzy w szkłe w wyniku kontrolowanego schładzania).

Natychmiast po stopieniu lub połączeniu się surowców powstanie lepki stop z rozpuszczonymi gazami (powietrze, CO₂) i mniejszymi lub większymi pęcherzami gazu. W większości jednorodnych produktów szklanych (szkło płaskie, zastawa stołowa, włókno szklane ciągłe, szkło gablotowe, pojemniki, rurki, itp) należy wyeliminować wszystkie lub prawie wszystkie pęcherze, aby uzyskać oczekiwaną jakość szkła. Usuwanie gazów ze stopów szkła nie ogranicza się do eliminacji dużych i małych pęcherzy ze stopionej masy szklanej, ale obejmuje również odpędzanie rozpuszczonych gazów ze stopów szkła. Skuteczne odpędzenie gazów, takich jak azot i dwutlenek węgla, ze stopionego szkła zmniejszy ryzyko „ponownego zagotowania się” (utworzenia się nowych pęcherzy w szkłe) oraz powstania dużych pęcherzy w dalszej części procesu klarowania poprzez, np. interakcję stopu z materiałami ogniotrwałymi. Większy rozmiar pęcherzy i co za tym idzie, szybsze wznoszenie się pęcherzy ku górze powoduje, że pęcherze unoszą się do powierzchni stopu w trakcie klarowania podstawowego, co ułatwia ich usuwanie. Uwalnianie gazu w czasie klarowania podstawowego ułatwia wnikanie gazów klarujących w pęcherze w stopie szkła, które zaczynają rosnąć i szybciej unosić się ku górze (szybkość unoszenia się pęcherzy wzrasta wraz z rosnącym przekrojem pęcherza); zwiększy się w ten sposób rozmiar pęcherzy i co za tym idzie szybkość wznoszenia się w lepkim stopie szkła zgodnie z prawem Stokes'a. Szybkość wznoszenia się jest proporcjonalna do odwrotnej wartości lepkości stopu szkła, a lepkość szkła jest silnie uwarunkowana temperaturą stopu a zatem zmniejsza się ona wraz ze spadkiem temperatury. Rosnące pęcherze wchłoną również inne rozpuszczone gazy ze szkła, takie jak para wodna, CO₂ i N₂ (odpędzanie).

Mechanizm podstawowego klarowania stopionej masy szklanej polega na usunięciu pęcherzy poprzez powiększenie rozmiaru pęcherzy i przyspieszenie ich wznoszenia się w stopie, w połączeniu z odpędzaniem gazu (usunięcie rozpuszczonych gazów ze szkła poprzez gazowe pochłanianie pęcherzy). Klarowanie wtórne ma miejsce w trakcie kontrolowanego schładzania stopionego szkła, gdy ma miejsce powtórne wchłanianie pozostałych pęcherzy, co prowadzi do zmniejszenia się pęcherzy lub ich całkowitego rozpuszczenia.

Z powodu niskiej lepkości w wysokich temperaturach oraz rozkładu środków klarujących powyżej temperatury początkowej klarowania, klarowanie podstawowe zachodzi w obszarze najwyższych temperatur w basenie.

Emisja gazów klarujących niezbędna dla procesu klarowania podstawowego zależy od temperatury, zawartości środków klarujących w zestawie i stopie, oraz stanu utlenienia. Środki klarujące są dodawane do surowców w zestawie i z reguły rozpuszczają się w stopionym szkłe. Przy wzroście temperatury (powyżej temperatury topienia zestawu) środek klarujący powinien ulec rozkładowi i utworzyć gazy dysocjacyjne (O₂, SO₂), lub też wyparować ze stopu (tworząc opary, które wnikają w istniejące duże i małe pęcherze). Najbardziej powszechnym środkiem klarującym stosowanym w przemyśle szklarskim jest siarczan sodu, który w wyniku rozkładu prowadzi do powstania gazów SO₂ i O₂. Inne środki klarujące zawierają tlenki arsenu i antymonu, których rozkładowi towarzyszy wydzielanie tlenu, lub chlorek sodu tworzący opary NaCl. Aby w trakcie klarowania doszło do uwolnienia tlenu arsen i antymon powinny występować w stopie w najwyższym stopniu utlenienia. W niektórych przypadkach dodaje się w tym celu do zestawu azotany.

Stan utlenienia (stan redoks) decyduje o wartościowości wielowartościowych jonów w stopie i produkcji szklarskim. Wartościowość ma znaczenie nie tylko dla procesu klarowania, ale również wpływa na kolor szkła, jako że jony wielowartościowe, takie jak chrom, żelazo, miedź i siarka mogą nadawać szkłu barwę w zależności od ich wartościowości. Stan redoks stopu szkła może być zmieniany przy pomocy azotanów i siarczanów (środków utleniających) lub węgla (środka redukcyjnego).

Wybór środka klarującego (klarowanie chemiczne) zależy od rodzaju wytwarzanego szkła. Niektóre szkła nie zawierają siarczanów (np. szkła gablotowe) lub wymagają środków klarujących, które uwalniają swoje gazy klarujące jedynie w bardzo niskich (szkło dmuchane ręcznie) lub w bardzo wysokich temperaturach (gdzie poziom lepkości jest wystarczająco niski, zazwyczaj <50 Pa_s). O wyborze środków klarujących decyduje również stan utlenienia, w którym szkło powinno być topione aby uzyskać wymagany kolor. Niektóre środki klarujące są skuteczne jedynie w warunkach bardzo wysokiego utlenienia. Zatem wybór środków

klarujących zależy od temperatury stopu, stanu redoks szkła oraz czynników środowiskowych. W większości stopów szkieł sodowo-wapniowo-krzemowych klarowanie przy pomocy siarczanów zwykle odbywa się w temperaturach powyżej 1300 °C, w zależności od stanu redoks danego zestawu (np. w zależności od obecności i poziomu siarczanów i węgla w recepturze zestawu).

W przypadku zmiany warunków atmosferycznych w piecu, np. przejście ze spalania w powietrzu na spalanie w tlenie, często konieczne jest również odpowiednie dostosowanie składu zestawu.

Siarczan sodu jest najczęściej stosowanym środkiem klarującym, szczególnie w przypadku zwykłego szkła płaskiego, większości szkieł opakowaniowych, sodowo-wapniowo-krzemowego szkła stołowego, włókna szklanego ciągłego (szkło typu E), oraz sodowo-wapniowo-krzemowego szkła oświetleniowego. Siarczan sodu ulega rozkładowi, czemu towarzyszy wydzielanie tlenu sodu (który wchodzi w skład szkła), gazowych tlenków siarki oraz tlenu, które są absorbowane do szkła lub uwalniane wraz ze spalinami w piecu.

Homogenizacja może być również wspomagana poprzez wprowadzenie pęcherzy pary wodnej, tlenu, azotu lub najczęściej powietrza poprzez odpowiedni układ umieszczony w dnie basenu. Powoduje to krążenie i mieszanie szkła oraz poprawia wymianę ciepła. Niektóre procesy, na przykład w produkcji szkła optycznego, mogą wykorzystywać mechanizmy mieszania, części wyrobowe lub podajniki w celu uzyskania wymaganej wysokiej jednorodności. Inną techniką stosowaną w małych piecach (zwłaszcza w przypadku szkła specjalnego) jest klarowanie szkła: wzrost temperatury szkła powoduje obniżenie jego lepkości, dzięki czemu pęcherze łatwiej unoszą się w kierunku powierzchni.

Maksymalna temperatura sklepienia utrzymywana w piecach szklarskich wynosi: przy produkcji szkła opakowaniowego 1600°C, przy wytwarzaniu szkła płaskiego 1620°C, w przypadku szkła specjalnego 1650°C, w produkcji włókna szklanego ciągłego 1650°C a w produkcji wełny szklanej 1400°C (lecz może być wyższa). [103, Beerkens, Fining glass. Boron 2008].

Stan redoks

Jak już wspomniano powyżej, stan redoks szkła jest ważnym aspektem technicznym procesu wytopu szkła. Ma on wpływ na klarowanie stopu szkła, kolor szkła oraz jego absorpcję w podczerwieniu (absorpcję ciepła).

Stan redoks jest często mierzony poprzez określenie ciśnienia tlenu w stanie równowagi (p_{O_2}) w stopie (ciśnienie parcjale w równowadze z rozpuszczonym tlenem). Ilość rozpuszczonego tlenu w stopie zależy przede wszystkim od obecności i ilości środków utleniających (dostarczających tlen) lub środków redukcyjnych (reagujących z tlenem i pochłaniających go) w składzie zestawu. Najważniejsze środki utleniające to: siarczany, azotany i wielowartościowe jony w najwyższym stanie utlenienia (np.: Fe_2O_3 , Sb_2O_5 , As_2O_5 , SnO_2 , CeO_2). Typowe środki redukujące to związki organiczne (obecne głównie w obcej stłuczce), węgiel, siarczyny i zredukowane postaci wielowartościowych jonów.

Różnica w stanie redoks stopu może skutkować znaczną zmianą koloru szkła. Na przykład żelazo Fe^{3+} nadaje szkłu kolor żółtawo-brązowy, podczas gdy obecność żelazo Fe^{2+} skutkuje kolorem niebieskawo-zielonym.

Stan redoks oraz obecność pewnych jonów wielowartościowych w stopie może mieć wpływ na ilość ciepła pochłanianego przez szkło i w rezultacie na proces topienia i formowania.

Przy produkcji niektórych rodzajów szkieł konieczne są warunki utleniające. Dlatego też w składzie zestawu potrzebne są dodatkowe utleniacze takie jak azotany lub dodatkowa ilość siarczanów. Gdy stosuje się zewnętrzną stłuczkę w zestawie zawierającym szkło zredukowane (np. szkło bursztynowe) lub zanieczyszczenia organiczne (resztki żywności i/lub napojów, papier, tworzywa), konieczna jest wówczas dodatkowa ilość utleniacza aby utrzymać odpowiedni kolor szkła i zapewnić odpowiednie właściwości klarujące zestawu.

Inne szkła wymagają warunków redukujących, np. szkło bursztynowe i specjalne szkło zielone. W tych przypadkach wysoce utleniona atmosfera pieca może negatywnie wpłynąć na kolor szkła.

Warunki topnienia, które powodują zmiany stanu redoks, często prowadzą do intensyfikacji zjawiska ulatniania się z pieca, w rezultacie czego może zwiększyć się emisja gazów i ciał stałych. Zjawisko to jest najbardziej widoczne w przypadku emisji tlenków siarki. Redukcja przy powierzchni stopu szkła wywołana płomieniami redukującymi może poprawić parowanie

alkaliów (zwiększona korozja materiałów nadbudowy) i zwiększyć poziom formowania się pyłu w gazach odlotowych.

Stabilizacja termiczna

Faza stabilizacji termicznej w niskich temperaturach następuje w etapie topienia i etapie klarowania. Podczas tego procesu wszystkie rozpuszczalne pęcherze pozostałe w szkle są ponownie absorbowane przez stop. W tym samym czasie stop wolno się ochładza do temperatury wyrobowej wynoszącej 900°C - 1350°C.

W piecach o działaniu okresowym etapy te zachodzą kolejno po sobie, natomiast w piecach o działaniu ciągłym fazy topienia zachodzą jednocześnie w różnych miejscach wanny. Zestaw dostarczany jest w jednym końcu wanny, następnie przepływa przez różne jej strefy oraz zasilacz, gdzie podczas tej drogi zachodzą etapy topienia podstawowego, klarowania i stabilizacji termicznej. W piecach o ruchu ciągłym proces klarowania zachodzi bardzo łagodnie.

Szkło nie przepływa przez wannę w linii prostej od kieszeni zasypowej do przepustu i podajników, lub kanałów gdzie osiąga temperaturę wyrobową, lecz zmienia swój kierunek i podąża różnymi trajektoriami w wannie, w zależności od swobodnych lub wymuszonych przepływów konwekcyjnych, w tym przepływów recyrkulacyjnych i stapania statycznego (strefa wody stagnującej). Stożek zestawu, czyli zimna mieszanina surowców, nie topi się jedynie na powierzchni, lecz również od dołu, od stopu szklanego. Stosunkowo zimne spęcherzone szkło tworzy się poniżej dolnej warstwy zestawu i opada na dno wanny. Odpowiednie prądy konwekcyjne muszą unieść ten materiał do powierzchni, gdyż w piecach wannowych klarowanie zachodzi na powierzchni stopu, gdzie pęcherze, aby uwolnić się ze szkła, mają do przebycia małą drogę. Jeśli prądy termiczne płyną za wolno, to hamują klarowanie poprzez zbyt wczesne przesuwanie szkła do strefy stabilizacji termicznej. Wewnątrz wanny można zbudować ścianki lub przelewy prowadzące, które utworzą prawidłowe ścieżki przepływu szkła.

2.3 Techniki topienia

[tm18 CPIV]

Niniejsza część streszcza najważniejsze techniki topienia stosowane w przemyśle szklarskim. Odmienne techniki, używane w sektorach wełny skalnej i fryt, są omawiane odrębnie w rozdziałach poświęconych poszczególnym sektorom. Jak wspomniano powyżej, wybór techniki topienia będzie zależał od wielu czynników, a w szczególności od wymaganej wydajności, receptury szkła, cen paliwa, istniejącej infrastruktury i poziomu emisji do środowiska. Na przykład, ogólnie (istnieją oczywiście wyjątki):

- W instalacjach o dużej zdolności topienia (> 500 t/dobę) prawie zawsze używane są regeneracyjne piece poprzeczno-płomienne.
- W instalacjach o średniej zdolności topienia (100 do 500 t/dobę) preferowane są regeneracyjne piece U-płomienne, chociaż w zależności od okoliczności stosowane mogą być również regeneracyjne piece poprzeczno-płomienne, rekuperacyjne piece typu unit melter, a w niektórych przypadkach piece tlenowo-paliwowe lub elektryczne.
- W instalacjach o małej zdolności topienia (25 do 100 t/dobę) wykorzystywane są głównie rekuperacyjne piece unit melter, regeneracyjne piece U-płomienne, piece elektryczne i piece tlenowo-paliwowe.

Tabela 2.3 podaje szacunkowe zestawienie różnych typów pieców istniejących w UE, ich liczbę i wydajności topienia.

Typ pieca	Ilość jednostek	% całości	Wydajność topienia (t/rok)	Średnia wydajność topienia (t/doba)
-----------	-----------------	-----------	----------------------------	-------------------------------------

U-płomienny	225	35,8	16 100 000	196
Opalany poprzecznie	145	23.1	20 300 000	384
Elektryczny	43	6.85	800 000	51
Tlenowy	35	5.6	1 600 000	75
Rekuperacyjny	120	19.1	3 300 000	125
Inne	60	9.55	900 000	41
RAZEM	628	100	43 000 000	188
Źródło: [130, CPIV 2008]				

Tabela 2.3: Szacunkowe zestawienie typów pieców w UE w 2005 roku (dla instalacji >20 t/dobę)

Piece szklarskie są generalnie przeznaczone do wytopu dużych ilości szkła w okresie od dziesięciu do dwunastu lat, a w niektórych przypadkach do dwudziestu i więcej lat. Ich wydajność osiąga od 20 do ponad 1000 ton na dobę. Szkło znajduje się w wannie zbudowanej z bloków z odpowiednich materiałów ogniotrwałych, która ma na ogół prostokątny kształt i jest zamknięta przez łukowe sklepienie lub zwieńczenie. Piece elektryczne są zazwyczaj bardziej kwadratowe, mają płaskie sklepienie i są otwarte z jednej strony dla umożliwienia zasypu zestawu. Bloki ogniotrwałe są utrzymywane we właściwym położeniu przez zewnętrzny stalowy szkielet. Stosuje się wiele rodzajów pieców, które zwykle różnią się od siebie sposobem ogrzewania, systemem podgrzewania powietrza podawanego do spalania oraz położeniem palników.

Ponieważ produkcja szkła jest bardzo energochłonna, wybór źródła energii, techniki ogrzewania oraz sposobu odzyskiwania ciepła mają kluczowe znaczenie dla projektu pieca. Te same czynniki należą również do najważniejszych względów oddziałujących na poziom emisji do środowiska i sprawność energetyczną topienia. Trzema głównymi źródłami energii w produkcji szkła są gaz ziemny, olej opałowy i energia elektryczna. W pierwszej połowie XX wieku wielu producentów szkła używało gazu generatorowego, wytwarzanego w wyniku reakcji powietrza i wody z węglem w temperaturach żarzenia.

Wykorzystanie gazu ziemnego w przemyśle szklarskim rośnie ze względu na wysoką czystość tego surowca, łatwość jego kontrolowania i fakt, że nie wymaga on magazynowania. W porównaniu z olejem opałowym powoduje on niższe emisje dwutlenku siarki i CO₂, ale często wyższe emisje NO_x.

W przemyśle panuje powszechna opinia, że płomień olejowy, bardziej promieniujący niż płomień gazowy, daje lepsze przekazywanie ciepła do stopu. Ponadto gdy porównamy opalanie gazem z opalaniem olejem opałowym to widzimy, że różne pojemności cieplne spalin prowadzą do różnej utraty energii poprzez gaz odlotowy. Z drugiej strony większość rodzajów oleju opałowego stosowanych w procesach topienia wymaga uprzedniego rozgrzania do temperatury 110 – 120 °C aby uzyskać wystarczająco niski poziom lepkości, co ma umożliwić przepływ i wstrzyknięcie (atomizację) przez dyszę palnika.

Wiele dużych pieców jest przystosowanych do pracy zarówno na gazie ziemnym, jak i na oleju opałowym, przy czym „przebudowanie” wymaga jedynie prostej zmiany palników. W wielu przypadkach dostawy gazu są negocjowane na zasadzie przerywanej, podczas szczytowego zapotrzebowania, co powoduje konieczność łatwej zmiany paliwa. Główną przyczyną okresowych zamian pomiędzy gazem a olejem opałowym są wahania relatywnych cen paliw. W celu polepszenia kontroli nad podawaniem ciepła w przypadku pieców opalanych głównie gazem, olej często spalany jest w jednym lub dwóch palnikach. Coraz powszechniejsze stają się również zastosowanie mieszaniny oleju opałowego i gazu, w tym przypadku stosuje się

pojedynczy palnik.

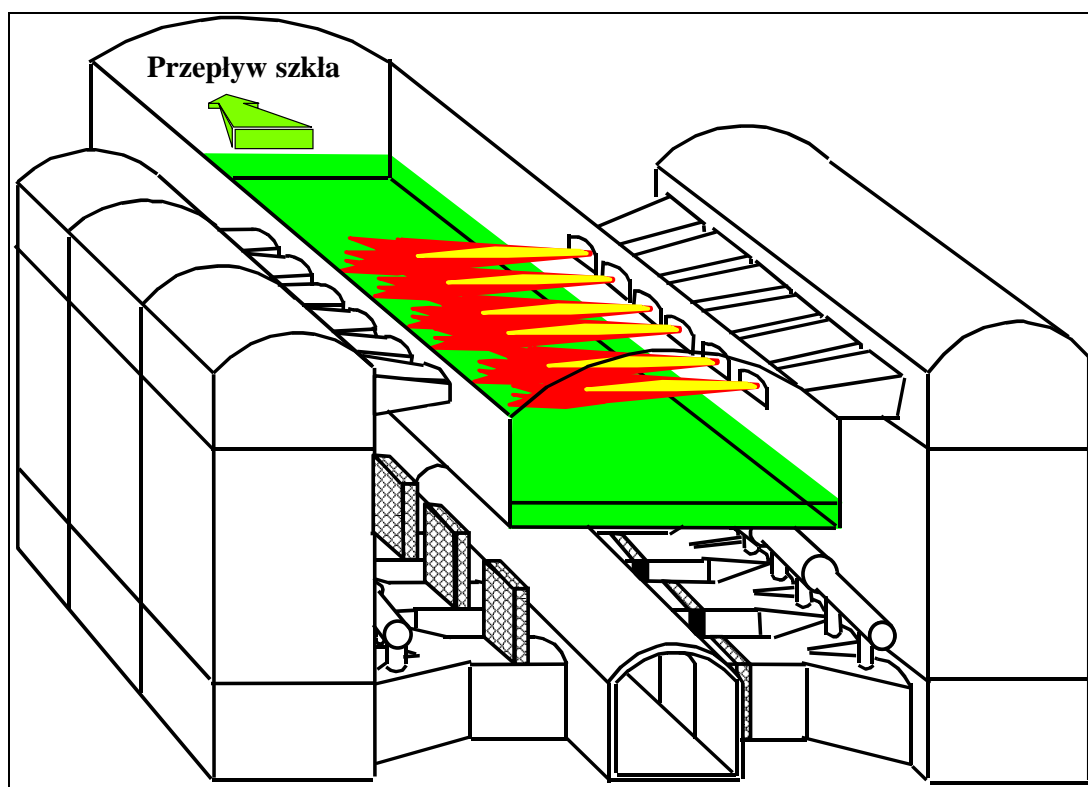
Trzecim powszechnym źródłem energii w produkcji szkła jest elektryczność. Może być ona stosowana jako jedyne źródło energii bądź w połączeniu z paliwami kopalnymi, co zostało opisane bardziej szczegółowo w dalszej części dokumentu. Elektryczność może być wykorzystywana do dostarczania energii na trzy podstawowe sposoby: ogrzewanie rezystywne, gdzie prąd przepływa przez stopione szkło; ogrzewanie indukcyjne, gdzie ciepło jest indukowane przez zmianę otaczającego pola magnetycznego; oraz użycie elementów grzejnych. Ogrzewanie rezystywne jest jedyną techniką, która znalazła powszechne zastosowanie w przemyśle szklarskim i która jest rozpatrywana w niniejszym dokumencie.

2.3.1 Piece regeneracyjne

[tm18 CPIV, tm1 UKDoE]

Nazwa „regeneracyjny” odnosi się do formy systemu odzysku ciepła stosowanej w przemyśle szklarskim. Palniki spalające paliwa kopalne są zwykle umieszczone w szybach spalania powietrza/gazów spalinowych lub poniżej nich. Ciepło gazów spalinowych, przechodząc przez komorę zawierającą materiały ogniotrwałe, które absorbują ciepło, podgrzewa powietrze przed spalaniem. Piec równocześnie opalany jest tylko jednym z dwóch zespołów palników. Po określonym czasie, zwykle po dwudziestu minutach, cykl opalania pieca jest odwracany i powietrze do spalania jest przepuszczane przez komorę uprzednio nagrzaną przez gazy spalinowe. Piec regeneracyjny ma dwie komory regeneracyjne; gdy jedna komora jest ogrzewana spalinami z procesu spalania, druga podgrzewa wchodzące powietrze do spalania. Typowe temperatury rozgrzania (w zależności od liczby szybów) mieszczą się w zakresie pomiędzy 1200 – 1350 °C, czasem sięgając 1400 °C.

Na Rysunku 2.1 przedstawiono schemat pieca regeneracyjnego opalanego poprzecznie



Melting tank – piec topliwny/ basen

Burner ports – szyby palnikowe

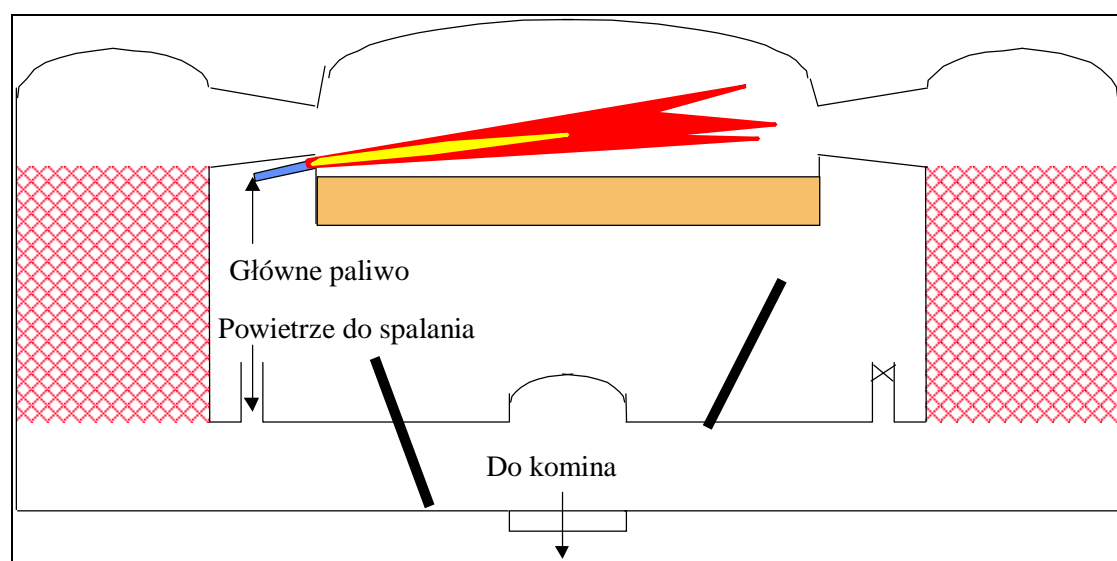
Flue system – system odprowadzania spalin

Rysunek 2.1: Piec regeneracyjny opalany poprzecznie

W piecu regeneracyjnym opalonym poprzecznie porty (szyby) palnikowe i palniki są umieszczone wzdłuż boków pieca, a komory regeneracyjne ulokowane są po obu bokach pieca i połączone z piecem poprzez szyby palnikowe. Płomień przechodzi ponad topionym materiałem bezpośrednio do przeciwległych szybów. Ilość stosowanych szybów (do 8) jest funkcją wielkości i pojemności pieca oraz jego indywidualnej konstrukcji. Niektóre większe piece mogą mieć oddzielne komory regeneracyjne dla każdego szybu palnikowego.

Ten typ konstrukcji, w którym możliwe jest efektywne wykorzystanie wielu palników, jest szczególnie odpowiedni dla większych instalacji; ułatwia on zróżnicowanie temperatury na różnych odcinkach długości pieca, co jest konieczne dla pobudzenia wymaganych prądów konwekcyjnych w stopionej masie szklanej.

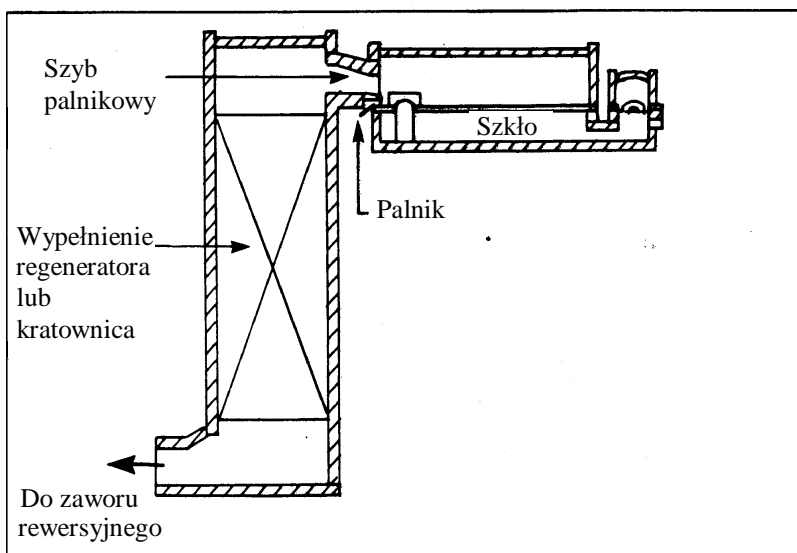
Na Rysunku 2.2 przedstawiono przekrój pieca regeneracyjnego



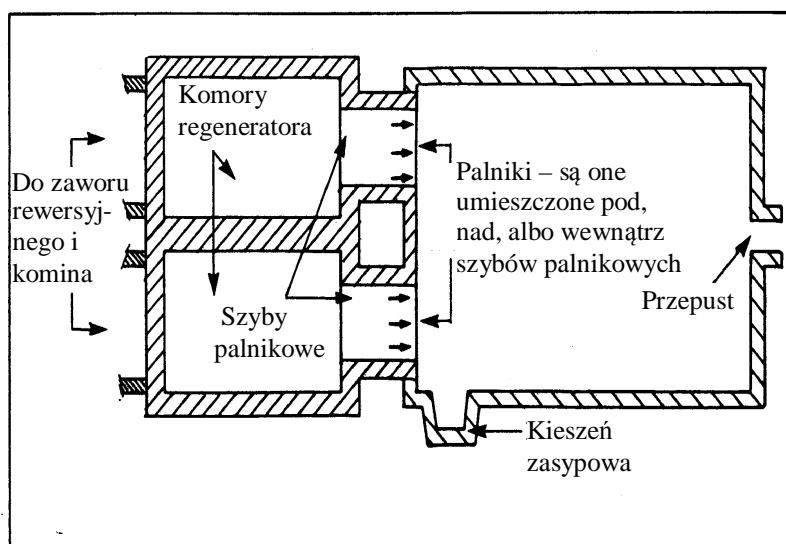
Rysunek 2.2: Przekrój poprzeczny pieca regeneracyjnego

Zasady działania pieców U-płomiennych są takie same, jednakże dwie komory regeneracyjne są usytuowane na tym samym końcu pieca, a każda z nich wyposażona jest w pojedynczy szyb. Droga płomienia tworzy kształt litery U, powracając do sąsiedniej komory regeneracyjnej poprzez drugi szyb. Układ ten umożliwia nieco bardziej efektywny kosztowo system regeneracyjny niż konstrukcja opalana poprzecznie, ale ma mniejszą elastyczność przy ustawianiu temperaturowego profilu pieca i dlatego jest mniej korzystny dla większych pieców. Piece U-płomienne są zazwyczaj bardziej wydajne energetycznie niż piece opalane poprzecznie. Dzieje się tak z dwóch powodów: po pierwsze mają one mniejszą liczbę portów (szybów) palnikowych co zmniejsza utratę energii poprzez szyby (często utrata ta może być duża). Po drugie w piecach U-płomiennych czas przebywania gazów powstających w wyniku spalania jest wyższy niż w piecach opalanych poprzecznie, co daje płomieniom więcej czasu na ogrzewanie warstwy zestawu i stopionej masy szklanej.

Na rysunku 2.3 przedstawiono schemat regeneracyjnego pieca U-płomieniowego z pojedynczym kanałem.



Rysunek 2.3: Regeneracyjny piec U-płomienny o pojedynczym kanale



Rysunek 2.4: Plan regeneracyjnego pieca U-płomiennego

Większość konwencjonalnych zakładów ma wanny regeneracyjne w systemie U-płomiennym lub poprzeczno-płomiennym, natomiast wszystkie piece float mają konstrukcję poprzeczno-płomienną. Temperatura mieści się zwykle w zakresie 1300 – 1350 °C, przy wyższych wartościach wzrasta aż do 1400 °C, co prowadzi do wysokiej sprawności ciepłen.

2.3.2 Konwencjonalny piec rekuperacyjny

[19, CPIV 1998]

Rekuperator jest kolejnym powszechnym rodzajem układu odzysku ciepła stosowanym zwykle w mniejszych piecach. W układzie tego typu wchodzące zimne powietrze jest podgrzewane pośrednio dzięki ciągłemu przepływowi spalin przez metalowy (lub – w wyjątkowych przypadkach - ceramiczny) wymiennik ciepła. Temperatury rozgrzania powietrza dla rekuperatorów metalowych są ograniczone do około 800°C, dlatego odzysk ciepła w tym układzie jest mniejszy niż w piecach regeneracyjnych. Niższa bezpośrednia sprawność energetyczna może być zrekompensowana przez dodatkowe układy odzysku ciepła z gazów spalinowych lub do podgrzewania surowców albo do wytwarzania pary. Jednakże jednostkowa

wydajność topienia pieców rekuperacyjnych jest ograniczona do 2 ton/m²/dobę w porównaniu z 3,2 ton/m²/dobę w przypadku pieców regeneracyjnych w sektorze szkła opakowaniowego. Ten niedostatek wydajności topienia może być częściowo skompensowany przez użycie dogrzewu elektrycznego.

Chociaż oryginalne piece topiące (lub opalane bezpośrednio) nie były obowiązkowo wyposażane w rekuperatory, to obecnie zawsze ma to miejsce, a termin unit melter stał się synonimem tradycyjnego pieca rekuperacyjnego. Palniki są umieszczone wzdłuż każdego boku pieca, poprzecznie do przepływu szkła i działają w sposób ciągły z obydwu stron. Wytworzone prądy konwekcyjne odciągają gorące gazy spalinowe nad stosunkową chłodną warstwę zestawu zanim gazy te opuszczą komorę spalania poprzez szyb wylotowy. i w górę przez szyb odciągowy znajdujący się w przedniej części pieca. Pozwala to na uzyskanie maksymalnego przepływu ciepła do zestawu i stopionej masy szklanej.

Ten typ pieca jest stosowany głównie, gdy konieczna jest duża elastyczność działania przy minimalnym początkowym wkładzie kapitałowym, szczególnie, gdy skala eksploatacji jest zbyt mała, by stosowanie regeneratorów było opłacalne. Jest on bardziej odpowiedni dla instalacji o małych zdolnościach topienia, chociaż spotyka się też piece o wyższych zdolnościach topienia (do 400 ton na dobę). Piece o specjalnej konstrukcji, takie jak LoNOX® i Flex® to również piece rekuperacyjne z dodatkowymi funkcjami. Zostały one dokładniej omówione w podrozdziale 4.4.2.3.

2.3.3 Topienie tlenowo-paliwowe

Technika ta polega na zastąpieniu powietrza do spalania tlenem (>90 % czystości). Eliminacja większości azotu z atmosfery spalania zmniejsza o około dwie trzecie objętość gazów spalinowych, które składają się prawie wyłącznie z dwutlenku węgla i pary wodnej. Możliwe są więc oszczędności energetyczne, gdyż nie ma konieczności ogrzewania atmosferycznego azotu do temperatury płomieni. Tworzenie termicznych NO_x jest znacznie ograniczone, ponieważ jedynym azotem obecnym w atmosferze spalania jest szczątkowy azot w tlenie, azot w paliwie, azot z rozkładu azotanów oraz ten pochodzący z wszelkiego fałszywego powietrza.

Ogólnie konstrukcja pieców tlenowo-paliwowych jest taka sama jak w przypadku pieców typu unit melter: wiele bocznych palników oraz pojedynczy szyb wylotowy gazów spalinowych. Jednakże piece konstruowane dla opalania tlenowego nie używają układów odzysku ciepła do podgrzewania tlenu dostarczanego do palników.

Piece tlenowo-paliwowe są szeroko stosowane w niektórych sektorach przemysłu szklarskiego (np. włókna szklane ciągłe, niektóre specjalne rodzaje szkła), w innych sektorach technika ta jest ciągle uważana za technologię rozwijającą się, która wiąże się z wysokim ryzykiem finansowym. Prowadzone są jednak prace nad jej doskonaleniem i, wraz z wprowadzaniem jej w nowych zakładach, technika ta staje się coraz szerzej akceptowana. Technika opalania tlenowo-paliwowego została bliżej omówiona w podrozdziale 4.4.2.5..

2.3.4 Topienie elektryczne

[19, CPIV 1998] [9, IPC Guidance S2 3.03 1996] [2, UKDoE 1991] [71, VDI 3469-5 2007]

Piec elektryczny składa się z wyłożonego materiałem ogniotrwałym basenu, podtrzymwanego przez stalowy szkielec, z elektrodami wstawionymi z boku albo od góry a najczęściej od spodu pieca. Energia do topienia jest dostarczana przez ogrzewanie oporowe, gdy prąd przepływa przez stopione szkło. Podczas rozgrzewu pieca na początku każdej kampanii niezbędne jest jednak użycie paliw kopalnych. Piec działa w sposób ciągły a jego żywotność wynosi od 2 do 7 lat. Powierzchnia topionego szkła pokryta jest warstwą zestawu surowcowego, który topi się stopniowo od dołu; stąd nazwa „piec z zimnym sklepieniem”. Świeży zestaw surowcowy jest podawany do górnej części pieca zwykle przez zasypnik poruszający się po całej powierzchni pieca. Większość pieców elektrycznych jest wyposażona w układy filtrów workowych a

zebrany materiał jest zwracany do topienia.

Technika ta jest często stosowana w małych piecach szczególnie do produkcji szkieł specjalnych. Wynika to głównie z tego, że sprawność cieplna pieców opalanych paliwem kopalnym zmniejsza się wraz z wielkością pieca, a straty ciepła na tonę wytopionego szkła w małym piecu mogą być stosunkowo wysokie. W porównaniu z takimi piecami straty ciepła w piecach elektrycznych są dużo niższe, więc dla mniejszych pieców różnica w kosztach topienia pomiędzy ogrzewaniem elektrycznym a ogrzewaniem paliwem kopalnym jest mniejsza niż w przypadku pieców większych. Inne korzyści elektrycznego topienia dla małych pieców to niższe koszty remontu, stosunkowo łatwe działanie oraz lepsze spełnienie wymagań ekologicznych, szczególnie w zakresie obniżenia emisji bezpośrednich. Jednakże pełna ocena opłacalności i oddziaływań na środowisko powinna uwzględnić również emisje pośrednie.

Istnieje górna graniczna wielkość dla rentowności pieców elektrycznych, która jest ściśle związana z wyższym kosztem energii elektrycznej w porównaniu z paliwami kopalnymi. Elektryczne piece mogą zwykle osiągać wyższe wydajności topienia na metr kwadratowy pieca, a sprawność cieplna pieców elektrycznych (w oparciu o energię dostarczoną do pieca a nie energię podstawową potrzebną do wytworzenia elektryczności) jest dwa do trzech razy większa niż pieców opalanych paliwami kopalnymi. Jednakże przy większych piecach często jest to niewystarczające, by skompensować wyższe koszty energii elektrycznej.

W przypadku elektrycznego topienia nie następuje spalanie, co oznacza, że ilości gazów odlotowych są niezwykle niskie; w rezultacie unoszenie cząstek jest nieznaczne a ponadto występuje mniejsze zapotrzebowanie na urządzenia wtórnego ograniczania zanieczyszczeń. Emisja lotnych składników zestawu jest znacznie niższa niż w konwencjonalnych piecach z powodu zmniejszonego wypływu gazów oraz absorpcji i reakcji gazowych substancji w warstwie zestawu. Główną emisją gazową jest dwutlenek węgla z węglanowych surowców zestawu.

Korzyści te powinny być jednak rozpatrywane z globalnego punktu widzenia; należy je porównać z emisjami powstającymi w elektrowni oraz z wydajnością wytwarzania energii elektrycznej i jej dystrybucji.

Z topieniem elektrycznym wiąże się jednak problem, którym jest stosowanie azotanu sodu lub azotanu potasu w zestawie. W przemyśle szklarskim uważa się, że azotan jest potrzebny w elektrycznym piecu o zimnym sklepieniu dla zapewnienia koniecznych warunków utleniających dla stabilnego, bezpiecznego i sprawnego procesu produkcji. Kłopot wynika z faktu, że substancja ta rozkładając się w piecu uwalnia tlenki azotu.

Jednakże nie wszystkie rodzaje szkła produkowanego w procesie topienia elektrycznego wymagają zastosowania azotanów. Przykładem tutaj może być wysokotemperaturowa wełna izolacyjna (ASW/RCF i AES), gdzie do receptury zestawu nie dodaje się azotanów.

2.3.5 Topienie z wykorzystaniem paliw kopalnych w połączeniu z energią elektryczną

[19, CPIV 1998] [9, IPC Guidance S2 3.03 1996]

Istnieją dwie główne metody wykorzystania tej techniki: dominujące opalanie paliwem kopalnym z elektrycznym dogrzewem lub dominujące ogrzewanie elektryczne ze wspomaganiami paliwem kopalnym. Proporcje udziału każdego źródła energii mogą być różne w przypadku różnych technik.

Elektryczny dogrzew jest metodą doprowadzania dodatkowego ciepła do pieca szklarskiego przez przepuszczanie prądu elektrycznego przez elektrody w bocznych ścianach wanny (elektrody poziome) lub elektrody w dolnej części wanny (elektrody pionowe). Zazwyczaj stosuje się elektrody w formie prętów, chociaż w przemyśle szklarskim są również wykorzystywane elektrody w formie płytek. Technika ta jest powszechnie stosowana w piecach opalanych paliwem kopalnym. Tradycyjnie używa się jej dla zwiększenia przepustowości

pieców opalanych paliwem kopalnym, w celu zaspokojenia okresowych wahań popytu bez ponoszenia stałych kosztów działania większego pieca. Technika może być instalowana podczas pracy pieca i jest często stosowana w celu podniesienia wielkości wydobycia pieca, gdy zbliża się koniec żywotności pieca, lub by zwiększyć zdolność wytopową istniejącego pieca.

Elektryczny dogrzew może być również użyty w celu zmniejszenia emisji bezpośrednich pieca poprzez zastąpienie spalania ogrzewaniem elektrycznym przy danej wielkości wydobycia szkła. Zwykle dogrzew elektryczny dostarcza 5 % do 20 % całkowitej energii wejściowej, chociaż możliwy jest również jego wyższy udział. Wysoki poziom dogrzewu elektrycznego z powodu wysokich kosztów nie jest jednak stosowany długoterminowo przy podstawowym poziomie produkcji. Zmienne poziomy dogrzewu elektrycznego są często spotykane w produkcji szkieł kolorowych z powodu złego przekazywania promieniowania ciepłego w szkło zielonym i bursztynowym. Gdy stosowany jest dogrzew elektryczny elektrody dostarczają dodatkowego ciepła głównie w dolnych warstwach stopionej masy szklanej w basenie.

Mniej powszechną techniką jest użycie gazu lub oleju jako paliwa wspomagającego dla pieca ogrzewanego głównie elektrycznie. Wymaga ona po prostu palenia się płomieni nad powierzchnią zestawu surowcowego, co dodatkowo dostarcza ciepło do surowców i wspomaga topienie. Technika ta jest czasem nazywana przepalaniem i często stosuje się ją w przypadku niektórych kłopotów operacyjnych spotykanych przy 100% elektrycznym topieniu..

2.3.6 Okresowe topienie zestawu

[22, Schott 1996]

Gdy potrzebne są mniejsze ilości szkła, w szczególności jeśli skład szkła podlega regularnym zmianom, działanie pieca o pracy ciągłej może być nieekonomiczne. W tych przypadkach do topienia konkretnych zestawów surowcowych używane są piece donicowe lub piece wannowe wyrobowe. Większość procesów szklarskich tego typu nie podlegałoby kontroli tej Dyrektywy, ponieważ ich wydajność topienia jest prawdopodobnie mniejsza niż 20 ton na dobę. Jednakże w kilku przypadkach w produkcji szkła gospodarczego i szkieł specjalnych występują wydajności topienia powyżej tego poziomu, w szczególności, gdy na tej samej instalacji wykonywana jest więcej niż jedna operacja.

Piec donicowy jest zwykle wykonany z cegły ogniotrwałej (ściany wewnętrzne), z cegły krzemionkowej (korona sklepienia) i cegły izolacyjnej (ściany zewnętrzne). Składa się on z sekcji dolnej, gdzie podgrzewane jest powietrze do spalania (układ regeneracyjny albo rekuperacyjny) oraz z sekcji górnej, która mieści w sobie donice i spełnia rolę komory topienia. Górna sekcja mieści sześć do dwunastu donic z gliny ogniotrwałej, w których mogą być topione różne rodzaje szkła.

Istnieją dwa rodzaje donic: donice otwarte i zamknięte. Donice otwarte nie mają przykrycia i szkło jest otwarte na atmosferę pieca. Donice zamknięte są przykryte a ich otwarcie ma miejsce jedynie poprzez otwór wyrobowy. W donicach otwartych temperatura jest regulowana przez dostosowanie opalania pieca, natomiast w donicach zamkniętych opalanie jest na stałym poziomie, a temperatura jest regulowana przez otwieranie lub zamykanie otworu wyrobowego. Pojemność każdej donicy mieści się zwykle w zakresie 100 kg - 500 kg, a trwałość wynosi 2 - 3 miesiące przy pracy ciągłej.

Piec jest ogrzewany codziennie przez 24 godziny, ale temperatura zmienia się (w donicach zamkniętych tylko temperatura szkła) stosownie do fazy cyklu produkcyjnego. Ogólnie, zestaw jest zasypywany do donicy i topiony późnym popołudniem, temperatura jest podwyższana w ciągu nocy dla wyklarowania stopu, aby szkło mogło być wyrabiane następnego ranka. Podczas topienia temperaturę podnosi się do poziomu między 1300°C i 1600°C w zależności od rodzaju szkła a podczas wydobycia i wyrabiania szkła temperatura pieca mieści się w zakresie 900°C do 1200°C.

Wannowe piece wyrobowe są zmodyfikowaną wersją pieców donicowych i mają większą

wydajność wytopową, w zakresie 10 ton na dobę. Konstrukcyjnie bardziej przypominają konwencjonalne piece czworokątne, ale podobnie do pieców donicowych napełniane są zestawem codziennie. Topienie zwykle wykonywane jest nocą, a szkło wchodzi do produkcji następnego dnia. Pozwalają one w krótkim czasie zmienić rodzaj topionego szkła i są przede wszystkim stosowane w produkcji szkła kolorowych, szkła kryształowego, miękkich szkła specjalnych i fryt (ceramicznych i emaliowych).

2.3. 7 Specjalne konstrukcje pieców wytopowych

[59, SORG 1999] [60, SORG 1999]

Uwaga zwracana na ograniczanie emisji NOx sprawiła, że niektórzy projektanci zaproponowali piece typu urządzenie topiące, które łączą w sobie rozmaite cechy mające na celu możliwość obniżenia temperatury opalania. Najlepiej znanym piecem tego typu jest piec wytopowy LoNOx.

Piec wytopowy LoNOx to piec rekuperacyjny stosujący kombinację płytkiego basenu klarującego oraz podgrzewania surowców w celu osiągnięcia zmniejszonych poziomów NOx, potencjalnie bez ponoszenia strat z tytułu mniejszej sprawności cieplnej. Płytki basen klarujący wymusza ścieżkę ważnego prądu krytycznego blisko powierzchni stopionej masy szklanej, zmniejszając tym samym gradient temperaturowy pomiędzy nią a nadbudową pieca. Piec może pracować w niższych temperaturach niż porównywalny piec konwencjonalny. Technika ta jest opisana dokładniej w podrozdziale 4.4.2.3.

Inną nową konstrukcją jest piec Flex®Melter, który został wprowadzany na rynek głównie jako alternatywa dla pieców donicowych i waniów wyrobowych. Zastosowano w nim kombinację energii elektrycznej i gazu ziemnego, dającą w rezultacie zwarty piec o niskich temperaturach pracy oraz niskim zużyciu energii. Piec jest podzielony na strefy topienia i klarowania, które są połączone przepustem. Przestrzeń klarowania składa się z płytkiej przegrody, po której następuje obszar głębszy. Strefa topienia jest ogrzewana elektrycznie, a strefa klarowania ogrzewana jest gazem, ale na wejściu mogą być dodane elektrody. Gazy spalinowe ze strefy klarowania przechodzą przez strefę topienia i ponad zestawem. Dużo niskich łukowatych sklepień zapobiega wypromieniowaniu ciepła z gorętszej części pieca do zimniejszych obszary, tak więc duża część energii z gazów spalinowych jest przekazywana do zestawu.

Rozdzielenie stref topienia i klarowania jest podstawą elastyczności pieca. Podczas okresów postojowych temperatury są obniżane, więc lotność z klarowania jest zmniejszona. Nie ma potrzeby spustu szkła, a z powodu jego małej objętości szybko ustala się ponownie normalna temperatura pracy. Mała objętość pomaga również dokonywać szybszych zmian składu.

2.4 Szkło opakowaniowe

[19, CPIV 1998] [2, UKDoE 1991]

Niniejsza część omawia całkowicie zautomatyzowaną produkcję szkła opakowaniowego, opartą na szkle sodowo-wapniowym i sodowo-wapniowym zmodyfikowanym. Produkcja innych wyrobów opisana jest w częściach dotyczących szkła gospodarczego i szkła specjalnego. Typowy skład szkła opakowaniowego podano w poniższej tabeli 2.4. Ze względu na różnorodność sektora szkła opakowaniowego znajdują w nim zastosowanie prawie wszystkie techniki topienia opisane w części 2.3.

Składnik	Zawartość procentowa
Tlenek krzemu (SiO ₂)	71 – 73
Tlenek sodu (Na ₂ O)	12 – 14
Tlenek wapnia (CaO)	9 – 12
Tlenek magnezu (MgO)	0,2 – 3,5
Tlenek glinu (Al ₂ O ₃)	1 – 3

Tlenek potasu (K ₂ O)	0,3 – 1,5
Trójtlenek siarki (SO ₃)	0,05 – 0,3
Modyfikatory barwy itp.	Śladowa

Tabela 2.4: Typowy skład szkła opakowaniowego

Najważniejsze parametry, które należy uwzględnić przy planowaniu procesu to: rodzaj i pojemność pieca (w tym regeneratorów), mieszanina dostępnych źródeł energii (olej, gaz, elektryczność), przewidywane zużycie stłuczki oraz potrzebne zróżnicowanie) kolory, waga i kształt gotowych produktów). Najbardziej typową i powszechnie stosowaną techniką topienia w produkcji szkła opakowaniowego jest regeneracyjny piec U-płomienny, którego moc przerobowa i wszechstronność pozwala sprostać wymaganiom rynku i zapewnia sprawność energetyczną. Najczęściej stosowane są piece o mocy przerobowej 300 – 350 ton/dobę.

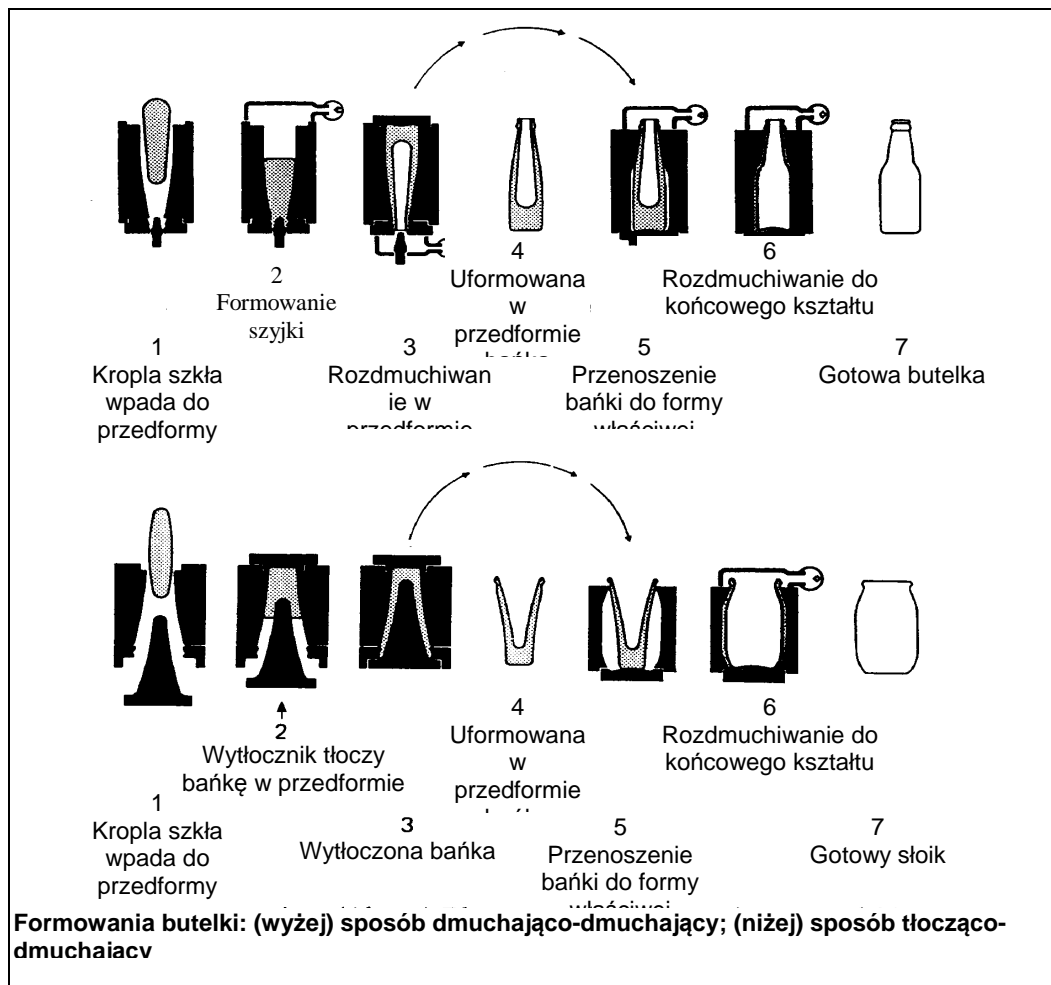
Opakowania szklane są produkowane w dwóch etapach procesu formowania przy wykorzystaniu technik tłoczenia i wydmuchiwania. W automatycznej produkcji butelek istnieje pięć etapów.

1. Otrzymanie porcji stopionego szkła (kropli) o odpowiedniej wadze i temperaturze.
2. Formowanie bańki w pierwszej formie (przedformie) przy wykorzystaniu ciśnienia sprężonego powietrza lub metalowego wytłocznika.
3. Przeniesienie bańki (porcji) do formy ostatecznej (formy właściwej).
4. Otrzymywanie końcowego kształtu wyrobu poprzez rozdmuchiwanie opakowania sprężonym powietrzem do uzyskania kształtu formy właściwej.
5. Przekazanie końcowego produktu do procesów następujących po formowaniu.

Stopione szkło płynie z pieca wzdłuż zasilacza do misy głowicy umieszczonej na końcu. Z dna misy głowicy przy pomocy oczek o odpowiednich rozmiarach wypływa od jednej do czterech równoległych strug szkła. Strugi te, są modulowane przez mechaniczny system wytłocznika, a następnie cięte za pomocą nożyc na odpowiednią długość, dając „krople” szkła. Kompletny system do formowania kropli nazywany jest mechanizmem zasilacza. Krople cięte są równocześnie z równoległych strug szkła, a następnie są jednocześnie poddawane procesowi formowania na równoległych maszynach formujących. Maszyny te zostały nazwane automatami jedno-, dwu-, trzy- lub czterokropłowymi; te ostatnie zaadaptowano do wysoko nakładowej produkcji mniejszych opakowań. Najczęściej spotykany jest automat dwukropłowy. Piece do produkcji opakowań szklanych wyposażone są w dwa lub więcej automatów formujących, gdzie dla każdego przeznaczony jest oddzielny zasilacz.

Na nożyce napyłana jest mieszanka wody i rozpuszczalnego oleju, aby nie dopuścić do ich przegrzania oraz aby nie przylepiało się do nich szkło. Krople przekazywane są za pomocą rynienek z mechanizmu zasilacza do przedform na automacie formującym.

Proces formowania przeprowadzany jest w dwóch etapach, co pokazuje rysunek 2.5. W zależności od rodzaju opakowania wstępne formowanie w przedformie może być wykonane albo przez wytłaczanie za pomocą wytłocznika, albo przez rozdmuchiwanie sprężonym powietrzem. Końcowa operacja formowania jest wykonywana zawsze poprzez rozdmuchiwanie, aż do uzyskania końcowego kształtu opakowania. Dlatego te dwa procesy nazywane są odpowiednio „tłocząco-dmuchaający” i „dmuchająco-dmuchaający”. Uformowane opakowania przekazywane są za pomocą przenośnika taśmowego do kolejnych etapów następujących po procesie formowania. Formowanie metodą „tłocząco-dmuchaającą” jest wykorzystywane zwłaszcza w produkcji słoików, jak również lekkich butelek. Formowanie metodą „dmuchająco-dmuchaającą” jest bardziej wszechstronne i stosowane w produkcji standardowych butelek oraz bardziej złożonych form. Na rysunku 2.5 przedstawiono uproszczone schematy tych dwóch procesów formowania.



Rysunek 2.5: Formowanie metodą tłocząco-dmuchającą i dmuchająco-dmuchającą

Podczas procesu formowania temperatura szkła obniża się o około 600°C , po to by opakowania były dostatecznie zestalone przed przekazaniem ich na przenośnik. Odprowadzenie ciepła uzyskuje się poprzez nadmuch dużych ilości powietrza na formy. Aby zapobiec przyklejaniu się szkła do form, ręcznie lub automatycznie na odpowiednie części formy nakładane są różnego rodzaju substancje na bazie grafitu, odporne na wysoką temperaturę („smarowanie”). Formy wymagają co pewien czas czyszczenia i konserwacji.

Szkło płynące z zasilacza musi być utrzymywane na stałym poziomie, aby uzyskać niezbędną stabilność termiczną, lepkość i jednorodność szkła dostarczanego do procesu formowania. Jeśli na jednej z sekcji proces formowania jest zatrzymany, to krople gorącego szkła są spuszczone rynienką do podpiwniczenia, gdzie są frytowane w wodzie, a następnie zawracane do zestawu wraz ze wszystkimi innymi produktami odpadowymi w postaci stłuczki własnej.

Pierwsze maszyny formujące były obrotowe i choć do dziś te automaty, na których produkuje się wyroby gospodarcze, wykorzystują tę samą zasadę, to produkcja opakowań stosuje prawie wyłącznie automaty rządowe (IS), które są bardziej elastyczne na linii produkcyjnej. Automat rządowy (sekcyjny) składa się z wielu odrębnych jednostek formujących wyrób (sekcji) zamontowanych jedna koło drugiej. Każda sekcja posiada odpowiednią liczbę form w stosunku do liczby jednocześnie formowanych kropli. Krople podawane są kolejno do różnych sekcji za pomocą rynienki przekazującej oraz odpowiedniego systemu (rozdzielacz kropli i rynienka kierunkowa). Typowe automaty rządowe składają się z 6 do 20 sekcji, w zależności od wielkości i rodzaju rynku. Główną zaletą automatów sekcyjnych jest możliwość niezależnego zatrzymania danej sekcji, w celu jej wyregulowania lub wymiany części form.

Automatyczna produkcja opakowań może być wykorzystywana do formowania butelek i

słoików w prawie wszystkich rozmiarach, kształtach i kolorach. Im prostszy kształt, tym większa prędkość formowania: lekkie, okrągłe butelki do piwa produkowane są z prędkością do 750 sztuk/minutę (na automacie 12 sekcyjnym z poczwórnym zasilaczem kropłowym).

Szybkie studzenie zewnętrznej powierzchni opakowań powoduje powstawanie wysokich naprężeń w szkłe i w konsekwencji ich kruchość. Aby to wyeliminować, opakowania przepuszczane są przez odprężarkę tunelową, gdzie są ponownie podgrzewane do temperatury 550°C, następnie w kontrolowanych warunkach studzone aby zapobiec powstaniu dalszych naprężeń. Odprężarki ogrzewane są gazem ziemnym lub energią elektryczną, choć duża część energii potrzebnej do osiągnięcia temperatury odprężania pochodzi od gorących wyrobów do nich wchodzących. Odpowiednio schłodzone opakowania poddawane są automatycznej kontroli, a te które wybiegają poza tolerancje i inne wymagania jakościowe firmy są brakowane. Po kontroli jakościowej produkty są składane na paletach, w kartonach lub luzem, a następnie pakowane i magazynowane przed wysyłką do klienta.

Całkowita wydajność produkcji jest mierzona jako stosunek „zapakowanego do wytopionego” tj. procentowa liczba ton wyrobów zapakowanych (do wysyłki) do liczby ton wytopionego w piecu szkła. Generalnie ciągi produkcyjne wytwarzające opakowania do artykułów spożywczych oraz napojów osiągają wydajność produkcji od 85% do 94%. Bardziej wartościowe wyroby dla przemysłu perfumeryjnego i farmaceutycznego są poddawane ostrzejszym kontrolom i z tego względu wydajność produkcji sięga tu około 70%.

Aby poprawić własności produktów, można nanosić powłoki na ich powierzchnię bezpośrednio po uformowaniu, gdy temperatura wyrobu wynosi ponad 500°C („powlekanie na gorąco”, często przy pomocy SnO₂) lub po procesie odprężania („powlekanie na zimno”, powlekanie polimeryczne). W praktyce zawsze stosuje się kombinację obróbki na gorąco i na zimno. Z reguły powłoka jest наносzona na zewnętrznej powierzchni opakowań.

Opakowania szklane przechodzą przez różne etapy: kontroli, pakowania, rozpakowywania, napełniania i ponownego pakowania. Aby uniknąć uszkodzeń na skutek kontaktu pomiędzy wyrobami i umożliwić poślizg podczas przechodzenia przez prowadnice można stosować smarowanie wyrobów na zimnym końcu odprężarki tunelowej. Stosowanymi do tego celu materiałami są produkty bezpieczne dla żywności wytworzone na bazie kwasu oleinowego i polietylenu, które w postaci rozcieńczonej zawiesiny wodnej наносzone są na wyrób przez natryskiwanie lub przez kontakt par tych substancji z wyrobem. Obróbka ta zazwyczaj nie powoduje znaczącego wzrostu poziomu emisji do środowiska.

Przy powlekanii opakowań szklanych na gorąco zazwyczaj nakłada się bardzo cienką warstwę tlenku cyny lub tlenku tytanu bezpośrednio na wyrób po wyjściu z automatu formującego. W połączeniu z наносzeniem powłoki smaru na zimną powierzchnię wyrobu pomoże to zabezpieczyć powierzchnię szkła przed uszkodzeniami podczas późniejszego przenoszenia. Nánoszony na powierzchnię tlenek metalu działa jako podłoże, zatrzymując na powierzchni szkła cząstki organiczne, co, przy zastosowaniu bezpiecznych dla produktów żywnościowych smarów, zwiększa odporność wyrobu na zarysowania. Powlekanie na gorąco poprawia również odporność mechaniczną wyrobów.

Nánoszone powłoki muszą być same w sobie niewidoczne i jak najcieńsze. Grubość powłoki наносzonej na gorąco wynosi zazwyczaj < 0,01 μm. Często dla uzyskania jednolitej grubości wykorzystuje się metodę chemicznego osadzania z fazy gazowej (CVD), która polega na stosowaniu bezwodnych chlorków cyny, tytanu lub specjalnych związków organo-metalicznych. Stosowana jest również metoda natryskiwania. Ilość zużywanego materiału jest zazwyczaj niska i wynosi od 2 do 10 kg/dzień na jedną linię produkcyjną, w zależności od szybkości produkcji.

W pewnych przypadkach wyprodukowane opakowania szklane przed wysyłką do klienta poddawane są dalszym procesom dekorowania oraz наносzenia identyfikatorów. Do tego celu wykorzystywane są etykiety wrażliwe na ciśnienie lub termokurczliwe oraz dekoracja

ceramiczna wykonywana za pomocą obróbki termicznej.

2.5 Szkło płaskie

[19, CPIV 1998]

Termin szkło płaskie obejmuje wszystkie szkła produkowane w formie płaskiej bez względu na rodzaj produkcji. Dla potrzeb tego dokumentu opisano metodę produkcji szkła float i szkła walcowanego. Inne metody produkcyjne szkła płaskiego są opisane w sektorze szkła specjalnego (np. płyty ceramiczne do kuchenek), a ich wielkość produkcji jest mniejsza niż 20 ton/dzień - wartość podana w Dyrektywie. Inne metody produkcji ogromnych ilości szkła płaskiego dla przemysłu budowlanego i samochodowego w Unii Europejskiej uważane są za przestarzałe. W niniejszym podrozdziale omawiane są tafle i płyty szklane, które zostały już wstępnie przedstawione w rozdziale 1. Większość szkła płaskiego produkowana jest na bazie szkła sodowo-wapniowego, a typowy skład tego szkła podany jest w tabeli 2.5. Szkło float oraz szkło walcowane są topione prawie wyłącznie w piecach regeneracyjnych opalanych poprzecznie.

Tabela 2.5: Typowy skład szkła płaskiego sodowo-wapniowego- krzemowego

Składniki	Zawartość procentowa
Tlenek krzemu (SiO_2)	72,6
Tlenek sodu (Na_2O)	13,6
Tlenek wapnia (CaO)	8,6
Tlenek magnezu (MgO)	4,1
Tlenek glinu (Al_2O_3)	0,7
Tlenek potasu (K_2O)	0,3
Trójtlenek siarki (SO_3)	0,17
Składniki drugorzędne (modyfikatory barwy oraz przypadkowe zanieczyszczenia z surowców)	Śladowa

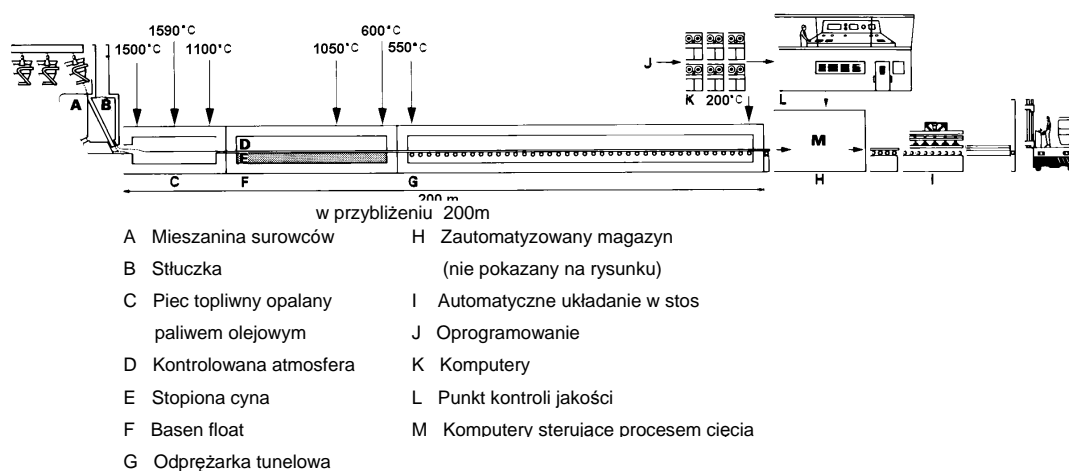
2.5.1 Proces produkcji szkła float

Podstawową zasadą produkcji szkła float jest wylanie wytopionego szkła na kąpiel stopionej cyny, a następnie uformowanie tafli, której dolna i górna powierzchnia stają się równoległe pod wpływem grawitacji i napięcia powierzchniowego.

Basen float, w którym znajduje się stopiona cyna, składa się ze wspartej na stalowej konstrukcji stalowej obudowy wyłożonej ogniotrwałymi cegłami. Basen float ma około 55m do 60m długości, 4m do 10m szerokości i jest podzielony na 15 do 20 przegród. Basen jest szczelny, nie przepuszcza powietrza i utrzymywana jest w nim lekko redukująca atmosfera poprzez wprowadzanie mieszaniny azotu i wodoru. Ważne jest, aby nie dopuścić do utleniania powierzchni cyny, co mogłoby powodować uszkodzenie niezmiernie ważnej powierzchni kontaktowej pomiędzy szkłem a cyną. Jako ciekłą kąpiel stosuje się stopioną cynę, ponieważ jest to jedyna substancja, która w stanie ciekłym nie posiada wyraźnej prężności par powyżej wymaganego zakresu temperatur.

Stopione szkło przepływa z pieca wzdłuż kanału wyłożonego materiałem ogniotrwałym, który może być ogrzewany w celu utrzymania prawidłowej temperatury szkła. Na końcu kanału szkło wylewa się na kąpiel cynową poprzez specjalny próg wylewowy, który zapewnia prawidłowy rozkład szkła. Przepływ szkła jest kontrolowany za pomocą regulowanej ogniotrwałej przysłony zawieszanej w kanale (przednia „przysłona”). W miejscu, gdzie szkło styka się z kąpielą cynową, temperatura metalu wynosi około 1000°C, a na wyjściu z kąpeli ochładza się do temperatury około 600°C. Podczas przesuwania się po powierzchni kąpeli szkło uzyskuje jednolitą grubość, a jego powierzchnia staje się prawie tak doskonale płaska jak roztopiona cyna.

Rysunek 2.6: Proces produkcji szkła float



Wewnątrz basenu float umieszczone są oddzielne pary chłodzonych wodą rolek krawędziowych, które można regulować pod względem kierunku, wysokości, głębokości i kąta. Rolki te chwytają brzegi tafli szklanej z obu jej stron, a następnie rozciągają ją w celu regulacji szerokości i długości taśmy. Prędkość przepływu szkła oraz prędkość obrotu rolek pozwala regulować grubość taśmy szklanej, zazwyczaj w zakresie od 1,5mm do 19mm. W celu uformowania taśmy szklanej o grubości większej od maksymalnej naturalnej grubości, na powierzchni kąpieli cynowej zainstalowane są grafitowe ograniczniki.

Na końcu basenu float taśma szklana przenoszona jest przy pomocy rolek odbierających do odprężarki tunelowej, gdzie w kontrolowanych temperaturach zachodzi zjawisko odprężania szkła. Na początku odprężarki na obydwie strony taśmy napylany jest SO_2 , celem zabezpieczenia powierzchni szkła przed uszkodzeniem jej przez rolki. Odprężarka podzielona jest na kilka stref, gdzie pod wpływem naturalnej oraz wymuszonej konwekcji taśma szklana jest wzdłużnie i poprzecznie podgrzewana oraz studzona. Szkło jest stopniowo studzone z temperatury $600^\circ C$ do $60^\circ C$, co ma na celu obniżenie do akceptowalnego poziomu naprężeń szczątkowych, powstałych podczas procesu formowania. Operacja od momentu wylania szkła na stopioną cynę do procesu cięcia wymaga odpowiedniego czasu oraz odległości; nieprzerwana taśma szklana ma na tym odcinku długość około 200 m.

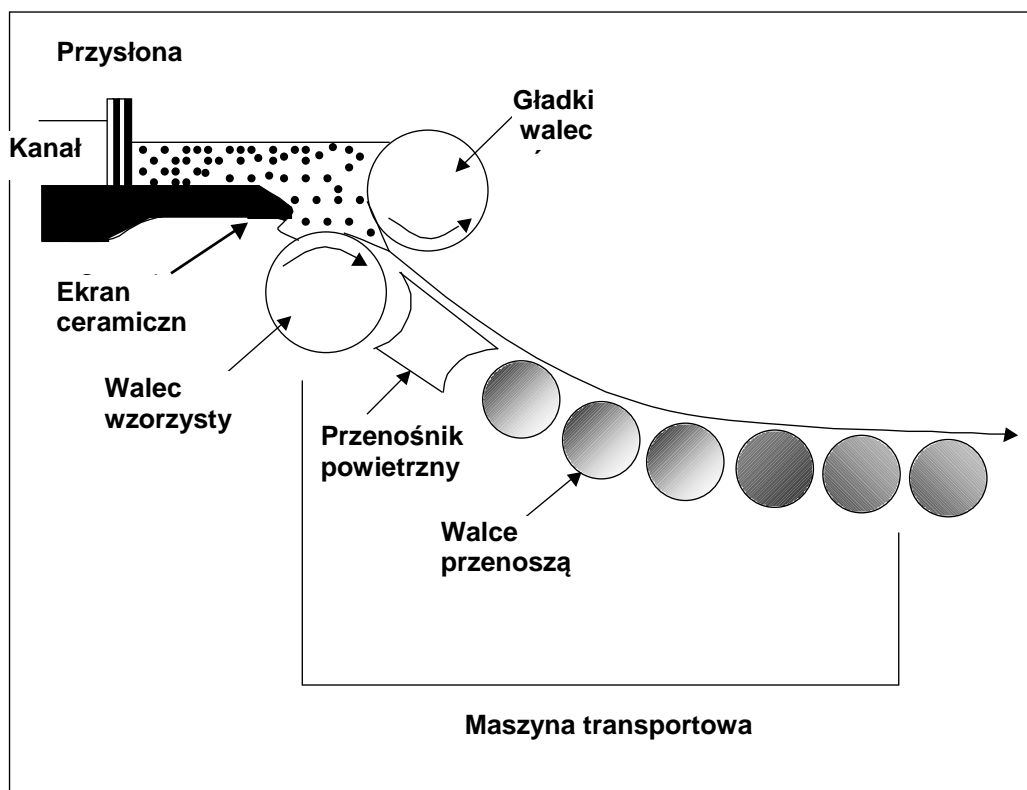
Ostudzona taśma szklana bezpośrednio na linii jest cięta za pomocą przesuwającego noża, którego kąt w stosunku do linii taśmy można regulować w zależności od prędkości jej przesuwu (ustawienie pod kątem 90° , jeśli taśma szklana nie porusza się). Krawędzie taśmy, które zostały uszkodzone przez rolki są odcinane i zawracane do pieca w postaci słuczki. Następnie tafle szklane są poddawane kontroli, pakowane i magazynowane, po czym sprzedawane bądź poddawane dalszemu przetwarzaniu.

Aby poprawić właściwości produktu, istnieje możliwość pokrycia powierzchni taśmy odpowiednią powłoką podczas procesu formowania (np. niskoemisyjne glazurowanie). Procesy pokrywania szkła specjalnymi powłokami wykorzystywane są w specyficznych przypadkach i niewiele hut w przemyśle szklarskim stosuje ten rodzaj modyfikacji powierzchni szkła float. Nanoszenie powłoki wykonuje się poprzez natryskiwanie związków krzemionki lub cyny na gorącą poruszającą się taśmę, gdzie wchodzi ona w reakcje chemiczne, tworząc żądaną warstwę. Zazwyczaj proces ten składa się z dwóch oddzielnych etapów powlekania: dolna powierzchnia powlekana jest związkami krzemu, a górna innymi związkami np. fluorem z dodatkiem tlenku cyny. Biorąc pod uwagę naturę stosowanych związków chemicznych, należy się liczyć z możliwością emisji gazów kwasu oraz drobnych cząstek, które zazwyczaj

wychwytywane są przez przeznaczony do tego celu system oczyszczania.

2.5.2 Proces produkcji szkła walcowanego (szkło wzorzyste i zbrojone)

Na rysunku 2.7 przedstawiony jest schemat procesu produkcji szkła walcowanego.



Rysunek 2.7: Proces produkcji szkła walcowanego

Szkło walcowane formowane jest w procesie walcowania ciągłego dwuwalcowego. Stopione szkło o temperaturze około 1000°C jest przeciskane pomiędzy dwoma stalowymi walcami chłodzonymi wodą, dając w efekcie taśmę szklaną o kontrolowanej grubości i odpowiednim wzorze na powierzchni.

Szkło doprowadzane jest z pieca wytopowego do zasilacza, gdzie osiąga odpowiednią temperaturę przed wejściem do szczeliny pomiędzy walcami. W zależności od wydajności pieca oraz pożądanego wydobycia można jeden piec wyposażyć w jedną lub dwie walcarki. Obracające się rolki doprowadzają stopione szkło do szczeliny walcarki, skąd wychodzi taśma szklana, której grubość zależy od odstępów pomiędzy walcami. Typowa szerokość taśmy szklanej wynosi około 2 metry. Ciepło odbierane jest od szkła przez chłodzone wodą stalowe walce. Bardzo ważna dla prawidłowego przebiegu procesu oraz jakości gotowego produktu jest kontrola temperatury na granicy pomiędzy szkłem a walcami. Po wyjściu z walcarki taśma szklana ma na tyle dużą lepkość, że nie ulega znacznemu przewężeniu, następnie jest przesuwana na rolkach odbierających na odległość około 2 metrów. W dalszym etapie jest ona chłodzona i w temperaturze około 600°C wprowadzana do odprężarki.

W procesie tym walce spełniają trzy funkcje: formują taśmę, nadają odpowiedni wzór oraz odprowadzają ciepło. Walce muszą być bardzo dobrze obrobione, mieć dokładną oś symetrii oraz jednolity wzór, poza tym na powierzchni walca nie mogą występować jakiegokolwiek defekty.

Gama stosowanych wzorów jest bardzo szeroka, tak więc muszą być one często zmieniane, by sprostać popytowi. Dlatego ważnym elementem projektu walcarki jest łatwość zmiany wzorzystego walca. Najczęściej stosowanym rozwiązaniem jest ustawienie dwóch walcarek

obok siebie na zamiennych szynach. Dzięki temu, jeśli zachodzi potrzeba zmiany wzoru, zapasową walcarkę z odpowiednim wzorzystym walcem podstawia się w miejsce wylewu szkła z pieca. Podczas operacji wymiany walcarki należy zatrzymać wypływ szkła z pieca; dokonuje się tego za pomocą metalowej zapory umieszczonej w kanale doprowadzającym szkło do walców.

Proces walcowania może być wykorzystany do produkcji szkła zbrojonego. Stosuje się do tego celu dwie różne techniki. W pierwszej wykorzystuje się dwa kanały doprowadzające szkło do walcarki, natomiast w drugiej wymagany jest tylko jeden kanał przepływu szkła. Siatka z drutu doprowadzana jest z rolki umieszczonej nad walcarką do tak zwanego walca siatkowego, który wprowadza siatkę w głąb taśmy szklanej pomiędzy dwoma walcami. Bardzo ważne dla jakości końcowego produktu jest dokładne określenie właściwości metalowej siatki, jej kontrola oraz przygotowanie.

2.6 Włókno szklane ciągłe

[19, CPIV 1998] [9, IPC Guidance S2 3.03 1996] [131, APFE 2008]

Najczęściej stosowanym składem szkła w produkcji włókien ciągłych jest szkło E, które reprezentuje ponad 98% tego sektora. Typowy skład szkła E przedstawiony jest w tabeli 2.6.

Do wyrobu produktów z jedwabiu włókien szklanych preferowany jest skład szkła określony w normie ASTM D578-00, przedstawiony w Tabeli 2.7. Stosowane są również inne receptury szkieł, lecz w Unii Europejskiej na bardzo małą skalę. Techniki topienia stosowane przy wytopie tych składów są bardzo specyficzne i nie są reprezentatywne dla technik powszechnie stosowanych w tym sektorze. Z tego względu w niniejszym dokumencie opisano jedynie technikę produkcji szkła E.

Tabela 2.6: Typowy skład szkła E dla produktów z włókna szklanego przeznaczonych do ogólnego zastosowania

Składnik	Zawartość procentowa
B ₂ O ₃	0 - 10
CaO	16-25
Al ₂ O ₃	12 - 16
Tlenki metali alkalicznych	0-2
SiO ₂	52 - 56
MgO	0 - 5
Fe ₂ O ₃	0,05 – 0,8
TiO ₂	0 – 1,5
Fluorki	0-1,0

Tabela 2.7: Typowy skład szkła E dla produktów z jedwabiu włókna szklanego stosowanych w płytkach drukowanych i lotnictwie

Składnik	Zawartość procentowa
B ₂ O ₃	5 - 10
CaO	16-25
Al ₂ O ₃	12 - 16
SiO ₂	52 - 56
MgO	0-5
Na ₂ O i K ₂ O	0 - 0,8
TiO ₂	5 - 10
Fe ₂ O ₃	0,05 – 0,4
Fluorki	0-1,0

Szkło do produkcji włókna szklanego jest zazwyczaj topione w rekuperacyjnym piecu poprzeczno-płomiennym opalonym paliwami kopalnymi. Chociaż nadal stosuje się piece z

dogrzewem tlenowym, obserwuje się trend w kierunku 100 % pieców tlenowo-paliwowych, które w roku 2005 stanowiły 43 % pieców działających w Europie. Zarówno piece powietrzno-paliwowe jak i tlenowo-paliwowe można wyposażyć w dogrzew elektryczny (w 2005 roku wyposażono w niego 50 % pieców).

Piece regeneracyjne nie są stosowane ze względu na ich stosunkowo małe rozmiary oraz trudności kontrolowania stężenia boru w temperaturach występujących w regeneratorach. Najczęściej stosowanym szkłem w tym sektorze jest szkło E, które ze względu na bardzo niską zawartość alkaliów posiada niską przewodność elektryczną. W czasie, gdy pisano ten dokument (2010) uważano, że stosowanie pieców w 100% ogrzewanych elektrycznie do wytopu szkła E nie jest rentowne.

Stopione szkło z przedniej części pieca poprzez szereg wyłożonych materiałami ogniotrwałymi kanałów, które są ogrzewane gazem, przepływa do zasilaczy. W dnie każdego zasilacza umieszczone są łożdki do snucia, przez które przepływa stopione szkło do dysz w dolnej płycie łożdki. łożdki są złożonymi pojemnikami z umieszczonymi w dnie perforowanymi metalowymi płytkami (filierki), mającymi kilkaset wykalibrowanych otworów. Są one wytwarzane z metali szlachetnych, takich jak stop rodu i platyny. łożdki ogrzewane są prądem elektrycznym, a temperatura nad całą ich powierzchnią jest tak regulowana, aby uzyskać stałą prędkość wypływu stopionego szkła z każdego otworu.

Wypływające z dysz łożdki szkło jest odciągane, a następnie nawijane na szybkoobrotowy bęben urządzenia odbierającego, dając włókno ciągłe. Poprzez precyzyjną regulację liniowej prędkości snucia (może się ona wahać od 5 m/s do 70 m/s) otrzymuje się średnice włókna w zakresie od 5µm do 24µm. Bezpośrednio pod łożdką włókno poddawane jest mocnemu studzeniu za pomocą chłodzonych wodą metalowych żeberek, mocnego nadmuchu powietrza oraz natrysku wodą.

Włókna ciągnięte są razem, a następnie nakładane na walce lub taśmy, na których z kolei na każde włókno nanosi się emulsję polimerową lub jej wodny roztwór. Preparacja może działać również jako lepiszcze czy klejonka i dawać następujące własności: zabezpiecza włókno przed ścieraniem podczas dalszego przetwarzania i transportowania; gwarantuje dobrą adhezję żywicy do włókna szklanego w procesie wzmocnienia polimerowego. Typowa zawartość lepiszcza w włóknach wynosi od 0,5% do 1,5% wagi. Rodzaj materiału nanoszonego na włókno zależy od końcowego zastosowania produktu. Zazwyczaj składa się on ze związków błonotwórczych (np. polioctan winylu, skrobia, poliuretan, żywice epoksydowe), związków wiążących (np. organofunkcyjne silany), modyfikatorów pH (kwas octowy, kwas chlorowodorowy, sole amonowe) oraz smarów (np. olej mineralny, środki powierzchniowo czynne).

Włókna z naniesioną preparacją są zbierane razem w wiązki zwane pasmami, następnie przechodzą przez kolejne etapy przetwarzania, w zależności od rodzaju produkowanego wzmocnienia. Pasma mogą być przetwarzane w sposób konwencjonalny, jak i bezpośredni. W przetwarzaniu konwencjonalnym pasma nawijane są na obrotowy trzpień nawijarki dając w rezultacie „nawoje” o wadze do 50kg. Nawoje zawierające do 1,5% lepiszcza i do 15% wody są etykietowane, a następnie przekazywane dalej do fabrykacji. W niektórych przypadkach można przetwarzać mokre nawoje, jednak w większości przepuszcza się je przez suszarki. Suszarki ogrzewane są gazem, parą wodną, prądem elektrycznym lub pośrednio przez gorące powietrze. Do najczęściej otrzymywanych produktów zalicza się włókna cięte, rowingi, maty z włókna ciętego, jedwab, tkaniny oraz włókna zmielone.

Włókna cięte otrzymuje się poprzez rozwijanie włókna z nawoi, a następnie podawanie go do urządzenia wyposażonego w obrotową głowicę tnącą. Pocięte włókno, o długości zazwyczaj od 3mm do 25mm, jest transportowane w różnej wielkości opakowaniach (do 1 tony). Rowingi produkowane są poprzez rozwijanie pojedynczych nawoi, a następnie łączenie kilku pasm w jedno, w celu otrzymania odpowiedniej wagi szkła na jednostkę długości.

Maty z włókna ciętego otrzymuje się poprzez pocięcie na głowicy tnącej pasm rozwiniętych z nawoi lub rowingu. Głowice tnące są tak ustawione, aby można było podawać pocięte włókno na przesuwającą się taśmę o szerokości do 3,5m. Na pocięte włókna napylane jest lepiszcze np.

wodny roztwór polioctanu winylu lub proszek nasyconego poliestru. Całkowita zawartość lepiszcza wynosi od 2% do 10%. Mokra mata transportowana jest do tunelu suszarniczego, gdzie zachodzi proces suszenia i utwardzania, a następnie nawijana jest przez parę bębnow nawijających na rolki. Produkowane maty mogą mieć różną gęstość i szerokość; tradycyjnie transportuje się je w opakowaniach o wadze 50kg.

Jedwab produkowany jest zarówno z nawoi suszonych jak i nawoi mokrych, podczas gdy suszenie pasm następuje w trakcie operacji skręcania. Jedwab produkowany jest na skręcarce (lub ramce skręcającej), na której umieszczone jest do 100 nawoi zawierających różnego rodzaju pasma. Pasma są zbierane razem, a następnie skręcane w jedwab i nawijane na szpule. Jest to złożony proces podobny do tego stosowanego w przemyśle włókienniczym. Zazwyczaj na skręcarce otrzymuje się tylko jedną szpulę jedwabiu z jednego pasma, choć czasami formuje się jednocześnie kilka skrętów jedwabiu.

Tkaninę z włókna szklanego otrzymuje się poprzez pocięcie pasm rozwiniętych z nawoi na cylindrycznych krajarkach, które podają pocięte pasma w sposób ciągły albo bezpośrednio do rozwłóknacza, albo do średniej wielkości pojemników do ładunków masowych dla późniejszego użycia. Po zdyspergowaniu w rozwłókniaczu, włókna są dozowane na mokro na taśmę przenośnika siatkowego. Jako lepiszcze dodawany jest wodny roztwór różnych typów żywic, alkoholu poliwinylowego i lateksu w ilości do 20 % (zawartość na sucho). Przenośnik przeprowadza wstęgę przez piec suszący i utwardzający, a następnie mata nawijana jest na bęben. Tkanina z włókna szklanego może być produkowana w różnych gęstościach i szerokościach.

Włókna mielone otrzymywane są poprzez mielenie włókna z nawoi oraz włókna ciętego na długość 50 - 300 μm . Transportuje się je w opakowaniach o wadze od 20kg do 1 tony.

Włókna cięte, rowingi oraz maty z włókna ciągłego można otrzymywać w procesach bezpośrednich. Włókna cięte otrzymuje się poprzez skierowanie pasma włókna bezpośrednio po naniesieniu preparacji na wysoko-obrotową głowicę tnącą. Włókna są zbierane, a następnie w zależności od zastosowania w postaci mokrej pakowane lub suszone. Rowing bezpośredni produkowany jest przy zastosowaniu łożek platynowych o określonej liczbie otworów, o różnych średnicach, odpowiednich dożądanego produktu. Włókna mogą być pokryte preparacją, natomiast rowing suszony jest w warunkach normalnych. Maty z włókna ciągłego otrzymuje się poprzez bezpośrednie układanie pasm uformowanego włókna na poruszający się transporter, a następnie napylenie na nie wodnego lub sproszkowanego lepiszcza. Aby zapewnić prawidłowe przesycanie włókien na transporterze stosuje się specjalne urządzenia. Przed nawinięciem na mankiet i zapakowaniem maty przechodzą przez tunel suszarki i wálki zagęszczające.

2.7 Szkło gospodarcze

[28, Domestic 1998]

Sektor ten jest jednym z najbardziej różnorodnych sektorów w przemyśle szklarskim, wytwarzającym wiele różnych produktów i stosującym liczne procesy produkcyjne. Te ostatnie obejmują cały wachlarz metod: od misternych sposobów formowania ręcznego przy produkcji kryształu ołowiowego do wielu wysoko zmechanizowanych technik wytwarzania tanich produktów masowej konsumpcji. Większość szkła gospodarczego wykonana jest ze szkła sodowo-wapniowego, podobnego do tego, które stosuje się w szkle opakowaniowym. Jednakże receptury szkieł są bardziej skomplikowane ze względu na specyficzne wymagania jakościowe i zróżnicowane metody formowania. Podobnie jak w szkle opakowaniowym, do szkła mogą być wprowadzane barwniki, zarówno w piecu jak i w zasilaczu. Do innych typów szkieł gospodarczych można zaliczyć:

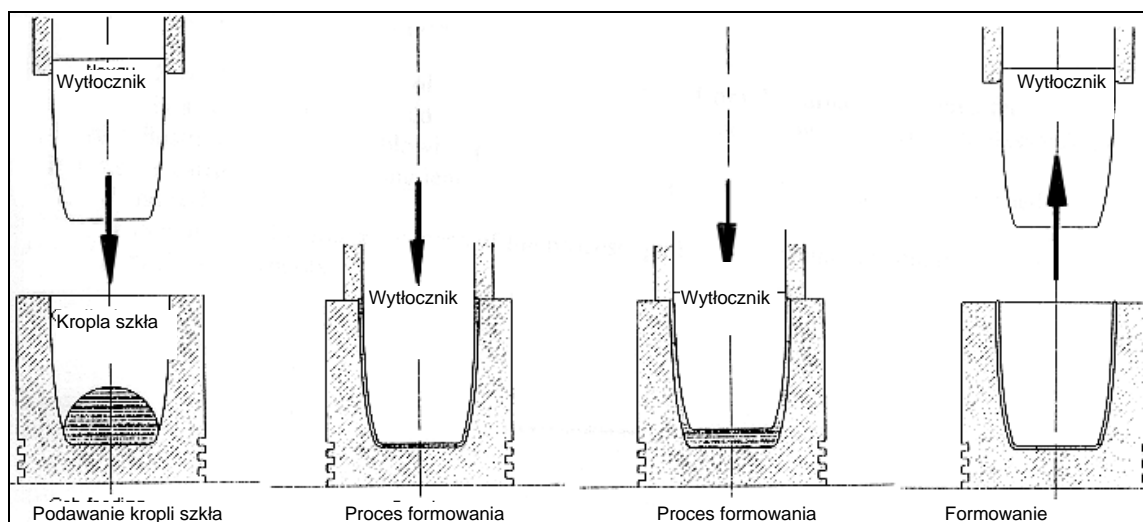
1. Szkła opalowe (opakowe) zawierające fluor lub fosfor.

2. Wysoko ołowiowy kryształ, kryształ ołowiowy i szkło kryształowe, oficjalnie zdefiniowane (w kwestii receptury i własności) w dyrektywie 69/493/EWG.
3. Szkło borokrzemowe zawierające bor, które ze względu na bardzo niski współczynnik rozszerzalności termicznej wykorzystywane jest do produkcji naczyń kuchennych.
4. Tworzywo szklanokrystaliczne do naczyń kuchennych z jeszcze niższym współczynnikiem rozszerzalności termicznej.

Szeroki zakres produktów i stosowanych procesów oznacza w praktyce, że w tym sektorze mają zastosowanie niemal wszystkie techniki topienia opisane w części 2.3, począwszy od pieców donicowych do ogromnych pieców regeneracyjnych. Odmienne niż w produkcji szkła opakowaniowego, ze względu na wymagania jakościowe rzadko stosuje się stłuczkę obcą, natomiast powszechne jest wykorzystanie stłuczki własnej.

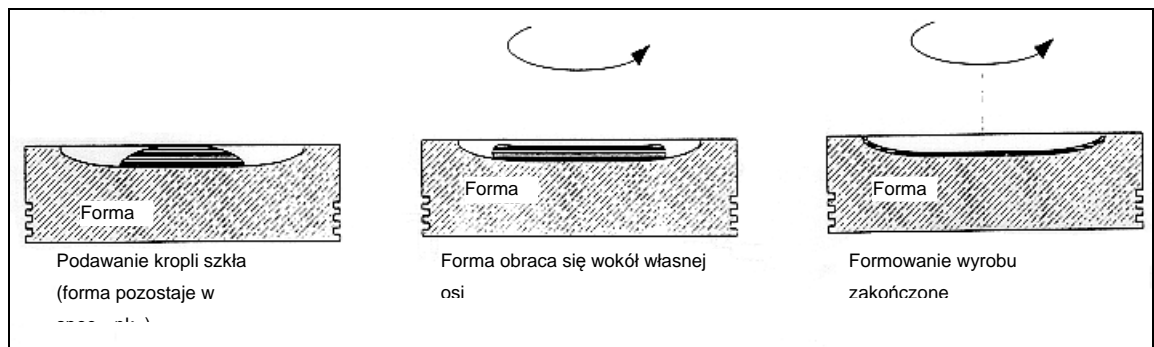
Procesy formowania można podzielić na dwie główne kategorie: formowanie automatyczne i formowanie ręczne lub półautomatyczne. Formowanie automatyczne jest podobne do formowania stosowanego w sektorze szkła opakowaniowego. Szkło z pieca dostarczane jest za pomocą jednego lub kilku zasilaczy do automatu formującego, gdzie w formach powstaje wyrób. Precyzja techniki formowania zależy od wymiarów produkowanego wyrobu. Stosuje się cztery techniki formowania: sposób tłoczko-dmuchaający, sposób dmuchaąco-dmuchaający, prasowanie oraz wirowanie. Techniki tłoczko-dmuchaająca i dmuchaąco-dmuchaająca są generalnie te same jak w sektorze szkła opakowaniowego (zob. podrozdział 2.4) i z tego względu nie będą poniżej opisywane; występują jednak różnice w budowie maszyn i warunkach pracy (szybkość, wymagania jakościowe).

Technika prasowania jest stosunkowo prosta i wykorzystuje się ją do produkcji wyrobów dosyć płtykich, w których średnica obrzeża jest szersza lub taka sama jak średnica dna. Polega ona na tym, że gorącą kroplę szkła prasuje się pomiędzy formą a wytłoczkiem, jak ukazano na Rysunku 2.8. Temperatura stopionej masy szklanej waha się w zależności od jej składu, dla szkła sodowo-wapniowego wynosi około 1150°C. Na Rysunku 2.8 przedstawiono schemat formowania wyrobu szklanego w procesie prasowania.



Rysunek 2.8: Formowanie wyrobu szklanego w procesie prasowania

Proces wirowania stosowany jest do produkcji wyrobów okrągłych, takich jak talerze oraz płytkie miski. Gorąca kropla szkła podawana jest do formy, która następnie zaczyna się obracać, w efekcie czego pod wpływem siły odśrodkowej powstaje wyrób.



Rysunek 2.9: Formowanie artykułów szklanych w procesie wirowania

Uformowane wyroby zazwyczaj są poddawane operacji polerowania ogniowego, celem uzyskania odpowiedniej jakości powierzchni. Potrzebna jest do tego wysoka temperatura, którą uzyskuje się za pomocą palników tlenowo-gazowych lub w niektórych przypadkach palników tlenowo-wodorowych. Zaletą tych palników jest niskie zużycie energii, łatwość użycia oraz redukcja objętości spalin. Po operacji polerowania ogniowego wyroby przechodzą przez odprężarkę tunelową, na której końcu istnieje możliwość nanoszenia powłok na powierzchnię wyrobu. Procesy odprężania i nanoszenia powłok na zimno są porównywalne z tymi stosowanymi w szkłe opakowaniowym i z tego względu nie będą dalej opisywane (zob. podrozdział 2.4). W niektórych przypadkach wyroby nie są odprężane, lecz przepuszczane przez piec hartowniczy, w celu podwyższenia ich odporności na szok mechaniczny i termiczny. Produkcja pewnych artykułów związana jest z łączeniem dwóch lub więcej części po ich miejscowym podgrzaniu. Dotyczy to łączenia nóżek i stopek z czarkami kieliszków oraz uszek z filiżankami i szklankami. Części te formowane są oddzielnie w procesie prasowania, ciągnięcia lub wytłaczania. Nóżki szklane najczęściej są odciągane z czarki wyrobu, natomiast doklejana jest jedynie stopka.

Ręczne formowania wyrobów polega na pobieraniu przez pracownika porcji szkła za pomocą puszczeli bezpośrednio z pieca lub z zasilacza. Poprzez krótkie wdmuchnięcie powietrza do puszczeli formuje się małą bańkę (porcję szkła), a następnie nadaje się jej żądany kształt poprzez obracanie w drewnianej lub metalowej formie. Uformowane wyroby przenosi się do odprężarki tunelowej celem eliminacji naprężeń wewnętrznych, a następnie poddaje się je operacjom szlifowania, polerowania i zatapiania. W produkcji półautomatycznej niektóre etapy procesu (nabieranie szkła, formowanie i obróbka) wykonywane są przez maszyny lub roboty. Zazwyczaj produkcja wyrobów formowanych ręcznie podlega Dyrektywie 2010/75/UE tylko wtedy, gdy ma miejsce w instalacji, gdzie są prowadzone inne czynności produkcji szkła.

Uformowany wyrób może zostać poddany jednej lub wielu operacjom obróbki na zimno. Niektóre z nich są przedstawione poniżej.

Za pomocą tarcz diamentowych można precyzyjnie rzeźbić na wyrobie szklanym wcześniej przygotowane wzory. Proces ten może być przeprowadzany zarówno ręcznie jak i automatycznie, w zależności od wyrobu. Do studzenia, jak również usuwania drobnych cząstek szkła powstających podczas tej obróbki, używa się wody (czasami z dodatkiem oleju, etc.), która jest następnie oczyszczana i odprowadzana do ścieków lub zawracana do procesu. W podobny sposób, lecz przy użyciu mniej skomplikowanych technik, są czasami szlifowane i polerowane krawędzie wyrobów.

Rzeźbienie szkła pozostawia szarą, niewykończoną powierzchnię. Aby doprowadzić ją do pierwotnego wyglądu, zanurza się wyrób w kąpeli polerującej z kwasu fluorowodorowego i siarkowego. Kwasy szybko wygładzają chropowate szkło, ponieważ ze względu na nierówności ma ono większą powierzchnię kontaktową. Na powierzchni szkła tworzy się biała „skórka” (składająca się z siarczanu ołowiu). Po wypłukaniu w gorącej wodzie szkło błyszczy jak wcześniej.

Z powierzchni kąpeli trawiącej uwalniane są opary HF oraz SiF₄. Są one zatrzymywane w płuczkach wieżowych. Podczas tej operacji tworzy się kwas sześćfluorokrzemowy (H₂SiF₆) o stężeniu do 35 %, a kąpiel wodna wzbogacona w kwas jest neutralizowana. H₂SiF₆ może być również odzyskiwany i stosowany jako materiał wsadowy w przemyśle chemicznym. Wzbogacona w kwas woda do płukania również wymaga okresowej neutralizacji. Cały czas dopracowywane są techniki alternatywne do techniki polerowania kwasem, tj. polerowanie mechaniczne oraz polerowanie wysokotemperaturowe za pomocą płomienia lub lasera.

Do tworzenia różnorodnych atrakcyjnych wzorów można wykorzystywać wiele różnych technik zdobniczych. Można do nich zaliczyć: zdobienie za pomocą emalii, matowanie za pomocą piaskowania lub trawienia kwasem oraz grawerowanie. Emisje związane z tymi operacjami są stosunkowo małe w porównaniu z głównymi etapami procesu produkcji szkła.

2.8 Szkło specjalne

[26, Special 1998][2, UKDoE 1991][22, Schott 1996][132, Special 2008]

Sektor szkła specjalnego jest niezwykle zróżnicowany i obejmuje szeroki zakres produktów, które mogą różnić się znacznie składem, metodami wytwarzania i przeznaczeniem. Wiele wytwarzanych tu produktów można by zaliczyć również do innych sektorów, szczególnie szkła gospodarczego w przypadku szkieł borokrzemowych. W przeszłości głównym produktem sektora szkła specjalnego było szkło na lampy katodowe. Jednakże w czasie, gdy pisany był ten raport (2010) te produkty praktycznie zaniknęły na terenie UE, a główna produkcja obejmuje szklane rurki i bańki.

Inne produkty mają relatywnie mały udział, często znacząco poniżej progu 20 ton/dobę. Jednakże wiele z tych produktów o niskim udziale jest wytwarzanych na instalacjach, gdzie całkowita produkcja z wszystkich operacji przewyższa tę graniczną wartość. W tabeli 2.8 podano składy głównych rodzajów szkieł w sektorze szkła specjalnego. Niektóre składy szkła różnią się znacznie w zależności od produktu, a zatem liczby podane w tabeli stanowią jedynie orientacyjny wskaźnik.

Niniejszy podrozdział przedstawia w zarysie główne metody produkcji stosowane w sektorze. Z powodu zróżnicowania sektora stosowany jest tu szeroki zakres technik topienia, jednakże ze względu na niewielką produkcję, piece są w większości raczej małe. Najbardziej powszechne są piece rekuperacyjne, piece tlenowo-gazowe, piece elektryczne i piece wyrobowe. W niektórych przypadkach stosowane są również piece regeneracyjne, na przykład w produkcji szkła na lampy katodowe. Należy zauważyć, że temperatury topienia szkieł specjalnych mogą być wyższe niż dla bardziej konwencjonalnych szkieł produkowanych masowo. W szczególności szkło borokrzemowe i tworzywa szklano-krystaliczne wymagają temperatur topienia powyżej 1650°C. Wysokie temperatury i skomplikowane sposoby produkcji mogą doprowadzać do wyższych emisji do środowiska na tonę wyrobu, niż na przykład przy wytwarzaniu produktów ze szkła sodowo-wapniowego. Mniejsza skala produkcji połączona z wyższymi temperaturami oznacza również, że sprawność energetyczna jest w tym sektorze ogólnie niższa, a żywotność pieca jest generalnie krótsza.

Ze względu na wysokie wymagania jakościowe pewnych produktów, takich jak szkło optyczne i tworzywa szklano-krystaliczne, dla ochrony przed zanieczyszczeniem, części składowe urządzeń sekcji klarowania i dalszych etapów muszą być wykonane z platyny (lub nią pokryte).

Jak w innych sektorach, po topieniu i klarowaniu stopione szkło przepływa z pieca wzdłuż zasilaczy o regulowanej temperaturze do przetwórczego urządzenia formującego. Głównymi technikami formowania stosowanymi w tym sektorze są:

- a) Produkcja tłocząco-dmuchająca (szkło borokrzemowe, szkło stołowe i kuchenne).
- b) Proces formowania rotacyjnego (obrotowego) (szkło borokrzemowe, elementy do lamp).
- c) Proces wydmuchiwania (szkło borokrzemowe, szkło gospodarcze).
- d) Walcowanie (płaskie tworzywa szklano-ceramiczne).

- e) Prasowanie (szkło do lamp katodowych i elementy do lamp).
- f) Proces taśmowy (baloniki żarówkowe).
- g) Proces przedzenia (szkło borokrzemowe).
- h) Wyciskanie rur, metody Dannera oraz Vello (rury szklane łącznie z oświetleniowymi).
- i) Wylewanie (bloki szkła optycznego i niektóre wyroby specjalne).
- j) Proces snucia (snucie w dół dla cienkich błon szklanych jak szkło do wyświetlaczy, snucie w górę dla szkła borokrzemowego).
- k) Spuszczanie do wody (szkło borokrzemowe).

Produkcja sposobem tłocząco-dmuchaającym oraz dmuchająco-dmuchaającym jest zasadniczo taka sama jak w sektorze szkła opakowaniowego (zob. podrozdział 2.4). Walcowanie stosowane w produkcji artykułów takich, jak ceramiczne płyty grzejne do kuchenek, jest pomniejszoną wersją procesu opisanego dla sektora szkła płaskiego, ale z walcami gładkimi. Procesy te nie są opisywane w dalszej części, więc należy odwoływać się do wcześniejszych działów (zob. podrozdział 2.5.2).

W metodzie prasowania szkło ma kontakt ze wszystkimi częściami metalowej formy. Forma do prasowania składa się z trzech części: wklęsłej formy, wytłocznika, który jest dopasowany do formy zostawiając przestrzeń, która określa grubość ścianki szkła oraz pierścienia zamykającego, który prowadzi wytłocznik, gdy jest on wyciągany z formy. Kropla szkła jest umieszczana w formie i hydraulicznie lub pneumatycznie prasowana przez prowadzony pierścieniem wytłocznik do momentu, aż szkło zostanie wciśnięte do wszystkich obszarów formy. Wytłocznik i forma odbiera ze szkła dużo ciepła; po skrzepnięciu szkła wytłocznik jest cofany. Większość maszyn prasujących działa na stołach obrotowych, które zwykle mają 4 do 20 form (maksimum 32, najbardziej powszechne stoły dla szkła do lamp katodowych mają 11). Stół obrotowy przeprowadza szkło krok po kroku przez stadium załadowania, prasowania, studzenia i odbioru.

Baloniki żarówkowe mogą być produkowane przy zastosowaniu metody wstęgowej. Wstęga szkła jest formowana przez walcowanie stopionego szkła pomiędzy dwoma studzonymi wodą walcami. Na wyjściu z walców wstęga szkła jest przeprowadzana przez maszynę na szeregu płyt z otworami, tworzących ciągłą taśmę z otworami. Gdy taśma przesuwa się do przodu, ciągły łańcuch głowic wydmuchujących styka się z nią od góry, każda głowica wydmuchująca zbiega się z otworem w taśmie. Wydmuch z głowicy przepycha szkło przez otwór; wewnątrz obracającej się formy, która styka się i zamyka dookoła szkła od dołu, przybiera ono postać balonika. Przesuwając się dalej na taśmie, uformowany balonik jest uwalniany z formy, studzony powietrzem, a następnie uwalniany z taśmy i przekazywany do łańcucha ciągarci. Ten przenosi baloniki przez odprężarkę oraz do studzenia, kontroli i pakowania. Możliwa jest produkcja z szybkością przekraczającą 1000 baloników na minutę.

Wyciskanie może być stosowane w przypadku szkieł o stromej krzywej lepkości lub z tendencją do krystalizacji, do produkcji przedmiotów o bardzo wąskich tolerancjach wymiarowych. Jest to ekonomiczna metoda wytwarzania różnych rodzajów pełnych lub pustych profili o ostrobrzeźnych przekrojach poprzecznych dla zastosowań przemysłowych. Przez zastosowanie metod wyciskania laminatowego można łączyć dwa lub trzy rodzaje szkła podczas produkcji na przykład części osłoniętych gazem chemicznie odpornym.

Najszerzej stosowaną metodą ciągłego ciągnięcia rur szklanych jest proces Dannera. Ciągła struga stopionego szkła wypływa na lekko pochyloną, wolno obracającą się ogniotrwałą piszczel zwaną piszczelą Dannera. Na niższym końcu piszczeli formuje się pusta bańka, z której ciągniona jest rura. Przez pusty w środku trzpień piszczeli wdmuchiwane jest powietrze utrzymujące pustą przestrzeń w szkłe. Po zmianie kierunku na poziomy twardniejąca rura jest transportowana na bieżni rolkowej do ciągarci, za którą jest cięta na odcinki 1,5m lub czasami dłuższe. Maszyny te mogą produkować ponad 3m rury szklanej na sekundę.

Metoda Vello jest drugą z najszerzej stosowanych metod i ma w przybliżeniu takie same wydajności jak metoda Dannera. Szkło z pieca płynie wzdłuż zasilacza i w dół przez otwór

(oczko) z pustą przestrzenią w szkłe utrzymywaną przez rurkę ze stożkowatym otworem (trzępień) umiejscowionym w oczku. Ciągłe miękką rura zostaje ustawiona poziomo, jest odciągana wzdłuż bieżni rolkowej, studzona i cięta jak w metodzie Dannera.

Odmianą metody Vello jest metoda pionowego ciągnięcia, która może być stosowana do produkcji rur o średnicach do 360 mm. Szkło jest ciągnięte w dół przez komorę próżniową i przechodzi przez uszczelnioną membranę obrotowy ucinacz, który może być dostosowany do różnych otworów. Czwartą metodą jest metoda ciągnięcia w górę, gdzie rura szklana jest ciągnięta pionowo w górę z obracającej się misy. Przestrzeń ciągnięcia jest osłaniana przez obracający się cylinder ceramiczny, którego jeden koniec jest zanurzony w szkłe. Pusta przestrzeń jest formowana przez pośrednią dyszę powietrzną umieszczoną poniżej powierzchni szkła. Technika ta jest szczególnie użyteczna przy produkcji rur o grubych ściankach i dużych średnicach.

Szkło optyczne może być zarówno odlewane w bloki jak i wytłaczane do cylindrów do formowania półfabrykatów, które są sprzedawane do dalszego przetwarzania. Formy są zwykle wykonane z materiałów ogniotrwałych.

Szkło wodne jest obecnie objęte dokumentem referencyjnym BREF Przemysł Chemikaliów Nieorganicznych Produkowanych w Dużych Ilościach – Substancji Stałych i Innych (LVIC-S)” (<http://eippcb.jrc.es/reference/>).

Materiał	Szkło do lamp katodowych		Rury szklane		Szkło boro-krzemowe np. naczynia chemiczne	Inne szkła lampowe		Tworzywa szklano-krystaliczne	Szkło kwarcowe	Szkło optyczne				Inne np. diody
			Soda-wapno-krzem	Boro-krzemowe		Szkło opakowe	Baloniki żarówkowe			Kron borowy	Flint	Fluoro-fosfora nowe	Pierwiastki ziem rzadkich	
	Ekrany	Stożki												
SiO ₂	60 – 63	53 – 55	69	67 – 81	70 – 81	63-68	73 – 75	55 – 70	99,9	55 – 70	25 – 60		0 – 28	35
Al ₂ O ₃	2 – 3,4	1 – 5,2	2-4	2,0 – 7	2,3 – 5,5	3-3,5	1 – 4	15 – 25	0,005	0 – 10	0-15	0-15	0-3	
Fe ₂ O ₃			0-1	0,01 – 2	0,01 – 0,03	0,15		0-0,2						
CaO	0 – 3,2	0,9 – 3,8	4-5	0,01 – 1,5	0,01 – 1	1,4-8	0,5	0 – 4,0	0,001	0 – 10		0-10	0-25	
PbO		14 – 23									25-70			60
Sb ₂ O ₃	0,15-0,8	0– 0,35	0-0,9					0– 2		0-0,3	0-0,1	0-0,1	0-0,2	
As ₂ O ₃	0- 0,3	0- 0,3	0 -0,6	0 -0,6				0 – 1,5		0-0,3	0-0,3	0-0,1	0-0,1	
MnO ₂				0,01 – 5										
MgO	0 – 1,2	0,6-2,2	2-3	0,01 – 0,5	0,01 – 0,5	1,4-4	0,5	0-1,0	0-3			0-5	0-1	
Na ₂ O	6,6 – 9,4	5,8-6,7	9-16	3,5-12	3,5 – 6,5	9-10	3 – 4	0,5-1,5	0-2	0-10	0,5-10			
K ₂ O	6,6 – 8,4	7,8 – 8,1	1-11	0,01-2,5	0,5 – 1,5	6	1,5 – 2,5		0-2	0-20	0,5 -8			5,0
SO ₃								0,2						
F							4,0-5,4			0 – 10		0-35		
B ₂ O ₃			1	5-13	8 – 13	0-1,6	12-17	0,3		5-20		0-10	10-40	
BaO	8,3 – 13	0 – 2,5	1-6	0,01 – 3,5		2,3 -3		0,3		0-42	0-20	0-40	0-45	
ZnO	0-0,8	0-0,8				3-4,8		0,3		0-10		0-1	0-25	
SrO	2,2 – 8,8	0 – 0,5						0,1		0-5	0-5	0-20	0-5	
ZrO ₂	0 – 2,3	0 – 0,2		0,01 – 1	0,01 – 1			0-2,5		0-1		0-35	0-10	
P ₂ O ₅								0-8		0-50	0-20	0-35		
LiO ₂								2-4			0-5		0-7	
SnO ₂								0-1		0-1			0-1	
TiO ₂				0,01 – 5	0,01 – 5			1-4		0-1	0-25		0-20	
CeO ₂			0-1					0-1,3		0-3	0-3	0-1		
Nd ₂ O ₃								0-0,3						
V ₂ O ₅								0-0,5						
CsO											0-5			
Nb ₂ O ₅											0-45		0-20	
La ₂ O ₃													0-50	
Y ₂ O ₃													0-10	
Ta ₂ O ₅													0-20	
Gd ₂ O ₃													0-15	
WO ₃											0-10		0-3	
GeO ₂											0-20			
Bi ₂ O ₃											0-60			

Tabela 2.8: Składy chemiczne głównych produktów sektora szkła specjalnego

2.9 Wełna mineralna

[27, EURIMA 1998] [9, IPC Guidance S2 3.03 1996] [89, EURIMA Suggestions 2007]
[133, EURIMA Contributions November 2008]

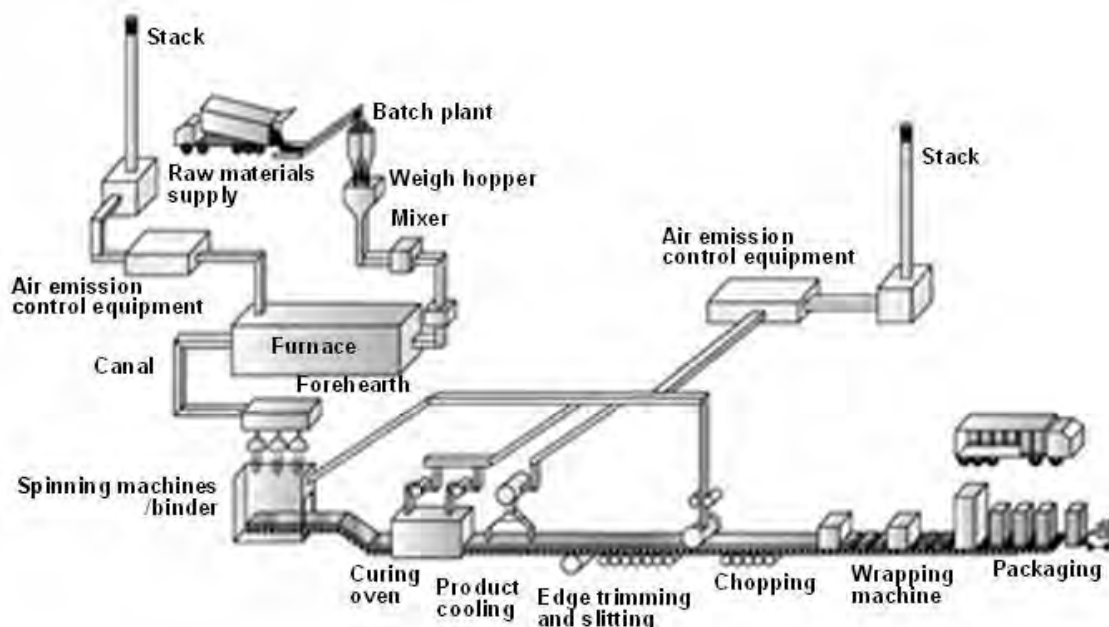
Produkcja wełny mineralnej składa się z następujących faz: przygotowanie surowców, topienie, rozwłóknianie stopu, nakładanie lepiszcza, formowanie maty, utwardzanie, studzenie i wykańczanie wyrobu. Wełnę mineralną można podzielić na dwie główne kategorie: wełnę szklaną i wełnę skalną lub żuźlową. Produkty używane są do zasadniczo takich samych zastosowań, a różnią się głównie używanymi surowcami oraz metodami topienia. Procesy następujące po fazie topienia i zagadnienia środowiskowe są w zasadzie identyczne dla wszystkich produktów. W tabeli 2.9 podano charakterystyczne składy wełny mineralnej. Tlenki żelaza TiO_2 i P_2O_5 nie są zamierzonymi ani wymaganymi składnikami szkła i powstają jako przypadkowe zanieczyszczenia. Zatem ich poziom w szkłe i wełnie skalnej zależy od jakości surowców, a liczby wskazane w tabeli są skrajnymi wartościami.

Wełna mineralna	SiO_2	Tlenki alkaliczne	Tlenki ziem alkalicznych	B_2O_3	Tlenki żelaza	Al_2O_3	TiO_2	P_2O_5
Wełna szklana	57 - 70	12 - 18	8 - 15	0 - 12	< 0,5	0 - 5	Śladowe	0 - 1,5
Wełna skalna	38 - 57	0,5 - 5	18 - 40	Śladowe	0,5 - 12	0 - 23	0,5 - 4	0 - 1,5
Wełna żuźlowa	38 - 52	0,5 - 3	30 - 45	Śladowe	0 - 5	5 - 16	< 1	Śladowe

Tabela 2.9: Typowy skład wełny mineralnej

2.9.1 Wełna szklana

Typowa instalacja do produkcji wełny szklanej pokazana jest na rysunku 2.10.



Rysunek 2.10: Typowy zakład wełny szklanej

Stack – komin
Spinning machine – przędzarka
Batch plant – zestawiaśnia
Curing oven – piec utwardzający

Product cooling – stół chłodzący
Edge trimming and slitting – obcinanie obrzeży
Chopping – ucinarka
Wrapping machine – owijarka
Weights hopper – kosz odważający
Forehearth - zasilacz
Raw materials supply- zasobnik surowców
Air emission control equipment – urządzenie kontrolujące emisję
Furnace - piec
Packaging - pakowanie

Surowce do wytwarzania wełny szklanej są dostarczane głównie cysternami samochodowymi i pneumatycznie przenoszone do zbiorników magazynowych. W każdym procesie będzie wykorzystywany szereg surowców, więc ściśle składy zestawu mogą różnić się znacznie pomiędzy poszczególnymi procesami. Podstawowymi surowcami do produkcji wełny szklanej są piasek, soda kalcynowana, dolomit, wapień, siarczan sodu, azotan sodu oraz minerały zawierające bor i glin.

Do większości procesów jako surowiec stosuje się również stłuczkę z procesu. Jest to rozdrobnione szkło, które zostało wyprodukowane przez zestudzenie w wodzie strugi stopionego szkła z pieca, podczas przerwy w operacji rozwłókniania. Stosowana stłuczka ma dokładnie taki sam skład jak produkt końcowy i może być bez trudu zawracana do pieca. Inne postaci szkła odpadowego, np. stłuczka butelkowa i stłuczka sodowo-wapniowo-krzemowego szkła płaskiego są również w coraz większym stopniu używane jako materiał wsadowy. Ten rodzaj materiału jest trudniejszy do wtórnego zastosowania i jego użycie w dużym stopniu zależy od kosztu, składu, czystości oraz ciągłości zaopatrzenia. Jednym z czynników ograniczających zastosowanie stłuczki szklanej jako surowca jest tworzywo szklanokrystaliczne. Jeśli chodzi o inne rodzaje szkła, obecność tworzywa szklanokrystalicznego w zwracanej stłuczce stanowi coraz większy problem. Kilku producentów zwraca do topienia również odpady włókniste pochodzące z procesu oraz pył zebrany ze strumienia gazów spalinowych z pieca.

Włóknisty charakter wielu odpadów sprawia, że nie nadają się do recyklingu bez dalszej obróbki. Surowce szklarskie są podawane do pieca w postaci proszków lub granulatu, więc materiały odpadowe muszą przed zasypem być mielone lub granulowane, co jest zwykle osiągnięte za pomocą pewnego rodzaju operacji mielenia. Produkt odpadowy i odpady z filtrów zawierają znaczące ilości organicznego lepiszcza. W piecu szklarskim węgiel zawarty w odpadach może być źródłem wielu problemów, takich jak: zmniejszone przekazywanie ciepła, pienienie, destabilizacja warunków wytopu oraz zmiana chemizmu pieca. Problemy te mogą być łagodzone, ale istnieje graniczna ilość odpadów, które mogą być zawrócone do pieca. Ponadto konieczny może okazać się dodatek azotanu sodu lub potasu jako czynnika utleniającego, a rozkład tych materiałów może spowodować znaczący wzrost emisji tlenków azotu.

Poszczególne surowce są automatycznie naważane i mieszane w celu otrzymania zestawu o ściśle recepturze. Wymieszany zestaw jest potem przekazywany do pośredniego zbiornika magazynowego, a następnie podawany do pieca.

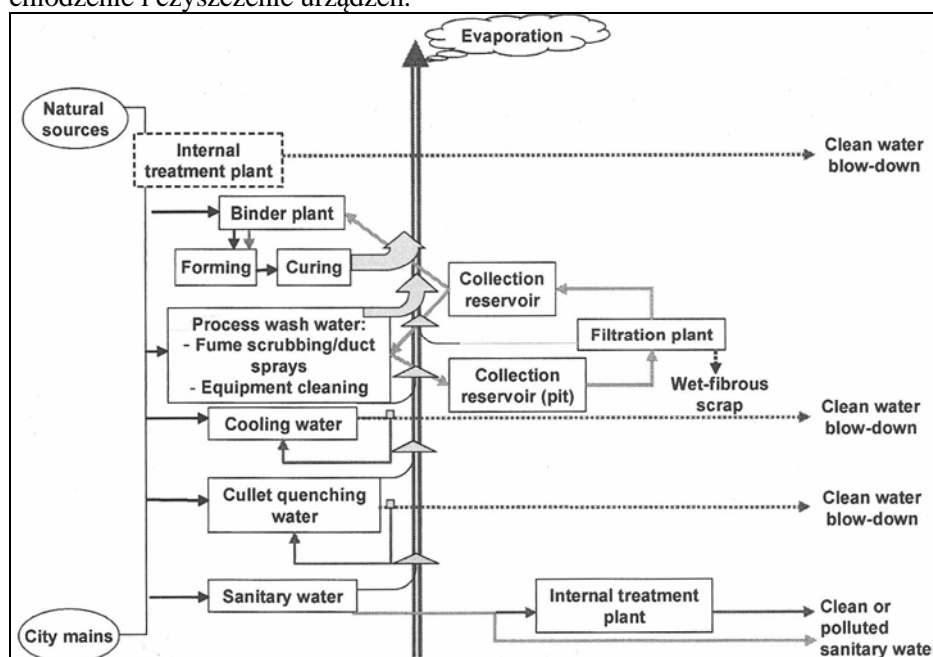
Piec (z kilkoma rzadkimi wyjątkami) może być zarówno piecem ogrzewanym elektrycznie, tradycyjnym piecem rekuperacyjnym opalonym gazem, jak i mniej powszechnie stosowanym piecem tlenowo-gazowym. Techniki te są opisane powyżej w podrozdziale 2.3.

Struga stopionego szkła płynie z pieca wzdłuż ogrzewanego zasilacza wyłożonego materiałem ogniotrwałym i leje się poprzez kilka (zwykle 1 – 10) łożek jednocentrowych do specjalnie skonstruowanych obrotowych przędzarek wirówkowych. Zasadnicze rozwłóknianie następuje przez odśrodkowe działanie obracającej się przędzarki, a później przez snucie gorącym gazowym płomieniem z obwodowego palnika. Kształtuje to ciągłą warstwę włókien o przypadkowym rozkładzie długości i średnic. Warstwa włókien przechodzi przez pierścień rozpylaczy lepiszcza,

który natryskuje na włókna lepiszczce na bazie roztworu żywicy fenolowej i oleju mineralnego, aby zapewnić spójność, elastyczność, trwałość i odpowiednią jakość finalnego produktu. Lepiszczce jest wysoce rozcieńczone wodą aby umożliwić właściwe pokrycie włókien o dużej powierzchni. Woda działa jako nośnik dla lepiszczca i jest następnie odparowywana.

Pokryte żywicą włókno jest odciągane poprzez zasysanie na ruchomy przenośnik, gdzie formowany jest włóknisty wojłok. Przechodzi on przez opalany gazem piec o temperaturze około 250°C, który suszy produkt i utwardza żywicę. Produkt jest następnie studzony powietrzem i przed pakowaniem cięty na odpowiedni wymiar. Obcięte brzegi mogą być rozdrobnione i powtórnie przetopione na włókno lub mogą być połączone z nadwyżką produktu w celu uformowania luźnej wełny. Niektóre produkty są wytwarzane bez utwardzania w piecu, np. produkty utwardzane mikrofalami, prasowane na gorąco, nieutwardzone lub bez lepiszczca. Również pewne produkty laminowane są wytwarzane przez zastosowanie powłoki np. z folii aluminiowej lub tkaniny szklanej, która jest nakładana ze spoiwem bezpośrednio na linii.

Do kanałów wielu procesów następujących po topieniu rozpylana jest woda, która zapobiega gromadzeniu się włókna i materiału żywicznego, gdyż mogą powodować zapalenie się lub blokowanie, oraz usuwa materiał porwany przez gaz odlotowy. Woda jest również stosowana do oczyszczania taśmy odbierającej oraz innych części linii produkcyjnej. System wody stosowanej w procesie jest zwykle obwodem zamkniętym, gromadzącym, filtrującym i używającym ponownie do spryskiwania kanału oczyszczonej wody i rozcieńczonego lepiszczca. Typowy system wody procesowej jest pokazany na rysunku 2.11. Znaczna część wody wyparowuje z następujących operacji produkcyjnych: rozpylanie lepiszczca, płukanie gazów spalinowych, chłodzenie i czyszczenie urządzeń.



Rysunek 2.11: Typowy obieg wody w procesie wełny mineralnej

Natural sources – naturalne źródła

Internal treatment plant – wewnętrzny system uzdatniania

Binder plant – instalacja lepiszczca

Forming - formowanie

Curing - utwardzanie

Process wash water: - Fume scrubbing/duct sprays - Equipment cleaning – woda płuczająca – płukanie spalin/spryskiwacze – czyszczenie urządzeń

Cooling water – woda do chłodzenia

Cullet quenching water – woda chłodząca stłuczkę

Sanitary water – woda sanitarna

Evaporation - parowanie

Collection reservoir – pojemnik zbiorczy

Filtration plant -instalacja filtrująca
Collection reservoir (pit) – pojemnik zbiorczy
Wet-fibrous scrap – mokre odpady włókniste
Clean water blow-down – wypływ czystej wody
Clean or polluted sanitary water – czysta lub zanieczyszczona woda sanitarna
City mains – wodociągi miejskie

Całkowity bilans wodny dla typowej instalacji produkującej wełnę szklaną daje zużycie 3 -5 m³ wody na tonę wyprodukowanej wełny (zob. podrozdział 3.8.3). Prawie cała woda opuszcza instalację jako para lub kropelki unoszone przez gaz, zarówno poprzez komin jak i w wyniku parowania.

Jednakże woda jest w ciągłym obiegu w układzie procesowej wody płuczącej tak, że wewnętrzny przepływ wody faktycznie używanej w produkcji wełny szklanej jest dużo wyższy i może sięgać nawet do 100m³/ tonę szkła. Większość tego przepływu wody (zazwyczaj 70%) jest wykorzystywana w sekcjach formowania i związanymi z nią urządzeniami kontrolującymi zanieczyszczenia.

Procesowa woda płuczająca zawiera rozpuszczone substancje organiczne i ciała stałe (głównie włókna). nierozpuszczone ciała stałe są usuwane przy użyciu cyklonów, filtrów stałych lub wibracyjnych, filtrów odśrodkowych lub podobnych urządzeń. Aby zapobiec nadmiernemu stężeniu rozpuszczonych substancji organicznych z procesowej wody płuczającej ujmuje się odpowiednią ilość wody, która jest ponownie filtrowana i wprowadzana do lepiszcza przed połączeniem z produktem. W ten sposób uzyskuje się równowagę rozpuszczonej zawartości ciał stałych dla składu danego lepiszcza i zawartości lepiszcza w produkcie.

Właściwości wody płuczającej są okresowo monitorowane zwłaszcza, że efektywność płukania gazu odlotowego zależy od zawartości rozpuszczonych ciał stałych. Ważne jest również zróżnicowanie, które zależy od takich parametrów jak skład i ilość lepiszcza oraz pogoda/pora roku.

W przypadku innych zastosowań wody używa się takich systemów uzdatniających jak chłodzenie powietrzem, odwrócona osmoza, wymiana jonów i odolejanie.

W zależności od lokalnych uzgodnień ścieki procesowe powstałe z czyszczenia instalacji lepiszcza, wanien wychwytyjących pod zbiorniki lub wtórnych operacji czyszczących mogą być zwracane wewnętrznie do wody płuczającej, lub są poddawane sedymentacji i uzdatnianiu przed zrzutem do kanalizacji. Często zrzut ścieków z danego zakładu jest możliwy jedynie w wcześniej uzgodnionych sytuacjach nadzwyczajnych, lub dozwolony jest zrzut do kanalizacji sanitarnej po spełnieniu pewnych warunków. Typowa emisja maksymalna wynosi 50 ton wody na dobę (zob. podrozdział 3.8.3).

Z wyprodukowanego włókna szklanego można wytwarzać szereg produktów wtórnych. Są to granulowana wełna izolacyjna dla instalacji wdmuchujących, pakowana wełna nieutwardzoną do sprzedaży dla odbiorców do dalszego przetwarzania oraz produkty laminowane lub płaskie. Izolacja rurowa jest drugorzędnym znaczącym produktem, wytwarzanym zwykle przez skierowanie nieutwardzonej wełny z głównego procesu do formowania przez prasowanie i dopiero następnie utwardzenie. Wełna może być również nawijana na cofane ogrzewane trzpienie w celu uformowania wydrążenia i poddana obróbce cieplnej celem uformowania ścianki zewnętrznej przed przekazaniem do etapu ogólnego utwardzania.

Lepiszczko jest przygotowywane przez zmieszanie częściowo spolimeryzowanej żywicy z pewnymi dodatkami, które poprawiają skuteczność nakładania, aktywują adhezję żywicy do wełny, zmniejszają pylenie, nadają odporność na działanie wody i pomagają rozcieńczać lepiszczko. Przed nałożeniem na warstwę włókien, lepiszczko jest rozcieńczane dużą ilością wody (wody procesowej, jeśli jest ona dostępna).

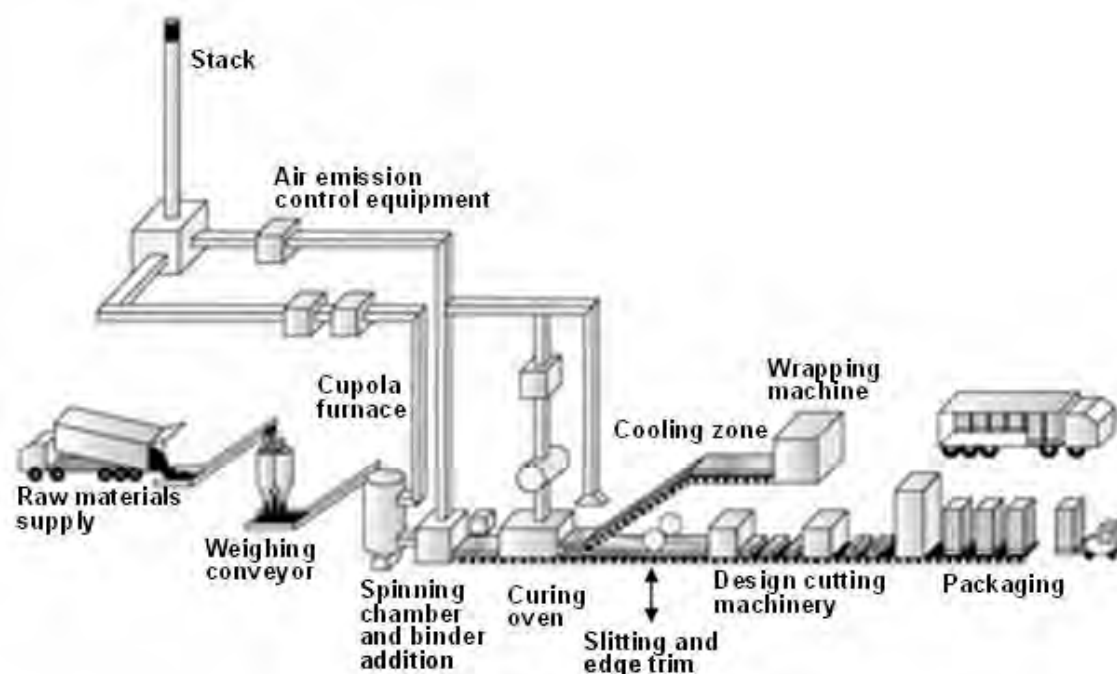
Najczęściej stosowaną żywicą jest termoutwardzalny produkt fenolu, formaldehydu i katalizatora. Żywica jest dyspersją wodną i zwykle zawiera do 50% cząstek stałych. Bardziej szczegółowy opis chemii lepiszcza jest podany w podrozdziale 4.5.6.1. Żywica może być importowana od specjalistycznych wytwórców lub może być wykonywana na miejscu przez producenta wełny mineralnej. Produkcja żywicy na miejscu zwykle jest procesem okresowym, gdzie surowce są poddawane reakcji pod kontrolą termiczną, aby otrzymać pożądany stopień

polimeryzacji i zawartości cząstek stałych. Produkcja żywicy jest uważana za proces chemiczny i nie jest ujęta w tym dokumencie.

2.9.2 Wełna skalna

[89, EURIMA Suggestions 2007][133, EURIMA Contributions November 2008]

Typowy zakład produkcyjny wełny skalnej pokazany jest na rysunku 2.12

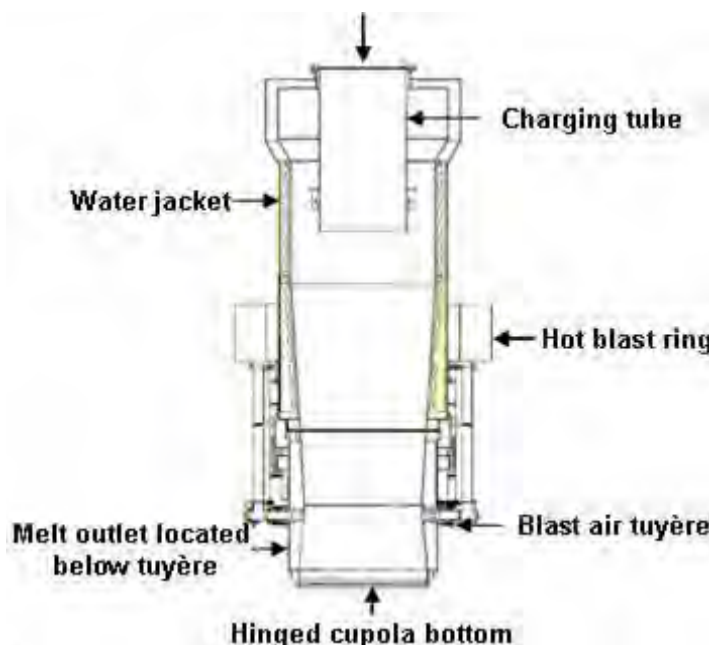


- Stack – komin
- Spinning machine – przędzarka
- Batch plant – zestawiania
- Curing oven – piec utwardzający
- Product cooling – stół chłodzący
- Edge trimming and slitting – obcinanie obrzeży
- Chopping – ucinarka
- Wrapping machine – owijarka
- Weighs hopper – kosz odważający
- Forehearth - zasilacz
- Raw materials supply- zasobnik surowców
- Air emission control equipment – urządzenie kontrolujące emisję
- Furnace - piec
- Packaging – pakowanie
- Weighing conveyor – przenośnik ważący
- Design cutting machinery – urządzenia do wycinania wzorów
- Cooling zone – strefa chłodzenia
- Cupola furnace – piec szybowy
- Spinning chamber and binder addition – komora przędzarki i dodawanie lepiszcza

Rysunek 2.12: Typowy zakład wełny skalnej

Najpowszechniejszą techniką topienia w produkcji tradycyjnej wełny skalnej jest opalany koksem piec szybowy z gorącym podmuchem, który można porównać do wielkiego pieca do produkcji stali. Technika ta polega na topieniu kombinacji skały glino-krzemowej (zwykle bazaltu), oraz wapienia lub dolomitu i czasami żużla wielkopiecowego. Skały mają formę brył aby umożliwić tworzenie się w piecu przepuszczającej powietrze kolumny materiałów, co pozwala na utrzymanie przepływu ciepła. Zestaw może zawierać również zawracane do przetworzenia odpady z procesu lub produkty odpadowe przetworzone w brykiety o rozmiarze zbliżonym do brył skalnych. Piec

szybowy składa się z cylindrycznego stalowego płaszcza, który może być wyłożony materiałem ogniotrwałym i zamknięty od spodu. Schemat pieca szybowego z gorącym podmuchem przedstawiono na Rysunku 2.13.



Hot blast ring - okrężnica
 Charging tube – rura zasypowa
 Blast air tuyere – dysza gorącego powietrza
 Hinged cupola bottom – dolna kłapa pieca
 Melt outlet located below tuyere – wyjście dla stopu pod dyszą
 Water jacket – płaszcz wodny

Rysunek 2.13 Typowy piec szybowy z gorącym podmuchem

Cała powierzchnia pieca jest studzona wodą za pomocą otwartego, chłodzącego konwekcyjnie obiegu wody.

Surowce, brykiet i koks w postaci brył są załadowywane od góry pieca w naprzemiennych warstwach lub jako mieszanka i wypełniają rurę pieca. Koks na dnie pieca jest zapalany i tworzy się strefa spalania, w której topione są kamienie.

Do strefy spalania pieca, na wysokości około 1 do 2 metrów od dna, wprowadzane jest przy pomocy rur w ścianach pieca powietrze. Powietrze jest zazwyczaj rozgrzane przez położony poniżej wymiennik ciepła, a czasem jest wzbogacone w tlen. Jest to najgorętsza część pieca szybowego o temperaturze około 2000°C. Stopiony materiał zbiera się w dolnej części pieca i wypływa wycięciem oraz krótkim korytem umieszczonym nad przedzarką. Materiał powyżej strefy spalania, który został rozgrzany przez unoszące się w piecu gazy, opada następnie do strefy i jest zastępowany świeżym surowcem podawanym z górnej części pieca. W ten sposób piec może wytwarzać stopione skały nieprzerwanie przez dwa lub trzy tygodnie zanim zostanie on opróżniony i ponownie uruchomiony. Bazalt i, w mniejszym stopniu, żużel wielkopiecowy zawierają żelazo w formie Fe^{3+} i Fe^{2+} . W warunkach redukcyjnych niektórych obszarów pieca szybowego jony żelazowe/żelazawe są redukowane do żelaza metalicznego. Gromadzi się ono w dolnej części pieca i, jeśli osiągnie poziom wycięcia i wypływie, może doprowadzić do uszkodzenia drogiej przedzarki. Aby temu zapobiec, żelazo jest okresowo upuszczane przez przebijanie najniższej części krzywej podstawy pieca. Żelazo może być zbierane przy pomocy specjalnych form, które można odpowiednio rozlokować tak, aby zbierały żelazo zanim opadnie ono do odpadów gromadzących się pod piecem i wymiesza się z odpadami skalnymi. Można w ten sposób umożliwić zewnętrzne przetwarzanie oddzielonego żelaza.

W piecach szybowych włóknisty lub pylisty materiał może zostać uniesiony do górnej części pieca poprzez rozgrzane powietrze i wydostać się na zewnątrz. Jak wspomniano wcześniej

sypkie materiały mogą negatywnie wpływać na porowatość pokładu i zakłócać przepływ wdmuchiwanego powietrza. Przyjętym rozwiązaniem tego problemu jest mielenie materiału i produkcja brykietów o rozmiarach porównywalnych do innych surowców. Zwykle lepiszczem w brykietach jest cement, ale ze względu na zawartość siarki może on powodować wyższe emisje dwutlenku siarki. Brykietowanie daje jednak również korzyści, np. niższe zużycie energii i możliwość dodawania do zestawu innych drobnych materiałów, w szczególności innych odpadów, takich jak piasek odlewniczy.

Stopiona masa spływa na szybko obracające się koła przedzarki i jest rozbryzgiwana tworząc włókna. Zza obracających się kół wdmuchiwane jest powietrze w celu zmniejszenia grubości włókien i skierowania ich na taśmę zbiorczą, gdzie następuje formowanie wojłoka. Szereg dysz rozpylających na przedzarce natryskuje na włókno wodny roztwór żywicy fenolowej. Taśma zbiorcza znajduje się pod działaniem silnego podciśnienia, które spełnia trzy funkcje: przyciąga włókno do taśmy, usuwa zanieczyszczone powietrze w komorze rozwłókniającej i pomaga rozproszyć lepiszcze fenolowe w poprzek warstwy włókien. Żywica fenolowa zapewnia wytrzymałość i kształt produktu, jak w przypadku izolacji z włókna szklanego. Pierwotna mata jest łączona w warstwy celem otrzymania wymaganego ciężaru na jednostkę objętości produktu. Może być również stosowany proces formowania w długiej komorze, który pozwala na wytworzenie produktu o wymaganym ciężarze właściwym w jednym etapie, ale jest on dużo mniej powszechny.

Mata przechodzi przez piec opalany paliwem kopalnym o temperaturze około 250°C, który ustala grubość produktu, suszy go i utwardza lepiszcze. Następnie produkt jest studzony powietrzem i przed pakowaniem cięty na wymiar. Izolacja rurowa i niektóre drugorzędne produkty mogą być wytwarzane sposobem opisanym dla procesu wełny szklanej w podrozdziale 2.9.1.

Do kanałów może być wtryskiwana woda, aby zapobiegać gromadzeniu się żywicy i włókna w kanałach, zmniejszyć ryzyko zapłonu i aby usunąć materiał wejściowy z gazu kominowego. Jest ona również używana do różnorodnych operacji czyszczenia. Tak, jak w produkcji izolacji z włókna szklanego, woda z procesu jest studzona, filtrowana i używana ponownie.

Wełna skalna może być również produkowana przy użyciu pieców płomieniowych i pieców z zanurzonym łukiem elektrycznym. Inne operacje procesu, włącznie z rozwłóknianiem, są takie same. Konstrukcja i działanie pieców płomieniowych używanych do wytwarzania wełny skalnej i żuźlowej są w zasadzie porównywalne do pieców płomieniowych używanych do wytwarzania wełny szklanej. Piec składa się z ogniotrwałego basenu na paliwo kopalne, który jest ogrzewany palnikami palącymi w poprzek, albo szczytowo. Możliwe są powierzchnie topliwe do 100 m². W tym przypadku metaliczne żelazo również jest redukowane z surowców i konieczne jest jego upuszczanie np. przez oczko upustowe umieszczone w dnie pieca.

Piec z zanurzonym łukiem elektrycznym do wytwarzania wełny skalnej składa się z cylindrycznego stalowego płaszcza, który może być wyłożony materiałem ogniotrwałym i jest chłodzony za pomocą oleju albo wody. Elektrody są zanurzone w topionej masie od góry pieca, dostarczając energii do topienia przez ogrzewanie rezystywne. Surowce są wprowadzane od góry formując warstwę nad powierzchnią stopu (zimne sklepienie). Jednakże ze względu na ułożenie elektrod zawsze znajduje się wokół nich odkryty obszar topionej masy. Piec elektryczny może również działać tylko z częściowym przykryciem powierzchni stopu (gorące sklepienie). Stosowane są elektrody grafitowe i w rezultacie z surowców zredukowana jest niewielka ilość wolnego metalicznego żelaza. Upuszczanie żelaza jest konieczne, ale z dużo mniejszą częstotliwością (raz na tydzień lub rzadziej) niż w piecach szybowych.

2.10 Wysokotemperaturowa wełna izolacyjna (ASW/RCF i AES)

[9, IPC Guidance S2 3.03 1996][71, VDI 3469-5 2007] [116, ECFIA 2008]
[129, EN 1094-1 2008]

Oba rodzaje wełny, wełna alkaliczno-krzemianowa (AES) i glinokrzemianowa: ogniotrwałe włókna ceramiczne (ASW/RCF) są wytwarzane przy pomocy tego samego procesu technologicznego: topienia z wykorzystaniem oporu elektrycznego. Ze względu na dodawane do surowca alkalia i ziemie alkaliczne temperatura topienia szkła AES jest poniżej 1600 °C. Natomiast temperatury topienia dla wełny ASW/RCF wynoszą około 2000 °C ze względu na wysoką czystość stosowanych surowców.

Proces może być podzielony na dwie części: produkcję włókna i przekształcanie włókna w inne komponenty. Typowe składy chemiczne dla amorficznej wysokotemperaturowej wełny izolacyjnej (ASW/RCF i AES) są pokazane w tabeli 2.10.

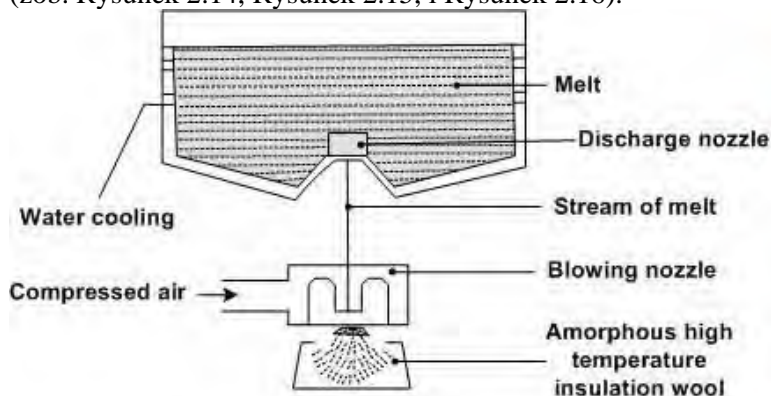
Tabela 2.10 Typowy skład chemiczny wełny ASW/RCF i AES wyrażony jako procent masy

Typowe zakresy składu chemicznego dla AES wyrażone jako procent masy tlenku			
Rodzaj produktu	SiO ₂	CaO+MgO	ZrO ₂
Wełna wapniowo-krzemianowa	70 – 80	18 – 25	
Wełna wapniowo-magnezowo-krzemianowa	60 – 70	25 – 40	
Wełna wapniowo-cyrkonowo-krzemianowa	60 – 70	25 – 40	3 – 7
Wełna magnezowo-krzemianowa	70 – 80	18 – 27	
Typowe zakresy składu chemicznego dla ASW/RCF wyrażone jako procent masy tlenku			
Rodzaj produktu	SiO ₂	Al ₂ O ₃	ZrO ₂
Wełna glinokrzemianowa (wysoka czystość)	48 – 54	46 – 57	
Wełna glino-cyrkonowo- krzemianowa	47 – 50	35 – 36	15 – 17

Tlenki glinu, wapnia, magnezu, krzemu i cyrkonu są dostarczane w cysternach samochodowych i pneumatycznie transportowane do dużych silosów magazynowych. Mniejsze objętościowo surowce, włączając dodatki organiczne, są otrzymywane w beczkach i workach, a następnie z nich rozdzielane. Surowce sypkie są przekazywane z magazynu do zestawu, gdzie są mieszane, w celu uzyskania wymaganego składu. Wymieszany zestaw jest przenoszony do pieca, gdzie jest topiony przez elektryczne ogrzewanie rezystywne w temperaturach do 2000 °C dla ASW/RCF i 1600 °C dla AES. Piece mają około 1 metr głębokości i 2 – 3 metry średnicy, otwarte sklepienie i topioną masę przykrytą warstwą nie stopionych surowców.

Amorficzna wysokotemperaturowa wełna izolacyjna jest wytwarzana w procesie wydmuchiwania lub przędzenia.

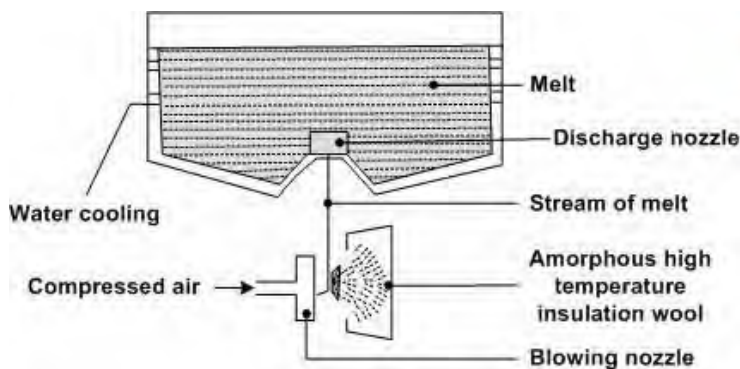
(zob. Rysunek 2.14, Rysunek 2.15, i Rysunek 2.16).



Water cooling – chłodzenie wodą Discharge nozzle – dysza wylotowa
Compressed air – sprężone powietrze Discharge nozzle – dysza wylotowa
Melt – stop Stream of melt – strumień stopionego szkła
Blowing nozzle – dysza wydmuchowa

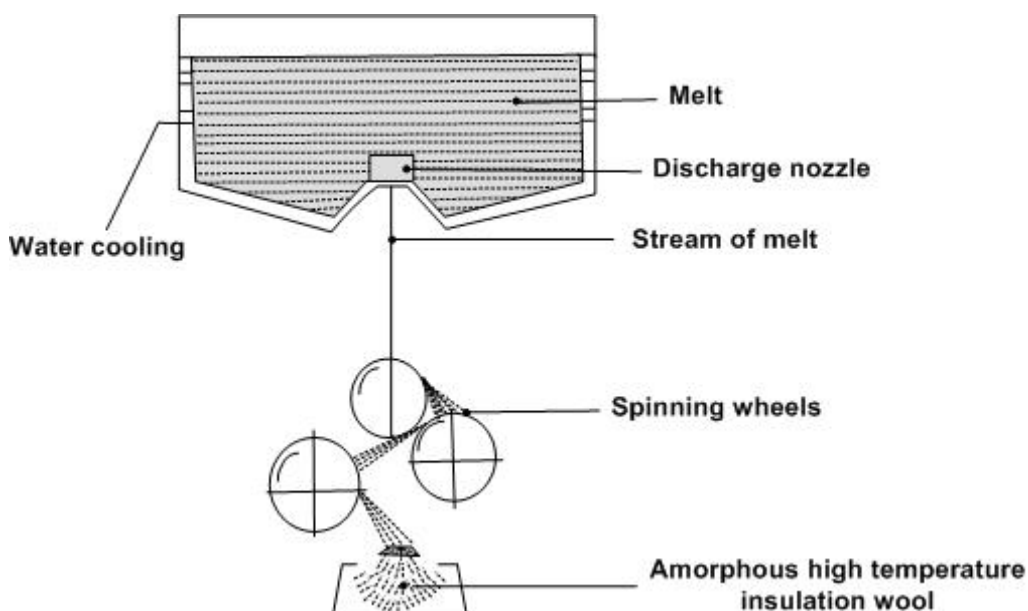
Amorphous high temperature insulation wool -amorficzna wysokotemperaturowa wełna izolacyjna

Rysunek 2.14 Metoda wydmuchiwania równoległego



Water cooling – chłodzenie wodą
 Compressed air – sprężone powietrze
 Melt - stop
 Discharge nozzle – dysza wylotowa
 Stream of melt – strumień stopionego szkła
 Blowing nozzle – dysza wydmuchowa
 Amorphous high temperature insulation wool -amorficzna wysokotemperaturowa wełna izolacyjna

Rysunek 2.15 Metoda wydmuchiwania poziomego



Water cooling – chłodzenie wodą
 Compressed air – sprężone powietrze
 Melt - stop
 Discharge nozzle – dysza wylotowa
 Stream of melt – strumień stopionego szkła
 Spinning wheels – koło przędzalnicze
 Amorphous high temperature insulation wool – amorficzna wysokotemperaturowa wełna izolacyjna

Rysunek 2.16 Przędzenie

Struga stopu wypływa z pieca spadając na szybko obracające się koła, które wyrzucają strużki włókien do komory zbiorczej, albo przed strumień powietrza o wysokim ciśnieniu, które rozciąga stopiony materiał w włókna. W żadnym z obu przypadków do włókien nie są dodawane lepiszcza, ale można dodawać małe ilości środków smarujących, które wspomagają stebnowanie.

Podczas przerwy w produkcji włókna struga stopu nie jest zatrzymywana, ale oziębianą w wodzie i, tam gdzie to odpowiednie, zawracana do procesu.

Włókna są wyciągane z komory zbiorczej na przesuwający się w sposób ciągły transporter, do którego może być zastosowane podciśnienie. Po odlepieniu powstałego runa od leżącego

poniżej transportera, może być ono zdjęte, zbelowane i zapakowane lub też przekazane na dalszą część linii produkcyjnej, w celu wytworzenia kobierca. Materiał ten może być zbelowany jako produkt lub stebnowany dla połączenia włókien razem w celu dodatkowego wzmocnienia. Produkt stebnowany może być przepuszczony przez piec, co ma usunąć środek smarujący przed zwinieniem kobierca, lub cięciem na wymiarowe kawałki.

Można również prowadzić dalsze przetwarzanie poza procesem głównym. Proces formowania podciśnieniowego składa się z podawania wilgotnej koloidalnej mieszaniny skrobi, lateksu, krzemionki lub gliny do odpowiednio ukształtowanych form. Uformowany kształt jest zwykle suszony w piecu opalonym gazem i może być polerowany lub wykańczany oraz obcinany na wymiar przed zapakowaniem i wysyłką. Mogą być również produkowane tapety, filce i płyty. Polega to na podawaniu wodnej zawiesiny włókien na podciśnieniowy bęben, po czym następuje suszenie w piecu. Do wodnej zawiesiny może być dodawana mieszanina lepiszczy i domieszek.

2.11 Fryty

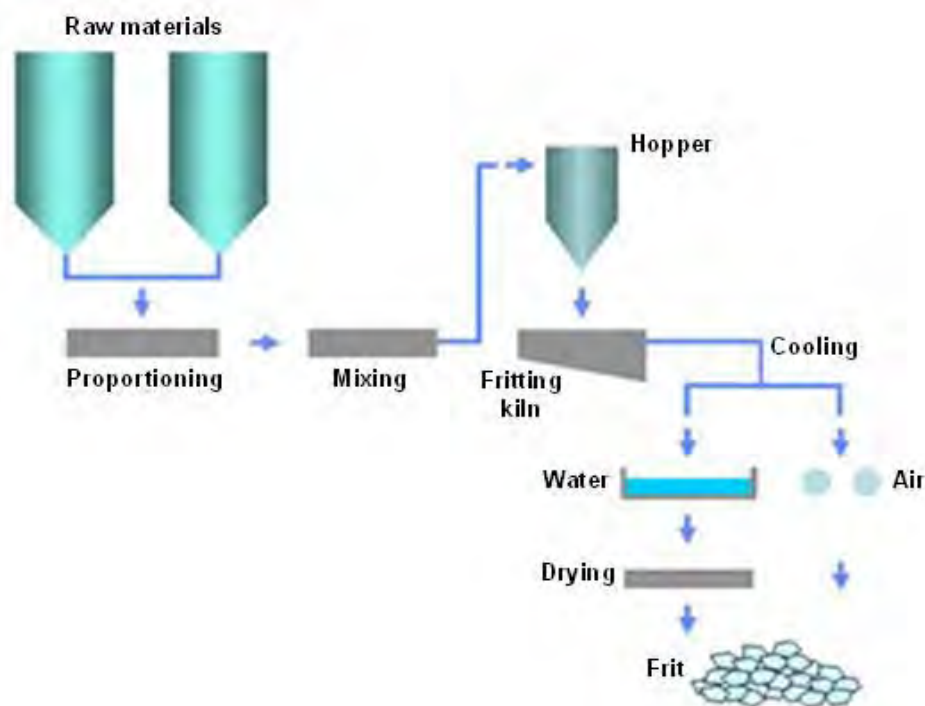
[9, IPC Guidance S2 3.03 1996] [47, ANFFECC 1999] [92, ITC - C071603 2007]
[98, ANFFECC Position of the Frit Sector 2005] [134, ANFFECC 2008]

Fryty szklane są stosowane jako surowiec w produkcji szkliwa ceramicznego. Jest to szklista powłoka stosowana do czerepu ceramicznego i stapiana przy użyciu wysokiej temperatury. Fryta emaliowa jest, analogicznie, surowcem używanym w produkcji emalii, która jest nakładana na metale w celach dekoracyjnych i/lub ochronnych. Szkliwa i emalie mogą być nakładane na sucho, lub na mokro, przy czym dominują te ostatnie i występują zwykle w formie masy leejnej lub mazi. W trakcie procesu frytowania rozpuszczalne w wodzie surowce są przetapiane na nierozpuszczalne szkło, dzięki czemu materiały te pozostają równomiernie rozproszone w zawieszinie szkliwa lub emalii podczas późniejszego przetwarzania. Ponadto, niektóre surowce używane przy wytwarzaniu szkliw i emalii są zarówno toksyczne, jak i rozpuszczalne, a przekształcenie ich w nierozpuszczalne szkło minimalizuje rozpuszczalność substancji toksycznych, a w konsekwencji również ryzyko ich uwalniania do środowiska.

2.11.1 Proces produkcji fryt

Fryta jest przygotowywana przez stopienie surowców w piecu w wysokiej temperaturze do 1550°C. Stopiony materiał jest następnie studzony w wodzie, co powoduje jego krzepnięcie i powstanie zestalonych kawałków.

Do produkcji fryt stosowane są rozmaite surowce. Trwałość zapewniają glina, skaleń i kwarc. Za topienie i formowanie szkła są odpowiedzialne soda kalcynowana, potaż, boraks. Ponadto stosuje się zmętniacze (tlenki tytanu, tlenek cyrkonu, związki fluorytu) i środki barwiące (tlenki, pierwiastki lub sole), które nadają emaliom pożądany wygląd. Produkcja fryt ceramicznych (szklanych) stanowi około 95% całkowitej produkcji tego sektora. Na Rysunku 2.17 przedstawiono schemat produkcji fryt.



Raw materials - surowce
 Proportioning - dozowanie
 Mixing - mieszanie
 Fritting kiln – piec do wypalania fryt
 Drying - suszenie
 Frit - fryta
 Hopper - kosz
 Cooling - chłodzenie
 Rysunek 2.17 Schemat produkcji fryt

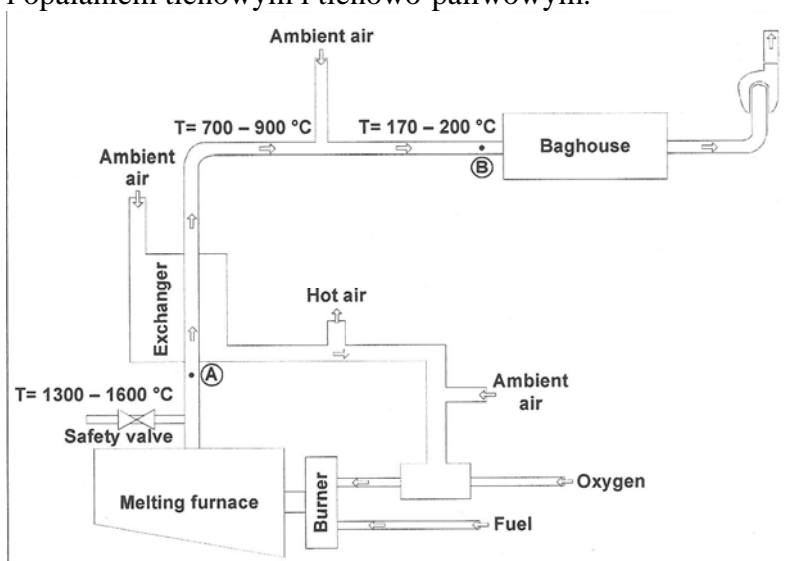
2.11.2 Piece stosowane do wyrobu fryt

Przemysł fryt najczęściej wykorzystuje piece o działaniu ciągłym, piece o działaniu okresowym są rzadkością. Wybór pieca jest zależny od skali produkcji i składu produktu. Zazwyczaj produkcja fryt odbywa się w małych piecach i polega na wytwarzaniu szerokiej gamy fryt o różnym składzie, co wymaga elastyczności w dostosowaniu się do częstych zmian produkcji. Większość nowoczesnych pieców do fryt jest zwykle opalana gazem ziemnym i istnieją różne możliwości spalania w zależności od zawartości tlenu stosowanej w procesie spalania. Oprócz tradycyjnego spalania w powietrzu i gazie wiele pieców (głównie we Włoszech) stosuje spalanie tlenowo-paliwowe. Stanowią one 15 % wszystkich pieców w Europie. Często stosowaną metodą, szczególnie w Hiszpanii, jest wzbogacanie powietrza różnymi ilościami tlenu aby zwiększyć temperaturę w piecu i w konsekwencji przyspieszyć produkcję. Wybór opcji spalania zależy od rodzaju/składu produktu i od temperatury potrzebnej do topienia.

Piece do produkcji fryt działają zwykle pod nieco ujemnym ciśnieniem, aby zapewnić atmosferę utleniającą i przepływ stopu. Warunki te umożliwiają wniknięcie do pieca fałszywego powietrza, co utrudnia optymalizację stosunku paliwo/powietrze (tlen) dla celów środowiskowych. Większość pieców, z wyjątkiem tlenowo-paliwowych, jest wyposażona w system odzysku ciepła. Powietrze jest podgrzewane do 470 – 570 °C. Po wymienniku ciepła temperatura gazów wylotowych jest nadal zbyt wysoka, aby mogły one znaleźć się w sekcji usuwania zanieczyszczeń (zazwyczaj filtr workowy), konieczne jest zatem schładzanie dodatkowym świeżym powietrzem.

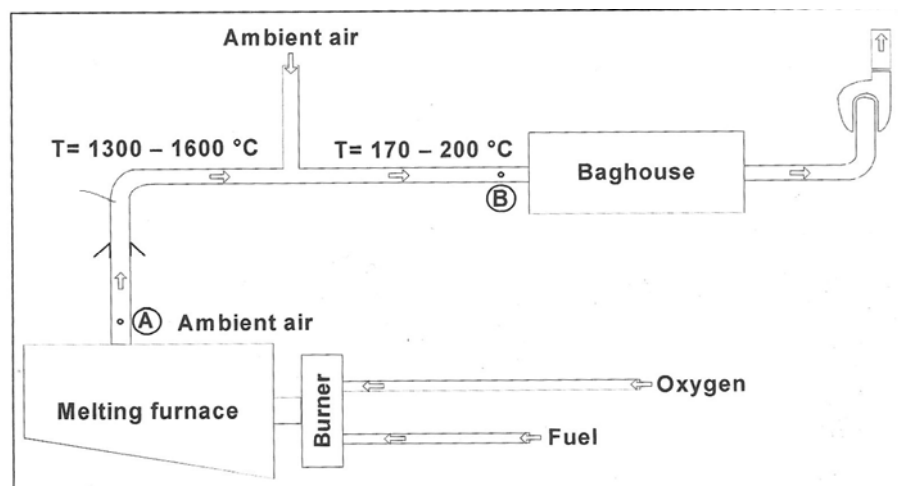
W większości przypadków uwalniane przez piece gazy odlotowe są zbierane przez pojedynczy system usuwania zanieczyszczeń lub grupowane, w oparciu o właściwości receptury zestawu, do różnych sekcji usuwania zanieczyszczeń w instalacji. Połączenie gazów odlotowych z różnych pieców stosujących różnorodne techniki opalania (tlenowo-paliwowe,

wzbogacenie tlenem, paliwowo-powietrzne) prowadzi do powstania w kominie gazu odlotowego o wysokim stężeniu tlenu, zazwyczaj pomiędzy 14 i 19 %, a czasem wyższego. Na Rysunku 2.18 i Rysunku 2.19 przedstawiono typowe piece do produkcji fryt ze opalaniem wzbogaconym tlenem, paliwowo-powietrznym oraz odzyskiem ciepła i opalaniem tlenowym i tlenowo-paliwowym.



Ambient air – powietrze otoczenia
 Exchanger - wymiennik
 Baghouse – filtr workowy
 Hot air – gorące powietrze
 Safety valve – zawór bezpieczeństwa
 Melting furnace – piec wytopowy
 Oxygen -tlen
 Burner -palnik
 Fuel - paliwo

Rysunek 2.18: Schemat typowego pieca do produkcji fryt ze opalaniem paliwowo-powietrznym wzbogaconym tlenem oraz odzyskiem ciepła



Ambient air – powietrze otoczenia
 Baghouse – filtr workowy
 Melting furnace – piec wytopowy
 Oxygen -tlen
 Burner -palnik
 Fuel - paliwo

Rysunek 2.19: Schemat typowego pieca do produkcji fryt z opalaniem tlenowo- paliwowym

Surowce mogą być magazynowane w silosach i przekazywane do naważania pneumatycznie lub mechanicznie. Jednakże, z powodu relatywnie niewielkich ilości, niektórzy producenci wiele materiałów przechowują w workach i ręcznie dozują do urządzeń ważących. Różne surowce są precyzyjnie naważane i mieszane, aby otrzymać zestaw, który przed zasypem do pieca jest chemicznie i fizycznie jednorodny.

W piecach o działaniu ciągłym surowce są podawane przez zasilacz ślimakowy i tworzą pryzmę w punkcie zasypu. Palniki umieszczone wzdłuż ścian bocznych zapewniają warunki temperaturowe o odpowiedniej stabilności, aby umożliwić ciągle topienie czołowej powierzchni pryzmy. Mniejsze piece o ciągłym działaniu mogą być opalane szczytowo jednym palnikiem. Gdy surowce topią się, tworzą płytką warstwę na dnie pieca i płyną przez piec, by wynurzyć się na przeciwnym końcu. Produkcja pozostaje stała z powodu ciągłego zasilania pryzmy surowcami na wejściu.

Topiona fryta może być studzona bezpośrednio w kąpeli wodnej lub też może być studzona pomiędzy chłodzonymi wodą walcami w celu wytworzenia produktu łuskowego.

Piece o okresowym zasypie zestawu mają kształt skrzyń lub cylindrów, są wyłożone materiałem ogniotrwałym, są montowane na łożyskach pozwalających na pewien stopień obrotu. Dla uniknięcia zanieczyszczenia takie piece są normalnie przeznaczone do podobnego składu.

Temperatury w piecu mieszczą się zwykle w zakresie 1350 – 1550 °C, niższe temperatury stosuje się dla fryt ceramicznych o niskim punkcie topliwości, które zawierają w swoim składzie topnik. Czas przebywania w piecu zależy od czasu potrzebnego na pełne przekształcenie składników zestawu w stop.

2.11.3 Fryty jako surowiec w produkcji szkliwa ceramicznego i emalii

Szklivo jest wytwarzane poprzez mieszanie surowców z jedną lub większą ilością drobno zmielonych fryt. Mielenie jest generalnie prowadzone w młynach kulowych przy użyciu kul aluminiowych w wodzie. Dalsze składniki szkliwa, takie jak kaolin, barwniki, elektrolity i zmętniacze, mogą być dodawane w każdej fazie cyklu mielenia. Czasy cyklu mielenia mogą mieścić się w zakresie od 6 do 16 godzin. Na zakończenie operacji mielenia zmieszana zmiksowany materiał jest przepuszczany przez sito oczkowe oraz przez magnes w celu usunięcia kawałków metalu. Dla produktów suchych otrzymany materiał może być suszony lub można zastosować proces susząco-mielący.

3. Aktualne poziomy zużycia i emisji

3.1 Wprowadzenie

Informacje prezentowane w niniejszym rozdziale dotyczą wielkości zużycia zasobów i emisji zanieczyszczeń do środowiska naturalnego związanych z procesem produkcyjnym (opisanym w rozdziale 2) w całym przemyśle szklarskim. Opisano tutaj całościowe nakłady produkcyjne i efekty końcowe procesu technologicznego dla przemysłu szklarskiego, a następnie rozwinięto te zagadnienia w odniesieniu do poszczególnych sektorów przemysłu.

Charakterystyka emisji zanieczyszczeń, źródła emitowanych substancji oraz aspekty energetyczne dla każdej techniki zostały zasygnalizowane w niniejszym rozdziale a omówiono szczegółowo w rozdziale 4. Informacje zawarte w tym rozdziale mają stanowić szerszy kontekst, dotyczący procesów produkcyjnych w danym sektorze przemysłu szklarskiego lub w całym przemyśle, na tle którego będzie można rozpatrywać wielkości emisji i zużycia zasobów dla poszczególnych instalacji starających się o pozwolenie.

Znaczna większość surowców stosowanych w przemyśle szklarskim to naturalne minerały i surowce syntetyczne. Zasoby surowców naturalnych w przyrodzie są stosunkowo duże i łatwo

dostępne, a ich pozyskiwanie nie stanowi poważnego zagrożenia dla środowiska. Jednakże jeden z punktów Dyrektywy dotyczy ograniczania stosowania surowców naturalnych proporcjonalnie do najlepszych dostępnych technik BAT. Surowce syntetyczne są otrzymywane w procesach przemysłowych i podlegają osobnym przepisom. Coraz ważniejszymi surowcami stają się odpady technologiczne i materiały pokonsumpcyjne, w szczególności dla produkcji szkła opakowaniowego i wełny mineralnej.

Główne zagrożenie dla środowiska dotyczące całego przemysłu szklarskiego dotyczy emisji zanieczyszczeń do atmosfery i zużycia energii. Produkcja szkła jest procesem wysokotemperaturowym i energochłonnym, a energia dostarczana jest zarówno z bezpośredniego spalania paliw kopalnych, jak i użycia energii elektrycznej lub też połączenia obu tych technik. Główne i najbardziej znaczące emisje dotyczą takich substancji jak: tlenki azotu, cząstki stałe, dwutlenek siarki, halogenki (fluoryty i chlorki) i w niektórych przypadkach metale. Zanieczyszczenie wody nie stanowi poważnego problemu w przypadku większości zakładów produkcyjnych, chociaż oczywiście istnieją wyjątki. Wody używa się zwykle do oczyszczania i chłodzenia, a jej uzdatnianie i ponowne użycie jest stosunkowo proste. Poziomy ścieków technologicznych są stosunkowo niskie. Zawierają one głównie odpady stałe, które po procesie oczyszczania wody, są ponownie wykorzystywane w procesie technologicznym.

Przemysł szklarski jest bardzo zróżnicowany i powyższe omówienie jest niewątpliwie ogromnym uogólnieniem. Istnieją jednak wyjątki w przypadku określonych operacji technologicznych lub indywidualnych instalacji, a aspekty środowiskowe mogą różnić się między sektorami. Wyjątki charakterystyczne dla danego sektora omówiono w odpowiednich podrozdziałach. Zakres niniejszego dokumentu jest zbyt wąski by uwzględnić wszystkie ewentualności dla wszystkich zakładów produkcyjnych. W określonych instalacjach mogą występować rodzaje zanieczyszczeń, o których tu nie wspomniano. Przedstawione informacje dotyczące procesów emisji nie powinny być zatem uważane za wyczerpujące. Odnoszą się one do wielu różnych zakładów produkcyjnych i operacji technologicznych, jednak nie obejmują specjalnych procesów takich jak rozruch i zamknięcie. Niektóre z najniższych wartości emisji dotyczą jedynie jednej instalacji, która osiąga te parametry w specyficznych warunkach, i nie muszą stanowić wskaźnika najlepszych dostępnych technik BAT dla tego sektora.

Emisje zanieczyszczeń mogą się znacznie różnić zarówno w obrębie poszczególnych branż jak i konkretnych instalacji. Głównymi czynnikami są: surowce i produkty końcowe różne dla każdej branży; wybór technologii (zwłaszcza techniki topienia); rozmiar produkcji; wydajność zastosowanych systemów redukcji zanieczyszczeń. Wziąwszy pod uwagę emisję zanieczyszczeń z różnych sektorów produkcji i instalacji należy uwzględnić, poza koncentracją emitowanych zanieczyszczeń, również całkowitą ilość emitowanych substancji oraz ich masę na tonę produktu finalnego lub stopu.

Niektóre z danych na temat emisji przedstawionych w tym rozdziale są z konieczności dosyć ogólne i mogą przyjmować szeroki zakres wartości. Są one reprezentatywne, ale mogą nie być wystarczająco szczegółowe, by służyć jako punkt odniesienia dla konkretnej instalacji. Z tego powodu przeanalizowano kilka studiów przypadków (case studies) reprezentatywnych dla danego zakresu lub stanowiących przykład poziomu emisji w danym sektorze, które przedstawiono w odpowiednich podrozdziałach w całym dokumencie.

3.2 Ogólna charakterystyka przemysłu szklarskiego

Ta część opracowania przedstawia w ujęciu jakościowym te aspekty, które są wspólne dla większości procesów technologicznych i branż w obrębie przemysłu szklarskiego. Charakterystyczne uwarunkowania dla każdego sektora są ujęte w oddzielnych podrozdziałach i, tam gdzie to jest możliwe, przedstawiają ilościowe informacje dla poziomów zużycia i emisji. Bardziej szczegółowe rozważania dotyczące mechanizmu tworzenia się emitowanych substancji i czynników wpływających na poziomy emisji podane są w rozdziale 4.

3.2.1 Nakłady produkcyjne

[66, APFE UPDATE IPPC Glass BREF 2007]

Zasadniczo nakłady produkcyjne można podzielić na cztery główne kategorie: surowce (takie materiały, które tworzą część produktu końcowego), energia (paliwa i energia elektryczna), woda oraz materiały pomocnicze (wspomagające proces technologiczny, materiały czyszczące, substancje chemiczne do uzdatniania wody itd.). Nakłady energetyczne opisano w podrozdziale 3.2.3.

Zgodnie z przedstawionym na wstępie zakresem tematycznym tego opracowania w przemyśle szklarskim występuje wiele różnych procesów produkcyjnych związanych z szerokim asortymentem wyrobów, rodzajem surowców i typów procesów technologicznych. Tego typu opracowanie nie jest wystarczająco obszerne, by uwzględnić opis wszystkich nakładów produkcyjnych, nawet w oddzielnych, podrozdziałach poświęconych każdej z branż. Dlatego też skoncentrowano się tu na tych nakładach, które są wspólne dla całego przemysłu i które wywierają największy wpływ na środowiskowo naturalne.

Surowcami dla przemysłu szklarskiego są w głównej mierze stałe związki nieorganiczne, do których należą występujące w naturalnie minerały i substancje otrzymanywane chemicznie. Są one zróżnicowane od grubych materiałów do drobnych proszków. Ciecze i gazy są także powszechnie stosowane, jako materiały pomocnicze oraz jako paliwa.

Tabela 3.1 przedstawia większość powszechnie stosowanych surowców w przemyśle szklarskim. Ze względu na ich szeroki zakres, tabela nie jest kompletna i powinna być traktowana jedynie jako orientacyjny obraz bazy surowcowej. Charakterystyczne surowce, zarówno do topienia szkła, jak i dalszych procesów przetwórczych (np. środki powłokotwórcze, lepiszcza) dla poszczególnych sektorów, przedstawiono w dalszej części dokumentu. Coraz bardziej znaczącymi surowcami wykorzystywanymi w procesie topienia są pyły uzyskane w procesie oczyszczania emisji. Skład pyłów uzależniony jest od rodzaju technologii i zastosowania absorbentów.

Tabela 3.1: Surowce powszechnie stosowane w przemyśle szklarskim

Surowce	Postać	Opis	Źródło/Komentarz
Materiały szklotwórcze			
Piasek krzemionkowy	Granulat	Główne źródło SiO ₂	Wydobywany jako drobnoziarniste piaski kwarcowe lub piaskowce, które są następnie poddawane kruszeniu, klasyfikacji i usuwaniu zanieczyszczeń. Wymagana wysoka czystość.
Stłuczka szklana własna (procesowa)	Granulat	Szkło	Szkło odzyskane z procesu produkcyjnego o składzie identycznym jak produkowane szkło.
Stłuczka szklana obca (pokonsumpcyjna)	Granulat	Szkło	Szkło z punktów recyklingu. Zwykle konieczne jest podstawowe oczyszczenie i sortowanie szkła pokonsumpcyjnego. Zmienny skład, i jednorodność koloru.
Materiały o charakterze przejściowym i modyfikatory			
Węglan sodu (Soda kalcynowana – Na ₂ CO ₃)	Granulat	Główne źródło Na ₂ O.	W Europie produkowany z naturalnych soli metodą Solvay, zawiera niewielkie ilości NaCl. Naturalny węglan sodu importowany z USA. Naturalny węglan sodu z Afryki jest rzadko stosowany.
Wapień (CaCO ₃) i wapno palone	Granulat	Główne źródło CaO	Naturalny surowiec kopalny, kruszony i klasyfikowany. Wapień do produkcji wełny skalnej jest stosowany w dużych kawałkach o średnicy >50mm
Dolomit (CaCO ₃ .MgCO ₃) i dolomit palony	Granulat	Źródło CaO i MgO	Surowiec naturalny, kruszony i klasyfikowany. Dolomit do produkcji wełny skalnej jest stosowany w dużych kawałkach o średnicy >50mm
Sjenit nefelinowy Na ₂ O.K ₂ O.Al ₂ O ₃ .SiO ₂	Granulat	Główne źródło tlenków glinu w czystym gazie	Surowiec naturalny, kruszony i sortowany. Niska zawartość żelaza. Główne źródła Norwegia i Chiny oraz Kanada.

Surowce	Postać	Opis	Źródło/Komentarz
Tlenki glinu	Granulat	Źródło Al_2O_3	Stosowane w wysokotemperaturowych wełnach izolacyjnych (np. ASW/RCF)
Tlenki cyrkonu	Granulat	Źródło ZrO_2	Stosowane w wysokotemperaturowych wełnach izolacyjnych (ASW/RCF)
Węglan potasu	Granulat	Źródło K_2O	Stosowany do szkieł specjalnych (kryształ ołowiany, szkło telewizyjne, itd.). Surowiec syntetyczny.
Kolemanit	Proszek	Źródło boru.	Naturalny boran z Turcji, stosowany przy produkcji ciągłych włókien szklanych
Boraks	Granulat	Źródło boru.	Syntetyczny boran sodu, sprowadzany głównie z Kalifornii.
Kwas borowy H_3BO_3	Granulat	Źródło boru.	Surowiec syntetyczny stosowany głównie przy produkcji ciągłych włókien szklanych.
Skaleń	Granulat	Źródło Al_2O_3	Główne źródło glinu przy produkcji barwnych szkieł sodowo-krzemianowych. Surowiec naturalny.
Fluoryt (fluorek wapnia CaF_2)	Granulat	Źródło fluoru.	Surowiec naturalny stosowany głównie do produkcji szkieł opalowych.
Tlenki ołowiu	Proszek	Źródło PbO .	PbO stosowany do szkieł kryształowych ołowiowych i szkieł specjalnych.
Węglan baru	Granulat	Źródło tlenku baru BaO	Surowiec syntetyczny stosowany głównie do produkcji szkieł specjalnych.
Bazalt	Granulat	Glinokrzemiany	Naturalny surowiec, stosowany do produkcji wełny mineralnej; uziarnienie >50mm.
Bezwodny siarczan sodu	Granulat	Środek klarujący i utleniający, źródło Na_2O	Surowiec syntetyczny
Siarczan wapnia i gips	Granulat	Środek klarujący i utleniający, dodatkowe źródło CaO	Surowiec naturalny lub syntetyczny
Kaolin	Proszek	Źródło glinu.	Naturalny surowiec, stosowany przy produkcji ciągłych włókien szklanych
Azotan sodu	Granulat	Środek klarujący i utleniający, źródło Na_2O	Surowiec syntetyczny
Azotan potasu	Granulat	Środek klarujący i utleniający, źródło K_2O .	Surowiec syntetyczny
Tlenek antymonu	Proszek	Środek klarujący i utleniający	Surowiec syntetyczny, stosowany głównie przy produkcji szkieł specjalnych.
Trójtlenek arsenu	Proszek	Środek klarujący i utleniający	Surowiec syntetyczny, stosowany głównie przy produkcji szkieł specjalnych i kryształów ołowiowych.
Żużel Krzemiany i siarczany Ca, Al, Mg, Fe	Granulat	Źródło tlenku glinu, tlenków modyfikujących, środek klarujący, topnik i barwnik.	Surowiec odpadowy przemysłu hutniczego o wymiarach dostosowanych do uziarnienia zestawu szklarskiego.
Węgiel	Granulat lub proszek	Środek redukujący	Surowiec naturalny lub syntetyczny, w niewielkich ilościach stosowany do wytwarzania szkła o zredukowanym stopniu utlenienia przy produkcji szkła zielonego, brązowego i czasami przezroczystego
Chlorek sodu	Kryształ	Środek klarujący	Stosowany do produkcji niektórych szkieł borokrzemianowych.
Substancje barwiące			
Chromian żelaza ($Fe_2O_3 \cdot Cr_2O_3$)	Proszek	Środek barwiący	Surowiec naturalny, kruszony i mielony. Stosowany jako środek barwiący do produkcji zielonego szkła opakowaniowego i barwionego szkła płaskiego.
Tlenek żelaza	Proszek	Środek barwiący	Surowiec syntetyczny stosowany głównie jako

Surowce	Postać	Opis	Źródło/Komentarz
(Fe ₂ O ₃)			środek barwiący do produkcji szkła zielonego i brunatnego.
Tlenek tytanu	Proszek	Środek barwiący	Surowiec syntetyczny stosowany głównie jako środek barwiący do produkcji szkieł borokrzemianowych.
Tlenek kobaltu	Proszek	Środek barwiący	Surowiec syntetyczny stosowany zarówno jako odbarwiacz jak i środek barwiący do produkcji szkieł niebieskich.
Selen metaliczny/cynk lub selenin sodu	Proszek	Środek barwiący	Surowiec syntetyczny, także stosowany jako odbarwiacz w ilościach śladowych. W stosunkowo dużych ilościach stosowany do szkieł brązowych.

Przemysł szklarski zużywa stosunkowo małe ilości wody, głównie do chłodzenia i oczyszczania oraz nawilżania zestawu szklarskiego. Niektóre z branż stosują wodę również do innych celów, co zostało szczegółowo opisane w poszczególnych podrozdziałach. W przypadku stosowania zamkniętego, zwrotnego obiegu wody uzupełnia się tylko straty parowania. Woda może być pobierana z wodociągu lub ze źródeł naturalnych.

Terminem materiały pomocnicze określono te materiały, których używa się w procesie technologicznym, ale nie wchodzi one w skład produktu finalnego, na przykład cyna i wodór stosowane przy produkcji szkła płaskiego metodą float, tlen w systemie opalania pieca wzbogaconą mieszkanką paliwową, dwutlenek siarki stosowany do obróbki powierzchniowej w procesie produkcji szkła płaskiego (czasami również szkła opakowaniowego), narzędzia ściernie i kwasy nieorganiczne stosowane do polerowania powierzchni krysztalu ołowiowego. Ten typ materiałów jest charakterystyczny dla poszczególnych sektorów przemysłu szklarskiego i zostanie omówiony indywidualnie. Wpływ powyższych materiałów na emisje zanieczyszczeń jest inny dla każdej branży. Niektóre związki mogą wywierać istotny wpływ na środowisko np. kwasy polerskie, podczas gdy inne mają niewielkie znaczenie np. emisje z kąpieli cynowej dla szkła typu float.

Produkcja szkła jest procesem energochłonnym i dlatego paliwa mogą stanowić znaczący udział kosztów własnych w procesie technologicznym. Głównymi źródłami energii są olej opałowy, gaz ziemny i energia elektryczna. Aspekty energetyczne i paliwowe omówiono w podrozdziale 3.2.3, a dla każdego sektora w osobnym podrozdziale.

3.2.2 Efekty końcowe procesu produkcyjnego

Zasadniczo efekty końcowe procesu technologicznego można podzielić na pięć głównych kategorii: produkty finalne, emisje zanieczyszczeń powietrza, ścieki poprodukcyjne, odpady stałe i energię. Odpady ciekłe i stałe mogą być powtórnie użyte lub usunięte, zależnie od specyficznych parametrów procesu. Na ogół instalacje w przemyśle szklarskim nie wytwarzają znacznej ilości produktów dodatkowych oraz produktów ubocznych. Jednakże jest coraz bardziej powszechne, że materiały, które normalnie byłyby traktowane jak odpady, są przetwarzane na materiały, które można sprzedać (lub które nie generują dodatkowych kosztów) jako surowce dla innych procesów lub też jako produkty końcowe.

Ogólnie rzecz biorąc topienie szkła wymaga stosowania znacznych ilości takich materiałów jak tlenki metali, węglany, siarczany i azotany. Rozkład tych substancji podczas topienia powoduje powstawanie gazów: dwutlenku węgla, pary wodnej oraz tlenków siarki i azotu. Zestaw surowcowy może zawierać również wilgoć (od 0 do 4%, zarówno fizycznie jak i chemicznie związaną), która podczas ogrzewania przechodzi w parę wodną. Na ogół, zestaw podczas topienia traci 3%-20% swojej masy ze względu na emisję powyższych gazów. Przy wysokim dodatku stłuczki strata masy będzie mieścić się w dolnych granicach powyższego zakresu (1 tona stłuczki zastępuje w przybliżeniu 1,2 tony zestawu surowcowego w produkcji szkła sodowo-wapniowo-krzemianowego).

Do innych skutków procesu technologicznego należy hałas i nieprzyjemny zapach. Źródłami hałasu są: wentylatory, silniki, urządzenia i pojazdy transportowe, prace inżynierskie, sprężarki powietrza. Hałas nie stanowi szczególnego zagrożenia dla środowiska ze strony przemysłu szklarskiego. Jednak znajdujące się na terenie huty źródła hałasu mogą niekorzystnie wpływać na blisko położone osiedla mieszkaniowe. Na ogół wszystkie problemy mogą być łatwo rozwiązywane dzięki odpowiedniej konstrukcji urządzeń emitujących hałas i, gdy zachodzi taka potrzeba, przy wykorzystaniu technik obniżania hałasu. Niektóre techniki kontroli zanieczyszczeń mogą także wymagać kontroli poziomu hałasu, co oczywiście podnosi ich całkowite koszty. Nieprzyjemny zapach nie stanowi zasadniczo problemu w przemyśle szklarskim, jednak może on pojawić się w wyniku pewnych operacji technologicznych i może wymagać kontroli emisji w celu uniknięcia problemów środowiskowych poza zakładem. Główne procesy stanowiące źródło wycieków związane są z chemiczną obróbką wełny mineralnej, wstępnym podgrzewaniem stłuczki szklanej i czasami przechowywaniem paliwa.

3.2.2.1 Emisje zanieczyszczeń do powietrza

Surowce

Wszystkie sektory przemysłu szklarskiego wymagają stosowania surowców w formie granulatów, proszków lub pyłów. Magazynowanie i transport tych materiałów stanowi potencjalne źródło znacznej emisji pyłów. W przypadku braku kontroli podczas załadunku surowców do silosów i komór mieszarek efektem ruchu powietrza może być duża koncentracja pyłów. Taka sytuacja dotyczy szczególnie zestawiarni pneumatycznych. Stosowanie podajników taśmowych i transportu ręcznego może również powodować wysokie emisje pyłów.

Do wielu procesów technologicznych stosuje się stłuczkę szklaną (zarówno własną jak i obcą), która przed użyciem może wymagać sortowania i kruszenia. Procesy te stanowią potencjalne źródło emisji pyłów, których poziom zależy od takich czynników jak konstrukcja urządzeń, filtrowanie powietrza przed wylotem, stopień uszczelnienia budynków, itd. Niektóre procesy wiążą się z użyciem łatwo parujących cieczy, które przechodzą do powietrza ze zbiorników i w wyniku ruchu oparów podczas transportu cieczy.

Topienie

W przypadku wszystkich technologii objętych zakresem tematycznym niniejszego dokumentu największym zagrożeniem dla środowiska naturalnego jest proces topienia. Do głównych substancji zanieczyszczających środowisko i pochodzących z procesu topienia należą:

- produkty spalania paliw kopalnych i procesów wysokotemperaturowego utleniania azotu z powietrza atmosferycznego stosowanego do spalania paliw (np. dwutlenek siarki, dwutlenek węgla, tlenki azotu),
- cząstki stałe powstające głównie w wyniku ulatniania się i późniejszej kondensacji par substancji lotnych zestawu szklarskiego i
- gazy wydzielające się z surowców i stopionej masy szklanej podczas całego procesu topienia.

Proces topienia w piecach opalanych wyłącznie elektrycznie eliminuje emisję produktów spalania paliwa i termicznych tlenków azotu NO_x , a emitowane pyły pochodzą głównie z rozkurzu zestawu. Częściowe zastąpienie opalania paliwem kopalnym przez wykorzystanie energii elektrycznej pozwala zredukować bezpośrednio emisje, jednak zakres redukcji uzależniony jest od stopnia zastąpienia i konkretnych warunków spalania. Opalenie pieca przy użyciu mieszanki paliwowej wzbogaconej w tlen zmniejsza poziom azotu w atmosferze pieca, a co za tym idzie również redukuje tworzenie się tlenków NO_x . Zwykle mają też miejsce emisje następujące poza terenem zakładu: są one związane z wytwarzaniem energii elektrycznej i tlenu, co powinno być uwzględnione podczas oceny całkowitego wpływu na środowisko naturalne.

Typy pieców szklarskich spotykanych w przemyśle szklarskim zależą od rodzaju produkcji i różnią się znacznie między sobą przede wszystkim wielkością, techniką topienia, konstrukcją, wykorzystywanymi surowcami i zastosowanym systemem redukcji. Z powyższych względów wynikają znaczne różnice dotyczące zgłaszanych emisji zanieczyszczeń. Również sposoby pomiaru emisji różnią się znacznie między sobą, tak więc bezpośrednie porównanie danych

może prowadzić do błędnych wniosków. Minimalne wartości nie zawsze muszą być wskaźnikiem najlepszej technologii i mogą tylko odzwierciedlać korzystne warunki procesu technologicznego (np. wysokotonażowa, stabilna produkcja lub niskoemisyjny skład zestawu), lub też wynikają z niskiej skali produkcji. Niewątpliwie niski stopień emisji jest charakterystyczny dla wielu nowoczesnych hut szkła stosujących „czyste” technologie lub wyposażonych w zaawansowany system kontroli i redukcji zanieczyszczeń. Kwestie te zostały uwzględnione przy omawianiu ustalaniu najlepszych możliwych technik BAT-AEL, które dokładniej omówiono w Rozdziale 4 i 5.

Emisje powietrza zwykle są przedstawiane jako stężenia (mg/Nm^3) lub emisje masowe (kg/tona szkła). Wszystkie wartości podane w stężeniach odnoszą się do warunków standardowych: gaz suchy, temperatura 273 K, ciśnienie 1013 hPa. O ile nie określono inaczej, standardowe warunki dla liczb podanych w rozdziale 3 są przedstawione w Tabeli 3.2.

Zestawienie emisji zanieczyszczeń pochodzących z procesu topienia w przemyśle szklarskim przedstawia tabela 3.2.

Tabela 3.2: Warunki odniesienia dla danych dotyczących emisji

Warunki pracy	Jednostka	Warunki odniesienia
Topienie		
Piece konwencjonalne o działaniu ciągłym	mg/Nm^3	Objętościowo 8% tlenu
Piece konwencjonalne o działaniu okresowym	mg/Nm^3	Objętościowo 13% tlenu
Piece z opalaniem tlenowo-paliwowym	$\text{kg}/\text{tonę}$ wytopionego szkła	Bardziej odpowiednie jest stosowanie jednostkowych emisji masowych ($\text{kg}/\text{tonę}$ wytopionego szkła). Jednakże gdy podaje się stężenia emisji, nie stosuje się korygowania względem referencyjnej wartości tlenu
Piece elektryczne	$\text{kg}/\text{tonę}$ wytopionego szkła lub mg/Nm^3	Nie stosuje się korygowania stężenia emisji względem referencyjnej wartości tlenu
Piece do produkcji fryt (1)	$\text{kg}/\text{tonę}$ wytopionego szkła lub mg/Nm^3	Stężenia odnoszą się do 15% objętościowej zawartości tlenu Jednostkowe emisje masowe odnoszą się do tony wytopionych fryt
Wszystkie rodzaje pieców	$\text{kg}/\text{tonę}$ szkła	Jednostkowe emisje masowe odnoszą się do tony wytopionego szkła
Czynności nie związane z topieniem		
Wszystkie procesy	mg/Nm^3	Brak korekty dla tlenu
Wszystkie procesy	$\text{kg}/\text{tonę}$ szkła	Jednostkowe emisje masowe odnoszą się do tony wytworzonego szkła
(1) Użycie stężeń mg/Nm^3 lub jednostkowych emisji masowych $\text{kg}/\text{tonę}$ szkła zależą od warunków pracy (opalenie tlenowe, powietrze gaz wzbogacone tlenem, zob. Tabela 5.1)		

Główne emisje zanieczyszczeń pochodzących z procesu topienia w przemyśle szklarskim przedstawiono w Tabeli 3.3.

Tabela 3.3: Zestawienie emisji zanieczyszczeń pochodzących z procesu topienia

Emisja	Źródło / komentarz
Cząstki stałe	Ulatnianie składników zestawu ze stopionego szkła a następnie kondensacja w submikronowe cząstki pyłu. Rozkurz drobinek w zestawie.

Emisja	Źródło / komentarz
	Produkty spalania niektórych paliw kopalnych.
Tlenki azotu	<p>czne NO_x powstające z azotu zawartego w powietrzu w bardzo wysokich temperaturach.</p> <p>Rozkład związków zawierających azot obecnych w zestawie szklarskim. Utlenianie azotu wprowadzanego z paliwem.</p>
Tlenki siarki	<p>Siarka obecna w paliwie.</p> <p>Rozkład związków zawierających siarkę obecnych w zestawie szklarskim szczególnie z procesu klarowania siarczanami.</p> <p>Utlenianie siarczków podczas topienia w piecach szybowych.</p>
Chlorki/HCl	<p>Zanieczyszczenia niektórych surowców, szczególnie syntetycznego węgla sodu i stłuczki obcej.</p> <p>NaCl używany jako surowiec do produkcji niektórych szkieł specjalnych.</p>
Fluorki/HF	<p>Stosowane jako domieszka w niektórych surowcach i obcej stłuczce szklanej</p> <p>Stosowany jako surowiec przy produkcji szkliv emalierskich w celu uzyskania odpowiednich właściwości końcowego produktu</p> <p>Stosowany jako surowiec przy produkcji ciągłego włókna szklanego, i niektórych szkieł jako środek ułatwiający topienie lub do szkieł o założonych właściwościach np. szkła mącone.</p> <p>Wysokie niekontrolowane wydzielanie fluoru podczas dodatku fluorków do topienia, zwykle w postaci fluorku wapnia.</p>
Metale ciężkie (np. V, Ni, Cr, Se, Pb, Co, Sb, As, Cd)	<p>Występują jako zanieczyszczenia w niektórych surowcach, obcej stłuczce szklanej i paliwie.</p> <p>Używane jako topniki i środki barwiące do produkcji fryt (przeważnie ołów i kadm).</p> <p>Stosowane do produkcji szkieł specjalnych (np. szkła kryształowe i większość szkieł barwnych).</p> <p>Selen używa się jako barwnik (szkła brązowe) lub jako odbarwiacz do produkcji niektórych szkieł bezbarwnych.</p>
Dwutlenek węgla CO ₂	<p>Produkt spalania.</p> <p>Wydzielany w procesie rozkładu węglanów pochodzących z zestawu szklarskiego (np. węglan sodu, węglan wapnia).</p>
Tlenek węgla CO	Produkt niecałkowitego spalania, głównie w piecach szybowych.
Siarkowodór	Pochodzi z surowców lub zasiarzonego paliwa stosowanego w piecach szybowych, powstaje w atmosferze redukcyjnej panującej w części pieca.

Metale ciężkie i pierwiastki śladowe występują głównie w pyłe, a ich koncentracja w niektórych procesach technologicznych może być znacząca. W Tabeli 3.4 przedstawiono grupy emisji metali w oparciu o szacunkowe względne oddziaływanie na środowisko. (zob. TA Luft 1986, prawo francuskie i włoskie).

Tabela 3.4: Klasyfikacja metali i ich związków

Metale grupy 1 i ich związki	Metale grupy 2 i ich związki
Arsen	Antymon
Kobalt	Ołów
Nikiel	Chrom III
Selen	Miedź
Chrom VI	Mangan
Kadm	Wanad
	Cyna

Niektóre faktyczne poziomy emisji zaczerpnięte z [42, VDI 1997][162, ICG-TC 13 2006] ukazano w Tabeli 3.5. Liczby te obrazuje maksymalne emisje dla metali ciężkich i nie wskazują na zastosowania najlepszych dostępnych technik BAT.

Tabela 3.5: Potencjalne emisje metali ciężkich z procesu topienia bez zastosowania urządzeń ograniczających emisję

Metal	Szkło opakowaniowe	Szkło płaskie	Ołowiowe szkło kryształowe
Wanad (opalenie olejem opałowym)	do 4 mg/Nm ³	do 2 mg/Nm ³	
Nikiel (opalenie olejem opałowym)	do 0,5 mg/Nm ³	do 0,4 mg/Nm ³	
Chrom (szkła zielone)	do 3 mg/Nm ³		
Selen (zielone szkło opakowaniowe)	do 0,8 mg/Nm ³		
Selen, gazowy (szkło gospodarcze typu flint)	do 14 mg/Nm ³		
Selen (szkło gospodarcze typu flint)	do 25 mg/Nm ³		
Selen (szkło brązowe typu float)		do 80 mg/Nm ³	
Ołów	do 4 mg/Nm ³	do 1 mg/Nm ³	do 700 mg/Nm ³
Kadm	do 0,3 mg/Nm ³	do 0,1 mg/Nm ³	
Antymon			do 10 mg/Nm ³
Arsen			do 20 mg/Nm ³
Źródło [42, VDI 1997] [162, ICG-TC 13 2006]			

Operacje technologiczne następujące po procesie topienia

Termin ten został użyty do opisu operacji technologicznych następujących po zakończeniu topienia, do których należą: formowanie, odprężanie, modyfikacja powierzchni, przetwórstwo, itd. Emisje z powyższych procesów w dużej mierze zależą od danej branży i zostały przedstawione w oddzielnych podrozdziałach. Mimo że wiele sektorów stosuje podobne techniki topienia, to pozostałe operacje technologiczne są zazwyczaj różne dla każdej z branż. Zanieczyszczenia powietrza mogą pochodzić z:

- nakładania powłok/lub suszenia (np. wełna mineralna, ciągłe włókno szklane, szkło opakowaniowe i niektóre rodzaje szkła płaskiego);
- niektórych operacji technologicznych przy produkcji materiałów takich jak cięcie, polerowanie, lub wtórne przetwórstwo (np. wełna mineralna, szkło gospodarcze, szkło specjalne, wysokotemperaturowa wełna izolacyjna) i
- niektórych operacji procesu formowania (np. wełna mineralna, wysokotemperaturowa wełna izolacyjna).

Emisje rozproszone i niezorganizowane

Emisje rozproszone i niezorganizowane są związane z różnymi czynnościami przy produkcji szkła. Ogólnie nie stanowią one jednak dużego problemu dla tego sektora. Głównymi źródłami emisji rozproszonych/niezorganizowanych, które występują we wszystkich sektorach przemysłu szklarskiego są:

- magazynowanie i transport materiałów
- obszar zasypu do pieca
- piec wytopowy

Magazynowanie i transport materiałów

Emisje cząstek stałych mogą być spowodowane przez piasek i/lub stłuczkę składowaną na otwartej przestrzeni i wycieki z silosów magazynowych. Emisje gazowe mogą być wywołane magazynowaniem i transportem cieczy lotnych i /lub chemikaliów gazowych, głównie

związanych z operacjami technologicznymi następującymi po procesie topienia lub oczyszczaniem gazu wylotowego (np. magazynowanie amoniaku). Informacje dotyczące zapobiegania bądź ograniczenia emisji niezorganizowanych/ rozproszonych powstałych w wyniku magazynowania znajdują się w Dokumencie Referencyjnym nt. emisji z magazynowania (EFS BREF) [121, EC 2006]. Ogólnie oddziaływanie emisji rozproszonych i niezorganizowanych na obszar roboczy jest regulowane przepisami BHP, które obejmują budowanie świadomości i przestrzeganie zasad. Dla wybranych substancji wartości *graniczne* narażenia na czynniki zewnętrzne podczas pracy (OEL) ustalono na poziomie europejskim, w innych przypadkach wartości OEL ustalone zostały w oparciu o prawo krajowe i wykazy progowych wartości granicznych (np. europejskie OSHA; ACGIH w USA, MAK w Niemczech). Emisje rozproszone respirabilnej krzemionki krystalicznej (piasek krzemionkowy, podstawowy składnik zestawu szklarskiego, może wytworzyć cząstki respirabilnej krzemionki krystalicznej) są przedmiotem Umowy w ramach Europejskiego Dialogu Społecznego: „*Umowa dotycząca ochrony zdrowia pracowników poprzez prawidłowe obchodzenie się i użytkowanie krzemionki krystalicznej i produktów, które ją zawierają*”, podpisanej w roku 2006 Przewodnik dobrych praktyk [135, NEPSI 2006] [169, NEPSI-Good Practice Guide 2006].

Obszar zasypu do pieca

Emisje cząstek stałych i emisje gazowe mogą być spowodowane zjawiskami przenoszenia, parowania i rozkładu podczas zasypu zestawu do pieca wytopowego. Ogólnie obszar zasypu powinien w miarę możliwości pozostawać zamknięty aby zapobiec przenikaniu powietrza i rozpraszaniu emisji. W niektórych przypadkach zasypnik może być wyposażony w systemy odciążu, które powinny uchodzić na zewnątrz lub, co jest rzadziej spotykanym rozwiązaniem, wewnątrz budynku w pobliżu dachu. W przypadku specjalnych rodzajów pieców obszar zasypu jest całkowicie zamknięty.

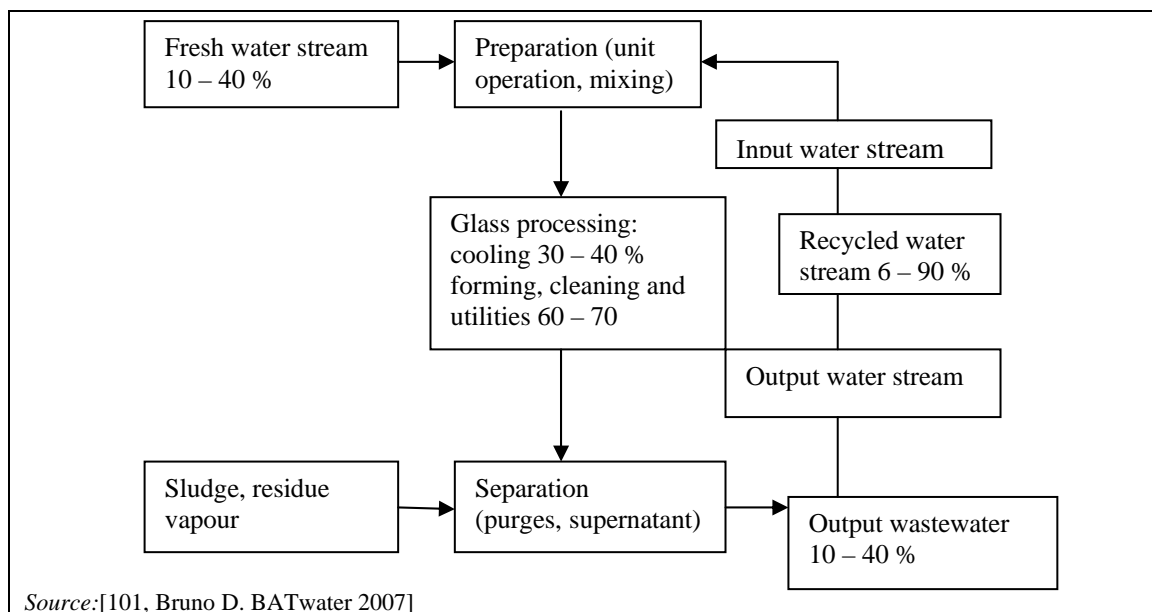
Piec wytopowy

Emisje rozproszone mogą być spowodowane przez gazy ze spalania paliw kopalnych oraz zjawiska parowania/kondensacji składników lotnych zestawu szklarskiego. Piec może nie być całkowicie szczelny z powodu otworów kontrolnych, szybów palnikowych i szczelinami pomiędzy cegłami ogniotrwałymi. Objętość gazów lotnych można oszacować na podstawie przepływu masy istotnego czynnika zanieczyszczającego np. dwutlenku siarki, co pokazuje, że ilość spalin uchodzących z pieca jest niska w porównaniu z całkowitą ilością spalin wytworzonych w wyniku topienia.

3.2.2.2 Emisje zanieczyszczeń do środowiska wodnego

Zanieczyszczenie środowiska wodnego przez przemysł szklarski jest stosunkowo niskie i istnieje niewiele istotnych zagadnień typowych dla tej gałęzi przemysłu, które należy tu omówić. Zwykle woda użyta do oczyszczania i chłodzenia może być w prosty sposób ponownie wprowadzona do obiegu wodnego lub uzdatniona przy zastosowaniu standardowych technik.

Większość operacji technologicznych wymaga stosowania cieczy, chociażby substancji chemicznych do uzdatniania wody, smarów lub oleju opałowego. Wszystkie ciekłe surowce stanowią potencjalne zagrożenie dla środowiska w przypadku wycieku lub awarii urządzeń. W wielu wypadkach do kontroli potencjalnych wycieków wystarczy jedynie właściwa obsługa oraz odpowiednia konstrukcja instalacji i urządzeń pomiarowych do substancji płynnych. Specyficzne uwarunkowania emisji do środowiska wodnego omówiono w osobnych podrozdziałach poświęconych poszczególnym branżom. Na Rysunku 3.1 ukazano typowy schemat blokowy dystrybucji wody w przemyśle szkła opakowaniowego.



Fresh water stream 10-40% Strumień świeżej wody

Preparation (unit operation, mixing) Przygotowanie (operacja jednostkowa, mieszanie)

Input water stream Wejściowy strumień wody

Glass processing: cooling 30 – 40 % forming, cleaning and utilities 60 – 70 % Przetwarzanie szkła: chłodzenie 30-40% formowanie, czyszczenie i media 60 – 70 %

Recycled water stream 6 – 90 % strumień wody uzdatnionej 6 – 90 %

Output water stream -Wychodzący strumień wody

Sludge, residue vapour osady ściekowe, pozostałości w postaci pary

Separation (purgas, supernatant) Separacja (oczyszczanie, płyn nad osadu)

Output wastewater 10 – 40 % Wychodzące ścieki 10-40%

Źródło:[101, Bruno D. BATwater 2007]

Rysunek 3.1 Typowa dystrybucja wody w zakładzie szkła opakowaniowego

3.2.2.3 Emisje innych odpadów

Dla całego przemysłu szklarskiego charakterystyczne jest ponowne wykorzystanie w procesie topienia praktycznie wszystkich własnych odpadów szklanych. Wyjątek stanowią tutaj branże ciągłych włókien szklanych i wysokotemperaturowej wełny izolacyjnej oraz producenci bardzo wysokiej jakości szkła specjalnego i gospodarczego. Branże wełny mineralnej i fryt wykazują dużą zmienność ilości recyklingu odpadów, która waha się od zera aż do 100% w przypadku niektórych zakładów produkujących wełnę mineralną. Inne odpady poprodukcyjne to pozostałości po przygotowaniu i transporcie surowców oraz pyły osadzone w przewodach spalinowych (głównie siarczany), a także zużyte materiały ogniotrwałe (po zakończonej kampanii pieca).

W niektórych branżach przemysłu szklarskiego do wyłożenia ścian bocznych, sklepień i konstrukcji regeneratorów stosowane są materiały ogniotrwałe zawierające chrom. Materiały chromowo-magnezowe, których podstawowe składniki stanowią tlenki magnezu i chromu, są bardzo odporne na działanie stopionej masy szklanej oraz produktów wysokotemperaturowego spalania, znajdujących się w komorach regeneratorów. Surowce chromowe użyte do produkcji tych materiałów zawierają chrom Cr^{3+} , który zasadniczo nie jest niebezpieczny, ma niską rozpuszczalność i nie stwarza poważnego zagrożenia. Niemniej jednak podczas kampanii pieca pod wpływem wysokich temperatur w warunkach utleniających i zasadowych niewielka ilość chromu Cr^{3+} przechodzi na wyższy stopień utlenienia Cr^{6+} . Związki zawierające Cr^{6+} są toksyczne, rakotwórcze i charakteryzują się wysoką rozpuszczalnością.

Podobnie jak w przypadku innych odpadów, podejmuje się próby recyklingu materiałów pozostałych po zakończeniu kampanii pieca. Tam gdzie nie jest to możliwe, ogniotrwałe

materiały magnezowo-chromowe, w których obecny jest Cr^{6+} , należy odpowiednio sklasyfikować i usunąć. Przemysł szklarski, dzięki rozwojowi w dziedzinie materiałów ogniotrwałych oraz zmianom konstrukcyjnym, stopniowo ogranicza stosowanie materiałów ogniotrwałych zawierających chrom.

Niewielka ilość wysokiej czystości chromowych materiałów ogniotrwałych może być również stosowana. Po zakończonej kampanii pieca materiały te zwykle wracają do producentów w celu ich przetworzenia. Niektóre piece do topienia szkła na ciągle włókna szklane wykorzystują duże ilości powyższych materiałów ogniotrwałych.

3.2.3 Energia

[15, ETSU 1992][19, CPIV 1998]

Ze względu na wysokie zapotrzebowanie na energię przy produkcji szkła wybór źródła energii, techniki opalania i metod odzysku ciepła stanowi kluczowe zagadnienie przy projektowaniu pieców. Te same elementy są głównymi czynnikami wpływającymi na poziom emisji i sprawność energetyczną procesu topienia. Energia stanowi zatem jeden z najważniejszych nakładów w produkcji szkła. Wyróżnia się trzy główne źródła energii: olej opałowy, gaz ziemny i energię elektryczną. Wyjątkiem jest tu proces otrzymywania wełny mineralnej, gdzie stosuje się technikę topienia w piecach szybowych opalanych koksem. Wybór źródła energii zależy w dużej mierze od indywidualnych strategii energetycznych i/lub polityki poszczególnych Państw Członkowskich (np. promowanie użycia paliw kopalnych zamiast energii atomowej). Rodzaj wykorzystanej energii bezpośrednio wpływa na emisję zanieczyszczeń do powietrza (np. SO_x z paliw zawierających siarkę, lub NO_x z gazu ziemnego zawierającego znaczne ilości azotu). Rodzaj energii ma również wpływ na to, czy emisje będą uwalniane bezpośrednio z zakładu czy pośrednio spoza zakładu.

W ostatnich dziesięcioleciach do produkcji szkła wykorzystywano głównie olej opałowy, choć obecnie wzrasta zużycie gazu ziemnego. Stosuje się różne gatunki oleju opałowego (ciężki, lekki) o zróżnicowanej zawartości siarki. Wiele dużych pieców wyposażonych jest zarówno w instalacje paliwowe do gazu jak i oleju opałowego. Nie jest rzadkością stosowanie ogrzewania kombinowanego, w którym w piecach opalanych głównie paliwem gazowym część palników doprowadza olej opałowy. Coraz częściej miesza się paliwo i gaz w tym samym palniku. Trzecim powszechnym źródłem energii jest elektryczność, która może być stosowana jako jedyny rodzaj ogrzewania, lub w połączeniu z paliwami kopalnymi. Nagrzewanie oporowe bezpośrednie jest jedyną techniką, która znalazła szerokie komercyjne zastosowanie w przemyśle szklarskim. Pośrednie nagrzewanie oporowe stosuje się tylko w przypadku bardzo małych wanień, pieców donicowych lub do podgrzewania części wanień (np. części wyrobowe lub zasilacze).

Na ogół energia potrzebna do topienia szkła stanowi 75% całkowitego zapotrzebowania mocy w zakładzie produkcyjnym. Innymi ważnymi odbiornikami energii są zasilacze, urządzenia do formowania, odprężarki oraz urządzenia pomocnicze i ogrzewanie budynków. Typowe zapotrzebowanie mocy w branży opakowań szklanych, reprezentującej 53% produkcji w UE, wynosi: piec – 79-82%, zasilacze - 6%, sprężarki - 4%, odprężarki - 2% i inne - 6%.

W całym dokumencie dane dotyczące energii odnoszą się do energii zużywanej w trakcie pracy pieca i nie dotyczą energii podstawowej.

Technologia produkcji szkła opakowaniowego może być uważana za reprezentatywny przykład dla przemysłu szklarskiego, mimo znacznych różnic między branżami i poszczególnymi zakładami produkcyjnymi. Wyjątek stanowi produkcja wełny mineralnej, w której istotnymi odbiornikami energii są również urządzenia do rozwłókniania i komory polimeryzacyjne. W obrębie sektora szkła opakowaniowego szczególnie przypadkiem stanowi produkcja szkła perfumeryjnego i aptecznego, gdzie około 50% całkowitego zużycia energii ma miejsce w trakcie topienia. Jest to związane ze szczególnymi wymogami jakościowymi produktu końcowego.

Jak opisano wcześniej głównymi źródłami energii potrzebnej do topienia są olej opałowy i gaz ziemny, przy niewielkim udziale energii elektrycznej. Zasilacze i odprężarki są ogrzewane elektrycznie lub gazowo; energii elektrycznej używa się do napędu sprężarek powietrza i wentylatorów, koniecznych w procesie technologicznym. Do urządzeń pomocniczych należą pompownie wody, generatory pary wodnej wytwarzanej dla składowania i wstępnego nagrzewania paliwa, nawilżania/podgrzewania zestawu oraz ogrzewania budynków. Niektóre piece są wyposażone w kotły odzysknicowe, które wytwarzają część zużywanej przez zakład pary wodnej.

W celu ustalenia wzorca dla efektywności energetycznej procesów produkcyjnych pomocne będzie uwzględnienie teoretycznej energii wymaganej do topienia szkła. W Tabeli 3.6 podano teoretyczne zapotrzebowanie na energię do topienia trzech najbardziej popularnych szkieł z zestawów bez użycia zewnętrznej słuczki. W obliczeniach przyjęto, że dostarczone ciepło jest całkowicie wykorzystane i dzieli się na trzy składowe:

- ciepło reakcji składników zestawu potrzebnych do utworzenia stopu,
- ciepło wymagane, entalpia, do podniesienia temperatury z 20°C do 1500°C i
- pojemność cieplna gazów (głównie CO₂) usuwanych z zestawu podczas topienia.

Teoretyczne wartości podane w Tabeli 3.6 odnoszą się jedynie do energii potrzebnej do stopienia zestawów szkła. Dodatkowa energia będzie potrzebna do klarowania, formowania i wykończenia szkła i dla innych działań pomocniczych takich jak sprężanie powietrza.

Tabela 3.6 Teoretyczne zapotrzebowanie na energię do topienia najbardziej popularnych szkieł z zestawów bez użycia zewnętrznej słuczki

Rodzaj szkła	Ciepło reakcji	Entalpia szkła	Entalpia emitowanych gazów	Teoretyczne zapotrzebowanie energii
	GJ/tona	GJ/tona	GJ/tona	GJ/tona
Szkło sodowo-wapniowe (szkło płaskie/opakowaniowe)	0,49	1,89	0,30	2,68
Szkło borokrzemianowe (8 % B₂O₃)	0,41	1,70	0,14	2,25
Szkło borokrzemianowe (13 % B₂O₃)	Brak danych	Brak danych	Brak danych	2,4
Szkło kryształowe (19 % PbO)	0,40	1,69	0,16	2,25
Szkło kryształowe (24 % PbO)	Brak danych	Brak danych	Brak danych	2,1
Szkło krystaliczne z barem	1,02	1,91	0,31	3,24

Źródło [15, ETSU 1992] [102, ARC Energy requirement 2008]

Z doświadczenia wynika, że rzeczywiste zapotrzebowanie mocy dla różnych branż waha się od około 3,5 do ponad 40 GJ/tonę. Zależy to w głównej mierze od konstrukcji pieca, skali i metody produkcji. Jednak większość szkieł produkowana jest w dużych piecach i energia potrzebna do topienia zwykle nie przekracza 8 GJ/tonę. W dalszej części dokumentu na podstawie dostępnych danych przedstawiono zużycie energii dla każdej z branż.

Ogólnie energia dostarczana do pieca pochodzi z:

- spalania paliwa
- podgrzewania powietrza

- elektryczności
- ciepła jawnego z paliw, tlenu, nadwyżki powietrza
- (wcześniej podgrzanego) zestawu

Ponieważ topienie szkła jest bardzo energochłonnym procesem, odbywającym się w wysokich temperaturach, stanowi niewątpliwie potencjalne źródło wysokich strat ciepła. W ostatnich latach nastąpił znaczny postęp związany z poprawą efektywności energetycznej pieców. Niektóre rozwiązania technologiczne (np. duże piece regeneracyjne) są bliskie osiągnięcia teoretycznego minimum zużycia energii w procesie topienia, z uwzględnieniem wewnętrznych ograniczeń procesów.

Nowoczesne piece regeneracyjne do topienia szkła opakowaniowego mają sprawność cieplną około 50 % (maksymalnie 60 %), gdzie kominowe straty ciepła wynoszą 20 % a resztę stanowią straty konstrukcyjne. Jest to dosyć dobra wydajność w porównaniu z innymi, wielkoskalowymi procesami technologicznym bazującymi na spalaniu paliwa, zwłaszcza elektrowniami, których efektywność wynosi około 35-45 %. Straty konstrukcyjne są odwrotnie proporcjonalne do rozmiarów pieca, głównie ze względu na zmianę stosunku powierzchni do objętości. Większą sprawność energetyczną niż piece płomieniowe wykazują piece ogrzewane elektrycznie i opalane mieszanką paliwową wzbogaconą w tlen, ale one też nie są pozbawione wad, co omówiono w dalszej części dokumentu.

Tabela 3.7 przedstawia typową dystrybucję energii wytworzonej przy produkcji najbardziej powszechnego szkła przemysłowego.

Tabela 3.7 Przykłady typowej dystrybucji energii wytworzonej przy produkcji najbardziej powszechnego szkła przemysłowego.

Rodzaj szkła	Szkło płaskie	Szkło opakowaniowe
Rodzaj pieca	Float, regeneracyjny, poprzeczno-płomienny	Regeneracyjny, U-płomienny
Wielkość produkcji	600 ton/doba	260 ton/doba
Stłuczka	25 %	83 %
Całkowite zużycie energii (GJ/tona stopionego szkła)	6,48 GJ/tona wytopionego szkła	3,62 GJ/tona wytopionego szkła
Parowanie wody (wilgotność zestawu)	1 %	1,5 %
Reakcje endotermiczne	6 %	2,4%
Topienie szkła przez ciepło jawne	33 %	44,2 %
Utrata ciepła ze ścian	15 %	18,3 %
Utrata ciepła w wyniku chłodzenia i wycieków	9 %	3,7 %
Utrata gazów wylotowych z dolnego regeneratora	32 %	27,6 %
Utrata ciepła z regeneratora (konstrukcja)	4 %	2,3 %
Źródło: [97, Beerkens Energy Balances 2006]		

Poniżej wymieniono niektóre z głównych czynników wpływających na zużycie energii w piecach opalanych paliwem kopalnym. W przypadku niektórych instalacji należy wziąć pod uwagę specyficzne uwarunkowania lokalne, mogące wpływać na możliwość zastosowania ogólnych uwag przedstawionych poniżej. Czynniki te wpływają również na emisje, w przeliczeniu na tonę wytopionego szkła, tych substancji, które są bezpośrednio związane z ilością spalanego paliwa kopalnego, zwłaszcza CO₂, SO₂ i NO_x. Główne uwarunkowania lokalne opisano poniżej:

- a) Pojemność pieca znacznie wpływa na zużycie energii na tonę wytopionego szkła, ponieważ duże piece są bardziej efektywne energetycznie ze względu na niższy stosunek powierzchni do objętości.
- b) Ważna jest również przepustowość pieca, gdyż większość pieców osiąga najwyższą sprawność energetyczną produkcyjną przy maksymalnym obciążeniu. Wahania obciążenia pieca są zależne od rynku i mogą być znaczne w przypadku produkcji niektórych opakowań szklanych i wyrobów ze szkła gospodarczego.
- c) Wydajność cieplna pieca zwykle spada w miarę czasu eksploatacji. Pod koniec czasu pracy pieca zużycie energii na tonę wytopionego szkła może być większe aż o 20 % niż na początku kampanii.
- d) Zastosowanie dogrzewu elektrycznego podnosi efektywność energetyczną pieca. Jednak zyski z takiego usprawnienia są niższe (lub nawet ujemne) niż poniesione nakłady (koszty, w tym koszty energii elektrycznej, wydajności generatorów mocy i systemu dystrybucji). Dogrzew elektryczny najczęściej stosuje się raczej w celu zwiększenia zdolności pieca niż podniesienia efektywności energetycznej.
- e) Dodatek stłuczki szklanej również może powodować redukcję zużycia energii, gdyż, jak ustalono wcześniej, energia chemiczna potrzebna do stopienia zestawu jest większa niż dla stłuczki. Wg ogólnej zasady każde 10 % dodatku stłuczki pozwala zaoszczędzić 2–3 % energii potrzebnej do topienia.
- f) Opalenie mieszanką paliwową wzbogaconą w tlen również może zredukować zużycie energii, zwłaszcza w mniejszych piecach. Eliminacja głównego źródła azotu z atmosfery spalania zmniejsza objętość gazów wylotowych o 60–80 %. Oszczędność energii jest możliwa, ponieważ nie trzeba ogrzewać azotu atmosferycznego do temperatury płomienia. Większość pieców opalanych mieszanką paliwową wzbogaconą w tlen nie jest wyposażona w system odzyskiwania ciepła.

Wymienione powyżej uwarunkowania lokalne nie uwzględniają pewnych istotnych kwestii nie związanych z terenem zakładu, które wpływają na stosowanie różnych technik topienia, w szczególności kosztów elektryczności i wydajności wytwarzania i dystrybucji energii.

Efektywność energetyczna jest bardzo złożonym problemem, który został szerzej opisany w osobnych częściach rozdziału 4. Od lat 1960 przemysł szklarski systematycznie obniża zużycie energii o około 1,5 % rocznie. W chwili obecnej ten wskaźnik jest niższy, ponieważ przemysł zbliża się do limitu termodynamicznego.

Tabela 3. przedstawia zestawienie jednostkowego zużycia energii dla szeregu nowoczesnych, efektywnych energetycznie pieców szklarskich.

Typ wanny szklarskiej	Rodzaj szkła	Strefa topienia*)	Głębokość basenu wanny Strefa topienia	Pojemność wanny Strefa topienia	Stosunek długości do szerokości basenu wanny szklarskiej	Produkcja tona metryczna/d	Produkcja jednostkowa tona metryczna/m ² d	Jednostkowe zużycie energii **) kJ/kg szkła
Poprzeczno płomienny piec z regeneracyjnym podgrzewaniem powietrza	Szkło opakowaniowe lub szkło wodne	15 – 155	1200 – 1700	50 – 500	1,9 – 3,0 : 1	40 – 500	2,5 – 4,0	4200
Regeneracyjny piec U-płomienny	Szkło opakowaniowe	15 – 140	1200 – 1700	50 – 500	1,9 – 2,5 : 1	40 – 450	2,5 – 4,0	3800
Piec z rekuperatorem	Szkło opakowaniowe	do 250	1100 – 1600	50 – 650	2,0 – 2,8 : 1	40 – 450	2,0 – 3,0	5000
Piec opalany mieszkanką paliwa wzbogaconego w tlen***)	Szkło opakowaniowe	110 – 154	1300 – 1700	390 – 600	2,0 – 2,4 : 1	350 – 425	2,3 – 3,5	3050 – 3500
Poprzeczno-płomienny piec z regeneracyjnym podgrzewaniem powietrza	Szkło płaskie	100 – 400	1200 – 1400	300 – 2500	2,1 – 2,8 : 1	150 – 900	2,3 – 2,7	6300
Poprzeczno-płomienny piec z regeneracyjnym podgrzewaniem powietrza	Szkło telewizyjne (do produkcji kineskopów i ekranów)	70 – 300	900 – 1100	160 – 700	2,0 - 3,0 : 1	100 – 500	1,1 – 1,8	8300
Piec z rekuperacyjnym podgrzewaniem powietrza	Szkło stołowe	15 – 60	1100 – 1300	40 – 180	1,8 – 2,2 : 1	15 – 120	1,0 – 2,0	6700
Poprzeczno-płomienny piec z regeneracyjnym podgrzewaniem powietrza	Szkło stołowe	30 – 40	800 – 1000	65 – 100	2,0 – 3,0:1	40 – 60	1,2 – 1,6	8000 – 11000
Regeneracyjny piec U-płomienny	Szkło stołowe	45 – 70	800 – 1800	100 – 250	1,8 – 2,2:1	120 – 180	2,0 – 3,0	5000 – 6000
Piec z rekuperacyjnym podgrzewaniem powietrza	Włókna szklane	15 - 110	800 - 1500	50 – 200	2,8 : 1	30 - 350	3,4	4300

*) część topliwna wanny szklarskiej; zwykle jest to przestrzeń między kieszenią zasypową a przepustem; w piecach do produkcji szkła płaskiego metodą float nie ma strefy studzenia

**) jednostkowe zużycie energii, bez zużycia mocy w części wyrobowej pieca i w zasilaczach podczas rozgrzewu pieca, przy pracy z nominalnym obciążeniem (starzenie pieca 0,1 do 0,2 % miesięcznie; bez dogrzewu elektrycznego, podgrzewania zestawu i wtórnej utylizacji ciepła odpadowego)
znormalizowane 70 % stłuczki dla szkła opakowaniowego
 20 % stłuczki dla szkła płaskiego
 40 % stłuczki dla szkła telewizyjnego i gospodarczego

Oszczędność energii na % dodatku stłuczki szklanej do zestawu: 0,15 do 0,3 %

Powyższe, jednostkowe zużycie energii obrazuje przybliżoną wartość dla nowych instalacji o średnich i dużych piecach. Dane te nie są odpowiednie do rozpatrywania bilansu energetycznego za względu na duże różnice wartości w poszczególnych przypadkach. Efektywne jednostkowe zużycie energii zależne jest nie tylko od dodatku stłuczki i czasu eksploatacji wanny, ale także od składu zestawu, podgrzewania powietrza, obciążenia pieca, izolacji pieca i wymaganej jakości szkła.

***) Dane te pochodzą z doświadczeń dwóch hut szkła stosujących opalanie pieca mieszkanką paliwową wzbogaconą w tlen. Do jednostkowego zużycia energii nie dołączono energii wymaganej do otrzymywania tlenu.

Tabela 3.8: Przykłady jednostkowego zużycia energii dla szeregu pieców szklarskich [42, VDI 1997] [136, EURIMA 2008] [137, Domestic glass 2008]

3.2.4 Hałas

Hałas może być istotnym problemem w niektórych sektorach przemysłu szklarskiego, szczególnie w sektorze produkcji szkła gospodarczego i opakowaniowego. Nie zawsze jest możliwe zapobieganie hałasowi lub ograniczanie hałasu. Tam, gdzie nie jest to wykonalne zwykle stosuje się środki ostrożności mające na celu ochronę pracowników. Poziomy hałasu w zakładach to zagadnienie związane z higieną pracy, wpływ hałasu na operatorów maszyn nie należy do tematyki niniejszego dokumentu. Ocena wpływu fabryki szkła na środowisko naturalne powinna być dokonana z uwzględnieniem położenia zakładu względem receptorów wrażliwych.

Najważniejsze źródła emisji hałasu to:

- sprężone powietrze do schładzania
- wentylator do powietrza do spalania
- wentylator do odciągania spalin
- urządzenia formujące (np. sektory szkła opakowaniowego, gospodarczego i specjalnego)
- transportery taśmowe dla produktów szklanych
- cięcie (np. szkło płaskie i specjalne)
- szlifowanie, polerowanie (np. szkło gospodarcze i specjalne).

Poziomy hałasu (w decybelach) są uwarunkowane specyfiką urządzeń / zakładu i mogą przekraczać wartość 85 dBA w niektórych miejscach instalacji.

Najczęstsze techniki redukcji hałasu to:

- obudowanie urządzeń/ operacji powodujących hałas
- zastosowanie wałów odgradzających źródło hałasu

3.3 Szkło opakowaniowe

[19, CPIV 1998] [64, FEVE 2007] [126, FEVE 2009]

Jak opisano w rozdziale 1 szkło opakowaniowe stanowi największy sektor reprezentujący 50- 60 % całkowitej produkcji przemysłu szklarskiego w UE (58% w roku 2007). W 2005 r. eksploatowano 300 pieców wytopowych w 170 hutach szkła. Branża ta stosuje następujące typy pieców: poprzeczno-płomienny piec regeneracyjny, regeneracyjny piec U-płomienny, rekuperatorowy, piec elektryczny, piec opalany mieszanką gazową wzbogaconą w tlen, o wydajnościach wahających się od mniej niż 50000 ton rocznie (10000 ton rocznie dla produkcji flakonów do perfum) do ponad 150000 ton rocznie. Produkcja w zakładzie wyposażonym w kilka pieców może przekraczać 1000 ton dziennie.

Rozmiar i zróżnicowanie tej branży pociąga za sobą znaczne różnice w ilości oraz rodzaju nakładów i efektów produkcji. Mimo to, do wytwarzania wyrobów w całym sektorze stosuje się prawie wyłącznie szkło sodowo-wapniowe lub szkło sodowo-wapniowe o nieco zmodyfikowanym składzie, co wpływa na ograniczony zakres modyfikacji bazy surowcowej.

Stosunek surowców do produktów w znacznym stopniu zależy od poziomu użycia stłuczki szklanej, której dodatek wpływa na ilość ulatniających się podczas topienia zestawu gazów. Odgazowanie i suszenie surowców ocenia się na 3 % do 20 % masy zestawu, a 1 tona stłuczki zastępuje w przybliżeniu 1,2 tony surowego zestawu. Wskaźnik „pack to melt” waha się od 50 % do ponad 90 %, przy czym większość odpadów szklanych jest wtórnie wykorzystywana.

Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania.⁹ przedstawia główne nakłady i efekty procesu produkcyjnego. Emisja dotyczy typowego, średniej wielkości pieca szklarskiego. Są to dane zebrane na podstawie opinii ekspertów i badań przeprowadzonych przez Europejską Federację Producentów Szkła Opakowaniowego (FEVE). Podane wartości są jedynie orientacyjne. Dokładniejsze dane dotyczące zużycia energii i emisji znajdują się w podrozdziale 3.3.2.2.

Tabela 3.9: Nakłady produkcyjne i efekty procesu technologicznego dla branży opakowań szklanych (wartości orientacyjne, dotyczą jednej tony stopionego szkła)

Nakłady	Jednostka/tona (wytopione szkło)	Zakres (średnia wartość)			
Stłuczka obca	tona	0	-	0,85	(0,40)
Piasek krzemowy	tona	0,04	-	0,66	(0,35)
Węglany	tona	0,02	-	0,40	(0,20)
Inne surowce mineralne	tona	0,002	-	0,05	(0,02)
Materiały ogniotrwałe	tona	0,005	-	0,01	(0,008)
Materiały opakowaniowe	tona	0,040	-	0,080	(0,045)
Formy i inne	tona	0,004	-	0,007	(0,005)
Energia, paliwo/gaz całkowita (1)	GJ	4	-	14	(6,5)
Energia elektryczna całkowita (1)	GJ	0,6	-	1,5	(0,8)
Woda	M ³	0,3	-	10	(1,8)
Produkcja					
Końcowe, zapakowane produkty	tona	0,75	-	0,97	(0,91)
Zanieczyszczenie powietrza					
- CO ₂	kg	300	-	1000	(430)
- NO _x	kg	0,2	-	4,4	(2,0)
- SO _x	kg	0,2	-	4,1	(1,3)
- pył (bez wtórnego systemu redukcji)	kg	0,2	-	0,6	(0,3)
- pył (z wtórnym systemem redukcji)	kg	0,002	-	0,05	(0,017)
- HCl (bez wtórnego systemu redukcji)	kg	0,02	-	0,08	(0,029)
- HCl (z wtórnym systemem redukcji)	kg	0,005	-	0,06	(0,027)
- HF (bez wtórnego systemu redukcji)	kg	0,001	-	0,022	(0,007)
- HF (z wtórnym systemem redukcji)	kg	0,00005	-	0,007	(0,002)
- metale (bez wtórnego systemu redukcji)	kg	0,0002	-	0,015	(0,004)
- metale (z wtórnym systemem redukcji)	kg	0,00006	-	0,002	(0,001)
- H ₂ O (parowanie i spalanie)	tona	0,3	-	10	(1,8)
Ścieki	M ³	0,2	-	9,9	(1,6)
Recykling odpadów	tona	0,002	-	0,006	(0,005)
Inne odpady	tona	0,003	-	0,015	(0,005)

(1) Całkowite zapotrzebowania mocy (piec + urządzenia pomocnicze) dla typowego zakładu produkcyjnego z piecami opalonymi paliwem kopalnym.
Źródło: [19, CPIV 1998] [64, FEVE 2007]

3.3.1 Nakłady produkcyjne

W Tabeli 3.10 przedstawiono zestawienie materiałów stosowanych przy produkcji szkła opakowaniowego

Tabela 3.10: Materiały stosowane przy produkcji szkła opakowaniowego

Substancje szkłotwórcze:	Piasek szklarski, stłuczka własna, stłuczka obca.
Substancje o charakterze przejściowym i modyfikatory:	Węglan sodu, wapień, dolomit, siarczan sodu, żużel wielkopiecowy, skałen, sjenit nefelinowy, węglan potasu, węgiel, pył osadczy.
Utleniacze i środki klarujące	Siarczan sodu, węgiel, azotan sodu, azotan potasu
Środki barwiące i odbarwiacze:	Chromian żelaza, tlenek żelaza, siarczek żelaza, tlenek kobaltu, tlenek ceru, selen lub selenin cynku.
Związki stosowane do	Nieorganiczne lub organiczne chlorki metali. Przeważnie

nanoszenia powłok („na gorąco”):	czterochlorek cyny, czterochlorek tytanu i butylochlorocynian.
Smary:	Smary na bazie polietylenu i kwasy tłuszczowe (np. kwas oleinowy).
Paliwo:	Olej opałowy, gaz ziemny, energia elektryczna, butan, propan.
Woda:	Dostarczana z sieci wodociągowej lub lokalnych, naturalnych źródeł (studnie, rzeki, jeziora, itd.).
Materiały pomocnicze:	Materiały opakowaniowe: tworzywa sztuczne, papier, kartony i drewno. Smary technologiczne głównie na bazie grafitu o dużej trwałości w wysokich temperaturach i niewielkiej pozostałości po spalaniu. Smary maszynowe, głównie oleje mineralne. Gazy technologiczne, tlen i dwutlenek siarki. Substancje chemiczne do demineralizacji wody do chłodzenia i oczyszczania ścieków.
<i>źródło: [19, CPIV 1998]</i>	

Największe nakłady surowcowe stanowią surowce krzemionkowe (piasek szklarski i stłuczka) i węglany (soda kalcynowana, dolomit i wapień). Surowce do produkcji szkła są mieszane w odpowiednich proporcjach w celu otrzymania składów przedstawionych w rozdziale 2. Większość szkła opakowaniowych zawiera w swoim składzie ponad 90 % krzemionki oraz tlenków sodu i wapnia (SiO_2 71 - 73 %, Na_2O 12 - 14 % i CaO 10 - 12 %). Krzemionkę wprowadza się głównie w postaci stłuczki szklanej i piasku szklarskiego. Tlenek sodu pochodzi na ogół ze stłuczki szklanej i sody, natomiast surowcami wprowadzającymi tlenek wapnia jest w dużej mierze stłuczka szklana oraz mączka wapienna i w mniejszym stopniu mączka dolomitowa.

Wiele procesów technologicznych otrzymywania szkła opakowaniowych wykorzystuje do topienia znaczny poziom stłuczki szklanej. Dla całego sektora wynosi on około 50 % i składa się zarówno ze stłuczki własnej jak i obcej (pokonsumpcyjnej). Użycie stłuczki obcej waha się w szerokich granicach (od 0 % do > 80 %), ale w każdym procesie produkcyjnym wykorzystana zostaje stłuczka własna, która zwykle stanowi około 10% zestawu. Nakłady związane z dodawaniem innych surowców, głównie piasku, sody, mączki wapiennej i dolomitowej, zmieniają się zależnie od ilości użytej stłuczki i jej składu.

Zastosowanie materiałów do obróbki powierzchni, np. substancji do nanoszenia powłok i substancji smarnych, różni się w zależności od technologii. Jednak ilość zużywanych materiałów tego typu jest bardzo niewielka w porównaniu z surowcami do topienia szkła. Jedna linia produkcyjna zużywa średnio 2 – 10 kg materiałów powłokotwórczych dziennie i podobnie niewielką ilość smarów (zob. podrozdział 3.3.2.3 i 4.5.1).

Rodzaj stosowanego paliwa zależy od techniki topienia, ale głównie używa się oleju opałowego, gazu ziemnego, energii elektrycznej, zarówno osobno jak i w kombinacji. Do ogrzewania zasilaczy, odprężarek i budynków oraz napędu urządzeń pomocniczych stosuje się paliwo gazowe lub energię elektryczną. Lekkie oleje opałowe, propan, butan są czasami stosowane jako paliwa rezerwowe.

W branży opakowań szklanych woda stosowana jest głównie w systemach chłodzących i do mycia/wykańczania wyrobów. Używa się jej również, zwykle w postaci pary wodnej, do nawilżania zestawu (0 – 4 % wilgoci), by zapobiec rozwarstwianiu się zestawu i w celu ograniczenia rozkurzu podczas zasypu do pieca. System wody chłodzącej stanowi zwykle obieg zamknięty lub otwarty i stosowany jest do chłodzenia urządzeń oraz gorącego szkła na linii uzdatniania stłuczki, co powoduje straty parowania oraz straty związane z usuwaniem zanieczyszczeń. Rzeczywiste zużycie wody i

emisja pary wodnej zmienia się w zależności od warunków lokalnych (np. temperatura otoczenia, twardość pobieranej wody).

3.3.2 Emisje zanieczyszczeń do powietrza

3.3.2.1 Surowce

W wielu nowoczesnych hutach szkła opakowaniowego silosy i mieszarki wyposażone są w systemy filtrów do redukcji emisji pyłów poniżej 5 mg/m^3 . Niezależnie od faktu czy zestawiarnia jest wyposażona w system filtrów, emisje zależą od rodzaju transportu surowców, stopnia rozdrobnienia oraz ilości transportowanych surowców.

3.3.2.2 Topienie

W branży opakowań szklanych główne potencjalne zagrożenie dla środowiska naturalnego stanowią emisje do atmosfery z procesu topienia. Rodzaje emitowanych substancji i ich źródła przedstawiono w podrozdziale 3.2.2.1. Większość pieców stosowanych do produkcji szkła opakowaniowego jest opalana paliwem kopalnym, zarówno gazem jak i olejem opałowym. Ze względu na dużą skalę i szeroki zakres dystrybucji w tym sektorze występuje duża różnorodność stosowanych pieców, co wpływa na znaczne zróżnicowanie poziomów emisji. Zostało to wyraźnie zaznaczone w tabelach przedstawionych w niniejszym podrozdziale, które zawierają szczegółowe dane dotyczące pieców i odnotowane poziomy emisji z badania statystycznego przeprowadzonego przez członków Europejskiej Federacji Producentów Szkła Opakowaniowego (FEVE). Zebrane dane pochodzą z roku 2005 i dotyczą niemal 244 pieców opalanych paliwami kopalnymi i czterech pieców zasilanych wyłącznie elektrycznością. Piece te stanowią około 80% instalacji w UE-27. Zakresy emisji w tabelach zostały podzielone na te z, lub bez zastosowania podstawowego lub wtórnego systemu redukcji.

Zebrane dane odnośnie emisji odpowiadają wynikom analiz przeprowadzonych w kontekście wymagań dotyczących sprawozdawczości w krajach/regionach gdzie znajdują się te instalacje, a techniki pobierania próbek i dokonywania pomiarów nie są jednolite. Dane te odnoszą się do ograniczonego przedziału czasu, zazwyczaj poniżej trzech godzin, a zatem są wrażliwe na zmieniające się warunki pracy. Ponadto jeśli używane są metody znormalizowane nie bierze się pod uwagę, że wyniki takich badań mogą być niepewne. Z tego powodu dane przedstawione w Tabeli 3.13, Tabeli 3.14, Tabeli 3.15, Tabeli 3.16 i Tabeli 3.17 są tylko wskaźnikiem zakresu rzeczywistej emisji w czasie przeprowadzania badania.

Aby odnotowane wartości emisji były bardziej reprezentatywne, dane zostały przedstawione w postaci średniej/minimalnej/maksymalnej wartości z całego zbioru danych (100% danych) lub 95-tego percentyla wartości (5 do 95 %).

Należy podkreślić, że w trakcie przeprowadzania badań rozpoczęło się wdrażanie zezwoleń w oparciu o IPPC. W szczególności w latach 2003-2005 zwiększało się zastosowanie urządzeń redukujących pył. Począwszy od roku 2005 oddano do użytku znaczną ilość nowych systemów redukcji. Przewiduje się, że ta tendencja nie zmieni się. Przewidywano, że w roku 2005 (czas przeprowadzania tych badań) zostanie zainstalowanych wiele nowych urządzeń.

Tabela 3.11 przedstawia statystyczną dystrybucję rodzajów i rozmiarów pieców na podstawie badań FEVE za rok 2005.

Tabela 3.11 Dane statystyczne dotyczące rozmiarów i rodzajów pieca pochodzące z badania FEVE (wartości za rok 2005).

Rozmiar pieca w zależności od rodzaju	Odnotowane dane	Wartości N°	Wytopione szkło (ton/dobę) (1)		
			średnio	Min.	Max.
Wszystkie rodzaje produktów					
Wszystkie rodzaje pieców	100 %	248	233	22	521
Regeneracyjne poprzeczno-płomienne	100 %	55	289	130	520
Regeneracyjne U-płomienne	100 %	152	229	40	521
Rekuperacyjne	100 %	29	185	22	376
Opalane mieszanką tlenowo-paliwową	100 %	8	180	75	305
Elektryczne	100 %	4	61	40	100
Produkcja butelek/słoików					
Wszystkie rodzaje pieców	100 %	222	249	56	521
Regeneracyjne poprzeczno-płomienne	100 %	55	289	130	520
Regeneracyjne U-płomienne	100 %	138	140	56	521
Rekuperacyjne	100 %	23	214	80	376
Opalane mieszanką tlenowo-paliwową	100 %	5	242	200	305
Elektryczne	100 %	1	100	100	100
Produkcja szkła perfumeryjnego i aptecznego					
Wszystkie rodzaje pieców	100 %	20	80	22	300
Regeneracyjne U-płomienne	100 %	10	97	40	300
Rekuperacyjne	100 %	5	69	22	127
Opalane mieszanką tlenowo-paliwową	100 %	2	76	76	76
Elektryczne	100 %	3	47	40	60
Produkcja mieszana – butelki/szkło perfumeryjne i apteczne					
Wszystkie rodzaje pieców		6	147	75	245
Regeneracyjne U-płomienne		4	171	98	245

(1) Produkcja szkła (w tonach wytopionego szkła na dobę) [126, FEVE 2009] jest reprezentatywna dla warunków pracy pieca odpowiadających przedstawionym danym dotyczącym emisji.

Piece regeneracyjne U-płomienne stanowią >60 % próby i reprezentują praktycznie całe spektrum wydajności produkcji. Odnotowano jedynie osiem pieców opalanych mieszanką tlenowo-paliwową (3,2 % ogółu). Wartości te wskazują na różnice w średniej ilości topionego szkła dla pieców produkujących szkło perfumeryjne i apteczne (~80 ton/dobę), w porównaniu z masową produkcją butelek i słoików (średnio ~250 ton/dobę).

W Tabeli 3.12 ukazano dane statystyczne dotyczące całkowitej ilości stłuczki używanej do produkcji różnych kolorów szkła. Dane te dotyczą badań wykonanych przez FEVE za rok 2005.

Całkowita ilość stłuczki w Tabeli 3.12 jest wyrażona jako całkowita stłuczka wykorzystana na tonę wytopionego szkła. Wartości te z wielu względów nie pokrywają się ze wskaźnikami recyklingu w UE. Dane unijne odnoszą się do szkła ze zbiórki, a nie do stłuczki stosowanej w zakładach produkujących szkło. Szkło ze zbiórki zawiera pewien odsetek zanieczyszczeń (do 5%). Nie całe zebrane szkło jest wykorzystywane do produkcji szkła opakowaniowego. Dane unijne nie obejmują stłuczki własnej. Nie cała ilość szkła produkowana w UE jest ponownie przetwarzana w UE, nie cała ilość szkła używana w UE została tu wyprodukowana.

Tabela 3.12 Dane statystyczne dotyczące całkowitej ilości stłuczki używanej przez piece produkujące szkło opakowaniowe. Dane te pochodzą z badań wykonanych przez FEVE dla różnych kolorów szkła (2005).

Ilości wykorzystanej stłuczki	Odnotowane dane	Wartości N°	Całkowita ilość wykorzystanej stłuczki dla danego pieca (% całości stłuczki/ tona wytopionego szkła (1))		
			Średnio (2)	Min.	Max.
Flint (szkło bezbarwne)	100%	123	33	5	74
Bursztynowe	100%	37	49	15	81
Zielone	100%	76	72	30	96
Inne kolory	100%	13	55	20	85
<p>(1) Całkowita ilość zużytej stłuczki dla danego pieca została wyrażona jako całkowita stłuczka na tonę wytopionego szkła (własna + zewnętrzna). Wartości te nie pokrywają się z wskaźnikami zużycia szkła z recyklingu w UE (zob. objaśnienie do tabeli)</p> <p>(2) Podane wartości średnie są średnimi arytmetycznymi ilości stłuczki zużytej przez pojedynczy piec i nie stanowią całkowitych średnich wartości zużycia stłuczki</p>					

Ilości stłuczki stosowanej w produkcji szkła wahają się od 5 do 96% co jest uwarunkowane dostępnością stłuczki o odpowiedniej jakości. Dzieje się tak szczególnie w przypadku bezbarwnego szkła flint, w którym poziom zanieczyszczeń barwnej stłuczki szklanej musi odpowiadać specyfikacjom barwnym produktu końcowego. Na niektórych rynkach istnieje popyt na szkło bezbarwne o bardzo wysokiej czystości (zwane extra flint), np. szkło perfumeryjne i apteczne oraz szkło dla luksusowych alkoholi. Pociąga to za sobą wymogi w zakresie wysokiej czystości wszystkich surowców. Zatem w takim przypadku wskaźnik recyklingu odnosi się do stłuczki własnej co odpowiada odnotowanym minimalnym wartościom (wszystkie szkła kolorowe i flint). W większości przypadków szkło zielone jest najmniej wrażliwe na takie ograniczenia i dlatego też zawiera największe ilości stłuczki. Jakość i dostępność stłuczki omówiono szerzej w podrozdziale 4.8.3. Należy podkreślić, że ilość wykorzystanej stłuczki dla danego pieca (lub koloru szkła) powinna być rozpatrywana w szerszym lokalnym, krajowym lub międzynarodowym kontekście popytu i podaży na przetworzone szkło pokonsumenckie.

Ilość wykorzystanej stłuczki ma ogromny wpływ na energię topnienia w każdej technologii topienia i w piecach wszystkich rozmiarów i, jak wspomniano wcześniej, jest ona ograniczona czynnikami zewnętrznymi, szczególnie dostępnością odpowiedniej stłuczki.

W Tabeli 3.13 przedstawiono energię topnienia dla różnych rodzajów i rozmiarów pieców, dane pochodzą z badania przeprowadzonego przez FEVE i dotyczą roku 2005. Jednostkowe wartości energii topnienia zostały skorygowane względem 50% stłuczki przy zastosowaniu zależności podanej w innym miejscu tego dokumentu (-2.5 % energii na każde 10 % zwiększonej ilości stłuczki).

W celu poprawki całkowite zużycie energii topnienia (EM) dla każdego pieca w badaniu (wartość opałow netto dla paliw kopalnych + bezpośrednia energia elektryczna) zostało pomnożone przez czynnik odpowiadający całkowitej ilości stłuczki (CT) aby skorygować zużycie energii względem 50% stłuczki (EM50). Poniżej przedstawiono przybliżony wzór zastosowany do tych obliczeń:

$$EM50 = EM / \{ 1 + [(50 - CT) \times 0.025] / 10 \}$$

gdzie:

EM50 (GJ/stopiona tona) = zużycie energii skorygowane względem 50 % stłuczki

EM (GJ/ tona wytopionego szkła) = całkowite zużycie energii topnienia

CT (%) = całkowita ilość wykorzystanej stłuczki

Aby umożliwić podstawowe porównanie pomiędzy opalaniem powietrzno-paliwowym a tlenowo-paliwowym, przy określaniu jednostkowej energii topnienia należy wziąć pod uwagę energię elektryczną potrzebną do wytworzenia tlenu. Aby zachować zgodność z obliczeniami energii elektrycznej dokonanymi w tym podrozdziale, energia wykorzystana do produkcji tlenu została podana zgodnie z rzeczywistym wykorzystaniem w fabryce szkła. Odpowiednia ilość została oszacowana w oparciu o stałą (zachowawczą) proporcję energii elektrycznej do produkcji tlenu równej

0,07 GJ na GJ wartości opałowej netto z energii pochodzącej od paliw kopalnych zużytych w piecu. Obliczenia te zostały już ujęte w obliczeniach energii topnienia skorygowanej do 50% całkowitej słuczki.

Jednakże należy zauważyć, że zużycie energii równe 0,07 GJ w miejscu użycia odpowiada około 0,2 GJ energii podstawowej potrzebnej do wygenerowania takiej ilości energii.

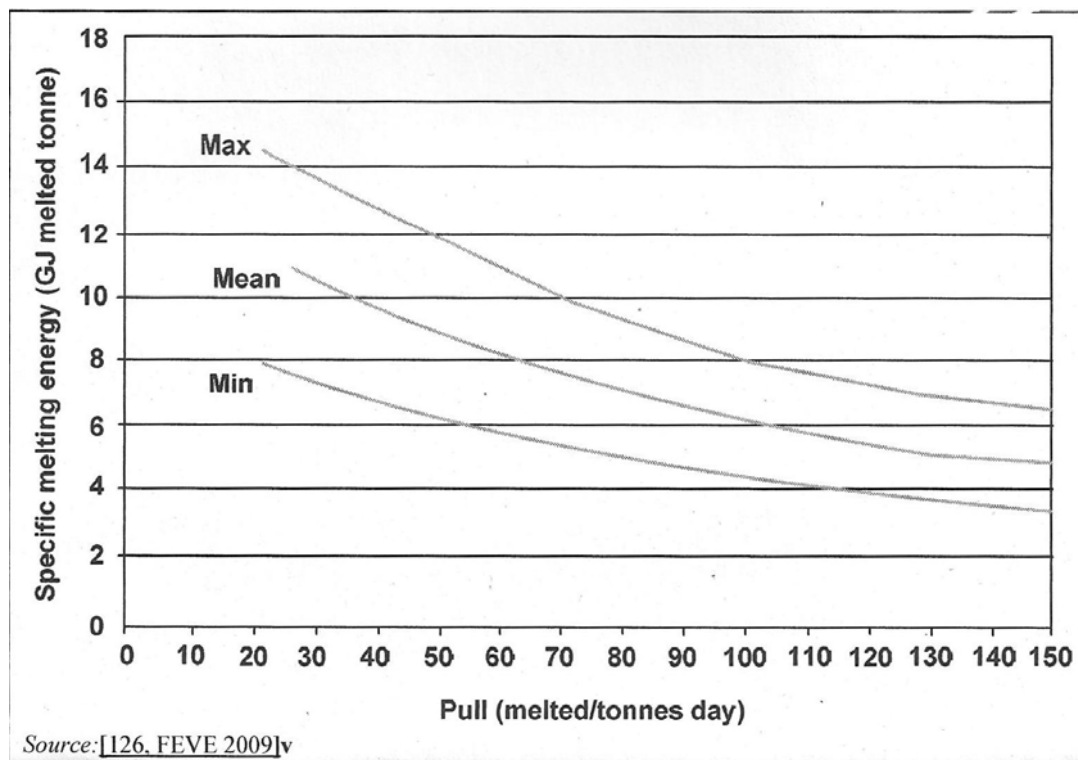
Tabela 3.13 Jednostkowa energia topnienia w piecach różnych typów i rozmiarów na podstawie badań FEVE (2005)

Rozmiar pieca w zależności od rodzaju		Odnotowane dane	Wartości N°	Jednostkowa energia wymagana do topienia skorygowana względem 50% całkowitej ilości słuczki (wartość opałowa netto GJ/tonę wytopionego szkła)		
				Średnio	Min.	Max.
	Jednostka					
U-płomienny		100%	153	4,8	3,4	10,7
<100	ton/dobę	100%	12	6,9	5,5	11,7
100-250	ton/dobę	100%	81	4,8	3,4	6,7
250-400	ton/dobę	100%	54	4,3	3,4	9,5
>400	ton/dobę	100%	6	4,1	3,4	5,1
		100%	56	4,6	3,3	6,6
<100	ton/dobę		0			
100-250	ton/dobę	100%	17	5,0	3,3	6,6
250-400	ton/dobę	100%	31	4,5	3,7	5,8
>400	ton/dobę	100%	7	4,4	3,5	5,2
		100%	29	6,3	4,1	11,6
<100	ton/dobę	100%	5	9,1	5,9	11,6
100-250	ton/dobę	100%	14	5,8	4,1	6,8
250-400	ton/dobę	100%	10	5,6	4,3	7,3
>400	ton/dobę		0			
Opalanie tlenowo-paliwowe		100%	8	4,4	3,5	5,2
Opalanie tlenowo-paliwowe + produkcja O ₂ (₁)		100%	8	4,7	3,8	5,5
Elektryczny		100%	3	3,3	2,9	3,6
(1) Uwzględniono energię elektryczną potrzebną do wytworzenia tlenu, jednakże nie uwzględniono energii pierwotnej potrzebnej do wytworzenia elektryczności						
Źródło: [64, FEVE 2007]						

Równoważne średnie wartości dla jednostkowej energii topnienia można zaobserwować porównując piece U-płomienniowe, poprzeczno-płomienne i tlenowo-paliwowe. W przypadku tych ostatnich należy uwzględnić szacunkową energię elektryczną potrzebną do produkcji tlenu (bez energii podstawowej) (zob. Tabela 3.13 i Rysunek 3.4).

Jak przewidywano, wyższe jednostkowe wartości energii topnienia można zauważyć w przypadku mniejszych pieców. Tak dzieje się szczególnie w przypadku produkcji szkła perfumeryjnego i aptecznego, dla którego krzywe całkowitej energii topnienia podano na Rysunku 3.2. Krzywe przedstawione na rysunku pokazują, że zużycie energii topnienia zwiększa się gwałtownie wraz ze zmniejszającymi się rozmiarami pieców. Piece do produkcji szkła perfumeryjnego mogą być regeneracyjne, rekuperacyjne, elektryczne lub tlenowo-paliwowe w zależności od różnych czynników: zdolności inwestycyjnej, dostępnej przestrzeni, obciążenia fundamentu i innych warunków lokalnych. Na Rysunku 3.2 wartości średnie, minimalne i maksymalne są wyrażone jako suma zużycia paliw kopalnych (wartość opałowa netto) plus bezpośrednia energia elektryczna (użyta do dogrzewu). Piece elektryczne nie zostały tu ujęte.

Ponadto należy zauważyć, że krzywe przedstawione na Rysunku 3.2 nie uwzględniają pośredniego zużycia energii potrzebnej do wytworzenia tlenu lub elektryczności.



Specific melting energy – jednostkowa energia topnienia

Pull (melted tonnes/day) – wydajność produkcji (ton wytopionego szkła/doba)

Rysunek 3.2 Krzywe trendu dla całkowitej energii topnienia przy produkcji szkła perfumeryjnego i aptecznego, na podstawie badań FEVE (dane z 2005 roku – nie uwzględniono energii pierwotnej dla dogrzewu elektrycznego lub produkcji tlenu)

W roku odniesienia dla badania FEVE (2005) 41% (101 pieców na 247) pieców do szkła opakowaniowego wyposażono we wtórny system redukcji. We wszystkich tych przypadkach wtórna redukcja polega na ograniczaniu pyłu przy użyciu elektrofiltra (77 pieców) lub filtra workowego (24 piece), z reguły w połączeniu z etapem odsiarczania w dalszej części procesu aby usunąć zanieczyszczenia gazów kwaśnych (SO_x , HF, HCl) i uniknąć kwaśnych kondensatów siarczanowych, które mogą uszkodzić urządzenia filtrujące.

Od tamtej pory w przemyśle szklarskim prowadzi się instalację filtrów workowych i elektrofiltrów (ESP) zgodnie z postępującym wdrażaniem Dyrektywy i związanych z nią zezwoleń. W czasie, gdy pisano ten dokument (2010) większość pieców została wyposażona w filtry workowe lub elektrofiltry. Dane dotyczące emisji z pieców objętych badaniami FEVE podano w Tabeli 3.14, Tabeli 3.15, Tabeli 3.16, Tabeli 3.17 i Tabeli 3.18. Przedstawione tam dane powinny być oceniane w oparciu o poniższe uwagi:

1. Podane wartości pochodzą z pomiarów rzeczywistych emisji odzwierciedlających konkretne warunki. Dane z pomiarów ciągłych i okresowych, średnie wartości godzinne, dobowe mogą znaleźć się w wynikach badań dotyczących 248 pieców podlegających różnym lokalnym i/lub krajowym przepisom w zakresie monitorowania emisji. Zatem strategię i techniki pomiaru nie są jednolite ani znormalizowane.

2. W każdym przypadku dane zostały podane zgodnie z wartościami odnotowanymi w badaniach (100% wartości) i jako 95-ty percentyl (5 % – 95 % wartości); ten drugi sposób ma na celu wykluczenie danych wątpliwych.

3. Dane wyrażone jako stężenia skorygowane względem 8% O₂ nie obejmują pieców opalanych mieszką tlenowo-paliwową i elektrycznych.

4. Dane wyrażone jako współczynnik emisyjności nie obejmują wszystkich pieców elektrycznych. W przypadku pieców opalanych mieszką tlenowo-paliwową współczynniki emisyjności zostały przedstawione zgodnie z wartościami odnotowanymi w badaniach, a w przypadku pieców paliwowo-powietrznych współczynniki emisyjności obliczono przy użyciu współczynników konwersji uzyskanych ze standardowych objętości suchych spalin przy 8 % O₂, co równa się 385 Nm³/GJ dla gazu ziemnego i 400 Nm³/GJ dla oleju opałowego, z poprawką na udział procesowej emisji CO₂ w objętości spalin (odwrotnie proporcjonalne do całkowitej ilości zużytej słuczki) stanowiących 92 Nm³/tonę szkła z czystych surowców (objętość ta odpowiada 180 kg CO₂/tonę szkła z surowców).

5. Dla danego stężenia emisji, współczynnik emisji wzrasta gdy wzrasta zużycie paliw kopalnych; zatem mniejsze piece, szczególnie te dla niewielkiej produkcji (szkło perfumeryjne i apteczne), z reguły wiążą się z wyższymi współczynnikami emisyjności.

6. Gdy dwa lub więcej pieców jest podłączonych do tych samych urządzeń redukcyjnych uważa się, że wartości emisji podane w stężeniu są takie same dla obu pieców. Współczynniki emisyjności dla takich pieców są obliczane poprzez pomnożenie wartości stężenia przez jednostkową objętość spalin dla danego pieca obliczoną zgodnie z punktem (4) powyżej.

W Tabeli 3.14 przedstawiono dane dotyczące emisji pyłu zarówno dla pełnego zakresu (100% danych) jak i dla 95tego percentyla (5 % – 95 % danych)

Tabela 3.14: Emisje pyłu z pieców produkujących szkło opakowaniowe z i bez systemu redukcji na podstawie badań FEVE (rok odniesienia 2005)

Emisje pyłu										
Emisje do powietrza z pieców wytopowych	Emisje wyrażone jako stężenia					Emisje wyrażone jako współczynnik emisyjności				
	Odnotowane dane	Wartości N°	mg/Nm ³ suchy, 8 % O ₂			Odnotowane dane	Wartości N°	Kg/tona wytopionego szkła		
			średnio	Min.	Max.			średnio	Min.	Max.
Bez wtórnego systemu odpylania	100%	137	150	17	430	100%	141	0,31	0,03	1,48
	5-95%	123	150	60	330	5-95%	127	0,28	0,10	0,58
Z wtórnym systemem odpylania	100%	92	10	0,01	57	100%	95	0,019	0,000014	0,11
	5-95%	81	9,2	1,5	26	5-95%	85	0,017	0,0016	0,050
Elektrofiltr	100%	74	11,2	1,0	57	100%	75	0,020	0,0020	0,106
	5-95%	65	10,2	3,7	27	5-95%	67	0,018	0,0046	0,053
Filtr workowy	100%	18	6,0	0,01	26	100%	20	0,013	0,000014	0,050
	5-95%	16	5,2	0,5	21	5-95%	18	0,012	0,00063	0,048

Pomiary emisji pyłów są szczególnie podatne na błędy, zarówno ze względu na zastosowane techniki jak i złożony charakter równowagi między różnymi związkami siarki, nawet wówczas gdy pomiary dokonywane są przez oficjalnie uznane niezależne laboratoria. Na przykład standardowa metoda (EN 13284-1(2003) monitorowania niskich poziomów pyłu wykazuje niedokładność rzędu około 3 mg/Nm³ przy pomiarze poziomu stężenia w zakresie 4–5 mg/Nm³. Niektóre z zanotowanych w tabeli wysokich i niskich wartości koncentracji pyłu mogą być wynikiem błędnych pomiarów. Niskie wartości odnotowane w tej tabeli dotyczące pieców bez wtórnego systemu redukcji uważane są za nierealistyczne, nawet te na poziomie 5%, podobne wątpliwości dotyczą wysokich wartości powyżej 95%.

Niski poziom pyłów (<100 mg/Nm³) przy braku wtórnego systemu redukcji można zaobserwować w szczególnych warunkach, jakkolwiek tak niskie wartości pojawiają się rzadko. Systemy redukcji pyłu skutecznie redukują emisje pyłu ze średniej wartości 150 mg/Nm³ bez zastosowania redukcji do średniej wartości 10 mg/Nm³ przy użyciu elektrofiltrów i do średniej wartości 5 mg/Nm³ przy użyciu filtra workowego. Należy podkreślić, że podane wartości pochodzą głównie z pomiarów oficjalnych dokonanych w ograniczonym przedziale czasu wynoszącym kilka godzin. Niskie wartości należy

traktować z ostrożnością zważywszy na ograniczoną dokładność metod pomiarowych. Abstrahując od możliwych błędów pomiarowych wyższe wartości wskazują na różnice w wydajności urządzeń redukcyjnych.

Czynniki, które mogą wpłynąć na skuteczność systemów wtórnej redukcji (elektrofiltry i filtry workowe) zostały omówione w podrozdziale 4.4.1.2 i 4.4.1.3.

W Tabeli 3.15 przedstawiono wartości dotyczące emisji tlenków siarki (SO_x) zarówno dla pełnego zakresu (100% danych, jak i 95tego percentyla (5%-95% danych)).

Emisje SO_x z topienia szkła opakowaniowego są zgodne z zasadami bilansu masowego dla siarki, gdzie nakłady pochodzą z siarki zawartej w paliwach (szczególnie ciężkim oleju opałowym), siarczanów dodanych do zestawu i, w zależności od rodzaju szkła, siarki zawartej w stłuczce zewnętrznej. Jedynie część siarki dodanej do zestawu (surowce plus stłuczka) wchodzi w skład produktu szklarskiego; nadmiar jest usuwany wraz z gazami spalinowymi lub odkłada się jako pył pofiltracyjny. Dane dotyczące emisji w Tabeli 3.15 zostały zatem podzielone ze względu na rodzaj pieca: opalany gazowo, opalany olejem i opalany mieszanką paliwa. Należy mieć na uwadze, że wybór paliwa nie należy do zakresu BAT i zależy od strategii i polityki energetycznej poszczególnych Państw Członkowskich.

W przypadku SO_x, niskie wartości (<300 mg/Nm³) pojawiają się przy stosowaniu odsiarczonego paliwa, niskiej zawartości siarki w zestawie i stłuczki szklanej bez nadmiaru SO_x. Wysokie wartości jednoznacznie wskazują na użycie zasiarzonego paliwa, którego stosowanie w UE stale spada.

W przypadku pieców opalanych gazem zawartość siarki w paliwie jest nieznaczna i emisje SO_x odzwierciedlają ilość siarki wprowadzoną do zestawu (surowiec plus stłuczka) przy szerokim zakresie wartości emisji, co ukazano w Tabeli 3.15. Jednakże zarówno wartości minimalne i maksymalne odnotowane dla całego 100% zakresu (odpowiednio 3 i 2100 mg/Nm³) wydają się błędne w stosunku do realistycznych założeń bilansu masowego. Udział zestawu w bilansie znacznie różni się w całym zakresie wartości 95tego percentyla, począwszy od stężeń w wysokości 100 mg/Nm³ do 1000 mg/Nm³, ze średnią wartością około 500 mg/Nm³.

Dane uzyskane z badań FEVE wskazują, że cały pył pofiltracyjny (lub ponad 90%) jest zwracana do stopionej masy szklanej. Dzieje się tak w 80% pieców wyposażonych we wtórny system redukcji pyłu. W pozostałych 20% nie stosuje się recyklingu pyłu.

Recykling pyłu pofiltrowego może być ograniczony przez chemiczną kompatybilność pyłu z wymaganą jakością szkła oraz potencjalne trudności związane z cechami fizycznymi pyłu.

Na podstawie danych w Tabeli 3.15 można zaobserwować, że tam gdzie zainstalowano wtórny system redukcji pyłu minimalne wartości emisji wydają się wzrastać (co wpływa na wartości średnie), nawet w zakresie wartości 95tego percentyla. Tendencję tą można wyjaśnić wyższymi początkowymi poziomami emisji SO_x w instalacjach z systemem płuczącym i, częściowo, efektami recyklingu pyłu pofiltrowego.

Przeciwnie skutki można zaobserwować w przypadku pieców opalanych olejem, chociaż tutaj uzyskane wartości również zależą od różnic w zawartości siarki w oleju opałowym. Ten możliwy efekt maskujący wyraźniej widać w wartościach odnoszących się do pieców opalanych mieszanką paliw, gdzie niższe wartości uzyskane dla pieców z wtórnym systemem odpylania odnoszą się do pieców opalanych mieszanką zawierającą wyższą proporcję gazu ziemnego (dla uzyskanych danych średnia proporcja gazu ziemnego dla pieców z redukcją pyłu wynosi 79% w porównaniu z 53% dla pieców bez systemu redukcji pyłów).

W oparciu o wyliczenia statystyczne, opalanie olejem zwiększa średnią wartość emisji z danego pieca o około 800 mg/Nm³, w stosunku do opalania gazem ziemnym, co odpowiada średniej zawartości siarki w oleju opałowym poniżej 1% (dotyczy pieców z badań FEVE).

Tabela 3.15 Emisje SOx z pieców do produkcji szkła opakowaniowego, z i bez systemów redukcji, na podstawie badań FEVE (rok odniesienia 2005)

Emisje SOx (1)										
Emisje do powietrza z pieców wytopowych	Emisje wyrażone jako stężenia					Emisje wyrażone jako współczynnik emisyjności				
	Odnotowane dane	Wartości N°	mg/Nm3 suchy, 8 % O2			Odnotowane dane	Wartości N°	Kg/tona wytopionego szkła		
			średnio	Min.	Max			średnio	Min.	Max
Opalanie gazem ziemnym	100%	141	490	3	2100	100%	150	0,80	0,00	2,00
	5-95%	127	460	110	1100	5-95%	127	0,88	0,20	2,00
Bez wtórnego systemu odpylania	100%	88	470	3	1830	100%	92	0,90	0,00	3,00
	5-95%	76	439	93	950	5-95%	82	0,83	0,16	2,01
Z wtórnym systemem odpylania (2)	100%	53	530	150	2100	100%	58	0,90	0,00	3,10
	5-95%	46	498	233	1050	5-95%	52	0,86	0,25	2,23
Opalanie olejem opalowym	100%	45	1260	350	2200	100%	45	2,40	0,80	4,60
	5-95%	39	1300	750	1700	5-95%	39	2,41	1,41	3,20
Bez wtórnego systemu odpylania	100%	24	1260	510	2200	100%	25	2,50	0,80	4,60
	5-95%	20	1366	983	2188	5-95%	21	2,49	1,28	4,07
Z wtórnym systemem odpylania (2)	100%	21	1260	350	1660	100%	20	2,30	1,10	3,90
	5-95%	20	1310	770	1662	5-95%	18	2,25	1,13	3,42
Opalanie mieszkanką oleju opalowego i gazu (3)	100%	41	705	84	1498	100%	41	1,22	0,13	3,54
	5-95%	34	749	139	1250	5-95%	37	1,19	0,17	2,18
Bez wtórnego systemu odpylania	100%	22	919	369	1498	100%	22	1,59	0,63	3,54
	5-95%	18	925	554	1250	5-95%	18	1,54	0,94	2,18
Z wtórnym systemem odpylania (2)	100%	19	456	84	1123	100%	19	0,79	0,13	2,09
	5-95%	14	575	139	1123	5-95%	17	0,76	0,17	1,74

(1) Emisje SOx tradycyjnie wyraża się jako ilość równoważną SO2
(2) System wtórnej redukcji pyłów (elektrofiltr lub filtr workowy) zazwyczaj obejmuje oczyszczanie gazów kwaśnych przy pomocy płukania suchego lub półsuchego w celu usunięcia kwaśnych emisji gazowych i/lub uniknięcia zatoru/korozji systemu filtrów. Pył pofiltracyjny jest z reguły poddawany recyklingowi i zwracany do pieca, a zatem nie można traktować tego jako redukcji SOx. Dodanie go do składu zestawu może wpłynąć na całkowitą emisję SOx, zgodnie z całkowitym bilansem masowym siarki.
(3) Dane dotyczące opalania mieszkanką oleju i gazu podane w badaniach wahają się co do zawartości gazu ziemnego od 73 do 98% (czyli 83 do 2% oleju opalowego), co daje średnią całkowitą wartość 65% gazu ziemnego (dla pojedynczego pieca).

Źródło: [64, FEVE 2007][126, FEVE 2009]

W Tabeli 3.16 przedstawiono wartości dotyczące emisji tlenków azotu (NOx) zarówno dla pełnego zakresu (100% danych), jak i 95tego percentyla (5%-95% danych).

Tabela 3.16 Emisje NO_x z pieców do produkcji szkła opakowaniowego dla różnych rodzajów paliwa i technologii pieców, na podstawie badań FEVE (rok odniesienia 2005)

Emisje NO _x (1)											
Emisje do powietrza z pieców wytopowych		Emisje wyrażone jako stężenia					Emisje wyrażone jako współczynnik emisyjności				
		Odnotowane dane	Wartości N°	mg/Nm ³ suchy, 8 % O ₂			Odnotowane dane	Wartości N°	Kg/tona wytopionego szkła		
				średnio	Min.	Max			średnio	Min.	Max
Bez systemu redukcji (środków podstawowych)											
Rodzaj paliwa	Rodzaj pieca										
Wszystkie	Wszystkie	100%	144	1211	384	3355	100%	144	2,30	0,60	9,30
		5-95%	127	1171	685	2100	5-95%	128	2,15	1,05	4,40
Gaz ziemny	Wszystkie	100%	99	1259	384	3355	100%	99	2,46	0,57	9,32
		5-95%	88	1222	700	2300	5-95%	88	2,32	1,13	4,57
Olej opałowy	Wszystkie	100%	25	1170	840	1990	100%	25	2,00	1,20	3,20
		5-95%	20	1139	850	1538	5-95%	21	1,94	1,31	3,08
Mieszanka gazowo-olejowa	Wszystkie	100%	20	1025	547	2324	100%	20	1,87	0,91	5,13
		5-95%	18	980	588	1687	5-95%	18	1,75	0,93	2,97
Wszystkie	U-płomienny	100%	83	1165	384	3355	100%	83	2,2	0,57	9,3
		5-95%	73	1121	671	1993	5-95%	73	2,0	0,96	4,0
Wszystkie	Poprzeczno-płomienny	100%	41	1391	650	2850	100%	41	2,5	1,10	5,6
		5-95%	37	1356	814	2324	5-95%	37	2,4	1,43	4,5
Wszystkie	Rekuperacyjny	100%	20	1037	725	1725	100%	20	2,5	1,23	8,3
		5-95%	18	1016	785	1699	5-95%	18	5,3	1,50	4,0
Podstawowy system redukcji (z wyjątkiem opalania tlenowo-paliwowego)											
Wszystkie	Wszystkie	100%	86	915	424	2112	100%	86	1,83	0,65	5,57
		5-95%	76	884	521	1680	5-95%	76	1,72	0,83	3,85
Gaz ziemny	Wszystkie	100%	48	1000	420	2100	100%	50	1,90	0,30	5,00
		5-95%	42	977	605	1725	5-95%	44	1,86	0,72	3,88
Olej opałowy	Wszystkie	100%	19	750	430	1730	100%	19	1,70	0,30	5,60
		5-95%	17	710	521	941	5-95%	17	1,53	0,65	3,38
Mieszanka gazowo-olejowa	Wszystkie	100%	19	852	427	1655	100%	19	1,49	0,80	3,76
		5-95%	17	830	543	1600	5-95%	17	1,39	0,83	3,02
Wszystkie	U-płomienny	100%	65	925	424	2112	100%	65	1,8	0,65	5,6
		5-95%	58	902	543	1725	5-95%	57	1,7	0,83	3,8
Wszystkie	Poprzeczno-płomienny	100%	12	1029	543	1680	100%	12	2,1	0,80	4,4
		5-95%	10	1003	714	1600	5-95%	10	1,9	0,99	3,7
Wszystkie	Rekuperacyjny	100%	9	687	427	1256	100%	9	1,7	0,95	3,4
		5-95%	7	643	428	925	5-95%	7	1,6	1,06	2,2
Wtórny system redukcji (SCR)			4	460	460	460	100%	4	0,81	0,69	0,95
Opalanie tlenowo-paliwowe							100%	8	0,54	0,23	0,88
(1) Emisje NO _x tradycyjnie wyraża się jako ilość równoważną NO ₂											
Źródło: [64, FEVE 2007][126, FEVE 2009]											

Według zgromadzonych danych 35% pieców posiadało podstawowe systemy redukcji emisji NO_x (np. palniki niskoemisyjne, opalanie etapowe, recyrkulacja gazów wylotowych). Gdy porównamy wartości uzyskane przy zastosowaniu podstawowych środków redukcji i bez zastosowania takich środków to ogólna średnia wartość emisji (wszystkie piece i rodzaje paliwa) zmniejszyła się z 1200 mg/Nm³ do ~900 mg/Nm³.

Jednakże w obu przypadkach szeroki zakres odnotowanych danych wskazuje na różnorodność sytuacji

występujących w praktyce. Niskie wartości emisji NO_x (<600 mg/Nm³ lub <1 kg/t stopionego szkła) zaobserwowano w przypadku niektórych pieców w 100% zestawie danych nie posiadających systemu podstawowej redukcji. Wyniki te można wyjaśnić szczególnymi, korzystnymi warunkami eksploatacji oraz ustawieniami pieca, które nie koniecznie wiążą się z normalnym działaniem.

Porównanie danych dotyczących emisji dla różnych rodzajów paliw oraz pieców potwierdza, że opalanie olejem opałowym lub mieszkanką gazowo-olejową skutkuje niższymi emisjami NO_x niż opalanie gazem ziemnym, oraz, że piece U-płomieniowe i rekuperacyjne uwalniają mniej NO_x niż piece opalane poprzecznie. Czynniki, które mogą mieć wpływ na te wyniki opisano w podrozdziale 4.4.2.

Wysokie wartości (>2000 mg/Nm³) mogą mieć miejsce jedynie w szczególnych przypadkach, np.: gdy konieczne jest zastosowanie azotanów jako środków klarujących/utleniających, lub dla pewnych istniejących konstrukcji pieca, w których lokalna temperatura płomienia jest wysoka i/lub następuje trudne do uniknięcia, niekontrolowane przenikanie powietrza do płomienia.

W roku odniesienia (2005) w UE wtórny system redukcji NO_x (selektywna redukcja katalityczna SCR) stosowany był tylko w jednej hucie szkła opakowaniowego (4 piece podłączone do wspólnego systemu SCR).

Dane z ośmiu pieców opalanych mieszkanką tlenowo-paliwową objętych tym badaniem zostały przedstawione jedynie jako jednostkowe przepływy masy ponieważ nie jest możliwe porównanie stężeń ze stężeniami osiąganymi przez piece paliwowo-powietrzne w oparciu o wspólną podstawę (8 % O₂) i, jak przewidywano, odnotowano wartości poniżej 1 kg/tony wytopionego szkła.

W Tabeli 3.17 przedstawiono wartości dotyczące emisji HCl i HF dla pełnego zakresu danych (100 % danych) i 95tego percentyla (5 % – 95 % danych) .

Tabela 3.17: Emisje HCl i HF dla pieców z i bez systemu redukcji stosowanych w branży opakowań szklanych, w oparciu o badania FEVE (rok odniesienia 2005)

Emisje HCl i HF										
Emisje do powietrza z pieców wytopowych	Emisje wyrażone jako stężenia					Emisje wyrażone jako współczynnik emisyjności				
	Odnotowane dane	Wartości N°	mg/Nm ³ suchy, 8 % O ₂			Odnotowane dane	Wartości N°	Kg/tona wytopionego szkła		
			średnio	Min.	Max			średnio	Min.	Max.
HCl										
Wszystkie wartości	100%	206	17	1,0	107	100%	215	0,03	0	0,17
	5-95%	185	16	1,1	37	5-95%	193	0,028	0,0023	0,071
Bez wtórnego systemu odpylania (1)	100%	116	17	1,0	48	100%	121	0,030	0,0007	0,116
	5-95%	99	17	1,4	39	5-95%	109	0,029	0,0018	0,079
Z wtórnym systemem odpylania	100%	90	17	1,0	107		94	0,029	0,0018	0,170
	5-95%	80	16	3,7	29		84	0,027	0,0047	0,059
HF										
Wszystkie wartości	100%	204	3,0	0,0	74	100%	211	0,0072	0,0002	0,267
	5-95%	178	2,5	0,39	11	5-95%	189	0,018	0,00068	0,021
Bez wtórnego systemu odpylania	100%	116	5,0	0,00	74	100%	121	0,013	0,00040	0,267
	5-95%	105	3,7	0,41	14	5-95%	109	0,012	0,00074	0,022
Z wtórnym systemem odpylania (1)	100%	88	2,0	0,00	13		92		0,0004	0,028
	5-95%	78	1,4	0,20	4		82		0,0045	0,007
(1) System wtórnej redukcji pyłów (elektrofiltr lub filtr workowy) zazwyczaj obejmuje oczyszczanie gazów kwaśnych przy pomocy płukania suchego lub półsuchego w celu usunięcia kwaśnych emisji gazowych i/lub uniknięcia zatoru/korozji systemu filtrów. Absorpcja HCl i HF zależy od rodzaju zastosowanego odczynnika. Pył pofiltracyjny jest z reguły poddawany recyklingowi i zwracany do pieca, a zatem nie można traktować tego jako redukcji HCl/HF .										
Źródło 64, FEVE 2007][126, FEVE 2009]										

Niskie wartości HCl (<10 mg/Nm³) można zaobserwować w przypadku stosowania węgla sodu o niskiej zawartości chlorków (z naturalnego złoża) i wysokiego dodatku stłuczki szklanej. Należy zauważyć, że dla wysokiego lokalnego poziomu recyklingu, związanego z recyklingiem pyłów pofiltracyjnych, będzie wzrastać ilość chlorków w surowych gazach odlotowych, szczególnie przy

zastosowaniu tego samego systemu do redukcji chlorków pochodzących z procesu uszlachetniania powierzchni na gorąco. W tym przypadku instalacja systemu wtórnej redukcji (elektrofiltr lub filtr workowy w połączeniu z oczyszczaniem spalin w dalszej części procesu przy pomocy odczynnika zasadowego) nie musi być związana z najniższym stopniem emisji, zwłaszcza że warunki odsiarczania nie muszą być korzystne dla odchlorowywania przy użyciu tego samego absorbentu. Zdolność odczynników zasadowych do usuwania różnych zanieczyszczeń gazowych (SO_x, HCl, HF) omówiono w podrozdziale 4.4.3.3.

Fluorki stanowią nieistotne zanieczyszczenia w niektórych surowcach naturalnych. Mogą również występować jako domieszki w szkłe przeznaczonym do wtórnego wykorzystania (np. ze szkła opalowego zawierającego fluor, mogącego znaleźć się w niewielkich ilościach w stłuczce szklanej mimo stawianych jej wymagań technicznych). Nie można sformułować ogólnych wniosków na temat niskich wartości emisji fluorków, chociaż mogą one być związane zarówno z niewielką ilością szkła z recyklingu i/lub zastosowaniem wtórnego systemu redukcji.

W przypadku HCl wtórna redukcja w postaci elektrofiltrów lub filtrów workowych w połączeniu z oczyszczaniem spalin w dalszej części procesu przy pomocy odczynnika zasadowego i recyklingiem pyłu osadczego może wiązać się z niższym lub wyższym stopniem emisji HF, co odpowiada bardzo korzystnym lub bardzo niekorzystnym przypadkom, w zależności od parametrów (typ odczynnika, warunki pracy, poziom nakładów).

W Tabeli 3.18 przedstawiono wartości dotyczące emisji metali zarówno dla pełnego zakresu (100 % danych) i 95-tego percentyla (5 % – 95 % danych), z i bez zastosowania systemu wtórnej redukcji

W nieoczyszczonych gazach odlotowych można zaobserwować niskie wartości emisji metali (<1 mg/Nm³) w korzystnych warunkach, a zwłaszcza przy niskim poziomie stłuczki (dla zanieczyszczeń ołowiem), niskiej koncentracji wanadu w spalonym paliwie i braku selenu w surowcach (z wyjątkiem niektórych bezbarwnych szkieł flint). Wysoki poziom emisji metali (>5 mg/Nm³) jest głównie wynikiem stosowania dużej ilości stłuczki (ołów), spalania paliwa lub produkcji flintów - wysoko bezbarwnych szkieł optycznych (selen).

Tabela 3.18 Emisje metali z pieców do produkcji szkła opakowaniowego z i bez systemów redukcji, na podstawie badań FEVE (rok odniesienia 2005)

Emisje metali (1)											
Emisje do powietrza z pieców wytopowych		Emisje wyrażone jako stężenia					Emisje wyrażone jako współczynnik emisyjności				
		Odnotowane dane	Wartość i N°	mg/Nm ³ suchy, 8 % O ₂			Odnotowane dane	Wartość i N°	Kg/tona stopionego szkła		
				średnio	Min.	Max.			średnio	Min.	Max.
Pb	Bez wtórnego systemu odpylania	100%	135	1,7	0	22	100%	135	0,0028	0	0,0296
		5-95%	98	1,4	0,0001	9,5	5-95%	98	0,0025	0,0000002	0,013
	Z wtórnym systemem odpylania	100%	95	0,2	0	2,0	100%	95	0,0003	0	0,003
		5-95%	77	0,21	0,000	0,90	5-95%	75	0,00032	0,0000011	0,0012
Se	Bez wtórnego systemu odpylania	100%	110	0,67	0	10,0	100%	110	0,00133	0	0,0184
		5-95%	65	0,55	0,008	3,75	5-95%	65	0,0012	0,000010	0,0065
	Z wtórnym systemem odpylania	100%	87	0,13	0	1,88	100%	87	0,0002	0	0,0030
		5-95%	67	0,09	0,001	0,76	5-95%	67	0,00014	0,000001	0,0012
Cd	Bez wtórnego systemu odpylania	100%	119	0,04	0	1,10	100%	119	0,00007	0	0,0015
		5-95%	75	0,038	0,00001	0,13	5-95%	75	0,03824	0,00001	0,1300
	Z wtórnym systemem odpylania	100%	81	0,014	0	0,15	100%	81	0,00002	0	0,00027
		5-95%	56	0,013	0,0001	0,08	5-95%	56	0,000022	0,0000001	0,00010
As	Bez wtórnego systemu odpylania	100%	134	0,284	0	20	100%	134	0,00052	0	0,040
		5-95%	92	0,13	0,0000	0,67	5-95%	92	0,00024	0,00000001	0,0010
	Z wtórnym systemem odpylania	100%	74	0,04	0	0,47	100%	74	0,00007	0	0,00078
		5-95%	51	0,036	0,0002	0,10	5-95%	51	0,000062	0,0000004	0,00021
Ni	Bez wtórnego systemu odpylania	100%	135	0,10	0	1,0	100%	135	0,00021	0	0,0030
		5-95%	90	0,11	0,000009	0,37	5-95%	90	0,0001931	0,00000002	0,0008

	Z wtórnym systemem odpylania	100%	85	0,03	0	0,27	100%	85	0,000048	0	0,00048
		5-95%	61	0,022	0,0004	0,083	5-95%	61	0,000038	0,000001	0,00022
Cr	Bez wtórnego systemu odpylania	100%	136	0,31	0	6,60	100%	136	0,0005	0	0,0103
		5-95%	96	0,22	0,000009	0,37	5-95%	96	0,00038	0,0000002	0,0023
	Z wtórnym systemem odpylania	100%	86	0,03	0	0,4	100%	86	0,00005	0	0,0007
		5-95%	58	0,025	0,00013	0,11	5-95%	58	0,000044	0,0000004	0,00020
(1) Metale występują głównie w emisjach pyłowych a zatem stosuje się te same granice dokładności pomiaru, jak w przypadku pomiarów pyłu. Wartości zerowe w 100% zakresie odpowiadają wartościom poniżej granicy oznaczalności											
Źródło [64, FEVE 2007][126, FEVE 2009]											

3.3.2.3 Operacje technologiczne następujące po procesie topienia

Procesy uszlachetniania powierzchni opakowań szklanych „na gorąco” jak i obróbka powierzchniowa na zimno mogą powodować wzrost emisji pyłów i oparów, głównie HCl i związków cyny.

Do uszlachetnienia powierzchni opakowań szklanych na gorąco (powierzchnia zewnętrzna) zwykle używa się chlorku cyny (IV), cyny organicznej (butylochlorocynian) lub czterochlorku tytanu, które tworzą bardzo cienką warstwę tlenku cyny lub tlenku tytanu na powierzchni szkła. W szczególnych przypadkach uszlachetnieniu poddaje się wewnętrzną powierzchnię opakowań szklanych. Dzieje się tak zwłaszcza w przypadku opakowań przeznaczonych na produkty farmaceutyczne, gdzie stosuje się uszlachetnianie przy pomocy SO₃, aby skutecznie wyeliminować z powierzchni szkła ługowalne jony sodu i wapnia. W innych szczególnych przypadkach do butelek/fiolek natychmiast po ich uformowaniu wstrzykiwany jest 1.1 difluoroetan, aby utworzyć zmodyfikowaną wewnętrzną powierzchnię kontaktową działającą jako bariera dla migrujących jonów. Dodatkowo metoda ta zapobiega pojawieniu się plam na wewnętrznej stronie niektórych opakowań szklanych, które powstają w wyniku długiego składowania w bardzo wilgotnym klimacie. Stosuje się w tym celu bardzo małą ilość materiału.

Poziom emisji jest różny dla poszczególnych procesów i zależy od wielu czynników, szczególnie od ilości powietrza zużytego w odciągach stosowanych do wychwytywania nadmiaru oparów. W Tabeli 3.19 podano zakres typowych wartości emisji związanej z uszlachetnianiem powierzchni przy pomocy chlorku cyny, bez zastosowania systemu redukcji.

Tabela 3.19: Typowe wartości emisji nie poddanej redukcji powstałej w wyniku uszlachetniania powierzchni szkła opakowaniowego chlorkiem cyny

Zanieczyszczenie	Emisje wyrażone jako stężenia	Emisje wyrażone jako współczynnik emisyjności
	mg/Nm ³	g/t wytopionego szkła
Gazowe chlorki jako HCl	15-300	3-30
Całkowita ilość pyłu	5-50	1-70
Cyna jako Sn (gaz+pył)	1-30	0,2-0,8
Źródło: [84, Italy Report 2007]		

Należy zauważyć, że w znacznej liczbie instalacji emisje z urządzeń do uszlachetniania powierzchni na gorąco są oczyszczane w tych samych systemach redukcji co gaz spalinowy z pieca. Tam, gdzie

emisje z powlekania powierzchni na ciepło są oczyszczane osobno, typowe poziomy stężenia wynoszą <math><10 \text{ mg/Nm}^3</math> dla cząstek pyłu, <math><5 \text{ mg/Nm}^3</math> dla Sn i <math><30 \text{ mg/Nm}^3</math> dla HCl.

Typowe wartości emisji z uszlachetniania wewnętrznej powierzchni opakowań szklanych przy użyciu SO_2/SO_3 , przed oczyszczaniem gazu odlotowego (zwykle przez płukanie na mokro) zwykle mieszczą się w zakresie podanym w Tabeli 3.20.

Tabela 3.20: Typowe wartości emisji nie poddanej redukcji powstałej w wyniku uszlachetniania powierzchni szkła opakowaniowego przy użyciu SO_3

Zanieczyszczenie	Emisje wyrażone jako stężenia	Emisje wyrażone jako współczynnik emisyjności
	mg/Nm ³	g/t wytopionego szkła
Tlenki siarki jako SO_2	200-900	100-600
Źródło: [84, Italy Report 2007]		

Poziomy stężenia Sox po oczyszczeniu mieszczą się zazwyczaj w zakresie <math><100 - 200 \text{ mg/Nm}^3</math> wyrażonym jako SO_2 .

Emisja masowa z operacji następujących po procesach topienia jest raczej niska ze względu na niskie zużycie odpowiednich substancji, natomiast stężenia w znacznym stopniu zależą od ilości powietrza zastosowanego do wentylacji. Metody kontroli tej emisji przedstawiono w podrozdziale 4.5.1.

Emisje cząstek stałych mogą być spowodowane przez piasek i/lub stłuczkę składowaną na otwartej przestrzeni i wycieki z silosów magazynowych. Emisje gazowe mogą być wywołane magazynowaniem i transportem cieczy lotnych i /lub chemikaliów.

3.3.2.4 Emisje rozproszone i lotne

Głównymi źródłami emisji rozproszonych/niezorganizowanych w sektorze szkła opakowaniowego są: obszar zasypu do pieca, kanały zasilacza, obszar formowania i obróbka powierzchni.

Szczególnym problemem związanym z obszarem zasypu jest rozkurz składników zestawu (emisje pyłu) i rozkład materiałów organicznych, które mogą występować w stłuczce. Z kanałów zasilacza mogą być uwalniane gazy powstające na skutek spalania oraz produkty parowania. Maszyny formujące w obszarze formowania mogą być wysoce zmechanizowane, co może spowodować mgły oleju smarowego. Gazy ze spalania mogą również być spowodowane przez ciepłą obróbkę form oraz przez odprężarkę.

Obróbka powierzchni na zimno mgły organiczne tzn. polietylen i kwas oleinowy. Te szczególne przypadki zazwyczaj podlegają przepisom BHP w miejscu pracy; są one kontrolowane zgodnie z poziomami narażenia w miejscu pracy i nie stanowią istotnych emisji do powietrza.

3.3.3 Emisje zanieczyszczeń do środowiska wodnego

[19, CPIV 1998]

Jak przedstawiono wcześniej, woda w produkcji szkła jest stosowana głównie do czyszczenia, w wodnych systemach chłodzących oraz do chłodzenia odpadów gorącego szkła i nawilżania zestawu. Emisja do środowiska wodnego ogranicza się do zanieczyszczeń usuniętych z systemu chłodzącego, wody używanej do oczyszczania oraz odpływu wód powierzchniowych ze składowisk. Wody stosowane do czyszczenia nie powodują szczególnych problemów, które nie byłyby powszechne dla większości urządzeń przemysłowych, np. obojętne cząstki stałe, oleje. Zanieczyszczenia wody z systemu chłodzącego mogą zawierać rozpuszczone sole i substancje do demineralizacji wody. Jakość wód powierzchniowych będzie zależeć od stopnia segregacji odprowadzanych ścieków oraz stanu czystości zakładu.

Tylko układ chłodzący i rozdrabnianie odpadów gorącego szkła są charakterystyczne dla tego sektora. Woda obiegowa może zawierać drobne kawałki szkła z procesu rozdrabniania oraz z mechanicznego systemu szlifowania, stosuje się więc separatory/odsączanie szkła z kanałów wodnych. Rynny

kierujące szkło do zbiorników mogą również zawierać niewielką ilość smaru maszynowego oraz oleju lub wodnej mieszaniny rozpuszczalnych w wodzie substancji smarnych używanych do smarowania nożyc i urządzeń podających. Obieg wodny zwykle jest wyposażony w separatory cząstek stałych i olejów, i może być również wykorzystany do uzyskania odpowiedniej temperatury podczas zmiany form lub podczas awarii urządzenia formującego, gdy zachodzi potrzeba ochłodzenia dużej ilości gorącego szkła. Odseparowane cząstki szkła są zwykle powtórnie wykorzystywane jako surowce. Użycie otwartego systemu chłodzenia jest zwykle dopuszczalne przy bardzo groźnych, lecz rzadkich awariach, kiedy bardzo duża ilość gorącego szkła musi zostać ochłodzona (większy przeciek z pieca lub sytuacja wywołująca przerwanie procesu formowania).

Wyłączając ścieki gospodarcze, emisja zanieczyszczeń do środowiska wodnego dotyczy głównie stałych cząstek szkła, zanieczyszczenia smarami, i substancjami chemicznymi do uzdatniania wody dla systemu chłodzącego. W całej branży stosuje się nieskomplikowane techniki ograniczania zanieczyszczeń takie jak sedymentacja, przesiewanie, separacja olejów, neutralizacja.

3.3.4 Inne odpady

[19, CPIV 1998]

We wszystkich przypadkach, oprócz sytuacji wyjątkowych, branża szkła opakowaniowego charakteryzuje się tym, że wszystkie odpady poprodukcyjne mogą być ponownie przetworzone bezpośrednio w hucie. Do tych odpadów zalicza się odpady z procesu formowania i stanowisk kontroli jakości oraz odpady z zestawiarni, urządzeń odpylających, osady siarczanów w kanałach kominowych powstałe ze spalin pieców wytopowych.

W sektorze szkła opakowaniowego większość odpadów produkcyjnych jest przetwarzana bezpośrednio w zakładzie. Do tych odpadów zalicza się odpady z procesu formowania i stanowisk kontroli jakości oraz odpady z zestawiarni, urządzeń odpylających, osady siarczanów w kanałach kominowych powstałe ze spalin pieców wytopowych. Jednakże powstaje strumień pyłu osadowego jeśli jest wymagana całkowita redukcja SO_x powyżej poziomu, który jest możliwy poprzez zastąpienie pyłu pofiltracyjnego surowcami zawierającymi siarkę, lub jeśli recykling pyłu pofiltracyjnego powoduje problemy dla szkła w zakresie właściwości chemicznych szkła lub czystości koloru. Może tak dziać się również przy zastosowaniu wysokich ilości stłuczki.

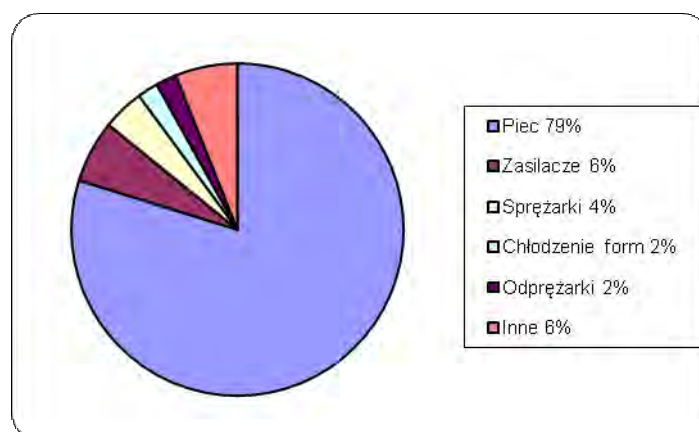
Po zakończeniu kampanii pieca cała konstrukcja z materiałów ogniotrwałych jest demontowana i wymieniana. W wyniku tych operacji powstaje jakieś 500 do 2000 ton zużytych materiałów ogniotrwałych, które są sortowane i w dużym stopniu regenerowane. Tylko niewielka ilość tych materiałów nie nadaje się do waloryzacji i jest kierowana na składowisko odpadów, w razie potrzeby po wcześniejszej odpowiedniej obróbce. Niektóre materiały (np. ogniotrwałe materiały krzemionkowe) mogą być mielone i ponownie użyte w piecu.

Bardzo często surowce szklarskie dostarczane są bez opakowania i nie powodują wzrostu odpadów materiałów opakowaniowych. Odpady materiałowe z procesu pakowania (tworzywa sztuczne, kartony, drewno) są zwykle ponownie używane, przetwarzane przez dostawców lub wykorzystywane w inny właściwy sposób. Inne odpady nie specyficzne dla przemysłu szklarskiego np. zużyte oleje, bębny oraz inne materiały opakowaniowe, papier, akumulatory, tłuste szmaty, itd. są usuwane konwencjonalnymi metodami lub, jeśli to możliwe, przetwarzane przez inne zakłady.

3.3.5 Energia

[19, CPIV 1998] [15, ETSU 1992]

W sektorze produkcji masowej butelek i słoików energia konieczna do topienia szkła stanowi ponad 75 % całkowitego zapotrzebowania na energię w produkcji szkła opakowaniowego. W przypadku produkcji szkła perfumeryjnego energia potrzebna do topienia może stanowić jedynie 50% całkowitej energii zużywanej w zakładzie, co wynika z niskiego tempa produkcji oraz niskich wag, oraz stosowania specjalnych technik takich jak polerowanie i zdobienie. Inne znaczące obszary zużycia energii to zasilacze, proces formowania (sprężone powietrze i chłodzenie form powietrzem), odprężanie, urządzenia pomocnicze i ogrzewanie zakładu). Typowe zużycie energii w kolejnych etapach procesu produkcyjnego przedstawiono na Rysunku 3.3.



Rysunek 3.3 Zużycie energii w produkcji szkła opakowaniowego – typowe butelki, słoiki (nie reprezentatywne dla zakładów produkujących opakowania dla perfum/kosmetyków)

Podstawowym źródłem energii potrzebnej do topienia jest olej opałowy lub gaz ziemny, czasami z niewielkim dogrzewem elektrycznym (do 5 %). Rzadko stosuje się wyłącznie topienie elektryczne. Zasilacze i odprężarki tunelowe są ogrzewane gazowo lub elektrycznie. Energię elektryczną stosuje się do napędu sprężarek i wentylatorów koniecznych w procesie produkcyjnym. Energia jest również potrzebna dla urządzeń pomocniczych, do których należą pompownie wody i zazwyczaj generatory pary wodnej wytwarzanej do magazynowania oleju opałowego i przewodów grzejnych, nawilżania/podgrzewania zestawu oraz czasami do ogrzewania budynków. W niektórych przypadkach większe piece są wyposażone w kotły odzysknicowe, które wytwarzają część zużywanej przez zakład pary wodnej.

Zużycie energii w procesie produkcyjnym zależy od wielu czynników, z których najważniejsze nakreślono w podrozdziale 3.2.3.

Tabela 3.21 zawiera dane dotyczące całkowitego bezpośredniego zużycia energii w procesie produkcyjnym na tonę produktu. Dane pochodzą z badań FEVE dotyczących produkcji butelek/słoików i szkła perfumeryjnego. Przedstawiono zarówno pełen zakres (100%) danych jak i 95% percentyl (5 % – 95 % danych)

Tabela 3.21: Całkowite bezpośrednie zużycie energii (zakład) na tonę produktu, w oparciu o badania FEVE dotyczące produkcji butelek/słoików i szkła perfumeryjnego i aptecznego.

Rodzaj produktu	Odnoteowane dane	Wartości N°	Całkowite jednostkowe zużycie energii (GJ/NCV (1) tona produktu netto)		
			średnio	Min.	Max.
Wszystkie typy produktu	100%	65	8,7	3,7	31,5
	5-95%	57	7,7	5,3	16,8
Produkcja butelek i słoików	100%	52	6,9	3,7	13,4
	5-95%	46	6,9	4,7	8,5
Produkcja szkła perfumeryjnego i aptecznego	100%	13	16,1	7,2	31,5
	5-95%	11	15,5	8,3	30,9

(1) NCV – wartość opałowa netto (net calorific value) dla paliw kopalnych i elektryczności zgodnie z ich zużyciem (bez uwzględnienia równorzędności zużycia energii pierwotnej)

Źródło [126, FEVE 2009]

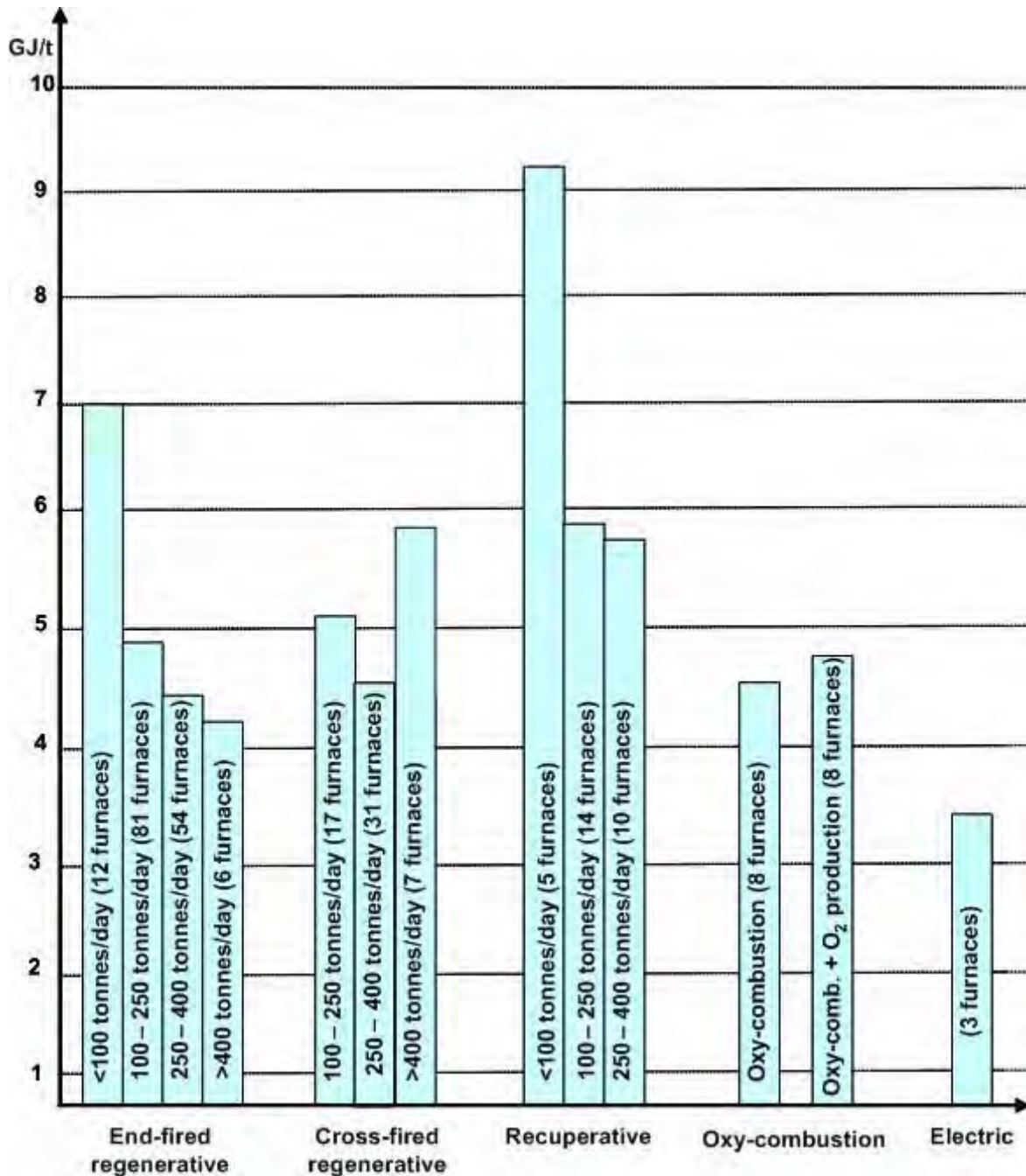
Szkło perfumeryjne i apteczne (specjalne flakoniki i słoiki na perfumy, kosmetyki i środki

farmaceutyczne) cechuje się o wiele wyższym jednostkowym zużyciem energii niż masowo produkowane butelki i słoiki. Wyższa temperatura i dłuższy czas przebywania w piecu potrzebny do wytopu wysokiej jakości szkła (szkło perfumeryjne bądź apteczne) zwiększa zużycie energii. Te produkty szklane są z reguły wytwarzane w mniejszych piecach, które ze swojej natury cechują się mniejszą wydajnością niż duże piece wytopowe. Ponadto w przypadku tych produktów energia potrzebna jest również do specjalnych czynności wykończeniowych wykonywanych w zakładzie, takich jak polerowanie za pomocą płomienia lub zdobienie za pomocą emalii. Ponadto na zużycie energii wpływa niższa ilość zużywanej stłuczki i mniejsze rozmiary pieca (zob. Tabela 3.11 i 3.13) oraz niższy stosunek produkcji netto do wytopionego szkła, co wynika z wyższych standardów jakościowych. Czynności wykończeniowe mogą również być prowadzone w instalacjach masowej produkcji butelek i słoików. W tym przypadku zużycie energii będzie osiągać maksymalne wartości w całym zakresie. Niższe zużycie energii ma miejsce zwłaszcza w zakładach posiadających dostęp do dużych ilości stłuczki obcej odpowiedniej jakości.

Podobny zakres ukazano w Tabeli 3.13 i na Rysunku 3.4, które zawierają dane dotyczące energii związanej wyłącznie z procesem topienia.

Zużycie energii zwiększa się wraz z długością życia pieca co spowodowane jest pogorszeniem się stanu izolacji i niższą efektywnością w odzyskiwaniu ciepła z gazów spalinowych. Szacuje się, że w przypadku dobrze utrzymanego pieca regeneracyjnego zużycie energii związane z długością życia pieca wzrasta o 1,5 do 3% rocznie, przy czym najniższe wartości odnoszą się do pieców utrzymanych w bardzo dobrym stanie.

Na rysunku 3.4 przedstawiono dane statystyczne dotyczące energii topnienia (GJ na tonę stopionego szkła skorygowane względem 50% stłuczki) w podziale na rodzaj i rozmiar pieca. Z rysunku jasno wynika, że mniejsze piece wiążą się z wyższym zużyciem energii, szczególnie piece o wydajności produkcji poniżej 100 ton/dobę, chociaż do tego wyniku przyczynia się również rodzaj produktu, zwykle związanego z małym piecem, np. wysokiej jakości szkło perfumeryjne i apteczne. Dla danego zakresu rozmiarów, piece U-płomienne wydają się być bardziej wydajne energetycznie niż piece opalane poprzecznie, co ma związek z nieco większą powierzchnią strukturalnej utraty ciepła. Dane dotyczące pieców opalanych mieszanką tlenowo-paliwową, łącznie z energią elektryczną potrzebną do produkcji tlenu, wskazują na sprawność energetyczną równą sprawności pieców regeneracyjnych o większych rozmiarach. Odsetek stłuczki wykorzystanej w zestawie ma duży i systematyczny wpływ na zużycie energii przez dany piec. Aby umożliwić porównanie różnych rodzajów pieców w podobnych warunkach, ich zużycia energii znormalizowano względem 50% stłuczki (zob. objaśnienie do Tabeli 3.13).



Source:[64, FEVE 2007]

Rysunek 3.4 Średnie zużycia energii w piecach produkujących szkło opakowaniowe wyrażone w GJ/tonę wytopionego szkła i znormalizowane względem 50% stłuczki

3.4 Szkło płaskie

Głównym efektem procesu produkcji szkła płaskiego jest oczywiście produkt, który stanowi w przybliżeniu 70 % nakładów surowcowych. Na resztę w dużej mierze składa się emisja do powietrza stanowiąca 10-20 % (głównie CO₂ z rozkładu węglanów) oraz w 10-20 % odpady szklane (stłuczka) powstające przy krojeniu, zmianie asortymentu i w wyniku stłuczenia. Stłuczka jest zwykle w sposób ciągły zwracana do pieca, tak więc produkt stanowi właściwie około 85 % nakładów surowcowych.

3.4.1 Nakłady produkcyjne

[19, CPIV 1998] [65, GEPVP-Proposals for GLS revision 2007]

Generalnie w przypadku szkła płaskiego skład masy szklanej podlega mniejszym wahaniom niż w przypadku innych branż przemysłu szklarskiego. Niemniej jednak różni producenci mogą wybierać nieznacznie różniące się sposoby otrzymywania końcowego składu, zależnie od indywidualnych preferencji lub zmiany dostarczanych surowców. Różnice mogą dotyczyć ilości stosowanej stłuczki, niektórych substancji barwiących i niektórych związków używanych w bezpośrednich procesach nakładania powłok. Główne podstawowe surowce wykorzystywane w tej branży podano w Tabeli 3.22.

Substancje wprowadzające tlenki szklotwórcze:	Piasek szklarski, stłuczka szklana własna, (czasami również obca).
Substancje wprowadzające tlenki przejściowe i modyfikatory:	Węglan sodu, wapień, dolomit, bezwodny siarczan sodu, siarczan wapnia i gips, azotan sodu, sjenit nefelinowy, skaleń, żużel wielkopiecowy, węgiel, pył osadczy.
Utleniacze szkła i środki klarujące	Siarczan sodu, węgiel, azotan sodu
Substancje barwiące:	Dwuchromian potasu, tlenek żelaza, tlenek kobaltu, tlenek ceru, selen metaliczny lub selenin cynku.
Modyfikacja powierzchni szkła podczas procesu formowania:	Związki krzemu (np. czterochlorek krzemu, organiczne pochodne krzemu), mocne kwaśne halogenki, organiczne i nieorganiczne związki cyny.
Paliwo:	Olej opałowy, gaz ziemny, energia elektryczna, zapasowe lekkie oleje opałowe.
Woda:	Dostarczana z sieci wodociągowej lub lokalnych, naturalnych źródeł (studnie, rzeki, jeziora itd.).
Materiały pomocnicze:	Materiały opakowaniowe tworzywa sztuczne, papier, kartony, drewno. Smary maszynowe, głównie oleje mineralne. Gazy technologiczne azot, wodór i dwutlenek siarki. Cyna do kąpielii cynowej. Substancje chemiczne do demineralizacji wody chłodzącej i do oczyszczania ścieków.

Tabela 3.22: Materiały stosowane przy produkcji szkła płaskiego

Największe nakłady surowcowe stanowią surowce wprowadzające krzemionkę (piasek szklarski, stłuczka szklana) oraz węglany (soda kalcynowana, dolomit i wapień). Surowce do produkcji szkieł są mieszane w odpowiednich proporcjach w celu otrzymania składów przedstawionych w rozdziale 2, podrozdział 2.5. Typowy skład szkła float jest zawiera 98 % tlenków krzemu, sodu, wapnia oraz magnezu (SiO_2 72,6 %, Na_2O 13,6 %, CaO 8,6 %, i MgO 4,1 %). Dwutlenek krzemu pochodzi głównie z piasku i stłuczki szklanej; stłuczka także wprowadza proporcjonalnie mniejsze ilości innych tlenków. Tlenek sodu pochodzi głównie z sody kalcynowanej, a tlenek wapnia z dolomitu i wapienia, natomiast tlenek magnezu z dolomitu.

We wszystkich przypadkach, poza wyjątkami, huty szkła płaskiego wykorzystują ponownie własną stłuczkę szklaną bezpośrednio w procesie topienia. Szkło płaskie jest w głównej mierze przetwarzane na inne produkty dla budownictwa i przemysłu samochodowego, a stłuczka szklana pochodząca z tych dodatkowych operacji jest również w niektórych przypadkach powtórnie przetwarzana. Ilość ponownie użytej stłuczki jest na ogół ograniczona dostępnością stłuczki o odpowiedniej jakości i kompatybilnym składzie chemicznym. Całkowita typowa ilość stłuczki wprowadzanej do pieca wytopowego wynosi około 20 %, ale może zmieniać się w zakresie 10-40 % dla wanien do szkła float oraz aż do ponad 80 % dla innych rodzajów szkła płaskiego. Coraz więcej odpadów szklanych z procesów technologicznych jest powtórnie użytych lub przetworzonych na elementy produkcji szkła płaskiego, natomiast nieznacznie zanieczyszczone odpady mogą być użyte w procesie produkcji szkła

opakowaniowego i innych typów szkieł. Recykling odpadów szklanych z procesów produkcyjnych przy użyciu powyższych sposobów wynosi prawdopodobnie 95 %.

Proces bezpośredniego nanoszenia powłok na szkła płaskie jest bardzo specjalistyczny i indywidualny dla każdego przypadku.

Tabela 3. przedstawia niektóre typowe surowce stosowane do nakładania warstw.

Podobnie jak w innych gałęziach przemysłu szklarskiego wodę stosuje się do chłodzenia, oczyszczania oraz nawilżania zestawu. Szkło płaskie jest produkowane w formie ciągłej taśmy i wychodząc z odprężarki tunelowej ma temperaturę ponad 200°C. Większość wody w hucie używana jest do chłodzenia/mycia tej gorącej taśmy szkła i nie jest zanieczyszczona (może zawierać niewielką ilość Na_2SO_4). Rzeczywiste zużycie wody i pary wodnej może zmieniać się zależnie od lokalnych warunków (np. temperatura otoczenia i twardość pobieranej wody).

Piece do topienia szkła płaskiego są prawie wyłącznie opalane ciężkim olejem opałowym lub gazem naturalnym, w niektórych przypadkach stosuje się również dogrzew elektryczny o mocy do 10 % nakładów energetycznych. Można również stosować dogrzew tlenowo-paliwowy. Czasami, na małą skalę i do specjalnych zastosowań, wykorzystuje się również piece elektryczne, a w USA funkcjonują trzy piece wytopowe opalane mieszanką paliwową wzbogaconą w tlen. Pod koniec roku 2008 we Francji został oddany do eksploatacji piec do produkcji szkła float opalany mieszanką paliwową wzbogaconą w tlen. Zastosowanie opalania tlenowo-paliwowego do produkcji szkła płaskiego nie przedstawia żadnych istotnych trudności technicznych. Potencjalne minusy takiego rozwiązania to wysokie koszty specjalnej konstrukcji ogniotrwałej i koszty tlenu bezpośrednio związane z ceną energii elektrycznej. W czasie, gdy powstawał ten dokument (2010) były to główne czynniki ograniczające wykorzystanie technologii tlenowo-paliwowej w sektorze produkcji szkła płaskiego.

3.4.2 Emisje zanieczyszczeń do powietrza

[[19, CPIV 1998] [65, GEPVP-Proposals for GLS revision 2007]

3.4.2.1 Surowce

W wielu nowoczesnych hutach szkła płaskiego silosy i mieszarki wyposażone są w systemy filtrów do redukcji emisji pyłów pozwalając na osiągnięcie emisji poniżej 5 mg/m^3 . Niezależnie od faktu czy zestawialnia jest wyposażona w system filtrów, emisje zależą od liczby operacji związanych z transportem i ilości podawanego materiału.

3.4.2.2 Topienie

W branży szkła płaskiego główne potencjalne zagrożenie dla środowiska naturalnego stanowi emisja do powietrza atmosferycznego z procesu topienia. Rodzaje emitowanych substancji i ich źródła przedstawiono w podrozdziale 3.2.2.1. Prawie wszystkie piece stosowane do produkcji szkła płaskiego są opalane paliwem kopalnym (zarówno gazem jak i olejem opałowym) i są to poprzeczno-płomienne piece regeneracyjne.

Zestawienie pieców wyposażonych w system kontroli zanieczyszczeń powietrza stosowanych w sektorze szkła płaskiego przedstawiono w Tabeli 3.23. Dane zawarte w tabeli dotyczą sytuacji, gdzie zastosowany system odpylania, zazwyczaj w połączeniu z systemem płukania kwaśnych zanieczyszczeń gazowych (SO_x , HF, HCl), składa się z 34 elektrofiltrów i jednego filtra workowego. Kontrola emisji NO_x polega na zastosowaniu systemu SCR, technologii Fenix, kontroli parametrów spalania (podstawowy środek redukcji) i techniki 3R.

Tabela 3.23 Zestawienie systemów kontroli zanieczyszczeń powietrza (APC) stosowanych w sektorze szkła płaskiego w Europie

Rok		Redukcja pyłu, SO _x , HCl, HF, metali		Kontrola/redukcja NO _x		Całkowita ilość pieców
		APC (1)	Wyposażono	APC (1)	Wyposażono	
UE-15	2000	16	33,3%	8	16,7%	48
UE-25	2005	28	51,9%	22	40,7%	53
UE-27	2007	35	60,3%	28	48,3%	58

(1) APC – system kontroli zanieczyszczeń powietrza (air pollution control)

Źródło: [65, GEPVP-Proposals for GLS revision 2007] [127, Glass for Europe 2008]

Zestawienie zakresów emisji zanieczyszczeń do powietrza atmosferycznego pokazano w tabeli 3.24. Tabela przedstawia osobno wartości emisji dla pieców bez systemu redukcji i dla pieców z podstawowym/wtórny systemem ograniczania emisji. Dane dotyczą wariantów opalanych zarówno gazem, jak i olejem opałowym, stosowanych do produkcji szkła typu float w normalnych warunkach pracy. Pomiary pochodzą z roku 2005.

Dane pochodzą z badania przeprowadzonego przez członków europejskiego stowarzyszenia producentów szkła płaskiego (Glass for Europe) i dotyczą 25 państw członkowskich UE. Analiza statystyczna tych danych prawdopodobnie dałaby wyniki odmienne od tych uzyskanych w poprzednich badaniach przeprowadzonych wśród 15 państw UE dla celów opracowania pierwszej wersji dokumentu BREF.

Należy zauważyć, że techniki pobierania próbek i pomiaru wykorzystane do gromadzenia danych nie są ujednolicone. Również w przypadku, gdy stosowane są metody znormalizowane nie jest brana pod uwagę niedokładność uzyskanych za ich pomocą wyników.

Tabela 3.24: Poziomy emisji zanieczyszczeń dla pieców wytopowych dla szkła płaskiego bez systemu redukcji oraz dla pieców z instalacją systemu redukcji

Substancja	Piece bez systemu redukcji mg/Nm ³ (kg/ tona wytopionego szkła)	Piece z instalacją systemu redukcji podstawowe/wtórne metody mg/Nm ³ (kg/tona wytopionego szkła)
Tlenki azotu (jako NO ₂)	1250 – 2870 (2.9 – 7.4)	495 – 1250 (1.1 – 2.9)
Tlenki siarki (jako SO ₂)	365 – 3295 (1.0 – 10.6)	300 – 1600 (0.5 – 4.0)
Cząstki stałe	80 – 250 (0.2 – 0.6)	5.0 – 30 (0.02 – 0.08)
Fluorki (HF)	<1.0 – 25 (<0.002 – 0.07)	<1.0 – 4.0 (<0.002 – 0.01)
Chlorki (HCl)	7.0 – 85 (0.06 – 0.22)	4.0 – 40 (<0.01 – 0.1)
Metale z wyjątkiem selenu (Ni, V, Co, Fe, Cr)	<1.0 – 5.0 (<0.001 – 0.015)	<1.0 (<0.001)
Selen (szkło kolorowe)	30 – 80 (0.08 – 0.21)	<5 (<0.015)
Warunki odniesienia: suche powietrze, temperatura 0°C (273K), ciśnienie 101,3 kPa, objętościowy udział tlenu 8 %.		
Źródło: [65, GEPVP-Proposals for GLS revision 2007]		

Terminem piece bez systemu redukcji określono piece pracujące prawidłowo bez zastosowania specjalnych, podstawowych czy wtórnych, technologii kontroli zanieczyszczeń.

W przypadku pieców bez systemu redukcji najwyższą emisję tlenków NO_x zanotowano dla hut stosujących do opalania pieców gaz zaazotowany, a najniższe wartości pochodzą z zakładów wykorzystujących olej opałowy. Piece z obniżoną emisją są wyposażone w podstawowe systemy redukcji, takie jak proces Fenix, lub w systemy wtórne takie jak technika SCR (selektywnej redukcji katalitycznej) lub 3R (dodawanie węglowodorów, oleju opałowego lub gazu ziemnego w celu redukcji NO_x).

Najwyższy poziom emisji SO_x w przypadku pieców bez systemu redukcji zanotowano dla zakładów stosujących do opalania wanień olej opałowy, a najniższe poziomy emisji uzyskano w instalacjach opalanych gazem.

Najwyższy poziom emisji pyłu w przypadku pieców bez systemu redukcji pochodzi z hut wykorzystujących olej opałowy, a najniższa emisja charakteryzuje zakłady stosujące gaz o niskiej zawartości siarki oraz dużą ilość stłuczki. Pył emitowany z pieca bez systemu redukcji powstaje głównie wówczas, gdy w gazie spalinowym nastąpi kondensacja związków sodu i siarczanów ulatniających się ze stopu. Głównym składnikiem pyłu jest siarczan sodu, stosunkowo nieszkodliwy rozpuszczalny związek chemiczny. Inne pomniejsze składniki pyłu pochodzą z surowców, konstrukcji pieca oraz oleju opałowego, o ile jest wykorzystywany. Dla pieców bez systemu redukcji najwyższa emisja HCl i HF związana jest ze stosunkowo wysoką zawartością chlorków i fluorydów w surowcach. Najwyższą emisję metali dla pieców bez systemu redukcji zanotowano w przypadku zakładów, w których wanny szklarskie opalane są olejem opałowym (olej opałowy zawiera nikiel i wanad) bądź w przypadku stosowania substancji barwiących (Se, Co, Fe i Cr). Natomiast najniższy poziom emisji metali wykazują piece opalane gazem wytwarzające szkło przezroczyste.

Zakres emisji SO_x, pyłu, HCl, HF oraz metali w przypadku pieców z systemem redukcji zależy od rodzaju zastosowanego systemu obniżania emisji pyłu (np. elektrofiltr i w pojedynczym przypadku, filtr workowy), w połączeniu z płuczkami kwaśnych gazów, celem spełnienia lokalnych wymagań dotyczących pozwoleń. Dla tych pieców poziom emisji metali znajduje się poniżej granicy wykrywalności dostępnymi metodami pomiarowymi.

Przy produkcji szkieł barwionych z zawartością selenu jako środka barwiącego poziom

niekontrolowanej emisji selenu waha się pomiędzy 30 a 80 mg/Nm³. W przypadku zastosowania systemu wtórnej redukcji (filtracja w połączeniu z płukaniem gazu kwaśnego) poziom emisji utrzymuje się poniżej 5 mg/Nm³ i osiąga wartości rzędu 1–3 mg/Nm³.

Na chwilę obecną nie ma wielu doświadczeń związanych z redukcją emisji selenu z pieców do wytapiania szkła float, szczególnie w przypadku pieców opalanych paliwem. Skuteczność urządzeń kontrolujących emisję zależy od rodzaju zastosowanego odczynnika i obecności innych zanieczyszczeń gazowych (absorpcja współwystępujących substancji), takich jak SO_x w gazie odlotowym, czego konsekwencją są reakcje konkurencyjne współbieżne.

3.4.2.3 Operacje technologiczne następujące po procesie topienia

Dzięki szczelności wanny do kąpeli cynowej emisja par cyny z kąpeli przy produkcji szkła float jest bardzo niska i kontrola dotyczy tylko zapewnienia niskiego poziomu narażenia na stanowisku pracy. Z tego względu problem ten nie jest rozpatrywany w dalszej części dokumentu.

Uszlachetnianie powierzchni szkła płaskiego na gorąco na wyjściu z kąpeli float ma zwykle na celu poprawę chemicznej odporności szkła. Proces ten wymaga zastosowania SO₂, co powoduje emisje gazowe w wysokości 150 – 300 mg/Nm³ (0,02 – 0,04 kg/tonę stopionego szkła) [84, Italy Report 2007]. Jednakże w przypadku produkcji specjalnych emisja może być wyższa.

Bezpośrednie nakładanie powłok na szkło płaskie na linii produkcyjnej jest specyficzne dla każdego przypadku. Różni się rodzajem zastosowanych surowców i emitowanymi substancjami. Jedną z najważniejszych technologii stosowanych do nanoszenia powłok jest powlekanie metodą CVD (chemiczne osadzanie powłok z fazy gazowej), która polega na zastosowaniu gazowej mieszanki chemicznej reagującej z gorącą powierzchnią szkła, co prowadzi do osadzania się powłoki, która wiąże się ze szkłem. Na powierzchni szkła osadzane są różne materiały, z reguły metale lub tlenki.

Nanoszenie powłoki poprzez rozpylanie metalu tarczą na powierzchnię szkła jest wykonywane poza linią produkcyjną w specjalnych komorach próżniowych pod bardzo niskim ciśnieniem.

Emitowane zanieczyszczenia zawierają zwykle kwaśne gazy (HF, HCl) i drobne cząstki stałe (np. tlenki krzemu i cyny).

Ogólnie operacje technologiczne następujące po procesie topienia nie stanowią istotnego źródła emisji masowych. Podlegają one jednak ogólnym lokalnym przepisom dotyczącym ochrony środowiska i wymagają zainstalowania odpowiednich systemów redukcji. Nie ma wiele informacji na temat poziomów emisji związanych z tymi operacjami. Mają tu zastosowanie typowe graniczne wartości emisji, na przykład, HCl 10 mg/m³, HF 5 mg/m³, pył 20 mg/m³, i związki cyny 5 mg/m³.

Produkcja lusterek stanowi kolejną ważną operację następującą po procesie topienia w sektorze szkła płaskiego. Proces ten oraz związane z nim poziomy emisji nie zostały omówione w tym dokumencie, jako że zostały one ujęte w dokumencie BREF pt. Obróbka powierzchniowa z wykorzystaniem rozpuszczalników organicznych. [139, European Commission 2007].

3.4.2.4 Emisje rozproszone i lotne

Głównym źródłem emisji rozproszonych/lotnych w sektorze szkła płaskiego jest obszar zasypu do pieca wytopowego.

Główne problemy związane z emisją to rozkurz pyłu z zestawu oraz gazy spalinowe zawierające substancje lotne obecne w składzie zestawu. Emisje z obszaru zasypu mogą zawierać selen stosowany do barwienia szkła.

Do usuwania emisji z obszaru zasypu stosuje się systemy odciągu, natomiast pył usuwany jest przy pomocy filtrów workowych.

3.4.3 Emisje zanieczyszczeń do środowiska wodnego

Jak przedstawiono wcześniej, w tej branży główne zużycie wody dotyczy mycia, chłodzenia i nawilżania zestawu. Emisja do środowiska wodnego ogranicza się do zanieczyszczeń usuniętych z

systemu chłodzącego, wody używanej do oczyszczania oraz odpływu wód powierzchniowych ze składowisk. Wody stosowane do czyszczenia nie powodują szczególnych problemów, które nie byłyby powszechne dla poszczególnych urządzeń przemysłowych np. obojętne cząstki stałe, oleje. Zanieczyszczenia z systemu chłodzącego mogą zawierać rozpuszczone sole i substancje do uzdatniania wody. Jakość wód powierzchniowych będzie zależeć od stopnia rozdzielania odprowadzanych ścieków oraz stanu czystości zakładu.

Wyłączając ścieki gospodarcze, emisje do środowiska wodnego dotyczą głównie stałych cząstek szkła, zanieczyszczenia smarami i substancjami chemicznymi do demineralizacji wody dla systemu chłodzącego. W całej branży stosuje się nieskomplikowane techniki ograniczania zanieczyszczeń, takie jak sedymentacja, przesiewanie, separacja olejów, neutralizacja.

3.4.4 Inne odpady

Tam gdzie to jest możliwe, pył powstający podczas sporządzania zestawu wraca do silosów surowców i jest powtórnie używany. Jeśli to możliwe, odpadowy zestaw powraca stopniowo do procesu w postaci niewielkich dodatków do następnych zestawów. Poprodukcyjne odpady szkła, ścinki, wybrakowane i zniszczone wyroby zwykle w 99 % są powtórnie wykorzystywane w procesie topienia.

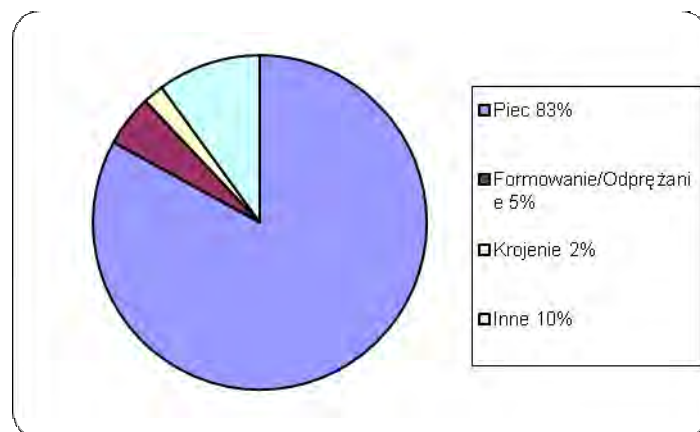
Po zakończeniu kampanii pieca, konstrukcja materiałów ogniotrwałych (czasami bez regeneratorów) jest demontowana i wymieniana. Podobnie jak w sektorze szkła opakowaniowego, największa możliwa ilość tych materiałów jest regenerowana w celu powtórnego użycia lub sprzedaży. Problemy dotyczące materiałów zawierających chrom przedstawiono w podrozdziale 3.2.2.3.

Większość surowców szklarskich dostarczana jest bez opakowania, co nie powoduje wzrostu odpadów materiałów opakowaniowych. Odpady materiałowe z procesu pakowania (tworzywa sztuczne, kartony, drewno) są zwykle, jeśli to możliwe, ponownie używane lub przetwarzane. Inne odpady nie specyficzne dla przemysłu szklarskiego są usuwane metodami konwencjonalnymi.

3.4.5 Energia

[19, CPIV 1998][15, ETSU 1992]

Podział zapotrzebowania mocy w typowym procesie produkcji szkła float przedstawia schemat na rysunku 3.5, chociaż zużycie energii w poszczególnych procesach może się nieznacznie zmieniać. Widoczne jest, że ponad trzy czwarte energii zużywanej przez hutę szkła float pochłania proces topienia. Formowanie i odprężanie zabiera dalsze 5 % całkowitej energii. Pozostała energia zostaje zużyta na urządzenia pomocnicze, systemy kontroli, oświetlenie, ogrzewanie zakładu i operacje następujące po zakończeniu procesu formowania takie jak kontrola jakości i pakowanie. Podział przedstawiony na Rysunku 3.5 nie uwzględnia operacji następujących po głównym procesie produkcji, takich jak nanoszenie powłoki, cięcie, hartowanie termiczne, oczyszczanie metodą wymiany jonowej, produkcja luster, które mogą być przeprowadzane poza zakładem.



Rysunek 3.5: Zapotrzebowanie mocy dla typowej produkcji szkła płaskiego metodą float

Piece do produkcji szkła typu float są prawie wyłącznie opalane ciężkim olejem opałowym lub gazem ziemnym, czasami z dogrzewem elektrycznym o mocy do 10 % zużywaną przez piec energii. Wiele wariantów może być opalanych olejem opałowym gazem ziemnym lub też, w tym samym czasie, obydwojema rodzajami paliw podawanymi do różnych palników. Znotowano również kilka przykładów wykorzystania pieców elektrycznych, ale na małą skalę i do specjalnych zastosowań. W 1998 r. w USA przekazano do eksploatacji trzy piece wytopowe do szkła płaskiego opalany mieszanką paliwową wzbogaconą w tlen, a w roku 2009 piec tego typu został oddany do użytku we Francji.

Zasilacze (w produkcji szkła walcowanego) i odprężarki są opalane gazowo lub elektrycznie. Energia elektryczna wykorzystywana jest do napędu sprężarek i wentylatorów koniecznych do procesu produkcji. Urządzenia pomocnicze obejmują pompownię wody, zwykle generatory pary wodnej wytwarzanej dla przechowywania i wstępnego podgrzewania paliwa, nawilżanie/podgrzewanie zestawu i czasami ogrzewanie budynków. W niektórych przypadkach duże piece są wyposażone w kotły odzysknicowe wytwarzające część lub całość potrzebnej pary wodnej. Niewielka ilość pieców wyposażona jest w turbiny i generatory do produkcji energii elektrycznej z pary.

Zużycie energii w procesie produkcyjnym zależy od wielu czynników, z których główne przedstawiono w podrozdziale 3.2.3. Zakres zużycia energii spotykany w tej branży jest raczej wąski w porównaniu z innymi sektorami ze względu na stosunkowo niewielką możliwość wyboru typu pieca wytopowego. Jednostkowe zużycie energii w dużej mierze zależy od rozmiaru pieca. Piec wytwarzający ponad 800 ton/ dobę stopionego szkła wymaga około 10-12% mniej energii w porównaniu z piecem produkującym około 500 ton/ dobę. Starzenie się pieca powoduje średni wzrost zużycia energii o 1-1,3% rocznie. W zakładach znajdujących się w obrębie UE-27 poziom zużycia energii w procesie topienia wynosi przeciętnie od 5,2 do 8,7 GJ/tonę wytopionego szkła, co daje średnią wartość 7,5 GJ na tonę szkła. Niskie wartości rzędu 5,0 GJ/tonę osiągają piece o bardzo dużej wydajności na początku kampanii. Jednostkowa energia wymagana dla całego procesu zwykle nie przekracza 8,0 GJ/tonę [75, Germany-HVG Glass Industry report 2007].

3.5 Włókno szklane ciągłe

Głównym materiałem wyjściowym jest produkt, który może wynosić od 55 - 80% surowcowego materiału wejściowego. Straty powstają poprzez emisję do powietrza, odpady stałe i płynne. Stopione szkło stanowi około 80 - 85% z surowcowego materiału wejściowego w piecu. Większość strat składa się z emisji gazowych, szczególnie CO₂ z rozkładu węglanów. Odpadów z włókna szklanego i osuszonego szkła może być pomiędzy 10 a 30% w materiałach wejściowych dla procesu. 3,25 Tabela poniżej przedstawia typową podsumowanie materiałów wejściowych i wyjściowych dla produkcji włókna szklanego ciągłego.

Tabela 3.25: Przegląd materiałów wejściowych i wyjściowych dla sektora włókna szklanego ciągłego.

	Ilość/tony produktu			
	Materiały wejściowe	Jedn ostka	Materiały wyjściowe	Jedn ostka
Surowce do produkcji szkła				
Krzem	300 - 457	kg		
Colemanit	0 - 250	kg		
Węglan wapnia	300 - 411	kg		
Glina	395 - 544	kg		
Fluoryt	0 - 20	kg		
Inne(dolomit, wapno palone, kwas borowy itp.)	3 - 153	kg		
Emisje do powietrza				
Pył bez systemu redukcji emisji			1,4 - 2	kg
Pył z formuły z niskim poziomem boru lub bez boru jako środek redukcji			<0,14 - 0,35	kg
Pył z systemu redukcji emisji „koniec rury”			0,02 - 0,24	kg
CO ₂ z rozkładu surowców			0 - 200	kg
CO ₂ ze spalania			450 - 1000	kg
Para wodna ze spalania / rozkładu surowców			180 - 800	kg
Woda z procesu suszenia			75 - 200	kg
NO _x (jako NO ₂) from paliwa lotniczego			2.7 - 16.5	kg
NO _x (jako NO ₂) from paliwa tlenowego			0.3 - 2.0	kg
SO _x (jako SO ₂)			0.05 - 8	kg
HF			<0.5	kg
HCl			0,03-0,12	kg
Woda z parowania, chłodzenia			3200	kg
LZO w obszarze formowania, piecach			0,1 - 0,5	kg
Bilans produktów do spoiw				
(jak podano)	Polimery (~50 % substancji stałych)	20 - 40	kg	
(jak podano)	Silan	1 - 2	kg	
(jak podano)	Smary	1 - 5	kg	
(jak podano)	Pozostałe	0 - 10	kg	
(Suche substancje stałe)	Spoiwo do szkła			4 - 20 kg
(Suche substancje stałe)	Spoiwo w ściekach			1 - 13 kg
(Suche substancje stałe)	Spoiwo w odpadach stałych			<1 kg
	Spoiwo w powietrzu (patrz LZO powyżej)			kg
Bilans wodny	Ogółem	4000 - 15000	kg	
	Dodatek do spoiw	<200	kg	
	Na potrzeby chłodzenia (dodatki)	>1500	kg	
	Na potrzeby natryskiwania, czyszczenia	>3000	kg	
	W szkłe wodnym			10 - 20 kg
	W ściekach			2000 - 11000 kg
	W powietrzu poprzez parowanie (piece, chłodnie kominowe itp.)			1500 - 4000 kg
Suche odpady (substancje stałe)				
	Włókno szklane			60 - 250 kg
	Odpady ze spoiw			1 - 13 kg
Energia	Ogółem	10 - 25	GJ	
Energia do wytapiania (piec +rafinator +zbiorniki żeliwiaka pieca szybowego)		7 - 18	GJ	
Źródło: [19, CPIV 19981 [66, APFE UPDATE IPPC Glass BREF 20071				

3.5.1 Procesowy materiały wejściowe

Skład chemiczny włókien zmienia się w zależności od rodzaju szkła i końcowego zastosowania, i zazwyczaj wyraża się w kategoriach tlenków poszczególnych pierwiastków jakie zawiera. Trudno jest zidentyfikować "typową" kompozycję partii poza te elementy podane w tabeli powyżej 3,25. Podstawowe surowce są wybierane i zestawiane w celu uzyskania odpowiedniego składu szkła po wytopieniu. Surowce stanowią doskonale granulometry w celu uzyskania bardzo wysokiego stopnia homogeniczności partii i stopu. Typowe rodzaje szkła i zakresy składu przedstawiono w rozdziale 2.6. Tabela 3.26 pokazuje główne surowce stosowane do osiągnięcia tego składu.

Tabela 3.26: Materiały wykorzystane we włóknie szkła ciągłego.

Opis	Materiały
Materiały tworzące szkło	Pasek krzemowy
Materiały pośrednie i modyfikujące szkło	Węglan wapnia, tlenek wapnia, krzemian glinu, kolemanit, boran wapnia, boraks, kwas borowy, skalenia, fluorytu, siarczan wapnia, węglan sodu, węglan potasu, siarczan sodu, tlenek cynku, tlenek tytanu lub rutil, tlenek cyrkonu, tlenek żelaza i dolomit
Materiały powlekające	Materiał powlekający będzie się różnił w zależności od końcowego zastosowania produktu. Typowymi powłokami są: środki błono twórcze (np. octan winylu, skrobia, poliuretan, żywica epoksydowa), środki sprzęgające (np. organo-funkcjonalne silany), środki modyfikujące pH (np. kwas octowy, kwas solny, sole amonowe) i substancje smarujące (np. oleje mineralne, środki powierzchniowo czynne)
Spoiwa do produktów drugorzędnych (wtórnych)	Poliocjanu winylu, nasycone proszki poliestrowe, fenolowych proszki żywic
Paliwa	Olej opałowy, gaz ziemny, elektryczność
Woda	Sieci wodociągowe i lokalne naturalne źródła (studnie, rzeki, jeziora, itp.)
Materiały pomocnicze	Materiały opakowaniowe, w tym tworzywa sztuczne, papier i karton, itp. Gazów procesowe, tlenu Chemiczne środki do uzdatniania wody do chłodzenia wody i ścieków

Największe środki wejściowe do procesu to piasek kwarcowy, alkalicznych / metali ziem alkalicznych, węglany i tlenki, tlenek glinu i zawierające bor materiały. W E-szklanej kompozycji, tlenki krzemu, sodu, potasu, wapnia, magnezu, boru i aluminium liczą ponad 95% szkła. Dominujące tlenki i główne materiałów, z których zostały pozyskane, są to: SiO₂ (53 - 60% piasku), CaO + MgO (20 - 24% wapień, dolomit), B₂O₃ (0 - 10% kolemanit, boraks, itp.), Al₂O₃ (11 - 16% tlenku glinu), i Na₂O + K₂O (<2% sod amoniakalna / potas).

Materiały powlekające stanowią bardzo niewielką część masy produktu, zazwyczaj od 0,5 do 2%. Składają się one głównie z wodnych roztworów polimerowych, zwykle 50% substancji stałych, i mniejszych ilości innych materiałów podanych w tabeli 3.26.

Woda wykorzystywana jest do chłodzenia, czyszczenia, przygotowywania powłok, a w niektórych przypadkach do systemu oczyszczania na mokro. Jedną z głównych cech produkcji włókien szklanych ciągłych jest potrzeba dużej ilości wody do chłodzenia. Każda tuleja potrzebuje wody bardzo szybko w celu zmniejszenia temperatury włókna z 1250 ° C do temperatury otoczenia. To chłodzenie osiąga się przez przeniesienie ciepła do metalowych prętów bliskich końców tulei, oraz chłodzenie przez cyrkulację wody, przechodzące zimne powietrze przez włókna, i wodę do natryskiwania. Woda chłodząca jest również wymagana wokół pieca i zasilaczy, zazwyczaj w pół-zamkniętych obiegach i całościowych przepływy mają zazwyczaj kilka tysięcy m³/h.

Znaczne ilości wody są również stosowane w przygotowywaniu powłoki i przelewane w obszarze formowania / nawijania. Całkowite zużycie wody na tonę gotowego produktu wynosi zazwyczaj od 4 do 20 m³, straty systemu chłodzenia stanowią około 20% tej liczby.

3.5.2 Emisje do powietrza

3.5.2.1 Surowce

W procesach najnowocześniejszych, silosy i naczynia do mieszania są wyposażone w systemy filtrów do redukcji emisji pyłów poniżej 5 mg/Nm^3 . Masa emisji z systemów zarówno filtrowanych i niefiltrowanych będzie wyraźnie zależeć od liczby przekształceń i ilości materiału używanego.

3.5.2.2 Topienie

[19, CPIV 1998 [66, APFE UPDATE IPPC Glass BREF 2007

W sektorze włókna szklanego ciągłego, potencjalne zagrożenie środowiska naturalnego stanowi emisja do powietrza atmosferycznego z procesu wytapiania. Główne substancje emitowane i ich źródła przedstawiono w rozdziale 3.2.2.1. W roku 2005, 57% z pieców działających w tym sektorze były to piece rekuperacyjne opalane gazem ziemnym, niektóre z impulsem tlenu i / lub elektrycznym impulsem (opalone olejem to teraz rzadkie i przeważnie ograniczone do wykorzystania jako paliwa rezerwowego podczas okresów niedoborów gazu w szczytowym zapotrzebowaniu). Rosnąca liczba pieców jest teraz w 100% opalanych tlenowo-paliwo (43% w 2005 r.), wiele z nich z elektrycznym pobudzeniem.

Emisje pyłów z procesu wytapiania są złożone głównie z metali alkalicznych i alkalicznych ziem siarczanów i boranów (np. sól / potas / siarczan wapnia i sodu / potas / boran wapnia). O ile produkt końcowy szkła zawiera około 6 - 8% boru (jako B_2O_3), emisja pyłów może być utworzona przez 85 - 90% związków boru wytwarzanych przez parowanie i zjawiska kondensacji. Stosowanie dużych ilości tlenków boru w formułowaniu kompozycji wsadowym (partii), w połączeniu z niskim lub wysokim stężeniem tlenków alkalicznych, określa mechanizm tworzenia się emisji pyłów i możliwą obecność znacznych ilości gazowych związków boru w spalinach (HBO_2 i H_3BO_3). Różne zachowanie nisko-alkalicznych szkieł, takich jak E-szkło, i innych rodzajów borokrzemianowych szkieł jest opisane w rozdziale 4.4.1.1.

W szczególności w produkcji zawierającego bor E-szkła, wysokie poziomy boru są emitowane w postaci gazowej w temperaturach tak niskich jak 60°C i, w konsekwencji, określenie poziomu emisji pyłów i gazów z gatunku boru może być trudne. W takim przypadku, skuteczne obniżanie emisji boru ze spalinowych gazów wymaga stosowania odpowiedniej techniki oczyszczania, ponieważ filtrowanie pyłu usuwa tylko część boru. Przykład przedstawiony w tabeli 3.27 pokazuje masowy przepływ związków boru zmierzony przed i po obróbce spalin, do instalacji produkcyjnej wyposażonej w oczyszczanie na mokro plus worek filtrujący, oraz dodatkowy system oczyszczania na mokro dla redukcji emisji zanieczyszczeń gazowych związków boru.

Table 3.27 Rozkład związków boru w różnych temperaturach i etapach oczyszczania spalin

Temperatura gazów odlotowych	Warunki próbek	Ogólna ilość małych cząstek stałych	Ogólna liczba związków boru (cząstki stałe i gazy) wyrażone jako B_2O_3
$^\circ\text{C}$		kg/h	kg/h
189	Nieoczyszczone gazy odlotowe	3,14	11,2
164	Po użyciu filtrów workowych	0,30	7,25
108	Po użyciu filtrów workowych i mokrego oczyszczania	0,29	2,96

Źródło: T84, Italy Report 20071

Podsumowanie zakresu emisji do atmosfery, jest podane w tabeli 3.28, w której są przedstawione dane odnoszące się do stosowania zarówno pierwotnych i wtórnych metod redukcji.

Tabela 3.28. Poziom emisji z pieców do włókno szklanego ciągłego.

Substancja	Podstawowe techniki redukcji emisji w mg/Nm ³ ⁽¹⁾ (kg/tonę stopionego szkła)	Wtórne techniki redukcji emisji w mg/Nm ³ (1) (kg/tonę stopionego szkła)
Tlenki azotu (jako NO ₂) z opalania paliwowo-powietrznego	600 - 1600 (2,7 - 7,2)	Brak przykładów dla wtórnej redukcji emisji
Tlenki azotu (jako NO ₂) z opalania paliwowo-powietrznego	(0,3 - 1,9)	Brak przykładów dla wtórnej redukcji emisji
Tlenki siarki (jako SO ₂)	150 - 1200 (0,75 - 6,0) (opalone gazem); do 3000 (15) (opalone olejem)	Brak przykładów dla wtórnej redukcji emisji
Cząstki stałe	(<0,14 - 0,35)	5 - 50 (0,02 - 0,24)
Fluorki (HF)	<20 (<0,09) (bez dodatku fluorków) 50 - 400 (0,25 - 2,0) (dodane fluorki)	<20 (<0,1)
Chlorki (HCl)	<10 (<0,05)	<10 (<0,05)
Grupa 1 metali (jako Co, Ni, Cd, Se, Cr _{vi}) ⁽³⁾	<1 (<0,0045)	<1 (<0,0045)
Grupa 1+2 metali (jako Co, Ni, Cd, Se, Cr _{vi} , Sb, Pb, Cr _m , Cu, Mn, V, Sn) ⁽²⁾	<3 (<0,014)	<3 (<0,014)
⁽¹⁾ Wartości podane w stężeniu (mg/Nm ³) odnoszą się do następujących warunków: Stan suchy, temperatura 0 °C (273K), ciśnienie 101,3 kPa, 8% tlenu.		
⁽²⁾ Patrz opis metali z grupy 1 i grupy 2 w tabeli 3.4, Rozdział 3.2.2.3. Źródło [66, APFE UPDATE IPPC Glass BREF 20071		

Podstawowe techniki stosowane do redukcji emisji pyłów składają się preparatów partii (wsadowych) o niskim poziomie boru lub bez boru. Dzięki zastosowaniu preparatów bez boru i dobrą kontrolę partii przeniesień, wartości emisji cząstek stałych poniżej 0,14 kg / tonę stopionego szkła mogą być osiągnięte z tlenowo-paliwowo opalanych pieców. Wartości tak niskie, jak 0,03 kg / tonę szkła zostały zgłoszone, jednak szczególne warunki pracy dla uzyskania tych niskich wartości nie są znane. Wyższe poziomy emisji (do 0,35 kg / tonę szkła) można zaobserwować, gdy surowce dające efekty dekrepitacji są używane (np. dolomit). Bez stosowania środków pierwotnych lub wtórnych, poziom małych cząstek stałych może wynosić do 2 kg / tonę stopionego szkła.

Emisje tlenków azotu z pieców opalanych paliwem lotniczym wykazują niższe wartości w zakresie poszczególnych czynników emisji (kg / tonę wytopionego szkła) rosnącym poziomem produkcji pieca i wykorzystaniem elektrycznego pobudzenia. Im lepsze urządzenia są w zakresie około 3 do 5 kg / tonę stopionego szkła. Tlenowo-paliwowe opalania jest szeroko stosowane w sektorze (około 50% z pieców do wytapiania), podczas gdy wtórne techniki redukcji emisji (np. 3R, SCR, SNCR) nie są stosowane.

Emisje fluorków są bezpośrednio związane ze stosowaniem w formule partii (wsadu) związków zawierających fluor, stosowany jako strumień topnienia lub w celu poprawy procesu rozwłókniania. W niektórych przypadkach, fluor dodaje się jako surowiec w celu spełnienia wymagań jakości końcowego wyrobu. Ilość fluoru uważana za konieczną będzie zależeć od różnych czynników specyficznych technicznie czynników związanych z piecem i konstrukcji tworzenia włókna, wydajności i wymagania co do średnicy włókien w wyrobie gotowym

Kiedy związki oparte na fluorkach nie są specjalnie dodawane to formyły wsadu, poziomy HF osiągnięte są zależne od zanieczyszczeń z wiarygodnych i ekonomicznie dostępnych dostaw surowców, szczególnie krzemianu glinu i kaolinu, z niskimi poziomami fluoru. Niezależnie od pochodzenia, część fluorków będzie emitowana w gazach odlotowych z pieców. Końcowe stężenie HF w spalinach może różnić się w zależności od poziomu fluorku we wsadzie (partii) i użytych środkach redukujących emisję.

3.5.2.3 Działania końcowe [19, CPIV 1998]

Emisja do powietrza ze stosowania powłoki jest zwykle bardzo niska, ze względu na ogólnie małą lotność materiałów powłokowych i niskie temperatury szkła w miejscu stosowania. Jednakże, gdy strumienie powietrza w obszarze formowania są bardzo wysokie, aby zapewnić odpowiednie chłodzenie na szkło i występuje pewne przeniesienie kropelek lub odparowanie związków organicznych. W większości przypadków, oddzielone powietrze chłodzące jest oczyszczane przez system oczyszczania wodnego przed uwolnieniem lub częściowym ponownym przetworzeniem w obszarze formowania. Duża ilość powietrza chłodzącego oznacza, że stężenie emisji jest na ogół dość niskie. Ograniczone pomiary (w tym stosowanie powłok o wyższych poziomach rozpuszalnika) przedstawiają stężenie lotnych związków organicznych (LZO) od bardzo niskich poziomów do 20 mg/Nm³.

Materiały powlekające na bazie wody są na ogół i bryły włókien są często suszone w piecach. Proces suszenia spowoduje emisję pary wodnej oraz wszelkich substancji lotnych w temperaturze suszenia. Powłoki te są związane chemicznie ze szkłem podczas procesu suszenia i poziomy emisji są ogólnie stosunkowo niskie. Jednakże, preparaty powlekające i również emisje mogą się znacznie różnić, i tylko niewielka liczba pomiarów dotyczących procesu suszenia jest dostępna. Pokazują one emisję LZO w zakresie od poziomu nieznacznie wykrywalnego do maksymalnego 70 mg/Nm³, która była równa (w tym przykładzie) do mniej niż 100 g / h.

Emisja może również wynikać z obróbki wtórnej do produkcji mat i tkanek, które wiążą się z użyciem środków wiążących, które muszą być zapawione lub suszone. Ponownie, dostępne jest bardzo mało informacji, a to wskazuje na duże zróżnicowanie w zależności od stosowanych technik i substancji. Maksymalna zgłoszona emisja LZO wynosiła 150 mg/Nm³ i 270 g/h.

Dostępne są ograniczone informacje dotyczące typowych stężeń emisji z działań końcowych, w szczególności z powłoki i suszenia. Koncentracja emisji związanych z pomiarami przeprowadzonymi po systemie oczyszczania na mokro pokazują wartości <20 mg/Nm³ dla pyłu zawieszonego (zawierające związki organiczne i nieorganiczne), <20 mg/Nm³ dla formaldehydu i <30 mg/Nm³ dla amoniaku [84, Włochy Raport 2007].

Składowanie i stosowanie materiałów powlekających może również prowadzić do emisji pyłów i lotnych związków organicznych (LZO), ale są z reguły bardzo niskie i może być kontrolowane przez dobre praktyki i lokalnego wydobywcy.

3.5.2.4 Rozproszone/niezorganizowane emisje

Głównymi źródłami rozproszonych / niezorganizowanych emisji w sektorze włókna szklanego ciąglego są związane z obszarem ładowania wsadu (partii) pieca do wytapiania, kanały zasilacza oraz w przechowywaniu i przygotowaniu preparatów powlekających.

Sektor korzysta z bardzo drobnych surowców ze względu na wymogi partii (wsadu) i jednorodność szkła. Niemniej obszar ładowania partia (wsadu) jest zamknięty w miarę możliwości i potencjalne emisje z przenoszących partii (wsadu) i gazów spalinowych mają być bardzo niskie.

Wentylacja i systemy wyciągów są często stosowane w kanałach zasilacza w celu odprowadzenia stałych i gazowych emisji na zewnątrz..

Przechowywanie i przygotowanie preparatu powlekającego wymaga wykorzystania związków organicznych, takich jak octan winylu, poliuretan, oraz żywic epoksydowych. Określone, wydzielone pomieszczenia do tych operacji są zazwyczaj tworzone w celu ograniczenia narażenia pracowników na potencjalne emisje.

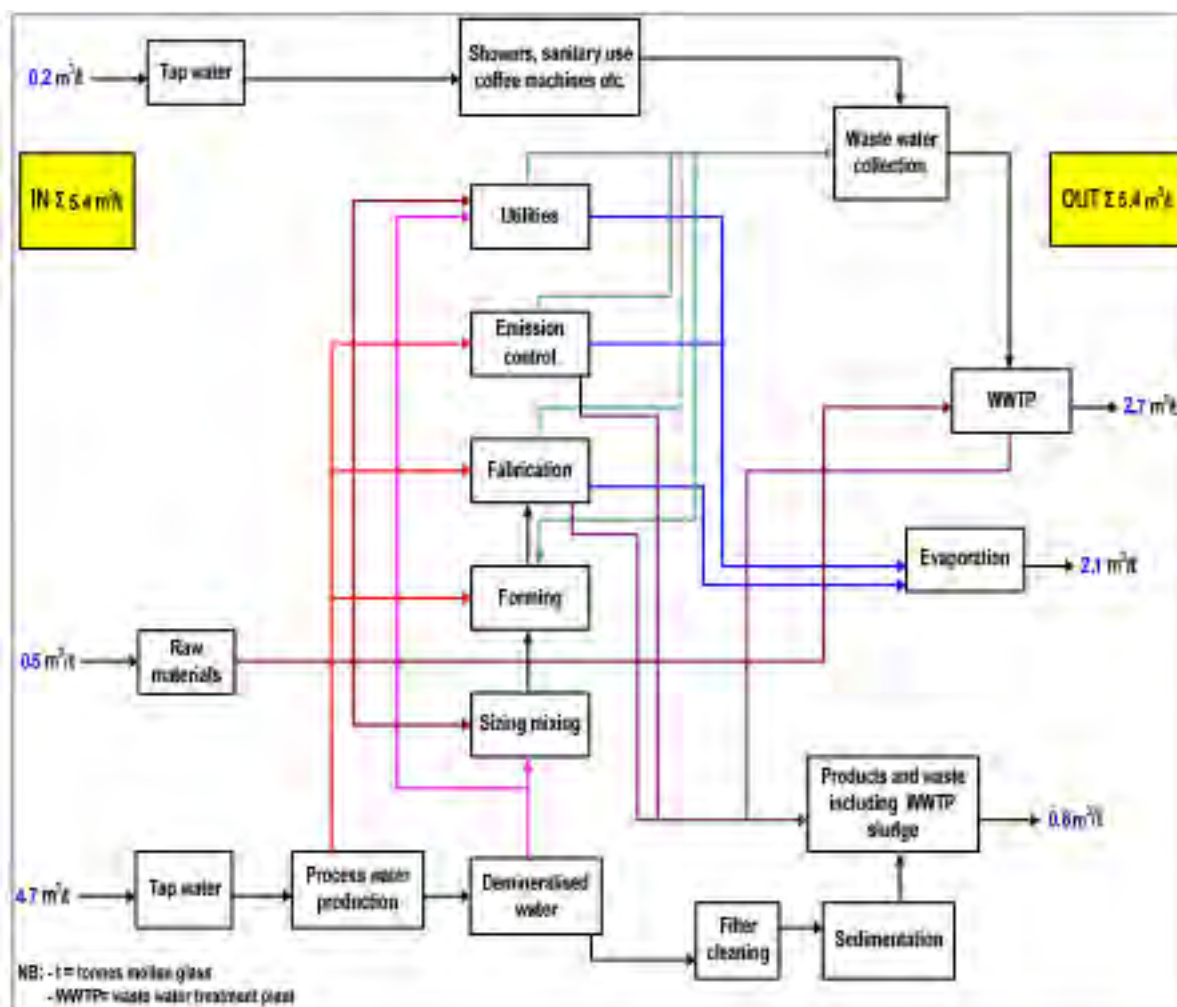
3.5.3 Emisje do wody [19, CPIV 1998]

Emisje powstają z obszaru formowania, przygotowywania spoiwa, czyszczenia, chłodzenia, tkanki / aplikacji tkanek/mat spoiwa, i z systemów oczyszczania na bazie wody. Głównym źródłem emisji jest obszar formowania. Ze względu na dużą prędkość działania nawijarki (działanie odśrodkowe) i przemieszczania się włókien podczas procesu formowania, część stosowanego spoiwa jest wyrzucona i wyciśnięta. To zbiera się w bezpośrednim obszarze wraz z wodą stosowaną do okresowego czyszczenia obszaru formowania i nawijania. Woda natryskiwana na włókna również zbiera się w tym samym miejscu.

Emisje mogą powstać w obszarze wytwarzania spoiwa z wycieków i przecieków, które przepływają do systemu oczyszczania ścieków. Systemy chłodzenia wodą wymagają strumienia czyszczącego, który będzie zawierać niewielkie ilości substancji chemicznych do uzdatniania wody. Większość stosowanych systemów oczyszczania to płuczki z recykulacją wody, które wymagają albo strumienia czyszczącego albo okresowego odprowadzania i wymiany medium oczyszczającego. Całkowite zużycie wody na tonę gotowego produktu wynosi zazwyczaj od 4 do 20 m³, straty systemu chłodzenia (czyszczenie i parowanie) stanowią około 20% tej liczby. Z wyraźnym wyłączeniem strat z parowania, większość tej wody jest odprowadzana jako ścieki. Powszechną praktyką w tym sektorze jest odprowadzanie do oczyszczalni ścieków lub do uzdatniania wody na miejscu. W przypadku odprowadzania do zakład oczyszczania ścieków, poziom emisji w punkcie odprowadzania może być znacząco wyższy niż wartości prezentowane w Tabeli 5.5 jako osiągnięte poziomy emisji.

Stężenia zanieczyszczeń w ściekach są zazwyczaj bardzo niskie (mniej niż 0,2 % zawartości stałych przed oczyszczeniem), ze względu na rozcieńczenie przez zmycie wodą, a ich zawartość jest głównie biodegradowalna. Chemikalia używane nie zawierają metali ciężkich lub substancji wymienionych jako niebezpieczne, a rzeczywisty skład różni się znacznie od miejsca, ze względu na wielką różnorodność kompozycji spoiwa. W przypadku niektórych produktów, środki sprzęgające na bazie chromu są nadal używane, ale jest to stopniowo wycofywane.

Przykład bilansu wodnego typowego dla instalacji do włókien szklanych ciągłych jest przedstawiony na rysunku 3.6.



Rysunek 3.6 Przykład bilansu wodnego typowego dla instalacji do włókien szklanych ciągłych

EN	PL
Showers, sanitary use, coffee machines itp.	Prysznice, użytek sanitarny, ekspresy do kawy
Emission control	Kontrola emisji
Fabrication	Przetwarzanie
Forming	Formowanie
Sizing mixing	? Mieszanie
Demineralized water	Woda demineralizowana
Process water production	Wytwarzanie wody procesowej
Tap water	Woda z kranu
Raw materials	Surowce
Filter cleaning	Czyszczenie filtra
Sedimentation	Sedymentacja
Products and waste including WWTP sludge	Produkty i odpady w tym WWTP ścieki
Evaporation	Parowanie
WWTP	Waste Water Treatment Plant - Oczyszczalnia Ścieków
Waste water collection	Zbieranie ścieków

3.5.4 Pozostałe odpady

[19, CPIV 1998]

Odpady mogą powstać w zakładzie partii (wsadu) z odrzuconych partii (wsadów) i rozlewów lub wycieków. Proces jest bardzo wrażliwy na jakość surowca i na ogół takie odpady są wysyłane do składowania (5 do 50 ton na rok).

Stopione szkło dostarczone przez urządzenie do wytapiania do zasilaczy może zawierać niewielkie ilości zanieczyszczeń (niestopione cząstki), które mają potencjał do wywoływania podziałów żarników tulei i tym samym tracić włókna szklane. W celu zmniejszenia tych przerw, tuleje spustowe mogą być zainstalowane w dolnej części kanału zasilającego do zasilaczy do wycofania małego przepływu szkła, które zawiera te gęstsze niestopione cząstki. Gdy tuleje spustowe są używane, szkła osuszonego jest zwykle od 1 do 5% w roztopionym szkłe. Szkło spustowe może być przetwarzane na stłuczki i albo przetwarzanie ponownie wewnątrz lub używane w innych zastosowaniach. Wewnętrzny recykling tego materiału nie jest zwykle wskazany, ponieważ wiąże się to z powrotem do pieca oddzielonych zanieczyszczeń, które popłyną z powrotem do tulejki. To może prowadzić do stopniowego wzrostu nietopniejących materiałów i potencjalnie wyższego poziomu osuszonego szkła.

Odpady szklane i włókna powstają również z powodu przemiany produktu, zmiany pakietów i uszkodzenia włókien, gdy szkło wciąż płynie, ale nie może być przekształcone w chodliwy produkt. Wytwarzanie włókien o małej średnicy (od 5 do 25 μ m) jest trudne bez pewnego poziomu pęknięcia. W związku z tym, ilość włókien szklanych odpadów może być stosunkowo wysoka, i zazwyczaj tworzy jeden z głównych strumieni odpadów z procesu. Ilość odpadów może wynosić od 10 do 25% całkowitej ilości stopionego szkła wypływającego z pieca, w zależności od rodzaju procesu formowania i od średnicy włókien. Ilości te mogą być znacznie zwiększone, gdy pojawiają się problemy z surowcami lub z wydajnością i stabilnością pieca. Włókna odpadów zawierają do 25% wody i rozcieńczonego spoiwa.

Konwersja z bryły do gotowych wyników produktów w ilościach odpadów, które zmienia się w zależności od produktów, od 3 do 10%. Bezużyteczny materiał jest głównie od wewnątrz i na zewnątrz bryły, błędne dane, materiał uszkodzony i odrzucony, próbki testowe, skrwaki mat itp. Zwykle odpady zawierają materiał pokrywający w ilości od 0,5 do 10% (do 20% w tkankach), i może zawierać nawet do 15% wody.

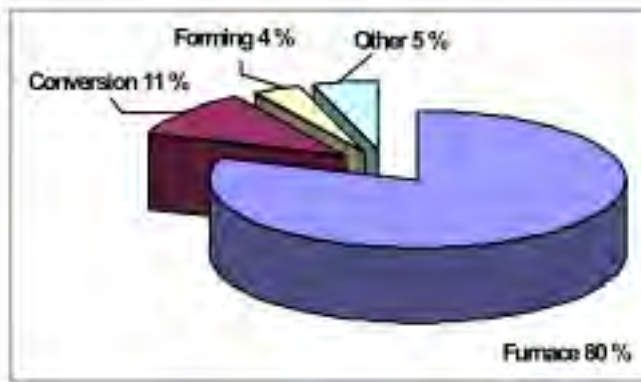
Kurz zebrany w urządzeniu redukującym nie zawsze mogą być ponownie wykorzystany w piecu. Jeśli stosowane są techniki oczyszczania na mokro lub sucho, może być trudniej, bo wymaga to dodatkowych środków, takich jak mieszanie i przetwarzanie.

3.5.5 Energia

[19, CPIV 1998 [15, ETSU 1992]

Bezpośrednia dystrybucja zużycia energii dla typowego procesu włókien szkła ciągłego pokazano na Wykresie 3.7. Zużycie energii w poszczególnych procesach może się zmieniać w zależności od wielkości urządzenia topiącego i rodzaju procesów końcowych. Ogólnie ponad trzy czwarte energii jest zużywane do wytapiania. Formowanie, w tym ogrzewanie tulei i konwersja produktu wynoszą około 15% zużycia energii, a pozostała energia jest wykorzystywana do obsługi, systemów kontroli, oświetlenia i ogrzewania fabryki.

W 2005 r. większość pieców w tym sektorze były to gazowe piece rekuperacyjne, niektóre z elektrycznym impulsem (do 20% energii do wytapiania). W tym samym roku, piece do wytopu tlenowo-paliwowego stanowiły około 46% ogólnej ilości pieców, podczas gdy w 2007 roku udział tego typu pieców był między 50 a 55%. Istnieją również przykłady olejowych pieców i pieców opalanych wzbogaconym tlenem. Temperatura podgrzewania powietrza w piecach rekuperacyjnych jest niższa niż w piecach regeneracyjnych i zapotrzebowanie na energię w konsekwencji wyższe na tonę szkła. W tym sektorze, przewodnictwo elektryczne szkła jest bardzo niskie, a obecnie 100% elektrycznego wytapiania nie jest uważany za ekonomicznie lub technicznie wykonalne.



EN	PL
Conversion	Konwersja
Forming	Formowanie
Furnace	Piec
Other	Pozostałe

Rysunek 3.7. Bezpośrednia dystrybucja zużycia energii dla typowego procesu włókien szkła ciągłego.

Zużycie energii w procesie produkcyjnym zależy od wielu czynników, z których najważniejsze są opisane w rozdziale 3.2.3. Zużycie energii do wytapiania wynosi zwykle od 7 do 18 GJ / tonę stopu, chociaż dla niektórych małych pieców produkujących specjalistyczne kompozycje, może wynosić do 30 GJ / tonę. Ogólnie zużycie energii wynosi zwykle w zakresie od 10 do 25 GJ / tonę produktu, dolna granica zakresu jest związana z dużymi piecami tlenowymi. Pośrednie zużycie energii związane z produkcją tlenu i / lub wytwarzanie energii elektrycznej nie jest zawarte w danych przedstawionych powyżej. Ogólnie rzecz biorąc, średnie zużycie energii na tonę szkła, na podstawie danych z 2007 roku (członkowie produkcji APFE), jest równoważne 16, 5 GJ / tonę gotowego produktu, z którego 12, 4 GJ / tonę pochodzi z paliw kopalnych (głównie gaz naturalny) i 4,1 GJ / t z energii elektrycznej. To przekształca się w bezpośrednią emisję CO₂ co stanowi około 770 kg CO₂/tonę produktu (paliwo kopalne + emisje z procesu produkcji).

Maksymalne temperatury sklepienia w piecach włókna szkła ciągłego są zwykle około 1650 ° C, które są do 50 ° C wyższe niż w piecach do opakowań szklanych i do 250 ° C wyższe niż w przypadku pieców do wełny szklanej. Wyższe temperatury wytapiania, przyczyniają się do stosunkowo dużego zużycia energii w tym sektorze.

3.6 Szkło gospodarcze

[28, Domestic 1998] [68, Domestic Glass Data update 2007]

Jak opisano w rozdziale 1 i w 2, sektor szkła gospodarczego jest bardzo zróżnicowany, produkując szeroką gamę produktów z różnych związków i z różnych typów pieca. W związku z tym istnieje bardzo duże zróżnicowanie nakładów technologicznych i wyjściowych. Podobnie jak we wszystkich innych sektorach, głównym materiałem wyjściowym z procesu produkcji jest produkt. W produkcji sodowo-wapniowo-krzemowego szkła, produkt szkła netto szkła reprezentuje zazwyczaj 50 do 90% (średnio 85%) nakładów surowcowych, o niższej wartości od około 40% do produkcji wysokiej jakości kieliszków. Dla kryształu ołowiowego, pakiet stosunek wytopu wynosi 35 do 80% (średnio 75%). Niższe liczby kryształu ołowiowego wynikają z wielu czynników takich jak więcej cięcia i szlifowania i wyższe ograniczenia jakości. Pozostałe rodzaje szkła gospodarczego (kryształ, opal, boro krzemowe i ceramiczne szkło) mają wartości pomiędzy tymi dwoma skrajnościami. Tabela 3. 29 poniżej podsumowuje główne parametry materiałów wejściowych i wyjściowych dla sodowego-

wapnia, kryształu i kryształu ołowiowego. Wartości dla pozostałych rodzajów szkła gospodarczego leżą między podanymi przykładami.

Dane przekazywane są wynikiem sondażu przeprowadzonego wśród członków europejskiego stowarzyszenia szkła gospodarczego i dotyczą UE-25. Należy zauważyć, że od 2000 roku, sektor został dotknięty silnym rozwojem rynku w związku z czym zostały wyprodukowane inne rodzaje kryształów i ważnymi producentami kryształów w nowych państwach członkowskich UE są te wchodzące w zgromadzonych danych (np. Czechy), ze znaczącymi zmianami w preparatach jak i technologiach wykorzystywanych do produkcji. Są to powody, dla rozszerzonego zakresu wartości emisji podanego w tabeli 3.29.

Tabela 3.29: Przegląd materiałów wejściowych i wyjściowych dla sektora szkła gospodarczego.

	Jednostek/tonę stopionego szkła	Sodowo-wapniowe szkło ⁽¹⁾	
		Kryształ i kryształ ołowiowy	Zakres (wartość środka)
Materiały wejściowe			
Energia, olej/gaz	GJ	5 - 14 (9)	0,5 - 5 (3)
Energia, elektryczność	GJ	1 - 4 (2,5)	1 - 6 (4)
Piasek krzemowy	tona	0,65 - 0,75 (0,6)	0,20 - 0,50 (0,42)
Węglany	tona	0,3 - 0,42 (0,34)	0,08 - 0,20 (0,14)
Tlenek cynku	tona		0 - 0,30 (0,18) ⁽²⁾
Drobne składniki mineralne	tona	0,02 - 0,08 (0,04)	0,005 - 0,02 (0,01)
Sztuczka wewnętrzna	tona	0,15 - 0,5 (0,25)	0,25 - 0,65 (0,35)
Materiały opakowaniowe	tona	0,06 - 0,20 (0,1)	0,06 - 0,20 (0,1)
Formy i pozostałe	tona	0,001 - 0,003 (0,002)	0,001 - 0,003 (0,002)
Woda	m ³	2 - 9 (7)	2 - 55 (11)
Kwas fluorowodorowy (100, %)	kg/t szkła kwasowego o powierzchni szlifowanej ⁽³⁾		40 - 130 (65)
Kwas siarkowy (96%)	t/t HF (100 %) ⁽³⁾		1 - 10 (5)
Wodorotlenek sodu	t/t HF (100 %) ⁽³⁾		0-0,2 (0,1)
Wodorotlenek wapnia	t/t HF (100 %) ⁽³⁾		1 - 10 (4)
Świeża woda do płukania	t/t HF (100 %) ⁽³⁾		0,025 - 0,07 (0,05)
Materiały wyjściowe			
Wykończone, zapakowane produkty	tona	0,4 - 0,9 (0,85)	0,35 - 0,8 (0,75)
Emisje do powietrza	kg	150 - 1000 (700) 0,2 - 6 (2,5) 0,1 - 1,0 (0,5) 0,001 - 0,3 (0,2) 60 - 500 (300)	150 - 400 (300) 0 - 11 (2,7) 0,1 - 0,3 (0,2) 0,001 - 0,3 (0,03) 60 - 250 (120)
CO ₂			
NO _x			
SO _x			
Pył			
H ₂ O			
Ścieki	m ³	2 - 9 (6)	2 - 54 (11)
Sztuczka wewnętrzna	tona	0,15 - 0,4 (0,25)	0,25 - 0,65 (0,35)
Odpady przeznaczone do ponownej obróbki (recyklingu)	kg	10 - 60 (30)	10 - 60 (30)
Pozostałe odpady	kg	6 - 50 (10)	6 - 50(10)
Odpady przeznaczone do ponownej obróbki (recyklingu) PbSO ₄ lub PbCO ₃ CaSO ₄	t/t HF (100 %) ⁽³⁾ t/t HF (100 %) ⁽³⁾		0,2 - 1,5 (0,8) 2-20 (7,5)
Odpady przeznaczone do składowania Osady z cięcia Osady z metali ciężkich	t/t HF (100 %) (3) t/t HF (100 %) (3)		0,3 - 0,7 (0,45) 0,1 - 0,5 (0,3)

⁽¹⁾ Dane te odnoszą się do pieców konwencjonalnych (tj. nie elektrycznych).

odniesieniu do materiału wejściowego tlenku ołowiu, zakres obejmuje cały kryształ i preparaty szkła kryształu ołowianego sklasyfikowane zgodnie z dyrektywą Rady 69/493/EWG.

odniesieniu do polerowania kwasem, zużycie 100% kwasu fluorowodorowego jest najlepszym parametrem odniesienia, ponieważ bierze pod uwagę wskaźnik powierzchni / objętości. Zużycie 100% HF / tonę kwasu polerowanego szkła zależy od powierzchni obszaru / objętości, a tym samym od rodzaju wyrobów polerowanych.

3.6.1 Procesowe materiały wejściowe

Materiały wejściowe do procesu zależą od osiągniętego produktu i wymaganego składu szkła. Główne rodzaje szkła to szkła sodowo-wapniowe, kryształ ołowiany, kryształ, boro-krzemowe, nieprzejryste, i ceramika szklana. Główne surowce wykorzystywane w sektorze są przedstawione w tabeli 3.30 Table 3.30.

Tabela 3.30: Materiały wykorzystane w sektorze szkła gospodarczego

Opis	Materiały
Materiały do formowania szkła	Piasek krzemionkowy, stłuczka procesowa, surowce zawierające bor (np. boraks, ulexyt, kwas borowy, kolemanit)
Materiały pośrednie i modyfikujące szkło	Węglan sodu, węglan potasu, węglan baru, wapień, dolomit, tlenek glinu, sjenit nefelinowy, arsen, węgiel antymonu, tlenek ołowiu, fluoryt, dwutlenek tytanu
Utleniacze szkła i środki do klarowania	Siarczan wapnia, azotan sodu, azotan potasu
Środki do malowania i dekoloryzacji szkła	Tlenki chromu, żelaza, kobaltu, miedzi, manganu, niklu, kadmu i selenu lub selenit cynku, cer
Środki powlekające produkt	Nieorganiczne lub organiczne chlorki metalu Głównie tetra chlorek cyny, tetra chlorek tytanu i trójchlorek monobutylny cyny
Smary produktowe	Smary bazujące na polietyle i kwasy tłuszczowe (np. kwas oleinowy)
Paliwa	Olej opałowy, gaz ziemny, elektryczność, butan, propan, acetylen
Woda	Sieci wodociągowe i lokalne naturalne źródła (studnie, rzeki, jeziora, itp.)
Materiały pomocnicze	Materiały opakowaniowe, w tym tworzywa sztuczne, papier, karton, oraz drewno Formy smarów, ogólnie wysokie temperatury środków emisyjnych opartych na graficie. Smary maszynowe, głównie oleje mineralne. Gazy procesowe w tym tlen i wodór. Materiały polerujące, głównie silne kwasy mineralne (HF, H ₂ SO ₄) także NaOH. Materiały dekoracyjne, emalie, piaski Chemiczne środki do uzdatniania wody do chłodzenia wody i ścieków

Surowce do wsadu szkła są mieszane w odpowiednich proporcjach w celu uzyskania pożądanego składu szkła. W przypadku szkła sodowo-wapniowego, tlenki krzemu, sodu i wapnia dają ponad 90% szkła (SiO₂: 71 - 73 %, Na₂O: 12 - 14 % i CaO: 10 - 12 %). Dwutlenek krzemu pochodzi głównie z piasku i stłuczka. Tlenek sodu pochodzi głównie z sody, a tlenek wapnia głównie z wapienia. Typowy zakres składu dla kryształu ołowianego to SiO₂: 54 - 65 %, PbO: 25 - 30 %, Na₂O or K₂O: 13 - 15 %, oraz różne inne drobne elementy.. W preparatów szkła krystalicznego, tlenek ołowiu jest częściowo lub całkowicie zastąpiony przez tlenki baru, cynku lub potasu, limity są określone w dyrektywie 69/493/EWG. Szklą borokrzemianowe są wytwarzane przy użyciu większej procentowo ilości związków krzemu niż związków boru (wrażonych jako trójtlenek boru B₂O₃). Typowy skład to 70 - 80 % SiO₂, 7 - 15 % B₂O₃, 4 - 8 % Na₂O or K₂O, i 2 - 7 % Al₂O₃. Zawartość boru w kompozycji szkła borokrzemianowego wywodzi się z boraksu lub innych materiałów zawierających bor (kwas borowy, uleksyt, kolemanit), oraz tlenek glinu wywodzi się głównie z tlenku glinu.

Skład nieprzezroczystego szkła jest ogólnie wyrażany jako składający się głównie z tlenków krzemu, sodu, wapnia, glinu i potasu, ale on także zawiera około 4 - 5% fluorku pochodzącego z minerałów, takich jak fluoryt. Dominującymi tlenkami w szkle ceramicznym są tlenki krzemu, aluminium, sodu i wapnia, z niższym poziomem magnezu, baru, cynku, cyrkonu, tytanu i litu. Wykorzystanie stłuczki w tym sektorze jest różne, większość procesów będzie ponownie używać stłuczki wewnętrznej, ale zewnętrzna stłuczka nie jest normalnie używane ze względów jakościowych.

Sektor szkła gospodarczego używa różnych rodzajów środków do oczyszczania (rafinowania) i środków do utleniania: Azotany, Si i Sb: 0.1 - 0.4 % ze wsadu) i związki ceru (0.2 - 0.5 % ze wsadu). Selen jest również stosowany jako środek odbarwiający i jest typowo <0,005% składu wsadu. W produkcji kryształu ołowianego, jest konieczne polerowanie szkła po cięciu.

Najczęstszym sposobem osiągnięcia tego jest zanurzenie szkła w mieszaninie mocnego kwasu fluorowodorowego i siarkowego, a następnie płukanie wodą. Niektóre produkty otrzymują zabiegi powierzchniowe podobne do tych w sektorze szkła opakowaniowego opisanego w rozdziale 3.3.3.3.

Paliwa stosowane będą się różnić proces od procesu, ale ogólnie, gaz ziemny, olej opałowy i elektryczność są używane do topienia szkła, zarówno oddzielnie jak i w zestawie. Zasilacze i odprężarki są ogrzewane gazem lub energią elektryczną, które są również używane do ogrzewania i usług ogólnych. Lekki olej opałowy, propan i butan są czasami używane jako back-up paliw oraz do wykańczania powierzchni (także acetylen). Tlen służy również do pieca lub procesów końcowych.

Ogólnie rzecz biorąc, główne zastosowania wody w sektorze szkła gospodarczego są dla układów chłodzenia i czyszczenia. Stosowana jest woda chłodząca, zazwyczaj w obwodach zamkniętych lub otwartych, do chłodzenia różnych części urządzeń z odpowiednimi stratami z parowania i czystki. Woda jest również stosowana w szczególnych etapach końcowych procesu (cięcie, szlifowanie, mycie, itp.) oraz do płuczek (system czyszczenia na mokro). W związku z tym, rzeczywiste zużycie wody może się zmieniać w zależności od warunków lokalnych (np. temperatura otoczenia i twardość pobieranej wody).

3.6.2 Emisje do powietrza

[28, Domestic 1998]

3.6.2.1 Surowce

W najbardziej nowoczesnych procesach przetwórczych szkła gospodarczego, silosy i naczynia do mieszania są wyposażone w systemy filtrów do redukcji emisji pyłów poniżej 5 mg/Nm³. Masa emisji z systemów zarówno filtrowanych i niefiltrowanych będzie wyraźnie zależeć od liczby przekształceń i ilości materiału używanego. Jednak cechą charakterystyczną tego sektora jest to, że niektóre zakłady partii są stosunkowo małe i ze względu na specjalistyczny charakter i niską objętość niektórych produktów, jest tam wyższy poziom obsługi (i semi-manual) przeładunku i transportu. Emisje z tych działań będą zależeć od tego, jakie systemy są kontrolowane, to jest omówione w rozdziale 4. Oczywiście, gdzie materiały zawierające potencjalnie więcej toksycznych związków (np. tlenek ołowiu, arsenu itp.) są używane, tam jest potencjał do emisji tych substancji. Zazwyczaj konkretne kontrole są stosowane w celu zapobiegania emisji (np. odpylanie i stosowanie pneumatyczny) i konsekwentnie poziomy emisji są zwykle bardzo niskie.

3.6.2.2 Topienie

[28, Domestic 1998] [68, Domestic Glass Data update 2007]

W sektorze włókna szklanego ciągłego, największe potencjalne zagrożenie środowiska naturalnego stanowi emisja do powietrza atmosferycznego z procesu topienia. Główne emitowane substancje i ich źródła przedstawiono w rozdziale 3.2.2.1. W tym rozdziale, istnieje szereg produktów, a większość techniki topienia opisanych w rozdziale 2 znajduje się: Energia użyta do procesu produkcji to może być gaz ziemny, olej lub elektryczność. Podsumowanie zakresu emisji do atmosfery, jest podane w tabeli 3.31. Dane te są przedstawione odnoszące się do stosowania zarówno pierwotnych i wtórnych metod redukcji. Zgodnie z ograniczonymi dostępnymi danymi, emisje ze szkła boro krzemianowego dla użytku gospodarczego (garnki) nie mogą zostać przedstawione. Dane przekazywane są wynikiem sondażu przeprowadzonego wśród członków europejskiego stowarzyszenia szkła gospodarczego i dotyczą UE-25. Statystyczne analizy danych mogą dawać rezultaty które pokażą znaczące różnice od poprzednich badań przeprowadzonych wśród członków UE-15 względem przygotowania pierwszej wersji BREF. Trzy wykresy razem są uważane za reprezentujące pełen zakres sektora, z emisjami z pozostałych typów szkła znajdujących się pomiędzy przykładami.

Tabela 3.31. Podsumowanie emisji do atmosfery z pieców do szkła gospodarczego.

Substancja	Sodowo-wapniowo-krzemowe szkło ⁽¹⁾		Kryształ i kryształ ołowiany	
	mg/Nm ³ (wartość średnia)	kg/tonę stopionego szkła (wartość średnia)	mg/Nm ³ (wartość średnia)	kg/tonę stopionego szkła (wartość średnia)
Tlenki azotu (jako NO ₂) ⁽²⁾	300 - 2100 ⁽²⁾ (1100)	0,2 - 6 (2,5)	300 - 2300 (840)	0,2 - 11 (2,7;
Tlenki siarki (jako SO ₂)	80 - 310 (180)	0,1 - 1,0 (0,5)	60 - 130 (80)	0,1 - 0,3 (,2)
Cząstki stałe	0,5 - 220 (90)	0,001 - 0,3 (0,2)	0,1 - 13 (4)	0,001 - 0,3 (0,03)
Fluorki (HF)	0,2 - 5 (2)		0,1 - 10 (2)	<0,003
Chlorki (HCl)	0,1 - 20 (10)		0,2 - 2 (1)	<0,004
Metale (włączając ołów)	<5		0,05 - 0,5 (0,2)	<0,01

(1) Dane te odnoszą się do pieców konwencjonalnych (tj. nie elektrycznych).
⁽²⁾ Niektóre wyniki odnoszące się do użycia azotanów we wsadzie lub w innych szczególnych warunkach (np. bardzo niski wskaźnik pull).
Źródło: [68, Domestic Glass Data update 2007]

Poziomy emisji dla konkretnego pieca mogą zależeć od wielu czynników, takich jak skład wsadu, stosowanych technik redukcji emisji, jak i wieku pieca. Emisje fluorków, ołowiu i innych metali są bezpośrednio związane z wykorzystaniem związków zawierających te substancje we wsadzie. Ogólnie, metale ciężkie są emitowane jako cząstki stałe i są związane z wyrobem produktów szklanych o wysokiej zawartości metali (np. ołowiane szkło kryształowe) lub, rzadziej, z wykorzystaniem słuczki, która zawiera metale ciężkie. W niektórych przypadkach, fluor dodaje się jako surowiec do spełnienia wymogu składu szkła, w innych jest to zanieczyszczenie niektórych surowców. Część materiału zostanie włączona do szkła, ale część z pewnością będą emitowane do atmosfery. Fluor jest zwykle emitowany, jako HF, oraz metale mogą być emitowane, jako opary lub bardziej powszechnie są zawarte w cząstkach materii.

3.6.2.3 Końcowe działania

Sodowo-wapniowego produkty mogą mieć zabiegi powierzchniowe stosowane. Oczyszczanie i emisje są podobne do tych opisanych dla szkła opakowaniowego w pkt 3.3.2.3. Wiele produktów jest wykończona ogniem, jednak operacja ta nie powoduje emisji innych niż produkty spalania w płomienia. Polerowanie kwasem produktów kryształu ołowianego może prowadzić do emisji oparów kwasu (HF i SiF₄), które są zwykle oczyszczane w wieżach oczyszczających w obiegu wody lub roztworze alkalicznym (np. wodorotlenek sodu).

Opary z kąpieli kwasowej reagują w wodzie by wytworzyć kwas heksafluorokrzemowy (H₂SiF₆) w stężeniu do 35%. Ta woda kwasowa musi być zneutralizowana przed odprowadzeniem lub, w pewnych okolicznościach, mogą być odzyskana do zastosowania w przemyśle chemicznym.

Emisje gazowe mierzone po systemie oczyszczania używane do usuwania oparów kwasowych pokazują wartość stężenia poniżej 5 mg/Nm³ HF.

Więcej szczegółów dotyczących aspektów technicznych systemów oczyszczania stosowanych w sektorze zostały omówione w rozdziale 4.5.4.

Działania mielenia i cięcia mogą spowodować wzrost emisji pyłu. Te są zazwyczaj kontrolowane przez cięcie pod wodą lub lokalne wyciągi powietrza.

3.6.2.4 Rozproszone/ulotne emisje

Głównymi źródłami rozproszonych / ulotnych emisji w sektorze szkła gospodarczego są związane z obszarem ładowania wsadu (partii) pieca, kanałami zasilacza, obszarze formowania i działaniach wykańczających ogniem.

Emisja z obszaru ładowania wsadu (Doghouse) jest związana z przenoszeniem składu wsadu (emisja pyłów), i gazów spalinowych z pieca.

Kiedy stosowane są piece elektryczne, na przykład do produkcji szkła lub kryształu ołowiowego lub szkła opalowego, powierzchnia „dog house” jest często wyposażona w system ekstrakcji by przekazać emisję do filtra workowego lub, w rzadszych przypadkach, do systemu oczyszczania na mokro.

Gazy spalinowe i produkty parowania mogą być zwolnione z kanałów zasilacza. Gdy barwienie szkła odbywa się w podajniku, emisje rozproszone z kanałów zasilacza mogą być znaczne z powodu obecności metali ciężkich.

W obszarze formowania, mgły oleju mineralnego i innych produktów smarowych mogą być uwolnione. Gazy spalinowe mogą powstawać w trakcie termicznej obróbki form i z odprężarki.

Działania wykończeniowe ogniem są dość powszechne i wytwarzają gazy spalinowe, które są zwykle uwalniane do otaczającej atmosfery.

Te szczególnie kwestie są zwykle zarządzane według przepisów bezpieczeństwa i higieny pracy i nie stanowią znaczących emisji do powietrza. W niektórych szczególnych przypadkach, ekstrakcja i oczyszczanie emisji rozproszonych z kanałów zasilacza mogą być konieczne, aby ograniczyć poziom ekspozycji na metale ciężkie w miejscu pracy.

3.6.3 Emisje do wody

[28, Domestic 1998] [101, Bruno D. BATwater 2007]]

Tak jak w przypadku innych sektorów przemysłu, w sektorze szkła gospodarczego, główne zastosowania wody to chłodzenie i czyszczenie, a wodne emisje są ograniczone do czystek systemu wody chłodzącej, czyszczenia wód i spływu wód powierzchniowych. Wody stosowane do czyszczenia w ogóle nie powodują żadnych szczególnych problemów, które nie byłyby powszechne dla poszczególnych urządzeń przemysłowych, substancji stałych, czyli obojętnych i potencjalnie oleju. System chłodzenia czystki będzie zawierał sole nierozpuszczalne chemikalia do uzdatniania wody. Jakość wód powierzchniowych będzie zależeć od stopnia rozdzielenia odprowadzanych ścieków oraz stanu czystości miejsca.

Jednak produkcja niektórych produktów, w szczególności szkła, które zawiera ołów, może prowadzić do innych bezpośrednich emisji, które mogą zawierać ołów lub inne związki.

Główne potencjalne źródła zanieczyszczonych ścieków to: czyszczenie wody z obszarów, w których materiał wsadowy może być rozlany, (które mogą zawierać ołów, arsen, antymon, itd.) i z wody wykorzystywanej do cięcia i szlifowania produktów. Większość procesów będzie wykorzystywała techniki usuwania ciał stałych, np. osady, opady i flokulacje zgodnie z obowiązującymi przepisami.

Polerowanie kwasem powoduje również emisje do wody. Po zanurzeniu szkła w kwasie, posiada warstwę siarczanu ołowiu i fluorokrzemianu na powierzchni. To jest zmywane gorącą wodą, która stanie się kwaśna i zawiera siarczan ołowiu. W zależności od związków chemicznych użytych do neutralizacji tej wody, siarczan ołowiu może dalej reagować np. by wytworzyć CaSO_4 z Ca(OH)_2 zmieniając postać ołowiu (wytrącanie).

Oba produkty mogą być ponownie użyte jako surowiec (ponownie do wsadu) lub odzyskane w innych procesach. Osady są przetwarzane poprzez filtrowanie i wymywanie w celu otrzymania siarczanu ołowiu lub przez reakcje z węglanem wapna lub sodu w celu otrzymania węglanu ołowiu. Oba produkty mogą być ponownie użyte jako surowce (ponownie włożone do wsadu) lub oczyszczone dla innego procesu. Jednakże, na ogół, ze względu na warunki techniczne (ryzyko uszkodzenia urządzeń mieszających wsad i materiały ogniotrwale do pieca), powstałe osady są składane na specjalnych składowiskach. Frakcja ciekła z przetwarzania osadów daje roztwór kwaśny, który może być ponownie użyty w procesie polerowania. Typowe stężenie mierzone w punkcie wylotu jest przedstawione w tabeli poniżej 3.32.

Tabela 3.32 Typowe stężenie mierzone w punkcie wylotu, po oczyszczaniu

Parametr	Wartość mierzona (mg/l)
Całkowite zawiesiny substancji stałych	<50
Pb	<0,05
Sb	<0,1
F	<6
SO ₄ ²⁻	<1000
Węglowodory	<1
Źródło: [84, Italy Report 2007] [110, Austria, Domestic glass plants 2007]	

3.6.4 Pozostałe odpady

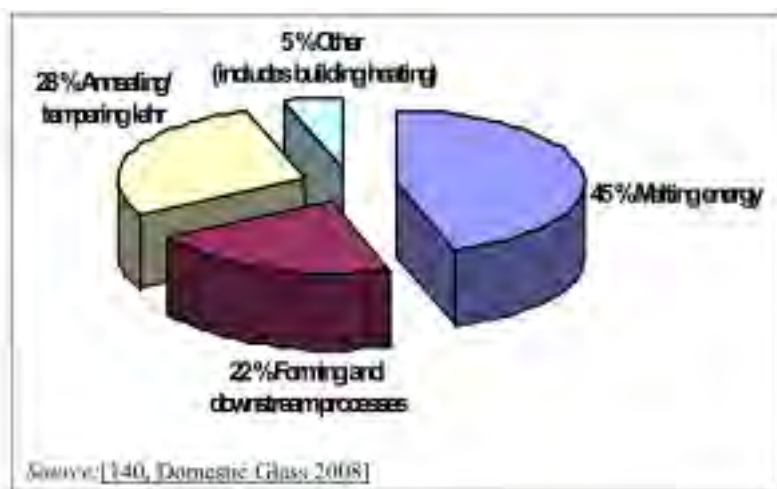
Większość odpadów szklanych (stłuczka) jest ponownie wkładana do pieca i poziomy odpadów są ogólnie bardzo niskie. Ogólne odpady z opakowań i napraw pieca są podobne do innych sektorów. Odpady z systemu odpylania i suchego oczyszczania (spłuczki) są zazwyczaj zwracane ponownie do pieca. W produkcji kryształu ołowianego, osady oddzielone od systemu ścieków muszą być usuwane, gdyż nie można użyć ich ponownie. Formowanie osadów zostało omówione w Rozdziale 3.6.3 powyżej i wykresy są przedstawione w Table 3.29.

3.6.5 Energia [15. ETSU 1992]

Uwzględnienie zużycia energii w tym sektorze jest dość trudne ze względu na swoją różnorodność i szeroki zakres technik stosowanych do topienia. Wysokonakładowa produkcja sodowo-wapniowej zastawy stołowej ma wiele wspólnego z produkcją szkła opakowaniowego (patrz rozdział 3.3.5) i pokazuje porównywalny rozkład zużycia energii. Jednak większa część zużycia energii związana jest z końcowymi operacjami (np. polerowanie płomieniowe i wykańczanie). Jednostkowe zużycie energii do topienia jest wyższe w tym sektorze niż dla szkła opakowaniowego. To dlatego, że piece są zazwyczaj mniejsze, temperatury topnienia są nieco większe, a czas przebywania w piecu wynosi do 50% dłużej.

Wartości energetyczne zazwyczaj odnoszą się jedynie do podstawowego procesu i nie zawierają końcowych działań, takich jak: grawerowanie, cięcie, szlifowanie, spawanie itp. Typowe wartości energii dla tych końcowych działań może osiągnąć od 5 do 10 GJ / tonę produkowanego szkła. Rozkład zużycia energii dla typowego wytwarzania sodowo-wapniowo-krzemionkowego naczynia szklanego jest pokazane na Rysunku 3.8 i przykłady jednostkowego zużycia energii zostały przedstawione w tabeli 3.8 w Rozdziale 3.2.3. Kiedy elektryczne topienie jest stosowane typowe zużycie energii do topienia mieści się w zakresie od 4 do 7 / GJ na tonę szkła, z wartościami tak niskimi jak 3.4 GJ / t. W konwencjonalnych piecach zużycie energii do topienia mieści się na ogół w zakresie od 4,8 do 10 GJ / tonę stopionego szkła. Do wytwarzania naczynia wysokiej jakości w raczej

małych ilościach, wymagania energetyczne są wyższe (podobne do opakowań typu flaconnage w porównaniu z butelkami w sektorze opakowań).



EN	PL
Annealing/Tempering lehr	
Forming and downstream processes	Formowanie i procesy końcowe
M...energy	
Other (includes building heating)	Inne (w tym budowanie ogrzewania)

Rysunek 3.8. Zużycie energii w produkcji sodowo-wapniowo-krzemionkowej zastawy stołowej

Niektóre inne procesy w sektorze, szczególnie w produkcji kryształu ołowianego, prowadzone są na znacznie mniejszą skalę i piece kociołkowe mogą być używane. Rozkład zużycia energii dla produkcji kryształowego szkła ołowiowego znacznie różni się między jednym a drugim zakładem, wraz ze zróżnicowaniem energii potrzebnej do procesu topienia od 16 do 85% całkowitego zużycia energii.

Całkowite zużycie energii dla wytwarzania kryształu ołowianego może być nawet wyższe (do 28 GJ / tonę gotowego produktu), kiedy obliczana teoretyczne zapotrzebowanie energii do topienia z normalnych surowców wynosi tylko około 2,5 GJ / tonę. Różnica może być skutkiem wielu czynników, ale najważniejsze z nich są przedstawione poniżej.

- Wymagania wysokiej jakości mogą prowadzić do wysokiego poziomów odrzucenia. Naczynie jest powoli rozpuszczane przez szkło, co prowadzi do sznurów i kamieni w produkcji.
- Szkło jest często ręcznie robione i to co powstanie z formowania może wynosić poniżej 50%, a przedmioty mogą wymagać ponownego ogrzewania podczas formowania.
- Naczynia muszą być "założona" lub poddane wysokiej temperaturze przed użyciem, i mają bardzo ograniczoną trwałość w porównaniu do pieców przelotowych.

Elektryczne topienie kryształu ołowianego umożliwia stosowanie materiałów ogniotrwałych o wysokiej jakości, które dają wyższą jakość szkła, a zatem mniejsze braki i lepszą wydajność. Ciągłość w topieniu elektrycznym oraz fakt, że nie ma tam gorących gazów spalinowych ze spalania często prowadzi do bardziej efektywnego zautomatyzowanego formowania. Jednak ogólny popyt na energię włączając w to końcowe działania może doprowadzić do zużycia energii w pobliżu wartości 25 GJ / tonę produktu.

3.7 Szkło specjalne

Sektor szkła specjalnego jest bardzo zróżnicowany szerokim zakresem produktów, preparatów szkła i technik produkcyjnych. Wiele instalacji nie spełniają kryteriów 20 ton / dzień, określonych w

dyrektywie 2008/1/WE, chyba że są one powiązane z innymi piecami. W związku z tym, nie jest to wykonalne lub wręcz konieczne przydatne, aby spróbować podsumować cały zakres emisji z całej branży. Więcej niż 53% zdolności sektora stanowią żarówki i lampy i około 9% to szkło ceramiczne. Ten rozdział próbuje, na ile to możliwe, objąć cały sektor, ale całościowe informacje dostarczone są tylko dla ceramiki szklanej, borokrzemowych rur szklanych i szkła sodowo-wapniowego dla żarówek lampowych.

Produkcja szkła wodnego jest obecnie opisana w Wielkotonazowa Produkcja Związków Nieorganicznych – Stałych i Innych (LVIC-S) BREF [138, EC 2007], z tego powodu ten konkretny produkt nie został zawarty w tej sekcji.

3.7.1 Produkcyjne (procesowe) materiały wejściowe [26, Special 1998]

Skład chemiczny włókien zmienia się w zależności od rodzaju szkła i końcowego zastosowania, i zazwyczaj wyraża się w kategoriach tlenków poszczególnych pierwiastków jakie zawiera. Trudno jest zidentyfikować "typową" kompozycję wsadu w tak zróżnicowanym sektorze. Podstawowe surowce są wybierane i zestawiane w celu uzyskania odpowiedniego składu szkła po stopieniu. Typowe rodzaje szkła i zakresy składu przedstawiono w rozdziale 2.8. Tabela 3.33 pokazuje główne surowce stosowane do osiągnięcia tych składów.

Więcej szczegółowych informacji znajduje się w materiałach wejściowych dla szkła ceramicznego i sodowo-wapniowych żarówek szklanych w tabeli 3.34, gdzie dane dotyczące czterech specyficznych przykładów procesów są podane.

Tabela 3.33: Materiały wykorzystane w sektorze szkła specjalnego

Opis	Materiały
Materiały do formowania szkła	Piasek krzemionowy i wysokiej jakości piasek kwarcowy, stłuczka procesowa
Materiały pośrednie i modyfikujące szkło	Węglan sodu, węglan potasu, wapień, dolomit, tlenek glinu, wodorotlenek glinu, tlenek cyrkonu, boraks, kwas borowy (czysty do pewnych zastosowań), węgiel, tlenek ołowiu, tlenek tytanu, tlenek cyny, węglanu strontu, węglan litu, węglan baru, spodumen, fluoryt, sjenit nefelinowy, skalenie, chlorek sodu, fosforany
Utleniacze szkła i środki do klarowania	Siarczan wapnia, azotan sodu, azotan potasu, arsen (As_2O_3), antymon (Sb_2O_3), węgiel
Środki do malowania	Chromit żelaza, tlenek żelaza, kobaltu, selenu lub selenit cynku, cer
Paliwa	Olej opałowy, gaz ziemny, elektryczność, butan, propan, acetylen
Woda	Sieci wodociągowe i lokalne naturalne źródła (studnie, rzeki, jeziora, itp.)
Materiały pomocnicze	Materiały opakowaniowe, w tym tworzywa sztuczne, papier, karton, oraz drewno. Formy smarów, ogólnie wysokie temperatury środków emisyjnych opartych na graficie. Smary maszynowe, głównie oleje mineralne. Gazy procesowe w tym azot, tlen, wodór i dwutlenek siarki. Chemiczne środki do uzdatniania wody do chłodzenia wody i ścieków.

Tabela 3.34: Więcej szczegółowych informacji znajduje się w materiałach wejściowych dla szkła ceramicznego i sodowo-wapniowych rurek szklanych

	Szklana	Szklane rurki		Szklane bańki do lamp
	Ceramika	(borokrzemianowe)		(sodowo-wapniowe)
Rodzaj pieca	Palniki tlenowe	Palniki tlenowe	Poprzeczno-płomienny piec rekuperacyjny	Poprzeczno-płomienny piec rekuperacyjny
Wydajność pieca	30 - 65 t/d	10 - 55 t/d	10 - 55 t/d	50 - 150 t/d

Materiały wejściowe	Jednostki/tony stopionego szkła				
Energia, gaz	GJ	5,5 - 11	10 - 15	14 - 17	5 - 14
Energia, elektryczność	GJ	1 - 8			
SiO ₂ (obliczone)	kg	660 - 685	740 - 760	740 - 760	400 - 700
Al(OH) ₃ (obliczone)	kg	310 - 340	22 - 26	22 - 26	
CaO, CaCO ₃	kg		18 - 22	18 - 22	100 - 400
K ₂ O, K ₂ CO ₃	kg				20 - 100
Na ₂ CO ₃ , Na ₂ O	kg		22 - 28	22 - 28	100 - 300
CaF ₂	kg		3 - 7	3 - 7	
TiO ₂	kg	12 - 45			
Li ₂ CO ₃ (obliczone)	kg	85 - 110			
B ₂ O ₃	kg		220 - 240	220 - 240	10 - 100
NaNO ₃ , KNO ₃	kg	9,5 - 15	20 - 25	20 - 25	50 - 250
ZrO ₂	kg	12 - 45			
ZnO	kg	12 - 45			
Drobne składniki mineralne	kg	3,5 - 10	1 - 2	1 - 2	0,5 - 20
Stłuczka wewnętrzna	kg	250 - 550	200 - 400	150 - 350	100 - 500
Woda	m ³	1,5 - 2,5	1,7 - 2,8	1,7 - 2,8	Obieg zamknięty wody
Materiały wyjściowe					
<i>Emisje do powietrza</i>					
Systemu redukcji emisji gazu odlotowego		Filtry workowe	Filtry workowe/ESP	Filtry workowe/ESP	ESP (Procent Wymennego Sodiu)
CO ₂	kg	410 - 500	900 - 1150	950 - 1300	400 - 600
NO _x (jako NO ₂)	kg	3,6 - 6,5	5 - 8	7 - 12	0,1 - 6
SO _x (as SO ₂)	kg		0,02 - 0,07	0,02 - 0,07	0,01 - 0,05
HCl	kg		0,02 - 0,08	0,02 - 0,08	0,02 - 0,08
HF	kg		0,002 - 0,004	0,002 - 0,004	
Pył	kg	0,001 - 0,08	0,001 - 0,08	0,001 - 0,08	0,001 - 0,08
Metale ciężkie	kg	0,003 - 0,02	0,001 - 0,02	0,001 - 0,02	
Ścieki	m ³	0,8 - 1,5	1 - 1,6	1 - 1,6	Obieg zamknięty wody
Źródło: [141, Special glass 2008]					

3.7.2 Emisje do powietrza

3.7.2.1 Surowce

W najbardziej nowoczesnych procesach przetwórczych szkła specjalnego, silosy i naczynia do mieszania są wyposażone w systemy filtrów do redukcji emisji pyłów poniżej 5 mg/Nm³. Masa emisji z systemów zarówno filtrowanych i niefiltrowanych będzie wyraźnie zależeć od liczby przekształceń i ilości materiału używanego. Jednak cechą charakterystyczną tego sektora jest to, że niektóre zakłady wsadu są stosunkowo małe i ze względu na specjalistyczny charakter i niską objętość niektórych produktów, jest tam wyższy poziom obsługi (i semi-manual) obsługi i transportu. Emisje z tych działań będą zależeć od tego, jak systemy są kontrolowane. Oczywiście, kiedy obsługiwane są materiały zawierające potencjalnie toksyczne związki (np. tlenek ołowiu, arsenu, itp.) istnieje możliwość emisji tych substancji.

3.7.2.2 *Topienie*

W sektorze szkła specjalnego, największe potencjalne zagrożenie dla środowiska naturalnego stanowią emisje do powietrza atmosferycznego z procesu topienia. Główne emitowane substancje i ich źródła przedstawiono w rozdziale 3.2.2.1. Szeroki zakres i specjalistyczny charakter produktów sektorze szkła specjalnego prowadzą do stosowania szerszej gamy surowców niż występuje w większości innych sektorów. Na przykład: lejki CRT i niektóre soczewki optyczne posiadają wysoki poziom ołowiu: ponad 20% i do 70%, niektóre związki szkła mogą obejmować stosowanie specjalnych środków rafineryjnych, takich jak tlenki arsenu i antymonu, a niektóre szkła optyczne mogą zawierać maksymalnie do 35% fluorków i 10% tlenku arsenu. Emisje fluorków, ołowiu i innych metali są bezpośrednio związane z wykorzystaniem związków zawierających te substancje we wsadzie.

Ze względu na różnorodny charakter sektora, większość technik topienia opisanych w rozdziale 2 można znaleźć. Jednak niskie wartości produkcji oznaczają, że większość piecy jest dość mała, a najbardziej popularne techniki to stosowanie pieców rekuperacyjnych, piecy tlenowo-gazowych, elektrycznych urządzeń do topienia i dziennych zbiorników. Piece regeneracyjne są również stosowane, na przykład, były stosowane do wytwarzania szkła kineskopowego a obecnie, rzadziej, w produkcji rur ze szkła borokrzemianowego lub innych rodzajów szkła (np. sodowo-wapniowo-krzemianowe szklane bańki). Temperatury topienia szkła specjalnego mogą być większe niż w przypadku bardziej tradycyjnych związków produkowanych seryjnie. CRT, borokrzemowego szkła i ceramika szklana, w szczególności, wymagają temperatury topnienia wyższej niż 1650 ° C.

Te wysokie temperatury i złożone preparaty mogą prowadzić do zwiększenia emisji na tonę niż np. produkty sodowo-wapniowe. Wyższe temperatury sprzyjają wyższym stopniom ulatniania i powstawanie NO_x, oraz większe wykorzystanie środka do utleniania azotanu lub środka do klarowania siarczanu mogą powodować wyższe emisje NO_x, SO₂, i metali. Mniejsza skala produkcji w połączeniu z wysokimi temperaturami oznacza także, że efektywność energetyczna jest niższa.

Poziomy emisji dla konkretnego pieca mogą zależeć od wielu czynników, ale głównie od składu wsadu, typu pieca, stosowanych technik redukcji emisji, eksploatacji pieca jak i wieku pieca. Poziomy emisji wyrażone w kg / tonę stopionego wyrobu podano w tabeli 3.34 dla czterech różnych przykładowych procesów.

3.7.2.3 *Działania końcowe*

Emisje z działań końcowych z pieca są bardzo specyficzne i muszą być wzięte pod uwagę w każdym przypadku. Jednakże, istnieją pewne ogólne kwestie.

Kilka rodzajów produktów może wymagać cięcia, szlifowania i polerowania, co może prowadzić do emisji pyłów i w przypadku niektórych produktów (np. szkła optycznego i lejków i paneli CRT), ołów może być obecny w emisjach. Operacje te są zazwyczaj przeprowadzane pod wodą lub mają wyciągi powietrza i pyłu. Tym samym poziomy emisji są na ogół bardzo niskie.

3.7.2.4 *Rozproszone/ulotne emisje*

Głównymi źródłami rozproszonych / ulotnych emisji dla sektora szkła specjalnego mogą się różnić w zależności od rodzaju produkowanego wyrobu szklanego. Zwykle dotyczą obszaru ładowania wsadu pieca, kanału zasilacza, obszaru formowania i operacja wykończenia płomieniem.

Emisja z obszaru ładowania wsadu (doghouse) jest związana z przenoszeniem składu wsadu (emisja pyłów), i gazów spalinowych z pieca, i ma wiele wspólnego z sektorami opakowań i szkła gospodarczego.

Przy zastosowaniu pieców „discountinuous” do produkcji szkieł z preparatów wsadowych zawierających potencjalnie szkodliwe surowce (np. związki As, Sb, Pb, C), system do ekstrakcji może być obecny na powierzchni do pakowania wsadu pieca kociołkowego lub zbiornika dziennego, przenoszący rozproszone gazy odlotowe do systemu oczyszczania.

Gazy spalinowe i produkty parowania mogą być uwolnione z kanałów zasilacza.

W obszarze formowania, mgły oleju mineralnego i innych produktów smarowych mogą być uwolnione. Gazy spalinowe mogą powstawać w trakcie termicznej obróbki form i z odprężarki.

Działania wykończenia płomieniem są dość powszechne i wytwarzają gazy spalinowe, które są zwykle uwalniane do otaczającej atmosfery.

Środki zapobiegające przeciekom, wyciekom i emisji niezorganizowanej, wraz z kontrolą zużycia amoniaku, są zwykle stosowane, gdy techniki ograniczania emisji NO_x SCR i SNCR są prowadzone w specjalnych instalacjach szklanych.

Ogólnie rzecz biorąc, te źródła nie powodują znaczących emisji do powietrza, a większość kwestii jest zarządzana zgodnie z przepisami bezpieczeństwa i higieną pracy.

3.7.3 Emisje do wody

Tak jak w przypadku innych sektorów przemysłu, główne zastosowania wody to chłodzenie i czyszczenie, a wodne emisje będą zawierać system czystek wody chłodzącej, czyszczenia wód i spływu wód powierzchniowych. Wody stosowane do czyszczenia w ogóle nie powodują żadnych szczególnych problemów, które nie byłyby powszechne dla poszczególnych urządzeń przemysłowych, substancji stałych, czyli obojętnych i potencjalnie oleju. System chłodzenia czystki będzie zawierał sole nierozpuszczalne i środki chemiczne do uzdatniania wody. Jakość wód powierzchniowych będzie zależeć od stopnia rozdzielania odprowadzanych ścieków oraz stanu czystości miejsca.

Jednakże zróżnicowanie sektora oznacza, że nie jest możliwe określenie wszystkich potencjalnych zanieczyszczeń, a każdy przypadek należy oceniać szczególnie. Surowce stosowane do każdego produktu i prowadzonych procesów muszą być uwzględnione. Wszelkie potencjalnie szkodliwe surowce użyte w zakładzie będą miały potencjał, aby wejść do strumieni ścieków, szczególnie tam, gdzie materiały są przetwarzane i produkty są cięte lub mielone. Na przykład, szlifowanie i polerowanie wyrobów, takich jak lejki CRT oraz niektóre szkła optyczne, mogą generować strumień wodny, który zawiera substancje pomocnicze ze szlifowania i polerowania i drobne szkło zawierające ołów. Ogólnie rzecz biorąc, substancje stałe będą usuwane, a ciecz zostanie poddana ponownemu przetwarzaniu w miarę możliwości, ale będzie tam pewien poziom rozładowania i potencjał do wycieku. Niektóre dane ilościowe dotyczące jednostkowego zużycia i usuwania wody na tonę stopionego szkła podano w tabeli 3.34 powyżej dla czterech przykładowych procesów.

3.7.4 Pozostałe odpady

Ogólnie, większość odpadów szklanych (stłuczka) jest ponownie wkładana do pieca i poziomy odpadów są ogólnie całkiem niskie. Ogólne odpady z opakowań i napraw pieca są podobne do innych sektorów. Odpady z systemu odpylania i suchego oczyszczania (spłuczki) są zazwyczaj zwracane ponownie do pieca. W procesach obejmujących szlifowania i cięcia, osady oddzielone w obiegach wody muszą być usunięte, jeśli nie można ich użyć ponownie lub ponownie zastodować. Niektóre dane ilościowe dotyczące jednostkowego zużycia i usuwania wody na tonę stopionego szkła podano w tabeli 3.34 powyżej, dla czterech przykładowych procesów.

3.7.5 Energia

Dla tak zróżnicowanego sektora, bardzo trudno jest podać ogólne informacje na temat zużycia energii. W tabeli 3.34 wskazane są konkretne dane zużycia energii dla pieców do topienia dla trzech różnych typów produktów, począwszy od minimum 5 GJ / tonę do 17 GJ / tonę stopionego szkła, w zależności od rodzaju produktu, wielkości pieca i techniki topienia. Duże zróżnicowanie danych na temat zużycia energii może być obserwowane w zależności od preparatu wsadu, techniki topienia i jak obiekt jest zaprojektowany i eksploatowany. Dane w zakresie od 12 - 16 GJ / tonę gotowego produktu odnotowano w szczególności dla szkieł sodowo-wapniowo-krzemianowych [tm29 Infomill

130, Infomil 1998]. [75, Germany-HVG Glass Industry report 2007] [111, Austrian Special glass plant 2006].

Ogólny opis w rozdziale 3.2.3 ma zastosowanie do tego sektora oraz omówienie technik energooszczędnych w rozdziale 4 zawiera dalsze informacje. Postępowanie szczególne w przypadku specjalnego szkła jest takie, że temperatura topienia szkieł specjalnych jest na ogół wyższa niż dla masowej produkcji szkła, i że specjalne piece szklarskie są na ogół mniejsze niż w innych działach przemysłu szkła. Oba te czynniki powodują zwiększenie emisji CO₂ i wyższe jednostkowe zużycie energii.

3.8 Wełna mineralna

Informacje zamieszczone w tej sekcji odnoszą się do całego zakresu wielkości i działań zakładu, ale nie obejmuje specjalnych trybów, takich jak rozruch i zamknięcie. Jedne z najniższych wartości emisji odnoszą się do działań tylko w jednym zakładzie, który realizuje te dane ze szczególnych powodów, a wyniki nie muszą odzwierciedlać BAT dla sektora.

Głównym materiałem wyjściowym jest produkt, który może wynosić od 55 - 80% materiału wejściowego, w procesach wełny skalnej, i 75 do 95% dla produkcji wełny szklanej. Ważnym czynnikiem jest to ponowne wykorzystanie pozostałości z procesu, które znacznie zwiększa sprawność wykorzystania surowców. Straty powstają poprzez substancje stałe, ścieki wodne i emisje do powietrza.

3.8.1 Procesowe materiały wejściowe

Skład chemiczny wełny mineralnej może się znacznie różnić, i standardowo wyraża się w kategoriach tlenków poszczególnych pierwiastków jakie zawiera. Trudno jest zidentyfikować "typową" kompozycję dla jakiegokolwiek głównego typu wełny mineralnej, np. wełny szklanej, wełny skalnej czy wełny żuźlowej. Podstawowe surowce są wybierane i zestawiane w celu uzyskania odpowiedniego składu szkła po stopieniu. Procent każdego surowca w partii mogą się znacznie różnić, w szczególności w przypadku gdy wykorzystywane są znaczne ilości materiałów pochodzących z recyklingu.

Charakterystyczne zakresy kompozycji do wełny szklanej, wełny skalnej i wełny żuźlowej są przedstawione w tabeli 2.9.9. Surowce, które mogą być stosowane w celu osiągnięcia tych kompozycji przedstawiono w tabeli 3.35.

W wełnie szklanej, główne tlenki to dwutlenek krzemu, tritlenek boru, tlenki metali alkalicznych (głównie sodu i potasu) i tlenki metali ziem alkalicznych (głównie wapń i magnez). Najważniejszymi źródłami dwutlenku krzemu są piasek i odpady szklane, tj. stłuczki zewnętrzne (szkło sodowo-wapniowo-kwarcowe) oraz odpady włókiennicze. Najważniejszymi źródłami tlenków alkalicznych i metali ziem alkalicznych są soda, potaż, wapień i dolomit. Ponownie użyte szkło (poużytkowe sodowo-wapniowo-kwarcowe i odpady z produkcji opakowań szklanych lub ze szkła płaskiego) jest szeroko stosowane jako surowiec do produkcji wełny szklanej.

Tabela 3.35: Materiały wykorzystane w sektorze wełny mineralnej

Opis	Materiały
Wełna szklana	Piasek krzemionkowy, stłuczka procesowa, zewnętrzna stłuczka, odpady poprodukcyjne, sjenit nefelinowy, węglan sodu, węglan potasu, wapień, dolomit, siarczan sodu, boraks, kolemanit, ulexite
Wełna skalna/żuźłowa	Bazalt, wapień, dolomit, żużel wielkopiecowy, piasek krzemionkowy, siarczan sodu, odpady proces, czasami odpady z innych procesów, np. piasek odlewniczy
Materiały wiążące (spoiwa)	Fenol formaldehydowy (w roztworze), fenol, formaldehyd i żywica katalizatora (jeżeli żywica wytwarzana na miejscu), amoniak, mocznik, olej mineralny, silikon, silan, woda
Paliwa	Olej opałowy, elektryczność, koks (tylko wełna skalna/żuźłowa), backup fuels (light fuel oil) butan, propan, acetylen

Woda	Sieci wodociągowe i lokalne naturalne źródła (studnie, rzeki, jeziora, itp.)
Materiały pomocnicze	Materiały opakowaniowe, w tym tworzywa sztuczne, papier, karton, oraz drewno Smary maszynowe, głównie oleje mineralne. Gazy procesowe w tym tlen i azot. Chemiczne środki do uzdatniania wody do chłodzenia wody i ścieków

W wełnie skalnej/żuźlowej, główne tlenki to dwutlenek krzemu i tlenki metali ziem alkalicznych (głównie wapń i magnez). Dwutlenek krzemu pochodzi głównie z bazaltu, brykietowanego materiału pochodzących z recyklingu i żuźła wielkopiecowego. Tlenki metali ziem alkalicznych pochodzą z wapienia, dolomitu i brykietowanego materiału z recyklingu. Niektóre wełny kamienne i wełny żuźłowe posiadają znaczący poziom tlenku glinu, pochodzące z żuźła wielkopiecowego, bazaltu i materiałów pochodzących z recyklingu. Niektóre preparaty o niskiej zawartości glinu produkowane są ze wsadów z istotnymi poziomami piasku odlewniczego i stłuczki szklanej, a nie tylko bazaltu i żuźła.

Udział wełny mineralnej w spoiwie zmienia się w zależności od zastosowania produktu. Typowo, produkty z wełny mineralnej zawierają 95 do 98% masy włókien. Niektóre bardzo rzadkie produkty mają maksymalnie 20% spoiwa z 1% oleju mineralnego i 0, 5% i nnych składników (np. silikon). Produkty z wełny skalnej/żuźłowej zawierają zazwyczaj niższe proporcje spoiwa w stosunku do produktów z wełny szklanej do podobnych zastosowań. To dlatego, że gęstość produktów spełniających podobne wymagania do zastosowania różnią się między wełną szklaną i kamienną / żuźłową. Wełna skalna może być nawet podwoić gęstość wełny szklanej, aby osiągnąć ten sam izolacyjności termicznej, w szczególności dla produktów o niskiej gęstości.

Podobnie jak w przypadku wszystkich procesów w przemyśle szklarskim, znaczna masa surowców będzie uwolniona tak jak gaz podczas topienia. To zależy przede wszystkim od ilości użytych materiałów z odzysku, ale w typowym procesie wełny mineralnej, straty zapłonowe będzie wynosiły na ogół około 10%. Wyższe poziomy mogą występować jeśli wysoki poziom materiałów węglowych jest stosowane we wsadzie.

Surowce wiążące są na ogół produkowane z płynnych substancji chemicznych, aczkolwiek sproszkowane stałe substancje chemiczne są czasami używane. Preparaty wiążące są na ogół uważane za poufne i nie są ujawniane. Żywica fenolowa może być wytwarzana w zakładzie lub kupiona od dostawcy zewnętrznego. Będzie to miało niewielki wpływ na emisje z procesu wełny mineralnej, ale wyraźnie są kwestie emisji i zużycia związane z produkcją żywicy. Kwestie te nie są objęte zakresem niniejszego dokumentu i należy odwołać się do odpowiednich wytycznych odnośnie przemysłu chemicznego.

Woda może być stosowana w procesie produkcji do chłodzenia, czyszczenia, i do rozcieńczania i dyspersji spoiwa, chociaż zakres i sposoby użycia zależą od techniki produkcji. Podstawowe procesy są korzystającymi z sieci wody z możliwością uwalniania pary wodnej i kropelek z obszarów formowania i suszenia. Ponadto, system tłumienia stłuczki do produkcji wełny szklanej powoduje odparowanie wody. Większość instalacji obsługuje system zamknięty obiegu wody przemysłowej z wysokiego poziomu recyklingu. Woda jest doprowadzana do układu wody technologicznej z sieci zasilającej lub naturalnych źródeł, woda deszczowa może również stosowany w procesie. Trochę wody również pochodzi z surowców, zwłaszcza wiążące surowców. TOgólne zużycie wody do produkcji wełny mineralnej wynosi: 3 do 5 m³/tonę produktu dla wełny szklanej, oraz 0,8 do 10 m³/tonę produktu dla wełny mineralnej (patrz również punkt 2.9.1 i rysunek 2.11).

3.8.2 Emisje do powietrza

[27, EURIMA 1998] [89, EURIMA Suggestions 2007]

W sektorze wełny mineralnej, emisje do powietrza można podzielić na trzy części: gospodarowanie surowcami, transport materiałów, emisji z procesu topienia, i emisji z procesów końcowych lub operacji liniowych (np. rozwłóknianie i formowanie, utwardzenie produktu, chłodzenie produktów, a i wykańczanie produktów). Emisje z procesów końcowych, które są trudne do oszacowania to

zapachy. Zapachy powstają głównie z operacji utwardzania i uważa się, że są spowodowane przez spojone produkty rozkładu. Ten rozdział zawiera informacje na temat emisji z procesów technologicznych w stężeniu i masie na jednostkę materiału wyjściowego. W tabeli 3.36 objętości gazów odlotowych w głównych działaniach procesowych są podane, z czego można zauważyć, że największa wielkość gazów odlotowych jest związana z procesem rozwłókniania i formowania.

Tabela 3.36. Ilości gazów odlotowych w głównych procesach w sektorze wełny mineralnej

Działanie procesowe		Jednostka	Ilość gazów spalinowych z procesu (w tysiącach)
Gospodarowanie materiałami surowymi		Nm ³ /h	1 do 5
Piec do topienia	Elektryczny	Nm ³ /h	5 do 20
	Konwencjonalny opalany gazem, wełna szklana	Nm ³ /h	5 do 40
	Opalany tlenowo-gazowo, wełna szklana	Nm ³ /h	5 do 40
	Połączenie, wełna szklana	Nm ³ /h	5 do 40
	Szybowy	Nm ³ /h	5 do 30
	Zanurzany łuk elektryczny	Nm ³ /h	3 do 10
	Konwencjonalny opalany gazem, wełna skalna	Nm ³ /h	10 do 50
Linie	Rozwłóknianie i formowanie	Nm ³ /h	100 do 400
	Utwardzanie produktu	Nm ³ /h	5 do 40
	Chłodzenie produktu	Nm ³ /h	10 do 40
	Wykańczanie produktu	Nm ³ /h	5 do 70
Źródło: [142, EURIMA August 2008]			

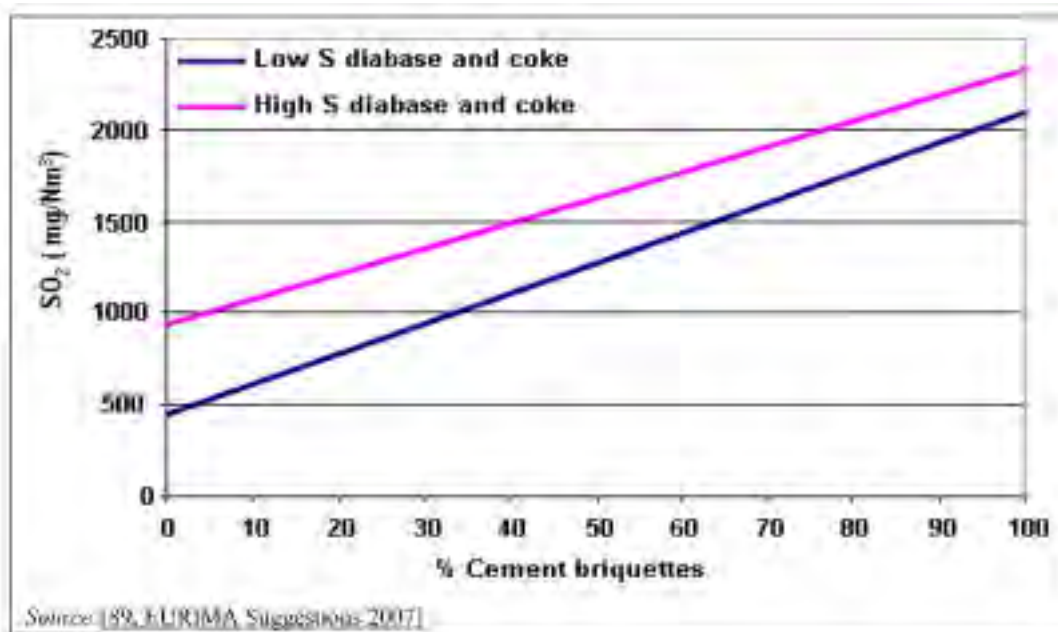
3.8.2.1 Surowce

W najnowocześniejszych procesach wełny szklanej, silosy i naczynia do mieszania są wyposażone w systemy filtrów, które redukcją emisję pyłów poniżej 5 mg/Nm³. Masa emisji z systemów zarówno filtrowanych i niefiltrowanych będzie wyraźnie zależeć od liczby przekształceń i ilości materiału używanego. Należy zauważyć, że wsady surowego materiału waty szklanej mają tendencję do sucha i pneumatycznie przekazywany.. Stąd potencjał emisji pyłu z gospodarowania surowcami może być wyższy niż w innych sektorach.

Procesy wełny skalnej zazwyczaj używają surowców o grubych cząstkach o średnicy > 50 mm. Materiały przechowywane są w silosach lub zatok i są obsługiwane za pomocą ręcznych systemów i przenośników. Istnieje możliwość rozniesienia pyłu przez wiatr podczas przechowywania i transportu, w szczególności w czasie suchej pogody. Zakres technik może być wykorzystany do kontroli emisji pyłów, np. obudowa z zatokami i przenośnikami i zwilżanie gromadzonych zapasów. Poziom uwolnień (emisji) jest trudny do określenia i zależy w dużej mierze od ilości podawanego materiału, a także jak dobrze te techniki są stosowane.

Odpadyprodukcyjne przekształcane w cementowo-łączone brykiety jest często używany w formowaniu wsadu, zwykle zawiera około 0,22% siarki i może być stosowany w ilości do 100% wsadu Ładunek nie zawierający cementu i brykiety i żadnego żuźla wielkopieczowego może osiągnąć wartości od 500 do 1000 mg/Nm³ SO₂, a ładunek zawierający 100% brykietów cementowych będzie emitował od 2000 do 2500 mg SO₂ na Nm³. Różnice wynikają z różnej zawartości siarki w koksie, stosowanych technik kontroli, ilości gazów odlotowych, stanów utleniania wewnątrz pieca szybowego oraz z różnic w zawartości siarki w skale wulkanicznej (diabaz) wykorzystywanej w procesie. W niektórych państwach członkowskich całkowity recykling odpadów z brykietów nie jest praktykowany, w celu ograniczenia emisji SO_x i zapewnienia wartości stężeń poniżej 1500 mg/Nm³.

W takich przypadkach stosowana stopa recyklingu wynosi około 45% i przekroczenie odpadów jest oczyszczane (Niemcy). W innych przypadkach, emisje w zakresie 1400 - 1800 mg/Nm³ SO₂ są zgłaszane pomimo wysokich stóp recyklingu, które są pomiędzy 85 - 100% (Dania). Podejście stosowane przez różne państwa członkowskie mogą być znacznie bardziej zróżnicowane, w oparciu o priorytet nadany materiałom wyjściowym w cyklu produkcji, minimalizacja odpadów i redukcji energii w porównaniu do redukcji emisji SO_x.



EN	PL
Low S diabase and coke	Niskie Stężenie diabazu i koksu
High S diabase and coke	Wysokie Stężenie diabazu i koksu
Cement briquettes	Brykiet cementowy

Rysunek. 3.9: Przewidywane stężenie SO₂ w zależności od ilości procentowej ponownie użytego brykieta cementowego w ładunku wsadu w piecu szybowym

Dolna linia przedstawiona na rysunku 3.9 opiera się na małej zawartości procentowej koksu (10%), niskiej zawartości siarki w koksie (0,6%) i braku siarki w diabazie. Górna linia reprezentuje wyższy procent koksu (13%), 0,7% siarki w koksie i 0,05% siarki w diabazie. Zawartość siarki w brykiecie cementowym wynosi, w obu przypadkach, 0,22%. Frakcja siarki dostarczanej z preparatem wsadu, który jest emitowany ocenia się na 50% dla diabazu, i 75% dla koksu i brykieta. Dane te oparte są na doświadczeniu i zależą głównie od stanów utleniania wewnątrz pieca szybowego. Niepewność wynikająca z wahań przepływu itp., to około 20%. Typowo, oszacowanie końcowego stężenia SO₂ można obliczyć za pomocą następującego równania: $SO_2 \text{ (mg/Nm}^3\text{)} = 750 + 15 \times \text{udział brykieta (\%)}$.

3.8.2.2 Topienie

[27, EURIMA 1998] [89, EURIMA Suggestions 2007]

Piece wełny szklanej są głównie opalane powietrzem-gazem (zwykle z elektrycznym impulsem), ale ze znaczną liczbą pieców ogrzewanych elektrycznie i mniejszą liczbę pieców tlenowo-gazowych. Piece wełny skalnej są prawie wszystkie żeliwne opalane koksem z kilkoma przykładami pieców opalanych gazem lub elektrycznie podgrzewanych. Główne emitowane substancje i ich źródła przedstawiono w rozdziale 3.2.2. 1. W stosowne do technik kontroli zanieczyszczeń, mechanizm powstawania emisji omówiono bardziej szczegółowo w rozdziale 4.

Żeliwne piece wełny skalnej mają kilka ważnych różnic z bardziej konwencjonalnych pieców szklarskich, które mogą mieć wpływ na emisje z procesu. Jednym z najważniejszych jest to, że piece szybowe działają w silnych warunkach redukujących. W związku z tym, emisje NO_x są stosunkowo niskie, część siarki uwalnianej z paliwa lub surowców jest redukowana do

siarkowodoru, a poziom tlenu węgla jest wysoki. Większość procesów ma zainstalowany system dopalania który utlenia siarkowodór do dwutlenku siarki i tlenek węgla do dwutlenku węgla. Koks i surowce mogą zawierać wyższe poziomy metali, chlorków i fluorków niż w innych procesach produkcji szkła, co powoduje wyższe emisje tych substancji.

Coraz ważniejszym czynnikiem wpływającym na emisje z procesu topienia jest wkład z materiałów pochodzących z recyklingu. W przypadku włókien, które zawierają spoinę jest zawracany do pieca, składnik organiczny musi być brany pod uwagę. W piecach wełny szklanej, może być konieczne dodanie środków utleniających, takich jak azotan potasu, które mogą mieć wpływ na zwiększenie emisji NOX. Kiedy duże ilości ponownie użytej stłuczki są stosowane w preparacie wsadu, tlenekmanganu (IV) może być stosowany jako środek utleniający.

W procesach wełny skalnej, cement jest często używany do procesu brykietowania pozostałości, i kiedy brykiet jest topiony, pojawiają się wynikające z tego emisje SO₂ z powodu ich zawartości siarki.

Tabela 3.37 przedstawia pełen zakres emisji z pieców do topienia wełny mineralnej w UE-27, odnoszące się do roku 2005, z danymi podanymi zarówno w stężeniach (mg/Nm³) i współczynnikach emisji (kg / tonę stopionego szkła). Dane przedstawione w tabeli wskazują na szeroki zakres emisji związanych z wszelkiego rodzaju instalacjami, i bez metod redukcji. Bardziej szczegółowy opis zakresów emisji związanych z każdą techniką topienia oraz stanem działania przedstawiono w Tabeli 3.37.

Tabela 3.37 Pełny zakres emisji z pieców do topienia wełny mineralnej w UE-27, w roku 2005

Rodzaj pieca	Wełna szklana (100% zebranych danych)			Wełna skalna (100% zebranych danych)		
	Elektryczny	Rekuperacyjny	Tlenowo-gazowy	Szybowy	Zanurzany łuk elektryczny	Paliwowy
Substancja ⁽¹⁾	mg/Nm ³ (kg/t)	mg/Nm ³ (kg/t)	mg/Nm ³ (kg/t)	mg/Nm ³ (kg/t)	mg/Nm ³ (kg/t)	mg/Nm ³ (kg/t)
Cząstki stałe	0,2 - 128 (0,001 - 0,4)	0,3 - 35 (0,03 - 0,1)	0,2 - 20 (0,001 - 0,016)	0,25 - 1700 (0,04 - 3,5)	4 - 12 (0,006 - 0,02)	10 (0,02)
SO _x , jako SO ₂	0,4 - 120 (0,001 - 0,02)	1 - 30 (0,002 - 0,5)	0,5 - 115 (0,002 - 0,32)	4 - 2 600 (0,01-4,8)	335 - 350 (0,4 - 0,5)	285 (0,45)
NO _x , jako NO ₂ ⁽²⁾	13 - 580 (0,5 - 2,0)	50 - 1200 (0,3 - 10,6)	9 - 2 40 (0,02 - 0,4)	35 - 615 (0,07 - 1,7)	80 - 150 (0,1 - 0,2)	815 (1,3)
HF	0,1 - 3,0 (0,001 - 0,01)	0,13 - 20 (0,001 - 0,05)	0,09 - 3,2 (0,001 - 0,01)	0,1 - 11 (0,001 - 0,02)	8 (0,01)	1,2 (0,002)
HCl	0,1 - 4,5 (0,001 - 0,02)	0,2 - 7 (0,001 - 0,06)	0,55 - 3 (0,001 - 0,003)	0,7 - 150 (0,001 - 0,26)	43 (0,05)	5 (0,008)
Średnia liczba wyników	9	7	5	32	2	1

⁽¹⁾ Wartości stężenia odnoszą się do 273 K, 1013 hPa i gazów suchych. Wskaźniki emisji są wyrażone w kg na tonę stopionego szkła.
⁽²⁾ Niższe poziomy emisji tlenków azotu z pieców tlenowo-gazowych. Źródło: T93, EURIMA data tables 80% 20071

W tabeli 3.38 wartości dotyczące emisji pyłu z elektrycznych i ogrzewanych gazem pieców stosowanych przy produkcji wełny szklanej są podane. Dane odnoszą się do pomiarów przeprowadzonych jeden lub więcej razy na piecach do topienia w tym badaniu, w okresie referencyjnym (2005). Dla pełnego zakresu danych (100%) podane są średnie, minimalne i maksymalne wartości. Dla lepszego zrozumienia, wartości odnoszące się odpowiednio do 75% i

50% danych przedstawiono również, w celu wykluczenia fałszywych punktów danych tak jak to tylko możliwe.

Tabela 3.38 Emisje pyłu z elektrycznych i ogrzewanych gazem pieców stosowanych przy produkcji wełny szklanej (rok 2005)

Rodzaj pieca	Emisje z pieców do topienia wełny szklanej				
	Przedstawione dane	N ^o wartości	mg/Nm ³ suchych gazów		
			Średnie	Min.	Max.
Piec elektryczny					
Brak przykładów dla wtórnej redukcji emisji	100 %	15	33	0	188
	75 %		37		
	50 %		9		
Z filtrem workowym	100 %	19	36	0	274
	75 %		47		
	50 %		20		
Z ESP	100 %	9	9	0	17
	75 %		15		
	50 %		9		
Piece ogrzewane gazem/powietrzem					
Brak przykładów dla wtórnej redukcji emisji	100 %	7	189	8	651
	75 %		552		
	50 %		29		
Z ESP	100 %	33	20	2	90
	75 %		27		
	50 %		15		
Piece ogrzewane gazem/tlenem					
Z ESP	100 %	21	5	1	19
	75 %		6		
	50 %		4		
Z impulsem elektrycznym i ESP	100 %	27	7	1	76
	75 %		8		
	50 %		3		
Źródło: [142, EURIMA August 2008]					

Wartości podane w tabeli 3.38 będące wynikiem badań przeprowadzonych w sektorze produkcji wełny szklanej, związane są z różnymi protokołami pomiarowymi i warunkami operacyjnymi z tym skutkiem, że niektóre dane mogą być sprzeczne lub niespójne. Na przykład, różnica pomiędzy stężeniem emisji pyłu z nieobniżonych i obniżonych piecach elektrycznych wydaje się dość marginalne, co jest prawdopodobne ze względu na stosunkowo niskie mierzone stężenia pyłu (w wielu przypadkach) nieobniżone w piecach elektrycznych, które są tego samego rzędu wielkości, co typowe stężenie mierzone po systemie oczyszczania.

W tabeli 3.39 wartości dotyczące emisji SO_x z elektrycznych i ogrzewanych gazem pieców stosowanych przy produkcji wełny szklanej są podane. Dane odnoszą się do pomiarów przeprowadzonych jeden lub więcej razy na piecach do topienia w tym badaniu, w okresie referencyjnym (2005).

Dla pełnego zakresu danych (100%) podane są wartości średnie, minimalne i maksymalne. Można zauważyć, że emisje SO_x są znaczące tylko w przypadku pieców opalanych paliwami.

Co do wartości stężenia emisji pyłu, dane przedstawione w tabeli 3.39 dla pieców elektrycznych mogą pokazywać niespójności ze względu na niski poziom emisji SO_x do zmierzenia. Odnośnie pieców gazowo-tlenowych, stosowanie elektrycznych impulsów powoduje zwiększenia redukcji objętości gazów spalinowych z wynikającym, możliwym wzrostem emisji podanych w stężeniu (mg/Nm³). Inną tendencję można było zaobserwować, jeśli dane dotyczące emisji podano w kg / tonę stopionego szkła, jednak ta informacja nie jest dostępna.

Tabela 3.39 Emisje SO_x z pieców stosowanych do topienia przy produkcji wełny szklanej (rok 2005)

Rodzaj pieca	Emisje SO _x z pieców do topienia wełny szklanej				
	Przedstawione dane	N ^o wartości	mg/Nm ³ , suche gazy (as SO ₂)		
			Średnie	Min.	Max.
Piec elektryczny					
Brak przykładów dla wtórnej redukcji emisji	100 %	8	2	1	6
Z filtrem workowym	100 %	12	5	0	13
Z ESP	100 %	8	3	0	14
Piece ogrzewane gazem/powietrzem					
Brak przykładów dla wtórnej redukcji emisji	100 %	7	34	1	133
Z ESP	100 %	32	22	0	119
Piece ogrzewane gazem/tlenem					
Z ESP	100 %	17	10	0	63
Z impulsem elektrycznym i ESP	100 %	27	28	2	98

Źródło: [142, EURIMA August 2008]

W tabeli 3.40 wartości dotyczące emisji NO_x z pieców elektrycznych i ogrzewanych gazem do produkcji wełny szklanej są podane. Dane odnoszą się do pomiarów przeprowadzonych jeden lub więcej razy na piecach do topienia w tym badaniu, w okresie referencyjnym (2005).

Tabela 3.40 Emisje NO_x z pieców stosowanych do topienia przy produkcji wełny szklanej (rok 2005)

Rodzaj pieca (1)	Emisje NO _x z pieców do topienia wełny szklanej				
	Przedstawione dane	N ^o wartości	mg/Nm ³ , suche gazy (jako NO ₂)		
			Średnie	Min.	Max.
Piec elektryczny					
Brak przykładów dla wtórnej redukcji emisji	100 %	15	204	36	429
	75 %		245		
	50 %		175		
Z filtrem workowym	100 %	21	234	4	670
	75 %		442		
	50 %		468		
Z ESP	100 %	9	514	13	1071
	75 %		970		
	50 %		232		
Piece ogrzewane gazem/powietrzem					
Brak przykładów dla wtórnej redukcji emisji	100 %	7	410	93	1031
	75 %		429		
	50 %		356		
Z ESP	100 %	31	636	110	1580
	75 %		800		
	50 %		601		
Piece ogrzewane gazem/tlenem					
Z ESP	100 %	20	119	7	244
	75 %		170		
	50 %		116		
Z impulsem elektrycznym i ESP	100 %	27	215	82	691
	75 %		242		
	50 %		154		

niesienie do różnych kategorii warunków eksploatacji (brak wtórnej redukcji emisji), z ESP i filtrem workowym, itp.) jest tylko dla zgodności z danymi dotyczącymi emisji przedstawionymi w tabeli 3.37 i tabeli 3.38, jako pochodzące z tego samego źródła informacji. Źródło: [142, EURIMA August 2008]

Dla pełnego zakresu danych (100%) podane są średnie, minimalne i maksymalne wartości. Dla lepszego zrozumienia, wartości odnoszące się odpowiednio do 75% i 50% danych przedstawiono również, w celu wykluczenia fałszywych punktów danych tak jak to tylko możliwe.

Wartości przedstawione w tabeli 3.40 przedstawiają różne warunki pracy, w szczególności, zawartość azotanów, które mogą być dodawane do kompozycji wsadu, gdy stosowany jest wysoki poziom zewnętrznej stłuczki, mogą się znacznie różnić. Z tych powodów, porównanie danych przedstawionych w tabeli jest trudne, a dane powinny być oceniane razem z dodatkowymi informacjami o szczególnych parametrach operacyjnych.

W tabeli 3.41 wartości dotyczące emisji (HCl, HF, CO) z elektrycznych i ogrzewanych gazem pieców stosowanych przy produkcji wełny szklanej są podane. Dane odnoszą się do pomiarów przeprowadzonych jeden lub więcej razy na piecach do topienia w tym badaniu, w okresie referencyjnym (2005).

Dla pełnego zakresu danych (100%) podane są wartości średnie, minimalne i maksymalne.

Z tabeli można zaobserwować, że emisje HCl, HF z pieców do topienia wełny szklanej są generalnie niskie.

Tabela 3.41: Emisje HCl, HF i CO z pieców do topienia do produkcji wełny szklanej

Rodzaj pieca	Emisje HCl, HF i CO z topienia wełny szklanej (rok 2005)				
	Piece (100 % przedstawione dane)		mg/Nm ³ , suchy gaz (1)		
	Substancja	N° wartości	Średnie	Min.	Max.
Piec elektryczny					
Brak przykładów dla wtórnej redukcji emisji	HCl	12	2	0	7
	HF	12	0.6	0.1	2.8
	CO	6	63	24	110
Z filtrem workowym	HCl	6	3	0	7
	HF	3	0.7	0.1	1.0
	CO	6	55	17	176
Z ESP	HCl	7	2	0	7
	HF	8	0.7	0.1	3.1
	CO	4	264	114	638
Piece ogrzewane gazem/powietrzem					
Brak przykładów dla wtórnej redukcji emisji	HCl	4	6	5	7
	HF	4	2.4	0.6	3.3
	CO	3	165	61	280
Z ESP	HCl	32	3	0	19
	HF	32	3.0	0.1	20.0
	CO	8	7	1	20
Piece ogrzewane gazem/tlenem					
Z ESP	HCl	16	1	0	5
	HF	16	0.4	0	2.6
	CO	7	42	3	121
Z impulsem elektrycznym i ESP	HCl	27	3	0	32
	HF	27	0.8	0.1	2.3
	CO	19	36	2	241
) Dane odnoszą się do różnych pomiarów i warunków działania. Ze względu na stosunkowo niskie początkowe stężenia HCl i emisje HF, system oczyszczania na sucho nie może być stosowany w połączeniu z filtrem ESP lub filtrem workowym.					
Źródło: [142, EURIMA August 2008]					

W produkcji wełny skalnej, stosowanie koksu, diabazu i betonów brykietów obejmuje szerszy zakres emisji i substancji, które mają być uwalniane do atmosfery. Dane dotyczące emisji z pieców szybowych i pieców z zanurzoną łuk elektrycznym przedstawiono w tabeli 3.42 i tabeli 3.43.

W tabeli 3.42 wartości emisji dotyczące głównych zanieczyszczeń (kurz, SO_x, NO_x, HCl i HF) z pieców do topienia stosowanych w produkcji wełny skalnej zostały podane. Dane odnoszą się do pomiarów przeprowadzonych jeden lub więcej razy na piecach do topienia w tym badaniu, w okresie referencyjnym (2005). Dla pełnego zakresu danych (100%) podane są średnie, minimalne i maksymalne wartości. Dla lepszego zrozumienia, wartości odnoszące się odpowiednio do 75% i 50% danych przedstawiono również, w celu wykluczenia fałszywych punktów danych tak jak to tylko możliwe.

Stwierdzona różnica emisji SO_x z pieców szybowych oraz pieców z zanurzoną łuk elektrycznym powstała ze względu na recykling brykietów cementowych, który może różnić się od 0% do 100%.

Tabela 3.42 Emisje pyłu, SO_x, NO_x, HCl i HF z pieców do topienia stosowanych przy produkcji wełny szklanej (rok 2005)

Substancja/Rodzaj pieca	Emisje z pieców do topienia wełny szklanej				
	Przedstawione dane	N° wartości	mg/Nm ³ suchych gazów		
			Średnie	Min.	Max.
Emisja pyłów					
Piec szybowy (°)	100 %	274	38	0	783
	75 %		42		
	50 %		11		
Piec elektryczno-łukowy	100 %	10	28	4	57
	75 %		42		
	50 %		25		
SO _x , jako SO ₂					
Piec szybowy	100 %	353	1220	0	5555
	75 %		1590		
	50 %		1143		
Piec elektryczno-łukowy	100 %	12	318	177	503
	75 %		435		
	50 %		320		
NO _x , jako NO ₂					
Piec szybowy	100 %	349	244	0	769
	75 %		350		
	50 %		225		
Piec elektryczno-łukowy	100 %	11	201	68	407
	75 %		283		
	50 %		160		
HCl					
Piec szybowy	100 %	184	29	0	156
	75 %		35		
	50 %		14		
Piec elektryczno-łukowy	100 %	6	39	18	53
	75 %		49		
	50 %		47		
HF					
Piec szybowy	100 %	186	2,5	0	40,0
	75 %		3		
	50 %		1		
Piec elektryczno-łukowy	100 %	6	11	5,0	21,0
	75 %		14		
	50 %		11		
(1) Niskie wartości są związane z użyciem filtra workowego. Źródło: [142, EURIMA August 2008]					

W tabeli 3.43 wartości emisji są przedstawione w odniesieniu do innych zanieczyszczeń związanych z produkcją wełny skalnej (H₂S, CO, CO₂, metale). Dane odnoszą się do pomiarów przeprowadzonych jeden lub więcej razy na piecach do topienia w tym badaniu, w okresie referencyjnym (2005).

Dla pełnego zakresu danych (100%) podane są średnie, minimalne i maksymalne wartości. Dla lepszego zrozumienia, wartości odnoszące się odpowiednio do 75% i 50% danych przedstawiono również, w celu wykluczenia fałszywych punktów danych tak jak to tylko możliwe.

Z tabeli można zaobserwować, że piece szybowe wyposażone w piec do spopielenia gazów odlotowych prezentują niższe stężenia emisji CO w porównaniu do elektrycznych pieców łukowych, z drugiej strony związane z tym emisje CO₂ wzrosną z powodu utleniania większości tlenu węgla (CO) obecnego w gazie odlotowym

Tabela 3.43 Emisje H₂S, CO, CO₂ i metali z pieców do topienia stosowanych przy produkcji wełny skalnej (rok 2005)

Substancja/typ pieca	Emisje z pieców do topienia wełny skalnej				
	Przedstawione dane	N° wartości	mg/Nm ³ suchych gazów		
			Średnie	Min.	Max.
H₂S					
Piec szybowy (°)	100 %	97	1	0	11
	75 %		1		
	50 %		0		
Piec elektryczno-łukowy	100 %	4	1	0	2
	75 %		2		
	50 %		1		
CO					
Piec szybowy (°)	100 %	80	36	0	260
	75 %		33		
	50 %		17		
Piec elektryczno-łukowy	100 %	11	880	7	3126
	75 %		990		
	50 %		859		
CO₂					
Piec szybowy	100 %	150	228505	170	410400
	75 %		233081		
	50 %		232181		
Piec elektryczno-łukowy	100 %	8	59750	45802	79509
	75 %		66717		
	50 %		58037		
Metale (grupa 1) (²)					
Piec szybowy	100 %	48	0,2	0	1,1
	75 %		0,3		
	50 %		0,1		
Piec elektryczno-łukowy	100 %	2	0,2	0,1	0,4
	75 %				
	50 %		0,4		
Metale (grupa 2) (²)					
Piec szybowy	100 %	38	0,5	0	14
	75 %		0,1		
	50 %		0,03		
Piec elektryczno-łukowy	100 %	2	1,1	0,8	1,3
	75 %				
	50 %		1,3		

(1) Wartości odnoszą się do pieca szybowego wyposażonego w piec do spalania gazów odlotowych.

(²) Metale są pogrupowane na bazie ich potencjalnego wpływu na środowisko (patrz Rozdział 3.2.2.1): Grupa 1 (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr_{V1}); Grupa 2 (Sb, Pb, Cr_m, Cu, Mn, V, Sn). Źródło: T142, EURIMA August 2008

3.8.2.3 Działania końcowe

[27, EURIMA 1998] [89, EURIMA Suggestions 2007]

Jak omówiono w części 2.9 produkty z wełny mineralnej zazwyczaj zawierają część spoiwa opartego na żywicy fenolowej. Roztwór środka wiążącego stosuje się do włókien w obszarze formowania i jest usieciowany i suszony w piecu do utwardzania. Obszar formowania gazów odlotowych będzie zawierał cząstki stałe, fenol, formaldehyd i amoniak.

Emisje HCN stwierdzono przy gazach spalinowych z pieca do utwardzania przy instalacjach do produkcji wełny skalnej, jednakże brak jest danych.

Cząstki stałe składają się z materiałów, zarówno organicznych jak i nieorganicznych, często o bardzo małych rozmiarach cząstek. Niższe poziomy LZO i aminy mogą być również wykrywane, jeżeli znajdują się one w systemie spoiwa. Ze względu na charakter procesu, strumień gazu ma dużą objętość i wysoką wilgotność. Uwolnienia z pieca składają się z lotnych materiałów wiążących, wiążących produktów rozpadu, pary wodnej, produktów spalania z palników pieca.

Po wyjściu z pieca, produkt chłodzi się poprzez przepuszczanie przez niego większej ilości powietrza. Gaz ten może zawierać włókna wełny mineralnej i niski poziom materiału organicznego. Wykańczanie produktu wymaga cięcia, przeładunku i pakowania, które mogą stanowić podstawę do emisji pyłów.

Ważnym czynnikiem, który ma istotny wpływ na emisje z formowania, utwardzania i chłodzenia jest poziom spoiwa zastosowany do produktu, wyższa zawartości spoiwa w produktach na ogół powoduje wyższe poziomy emisji. Emisje pochodzące ze spoiw zależą głównie od masy ciał stałych stosowanych w danym czasie, a więc wysokiej zawartości spoiwa oraz w mniejszym stopniu produktów o wysokiej gęstości, mogą stanowić podstawę do zwiększenia emisji. Produkty są zazwyczaj klasyfikowane jako o niskiej średniej i wysokiej gęstości, obejmującej zakres pomiędzy 10 i 80 kg/m³, o zawartości spoiwa z 5 - 12%

Jak opisano w Rozdziale 3.8.2, tabeli 3.36, objętości gazów odlotowych związane z procesem rozwłókniania i formowania są znacznie wyższe niż w przypadku procesu utwardzania (o około 10 razy wyższa).

Tabela 3.44 pokazuje pełny zakres emisji z działań końcowych dla zakładów wełny szklanej w UE odnoszące się do roku 2005 o wartościach podanych zarówno w stężeniach (mg/Nm³) i współczynnikach emisji (kg / tonę produktu).

Tabela 3.44 Pełny zakres emisji z działań końcowych w procesach sektora wełny szklanej w roku 2005

Substancja	Emisje z działań końcowych dla wełny szklanej ^)			
	Połączone rozwłóknianie, formowanie utwardzanie	Rozwłóknianie i formowanie	Utwardzanie produktu	Chłodzenie produktu
	mg/ (kg/t produktu)	mg/ (kg/t produktu)	mg/ (kg/t produktu)	mg/ (kg/t produktu)
Cząstki stałe	4,4 - 128	11,4	65,2	12,5
	(0,11 - 5,23)	(0,68)	(0,27)	(0,04)
Fenol	0,25 - 20	1,63	0,81	
	(0,009 - 0,93)	(0,093)	(0,0034)	
Formaldehyd	0,3 - 16	1,71	1,13	
	(0,04 - 0,48)	(0,091)	(0,014)	
Amoniak	6 - 130	21,95	109	
	(0,3 - 6,5)	(1,13)	(0,69)	
Tlenki Azotu (NO _x)	7,7	5,82		
	(0,2)	(0,18)		
Lotne związki	2 - 47,5	11,2	20,1	

organiczne	(0,11 - 2,76)	(0,56)	(0,09)	
Dwutlenek węgla	5236			
	(194)			
Średnia liczba wyników	15	3	3	1
(1) Dane odnoszą się do wszystkich typów technik kontroli emisji. Źródło: T93, EURIMA data tables 80% 2007				

Tabela 3.45 pokazuje pełny zakres emisji z działań końcowych dla zakładów wełny szklanej w UE odnoszące się do roku 2005 o wartościach podanych zarówno w stężeniach (mg/Nm³) i współczynnikach emisji (kg / stopionego szkła).

Tabela 3.45 Pełny zakres emisji z działań końcowych w procesach sektora wełny szklanej w roku 2005

Substancja	Emisje z działań końcowych dla wełny skalnej ^)			
	Połączone rozwłóknianie, formowanie i utwardzanie	Rozwłóknianie i formowanie	Utwardzanie produktu	Chłodzenie produktu
	mg/(kg/t produktu)	mg/ (kg/t produktu)	mg/ (kg/t produktu)	mg/ (kg/t produktu)
Cząstki stałe	3 - 40	2 - 102	0,5 - 65	3,2 - 61,8
	(0,08 - 1,8)	(0,06 - 1,7)	(0,001 - 0,68)	(0,008 - 0,41)
Fenol	2 - 40	0,11 - 40	0,05 - 60	0,05 - 17
	(0,09 - 1,8)	(0,0035 - 1,36)	(0,0004 - 0,27)	(0,0002 - 0,12)
Formaldehyd	3 - 11	0,3 - 15	0,1 - 25	0,05 - 12
	(0,12 - 0,28)	(0,06 - 0,43)	(0,00025 - 0,09)	(0,0007 - 0,04)
Amoniak	12 - 67	0,3 - 113	0,3 - 347	1 - 30
	(0,47 - 2,44)	(0,009 - 3,04)	(0,005 - 2,35)	(0,007 - 0,16)
Tlenki Azotu (NO _x)	16 - 80	6,2 - 125	15 - 300	43,3
	(0,4 - 3,56)	(0,16 - 5,36)	(0,04 - 1,37)	(0,12)
Lotne związki organiczne			1 - 7,4	6
			(0,01 - 0,13)	(0,02)
Aminy		0,07 - 0,09	0,05 - 0,08	0,04 - 0,35
		(0,0013 - 0,0017)	(0,0001 - 0,0002)	(0,0001 - 0,0002)
Średnia liczba wyników	2	23	29	15
(1) Dane odnoszą się do wszystkich typów technik kontroli emisji. Źródło: T93, EURIMA data tables 80% 20071				

Szczegółowy opis poziomów emisji związanych z zastosowaniem różnych metod redukcji stosowanych do wełny szklanej i produkcji wełny skalnej znajduje się w Rozdziale 4.5.6, tabela 4.40.

3.8.2.4 Rozproszony/ulotne emisje

Główne źródła rozproszonych / ulotnych emisji w sektorze wełny mineralnej są związane obszarem ładowania wsadu i kanałów zasilacza (tylko dla wełny szklanej), magazynowaniem i przygotowaniem preparatów powłokowych i operacjami cięcia, przenoszenia i pakowania. Piece do topienia stosowane w produkcji wełny skalnej są całkowicie zamknięte i nie stanowią potencjalnej emisji rozproszonych / ulotnych i brak jest obecności zasilaczy.

Lokalne systemy wentylacji wyciągowej są często używane do dostarczania niezbędnych wentylacji w obszarze roboczym w pobliżu pieca do topienia z ciągłym uwalnianiem potencjalnych rozproszonych / ulotnych emisji wewnątrz lub zewnątrz.

Dedykowane i zamknięte przestrzenie są zazwyczaj adoptowane do przechowywania i przygotowywania preparatów do powlekania, w celu ograniczenia narażenia pracowników na potencjalne emisje.

Lokalne systemy wentylacji wyciągowej są wykorzystywane do cięcia, przenoszenia i pakowania wyrobów gotowych.

3.8.3 Emisje do wody

W normalnych warunkach pracy, procesy są konsumentami netto wody i wodne emisje są bardzo niskie. Większość procesów działa w zamkniętym systemie obiegu wody przemysłowej, a gdzie to możliwe chłodzenie wodą i wody do czyszczenia są wprowadzane do systemu. Jeżeli nie są one zgodne lub jeśli wielkości są zbyt duże, mogą one być odprowadzane oddzielnie, ale wiele zakładów ma zbiorniki do przechowywania w celu przyjęcia objętości przeciążeń, które mogą być następnie wpuszczane z powrotem do systemu. W niektórych zakładach, czysta podgrzewana woda chłodząca jest odprowadzana do kanalizacji lub ciekę naturalnego. Małe ilości zanieczyszczonej wody ściekowej mogą wynikać z ograniczeń chemicznych, wycieków i substancji ropopochodnych, itd. i są one zwykle odprowadzane do systemu wody przemysłowej, przewożonej na zewnętrzne oczyszczanie lub odprowadzane do kanalizacji.

Duża objętość systemu wody przemysłowej powoduje możliwość zanieczyszczenia czystych obiegów wodnych takich jak wody powierzchniowe i wody stłuczki chłodzącej. Jeśli systemy są źle zaprojektowane lub niewłaściwie kontrolowane, mogą wynikać poważniejsze emisje. Jeśli stosowane są techniki czyszczenia na mokro, zwłaszcza chemicznego oczyszczania, ścieki mogą nie być kompatybilne z systemem wody technologicznej, co powoduje dalszy strumienia odpadów.

Przykład obiegu wody do produkcji wełny szklanej jest opisana w rozdziale 2.9.1, rysunek 2.11.

3.8.4 Pozostałe odpady

[27, EURIMA 1998] [89, EURIMA Suggestions 2007]

Główne źródła odpadów stałych w produkcji wełny mineralnej są podane poniżej.

- Wycieki z przenoszenia materiałami surowymi
- Stłuczka procesowa produkowana przez hartowanie gorącego stopu w wodzie podczas rozwłókniania obwodnicy maszyny w produkcji wełny szklanej.
- Wytop z procesów produkcji wełny skalnej podczas przechodzenia obok maszyny do zwłókniania
- Kurz zbierany z systemów redukcji emisji, głównie odpylaczy elektrostatycznych i filtrów workowych.
- Kulka z rozwłóknionej wełny skalnej To jest ciężki, niewłóknisty i na pół-włóknisty materiał, który jest zbyt ciężki, aby dotrzeć do pasa zbiorów i są zbierane po maszynie do zwłókniania. Około 10 do 20% materiału roztopionego docierając do maszyny do zwłókniania formuje kulki
- Flizówki
- Odpady z wełny wytwarzane podczas modyfikacji produktu, przestopów na linii produkcji lub produktów nie mieszczących się w specyfikacji.
- Filtry do odpadów z wełny skalnej, które mają wysoką zawartość składników organicznych, często około 50%
- Żelazo i stop z wełny skalnej z łuków stłuczki
- Mieszanka stopu i kamienia z postojów szybowych
- Odpady stałe z obiegu filtracji wody procesowej To stanowi od 0,5 do 2,0% wydajności procesu, składa się z włókien, części stałych spoiwa i do 50% wilgoci.
- Odpady z opakowania i ogólnie inne odpady
- Odpady ogniotrwałe z przebudowy pieca

W produkcji wełny szklanej, częste jest powtórne wykorzystanie wycieków ze wsadu, spłuczki wełna szklana, i kurz zebranego z systemów ograniczających emisję bezpośrednio z pieca. Część odpadów z wełny szklanej, nie może być ponownie przetwarzana bezpośrednio w piecu do topienia z powodu obecności organicznego spoiwa, chyba że będą odpowiednio oczyszczone w celu usunięcia składników organicznych.

W procesach wełny skalnej, kulki i pył z systemów redukcji emisji są zwykle ponownie wykorzystane jeśli proces brykietowania jest stosowany. Włókniste odpady mogą być poddawane recyklingowi przez zmielenie i włączenie w to brykietów, ale znowu to tylko wtedy, gdy brykietowany system recyklingu działa w zakładzie. Jednakże, flizówek są zwykle rozdrobnione i wykorzystywane ponownie w obszarze formowania i, w niektórych przypadkach, suchy produkt odpadowy może być rozdrobniony w celu wytworzenia produktu z wełny wdmuchiwannej.

Materiał ten jest obojętny i może być stosowany jako materiał wypełniający (wypełnienie np. drogi). Metaliczne żelazo, które gromadzi się w dolnej części kopuły może być zbierane z odpowiednią specjalną formą zanim zmiesza się z odpadów z kamienia, w celu uniknięcia rozdzielania, co powoduje emisję pyłów, i ułatwia możliwość zewnętrznego recyklingu materiałów. Metaliczne żelazo z odpadów może być sprzedawane jako złomu, ale jest to mało zachęcające finansowo.

Wysokie poziomy recyklingu dla poszczególnych odpadów, związanych z cyklem produkcyjnym mogą powodować emisje metali z procesu topienia wełny skalnej.

Oszacowanie procenta odpadów poddanych recyklingowi w sektorze wełny mineralnej nie jest aktualnie dostępne. Jednak Tabela 3.46 poniżej wskazuje aktualne praktyki, niektóre zakłady stosują recyklingu, a inne nie.

Tabela 3.46: Wytwarzania i utylizacja odpadów stałych w sektorze wełny mineralnej

	Wełna szklana	Wełna skalna i żużłowa
Total waste generated as a percentage of product output	0 - 15 %	20 - 60 %
Procent ogólnych odpadów poddanych recyklingowi	5 - 100 %	5 - 100 %
Procent ogólnych odpadów disposed of off-site	0 - 100 %	0 - 100 %

3.8.5 Energia

[27. EURIMA 1998][15. ETSU 1992] [89. EURIMA Suggestions 2007]

Główne źródła energii dla topienia wełny szklanej to gaz ziemny i elektryczność. Wełna szklana jest głównie produkowana w piecach szybowych które są opalane kosem i istnieje kilka przykładów pieców opalanych gazem lub elektrycznie. Gaz ziemny jest również wykorzystywany w znacznych ilościach do rozwłókniania i utwardzania Elektryczność jest stosowana w ogólnym gospodarowaniu i lekki olej opałowy, propan i butan są czasami używane jako back-up paliw. Istnieje kilka tlenowo-gazowych pieców stosowanych w sektorze.

Trzy główne obszary zużycia energii to topienie, rozwłóknianie i utwardzanie. Podział może się znacznie różnić między procesami i jest bardzo wrażliwy komercyjnie. Tabela 3.47 pokazuje całkowite zużycie energii w produkcji wełny mineralnej, z podziałem na główne obszary technologiczne. Wartości dla rozwłókniania, utwardzanie i inne zużycia są oceniane.

Tabela 3.47 Zużycie energii w produkcji wełny mineralnej

Rozkład energii	Wełna szklana	Wełna skalna/żużłowa
	GJ/tonne wykończonego produktu	GJ/tonne wykończonego produktu
Całkowite zużycie energii	9 - 20	7 - 14
	% całkowitej energy	% całkowitej energy
Topienie	20 - 45	60 - 80
Rozwłóknianie	25 - 35	2 - 10

Utwardzanie	25 - 35	15 - 30
Inne	6 - 10	5 - 10
Źródło:[89, EURIMA Suggestions 20071		

Bezpośredni zużycie energii w topieniu elektrycznym mieści się w zakresie od 2,7 do 5,5 GJ / tonę gotowego produktu. Zużycie energii elektrycznej do topienia wynosi około jednej trzeciej wymaganej do 100% topienia powietrza/gaz oraz względnego zużycia energii każdego etapu procesu może być określona odpowiednio. Przy tych wartościach, błąd właściwy w taki oszacowanie jest bardzo wysoki, ale dają one wskazanie zużycia energii.

Znaczna część zewnętrznej stłuczki (głównie sodowo-wapniowo-kwarcowe szkło) jest powszechnie stosowany w kompozycji wsadu przy produkcji wełny szklanej z konsekwentnym dużym wpływem na zużycie energii pieca. Jednakże, istnieje wiele ograniczeń technicznych do stosowania ze stłuczki, np. na skład chemiczny i obecność zanieczyszczeń organicznych (materiały sypkie, metale itp.).

3.9 Wełny do izolacji wysokotemperaturowej (High Temperature Insulation Wools) [9. IPC Guidance S2 3.03 1996] [41. ECFIA 1998] [143. ECFIA November 2008]

Główne materiały wyjściowe dla produkcji wełny do izolacji wysokotemperaturowej to wełna luzem i koce. Wydajność w odniesieniu do surowców, które topią się w temperaturze na ogół wyższej niż 90%, a wydajność od stopu do gotowego produktu (koc / nasypowa) w zakresie od 55 do 95%. Jednakże, ważne jest, aby pamiętać, że wydajność od stopu do gotowego produktu jest szacunkiem i może się różnić w zależności od typu, rodzaju, ilości i czasu trwania produkcji. W szczególności, najniższy poziom odpowiada produkcji specyficznej i bardziej technicznie trudnej.

3.9.1 Procesowe materiały wyjściowe

Wełna do izolacji wysokotemperaturowej zawiera amorficzny krzemian ziem alkalicznych wełny szklanej (AES) i krzemianu glinu waty szklanej: ogniotrwałe włókno ceramiczne (Refractory Ceramic Fibre)(ASW/RCF) Wełny polikrystaliczne (PCW), nie są opisane w tym dokumencie, ze względu na różne procesy chemiczne stosowane w produkcji. Istnieją dwie główne formuły produktów do aluminiowej wełny krzemianów: wysokiej czystości krzemian glinu i glin cyrkonu i cztery główne produkty for AES Wapnowo-krzemianowa wełna szklana, wapnowo-magnezowo-krzemianowa wełna, wapnowo-magnezowo-cyrkonowo-krzemianowa wełna, magnezowo-krzemianowa wełna, związki które są opisane w Rozdziale 2.10. Podstawowe surowce są podane w tabeli: 3.48; są one połączeniem substancji naturalnych (zwykle przetworzonych) i syntetycznych.

Tabela 3.48: Materiały wykorzystane w sektorze wełny do izolacji wysokotemperaturowej

Opis	Materiały
Surowce do stopienia	Tlenki glinu, wapnia, magnezu, krzemu i cyrkonu. Również mniejsze poziomy tlenków potasu, sodu, tytanu, żelaza i chromu stosowane w sektorze amorficznej wełny odpornej na wysoką temperaturę.
Wtórne przetwarzanie	Do formowania próżniowego stosowana jest mokra koloidalna mieszanina skrobi, lateksu, krzemionki lub gliny. Inne działania mogą korzystać z podobnych substancji i czasami wypełniaczy i organicznych polimerów lub żywic
Paliwa	Elektryczność, gaz ziemny i czasami lekkie oleje opałowe (backup, ogrzewanie)
Woda	Sieci wodociągowe i lokalne naturalne źródła (studnie, rzeki, jeziora, itp.)
Materiały pomocnicze	Materiały opakowaniowe, w tym tworzywa sztuczne, papier, karton, oraz drewno Oleje mineralne (powłoka włókna i inne ogólne użycia) Chemiczne środki do uzdatniania wody do chłodzenia wody i ścieków.

Surowce do wytopu są mieszane w celu uzyskania wymaganych kompozycji dostopienia. Ogólnie, ponad 90% kompozycji ASW / RCF pochodzi z ditlenku krzemu, glinu i cyrkonu. Dwutlenek krzemu

pochodzi głównie z wysokiej jakości piasku kwarcowego, tlenek glinu (glin) może wystąpić naturalnie, ale pochodzi zwykle z przetwarzania boksytu. Dwutlenek cyrkonu występuje naturalnie jako badeleit lub może być wytworzony. Inne składniki, takie jak tlenek wapnia i tlenek magnezu stosowanego do AES pochodzą z surowców, takich jak dolomit i wapiń.

Odpady są poddawane recyklingowi, jeśli to możliwe, bezpośrednio do pieca w postaci proszków, a czasami w produkty jak wełna. Wtórne przetwarzanie może być bardzo szczegółowe. Substancje wymienione w tabeli 3.48 do formowania próżniowego są wspólne, ale inne mogą się znacznie różnić.

Główne zastosowania wody w sektorze wełny do izolacji wysokotemperaturowej znajduje w układach chłodzenia i czyszczenia. Stosowana jest woda chłodząca, zazwyczaj w obwodach zamkniętych, do chłodzenia różnych części urządzeń z odpowiednimi stratami z parowania i czystki. Woda jest również stosowana w operacjach formowania próżniowego i do płyt i papierów. Rzeczywiste zużycie wody i emisji pary wody może ulec zmianie w zależności od lokalnej twardości pobieranej wody. Źródło energii do topienia jest przeznaczone wyłącznie do działań końcowych, w szczególności suszenia.

3.9.2 Emisje do powietrza

3.9.2.1 Surowce

W najnowocześniejszych procesach produkcji wełny do izolacji wysokotemperaturowej, silosy i naczynia do mieszania są wyposażone w systemy filtrów do redukcji emisji pyłów poniżej 5 mg/Nm^3 . Masa emisji z systemów zarówno filtrowanych i niefiltrowanych będzie wyraźnie zależeć od liczby przekształceń i ilości materiału używanego.

3.9.2.2 Topienie

Emisje z topienia są zazwyczaj bardzo niskie, składające się głównie z pyłu z surowców używanych w składzie wsadu wprowadzonego do pieca. Surowce są zazwyczaj bardzo czyste i składają się niemal wyłącznie z tlenków, dlatego niewiele jest odgazowywania i nie ma istotnej emisji związków gazowych. Większość pieców podlega systemowi odsysania który odpowietrza za pomocą filtra workowego. Emisje pyłu wynoszą na ogół poniżej 20 mg/Nm^3 .

3.9.2.3 Działania końcowe

Uwolnienia pyłu i pyłu z włókien mogą być generowane z wielu obszarów w ramach procesu, który obejmuje: rozwłóknianie i kolekcjonowanie, igłowania, wypalania smarem, cięcia, przycinania, cięcie, pakowanie i obszary obróbki wtórnej. Wszystkie obszary, gdzie uwolnienia cząsteczki stałych lub włóknistych mogą być wgenerowane, są zazwyczaj obsługiwane przez system ekstrakcji, który vents do tkaninowego systemu filtracyjnego. Emisji pyłów na ogół poniżej 20 mg/Nm^3 i emisji włókna mieszczą się w zakresie $1 - 5 \text{ mg/Nm}^3$. Niski poziom emisji zanieczyszczeń organicznych może występować również z kilku dodatkowymi operacjami przetwarzania, w szczególności suszenia, i związane z nimi poziom emisji wynoszą zwykle mniej niż 50 mg/Nm^3 .

3.9.2.4 Rozproszony/niezorganizowane emisje

Głównym źródłem emisji rozproszonych / niezorganizowanych w sektorze wełny do izolacji wysokotemperaturowej jest powiązane z operacjami cięcia, przenoszenia i pakowania.

Przechowywanie olejów używanych do zmiękczenia wełny (roztwór glikolu polietylenowego) może stanowić niewielkie źródło emisji rozproszonych / ulotnych w przypadku wycieku.

Zwykle operacje cięcia są wykonywane w maszynach z systemem podciśnieniowym, który przenosi pył włóknisty do filtra workowego.

Pakowanie i operacje przenoszenia są przeprowadzane poprzez zastosowanie podciśnienia do kartonowych pudełek.

Szczegółowe kwestie związane z potencjalnymi rozproszonymi emisjami pyłu włóknistego zwykle są zarządzane przepisami BHP w pracy i są kontrolowane według poziomów narażenia w miejscu pracy. W szczególności narażenie na szklaną wełnę krzemianu glinu (ASW / RCF) jest dokładnie kontrolowane w miejscu pracy, materiał ten jest sklasyfikowany jako substancja rakotwórcza kategorii 2 (patrz: dyrektywa Komisji 2009/2/WE).

3.9.3 Emisje do wody

Jak wspomniano wcześniej, główne zastosowania w tym sektorze woda znajduje w czyszczeniu, chłodzeniu, do formowania próżniowego i pozostałej obróbki wtórnej. Emisja do środowiska wodnego ogranicza się do czystek z systemu dla wody chłodzącej, wód powierzchniowych. Wody stosowane do czyszczenia w ogóle nie powodują żadnych szczególnych problemów, które nie byłyby powszechne dla poszczególnych urządzeń przemysłowych, substancji stałych, czyli obojętnych i potencjalnie oleju. System chłodzenia czystki będzie zawierał sole nierozpuszczalne i środki chemiczne do uzdatniania wody. Jakość wód powierzchniowych będzie zależeć od stopnia rozdzielania odprowadzanych ścieków oraz stanu czystości zakładu. Woda stosowana do formowania próżniowego jest wykorzystywana powtórnie z czystką, która może zawierać niewielkie ilości substancji organicznych. Proste techniki redukcji emisji, takie jak osadzanie, badanie, separatory oleju, i neutralizacja można znaleźć w sektorze.

3.9.4 Pozostałe odpady

[41, ECFIA 1998] [143, ECFIA November 2008]

Poziomy emisji są na ogół bardzo niskie w sektorze HTTW. Tam, gdzie to możliwe, odpady, (wsad, flizówek itp.) są wykorzystywane ponownie bezpośrednio w komorze spalania (która wymaga przetwarzania dla wełny) lub w produkty.

Pod koniec kampanii pieca (na ogół, co sześć miesięcy), ogniotrwale strukturą demontowane i wymieniane. Materiały wytworzone z demontażu mogą być wykorzystywane w innych procesach produkcyjnych, po mieleniu na proszek (np. do produkcji cegły, jak piaskowanie materiału).

O 95% sproszkowanego materiału i innych odpadów stałych zostaje ponownie użytych.

Odpady są również wytwarzane w postaci materiału zebranego w urządzeniu zapobiegającym pyleniu. Ogólnie, materiał ten nie jest ponownie wykorzystywany bezpośrednio w piecu. Potencjalne zanieczyszczenie i niepewność składu utrudnia to, ale niektóre inicjatywy są w toku w celu rozwiązania problemu. Ze względu na charakter materiału, mogą być drogie do usunięcia, a to pozwala, aby zachęcić do znalezienia alternatyw, więc tendencja do powstawania odpadów zmniejsza się ze względu na wzrost ceny dla usuwania odpadów, energii i surowców.

Większość surowce mineralnych jest dostarczana luzem (poprzez szlaki silosu) i nie dają podstaw do odpadów opakowaniowych. Odpady materiałów z procesu pakowania (tworzywa sztuczne, karton, drewno, itp.) są zwykle ponownie wykorzystane lub poddane recyklingowi, jeśli jest to możliwe. Inne odpady nie specyficzne dla sektora są utylizowane w sposób konwencjonalny lub poddane recyklingowi, gdzie lokalne lub krajowe systemy pozwalają na to.

UE ASW / RCF i sektor AES jako całość produkuje około 700 - 900 ton rocznie odpadów, które zawierają włókna i 100 - 700 ton innych odpadów.

3.9.5 Energia

[41, ECFIA 1998]

Nie ma dostępnych informacji na temat zużycia energii w ASW / RCF i sektorze AES. Temperatura topnienia jest wyłącznie elektrycznie ogrzewana z bardzo niskimi stratami substancji lotnych. W związku z tym, bezpośrednia wydajność topnienia (z wyłączeniem kwestii off-side) jest dość wysoka, chociaż kompozycja wykazuje wysokie zapotrzebowanie na ciepło do topnienia i piece są stosunkowo małe. Zużycie energii wynosi od 6,5 - 16,5 GJ / tonę stopionego produktu. Zużycie energii w odniesieniu do innych działań waha się od 3,5 - 9,5 GJ / tonę produktu (na podstawie 75% konwersji surowców do gotowego produktu).

3.10 Fryty

[98. ANFFECC Position of the Frit Sector 2005] [99. ITC-C080186 2008]

Głównym ekstrakt z topieniu podczas wytwarzania fryty to szklista substancja, z szeroką gamą różnych preparatów w zależności od wyglądu, właściwości i zastosowania. W porównaniu z zastosowanym oryginalnego surowca, wynik końcowy po topnienia stanowi 85 - 90% początkowej masy, w zależności od preparatu. Większość tego ubytku masy wynika z emisji CO₂ i H₂O występujących w procesie topienia. Proces wytwarzania ceramicznych fryty nie wytwarza żadnych odpadów, a jedynym materiałem do recyklingu jest ogólnie kurz gromadzony w systemach redukcji emisji, co nie ma istotnego wpływu na produkt, chociaż oznacza to planowanie i częsty recykling. W związku z tym, podstawowa wydajność pod względem końcowego produktu jest bardzo wysoka, ponieważ w większości przypadków produkt po prostu chłodzi się wodą (choć może to być również chłodzone powietrzem), a jedyne straty to substancje stałe, które pierwotnie nie mogą być oddzielony od wody chłodzącej.

3.10.1 Procesowe materiały wejściowe

[47, ANFFECC 1999] [98, ANFFECC Position of the Frit Sector 2005] [91, ITC - C071304 2007] [144, ITC November 2008]

Wykaz głównych surowców stosowanych w najczęstszych preparatach przedstawiono w tabeli 3.49 wraz z orientacyjnymi wartościami ich odsetek w strukturze wsadu. Dokładne wartości zmieniają się w zależności od preparatu, jednak te przedstawione poniżej można uznać za wskaźnik.

Tabela 3.49: Materiały wykorzystane w sektorze produkcji fryty

Typ fryty	Surowce	Szacunkowy % we wsadzie
Ceramiczne/szklane fryty	Związki cyrkonu	7,7
	Skaleń	26,8
	Kwarc	25,9
	Kwas borowy	6,8
	Tlenek cynku	8,4
	Dolomit	8,4
	Węglan wapnia	13,4
	Azotan potasu	2,6
Emaliowane fryty	Borax	19,1
	Kwarc	42
	Azotan sodu	7,8
	Fluorosiarczan sodu	1,2
	Fluorosiarczan potasu	7,8
	Fosforan Sodu	3,2
	Tlenek tytanu	18,9
Fryty o niskim punkcie topienia	Czerwony ołów (Pb ₃ O ₄ °C)	50
	Kwarc	19,8
	Tlenek cynku	15,1
	Kwas borowy	15,1

Woda wykorzystywana jest do chłodzenia i czyszczenia, ale także do schładzania i rozbijania roztopionego szkła (wygaszanie), a także dla procesu mokrego chłodzenia. Wszystkie obiegi wodne są zamkniętymi obiegami i posiadają odpowiadające im straty z parowania. Pozostałe straty to zawartość wody w produkcie i zawartość wody w substancjach stałych zebranych z obiegu wody w kontakcie z roztopionym materiałem. Zużycie wody szacuje się na 0,5 - 3 m³/tonę fryt ceramicznych.

Gaz ziemny jest stosowany jako paliwo, z typowymi środkami utleniającymi będącymi powietrzem w atmosferze utleniającej.

3.10.2 Emisje do powietrza

3.10.2.1 Surowce

Wszystkie silosy i mieszarki są wyposażone w systemy filtrów do redukcji emisji pyłów poniżej 30 mg/Nm³. Emisje pyłu w każdym systemie, z filtrami lub bez, zależy od liczby transferów, wielkości granulek, i ilości przetwarzanego materiału. Choć dość rzadko i tylko na niskich poziomach, niektóre procesy fryt wymagają wykorzystania surowców, które zawierają ołów lub inne metale ciężkie, szczególnie dla fryty emaliowanej. Wszystkie niezbędne środki są już na miejscu, tak aby emisje z tych substancji mogły być minimalne.

3.10.2.2 Topienie

Sektor fryt produkuje emisje do powietrza podczas procesu topienia, ponieważ jest to proces wymagający wysokiej temperatury i intensywnego wykorzystanie energii. Substancje uwalniane i ich źródła przedstawiono w rozdziale 3.2.2.1. Wszystkie piece w tym sektorze są opalane gazem ziemnym, a emisja tlenków siarki jest mniejsza niż 200 mg/Nm³, w zależności od poziomu siarczanu we wsadzie.

Tabela 3.50 pokazuje typowe poziomy emisji z tego sektora, nie ma dostępnego podziału statystycznego.

Tabela 3.50 Typowe poziomy emisji z pieców do topienia dla sektorafryt

Substancja	Stężenie mg/Nm ³ (¹)(²)	Masa emisji kg/tonę stopionego produktu (³)
	Średnie wartości	Średnie wartości
Pył	<40	<0,2
Tlenki azotu (jako NO ₂)	1600 (†)	12 (†)
Tlenki siarki (jako SO ₂)	<200	<1
Chlorki (HCl)	<10	<0,050
Fluorki (HF)	<5	<0,025
Metale (Grupa 1+2)	<5	<0,025
Metale (Grupa 1)	<1	<0,01

(1) Dane odnoszą się do możliwości produkcyjnych > 20 t / dzień.
(2) Stężenie emisji odnosi się do zawartości tlenu 15%.
(3) Wartości odnoszą się do produkcji mieszanej (preparaty i bez azotanów). Wartości te będą trudne do utrzymania podczas gdy stosowane są wysokie zawartości azotanów w preparacie wsadu z wszystkich pieców przenoszonego na jedną halę.
Źródło T99, ITC-C080186 2008] T84, Italy Report 20071

Emisja pyłu zależy od skuteczności zastosowanego systemu redukcji, ponieważ instalacje są zwykle wyposażone w systemy filtracji. Emisja tlenków azotu zależy głównie od systemu spalania (paliwo / powietrze, powietrze wzbogacone w tlen, tlenowo-paliwowe) i zawartości azotanów w surowcach stosowanych do wytwarzania kompozycji wsadu. Wysoka zmienność produktów i technik produkcyjnych wykorzystywanych w sektorze fryt nie pozwala na wyraźne powiązania między tymi czynnikami i emisji NO_x, które zostaną ustalone.

Można uznać, że 1 kg azotanów dodany do kompozycji wsadu (azotan sodu, potasu lub wapnia) wytwarza około 0,5 kg NO₂, tak, że każdy 1% azotanu stosowany we wsadzie wytwarza maksymalnie około 5 kg NO₂ na tonę stopionych fryt, jeśli kompletna przemiana azotanów w NO₂ jest brana pod uwagę. Stopień przemiany azotanów nie jest łatwy do przewidzenia, ale może być szacowany na 30 do 80% maksymalnej wartości (patrz rozdział 4.4.2.2).

Emisji NO_x ze spalania są pod wpływem różnych technik stosowanych do topienia i nadmiar powietrza utrzymuje się w piecu z przyczyn operacyjnych.

Jak już podano w rozdziale 2.11.2, zwykły sposób prowadzenia pieców do topienia w sektorze fryt objawia się w stężeniu tlenu w gazach spalinowych o około 15% objętości, z wyjątkiem przypadku spalania tlenowo-paliwowego, w którym procent tlenu może być znacznie wyższy i nie jest to istotne dla definicji emisji stężeń. Ta osobliwa cecha sektora została uwzględniona przez właściwe władze niektórych państw członkowskich, tj. w Hiszpanii, w których określone dopuszczalne wielkości emisji dla instalacji produkujących fryty odnoszą się do 15% tlenu, wartość znacznie zbliżona do rzeczywistych warunków gazów spalinowych emitowanych przez sektor.

Gdy mieszanina gazów kominowych z różnych pieców za pomocą różnych technik spalania (tlenowo-paliwowej, wzbogacanej w tlen, paliwo / powietrze) jest doprowadzany na jedną hałdę, korekty do 8% tlenu, zwykle stosowane do ciągłego pieców do topienia, nie będą odpowiednie, w tych przypadkach, zastosowanie współczynników emisji w kg / t stopionej fryty jest bardziej odpowiednie.

Tabela 3.51 przedstawia wartości emisji NO_x związane z różnymi warunkami pracy (rodzaj spalania) i preparatami wsadu (z lub bez azotanów). Dane odnoszą się do typowych instalacji produkujących fryty, gdzie jeden lub więcej pieców (do 7) są przenoszone na jedną hałdę.

Tabela 3.51: Przykłady poziomu emisji NO_x z instalacji produkującej fryty działających w różnych warunkach spalania i z użyciem różnych preparatów wsadowych.

Piece (1)	Warunki działania	Azotany we wsadzie	Charakterystyka gazów spalinowych			Emisje NO _x	
			O ₂	Temperatura	Objętości	mg/Nm ³ (²)	kg/t fryt
Nr		(%)	(%)	°C	Nm ³ /h		
7	Spalanie tlenowo-paliwowe, jest kilka rodzajów kompozycji fryty	1,9 (³)	19,8	141	22011		10,9
1	Tlenowo-paliwowe spalanie; Fryta krystaliczna	0	21,2	66	17351		7,1
2	Tlenowo-paliwowe spalanie; Fryta cyrkonu	1,7 - 4,1	21,2	114	7521		10,4
2	Tlenowo-paliwowe spalanie; Fryty cyrkonowo-tytanowe	3,7 - 1,6	17,6	136	10594	3890	6,6 (⁴)
2	Spalanie wzbogacone tlenem; Fryty cyrkonowe i krystaliczne	<2 (³)	19,2	114	40121	883	6,6 (⁴)
6	Spalanie wzbogacone tlenem; kilka rodzajów kompozycji fryty	1,2 (³)	NA	NA	NA	1800	13,5 (⁴)
2	Spalanie wzbogacone tlenem; kilka rodzajów kompozycji fryty	3 (³)	NA	NA	NA	3900	29,3 (⁴)

2	Spalanie powietrzno-paliwowe, jest kilka rodzajów kompozycji fryty	3 ⁽³⁾	NA	NA	NA	1750	13,1 ⁽⁴⁾
<p>(1) Liczba peców przeniesiona do jednej hałdy. (2) Stężenie emisji odnosi się do zawartości tlenu 15%. (3) Odsetek azotanów oznacza średnią ważoną wartości opieranej na wytwarzaniu i zawartości każdego pieca połączonego z jedną hałdą. (4) Przelicznik $7,5 \times 10^{-3}$ został wykorzystany do oszacowania konkretnej masy emisji wyrażonej w kg / tonę stopionej fryty. NW = nie wykrywalne. Źródło: [166, ITC-C100244, 2010]</p>							

3.10.2.3 *Działania końcowe*

Emisje do powietrza z procesów końcowych są bardzo niskie. Zdecydowana większość mielenia odbywa się na mokro, ale suche mielenie może prowadzić do emisji pyłu, jeśli nie są zredukowane.

3.10.2.4 *Rozproszone/ulotne emisje*

Główne źródła rozproszonych / ulotnych emisji w sektorze fryt są związane z obszarem ładowania wsadu do pieca do topienia, mieleniem na sucho lub mokro i pakowaniem produktu.

Obszar ładowania wsadu jest zwykle całkowicie zamknięty i potencjalne emisje z wsadów przeniesień i gazów spalinowych powinny być bardzo niskie.

Ogólnie, działanie mielenia (na mokro lub na sucho) i pakowanie produktu są przeprowadzane w odsysaniu, a następnie w systemie filtrów workowych, w celu zapewnienia odpowiedniej jakości powietrza w obszarze roboczym, w tych okolicznościach, oczekuje się, że emisje rozproszone będą bardzo niskie.

3.10.3 *Emisje do wody*

Emisje do wody składają się z normalnego chłodzenia, czyszczenia i emisji ze spływów powierzchniowych. Obiegi chłodzenia i mielenia są zwykle zamknięte w wodach słodkich ale czasami przechodzą czyszczenie, aby zapobiec gromadzeniu się soli. Poziomy emisji są bardzo niskie, ale mogą zawierać ciała stałe, a w niektórych okolicznościach, mogą być obecne w zawiesinie metale ciężkie. Metale są zwykle związane w szkle i mogą być usuwane za pomocą technik oddzielania ciał stałych.

W niektórych przypadkach, w zależności od poboru wody, poziom emisji w miejscu zrzutu może być znacznie wyższy niż wartości przedstawione w tabeli 5.5. W takich przypadkach przewidziane jest zewnętrzne użycie ścieków w przemyśle ceramicznym.

3.10.4 *Pozostałe odpady*

Poziomy emisji odpadów są zazwyczaj bardzo niskie. Głównym produktem z przetwarzania odpadów jest stały materiał (głównie fryty) oddzielane od obiegów wodnych. Ten materiał nie jest zwykle wykorzystywany ponownie ponieważ kompozycja jest zbyt zróżnicowana. W większości zakładów, wskaźnik odpadów z dobrej produkcji będzie znajdował się w obszarze 0,5 - 3%.

Większość surowców mineralnych jest dostarczana luzem (poprzez szlaki silosu) i nie przykłada się wagi do pakowania odpadów. Odpady materiałów z procesu pakowania (tworzywa sztuczne, karton, drewno, itp.) są zwykle ponownie wykorzystane lub poddane recyklingowi, jeśli jest to możliwe. Inne odpady nie szczególne dla sektora są utylizowane w sposób konwencjonalny lub poddane recyklingowi jeśli lokalne lub krajowe systemy pozwalają na to. Pod koniec kampanii pieca (na ogół, co sześć miesięcy), ogniotrwałe struktury są demontowane i wymieniane. Jeżeli jest to możliwe, materiał ten jest odzyskiwany do ponownego wykorzystania lub sprzedaży.

3.10.5 Energia

Piece do fryt są zwykle bardzo małe w porównaniu do innych pieców w przemyśle szklarskim. Tylko kilka indywidualnych pieców ma wydajność przekraczającą 20 ton dziennie. Wszystkie istniejące piece są opalane gazem ziemnym, i nie są znane przykłady elektrycznego topienia na skalę handlową. Jest to zazwyczaj kilka pieców w instalacji, każdy produkujący różne preparaty fryty. Zużycie energii na tonę stopionej fryty jest porównywalna do innych sektorów (powyżej 13 GJ / tonę, co odpowiada 300 Nm³ gazu na tonę fryty. Tlenowo-paliwowe piece wykazują niższe wartości w zakresie 9 - 13 GJ/ton na frytę. Zużycie energii w procesach końcowych jest zazwyczaj niska, biorąc pod uwagę, że istnieje kilka czynności wykończeniowych i produkty nie są zazwyczaj suszone. Znaczna liczba pieców używa tlenu jako utleniacza, który może prowadzić do oszczędności energii i zmniejszenie emisji. Jednakże, energia potrzebna do wytwarzania tlenu powinna być brana pod uwagę w ocenie całkowitego zużycia energii na tonę fryty Ponadto emisje pośrednie związane z produkcją tlenu, wraz z dodatkowymi oddziaływanie na środowisko (np. zużycie materiałów ogniotrwałych), należy wziąć pod uwagę.

4 TECHNIKI, KTÓRE NALEŻY ROZWAŻYĆ PRZY USTALANIU BAT

4.1 Wstęp

Niniejszy rozdział opisuje techniki (lub ich połączenie), a także powiązany z nimi monitoring, uznane za posiadające potencjał do osiągnięcia wysokiego poziomu ochrony środowiska w zakresie działalności omówionych w niniejszym dokumencie.

Obejmuje on systemy zarządzania środowiskiem, techniki zintegrowane z procesem oraz środki podejmowane na końcu łańcucha zanieczyszczeń. Wzięta pod uwagę została również kwestia gospodarki odpadami oraz zapobiegania powstawaniu odpadów, w tym procedury minimalizowania odpadów oraz procedury przetwarzania odpadów. Ponadto, omówione zostały również techniki ograniczenia zużycia surowców, wody oraz energii.

Załącznik III do Dyrektywy przedstawia listę kryteriów przy ustalaniu BAT, a informacje w ramach niniejszego rozdziału będą odnosić się do tych rozważań. Tak, jak to jest możliwe standardowa struktura, jak wskazano w Tabeli 4.1 została wykorzystana, aby podkreślić zebrane informacje dotyczące każdej techniki oraz umożliwić porównanie technik i ocenę względem definicji BAT podanej w Dyrektywie.

Niniejszy rozdział niekoniecznie przedstawia wyczerpującą listę technik, które mogłyby być zastosowane w sektorze, zatem inne techniki mogą istnieć lub zostać stworzone, które mogą być wzięte pod uwagę przy ustalaniu BAT dla danej instalacji:

Tabela 4.1: Informacje na temat każdej techniki opisanej w niniejszym rozdziale

Nagłówki poszczególnych podrozdziałów	Rodzaj zawartych informacji
Opis	Krótki opis techniczny wykorzystujący tam, gdzie to stosowne, równania chemiczne lub inne, obrazy, diagramy oraz schematy blokowe.
Osiągnięte korzyści środowiskowe	Główne potencjalne korzyści środowiskowe, które można osiągnąć poprzez wdrożenie techniki (w tym ograniczenie zużycia energii, ograniczenie emisji do wody, powietrza i gleby, oszczędność surowców, jak również zwiększenie wyników produkcji, ograniczenie odpadów, itd.).

Wzajemne powiązania pomiędzy różnymi komponentami środowiska	<p>Istotne negatywne skutki dla środowiska wynikające z wdrożenia techniki, umożliwiające porównanie technik w celu oceny wpływu na środowisko jako całość. Mogą one obejmować takie kwestie jak:</p> <ul style="list-style-type: none"> • zużycie i właściwości surowców i wody • zużycie energii oraz wpływ na zmianę klimatu • potencjał zubożenia warstwy ozonowej • potencjał tworzenia ozonu na drodze reakcji fotochemicznych • zakwaszenie wynikające z emisji do powietrza • pył zawieszony w otaczającym powietrzu (w tym mikrocząstki oraz metale) • eutrofizacja gleby i wód wynikająca z emisji do powietrza lub wody • potencjał zmniejszania liczby cząsteczek tlenu w wodzie • komponenty trwale/toksyczne/podlegające bioakumulacji (w tym metale) • wytwarzanie pozostałości/odpadów • ograniczenie zdolności do ponownego wykorzystania lub przetworzenia pozostałości/odpadów • wytwarzanie hałasu i/lub zapachu • zwiększone ryzyko katastrof ekologicznych. <p>Należy uwzględnić dokument referencyjny dotyczący Ekonomii oraz Wzajemnych powiązań pomiędzy różnymi komponentami środowiska (ECM).</p>
Dane eksploatacyjne	<p>Rzeczywiste i specyficzne dla danego zakładu dane produkcyjne (w tym poziomy emisji, poziomy zużycia - surowców, wody, energii oraz ilości wyprodukowanych pozostałości/odpadów). Wszelkie inne przydatne informacje dotyczące:</p> <ul style="list-style-type: none"> • sposobu, w jaki zaprojektować, wykorzystywać, utrzymywać, kontrolować oraz zaprzestać wykorzystania techniki • kwestii monitoringu emisji związanych z wykorzystaniem techniki • wrażliwości oraz trwałości techniki • kwestii dotyczących zapobiegania katastrofom ekologicznym.
Możliwość zastosowania	<p>Wskazanie rodzaju zakładów lub procesów w sektorze, w którym technika nie może być zastosowana, jak również ograniczenia we wdrażaniu w pewnych przypadkach, biorąc pod uwagę, np. wiek zakładu, (nowy czy istniejący), czynniki występujące przy modernizacji (np. dostępność przestrzeni), wielkość zakładu (duży lub mały), już wykorzystywane techniki oraz typ lub jakość produktu.</p>
Ekonomika	<p>Informacje dotyczące kosztów (kapitałowych/inwestycyjnych, operacyjnych) i wszelkich możliwych oszczędności (np. ograniczenie zużycia surowca lub energii, opłaty z tytułu odpadów) oraz przychodów, w tym szczegóły dotyczące sposobu, w jaki zostały one obliczone/oszacowane. Zostaną zawarte informacje gospodarcze stosowne dla nowobudowanych oraz modernizowanych istniejących instalacji. Powinno to pozwolić na rozpoznanie, gdzie to możliwe, ogólnego wpływu gospodarczego techniki.</p>
Podstawa wdrożenia	<p>Tam, gdzie ma to zastosowanie, specyficzne warunki lokalne, wymagania (np. legislacja, środki bezpieczeństwa) lub przyczyny pozaśrodowiskowe (np. wyższy dochód, lepsza jakość produktu, bodźce gospodarcze - np. dotacje, ulgi podatkowe), które dotychczas przyczyniły się lub przyspieszyły wdrożenie techniki.</p>
Przykładowe zakłady	<p>Odniesienie do zakładu (zakładów), w których technika została wdrożona oraz, z których informacje zostały zebrane i wykorzystane do napisania niniejszego podrozdziału. Wskazanie stopnia, w którym technika jest stosowana w Europie lub na całym świecie.</p>
Literatura źródłowa	<p>Literatura lub inny materiał referencyjny (np. książki, raporty, badania, portale internetowe), który został wykorzystany do napisania tego podrozdziału oraz, który zawiera bardziej szczegółowe informacje dotyczące techniki. W przypadku, gdy materiał referencyjny składa się z dużej liczby stron, odniesienie zostanie dokonane do stosownej strony (stron) lub podrozdziału (podrozdziałów).</p>

Niniejszy rozdział zawiera osiem głównych podrozdziałów, które obejmują:

1. Dobór techniki wytopu
2. Postępowanie z materiałami
3. Techniki kontrolowania emisji do powietrza z procesu topienia
4. Techniki kontrolowania emisji do powietrza z procesów nie związanych z topieniem

5. Techniki kontrolowania emisji do wody
6. Techniki minimalizowania innych odpadów
7. Energię
8. Systemy zarządzania środowiskowego.

Główny wpływ branży szklarskiej na całe środowisko wynika z emisji do powietrza z procesu topienia. Techniki mające ograniczyć te emisje zostały opisane w Podrozdziałach 4.2, 4.3 i 4.4, ten ostatni stanowiący największy i najbardziej szczegółowy podrozdział niniejszego rozdziału. Większość opisanych technik jest stosowna dla większości instalacji w branży szklarskiej oraz stanowi wspólną podstawę. Z tego względu Podrozdział 4.4 został zbudowany w oparciu o substancje i dla każdej substancji, zostały opisane różne techniki ograniczenia emisji. Techniki zostały omówione w podrozdziale odnoszącym się do substancji, na którą mają największy wpływ, jednak nieuchronnie istnieją pozytywne i negatywne efekty wielu substancji dla wielu technik. Tam, gdzie jest to stosowne, wpływy na inne substancje zostały opisane i podano odniesienia do innych podrozdziałów.

W różnych częściach dokumentu wykorzystywane są terminy „środki redukcji pierwotnej i wtórnej”. Terminy te pomagają skategoryzować niektóre techniki. Ogólnie techniki pierwotne to takie, które ograniczają lub zapobiegają tworzeniu się zanieczyszczeń, a techniki wtórne to takie, które działają na zanieczyszczenia w taki sposób, aby były mniej szkodliwe (np. poprzez zmienienie ich w inny rodzaj) lub, aby zebrać je w formie, która może być wykorzystana ponownie, przetworzona lub unieszkodliwiona. Niektóre z opisanych technik mogą nie pasować właściwie do żadnej kategorii i tam, gdzie jest to stosowne zostało to wyjaśnione w tekście.

Aby umożliwić porównanie oraz ocenę wydajności różnych technik, zostaną zaprezentowane dane dotyczące emisji o ile informacje będą dostępne wraz z parametrami operacyjnymi instalacji, procedurą próbkowania oraz okresem uśrednienia.

Dane dotyczące emisji mogą być wyrażone jako wartości absolutne lub wartości stężenia oraz związane

z rzeczywistą produkcją lub zdolnością produkcyjną. Najstosowniejsze aspekty gospodarcze każdej techniki zostaną opisane w celu rozpoznania tam, gdzie jest to możliwe, ogólnego wpływu gospodarczego danej techniki. Różne wyrażenia mogą być wykorzystywane dla kosztów oraz zużycia w odniesieniu do jednostek produkcji lub czasu.

Ważną kwestią w tym rozdziale jest to, że technika, która jest skuteczna w jednym zastosowaniu, może mieć bardzo różne następstwa w przypadku, gdy zostanie wykorzystana w innym sektorze lub nawet przy innej instalacji w tym samym sektorze. Koszty, efektywność środowiskowa oraz powiązane zalety i wady mogą się bardzo różnić w różnych sektorach oraz poszczególnych instalacjach. Dla każdej techniki omawiana jest jej dostępność oraz prawdopodobieństwo przydatności w szeregu sytuacji.

W przypadku oceniania techniki, ważne jest wzięcie pod uwagę, że pewien sprzęt może stać się z czasem mniej wydajny i może pojawić się tendencja do wzrostu niektórych, ale nie wszystkich rodzajów emisji. Podczas, gdy ten relatywny wzrost prawdopodobnie będzie niewielki, należna uwaga powinna być poświęcona normalnej oraz przewidzianej charakterystyce starzenia się przy rozważaniu poziomów emisji jakie można osiągnąć, pamiętając, że wymiana sprzętu może spowodować opóźnienia do czasu jego przebudowy. Dlatego, operator powinien starannie monitorować charakterystykę emisji zakładu, regularnie remontować zakład oraz na czas przygotować przebudowę, gdy jest to konieczne.

Oceniając przydatność dowolnej techniki opisanej w niniejszym rozdziale dla ciągłego procesu wytapiania, konieczne jest rozważenie czy może być zastosowana dla pieca w trakcie działania lub czy może być zastosowana wyłącznie (lub ma najlepsze zastosowanie) przy przebudowie. Ważną cechą branży szklarskiej jest fakt, że piece posiadają ograniczony okres eksploatacji po zakończeniu którego muszą zostać w różnym stopniu wyremontowane lub przebudowane. Na ogół piece opalane paliwem kopalnym wytwarzające szkło opakowaniowe, szkło płaskie, wełnę szklaną oraz włókno

szklane ciągle pracują w sposób ciągły przez okres 10 - 20 lat, w niektórych przypadkach nawet do 20 lat. Piece opalane paliwem kopalnym do szkła specjalnego i szkła gospodarczego zwykle działają nieprzerwanie przez 3 do 8 lat. Piece nagrzewane elektrycznie posiadają zwykle krótszy okres eksploatacji we wszystkich zastosowaniach, tj. od 2 do 7 lat. Inne piece, takie jak niektóre piece szybowe oraz piece wsadowe do produkcji fryt szklanych działają w znacznie krótszych okresach od kilku dni do kilku tygodni.

Istnieją dwie główne kategorie przebudowy dla procesów ciągłych.

- Przy „normalnej” przebudowie, wykładzina ogniotrwała pieca oraz tam, gdzie to stosowne, regeneratory są naprawiane poprzez pełną lub częściową wymianę materiału. Konstrukcja pieca nie jest w istotny sposób zmieniana, a wymiary pieca nie zostają zasadniczo zmienione. Tam, gdzie nie ma żadnej znaczącej zmiany wymagań lub technologii pieca, jest to najpowszechniejszy rodzaj przebudowy między cyklami produkcyjnymi.
- „Całkowita” przebudowa zwykle wymaga poważnych dostosowań lub wymiany pieca oraz wszelkiego powiązanego sprzętu i instalacji. Można to porównać do budowy nowego pieca, chociaż w wielu przypadkach znaczna część istniejącej infrastruktury oraz w szczególności regeneratory mogą zostać zachowane. Ten typ przebudowy jest mniej powszechny i zwykle jest podejmowany, gdy konieczna jest poważna zmiana wymagań pieca (np. znacznie zwiększony obszar wytopu lub poważne zmiany wydajności opalania) lub technologii. Całkowita przebudowa na ogół wymaga znacznie wyższych kosztów niż normalna przebudowa.

Podczas cyklu produkcyjnego pieca, ograniczona jest możliwość modyfikacji pieca. Mimo, iż często podejmowane są naprawy na gorąco w celu wymiany lub wzmocnienia uszkodzonej wykładziny ogniotrwałej, modyfikacje lub wymiana palnika może być również relatywnie prosta. Poważne zmiany mające wpływ na technologię wytopu są zwykle wdrażane w sposób najbardziej ekonomiczny jeśli zbiegają się z przebudowami pieca. Może to być prawdziwe również w przypadku kompleksowych środków redukcji wtórnej. Jakkolwiek, wiele udoskonaleń działania pieca, w tym instalacja technik wtórnych, są możliwe w trakcie cyklu produkcyjnego. Tam, gdzie jest to stosowne kwestie te omawiane są przy rozważaniu przydatności różnych technik.

Rozróżnienie pomiędzy „normalną” przebudową i „całkowitą” przebudową nie jest zupełne oraz istnieje wiele możliwości pośrednich pomiędzy najprostszą normalną przebudową a całkowitą rozbiórką oraz zupełną wymianą pieca. Na przykład, niewielka naprawa może zostać przeprowadzona na zimno lub na gorąco, aby naprawić konkretne uszkodzenie lub wprowadzić drobną modyfikację. Również mniejsze przebudowy mogą wystąpić, gdy dokonywana jest planowana naprawa na zimno, ale większość materiału ogniotrwałego zostaje zachowana i tylko części uszkodzone są wymieniane. Najważniejszą różnicą, która wpływa zarówno na koszt, jak i dopuszczalność wdrażania nowej technologii jest to czy nastąpiła znacząca zmiana w konstrukcji pieca, a co za tym idzie w jego wymiarach.

W specyficznych przypadkach, szczególnie przy piecach wymagających częstszej przebudowy i niższych kosztach kapitałowych, zalety koordynowania działań środowiskowych oraz napraw pieca są mniej istotne, jakkolwiek, nawet w tych przypadkach, udoskonaleń środowiskowe mogą być bardziej ekonomiczne jeśli zostaną skoordynowane z innymi działaniami oraz planowanymi inwestycjami dla pieca do topienia.

4.2 Dobór techniki topienia

Techniki topienia wykorzystywane w ramach branży szklarskiej opisano w Rozdziale 2. Wielkości pieców są różne od małych pieców naczyniowych do dużych pieców regeneracyjnych wytwarzających nawet 900 - 1 000 ton szkła na dobę. Wybór techniki topienia zależy od wielu czynników, ale w szczególności od wymaganej wydajności, formowania szkła, wymaganej jakości szkła, cen paliwa, poziomów cen tlenu, lokalnej ceny energii elektrycznej oraz istniejącej infrastruktury. Wybór jest jedną z najważniejszych decyzji gospodarczych i technicznych podejmowanych dla nowego zakładu lub przebudowy pieca. Nadrzędnymi czynnikami są wymagana wydajność oraz rodzaj szkła.

Wybór pomiędzy piecem regeneracyjnym a rekuperacyjnym jest zwykle zależny od powodów ekonomicznych i technicznych. Dlatego, aspekty środowiskowe zostały tutaj tylko omówione skrótowo. Wybór pomiędzy konwencjonalnym opalaniem mieszkanką powietrzno-paliwową oraz topieniem elektrycznym lub tlenowo-paliwowym jest ważnym czynnikiem przy ustalaniu BAT i te techniki opisano oddzielnie. Podobnie inne specyficzne techniki topienia, np. piec LoNO_x®, omówiono oddzielnie w podrozdziałach dotyczących określonej substancji.

Każda z technik opisanych w Rozdziale 2 posiada swoje zalety, wady oraz ograniczenia. Na przykład,

w czasie pisania (2010), najlepszy techniczny i najbardziej ekonomiczny sposób wysokotonażowej produkcji szkła float umożliwia duży piec regeneracyjny poprzeczno-płomienny; chociaż opalane tlenowo piece do produkcji szkła float mogą zapewnić gospodarczą alternatywę w zależności od poziomu ceny tlenu. Alternatywy albo wciąż nie są sprawdzone w sektorze albo narażają aspekty techniczne lub ekonomiczne biznesu (np. topienie elektryczne lub piece rekuperacyjne). Dla sektorów szkła o podobnej charakterystyce (np. szkło opakowaniowe i gospodarcze), technika topienia może być wykonalna dla jednego sektora, ale już nie dla drugiego ze względu na warunki techniczne i ekonomiczne.

Wpływ pieca na środowisko jest wynikiem połączenia wyboru techniki topienia, wymagania w zakresie rodzaju oraz jakości szkła, metody działania oraz zapewnienia środków redukcji wtórnej. Z perspektywy środowiskowej techniki topienia, które są z natury mniej zanieczyszczające lub mogą być kontrolowane przez środki pierwotne są ogólnie preferowane niż te, które opierają się na redukcji wtórnej. Jakkolwiek, efektywność ekonomiczna i techniczna wykonalność muszą być brane pod uwagę, a końcowy wybór powinien być zoptymalizowaną równowagą.

Wpływ różnych technik topienia na środowisko będzie się bardzo różnić w zależności od produkowanego typu szkła, metody działania oraz konstrukcji. Na przykład, emisje (przed redukcją wtórną) z pieca rekuperacyjnego produkującego szkło telewizyjne z domieszką azotanu, pod koniec cyklu produkcyjnego niewiele będą przypominały emisje z nowo wybudowanego pieca rekuperacyjnego wytwarzającego włókno szklane ciągłe, w przypadku którego zoptymalizowano geometrię, przygotowanie zestawu surowców i opalanie. Szczególne wymagania jakościowe produktu w różnych sektorach mogą również wpływać na oddziaływanie pieca na środowisko. Czynniki te utrudniają bezpośrednie porównanie ilościowe różnych technik topienia i powodują, że ma ono ograniczoną wartość, a podrozdziały poniżej tylko podsumowują główne warunki środowiskowe dla każdej techniki opisanej w Rozdziale 2. Różnice poszczególnych emisji z różnych typów pieców zostały omówione tam, gdzie jest to właściwe, w podrozdziałach tego rozdziału dotyczących określonych substancji.

Topienie elektryczne różni się od innych technik opisanych poniżej, ponieważ stanowi fundamentalną zmianę w technologii oraz posiada bardzo ważne wpływy na bezpośrednie emisje. Topienie elektryczne przedstawiono jako jedną ze specyficznych technik, które należy wziąć pod uwagę przy ustalaniu BAT. Jakkolwiek, ze względu na swój wpływ na wszystkie emisje, nie pasuje właściwie do podejścia tego rozdziału w oparciu o substancje, dlatego przedstawiono go oddzielnie w niniejszym podrozdziale.

Inne techniki topienia, które różnią się od konwencjonalnych pieców na paliwo/powietrze oraz stanowią bardzo znaczący wpływ, w szczególności na emisje tlenków azotu omówiono w Podrozdziale 4.4.2. Jest to przypadek topienia tlenowo-paliwowego oraz specjalnej konstrukcji pieca, które zawarto odpowiednio w podrozdziałach 4.4.2.5 oraz 4.4.2.3.

Podsumowanie różnych poszczególnych poborów energii w zależności od przyjętej techniki topienia podano w Tabeli 3.13 oraz na Diagramie 3.4 dla sektora szkła opakowaniowego, sklasyfikowanego pod względem typu i wielkości pieca.

Piece regeneracyjne

Piece te są na ogół bardziej efektywne energetycznie niż inne konwencjonalne piece opalane paliwem kopalnym ze względu na bardziej wydajny system wstępnego podgrzewania powietrza spalania. Niskie zużycie energii na tonę wytopionego szkła prowadzi do ograniczeń wielu zanieczyszczeń

związanych ze spalaniem. Jakkolwiek, wysokie temperatury podgrzewania wstępnego sprzyjają większemu powstawaniu NO_x. Piece te wykazały bardzo dobre wyniki przy technikach kontroli pierwotnych emisji, szczególnie dla NO_x. Z dwóch typów pieca regeneracyjnego, piece U-płomienne wykazują lepszą efektywność energetyczną oraz niższe emisje. Jednakże, w piecach regeneracyjnych poprzeczno-płomiennych, możliwe jest dostosowanie lokalizacji ogniska pieca (obszarów o najwyższej temperaturze), tak aby osiągnąć produkcję dobrej jakości szkła nawet w wielkich piecach ze względu na lepszą kontrolę przepływu masy stopionego szkła.

Wymiana pieca poprzeczno-płomiennego byłaby możliwa wyłącznie przy całkowitej przebudowie. Zakładając, że możliwe jest zbudowanie takiego pieca w dostępnej przestrzeni, dodatkowe koszty związane z całkowitą przebudową mogą przewyższyć wszelkie operacyjne korzyści gospodarcze lub środowiskowe.

Wysoki koszt kapitałowy pieców regeneracyjnych oznacza, że są one zwykle ekonomicznie opłacalne przy produkcji szkła na dużą skalę (na ogół >100 ton dziennie chociaż są przykłady mniejszych pieców). Przy wskaźnikach produkcji >500 ton dziennie, piece poprzeczno-płomienne są na ogół wykorzystywane do uzyskania dobrej kontroli temperatur wzdłuż całej długości pieca.

Piece rekuperacyjne

Piece te są mniej efektywne energetycznie niż piece regeneracyjne, ale jednak odzyskują znaczną ilość ciepła poprzez system rekuperatora. Dalsze polepszanie efektywności energetycznej jest możliwe przy wykorzystaniu kolejnych technik, np. dodatkowe podgrzewanie elektryczne, kotły odzysknicowe, wstępne podgrzewanie gazu, oraz wstępne podgrzewanie wsadu/stłuczki szklanej. Temperatury podgrzewania wstępnego są niższe niż w piecach regeneracyjnych, a dobre rezultaty można osiągnąć przy wstępnym nadzorze NO_x.

Chociaż, na ogół emisje NO_x wyrażone w stężeniach (mg/Nm³) wykazują niższe wartości dla pieców rekuperacyjnych (patrz wartości średnie w Tabeli 3.15), specyficzne emisje pieców regeneracyjnych i rekuperacyjnych, wyrażone w kg NO_x/tonę szkła są porównywalne, z wyjątkiem pieców rekuperacyjnych o specjalnym przeznaczeniu (piec LoNO_x®).

Jednoczesne topienie z wykorzystaniem paliwa kopalnego oraz elektryczne

Istnieją dwa zasadnicze podejścia do wykorzystania tej techniki, głównie opalanie paliwem kopalnym przy dodatkowym podgrzewaniu elektrycznym lub głównie ogrzewanie elektryczne przy wsparciu paliwa kopalnego. Zabezpieczenie w postaci dodatkowego podgrzewania jest instalowane w wielu piecach i może się przyczynić do 2 - 20 % całkowitego wkładu energii. Na ogół w piecach wytwarzających szkło float oraz szkło opakowaniowe wielkość dodatkowego podgrzewania elektrycznego jest bardzo ograniczona (<5 %) ze względu na koszt energii elektrycznej. Dodatkowe podgrzewanie elektryczne ograniczy bezpośrednio emisje z pieca poprzez częściowe zastąpienie spalania ogrzewaniem elektrycznym dla danej wydajności szkła. Jak omówiono w Podrozdziale 4.2.1 poniżej, jeśli przyjmujemy pogląd holistyczny, ograniczenia osiągnięte w zakładzie powinny być rozważane względem emisji związanych z produkcją energii.

Wysokie koszty związane z dodatkowym podgrzewaniem elektrycznym oznaczają, że nie jest to na ogół możliwa do zastosowania długoterminowa opcja ograniczenia emisji przy produkcji na poziomie bazowym. Jest to narzędzie operacyjne, którego wykorzystanie jest zależne od kwestii gospodarczych i technicznych. Dodatkowe podgrzewanie elektryczne może być wykorzystywane w połączeniu z technikami, takimi jak palniki o niskiej emisji NO_x, aby przyspieszyć topienie oraz ograniczyć emisje, ale nie jest to opcja opłacalna, gdy jest wykorzystywana samodzielnie. Dodatkowe podgrzewanie elektryczne może być również wykorzystywane, aby wzmocnić prądy konwekcyjne w piecu, które umożliwiają transfer ciepła oraz wspomagają wstępne oczyszczanie. Jakkolwiek, ocena ogólnych korzyści środowiskowych dodatkowego podgrzewania elektrycznego powinna uwzględniać efektywność produkcji energii elektrycznej w elektrowni.

Dodatkowe opalanie paliwem kopalnym w piecu w głównej mierze nagrzewanym elektrycznie jest znacznie rzadziej stosowaną techniką. Pozwala to na uzyskanie wielu korzyści środowiskowych topienia elektrycznego poprzez przezwyciężenie niektórych ograniczeń technicznych i ekonomicznych tej techniki. Wykorzystanie palników przyspiesza topienie surowców. Oczywiście istnieją emisje związane ze spalaniem paliwa i te będą zależne od współczynnika dostawy ciepła.

Wiele z omówionych w niniejszym rozdziale technik ograniczenia emisji można zastosować w tych piecach, w tym palniki z niską emisją NOX oraz topienie tlenowo-paliwowe.

Okresowe topienie wsadu

Techniką tradycyjnie wykorzystywaną przy niskotonażowym topieniu okresowym jest piec donicowy, chociaż inne techniki, takie jak wanny wyrobowe oraz piec Flex® stają się coraz powszechniejsze. Wybór techniki będzie zależny zwykle od logistyki specyficznej instalacji, szczególnie skali produkcji, liczby różnych wytworzonych form oraz wymagań klienta. Wiele podstawowych środków redukcji opisanych w niniejszym rozdziale będzie miało zastosowanie dla tych pieców w większym lub mniejszym stopniu. Prawdopodobnie najbardziej skutecznymi technikami są optymalizacja przygotowania wsadu oraz techniki spalania. Ze względu na konstrukcję pieców donicowych, techniki będą na ogół przynosić lepsze rezultaty przy wannach wyrobowych oraz piecach o działaniu półciągłym. Tam, gdzie wykorzystanie wanny wyrobowej lub ciągłego/półciągłego topienia jest możliwe do zastosowania, zwykle osiągnięta będzie lepsza efektywność energetyczna oraz niższe emisje.

Wytop wełny skalnej

Najpowszechniej wykorzystywaną techniką topienia wełny skalnej jest piec szybowy z podgrzewaniem dmuchu, chociaż istnieją przykłady pieców do topienia elektrycznego oraz pieców opalanych gazem. W kilku przypadkach te inne opcje zostały zaprojektowane jako zakłady rozwojowe na pełną skalę, aby zbadać długoterminową wykonalność technik, lub wybrane ze względu na szczególne okoliczności lokalne. Piec szybowy z podgrzewaniem dmuchu posiada szereg zalet eksploatacyjnych i jest preferowaną techniką w ramach tego sektora. Alternatywy albo nie wykazują żadnych znacznych korzyści środowiskowych albo nie zostały sprawdzone jako technicznie wykonalne i efektywne ekonomicznie dla szerszego zastosowania.

4.2.1 Topienie elektryczne

Opis

Technikę opisano w Podrozdziale 2.3.4, ponieważ jest to podstawowa technika wytopu powszechna w kilku sektorach. Topienie elektryczne wywiera ważny wpływ na emisje zanieczyszczeń, zatem jest on również omówiony w niniejszym rozdziale jako „podstawowy” środek redukcji.

Osiągnięte korzyści środowiskowe

Całkowite zastąpienie paliw kopalnych w piecu likwiduje tworzenie produktów spalania na poziomie instalacji (lecz produkcja energii elektrycznej powinna zostać wzięta pod uwagę); mianowicie, tlenki siarki (gdy wykorzystywany jest olej opałowy), termiczne NOX, oraz dwutlenek węgla (CO₂). Pozostałe emisje wynikają z przeniesienia cząstek oraz rozpadu materiałów wsadowych, w szczególności CO₂ z węglanów, NO_x z azotanów oraz SO_x z siarczanów. W większości przypadków, w których stosowane jest topienie elektryczne, wykorzystanie siarczanów w składzie wsadowym jest całkiem niskie, ponieważ wykorzystanie innych środków klarujących i utleniających jest powszechniejsze (np. azotany).

Mogą również występować niskie poziomy emisji halogenków, np. fluorowodoru (HF), lub metali, ponieważ te substancje są obecne w surowcach. Jakkolwiek, emisje mogą być istotne jeżeli w zestawie surowcowym użyte są fluorki. Emisje wszystkich lotnych komponentów wsadowych są znacznie niższe niż w konwencjonalnych piecach ze względu na ograniczony przepływ gazu oraz absorpcję, kondensację oraz reakcję emisji gazowych w warstwie wsadu, która zwykle przykrywa całą powierzchnię wytopu.

Piece są zwykle otwarte z jednej strony i występują znaczące prądy powietrza ze względu na emisje gazowe oraz ciepło z wytopu. Zwykle konieczne jest zapewnienie pewnej formy wentylacji, aby umożliwić pyłowi, gazom oraz ciepłu na ulotnienie się bez ich pojawiania się na stanowisku pracy. Można tego dokonać poprzez naturalny ciąg lub wyciąg. Gaz odpadowy wyemitowany przez ciąg naturalny będzie miał bardzo małą objętość, lecz może mieć wysokie stężenie pyłowe oraz słabą charakterystykę dyspersji.

Emisje pyłowe mogą być kontrolowane poprzez usuwanie do systemu redukcji pyłu, którym ze względu na niski tonaż jest zwykle filtr workowy. Taki układ powoduje bardzo niskie emisje pyłowe, a także umożliwia przeciwdziałanie emisji HF poprzez oczyszczanie na sucho jeśli jest to konieczne. Patrz Podrozdziały 4.4.1.3 i 4.4.3.

Rzeczywiste osiągnięte emisje będą zależne w dużym stopniu od przygotowania zestawu surowców szklarskich, a ze względu na niskie przepływy gazu odlotowego, porównanie stężeń emisji może być mylące. Jakkolwiek, dla szerszego zilustrowania, ogólne bezpośrednie emisje ograniczone są przez współczynnik pomiędzy 10 a 100 w porównaniu do konwencjonalnego pieca opalanego mieszanką powietrzno-paliwową o porównywalnej wydajności. Niektóre rzeczywiste dane ilościowe podano w Podrozdziale 3.8.2.2 dla instalacji wełny mineralnej oraz w przykładowych instalacjach przedstawionych w niniejszym dokumencie.

Wzajemne powiązania pomiędzy różnymi komponentami środowiska

Bezpośrednie emisje z pieca są znacznie ograniczone przy wykorzystaniu topienia elektrycznego, a efektywność cieplna jest bardzo wysoka. Jednak, biorąc pod uwagę ogólną efektywność środowiskową techniki, wpływ produkcji energii na środowisko może zniszczyć większość zalet topienia elektrycznego. Pełna analiza ilościowa jest niemożliwa w ramach niniejszego dokumentu. Kwestie środowiskowe związane z produkcją energii elektrycznej są bardzo złożone i bardzo się różnią w całej UE, a niekiedy w poszczególnych instalacjach.

Energia elektryczna może być dostarczana z krajowych zasobów lub z lokalnych czy dedykowanych zasobów, co może wpływać zarówno na koszt, jak i wydajność zasobów. W przypadku, gdy energia jest pobierana z krajowej sieci energetycznej, może być ona z wielu różnych źródeł. Produkcja energii z węglowych, olejowych, gazowych, nuklearnych, wodnych oraz źródeł odnawialnych dotyka bardzo różnych kwestii środowiskowych związanych z tymi źródłami.

Różnica w efektywności cieplnej pomiędzy topieniem elektrycznym a topieniem z użyciem paliwa kopalnego jest również ograniczona, gdy rozważana jest efektywność produkcji energii elektrycznej (energia podstawowa).

Ponownie zależy to w dużej mierze od źródła energii elektrycznej, lecz dla tradycyjnej elektrowni opalanej paliwem kopalnym, efektywność paliwa pierwotnego do momentu wykorzystania energii elektrycznej mieści się w przedziale 30 - 35 %. Dla zakładu wykorzystującego układ gazowo-parowy, liczba byłaby bliższa 50 %.

Pośrednie emisje CO₂ oraz NO_x związane z produkcją energii elektrycznej oszacowano dla małego pieca produkującego 20 ton/dziennie bezołowiowego szkła kryształowego. W tym konkretnym przypadku, ograniczenie 14 ton/rok emisji NO_x, osiągnięte poprzez przejście od pieca opalanego paliwem kopalnym do pieca do topienia elektrycznego, jest całkowicie zrównoważone przez ilość emisji pośrednich ustaloną w produkcji energii elektrycznej równą 15 - 16 tonom NO_x/rok oraz 6 300 tonom/rok pośrednich emisji CO₂. Nie zawsze o to chodzi; dla pieców do produkcji szkła kryształowego ołowiowego, emisje netto NO_x oraz CO₂ (emisje pośrednie + bezpośrednie) są nieco niższe dla pieca elektrycznego niż dla pieca opalanego paliwem kopalnym, ale różnica pomiędzy tymi dwoma piecami jest raczej niewielka. [94, Beerkens - APC Evaluation 2008]

Ze względu na niewielkie objętości gazów odlotowych charakterystycznych dla tej techniki, koszt sprzętu do redukcji emisji w procesach końcowych jest znacznie ograniczony, a niewielkie ilości zebranego pyłu mogą być łatwo przetwarzane. Niska utrata spowodowana lotnością również ogranicza zużycie surowców, co zmniejsza zarówno emisje, jak i koszty. Jest to szczególnie korzystne dla niektórych droższych i/lub toksycznych komponentów, takich jak tlenki ołowiu, fluorki, związki arsenu, boraks, itd.

Dane eksploatacyjne

Na ogół, przy wytapianiu elektrycznym uzyskuje się bardzo jednolite wysokiej jakości szkło, szczególnie w przypadku szkieł specjalnych, dla których przygotowane zestawy wsadu zawierają komponenty lotne. Przy niektórych zastosowaniach dla szkła gospodarczego oraz szkła specjalnego, może to być jeden z głównych powodów wyboru topienia elektrycznego.

Jednak, piece elektryczne z zimnym końcem posiadają mniejsze tonażowe „okno” operacyjne niż piece konwencjonalne. Na przykład, piec elektryczny z zimnym końcem produkujący 40 ton dziennie będzie zwykle dobrze działał między 36 - 44 ton dziennie. Gdy wymagany jest niższy tonaż dla wydajności produkcji specyficznego urządzenia, piece elektryczne trudno kontrolować, oraz należy utrzymać wyższą wydajność (odpływ boczny); dlatego, więcej szkła jest wytapiane niż wymagana ilość na potrzeby produkcji skutkując wyższymi kosztami produkcji. Przeciwnie, konwencjonalny piec produkujący 40 ton dziennie mógłby produkować 25 - 30 ton dziennie, jeśli zaistnieje potrzeba, przy bardzo niewielkich problemach.

Tradycyjny pogląd w branży szklarskiej głosi, że azotan sodu lub azotan potasu są wymagane w piecach elektrycznych z zimnym końcem w celu zapewnienia koniecznych warunków utleniania dla stabilnego, bezpiecznego oraz wydajnego procesu produkcji. Wykorzystanie azotanów bezpośrednio wpływa na emisje NO_x i chociaż nie jest konieczne dla wszystkich zastosowań, może ograniczyć niektóre korzyści środowiskowe topienia elektrycznego. Wykorzystanie azotanów jako czynników utleniających staje się ważniejsze, gdy materiał odpadowy, który zawiera związki organiczne jest przetwarzany w piecu do topienia. Wykorzystanie dużych ilości stłuczki obcej (lub innych materiałów pochodzących z recyklingu) może niekiedy powodować problemy z nieprzyjemnym zapachem.

Podsumowanie głównych zalet i wad związanych z zastosowaniem topienia elektrycznego przedstawiono w Tabeli 4.2:

Tabela 4.2: Główne zalety i wady wytopu elektrycznego

<u>Zalety</u>	
•	Bardzo niskie emisje bezpośrednie
•	Potencjalnie wyższa wydajność topienia na m ² powierzchni pieca
•	Lepsza bezpośrednia efektywność energetyczna
•	W niektórych przypadkach niższe koszty surowców
•	W niektórych przypadkach topienie elektryczne zapewnia lepszej jakości i bardziej jednorodne szkło
•	Ograniczone wymagania kosztu kapitałowego oraz przestrzeni pieca
•	Potencjalnie prostsze działanie
<u>Wady</u>	
•	Wysoki koszt operacyjny
•	Ograniczona długość okresu eksploatacji
•	Obecnie nierealny technicznie i ekonomicznie przy produkcji szkła na bardzo dużą skalę
•	Mniej elastyczny i niedostosowany do dużych zmian wydajności dla szkieł wysokiej jakości
•	Powiązane następstwa środowiskowe produkcji energii elektrycznej

Przykładową instalację przedstawiono w Tabeli 4.3 dla produkcji szkła gospodarczego, szczególnie kryształowego oraz kryształowego ołowiowego.

Tabela 4.3: Przykładowa instalacja dla zastosowania topienia elektrycznego dla szkła gospodarczego sektor (szkło kryształowe i kryształ ołowiowy)

Warunki operacyjne		
	Piec 1	Piec 2
Typ pieca	Piec elektryczny z zimnym końcem	Piec elektryczny z zimnym końcem
Wiek pieca	4 lata	7 lat
Wydajność	27 t/d	15 t/d (szkło kryształowe z domieszką magnezu) 20 t/d (kryształ ołowiowy)
Średnia produkcja	25 t/d (2006)	15,8 t/d (2005)

Typ szkła	Szkło kryształowe ołowiowe	Szkło kryształowe z domieszką magnezu, kryształ ołowiowy
Słuczka szklana	Wyłącznie własna	Wyłącznie własna
Wykorzystanie pyłu z filtra	Tak	Tak
Specyficzne zużycie energii (¹)	Topienie: 4,32 GJ/t wytopionego szkła	Topienie: 7,20 GJ/t wytopionego szkła
	Ogółem: 7,70 GJ/t wytopionego szkła; 15,4 GJ/t produktu końcowego	Ogółem: 10,58 GJ/t wytopionego szkła; 21,16 GJ/t produktu końcowego
Ilość spalin(²)	15000 - 20000 Nm ³ /h (suchy gaz przy operacyjnej zawartości O ₂)	15000 - 20000 Nm ³ /h (suchy gaz przy operacyjnej zawartości O ₂)
Powiązane poziomy emisji (³)		
Pył zawieszony (⁴)	2,8 mg/Nm ³	
NO _x (azotany we wsadzie)(⁵)	420 - 560 mg/Nm ³ (8,1 kg/t)	340 - 460 mg/Nm ³ (10,4 kg/t)
SO ₂ (⁵)	Nie dotyczy – brak siarki w składzie wsadu	
HCl (⁵)	<3 mg/Nm ³	
HF (⁵)	<1 mg/Nm ³	
Sb (⁵)	Gazowy <0,01 mg/Nm ³ . Cząstka <0,01 mg/Nm ³	
Pb (⁵)	Gazowy <0,01 mg/Nm ³ (poniżej limitu wykrycia) Cząstka 0,04 mg/Nm ³	
<p>(¹) Raportowane dane odnoszą się do energii w miejscu wykorzystania i nie są skorygowane o energię pierwotną. (²) Duża ilość paliwa gazowego wynika z maksymalizowania ilości usuwanego powietrza. (³) Zastosowane środki/techniki redukcji: filtr workowy dla każdego pieca; opary z przetwarzania szkła na gorąco w końcowej fazie procesu (ulatnianie ołowiu) są usuwane. (⁴) Średnia trzech półgodzinnych pomiarów ciągłych. (⁵) Pojedyncze pomiary co dwa lata (półgodzinne średnie wartości) Źródło: [110, Austria, Domestic Glass plants 2007]</p>		

Możliwość zastosowania

Topienie elektryczne ma zastosowanie w wielu gałęziach branży szklarskiej i jest wykorzystywane w kilku sektorach, w tym w sektorze wełen izolacyjnych wysokotemperaturowych, wełny mineralnej, szkła specjalnego, szkła gospodarczego oraz, w mniejszym stopniu, w sektorze szkła opakowaniowego na ogół przy niskich tonażach przy produkcji szkła typu flaconnage. Oczywiście topienie elektryczne może być wyłącznie instalowane przy przebudowie pieca. Nie ma znanych przykładów topienia elektrycznego na pełną skalę w sektorach szkła płaskiego lub fryt. Technika jest powszechnie wykorzystywana przy produkcji szkieł, których wytopowi towarzyszy uwalnianie łatwo lotnych zanieczyszczeń (np. szkło kryształowe ołowiowe oraz opalowe) oraz przy produktach o wysokiej wartości dodanej.

Szersze wykorzystanie tej techniki jest ograniczone przez koszty operacyjne oraz przez niektóre warunki techniczne. Jak omówiono powyżej, głównym ograniczeniem jest koszt operacyjny, oraz w zależności od szeregu czynników, wyznacza on górny limit dotyczący rentowności ekonomicznej.

W czasie pisania dokumentu (2010), technika nie jest stosowana dla wysokotonażowej produkcji szkła (>300 ton dziennie) i nie może być uważana za w pełni sprawdzoną technicznie lub ekonomicznie. Zastosowanie topienia elektrycznego do produkcji włókna szklanego ciągłego nie jest uważane obecnie za ekonomicznie opłacalne lub technicznie wykonalne, ponieważ szkło typu E często wykorzystywane dla tego typu produktu posiada niską zawartość zasadową skutkującą bardzo niskim przewodnictwem elektrycznym.

Eksperymentalna linia szkła float z piecem ogrzewanym elektrycznie działała w Wielkiej Brytanii od 1989 do 2000 roku. Zakład ten zbudowano, aby zademonstrować zasadę topienia elektrycznego z

zimnym końcem przy produkcji szkła float. Zakład funkcjonował pomyślnie w tej skali pilotażowej i był wykorzystywany do produkcji szeregu szkieł, z których emisje byłyby bardzo trudne do kontrolowania z pieca opalanego metodą konwencjonalną. Zastosowanie wykazało, że operowanie linią szkła float na pełną skalę (>500 ton dziennie) przy wykorzystaniu pieca w pełni elektrycznego nie jest obecnie ekonomicznie opłacalne ze względu na wysokie koszty operacyjne. Piec ten już nie jest w użyciu.

Ekonomika

Opłacalność ekonomiczna topienia elektrycznego zależy głównie od różnicy cen energii elektrycznej i paliw kopalnych. W czasie pisania (2010), średnie koszty energii elektrycznej na jednostkę energii są 4-5-krotnie wyższe od kosztu oleju opałowego. Koszty energii elektrycznej mogą się różnić nawet do 100 % w Krajach Członkowskich, ale ceny paliwa kopalnego nie różnią się tak bardzo. Ceny paliwa oraz ich zmiany omówiono w Podrozdziale 4.4.3.1. Piece elektryczne są bardzo efektywne termicznie; na ogół, są one 2 do 4 razy lepsze od pieców opalanych mieszanką powietrzno-paliwową. Porównanie dla dużych efektywnych energetycznie pieców jest w dolnej części tego zakresu, a dla mniejszych pieców – w jego górnej części.

Piece elektryczne mają znacznie niższe koszty kapitałowe od pieców konwencjonalnych, które w przeliczeniu na stawkę roczną, częściowo kompensują wyższe koszty operacyjne. Jednak, piece te posiadają krótszą żywotność i szybciej wymagają przebudowy lub naprawy, tj. 2 do 7 lat w porównaniu do 10 do 20 lat dla pieców konwencjonalnych. Piec elektryczny może być bardziej konkurencyjny w skali 10 do 50 ton dziennie ze względu na wyższe specyficzne straty ciepła pieców opalanych mieszanką powietrzno-paliwową.

Nie można wyciągnąć ogólnych wniosków dotyczących kosztów topienia elektrycznego w porównaniu do topienia z wykorzystaniem paliwa kopalnego; wszystkie warunki kosztowe muszą być wzięte pod uwagę indywidualnie, ponieważ należy rozważyć kilka parametrów (lokalizację, różne źródła energii oraz ceny, wydajność pieca, elastyczność produkcji, żywotność pieca, jakość szkła, którą należy osiągnąć, stabilność procesu, itd.), w szczególności przy porównywaniu wszystkich pieców elektrycznych do pieców regeneracyjnych, rekuperacyjnych oraz opalanych z wykorzystaniem tlenu.

Na przykład, porównanie pieca do topienia w pełni elektrycznego wytwarzającego około 30 ton dziennie, w sektorze zastawy stołowej/szkła kryształowego, oraz pieca rekuperacyjnego wykazuje, że piec elektryczny wymaga wyższego kosztu inwestycyjnego wynoszącego około 3 miliony EUR ze względu na krótszą żywotność, lecz niższych kosztów operacyjnych (350 000 EUR mniej). W tym konkretnym przypadku, raportowane są nieco niższe koszty na tonę stopionego szkła.

W oparciu o aktualną praktykę, zaproponowano następujące jako bardzo ogólny orientacyjny przewodnik po wielkościach pieców elektrycznych, które mogą być opłacalne, tj. tych, które mogą stanowić potencjalnie praktyczną alternatywę (nieuchronnie istnieją wyjątki ze względu na okoliczności lokalne):

- Piece poniżej 75 ton dziennie są na ogół opłacalne.
- Piece w skali 75 - 150 ton dziennie mogą być opłacalne w niektórych okolicznościach.
- Piece większe niż 150 ton dziennie prawdopodobnie nie będą na ogół opłacalne.

Na warunki finansowe mogą w dużej mierze wpływać czynniki specyficzne dla danego miejsca, w tym: najbardziej znaczące koszty energii; wymagania jakości produktu, dostępna przestrzeń, koszty alternatywnych środków redukcji emisji, obowiązujące prawo; łatwość działania; oraz przewidywana żywotność pieców alternatywnych.

W tych Krajach Członkowskich, w których różnica w cenie między paliwami kopalnymi a energią elektryczną jest w górnej części podanego zakresu, opcja wytopu elektrycznego może wydawać się mniej atrakcyjna. W takich przypadkach może to prowadzić operatora do wybrania połączenia innych technik zamiast topienia elektrycznego.

Przy wykorzystaniu pieców elektrycznych, emisje CO₂ związane z procesem topienia są niskie, ponieważ wynikają one wyłącznie ze składu wsadu. Koszt przydziałów emisji CO₂ potrzebnych do

pokrycia emisji pieca (Dyrektywy Europejskie 2003/87/WE oraz 2009/29/WE ustanawiające System Handlu przydziałami emisji gazów cieplarnianych) byłby prawie bez znaczenia dla powiązanych kosztów operacyjnych; jednak, pośredni wpływ na koszt energii elektrycznej ze względu na generator przenoszący koszty w ramach Europejskiego Systemu Handlu Emisjami (ETS), powinien zostać wzięty pod uwagę.

To czy piece elektryczne mogą zostać uznane za bardziej efektywne „węglowo” będzie zależne od źródła energii elektrycznej.

Przykładową instalację, przedstawiającą koszty związane z techniką topienia elektrycznego zastosowaną w produkcji szkła specjalnego borokrzemianowego podano w Tabeli 4.4.

Tabela 4.4: Przykładowa instalacja dla zastosowania wytopu elektrycznego w sektorze szkła specjalnego

Warunki operacyjne	Piec 1		Piec 2	
Typ pieca	Piec elektryczny		Piec elektryczny	
Planowany okres eksploatacji	60 miesięcy		60 miesięcy	
Maks. temperatura sklepienia	230 °C		230 °C	
Wydajność	38 t/d		48 t/d	
Aktualna wydajność	35 t/d		45 t/d	
Typ szkła	borokrzemianowe, białe		borokrzemianowe, białe	
Stłuczka szklana	70 %		70 %	
Specyficzne zużycie energii (¹)	4,45 GJ/t szkła		3,91 GJ/t szkła	
Wykorzystanie pyłu z filtra	Nie		Nie	
System kontroli zanieczyszczenia powietrza oraz powiązane koszty (²)			Piec 1 oraz Piec 2	
Typ filtra (dwa oddzielne filtry)			Filtr workowy	
Temperatura przed filtrem			80 °C	
Sorbent			Ca(OH)₂	
Ilość sorbentu			3 (kg/h)	
Pył z filtra			Składowanie	
Zużycie energii, w tym wentylator			20 (kWh/h)	
Koszty inwestycji/wymiany (filtr workowy, wentylator, przewody)			440 000 EUR	
Okres amortyzacji			10 lat	
Koszty operacyjne			50 000 EUR	
Roczne koszty amortyzacji			58 520 EUR	
Koszty roczne ogółem			108 520 EUR	
Szacunkowe koszty na tonę szkła			3,71 EUR /t szkła	
Powiązane poziomy emisji				
	Piec 1		Piec 2	
	mg/Nm³ (³)	kg/t szkła	mg/Nm³ (³)	kg/t szkła
Pył zawieszony	1,2	0,0017	0,8	0,0008
NO _x (⁴)	72	0,39	103	0,29
SO ₂	0,7	0,0037	4,7	0,013
HCl	5,1	0,028	22,0	0,061
(¹) Raportowane dane odnoszą się do energii w miejscu jej wykorzystania i nie są skorygowane o energię pierwotną. (²) Dane kosztowe są z roku instalacji systemu kontroli zanieczyszczenia powietrza i niekoniecznie są aktualne. (³) Stężenia odnoszą się do zmierzonej zawartości tlenu. (⁴) Emisje NO _x wynikają z wykorzystania azotanów w przygotowaniu wsadu. Źródło: [75, Gmamy –HVG Glass Industry Report 2007]				

Podstawa wdrożenia

Efektywność cieplna pieca elektrycznego jest lepsza niż ekwiwalentnego pieca konwencjonalnego. Tonaże gazów odlotowych są bardzo niskie (wyłącznie gazy z rozkładu wsadu). Wykorzystanie energii elektrycznej może być lokalnie preferowane, w ramach polityki energetycznej nie opartej na węglu.

Przykładowe zakłady

Schott, Mainz, Niemcy – Szkło Specjalne.

British Gypsum Isover Ltd, Runcorn, Wielka Brytania – Włna Szklana. SGD, Mers-les-Bains, Francja – Szkło Opakowaniowe (szkło typu flaconnage)

Bormioli Luigi, Parma, Włochy – Szkło Gospodarcze

Bormioli Rocco e Figlio, Bergantino, Włochy – Szkło opakowaniowe borokrzemianowe

(szkło typu flaconnage).

Literatura źródłowa

[65, Glass for Europe-Proposals for GLS revision 2007] [94, Beerkens - APC Evaluation 2008]

4.2.2 Obsługa i konserwacja pieców

Opis

Eksploatacja oraz konserwacja pieca do wytopu jest podstawową techniką minimalizowania wpływu na środowisko z powodu starzenia się pieca wytwarzającego szkło. Technika ta jest zwykle stosowana przy długo żywotnych piecach regeneracyjnych, ale niektóre z tych rekomendacji mają również zastosowanie dla innych pieców.

Konwencjonalne piece do topienia szkła (piece opalane paliwem) mogą działać przez długi czas, a tendencją jest przedłużanie tego okresu coraz bardziej; średnio ponad 12 lat i nawet do 18 lat w wielu przypadkach. W okresie eksploatacji pieca, następuje zużycie oraz starzenie materiału ogniotrwałego, jak również praca materiałów ogniotrwałych (rozszerzalność oraz kurczliwość), a w konsekwencji mogą pojawić się straty ciepła oraz efektywności energetycznej, wraz z pęknięciami w nadbudowie pieca. Pęknięcia mogą przyczynić się do infiltracji niepożądanego powietrza (w zależności, np. od ciśnienia pieca).

Dlatego, bardzo ważne jest ustalenie stałego nadzoru oraz monitoringu pieca, aby zapewnić przeprowadzenie koniecznej konserwacji w celu zminimalizowania efektów starzenia oraz zoptymalizowania warunków operacyjnych oraz ich parametrów.

Najważniejsze działania przy konserwacji obmurza pieca to:

- stałe zapewnienie, aby ściany pieca i generatora były szczelne w celu uniknięcia infiltracji powietrza pasożytniczego;
- zamknięcie oraz /lub uszczelnienie wszystkich otworów pieca (np. wizjerów, innych otworów do sond monitorujących, psich bud oraz bloków palnikowych), gdy nie są w użyciu;
- ulepszenie wymiany ciepła w piecach regeneracyjnych, czyszczenie regeneratorów, gdy jest to konieczne, oraz zapewnienie stosownej konserwacji wymienników ciepła w piecach rekuperacyjnych;
- utrzymanie maksymalnej możliwej izolacji dla obecnego stanu pieca.

Jeśli chodzi o działania pieca, ustalone parametry muszą być utrzymane na stałym poziomie w zależności od procesu produkcji oraz podstawowych wykorzystywanych technik poprzez dokonanie następujących dostosowań, na przykład:

- rozmieszczenia palników oraz zapewnienia, aby były uszczelnione z blokami palnikowymi;
- kontrolowania ustabilizowanych warunków płomienia, np. długość, jasność oraz rozkład temperatury;
- kontrolowania współczynnika powietrza/paliwa.

Monitoring oraz kontrola pieca są najistotniejsze dla uzyskania najlepszych rezultatów. Stosowny program konserwacji powinien zostać ustalony dla wykorzystywanego sprzętu.

Osiągnięte korzyści środowiskowe

Najważniejszymi korzyściami tej techniki są ograniczenie zużycia energii oraz emisji NO_x. Kolejną korzyścią może być ograniczenie emisji pyłowej poprzez zmniejszenie przenoszenia ze względu na lepsze rozmieszczenie palników oraz lepsze warunki płomieni.

W dobrze utrzymanym piecu, starzenie się powoduje wzrost zużycia energii, które można oszacować dla pieców regeneracyjnych na około 1,5 do 3 % rocznie, ze względu na mniejszą izolację oraz mniejszą wydajność w wymianie ciepła. Zła konserwacja może znacznie zwiększyć te zużycia.

Infiltracje powietrza ograniczają efektywność energetyczną, ponieważ to powietrze nie jest wstępnie podgrzane oraz ze względu na zmianę w warunkach spalania. Również dodatkowy azot wchodzący do pieca z powietrzem zwiększa produkcję NO_x w sposób niekontrolowany. Szczególną uwagę należy zwrócić na piece opalane tlenem, aby zapobiec infiltracjom powietrza spowodowanym słabym uszczelnieniem pieca i/lub bloków palnikowych, które wygenerowałyby tworzenie NO_x.

Oprócz ograniczenia emisji NO_x oraz zużycia energii, technika ta może polepszyć produktywność oraz jakość wyprodukowanego szkła, ponieważ może zwiększyć stabilność topienia. Informacje oceniające te ulepszenia nie są jeszcze dostępne.

Na ogół w dobrze utrzymanym piecu, żywotność wszystkich elementów (np. sklepienia pieca, palisady, korona regeneratora, uszczelnienie regeneratora) wzrasta.

Wzajemne powiązania pomiędzy różnymi komponentami środowiska

Strumień odpadów stałych jest produkowany z czyszczenia urządzeń kontrolnych, które mogą być zanieczyszczone materiałami ogniotrwałymi i/lub metalami. W tym przypadku, nie można z powrotem przetworzyć pyłu (głównie siarczan sodu) w piecu do wytopu a odpady stałe muszą być składowane.

Zastosowanie środków do kontroli współczynnika powietrza/paliwa może spowodować obecność istotnych stężeń CO w regeneratorach. Spalanie powietrzem poniżej współczynnika stechiometrycznego oraz bardzo duże ograniczenie spalin (wykazane przez wysokie wartości stężenia CO) może prowadzić do rozkładu oraz kondensacji agresywnych soli w regeneratorach przy możliwym uszkodzeniu materiału ogniotrwałego urządzeń kontrolujących, a w konsekwencji do ograniczenia okresu eksploatacji pieca.

Dane eksploatacyjne

Monitoring parametrów pieca oraz zamykanie wszystkich otworów pieca powinno być zawarte w dobrych praktykach działania pieca. Plan monitorowania będzie zależny od pieca (np. typ, wielkość, wiek, zużycie, typ urządzeń kontrolujących), typu topionego oraz produkowanego szkła, typu wykorzystywanego paliwa (olej lub gaz), itd.

Na przykład, plan monitorowania powinien być następujący:

- dla wlotów powietrza pasożytniczego (otwory, szczeliny): codzienna kontrola wizualna oraz działanie (w celu uszczelnienia), gdy jest to konieczne;
- dla regeneratorów: kontrole wizualne przeprowadzane regularnie przez operatorów zakładu; czyste urządzenia kontrolujące, gdy jest to konieczne.

Możliwość zastosowania

Technika ta może być zastosowana w okresie użytkowania istniejących lub nowych pieców. Jest ona bardziej przydatna dla wszystkich pieców opalanych tlenem, pieców rekuperacyjnych i pieców regeneracyjnych. Może być również brana pod uwagę dla innych pieców, lecz w każdym przypadku wymaga specyficznej oceny.

Wiele nowoczesnych firm produkujących szkło już osiągnęło korzyści środowiskowe oraz ograniczenie energii dzięki właściwej konserwacji pieca, procedurom operacyjnym oraz kontrolom.

Ekonomika

Koszty związane z zastosowaniem tej techniki obejmują szkolenie wykwalifikowanego personelu do nadzoru i konserwacji, zakup niezbędnego sprzętu, takiego jak aparaty, czujniki do pomiaru tlenu i temperatury. W przypadku unieszkodliwiania pyłu siarczanowego wysypisko poprzez składowanie, zostanie poniesiony dodatkowy koszt.

Jednak, koszty konserwacji nie są porównywalne do korzyści uzyskanych z zaoszczędzenia energii, lepszej jakości produktów oraz większej produktywności.

Osiągalne oszczędności energii skutkują niższymi kosztami uprawnień do emisji CO₂ w ramach Dyrektywy w sprawie Systemu Handlu Emisjami (ETS).

Podstawa wdrożenia

Wymagania prawne dla emisji NO_x mogą być trudne do osiągnięcia na końcu okresu eksploatacji pieca. Tylko utrzymywanie pieców w najlepszym możliwym stanie może ograniczyć wzrost tych emisji.

Przykładowe zakłady

Większość dużych przedsiębiorstw produkujących opakowania szklane, takie jak Saint-Gobain, Owens-Illinois (O-I), Ardagh Glass wykorzystuje tę technikę w swoich piecach. Również w sektorze szkła płaskiego większość firm (np. AGC, Pilkington NSG Group, Saint-Gobain) wykorzystuje tę technikę w swoich piecach.

Literatura źródłowa

[75, Germany-HVG Glass Industry report 2007] [78, DUTCH Oxy-firing furnaces 2007] [79, TNO OxyFiring 2005ATIVFinal 2005] [85, Spanish BAT Glass Guide 2007]

4.3 Techniki przechowywania i postępowania z materiałami

Różnorodność branży szklarskiej skutkuje wykorzystaniem szerokiej gamy surowców. Większość tych materiałów to stałe związki nieorganiczne, naturalnie występujące minerały lub wytworzone produkty. Występuje zróżnicowanie od bardzo gruboziarnistych materiałów do bardzo drobnych proszków. Płyny oraz, w mniejszym stopniu, gazy są również wykorzystywane w ramach większości sektorów.

4.3.1 Techniki przechowywania materiałów

Duża ilość materiałów proszkowych jest zwykle składowana w silosach, a emisje mogą zostać zminimalizowane przy użyciu zamkniętych silosów, które są wentylowane do odpowiednich urządzeń redukcji pyłu, takich jak filtry tkaninowe. Tam, gdzie jest to praktyczne, zebrany materiał może wrócić do silosa lub zostać przetworzony w piecu. Tam, gdzie ilość wykorzystanego materiału nie wymaga wykorzystania silosów, drobne materiały mogą być przechowywane w zamkniętych pojemnikach lub szczelnych workach. Zapasy gruboziarnistych materiałów pyłowych można przechowywać pod przykryciem w celu zapobieżenia emisjom powodowanym przez wiatr.

Należy zwrócić uwagę na przechowywanie obcej stłuczki szklanej, będącej potencjalnym źródłem pyłu, emisji niezorganizowanej oraz zapachu wywodzącego się z resztek organicznych zawartych w surowcu wtórnym; chociaż obca stłuczka szklana jest oczyszczana przed dostawą przez wyspecjalizowane firmy, aby spełnić specyficzne wymagania jakościowe. Tam, gdzie pył jest szczególnym problemem, niektóre instalacje mogą wymagać wykorzystania pojazdów czyszczących drogę oraz technik nawilżania wodą. Surowce lotne mogą być przechowywane tak, aby zminimalizować emisje do powietrza. Na ogół temperatury przechowywania materiałów masowych powinny być utrzymywane na o tyle niskim, co praktycznym poziomie, a zmiany temperatury spowodowane przez ogrzewanie energią słoneczną, itd. powinny zostać wzięte pod uwagę. Dla materiałów o znacznym ciśnieniu pary, lub dla substancji zapachowych, mogą być konieczne specyficzne techniki w celu zmniejszenia uwolnień powstałych z oddychania zbiornika lub z przemieszczenia pary podczas transferów płynów.

Środki/techniki zmniejszania strat ze zbiorników magazynowych pod ciśnieniem atmosferycznym obejmują:

- wykorzystanie farby zbiornika o niskiej absorpcji promieniowania słonecznego
- kontrolę temperatury
- izolację zbiornika
- zarządzanie zapasami
- stosowanie zbiorników z pływającą pokrywą
- stosowanie systemu transportu z urządzeniami zawracającymi dla oparów układów transferu powrotu pary
- stosowanie zbiorników o sklepieniach przeponowych
- stosowanie zaworów ciśnieniowo- próżniowych w zbiornikach, których konstrukcja jest odporna na wahania ciśnienia
- odpowiednie postępowanie z emisjami, np. adsorpcja, absorpcja, kondensacja
- wypełnienie podpowierzchniowe.

Dodatkowe informacje dotyczące technik przechowywania materiałów, które zapobiegają oraz minimalizują emisje rozproszone/ krótkotrwałe można znaleźć w Dokumencie Referencyjnym na temat Emisji z Magazynowania (EFS BREF) [121, EC 2006] (patrz również Podrozdział 3.2.2.1 w tym dokumencie referencyjnym ustalający BAT (BREF)).

4.3.2 Techniki postępowania z durowcami

Ogólne techniki wykorzystywane przy postępowaniu z materiałami opisano w Podrozdziale 2.1. Istnieje bardzo niewiele kwestii dotyczących emisji do powietrza z postępowania z materiałami, które są specyficzne dla branży szklarskiej. Dlatego, podrozdział ten jedynie podsumowuje te techniki, które uważane są ogólnie za stanowiące dobre praktyki przy postępowaniu z tymi typami materiałów.

Tam, gdzie materiały są transportowane przez przenośniki nadziemne, pewien typ zamknięcia w celu zapewnienia ochrony przed wiatrem jest konieczny, aby zapobiec znacznej utracie materiału. Systemy te mogą być zaprojektowane tak, aby zamykać przenośnik ze wszystkich stron. Tam, gdzie wykorzystywane jest przenoszenie pneumatyczne, ważne jest zapewnienie szczelnego systemu z filtrem, aby oczyścić wykorzystane do transportu powietrze przed uwolnieniem. Aby ograniczyć pylenie podczas przenoszenia drobnych cząstek z pieca, korzystne jest utrzymanie pewnej zawartości wody w zestawie, zwykle 0 - 4 %. Niektóre procesy (np. produkcja szkła borokrzemianowego) wykorzystują suche materiały wsadowe, a tam, gdzie wykorzystywane są suche materiały, potencjał emisji pyłowych jest wyższy i dlatego konieczna jest większa ostrożność.

Na ogół pył z systemów oczyszczania spalin jest bardzo drobny i może zawierać znaczne ilości nie wchodzącego w reakcję odczynnika zasadowego, który może przejawiać właściwości korozyjne i/lub drażniące. W konsekwencji, postępowanie z oraz przechowywanie tego materiału może wymagać szczególnej ostrożności.

Obszarem, w którym emisje pyłowe są powszechne jest obszar załadunku pieca. Główne środki/techniki kontrolowania emisji w tym obszarze wymieniono poniżej:

- Nawilżanie zestawu.
- Zastosowanie niewielkiego podciśnienia w piecu (technika ta ma zastosowanie tylko jako nieodłączny element eksploatacji, tj. w przypadku pieców do topienia do produkcji fryt, patrz Podrozdział 2.11.2). Należy zauważyć, że podciśnienie może mieć szkodliwy wpływ na efektywność energetyczną pieca, ponieważ umożliwi dostanie się chłodnego powietrza do pieca. W praktyce, lekkie nadciśnienie w granicach 5 Pa, jest na ogół stosowane dla wszystkich pieców do topienia szkła.

- Stosowanie surowców, które nie powodują zjawiska rozpadu (głównie dolomitu oraz wapienia); zjawiska te polegają na skrzypieniu (skwarczeniu) minerałów wystawionych na działanie wysokich temperatur przy powiązonym możliwym wzroście poziomu emisji pyłu.
- Zapewnienie wyciągu, który odprowadza zanieczyszczenia do systemu filtracji, (powszechnie w piecach z zimnym końcem).
- Wykorzystanie zamkniętych zasilaczy ślimakowych.
- Obudowane kieszenie zasypowe (chłodzenie może być konieczne).

Emisje pyłowe mogą następować bezpośrednio do powietrza lub wewnątrz budynków produkcyjnych. Gdy to następuje, pył może się gromadzić w budynku oraz może prowadzić do emisji nieorganizowanych poprzez ruch prądów powietrza do i z budynku. W potencjalnie bardzo zapyłonych obszarach, takich jak zakłady pracujące w trybie wsadowym, budynki mogą być zaprojektowane przy minimalnej ilości otworów oraz drzwi, lub można zapewnić zasłony pyłowe, gdzie jest to konieczne. W budynkach, w których pracują piece często konieczne jest zapewnienie pewnego stopnia naturalnego chłodzenia, a także konieczne są otwory wentylacyjne, itd. Ważne jest zapewnienie dobrego standardu gospodarowania oraz, aby wszystkie środki kontroli pyłów (uszczelnienia, wyciąg, itd.) funkcjonowały właściwie.

Etapy procesu produkcji, w których pył prawdopodobnie zostanie wygenerowany (np. otwór worka, mieszanie wsadu fryt, usuwanie pyłu z filtra tkaninowego, itd.) mogą być wyposażone w wyciągi, które wentylują go do stosownego zakładu redukcji. To może być ważne przy mniejszych instalacjach, w których ma miejsce obsługa ręczna. Wszystkie te techniki są szczególnie stosowne, gdy więcej toksycznych surowców jest gromadzonych i przetwarzanych, np. tlenek ołowiu oraz związki fluoru (patrz również Podrozdział 3.2.2.1 oraz podrozdziały specyficzne dla danego sektora w Rozdziale 3).

Odniesienie do literatury

[121, EC 2006]

4.4 Techniki kontrolowania emisji do powietrza z procesu topienia

4.4.1 Pył zawieszony

Na potrzeby tego dokumentu, termin „pył zawieszony” jest używany w znaczeniu całego materiału, który jest stały w punkcie pomiaru oraz emisje z procesu topienia uznane są za tożsame z pojęciem pyłu. Obydwa terminy są wykorzystywane zamiennie w całym rozdziale. Termin „pył zawieszony ogółem” jest używany w znaczeniu wszystkich materiałów stałych organicznych i nieorganicznych (bez dolnego limitu wielkości) oraz materiałów płynnych (kropelki i aerozole), które mogą być obecne w spalinach. Temperatura w punkcie pomiaru jest szczególnie ważna dla pieców wytwarzających szkło, ponieważ niektóre materiały tworzące pył (w szczególności borany) mogą być lotne przy całkiem niskich temperaturach. Również natura pyłu z tych procesów powoduje, że dokonanie dokładnego pomiaru jest bardzo trudne.

Natura emisji pyłowych z pieców wytwarzających szkło jest odmienna dla różnych procesów, ale zależy głównie od przeznaczenia i działania pieca oraz od składu szkła.

Trzy główne źródła pyłu z topienia to:

- przenoszenie materiału wsadowego
- lotność oraz reakcja substancji z materiałami wsadowymi oraz topienia szkła
- zanieczyszczenia metaliczne w paliwach.

Wtórne źródło emisji pyłowych związane z procesem topienia stanowią produkty stałe pochodzące z reakcji chemicznej zanieczyszczeń gazowych z odczynnikami zasadowymi wykorzystywanymi do oczyszczania gazu odlotowego.

Dla pieców opalanych paliwem kopalnym, ulatnianie oraz następująca po nim reakcja/kondensacja materiałów lotnych uwolnionych z gorącej powierzchni szklanej stanowi do tej pory największą część ogólnych emisji pyłowych. Ogółem 80 do 95 % emisji pyłowych zostanie wytworzonych w ten sposób. Dlatego ważne jest zapewnienie, aby wszelkie substancje lotne zostały skondensowane zanim gaz odlotowy będzie czyszczony lub mierzony. Nie stanowi to problemu dla siarczanu sodu (temperatura topnienia około 884 °C), ale stanowi warunek dla spalin, które zawierają borany.

Przenoszenie materiałów wsadowych zwykle generuje mniej niż 5 % końcowych emisji z nowoczesnego, dobrze funkcjonującego pieca. Ten pył składa się z komponentów wsadu, oraz jest zdominowany przez najłżejsze materiały.

Zanieczyszczenia metaliczne w paliwach (wanad i nikiel) przyczynią się do emisji pyłowych, ale na poziomie ogółem znacznie poniżej 5 % całości. Zanieczyszczenia te pojawiają się głównie przy oleju opałowym, który może dodać również niewielką ilość popiołu do całości. Zanieczyszczenia metaliczne występują również w stłuczce szklanej oraz innych surowcach.

Mechanizmy ulatniania materiałów oraz tworzenia cząstek nie są w pełni zrozumiane dla wszystkich typów szkła. W szczególności, dla spalin bogatych w SO₂ (piece opalane olejem) mechanizm tworzenia cząstek jest raczej złożony przy temperaturach poniżej 400 °C, przy różnych związkach, które mogą powstać (wodorosiarczan VI sodu (NaHSO₄), pirosiarczan sodu (Na₂S₂O₇) oraz kwas siarkowy (H₂SO₄)), który mógłby bardzo wpłynąć na wiarygodność pomiarów stężenia cząstek gdyby nie został wzięty pod uwagę. Około 90 % całego szkła wyprodukowanego w UE to szkło sodowo-wapniowe, a większość informacji jest dostępna dla tych składów. Pył z pieców wytwarzających szkło sodowo-wapniowe składa się głównie z siarczanu sodu. Nawet 98 % pyłu składa się z materiałów rozpuszczalnych, z czego 80 - 90 % stanowi siarczan sodu. Reszta będzie zależeć od dokładnego składu szkła, lecz będzie zawierać głównie siarczany, w szczególności siarczan potasu (K₂SO₄). Drobiną nierozpuszczalną zawiera głównie krzemionkę o niskich poziomach metali (np. Al, Fe, oraz Cr). W przypadku wykorzystania obcej stłuczki szklanej, pył musi zawierać inne komponenty (np. Pb). Średnica cząstki na ogół znajduje się w przedziale 0,02 do 1 μm, ale małe cząstki łączą się w większe cząstki. Ostatnie badania wykazały, że pył zawieszony w emisjach z pieca wytwarzającego szkło płaskie składa się z cząstek o średnicy w przedziale 0,02 do 2 μm o medianie średnicy 1,3 μm zarówno w oczyszczonym, jak i nieoczyszczonym gazie odlotowym (Patrz: Glass International, wrzesień 2009 - Particle size range in the waste gas of flat glass furnaces) [178, Glass International wrzesień 2009]. Szereg różnych procesów ulatniania wyróżniono i omówiono Podrozdziale 4.4.1.1 poniżej.

Dla szkieł, które zawierają w składzie znaczny poziom boru (np. włókno szklane ciągłe, wełna szklana, oraz szkło borokrzemianowe), borany stanowią główny komponent wyemitowanego pyłu. Reszta będzie się składać z siarczanów, krzemionki oraz innych związków (np. dolomit, wapień) zależnych od komponentów wsadu i zanieczyszczeń.

Ze względu na to, że składy wsadu mogą być bardzo odmienne dla różnych typów szkła, wyniki emisje pyłowe są również różnorodne, w następstwie występują różne mechanizmy powstawania. Głównym rodzajem boru wyparowującego z wytopów szklanych jest metaboran sodu (NaBO₂), metaboran potasu (KBO₂) oraz kwas metaborowy (HBO₂).

W produkcji mineralnej wełny szklanej, skład wsadu zawiera wysokie poziomy tlenku boru, ale również duże ilości tlenku sodu, który podczas topienia, wyparowuje, a następnie tworzy stały metaboran sodu (NaBO₂) przy temperaturach poniżej 900 °C, do 650 - 700 °C. Małe ilości boru są emitowane w formie gazowej, głównie jako kwas metaborowy (HBO₂). Skład chemiczny pyłu jest głównie reprezentowany przez borany zasadowe o niższych poziomach kwasów borowych.

Sytuacja jest odmienna dla innych typów szkła, które zawierają bor. Dla szkieł borowych o niskiej zawartości zasadowej (np. szkło typu E, które zawiera bor, dla włókna szklanego ciągłego), niskie stężenie tlenków zasadowych (zwykle w granicach 1 % w masie) wpływa na mechanizm tworzenia pyłów prowadząc do dominującego odparowania kwasu metaborowego (HBO₂). Podczas chłodzenia spalin, gdy prawie cały sód i potas będą się kondensować tworząc siarczany (wytworzone poprzez obecność SO₂ z oczyszczania wytopu szkła siarczanem sodu) oraz, w mniejszym stopniu, borany zasadowe, gazowe związki boru mogą reagować tworząc inne związki, takie jak kwas borowy

(H_3BO_3): $\text{HBO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_3\text{BO}_3$ [167, Hans van Limpt (TNO) 2007]. Kwas borowy i metaborowy wykazują niskie temperatury kondensacji oraz mogą być wciąż obecne (w szczególności kwas borowy) w stanie gazowym w spalinach przy temperaturach filtracji. W tym przypadku większość rodzajów kwasu borowego będzie obecna w spalinie jako związki gazowe przy temperaturach poniżej 200 °C, lecz również przy tak niskich jak 60 °C.

W przypadku szkieł borokrzemianowych, mechanizm tworzenia pyłu bardzo wpływa na zdolność systemów filtracji do usuwania rodzajów boru obecnego w spalinach. Skład gazu odlotowego, temperatura operacyjna systemu filtrów, typ czynnika absorbującego oraz punkt wtrysku przed systemem filtrów są niezwykle ważne do wychwycenia gazowych związków boru.

W wielu przypadkach, gdy gazowe związki boru są obecne w spalinach pieca do topienia, zawartość cząstek (jak zmierzono) w dużej mierze zależy od zastosowanej metody pomiarowej oraz od temperatury gazu odlotowego w momencie próbkowania. Z tych względów, aby dokonać rozróżnienia pomiędzy stałymi i gazowymi związkami boru w spalinach, należy zastosować specyficzną procedurę pomiarową (patrz Podrozdział 8.3.2).

W czasie pisania tego dokumentu (2010) istnieje kilka ciągłych oraz planowanych działań badawczych dotyczących ograniczenia gazowych związków boru w spalinach szkieł borokrzemianowych. W szkło ołowiowym (szkło telewizyjne oraz szkło kryształowe), utlenienie ołowiu wytworzy tlenek ołowiu lub niekiedy kondensacje siarczanu ołowiu.

W elektrycznych piecach do topienia z zimnym końcem, emisje pyłu są znacznie niższe oraz wynikają prawie wyłącznie z przenoszenia materiału wsadowego. Nieobecność wysokotemperaturowej atmosfery spalania uniemożliwia tworzenie pyłu zawieszonego poprzez reaktywne ulatnianie.

W piecach szybowych wytwarzających wełnę skalną, emisje pyłowe stanowią połączenie pyłu surowcowego, produktów spalania oraz skondensowanych substancji lotnych uwalnianych podczas wytopu.

Emisje do powietrza metali z procesów szkła są w dużym stopniu zawarte w pyłe zawieszonym. Z tego powodu metale nie są rozpartywane oddzielnie w tym rozdziale, ale są omawiane w związku z emisjami pyłowymi oraz tam, gdzie to jest stosowne, dokonane są odniesienia do innych podrozdziałów. Jednak, w niektórych okolicznościach mogą występować znaczne gazowe emisje metali, na przykład selen z brązowych lub odbarwionych szkieł, ołów z pewnych procesów szkła kryształowego lub specjalnego, lub z zanieczyszczeń w obcej stłuczce szklanej (szczególnie ołów, patrz poniżej).

Głównymi źródłami metali są zanieczyszczenia w surowcach, stłuczce szklanej i paliwie oraz wykorzystanie specyficznych substancji oraz domieszek w tworzeniu wsadu stosowanym do nadawania specyficznych właściwości (np. tlenki ołowiu, oraz barwniki/odbarwiacze). Obca stłuczka szklana jest ważnym źródłem zanieczyszczenia metalami, szczególnie ołowiem (opakowaniowa stłuczka szklana może zawierać historyczne zanieczyszczenie ze szkieł ołowiowych co jest regulowane Dyrektywą 94/62 Legislacji EU w sprawie Opakowań i Odpadów Opakowaniowych przy przeciętnej wartości progu alarmowego 200 ppm), lecz również dla innych metali; na przykład, zanieczyszczenie rtęcią może wystąpić w przypadku, gdy stłuczka szklana zawiera rurki oświetleniowe z parą rtęciową. Informacje dotyczące poziomów emisji metali podano w podrozdziałach specyficznych dla danego sektora w Rozdziale 3 oraz w Tabeli 3.5.

Istnieją trzy główne podejścia kontrolowania emisji metali w ramach pyłu lub jako komponenty gazowe.

1. Dobór surowca w celu zminimalizowania zanieczyszczenia oraz tam, gdzie jest to praktyczne, wykorzystania alternatywnych domieszek. Dobór surowca obejmuje specyfikacje dotyczące jakości stłuczki szklanej. Tam, gdzie tylko własna stłuczka szklana jest wykorzystywana ze względu na ograniczoną dostępność obcej stłuczki szklanej, emisje metali mogą być znacznie łatwiej kontrolowane.

2. Techniki redukcji pyłu, szczególnie systemy filtrów workowych oraz filtry elektrostatyczne. Tam, gdzie emisje zawierają znaczne stężenie metali, do 70 - 80 % całego pyłu (tj. produkcja szkła kryształowego ołowiowego), systemy redukcji pyłu o wysokiej wydajności mogą na ogół ograniczyć zarówno emisje pyłów, jak i metali.
3. Gazowe emisje metali (np. selenu) można znacznie ograniczyć poprzez wykorzystanie suchych lub półsuchych technik czyszczenia w połączeniu z redukcją pyłu (patrz Podrozdział 4.4.3.3).

W niektórych przypadkach, a w szczególności w Niemczech, głównym czynnikiem podstawy instalacji redukcji pyłu w połączeniu z suchym lub półsuchym czyszczeniem było ograniczenie emisji metali.

Czynniki rozważane przy ustalaniu BAT dla odpylania w piecach wytwarzających szkło są następujące:

- wpływ środowiskowy pyłu
- techniki redukcji pierwotnej i wtórnej w odniesieniu do BAT
- ekonomia skali oraz powiązane warunki kosztowe.

Wpływ środowiskowy pyłu

Stosownymi aspektami emisji pyłu ze środowiskowego punktu widzenia są emisje pyłu ogólnie, potencjalne emisje metali (ciężkich) oraz emisje drobnego pyłu zawieszonego.

Jak podano powyżej, w szklach sodowo-wapniowych głównym komponentem pyłu jest siarczan sodu (do 95 %). Siarczan sodu nie jest uznany za szkodliwy sam w sobie [68, [Domestic Glass Data update 2007](#)] [168, [CPIV - Health Risk Assessment 2009](#)]. Jednak, emisja cząstek o średnicy mniejszej niż 10 μm (PM_{10}) oraz mniejszej niż 2,5 μm ($\text{PM}_{2,5}$), co na ogół jest kwestią dla emisji z pieców szklarskich, przedstawia potencjał powodujący problemy zdrowotne oraz szkody środowiskowe i dlatego zwraca coraz większą uwagę decydentów środowiskowych.

Kilka rodzajów metali można również znaleźć w pyłach zawieszonych z pieców szklarskich. Głównymi elementami stanowiącymi zagrożenie są selen (Se), ołów (Pb), chrom (Cr), miedź (Cu), wanad (V), nikiel (Ni), antymon (Sb), arsen (As), kadm (Cd), cynk (Zn) oraz mangan (Mn). Emisje tych komponentów w dużej mierze zależą od ilości oraz jakości przetwarzanego szkła (stłuczki szklanej), które jest wykorzystywane, bez względu na to czy wykorzystywany jest olej opałowy oraz dodatek metali do przygotowania wsadu do zabarwienia i/lub odbarwienia szkła.

Końcowym punktem rozważań jest potencjalna kondensacja komponentów gazowych po kominie, która może nastąpić szczególnie przy szklach zawierających bor, gdzie część gazowych związków boru może przechodzić przez urządzenia do redukcji pyłu oraz kondensować się po ich wyemitowaniu do atmosfery.

Techniki redukcji pierwotnej i wtórnej w odniesieniu do BAT

Opis dostępnych technik redukcji pierwotnej i wtórnej w celu ograniczenia emisji pyłowych z pieców szklarskich podano w Podrozdziałach 4.4.1.1 - 4.4.1.6

W ramach branży szklarskiej, techniki redukcji wtórnej (np. filtry elektrostatyczne oraz filtry workowe) są powszechnie stosowane, a 100 % pieców w niektórych Krajach Członkowskich jest wyposażonych w redukcję wtórną dla pyłu. Do tej pory, potrzeba ograniczenia emisji drobnego pyłu zawieszonego, komponentów kwasu oraz metali (ciężkich) spowodowała, że zastosowanie środków wtórnych stało się najlepszą opcją w odniesieniu do emisji do powietrza. Z drugiej strony, wdrożenie środków wtórnych wymaga znacznych kosztów finansowych, oraz pewnego stopnia kosztu środowiskowego.

Ogółem, pozytywne aspekty technik pierwotnych są przyćmione w sensie technicznym przez znacznie lepszą efektywność technik redukcji wtórnej oraz brak perspektywy osiągnięcia tak niskich wartości przy środkach pierwotnych w bliskiej przyszłości. Dodatkowo, wyłączenie wykorzystania pierwotnych technik ograniczania emisji pyłów mogłoby ograniczyć elastyczność warunków operacyjnych pieca pod względem jakości materiałów podawanych (niskie zanieczyszczenia: fluorki,

chlorki, metale ciężkie), typu paliwa (niska zawartość siarki oraz metali ciężkich) oraz zmian produkcji (barwione lub odbarwione szkła).

Ekonomia skali oraz powiązane warunki kosztowe

Na ogół techniki redukcji wtórnej dla pyłu w branży szklarskiej są uznawane za dostępne, technicznie wykonalne oraz, w większości przypadków, ekonomicznie opłacalne.

Jakkolwiek, jeśli chodzi o dowolną technikę wtórną, ważnym aspektem jest ekonomia skali. To oznacza, że dla małych pieców, w szczególności dla małych lub bardzo małych pieców do produkcji zastawy stołowej (szkło gospodarcze) wytwarzających poniżej 80 ton dziennie produkując wysokiej jakości zastawę sodowo-wapniową, w której zawartość metali w emisji jest bardzo niska, relatywnie koszty (koszty na Nm^3 oczyszczonych spalin lub na tonę stopionego szkła) są na ogół wyższe niż dla dużych pieców (patrz Tabele 8.3 oraz 8.4 w Podrozdziale 8.1.7). Koszty zależą od zastosowania oraz w szczególności tonażu gazu odlotowego. Specyficzne koszty na tonę stopionego szkła mogą się znacznie różnić w zależności od typu wyprodukowanego szkła oraz wielkości pieca. Koniecznością może być wzięcie pod uwagę ekonomii skali przy ustalaniu BAT na poziomie ogólnym wraz z korzyściami środowiskowymi: usunięciem drobnego pyłu zawieszonoego, metali (jeśli występują) oraz oczyszczeniem kwaśnego gazu (jeśli występuje), oraz wzajemnymi powiązaniem pomiędzy różnymi komponentami środowiska ze względu na produkcję odpadów (gdy przetwarzanie nie jest możliwe), zużyciem energii oraz pośrednimi emisjami z wykorzystania energii elektrycznej oraz odczynników zasadowych.

4.4.1.1 Techniki pierwotne

[19. CPIV 1998] [31. CPIV 1998]

Opis

Piec szklarski stanowi bardzo dynamiczne środowisko, a wszelkie zmiany w zakresie właściwości chemicznych lub warunków operacyjnych mogą mieć istotny wpływ na proces topienia, oraz na inne emisje. Z tego powodu ważne jest rozważenie wszystkich podstawowych technik opisanych w niniejszym dokumencie jako pakiet, a nie po prostu poszczególne techniki. Jakkolwiek, dla jasności, techniki obowiązkowe opisano oddzielnie, lecz ważne efekty omówiono tam, gdzie jest to możliwe. Niski poziom emisji z przenoszenia materiału jest osiągnięty poprzez utrzymanie poziomu wilgoci w surowcach oraz poprzez kontrolowanie przykrycia wsadu, wielkości cząstek, prędkości gazu oraz rozmieszczenia palników. Dla tych procesów, które wymagają suchych materiałów wsadowych, oraz/lub bardzo drobnych materiałów wsadowych, emisje pyłowe z przenoszenia mogą być nieco wyższe.

Jakkolwiek, udział w ogólnych emisjach wciąż będzie niewielki w porównaniu z udziałem substancji lotnych. Kwestie związane z pyłem powstałym z załadunkiem materiału omówiono w Podrozdziale 4.3 powyżej.

Ze względu na to, że emisje pyłu powstają głównie z substancji lotnych, techniki redukcji pierwotnej omówione tutaj koncentrują się na tym źródle. Z analiz pyłowych dotyczących pieców sodowo-wapniowych można wywnioskować, że rodzaje sodu są głównymi komponentami prowadzącymi do powstawania pyłu w spalinach. Substancje lotne z wsadu (np. NaCl) oraz z topienia (np. NaOH) wchodzi w reakcję z tlenkami siarki tworząc siarczan sodu (Na_2SO_4), który kondensuje się w spalinach poniżej 1100 °C. W większości przypadków, siarczan sodu jest wykorzystywany jako czynnik oczyszczający. Dysocjacja siarczanu sodu w stopionym szkłe prowadzi do stężeń tlenku siarki, które są znacznie wyższe niż stężenia komponentu sodu w komorze spalania oraz w spalinach. Ze względu na tworzenie Na_2SO_4 , tlenki siarki ze spalania paliwa lub siarczanu wsadowego są dostępne w nadmiarze stechiometrycznym w porównaniu z ulotnionym sodem, który jest decydującym parametrem tworzenia pyłów. Głównymi źródłami sody są stłuczka szklana lub soda amoniakalna, oraz w mniejszym stopniu, siarczan sodu. Jakkolwiek, wykorzystanie dużych ilości siarczanu sodu w składzie wsadu powoduje wzrost emisji pyłów.

W gazach bardzo ubogich w siarkę, cząstki chlorku sodu, fluorku sodu, węglanu sodu oraz wodorotlenku sodu mogą powstawać podczas chłodzenia spalin do temperatury poniżej 900 °C. Nie

jest to powszechne i może nastąpić wyłącznie, gdy wykorzystywany jest gaz ziemny oraz, gdy siarczan sodu jest zastąpiony przez inny czynnik oczyszczający, jak antymon. Nigdy nie ma to miejsca dla szkła opakowaniowego lub płaskiego, ale może nastąpić w specjalnych zastosowaniach.

Można wyróżnić szereg procesów ulatniania w szkłe sodowo-wapniowym.

- Reaktywne ulatnianie z powierzchni stopionego szkła. Tlenek sodu (Na_2O) w wytopie krzemianu reaguje przy powierzchni z parą wodną: Na_2O (wytop) + $\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2 \text{NaOH}$ (g). Ten typ ulatniania może stanowić główne źródło emisji pyłowych w piecach wytwarzających szkło sodowo-wapniowe.
- Ulatnianie obecnego NaCl jako zanieczyszczenia w sodzie syntetycznej. To ulatnianie prowadzi nie tylko do tworzenia pyłu siarczanu sodu, lecz również do tworzenia HCl .
- Ulatnianie siarczanu sodu z powierzchni stopionego szkła.
- Reaktywne ulatnianie poprzez reakcje chemiczne na powierzchni pokrywy wsadowej z komponentami w atmosferze pieca. Para wodna w komorze spalania uważana jest za ważną w reakcji sody amoniakalnej tworzącej parę wodorotlenku sodu, o podobnych reakcjach dla związków potasu: $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{NaOH}(\text{g}) + \text{CO}_2$.
- Ulatnianie komponentów surowców z powierzchni pokrywy wsadowej (np. piasek, skalenie, wapień, soda amoniakalna, dolomit oraz siarczan sodu) jest na ogół bardzo niskie. Ciśnienia pary są bardzo niskie poniżej $1200\text{ }^\circ\text{C}$, oraz powyżej $1000\text{ }^\circ\text{C}$; pojedyncze komponenty już weszły w reakcję tworząc krzemiany.
- Ulatnianie związków sodu w pęcherzykach gazu podczas procesu oczyszczania jest również relatywnie mało ważne.
- W przypadku przetwarzania obcej stłuczki szklanej (piece wytwarzające szkło opakowaniowe), emisje komponentów ołowiu (PbO , PbCO_3 , PbSO_4) mogą mieć miejsce z powodu szkła ołowiowego, fragmentów lustra oraz metalicznych ołowiowych czynników zanieczyszczających w stłuczce szklanej. Nie ma to zastosowania dla szkła sodowo-wapniowego w sektorze szkła gospodarczego, w którym na ogół tylko własna stłuczka szklana jest wykorzystywana ze względu na wymagania jakości. W tych przypadkach, poziom wykorzystywanej stłuczki szklanej w tworzeniu wsadu jest zależny od procesu i może być ograniczony.

Sytuacja jest odmienna dla innych typów szkła. Jak już wyjaśniono w Podrozdziale 4.4.1, dla szkieł borowych zawierających niski poziom zasady, reaktywne utlenianie jest uważane za stanowiące główne źródło pyłu zawieszonego. Skład wyemitowanego pyłu znacznie się różni w zależności od zawartości zasad przygotowanego wsadu oraz czynnika oczyszczającego.

Tworzenie pyłów poprzez utlenianie występuje bardzo łatwo dla szkieł, które zawierają bor, a stężenia niezredukowanych emisji są na ogół wyższe niż dla szkieł sodowo-wapniowych. W niektórych przypadkach są ponad dziesięciokrotnie wyższe.

Opisane typy mechanizmów utleniania dla szkła sodowo-wapniowego stanowią ogólną podstawę utleniania dla większości innych szkieł, lecz oczywiście istnieje zróżnicowanie w zależności od właściwości chemicznych. Najważniejszymi czynnikami wpływającymi na ulatnianie są temperatura, zawartość pary wodnej w atmosferze pieca, ograniczenie gazów tuż powyżej wytopu lub pokrywy wsadowej oraz prędkości gazów na powierzchni wytopu. Dostępność substancji reaktywnych jest również ważnym czynnikiem, w szczególności sodu i siarczanów w szkłe sodowo-wapniowym, oraz boru w szklach borowych. Jakkolwiek, czynnik ten jest często ograniczony przez właściwości chemiczne szkła.

Szczególne sytuacje następują, gdy spalanie tlenowo-paliwowe jest stosowane w procesie topienia. Ograniczona ilość spalin z niskimi prędkościami gazów odlotowych oraz znacznie odmienny skład gazów spalania będących w kontakcie z wytopem szkła (znacznie wyższe stężenie pary wodnej oraz CO_2) wpływają na procesy ulatniania skutkując na ogół wyższymi stężeniami odparowanych substancji oraz bardziej agresywnych atmosfer pieca; jakkolwiek, ogólne emisje pyłowe pod

względem kg/tonę szkła będą się często zmniejszać, chociaż efekt ten w dużej mierze zależy od przeznaczenia i typu pieca oraz rozmieszczenia palników.

Najważniejsze środki pierwotne, które można podjąć, aby ograniczyć emisje pyłowe podano poniżej.

a. Modyfikacje surowców

Chlorek sodu może być ważnym czynnikiem w emisjach pyłu i chlorków. Jest wykorzystywany w niektórych szklach specjalnych jako czynnik oczyszczający, ale jest on bardziej powszechnie obecny jako zanieczyszczenie o niskim poziomie w sodzie amoniakalnej powstałej w procesie Solvay. Nacisk branży szklarskiej spowodował, że producenci sody amoniakalnej znacznie obniżyli poziom NaCl (obecnie na ogół w granicach 1 kg/tonę). Dalsze znaczne ograniczenie na krótką metę prawdopodobnie wymagałoby dalszego przetwarzania, oraz co za tym idzie, wzrostu ceny. Naturalna soda amoniakalna jest dostępna; jest ona prawie wolna od NaCl, lecz ten materiał jest na ogół droższy w UE ze względu na podatki oraz koszty transportu z krajów pochodzenia. Najwięcej dostaw naturalnej sody amoniakalnej pochodzi z USA.

W większości pieców, poziomy siarczanów wsadowych zostały ograniczone do minimum proporcjonalnie do dobrego oczyszczania oraz utrzymania właściwego stanu utleniania szkła. Alternatywy siarczanu sodu mogą stanowić większy problem środowiskowy, np. czynniki oczyszczające na bazie arsenu oraz antymonu. Oczekuje się, że dalszy postęp w tym obszarze nie spowoduje znacznych ograniczeń emisji. Uważa się, że czynnikiem ograniczającym jest stężenie par zawierających sód, ale dla pieców opalanych gazem, bardzo ograniczone stężenia siarczanu ograniczą reakcję w fazie gazowej.

W szklach zawierających bor, bor jest niezbędny w tworzeniu produktów lub charakterystyki produktów. W ostatnich latach dokonano znacznych ograniczeń poziomów boru, lecz dalszy postęp staje się trudny bez wpływania na produktywność, zużycie energii oraz jakość. Materiały zawierające bor są relatywnie drogie i podejmowane są wszelkie środki, aby ograniczyć zużycie. W czasie pisania dokumentu nie ma żadnych wiarygodnych alternatyw dla boru, a trudności doprowadziły wielu operatorów do wdrożenia technik redukcji wtórnej, w szczególności dla pieców wytwarzających wełnę szklaną oraz szkło borokrzemianowe. Na ogół zredukowane pyły przetwarzane są ponownie w piecu.

Szereg firm w sektorze włókna szklanego ciągłego opracowało składy szkła, które posiadają niskie poziomy boru oraz fluoru lub tylko zawierają te elementy ze względu na śladowe poziomy w surowcach. Emisje pyłów zawieszonych poniżej 0,14 kg/tonę stopionego szkła podano do porównania z wartościami w granicach 2 kg/tonę stopionego szkła dla składów zawierających bor tam, gdzie nie zastosowano żadnych środków pierwotnych, co pokazuje znaczenie boru w tworzeniu pyłów. Ten typ szkła wymaga wyższej temperatury topnienia, trudniej go rozdzielić na włókna, oraz należy jeszcze określić długoterminowe oddziaływania na materiały ogniotrwałe. Szczegóły techniki są zastrzeżone i dlatego, mimo, iż jest ona niezwykle obiecująca, technika ta nie może być jeszcze uznana jako ogólnie dostępna. Postęp jest różny dla poszczególnych firm, lecz kilka z tych wytworów jest już dostępnych do nabycia.

b. Ograniczenie temperatury na powierzchni masy szklanej

Temperatura powierzchni masy szklanej jest ważnym czynnikiem w tworzeniu pyłu zawieszzonego, ponieważ więcej substancji lotnych jest produkowanych przy wysokich temperaturach. W piecach sodowo-wapniowych wskazano korelację pomiędzy temperaturą sklepienia pieca, temperaturą powierzchni wytopu szkła oraz tworzeniem pyłu zawieszzonego. Ograniczenie temperatury pieca musi być zrównoważone przez jakość szkła, produktywność pieca oraz inne aspekty środowiskowe, takie jak stężenie NO_x w spalinach. Środki, które w największym stopniu wpływają na ograniczenie emisji pyłów na tonę szkła to te, które poprawiają efektywność energetyczną oraz w szczególności, transfer ciepła do szkła. Główne punkty podano poniżej.

- Konstrukcja i geometria pieca, aby poprawić prądy konwekcyjne oraz transfer ciepła. Modyfikacje te można wdrożyć wyłącznie przy przebudowie pieca. Większe piece są na ogół bardziej energooszczędne skutkując również niższymi emisjami na tonę szkła.

- Wykorzystanie dogrzewania elektrycznego który pomaga ograniczyć temperaturę sklepienia poprzez przekazanie energii bezpośrednio do wytopu oraz poprawienie prądów konwekcyjnych. Ważne jest rozmieszczenie elektrod, lecz trudno je zmienić z wyjątkiem okresu przebudowy pieca. Wykorzystanie dogrzewania elektrycznego jest zwykle ograniczone przez koszt energii elektrycznej.
- Zwiększone wykorzystanie stłuczki szklanej, co ograniczy wymagania energetyczne topienia umożliwiając działanie przy niskiej temperaturze oraz niskim wykorzystaniu paliwa. Ponadto, ponieważ stłuczka szklana została już stopiona, jej wykorzystanie pomoże ograniczyć poziom niektórych lotnych i reaktywnych substancji, które przyczyniają się do tworzenia pyłów, np. chlorku sodu oraz siarczanów wsadowych. Jest to szczególnie stosowne w piecach olejowych lub piecach opalanych mieszaniną oleju i gazu, w których ograniczenie wymogu paliwa, ze względu na wykorzystanie stłuczki szklanej, ogranicza poziomy SO_2 . Wykorzystanie stłuczki szklanej jest ograniczone dostępnością stłuczki o właściwej jakości, składzie oraz przystępności. Na przykład piece wytwarzające szkło opakowaniowe wykorzystują 5 - 95 % stłuczki szklanej (własnej i obcej), piece wytwarzające szkło gospodarcze sodowo-wapniowe oraz piece wytwarzające szkło płaskie na ogół 10 - 40 % (zwykle tylko własnej), a piece wytwarzające włókno szklane ciągle rzadko wykorzystują jakąkolwiek stłuczkę.

c. Rozmieszczenie palników

Kolejnym ważnym czynnikiem wpływającym na stopień pylenia z wytopu jest prędkość wymiany gazów powyżej wytopu lustra szkła. Wysoka prędkość gazu lub wysoki poziom turbulencji przy powierzchni płynnego szkła zwiększy prędkość ulatniania. Nastąpił postęp odnośnie rozmieszczenia palników w celu optymalizacji prędkości powietrza spalania oraz kierunku, oraz prędkości i kierunku paliwa. Przeprowadzono również dalsze prace dotyczące połączenia tych zmian z modyfikacjami pieca w celu ograniczenia prędkości spalin nad topionym szkłem oraz pokrywą wsadową, z ograniczonym wpływem na separowanie lotnych składników z zestawu wsadowego. Zmiany, które wymagają modyfikacji konstrukcji pieca mogą być wdrażane wyłącznie przy przebudowie pieca, a inne zmiany są niekiedy najskuteczniejsze, gdy wdrażane są wraz z przeprojektowaniem pieca. Zmieniając rozmieszczenie palników, ważne jest uniknięcie płomieni dotykających powierzchni szkła, ponieważ to zwiększyłoby emisje pyłów oraz sprzyjałoby nadwyrężeniu materiałów ogniotrwałych w nadbudowie, z możliwymi skutkami w zakresie jakości szkła.

d. Przejście na opalanie gazem (lub olejem niskosiarkowym)

Zmiana z opalania olejem opałowym w opalanie gazem ziemnym może zapewnić znaczne ograniczenia emisji pyłów. Powodami tego są prawdopodobnie poszczególne reakcje kondensacji dla cząstek z gazem opalającym, nie olejem, chociaż w niektórych przypadkach ograniczone poziomy SO_x mogą również stanowić czynnik.

Na przykład, sektor szkła płaskiego raportował ograniczenia emisji pyłów przekraczające 25 % przy przejściu z opalania olejem na opalanie gazem. Sektor szkła płaskiego również raportował ważny efekt z ograniczenia zawartości siarki w oleju (ograniczenie 20 mg/Nm³ w pyłe na 1 % ograniczenia w zawartości siarki w oleju). Podobny efekt zaobserwowano w sektorze szkła gospodarczego z olejem niskosiarkowym (<1 %). Zmianę na opalanie gazem ziemnym omówiono bardziej szczegółowo w Podrozdziale 4.4.3.1. Główne punkty podsumowano poniżej:

- większość zakładów jest już wyposażonych, aby wykorzystywać paliwo, chociaż niektóre mogą nie mieć dostępu do dostaw gazu ziemnego lub oleju opałowego;
- koszty techniki będą zależeć głównie od dominujących cen paliwa;
- niższa emisyjność płomienia gazu w porównaniu do płomieni oleju opałowego ogranicza transfer ciepła do wytopu oraz może zwiększyć zużycie energii;
- opalanie gazem ziemnym może skutkować wyższymi emisjami NO_x w porównaniu do opalania olejem;

- niektóre przypadki spalania mieszanego, wykorzystującego obydwie typy paliw jednocześnie w jednym piecu mogą umożliwiać ograniczone emisje pyłowe bez znacznego zwiększenia zużycia energii pieca oraz emisji NO_x.

e. Inne techniki

Emisje z pieców elektrycznych z zimnym końcem można zminimalizować poprzez ograniczenie przepływów powietrza oraz turbulencji podczas ładowania, oraz poprzez wielkość ziarna surowca oraz optymalizację wilgoci. Środki pierwotne rzadko są wdrażane dla emisji pyłowych z pieców szybowych wytwarzających wełnę skalną z wyjątkiem brykietowania odpadów produkcyjnych dodanych do przygotowywanego zestawu wsadowego. Głównym działaniem, które można podjąć jest przemycia surowców w celu usunięcia pyłu. Jakkolwiek, większość pieców szybowych jest wyposażona w filtry workowe, zatem nie ma decydującego bodźca do zastosowania dodatkowych środków pierwotnych, ponieważ jest bardzo mało prawdopodobne, że zmienią one zapotrzebowanie na środki wtórne.

Główne zalety i wady pierwotnych technik ograniczenia emisji pyłów wskazano w Tabeli 4.5.

Tabela 4.5: Główne zalety i wady podstawowych/pierwotnych technik ograniczenia pyłów

<p><u>Zalety</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Niski koszt • Koncentracja raczej na zapobieganiu niż redukcji • Techniki nie wymagają wykorzystania energii lub potencjalnych odpadów stałych, które mogą być związane z technikami wtórnymi <p><u>Wady:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Pierwotne środki/techniki na ogół nie spełniają poziomów emisji związanych z technikami wtórnymi, takimi jak filtry elektrostatyczne. • Pierwotne środki/techniki powodują dodatkowe ograniczenia operacyjne w zakresie prowadzenia procesu

Osiągnięte korzyści środowiskowe

Poziomy emisji osiągalne przy wykorzystaniu samych technik pierwotnych trudno określić ilościowo ze względu na szeroką gamę czynników, które mogą wpływać na wyniki oraz dużą różnorodność typów pieców oraz składów szkła.

Dla pieców opalanych płomieniem, najniższe poziomy emisji, przy wykorzystaniu wyłącznie technik redukcji pierwotnej są osiągalne przez piece wytwarzające szkła sodowo-wapniowe. Średnie emisje wagowe są w granicach 0,4 kg/tonę topionego szkła, a większość stężeń emisji wpada w zakres 100 - 300 mg/Nm³. Są piece osiągające mniej niż 100 mg/Nm³ dla pyłu, ale nie są one powszechne.

W czasie pisania tego dokumentu, niewiele zakładów posiada poziomy emisji pyłów poniżej 100 mg/Nm³ bez redukcji wtórnej, a 100 - 200 mg/Nm³ (<0,4 kg/tonę szkła) uznaje się za obecnie osiągalne przy środkach pierwotnych.

Mało prawdopodobne jest osiągnięcie tych liczb dla składów innych niż szkło sodowo-wapniowe. Na ogół dla innych składów optymalizacja technik pierwotnych może ograniczyć emisje o 10 - 30 % wartości początkowej związanej ze stanem, gdy nie zastosowano żadnych specyficznych środków w celu ograniczenia emisji pyłów.

Środki pierwotne w połączeniu ze środkami wtórnymi (systemy filtrowania, płuczki mokre) ograniczają ilość pyłu do usunięcia ze spalin oraz przetworzenia lub składowania.

Wzajemne powiązania pomiędzy różnymi komponentami środowiska

Na ogół opisane techniki zapobiegają emisjom bez wykorzystania dodatkowych chemikaliów/substancji, zatem wzajemne powiązania pomiędzy różnymi komponentami środowiska uznane są za pozytywne. Jakkolwiek, modyfikacja surowców wykorzystywanych do przygotowania składu zestawu surowców, przy ograniczeniu komponentów lotnych może skutkować wzrostem specyficznego zużycia energii. Na przykład, dodanie wody do składu wsadowego, aby powstrzymać przeniesienie lub zastąpienie surowca mniej lotnym, lecz wymagającym wyższej temperatury

topnienia zwykle skutkuje wzrostem zużycia energii. Ograniczenie temperatury przy powierzchni wytopu może wpłynąć na jakość szkła, prowadząc do wyższych współczynników odrzuconych produktów końcowych oraz wyższego specyficznego zużycia energii na jednostkę sprzedawanego produktu. Odmienne rozmieszczenie palników zastosowane w celu zminimalizowania zjawisk ulatniania może spowodować spadek efektywności energetycznej pieca wraz z późniejszym wzrostem specyficznych emisji ze spalania; dodatkowo, modyfikacja zjawisk parowania/kondensacji osadzonych soli może wystąpić wraz z potencjalnym uszkodzeniem materiałów ogniotrwałych wystawionych na działanie spalin.

Zmiana z opalania olejem opałowym w opalanie gazem ziemnym jest zwykle związane ze wzrostem emisji NO_x oraz specyficznymi zużyciami energii.

Dane eksploatacyjne

Zawarte w opisach.

Możliwość zastosowania

Opisane techniki są uważane za ogólnie możliwe do zastosowania dla wszystkich części branży w ramach rozpoznanych ograniczeń. Jakkolwiek, pomyślnie wdrożone techniki dla jednego pieca mogą nie przynosić tych samych efektów dla innych pieców. Osiągnięta redukcja będzie zależna od początkowego poziomu emisji pyłów. Ponadto, wprowadzenie więcej niż jednej techniki przedstawionej w tym podrozdziale niekoniecznie zapewni narastający poziom redukcji.

W perspektywie krótko i średnioterminowej, środki pierwotne dla redukcji pyłów prawdopodobnie przyniosą bardziej znaczące redukcje emisji dla składów sodowo-wapniowych niż dla innych typów szkła. Wyjątek może stanowić włókno szklane ciągle wyprodukowane dzięki składom o niskiej zawartości boru lub wolnych od boru.

Ekonomika

Bardzo niewiele informacji jest dostępnych w odniesieniu do kosztów technik pierwotnych, lecz przemysł raportuje, że koszty środków wdrożonych dotychczas (2010) uważane są za niskie. Rzeczywiście te techniki, które ograniczają wykorzystanie energii mogą skutkować oszczędnościami kosztów.

Środki pierwotne mogą wymagać zróżnicowanych kosztów w zależności od poziomu oraz skali czasowej zastosowania. Środki stanowią ogólny pakiet, a to właśnie optymalizacja pakietu określa koszty i wyniki. Na przykład, jest mało prawdopodobne, że wykorzystanie sody z niską zawartością chlorku lub naturalnej sody amoniakalnej ograniczy emisje pyłów do poziomów porównywalnych do redukcji wtórnej, oraz w zależności od innych czynników koszty mogą być nieproporcjonalne do korzyści. Jakkolwiek, to właśnie jeden aspekt pakietu środków, koszty oraz wyniki, które muszą być rozważane całościowo.

Podstawa wdrożenia

Wdrożenie środków pierwotnych dla ograniczenia emisji pyłów często opiera się o korzyści gospodarcze i operacyjne pochodzące z zastosowania wybranych technik, takich jak unikanie zatykania się regeneratorów, korozji lub uszkodzenia materiałów, ograniczenia ulatniania oraz późniejszej utraty cennych surowców, itd.

Przykładowe zakłady

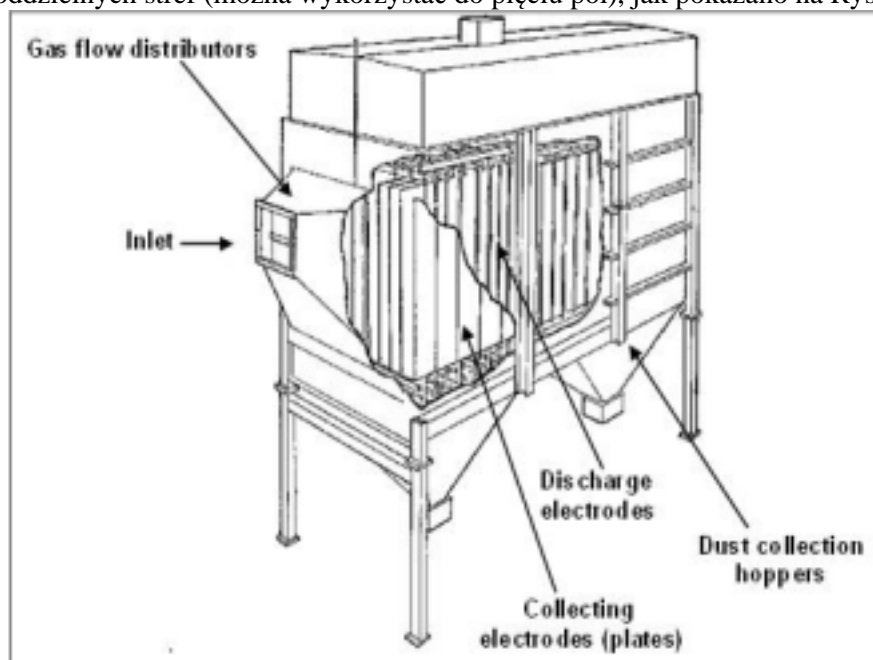
Zastosowanie niektórych technik pierwotnych opisanych w niniejszym podrozdziale jest powszechne w branży szklarskiej.

Literatura źródłowa [19, CPIV 1998] [31, CPIV 1998] [103, Beerkens, Fining glass. Boron 2008]

4.4.1.2 Filtry elektrostatyczne

Opis

Filtr elektrostatyczny (ESP) jest zdolny do pracy w szerokim zakresie warunków temperatury, ciśnienia oraz obciążenia pyłem zawieszonym. Nie jest szczególnie wrażliwy na wielkość cząstek, oraz może gromadzić cząstki zarówno w warunkach mokrych, jak i suchych. ESP składa się z serii wysokonapięciowych elektrod ulotowych oraz odpowiadających elektrod zbierających. Cząstki są ładowane, a następnie oddzielane od strumienia gazu pod wpływem pola elektrycznego generowanego między elektrodami. Pole elektryczne jest stosowane przez elektrody poprzez niewielki prąd stały o wysokim napięciu (do 80 kV). W praktyce, ESP jest podzielony na szereg oddzielnych stref (można wykorzystać do pięciu pól), jak pokazano na Rysunku 4.1.



Rysunek 4.1: Filtr elektrostatyczny

EN	PL
Gas flow distributors	Rozdzielacze przepływu gazu
Inlet	Otwór wlotowy
Discharge electrodes	Elektrody ulotowe
Dust collection hoppers	Zbiorniki do gromadzenia pyłów
Collecting electrodes (plates)	Elektrody zbierające (płyty)

Cząstki usuwane są ze strumienia gazu w czterech fazach:

- działanie ładunkiem elektrycznym na cząstki
- migracja cząstek w polu elektrycznym
- uchwycenie cząstek na elektrodzie zbierającej
- usunięcie cząstek z powierzchni elektrody.

Elektrody ulotowe muszą być lekko uderzane lub wibrujące w celu zapobieżenia nadbudowywaniu materiału, a ich siła mechaniczna musi być odpowiednia do podmuchu uderzeniowego lub wibracji. Niezawodność mechaniczna elektrod ulotowych oraz ich ramy wsporczej jest ważna, ponieważ pojedynczy uszkodzony przewód może spowodować awarię całego pola elektrycznego filtra. W mokrych filtrach, zebrany materiał jest usuwany z płyt kolektora poprzez przepłukiwanie stosownym płynem, zwykle wodą, z przerwami lub poprzez ciągle spryskiwanie.

Wydajność ESP spełnia równanie Deutscha-Andersona, które łączy wydajność poboru pyłu z całkowitą powierzchnią elektrod zbierających, objętościowy współczynnik przepływu gazów oraz prędkość migracji cząstek. Dla danego materiału, maksymalizacja obszaru powierzchni elektrod zbierających oraz czas pobytu w polach elektrycznych stanowią dwa najważniejsze parametry. Ponadto, im większa odległość pomiędzy elektrodami zbierającymi, tym wyższe napięcie można zastosować. Odległość ta jest zależna od projektu dostawcy.

Aby umożliwić zróżnicowanie zastosowanego napięcia w strefach wlotowych i wylotowych, konieczny jest dobry projekt przetwornika, który zawiera wykorzystanie osobnych części przetwornika dla każdej strefy lub części strefy ESP. Umożliwia to zróżnicowanie zastosowanego napięcia w strefach wlotowych i wylotowych, aby wziąć pod uwagę zmniejszony ładunek cząstek w kierunku wylotu, oraz umożliwia funkcjonowanie stref przy stopniowo wyższych napięciach. Na dobry projekt ma również wpływ wykorzystanie automatycznych systemów kontroli, które zapewniają, że w elektrodach zastosowane jest optymalne wysokie napięcie (HT). Jest mało prawdopodobne, że zasilacze HT o stałym napięciu zapewnią optymalne wydajności zbierania.

Oporność (przeciwieństwo przewodnictwa) materiału pyłu zawieszonego jest szczególnie ważna. W przypadku, gdy jest zbyt niska, pył zawieszony osiadając na elektrodzie kolektora łatwo traci swój ładunek i może pojawić się ponowne uwalnianie cząstek. Gdy cząstka ma zbyt wysoką oporność, warstwa izolacyjna tworzy się na elektrodzie, która hamuje normalny rozładunek ulotu i prowadzi do ograniczonej wydajności zbierania. Większość cząstek występujących w branży szklarskiej posiada oporność w poprawnym zakresie. Jakkolwiek, w przypadku, gdy konieczne zbieranie można poprawić poprzez kondycjonowanie cząstek, np. można wykorzystać trójtlenek amoniaku i siarki, ale nie jest to na ogół konieczne w procesach szkła. Oporność można również ograniczyć poprzez ograniczenie temperatury gazu lub poprzez zwiększenie wilgotności do gazu.

Osiągnięte korzyści środowiskowe

Filtry ESP są bardzo wydajne w gromadzeniu pyłu w zakresie 0,1 do 10 μm , a ogólna wydajność zbierania może stanowić 95 - 99 % (w zależności od stężenia przy wlocie oraz wielkości filtra ESP). Rzeczywista wydajność różni się głównie w zależności od właściwości gazu odlotowego, przeznaczenia i wieku filtra ESP, lecz możliwe jest osiągnięcie stężeń emisji w zakresie 5 do 10 mg/Nm^3 . Dla istniejących filtrów ESP, możliwości istotnej modernizacji mogą być ograniczone ze względu na budowę (ograniczenia przestrzeni) oraz ograniczenia operacyjne (prędkość gazu w filtrze ESP) i w takich przypadkach osiągnięta wydajność może być w zakresie 20 - 30 mg/Nm^3 , jakkolwiek, w większości przypadków powinna być możliwa poprawa stężeń emisji o około 15 mg/Nm^3 . Mimo ważnego czynnika, wydajność nie zależy wyłącznie od liczby zastosowanych pól elektrycznych. Dwufazowy filtr ESP o pewnej konstrukcji może być tak wydajny jak trzyfazowy filtr ESP o innej konstrukcji lub odmiennym zastosowaniu, a wybór będzie zależał od koniecznego poziomu efektywności.

Ważnym czynnikiem efektywności filtra ESP jest instalacja suchej płuczki wieżowej przed filtrem. W zależności od poziomów emisji SO_x do osiągnięcia, ilość zasady dodanej do systemu może być bardzo wysoka. Stężenie pyłu w spalinach może zwiększyć się 10-krotnie w porównaniu z wartością oryginalną. W tym przypadku, sucha płuczka wieżowa stanowi główne źródło pyłu. W konsekwencji na wydajność filtra może wpływać ilość odczynnika zasadowego dodanego do systemu.

Szczególne obawy w zakresie wydajności filtrów ESP to, na przykład, w przypadku obecności metali ciężkich w spalinach, która może wymagać osiągnięcia wyższych poziomów redukcji. Filtr o wysokiej wydajności może znacznie ograniczyć emisje metali, w tym boru. Jakkolwiek, dla spalin, które zawierają związki boru, rozmieszczenie filtra, oraz w następstwie to czy kondensacja kwasu borowego ma miejsce przed czy po, filtr może mieć znaczny wpływ na efektywność filtrów ESP w gromadzeniu pyłu generowanego przez piec do topienia (patrz Podrozdział 4.4.1.1).

Wzajemne powiązania pomiędzy różnymi komponentami środowiska

Wykorzystanie filtrów elektrostatycznych wymaga wzrostu zużycia energii, lecz jest on niski w porównaniu ze zużyciem energii pieca, poniżej 1 % (co jest równe 1 - 3 % kosztu energii). Wystąpi wypadkowy efekt środowiskowy w miejscu produkcji energii elektrycznej, który będzie zależny od

źródła energii elektrycznej. Pośrednie emisje związane z wykorzystaniem energii elektrycznej oszacowano w zakresie 8 - 17 kg CO₂ na tonę stopionego szkła, 0,02 – 0,04 kg NO_x na tonę stopionego szkła oraz 0,06 – 0,14 kg SO₂ na tonę stopionego szkła, w zależności od pojemności instalacji (patrz również Podrozdział 8.1.7, Tabela 8.7 dla szczególnych danych szacunkowych).

Dodatkowe emisje pośrednie są związane z produkcją odczynników zasadowych wykorzystywanych do procesu oczyszczania (patrz Podrozdział 4.4.1.3). W wielu zastosowaniach w branży szklarskiej, konieczne będzie usunięcie gazów kwasowych przed oczyszczaniem. Zwykle będzie to osiągnięte poprzez oczyszczanie na sucho lub półsucho, co generuje strumień materiału stałego dziesięciokrotnie większy niż zredukowany pył. W przypadku, gdy można go przetwarzać w piecu, nastąpi ogólne ograniczenie zużycia surowców; jeśli nie, wystąpi strumień odpadów do usunięcia.

W praktyce, zebrany pył może być przetworzony w większości przypadków oraz, w zależności od doboru absorbentu, ten materiał może zastąpić część innych surowców, w szczególności siarczan sodu (i tam, gdzie to stosowne, materiały zawierające fluor i ołów). Mogą wystąpić problemy w sektorze szkła opakowaniowego, w którym dopuszczone zawartości siarczanu mogą być niskie ze względu na wysokie poziomy siarczki szklanej oraz dla szkieł zredukowanych, gdzie rozpuszczalność siarki może być bardzo niska.

To może ograniczyć potencjał ponownego przetwarzania pyłu, szczególnie w przypadku, gdy wykorzystywany jest olej opałowy zawierający wysoki poziom siarki, a część zebranego pyłu będzie musiała zostać składowana poza terenem zakładu. Może pojawić się dalszy problem, gdy kilka pieców wytwarzających różne typy i/lub kolory szkła zostaną podłączone do pojedynczego filtra ESP. W niektórych sektorach możliwość przetworzenia zebranego pyłu może być ograniczona przez ograniczenia jakości produktu oraz właściwości chemiczne szkła, na przykład tam, gdzie wymagana jest bardzo wysoka jakość optyczna. Dodatkowe ograniczenia możliwości przetworzenia pyłu z filtra pojawiają się, gdy zastosowane jest wstępne podgrzewanie suchego wsadu ze względu na drobny pył, który może przyczynić się do poważnego przeniesienia oraz zatkania regeneratorów.

Ponowne przetworzenie pyłu z filtra o dużych stężeniach NaCl, zwykle powstałych z oczyszczania gazów odlotowych czynnikami absorpcji na bazie sodu, może przyczynić się do uszkodzenia materiałów ogniotrwałych w komorze spalania i/lub w regeneratorach, w zależności od temperatury oraz materiału, z którego wykonane są regeneratory.

Koszty usunięcia pyłu, którego nie można ponownie przetworzyć (w tym koszty dla klasyfikacji pozostałości) oraz koszty paliw zawierających niższe poziomy siarki (np. olej o niskiej zawartości siarki lub gaz ziemny) będą musiały być porównane w wielu okolicznościach (w szczególności dla szkła opakowaniowego), aby ocenić czy dla operatora bardziej dogodna będzie wymiana paliw czy stworzenie strumienia odpadów stałych do usunięcia. Jednym z głównych celów fazy oczyszczania gazu kwasowego jest często doprowadzenie gazu do stanu odpowiedniego dla ESP, aby uniknąć korozji wraz z obniżeniem ogólnych emisji gazów kwasowych. W przypadku przetworzenia pyłu z filtra, powstanie dynamiczna równowaga pomiędzy wchodzącą i wychodzącą siarką.

W branży szklarskiej większość wyemitowanych pyłów zawieszonych powstaje w procesie reaktywnego ulatniania. Dlatego ważne jest zapewnienie, aby strumień gazu był poniżej temperatury tworzenia pyłu zawieszonego, która zależy od obecnych substancji. Głównym składnikiem pyłu z produkcji szkła sodowo-wapniowego z krzemionki jest siarczan sodu o temperaturze tworzenia ≈800 °C; podczas, gdy dla szkieł borokrzemianowych, całkowita kondensacja rodzajów boru może wystąpić znacznie poniżej 200 °C.

W piecach regeneracyjnych, temperatura gazu odlotowego jest na ogół w granicach 400 °C, a chłodzenie zwykle nie jest wymagane, aby skondensować substancje lotne lub osiągnąć limity operacyjne ESP. W piecach rekuperacyjnych, temperatura gazu odlotowego jest zwykle w granicach 800 °C, a chłodzenie jest wymagane, zarówno do kondensacji pyłu zawieszonego, jak i schłodzenia gazu do limitów ESP. Jak już zaraportowano powyżej, dla szkieł, które zawierają bor (np. wełna szklana, włókno szklane ciągłe), konieczne może być ograniczenie temperatury gazu do poniżej 200 C przed redukcją, zapewniając jednocześnie, że zminimalizowano kondensację oraz powiązane

ryzyko korozji w systemie. Temperatura gazu odlotowego z pieców opalanych mieszaniną tlenu i paliwa wynosi zwykle $>1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ i wymagane jest znaczne chłodzenie.

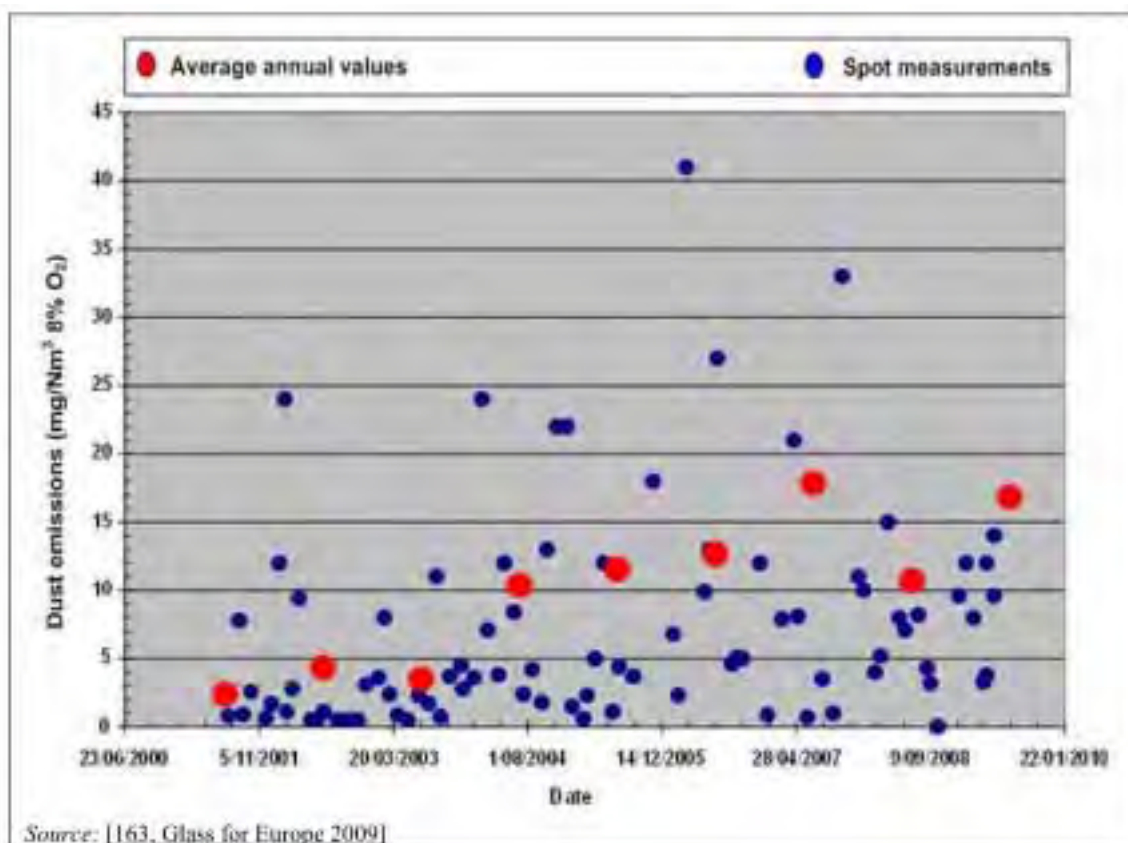
Podsumowanie głównych zalet i wad związanych z wykorzystaniem filtrów ESP wskazano w Tabeli 4.6.

Tabela 4.6: Główne zalety i wady filtrów elektrostatycznych

<p><u>Zalety</u></p> <ul style="list-style-type: none">• Wysoka efektywność usuwania pyłów• Zebrany pył jest na ogół w postaci, która umożliwia ponowne wykorzystanie• Niski spadek ciśnienia relatywnie do filtrów workowych, jak i koszty operacyjne są relatywnie niskie• Mogą tworzyć część zintegrowanego systemu oczyszczania, np. z płuczkami wieżowymi oraz selektywną redukcją katalityczną SCR• Filtry ESP nie blokują się łatwo ze względu na wysoki ładunek lub zawartość wilgoci, co może stanowić problem przy filtrach materiałowych• Na ogół (tj. nieograniczone do branży szklarskiej), jest więcej doświadczenia operacyjnego przy wysokich temperaturach niż dla filtrów workowych• Mogą być zaprojektowane tak, aby umożliwić dodanie dalszych pól w późniejszym czasie <p><u>Wady:</u></p> <ul style="list-style-type: none">• Zużycie energii. Chociaż zużycie energii do działania filtra jest relatywnie niskie w porównaniu do ogólnej energii pieca ($<1\%$), koszty są ważniejsze, ponieważ wykorzystują energię elektryczną w porównaniu do tańszego paliwa kopalnego. Ponadto, będzie wpływ ze względu na pośrednie emisje związane z wykorzystaniem energii elektrycznej (CO_2 oraz inne emisje w elektrowni)• Wygenerowane strumienie odpadów stałych nie zawsze można przetworzyć• Wiele procesów wymaga oczyszczenia kwaśnego gazu i w tych przypadkach zużyty jest absorbent. Emisje pośrednie związane są z wykorzystaniem czynników zasadowych (cykl produkcji materiału)• Filtry ESP mogą wymagać wyższych kosztów kapitałowych niż inne systemy, takie jak filtry workowe• Krytyczne jest utrzymanie działań zakładowych w zaplanowanych warunkach, inaczej efektywność może znacznie spaść• Należy przestrzegać środków bezpieczeństwa w użytkowaniu sprzętu o wysokim napięciu• Filtry ESP mogą być bardzo duże i należy wziąć pod uwagę wymóg przestrzenny

Dane eksploatacyjne

Średnie stężenie pyłu w czystych gazach na wylocie systemu kontroli zanieczyszczenia powietrza jest na ogół niskie. W większości zastosowań, dobrze zaprojektowane filtry dwu- lub trzyfazowe ESP mogłyby osiągać mniej niż 10 mg/Nm^3 oraz mniej niż $0,03\text{ kg}$ pyłu na tonę stopionego szkła. Jakkolwiek, wydajność ograniczenia pyłu może się różnić z czasem i warunkami operacyjnymi. Na przykład, Rysunek 4.2 wskazuje zmienność wyników pomiarów punktowych dla emisji pyłowych dokonywanych miesięcznie z pieca wytwarzającego szkło float opalanego olejem wyposażonego w filtr ESP oraz działającego przy suchej fazie oczyszczania przy wykorzystaniu $\text{Ca}(\text{OH})_2$. W przykładzie, średnie wartości roczne (czerwone punkty) są często poniżej 10 mg/Nm^3 , lecz pomiary punktów (niebieskie punkty) mogą wzrosnąć do 30 mg/Nm^3 . Te zmiany wynikają z funkcjonowania filtra, lecz mogą również zależeć od zmiany właściwości gazu odlotowego (temperatura, skład pyłu, itd.) ze względu na zmiany procesu (np. zmiany wydajności oraz typu szkła). Podobna sytuacja jest również podczas działań oczyszczania płyty, gdy stężenia pyłu mogą wykazywać tymczasowy wzrost. W wielu zastosowaniach, filtry ESP mogą osiągać wartości poniżej tych poziomów ze względu na sprzyjające warunki lub z powodu wykorzystania projektów o wysokiej wydajności. Pomiary poziomów emisji dla filtrów ESP niższych niż 5 mg/Nm^3 dokonywane są w szeregu instalacji; jakkolwiek, z wyjątkiem miejsc, gdzie istnieją sprzyjające warunki, zagwarantowanie efektywności na tym poziomie na ogół będzie wymagać wyższych kosztów od tych rozpoznanych w niniejszym podrozdziale. Należy zauważyć, że w piecach regeneracyjnych o alternatywnych cyklach opalania, dane reprezentatywne powinny zawsze stanowić średnią emisji wyprodukowanych podczas dwóch cykli opalania lub wielokrotności czasu cyklu.



Rysunek 4.2: Wyniki emisji pyłowych (miesięczne pomiary punktów) z pieca wytwarzającego szkło float opalanego olejem wyposażonego w filtr ESP oraz suche oczyszczanie $Ca(OH)_2$

EN	PL
Average annual values	Średnie wartości roczne
Spot measurements	Pomiary punktowe
Dust emissions	Emisje pyłów
Date	Data
Source: [163, Glass for Europe 2009]	Źródło:[163, Glass for Europe 2009]

Zastosowanie filtra ESP jest powszechne, w szczególności przy instalacjach o wysokiej wydajności produkcji (wysoka ilość spalin) oraz/lub przy więcej niż jednym piecu.

W czasie pisania (2010), wiele dużych pieców /instalacji było wyposażonych w monitoring ciągły pyłu zawieszonego lub przejrzystości.

W celu osiągnięcia najlepszej efektywności filtra ESP, niezbędne jest, aby przepływ gazu przez jednostkę był jednolity oraz, aby żaden gaz nie omijał pól elektrycznych. Poprawny projekt przewodów wlotowych oraz wykorzystanie urządzeń rozmieszczenia przepływu w ramach otworu wlotowego muszą osiągnąć jednolity przepływ przy wlocie filtra. Na ogół temperatura operacyjna musi być utrzymywana poniżej 430 °C. Efektywność filtra ESP zmniejszy się podczas przedłużonego działania. Elektrody mogą pękać, stać się niewyrównane lub łuskowate, oraz regularny remont kapitalny jest konieczny, szczególnie przy starszym sprzęcie.

W zastosowaniach, w których strumień gazu może zawierać znaczne stężenia kwaśnych gazów (szczególnie SO_x , HCl oraz HF), na ogół uznaje się za konieczne wykorzystanie pewnej postaci oczyszczania kwaśnego gazu przed filtrem ESP. Zwykle obejmuje to oczyszczanie na sucho lub półsucho przy wykorzystaniu wodorotlenku wapnia, węgla sodu lub biwęglanu sodu. Techniki te omówiono w Podrozdziale 4.4.3.3.

Gazy kwaśne powstają ze stłuczki szklanej, surowców oraz z siarki zawartej w oleju opałowym wykorzystywanej do spalania, a bez usunięcia gazu kwaśnego, filtr ESP może być narażony na poważne problemy z korozją. Przy niektórych szklach zawierających bor, zasada również pomaga filtrować lotne związki boru. W przypadku, gdy gazy odlotowe nie zawierają wysokich poziomów gazów kwaśnych (tj. opalanie gazem oraz surowce o niskiej zawartości siarki), oczyszczanie wstępne może nie być konieczne, np. w większości procesów welny szklanej.

W sektorach szkła płaskiego i opakowaniowego, emisje pyłów związane z wykorzystaniem ESP, w połączeniu z systemem oczyszczania gazu kwaśnego znajdują się w zakresie 10 - 20 mg/Nm³. Te wartości zaobserwowano dla systemów oczyszczania na sucho uwodnionym wapniem oraz relatywnie niskiej wydajności usuwania SO_x między 25 - 33 %, lecz również podczas działania przy lepszych wydajnościach usuwania SO_x w zakresie 50 - 95 %, w zależności od typu czynnika zasadowego, typu systemu oczyszczania, temperatury spalin oraz współczynnika molowego wstrzykniętego czynnika w zależności od SO_x + HCl + HF obecnych w spalinach (patrz Podrozdział 4.4.3.3). Ilość pyłu wygenerowanego przez system filtrowania może znacznie się różnić w zależności od wymaganej wydajności usuwania dla gazów kwaśnych. W rezultacie strumień odpadów stałych trzeba albo wykorzystać przy przygotowaniu wsadu lub usunąć go na wysypisko (patrz Podrozdział 4.4.3.3 oraz 4.7).

Niektóre przykłady poziomów emisji pyłów związane z wykorzystaniem filtrów elektrostatycznych przedstawiono w Tabeli 4.7.

Tabela 4.7: Poziomy emisji pyłów związane z wykorzystaniem filtrów ESP dla przykładowych instalacji

Produkcja	Technika paliwa/topienia	Produkcja ogółem	Charakterystyka ESP	Emisje pyłów AELs – Powiązane poziomy emisji ⁽¹⁾ ⁽²⁾	
		Ton/dzień		mg/Nm ³ , suchy gaz przy 8 % O ₂	kg/t szkła
Szkło opakowaniowe					
Sodowo-wapniowe zielone/białe	Gaz ziemny	470	1 pole oczyszczanie na sucho Ca(OH) ₂	17 ⁽³⁾	0,027
Sodowo-wapniowe	Gaz ziemny	640	5 pól oczyszczanie na sucho Ca(OH) ₂	7,6	0,016
Bezbarwne	Gaz ziemny	275	3 pola – brak systemu oczyszczania	23,8	0,037
Bursztynowe (brązowe)	Olej opałowy + gaz ziemny	297	2 pola, oczyszczanie na sucho Ca(OH) ₂	1,2	0,0019
Białe/bursztynowe	Olej opałowy	547	2 pola, oczyszczanie na sucho Ca(OH) ₂	18	0,027
Szmaragdowo-zielone /zielone UV	Gaz ziemny	367	2 pola, oczyszczanie na sucho Ca(OH) ₂	27	0,040
Szkło płaskie					
Białe/barwione	Olej opałowy	259	2 pola, oczyszczanie na sucho NaHCO ₃	3,0	0,0048

Białe	Olej opałowy + gaz ziemny	700	4 pola, oczyszczanie na sucho Ca(OH) ₂	1,5	0,0031
Białe	Gaz ziemny	600	3 pola, oczyszczanie na sucho Ca(OH) ₂	30	0,084
Szkoło gospodarcze					
Nieokreślone	Olej opałowy	110	Nieokreślone	16,5	0,034
Szkoło specjalne					
Nieokreślone	Olej opałowy + gaz ziemny	170	2 pola, oczyszczanie na sucho Ca(OH) ₂	20	0,127
⁽¹⁾ Poziomy emisji reprezentują średnie wartości pomiarów nieciągłych (30 - 60 minut). ⁽²⁾ Dla niskich wartości stężenia, niepewność metody pomiarowej jest zwykle rzędu wielkości jak wartość zmierzona (patrz Podrozdział 8.3.2). ⁽³⁾ Miesięczna średnia wartość pomiarów ciągłych. <i>Źródło:</i> [75, Germanv-HVG Glass Industry report 2007] [84, Italy-Report 2007] [86, Austrian container glass plants 2007] [120, CTCV 2009]					

Możliwość zastosowania

W zasadzie, technika ta ma zastosowanie dla wszystkich nowych oraz istniejących pieców w wszystkich sektorach szkła. W przypadku istniejących instalacji, modernizacja filtra o dodatkowe pola może być przeprowadzona wyłącznie, gdy piec do topienia jest w naprawie, pod warunkiem, że dostępna jest niezbędna przestrzeń. Podobnie założenie filtra ESP jest na ogół wymagane podczas naprawy na zimno lub przebudowy pieca (pieców).

Regularna konserwacja filtra ESP jest istotna w celu zapewnienia wysokiej efektywności systemu.

Filtry ESP nie są wykorzystywane przy piecach szybowych wytwarzających wełnę skalną ze względu na ryzyko wybuchu związane z obecnością tlenu węgla w spalinach.

Ekonomika

Główne czynniki mające wpływ na koszty filtra ESP to:

- ilość gazów odlotowych
- wymagana efektywność
- liczba pól
- kondycjonowanie gazów odlotowych
- w przypadku, gdy oczyszczanie gazu kwaśnego jest wymagane, efektywność płuczki wieżowej oraz czynnika czyszczącego (tj. uwodniony wapień, wodorowęglan sodu, węglan sodu)
- charakterystyka zakładu (dostępność przestrzeni, układ, wymagane przygotowanie miejsca, itd.)
- koszty energii, energii elektrycznej, wody oraz siły roboczej
- koszty usuwania pyłu (w przypadku, gdy przetwarzanie nie jest możliwe).

Każde dodatkowe pole elektryczne powyżej dwóch zwiększy koszty kapitałowe o około 10 - 15 %, lecz ogólny wzrost tych całkowitych systemów kontroli zanieczyszczenia powietrza (APC), w tym kosztów czyszczenia oraz operacyjnych, to tylko około 5 %.

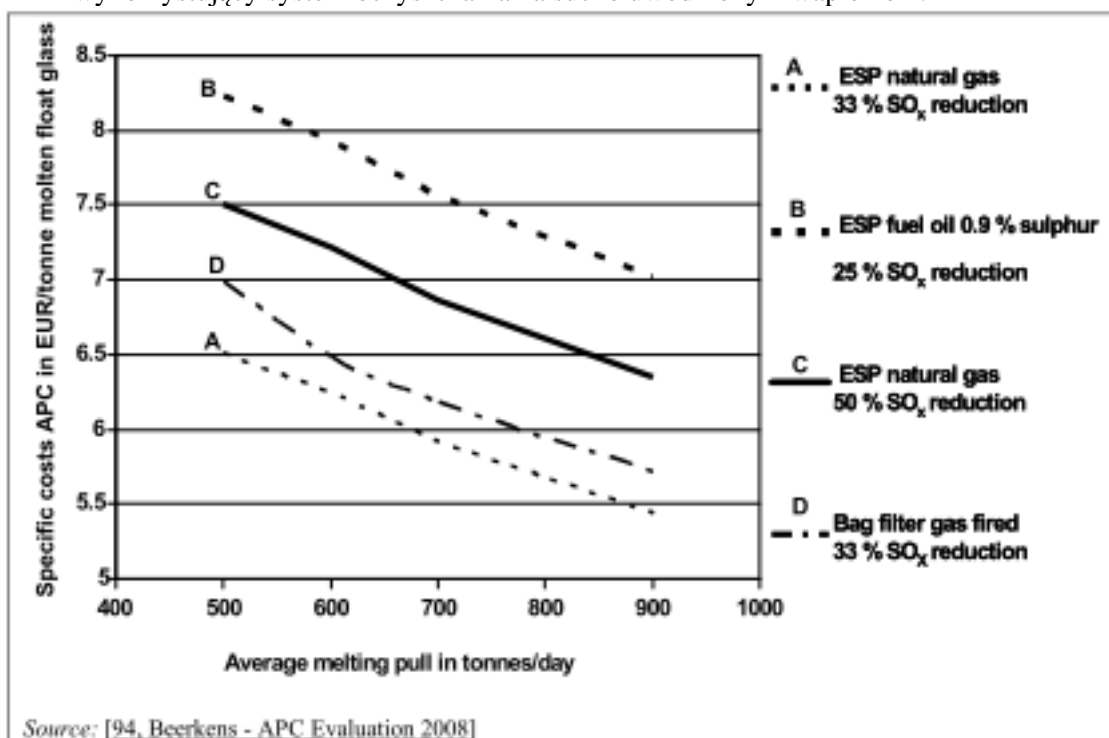
Koszty związane z instalacją filtrów ESP prawdopodobnie będą wyższe dla funkcjonujących zakładów niż dla nowych zakładów, szczególnie tam, gdzie są ograniczenia przestrzeni oraz gdzie położenie filtra przy relatywnie długich odległościach będzie wymagać dodatkowej instalacji rurowej (często konieczna izolacja).

Przy piecach elektrycznych oraz mniejszych piecach konwencjonalnych (<200 ton dziennie) wysokie koszty kapitałowe mogą prowadzić operatorów do wybrania technik alternatywnych, w szczególności filtrów workowych.

Właściwe koszty mogą być znacznie wyższe dla mniejszych produkcji oraz dla pieców opalanych olejem, chociaż to również zależy od stopnia ograniczenia SO_x , jaki należy osiągnąć. Na przykład, Rysunek 4.3 wskazuje specyficzne koszty systemów kontroli zanieczyszczenia powietrza (APC) obejmujących filtrowanie oraz oczyszczanie na sucho przy wykorzystaniu $Ca(OH)_2$, związane z czterema różnymi sytuacjami dla pieców wytwarzających szkło float, w zależności od współczynnika wydajności wytopu oraz zakładając całkowite usunięcie całego pyłu z filtra.

Oszacowanie kosztu zostało oparte o następujące osiągalne poziomy emisji:

- emisje pyłów są określane w zakresie 10 - 20 mg/Nm^3 , o możliwych wartościach od 5 i 10 mg/Nm^3 w zależności od konstrukcji filtra ESP oraz działania (np. tymczasowo wyższe wartości związane z usunięciem warstw osadu z płyt elektrody);
- ograniczona redukcja emisji SO_x 25 - 33 % jest uznana jako standardowy warunek operacyjny, wykorzystujący system oczyszczania na sucho uwodnionym wapniem.



EN	PL
Specific costs APC in EUR/tonne molten float glass	Specyficzne koszty APC w EUR/tonę stopionego szkła float
Average melting pull in tonnes/day	Średnia wydajność wytopu w tonach/dzień
A ESP natural gas 33% SO_x reduction	A ESP gaz ziemny redukcja SO_x - 33%
B ESP fuel oil 0.9% sulphur 25% SO_x reduction	B ESP olej opałowy 0,9% siarki redukcja SO_x -25%
C ESP natural gas 50% SO_x reduction	C ESP gaz ziemny redukcja SO_x -50%
D Bag filter gas fired 33% SO_x reduction	D Filtr workowy opalany gazem redukcja SO_x -33%
Source: [94, Beerkens – APC Evaluation 2008]	Źródło: [94, Beerkens – APC Evaluation 2008]

Rysunek 4.3: Koszty na tonę stopionego szkła dla kontroli zanieczyszczenia powietrza poprzez oczyszczanie na sucho oraz filtry, przy całkowitym usunięciu pyłu z filtra, dla pieców wytwarzających szkło float w zależności od wydajności wytopu

W oparciu o metodologię raportowaną w Podrozdziale 8.1, oszacowano dane kosztowe dla różnych wydajności pieców oraz wydajności ograniczenia emisji SO_x, oraz dla dwóch opcji całkowitego przetworzenia pyłu z filtra lub całkowitego usunięcia jako odpadu. Dane oparte są na realnych kosztach (np. cytaty od dostawców) oraz obliczonych wartościach [94, Beerkens - APC Evaluation 2008].

Dla typowego początkowego poziomu emisji 800 - 1000 mg/Nm³ SO_x dla pieców opalanych gazem oraz 1800 - 2000 mg/Nm³ SO_x dla pieców opalanych olejem oraz zakładając ograniczoną redukcję emisji SO_x około 30 % osiągniętą przy warunkach oczyszczania na sucho uwodnionym wapieniem, oszacowano dane kosztowe podane poniżej.

Produkcja szkła float

- Ogólne koszty inwestycji systemu kontroli zanieczyszczenia powietrza (ESP + faza oczyszczania na sucho) mogą być zróżnicowane pomiędzy 3,9 a 5,5 miliona EUR, w zależności od wielkości pieca (500 - 900 ton/dzień).
- Koszty operacyjne znajdują się w przedziale pomiędzy 375 000 a 575 000 EUR rocznie, w przypadku całkowitego przetwarzania pyłu z filtra oraz pomiędzy 685 000 EUR a 11 400 000 EUR rocznie w przypadku całkowitego usunięcia pyłu z filtra.
- Specyficzne koszty mogą być zróżnicowane pomiędzy 3,9 EUR a 4,8 EUR na tonę stopionego szkła, gdy pył z filtra jest całkowicie ponownie przetopiony w piecu; niższa wartość jest związana z większymi piecami (900 t/d), a wyższa wartość z mniejszymi piecami (450-500 t/dzień). W przypadku całkowitego usunięcia pyłu z filtra, specyficzne koszty na tonę stopionego szkła są o około 1,5 - 2 EUR wyższe. Wyższa wydajność usunięcia SO_x (około 50 %), osiągnięta poprzez dodanie bardziej uwodnionego wapienia, spowoduje dodatkowy koszt 1 EUR na tonę stopionego szkła dla pieców opalanych gazem oraz 2,5 EUR na tonę stopionego szkła dla pieców opalanych olejem, w przypadku całkowitego usunięcia pyłu z filtra. Wzrost specyficznego kosztu byłby znacznie niższy gdyby pył z filtra był całkowicie ponownie przetworzony w piecu (około 0,2 – 0,3 EUR na tonę stopionego szkła).
- Specyficzne koszty na kg usuniętego zanieczyszczenia mogą być zróżnicowane pomiędzy 9 EUR a 15 EUR na kg usuniętego pyłu oraz pomiędzy 0,45 EUR a 0,7 EUR na kg usuniętego SO₂, w zależności od wydajności pieca oraz warunków operacyjnych.

Produkcja szkła opakowaniowego

- Ogólne koszty inwestycji systemu kontroli zanieczyszczenia powietrza (ESP + faza oczyszczania na sucho) mogą być zróżnicowane pomiędzy 2,2 a 4,7 milionów EUR na piec, w zależności od wielkości pieca (133 - 560 ton/dzień). W praktyce w sektorze szkła opakowaniowego systemy kontroli zanieczyszczenia powietrza często oczyszczają gazy odlotowe z więcej niż jednego pieca.
- Koszty operacyjne mogą być zróżnicowane pomiędzy 166 000 EUR a 673 000 EUR rocznie, niższa wartość jest związana z piecem opalonym gazem oraz przetwarzaniem pyłu z filtra, a wyższa wartość - z piecem opalonym olejem z całkowitym usunięciem pyłu z filtra.
- Specyficzne koszty na tonę stopionego szkła są porównywalne do wartości wskazanych dla produkcji szkła float.
- Specyficzne koszty mogą być zróżnicowane pomiędzy 10 a 24 EUR na kg usuniętego pyłu oraz pomiędzy 0,5 a 1,2 EUR na kg usuniętego SO₂, w zależności od pojemności instalacji oraz warunków operacyjnych.

Produkcja szkła gospodarczego

- Ogólne koszty inwestycji systemu kontroli zanieczyszczenia powietrza (ESP + faza oczyszczania na sucho) mogą być zróżnicowane pomiędzy 1,2 a 2 miliony EUR, w zależności od wielkości pieca (35 - 180 ton/dzień).
- Koszty operacyjne mogą być zróżnicowane pomiędzy 43 500 a 247 000 EUR rocznie, niższa wartość jest związana z małymi piecami opalonymi gazem (35 t/d) oraz przetwarzaniem pyłu z

filtra, a wyższa wartość – z większymi piecami opalanymi gazem (180 t/d) z całkowitym usunięciem pyłu z filtra.

- Specyficzne koszty na tonę stopionego szkła mogą być znacznie wyższe od tych dla sektora szkła opakowaniowego. Wartości oszacowano pomiędzy 7,7 a 16,7 EUR na tonę stopionego szkła, głównie w zależności od wielkości pieca.
- Specyficzne koszty mogą być zróżnicowane pomiędzy 20 a 44 EUR na kg usuniętego pyłu oraz pomiędzy 1 a 2,2 EUR na kg usuniętego SO₂, w zależności od pojemności instalacji oraz warunków operacyjnych.

Metodologię wykorzystywaną do oszacowania danych kosztowych wraz z podsumowaniem szacunkowych kosztów dotyczących zastosowania filtrów ESP w połączeniu z systemami oczyszczania na sucho spalin z pieców szklarskich przedstawiono w Podrozdziale 8.1.7, Tabela 8.7, w których zaprezentowano dane dotyczące APC zastosowanego przed 2007 rokiem, a także systemy wdrożone w latach 2007 i 2008.

Liczby podane powyżej mogą różnić się plus minus o 15 % dla kosztów kapitałowych oraz o 30 % dla kosztów operacyjnych, w zależności od liczby czynników specyficznych dla miejsca. Dla instalacji, które nie wymagają oczyszczania gazu kwaśnego, koszty kapitałowe będą około 15 - 20 % niższe, a koszty operacyjne 30 - 40 % niższe.

Koszty infrastruktury będą zróżnicowane w zależności od wielkości filtra ESP oraz od lokalnych okoliczności dla każdej instalacji (w tym liczby pieców podłączonych do filtra ESP oraz odległości od pieców do filtra ESP). Jak wspomniano powyżej, filtry ESP mogą być całkiem duże, a przy istniejących instalacjach, konieczne mogą być istotne prace budowlane tam, gdzie występuje ograniczona przestrzeń.

Podsumowanie rzeczywistych danych kosztowych związanych z przykładowymi instalacjami wytwarzającymi różne typy szkła (opakowaniowe, płaskie, szkło specjalne oraz wełna mineralna) w różnych warunkach operacyjnych podano w Tabeli 4.8

Tabela 4.8: Podsumowanie Przykłady rzeczywistych kosztów filtrów elektrostatycznych stosowanych przy produkcji szkła płaskiego, opakowaniowego, szkła specjalnego oraz wełny mineralnej

	Szkło płaskie ⁽¹⁾	Szkło płaskie ⁽²⁾	Szkło opakowaniowe ⁽³⁾	Szkło specjalne ⁽⁴⁾	Wełna szklana ⁽⁵⁾
Typ pieca	Poprzecznopłomienny, regeneracyjny	Float, poprzecznopłomienny	Poprzecznopłomienny, regeneracyjny	Poprzecznopłomienny, regeneracyjny	Opalany mieszkanką tlenu i paliwa
Paliwo	Olej opałowy	Gaz ziemny + lekki olej opałowy	Gaz ziemny	Gaz ziemny + lekki olej opałowy	Gaz ziemny
Wydajność pieca	350 t/dzień	800 t/dzień	350 t/dzień	220 t/dzień	206 t/dzień
Rzeczywista wydajność	259 t/dzień	700 t/dzień	275 t/dzień	170 t/dzień	199 t/dzień
Dogrzewanie elektryczne	Tak	Tak	Tak	Tak	Tak
Typ szkła	Białe, ekstra białe, brązowe, żółte	Białe	Krzemienne	Rurki szklane z borokrzemianu	szkło typu C
Stłuczka szklana	30 %	35 %	60 %	25 %	66 %
Specyficzne zużycie energii	5,71 GJ/t szkła	5,20 GJ/t szkła	3,78 GJ/t szkła	16,44 GJ/t szkła	3,55 GJ/t szkła
Pola filtra ESP	2	4	3	2	2
Temperatura przed filtrem	300 °C	300 °C	200 °C	350 °C	Niedostępna
Typ absorbentu	NaHCO ₃	Ca(OH) ₂	Brak ⁽³⁾	Ca(OH) ₂	Brak
Ilość absorbentu	55 - 80 kg/h ⁽⁶⁾	15 kg/h		22 kg/h	
Ponowne wykorzystanie pyłu z filtra w przygotowaniu wsadu	100 %	100 %	100 %	0%	100 %

Zużycie energii dla filtra ESP, w tym wentylatora	125 kWh/h	320 kWh/h	194 kWh/h	250 kWh/h	Niedostępne
Częstotliwość serwisowania	Rocznie	Rocznie	zgodna z wymaganiami	Nieokreślona	Nieokreślona
Dane kosztowe ⁽¹⁾					
Koszty inwestycji	2,2 miliony EUR	2,5 miliona EUR	1,5 miliona EUR	2,8 milionów EUR	⁽⁸⁾ 0,91 miliona EUR
Okres trwania amortyzacji	10 lat	10 lat	10 lat	10 lat	8 lat
Koszty operacyjne	205 000 EUR/rok	238 000 EUR/rok	120 000 EUR/rok	275 000 EUR/rok	⁽⁸⁾ 60 000 EUR/rok
Roczne koszty amortyzacji	292 600 EUR/rok	331 500 EUR/rok	199 500 EUR/rok	372 400 EUR/rok	158 750 EUR/rok
Koszty roczne razem	497 600 EUR/rok	569 500 EUR/rok	319 500 EUR/rok	647 400 EUR/rok	218 750 EUR/rok
Szacunkowe koszty na tonę szkła	5,26 EUR /t szkła	2,23 EUR /t szkła	3,18 EUR /t szkła	10,4 EUR /t szkła	3,01 EUR /t szkła ⁽⁸⁾
Powiązane poziomy emisji (AELs)					
	Półgodzinne wartości średnie	Półgodzinne wartości średnie	Półgodzinne wartości średnie	Półgodzinne wartości średnie	Dane pomiarowe nie są dostępne
mg/Nm ³ , suchy gaz przy 8 % O ₂	Pył: 3,0 SO _x : 1150 HCl: 7,0 HF: 3,7	Pył: 1,5 SO _x : 1327 HCl: 25 HF: 0,5	Pył: 23,8 SO _x : 386 HCl: 4,8 HF: 3,0	Pył: 20 SO _x : nieistotna HCl: 9 HF: 4	Dust: <5 SO _x : nieistotna HCl: <1 HF: <1
kg/t szkła	Pył: 0,0048 SO _x : 2,78 HCl: 0,017 HF: 0,009	Pył: 0,0031 SO _x : 2,72 HCl: 0,051 HF: 0,001	Pył: 0,037 SO _x : 0,60 HCl: 0,0075 HF: 0,005	Pył: 0,127 SO _x : nieistotna HCl: 0,057 HF: 0,015	Pył: <0,01 SO _x : nieistotna HCl: <0,0015 HF: <0,0015
⁽¹⁾ . Instalacja jest wyposażona w system odzysku ciepła, przed i po filtrze ESP. ⁽²⁾ . Instalacja jest wyposażona w system odzysku ciepła. ⁽³⁾ . Instalacja jest wyposażona we wstępne podgrzewanie zestawu. ⁽⁴⁾ . Instalacja jest wyposażona w technikę SCR dla ograniczenia NO _x . ⁽⁵⁾ . Dane emisji wskazują oczekiwane poziomy na podstawie pomiarów przeprowadzonych w podobnych zakładach. ⁽⁶⁾ . Ilość absorbentu zależy od typu wyprodukowanego szkła. ⁽⁷⁾ . Dane kosztowe są z roku instalacji systemu kontroli zanieczyszczenia powietrza i niekoniecznie są aktualne. ⁽⁸⁾ . Ostatnie dane kosztowe (2008) dla wydajności pieca 150-250 t/dzień są następujące: koszty inwestycji: 1,5 miliona do 2,0 miliony EUR, koszty operacyjne: 80 000 - 200 000 EUR na rok, specyficzne koszty: 4,5 – 5, 5 EUR na tonę stopionego szkła. Źródło: [75, Germany-HVG Glass Industry report 2007] [115, EURIMA-ENTEC Costs evaluation 2008]					

Podstawa wdrożenia

Osiągnięcie prawnych limitów emisji jest najważniejszą podstawą wdrożenia tej techniki.

Dodatkowym czynnikiem wymuszającym instalację filtrów do ograniczenia emisji pyłu jest wymóg ograniczenia emisji metali oraz/lub emisji gazowych (SO_x, HF, HCl, itd.), które często wymagają wykorzystania czynnika stałego oraz produkcji wysokich poziomów emisji pyłu zawieszonego.

Przykładowe zakłady

Jest wiele przykładów filtrów ESP pomyślnie wykorzystywanych w branży szklarskiej; ponad 90 pieców w Niemczech oraz ponad 40 we Włoszech jest wyposażonych w filtry ESP w większości połączonych z oczyszczaniem gazu kwaśnego, oraz również innych krajach Europy. Filtry ESP to najpowszechniej wykorzystywane filtry w branży szklarskiej; technika ta jest preferowana przez branżę, w szczególności dla instalacji wytwarzających szkło na dużą skalę.

W 2007 roku, ponad 60 % wszystkich pieców wytwarzających szkło float było wyposażonych w filtr elektrostatyczny. Od 2005 roku, istniejące instalacje wytwarzające szkło float są wyposażone w system redukcji podczas naprawy pieca na zimno.

Literatura źródłowa

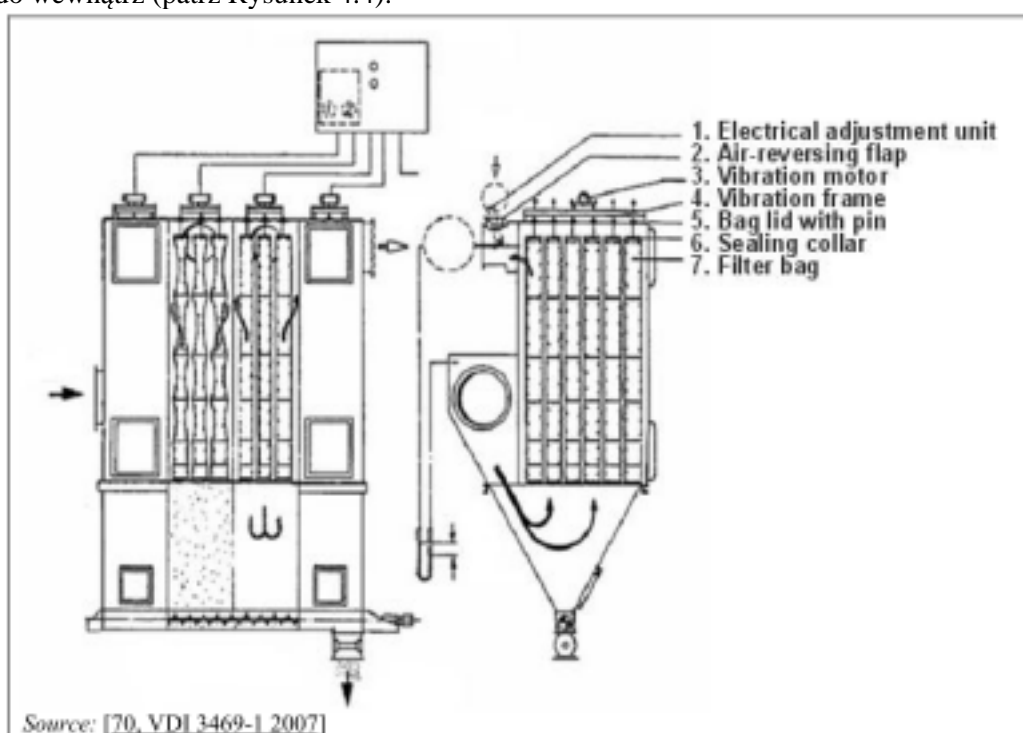
[33, Beerkens 1999] [64, FEVE 2007] [94, Beerkens - APC Evaluation 2008] [75, Germany- HVG Glass Industry report 2007]

4.4.1.3 Filtry workowe

Opis

Systemy filtrów tkaninowych są wykorzystywane dla wielu zastosowań w branży szklarskiej ze względu na wysoką wydajność kontrolowania drobnego pyłu zawieszonego. Ich wykorzystanie w filtrowaniu spalin szkła opakowaniowego jest obecnie bardziej powszechne ze względu na zastosowanie nowoczesnych i niezawodnych tkanin oraz systemów kontroli. Jakkolwiek, ze względu na ich potencjał zapychania się w pewnych sytuacjach, nie są one preferowanym wyborem we wszystkich zastosowaniach. W wielu przypadkach istnieją rozwiązania techniczne tych trudności, lecz może to wiązać się z kosztem.

Podstawową zasadą filtrowania tkaninowego jest dobór tkaninowej membrany, która jest przepuszczalna do gazu, lecz która zatrzyma pył. Początkowo pył osadzony jest zarówno na włóknach powierzchni, jak i w głębi materiału, lecz gdy warstwa powierzchniowa narasta, on sam staje się on dominującym medium. Wraz ze wzrostem grubości warstwy pyłu, opór przepływu gazu wzrasta, a okresowe czyszczenie środowiska filtra jest konieczne do kontroli spadku ciśnienia nad filtrem. Kierunek przepływu gazu może być od wewnątrz worka do zewnątrz lub od zewnątrz worka do wewnątrz (patrz Rysunek 4.4).



Rysunek 4.4: Schemat filtra workowego (tkaninowego)

EN	PL
1. Electrical adjustment unit	1. Jednostka dostosowania elektrycznego
2. Air-reversing flap	2. Kłapa cofająca powietrze
3. Vibration motor	3. Silnik wibracyjny
4. Vibration frame	4. Rama wibracyjna
5. Bag lid with pin	5. Pokrywa workowa z bolcem
6. Sealing collar	6. Kołnierz uszczelniający
7. Filter bag	7. Worek filtra
Source: [70, VDI 3469-1 2007]	Zródło: [70, VDI 3469- 1 2007]

Najpowszechniejsze metody czyszczenia filtra workowego to odwrotny przepływ powietrza, wytrząsanie mechaniczne, wibracja oraz pulsowanie sprężonego powietrza. Często stosowane jest połączenie tych metod. Normalne mechanizmy czyszczenia nie skutkują powrotem materiału do jego dawnego stanu. Nie jest korzystne zbyt dokładne oczyszczanie materiału, ponieważ cząstki osadzone

w głębi materiału pomagają zmniejszyć wielkość otworków między włóknami, w ten sposób umożliwiając osiągnięcie wysokich efektywności.

Filtry tkaninowe projektowane są na podstawie oczekiwanej prędkości filtracji, która jest zdefiniowana jako maksymalna dopuszczalna prędkość gazu przepływającego przez obszar jednostkowy materiału (wyrażana w m/s). Prędkości filtracji na ogół leżą w zakresie 0,01 do 0,06 m/s według zastosowania, typu filtra oraz materiału. Projekt filtra musi optymalizować równowagę pomiędzy spadkiem ciśnienia (koszt operacyjny) a wielkością (koszt kapitałowy). W przypadku, gdy prędkość filtrowania jest zbyt wysoka, spadek ciśnienia będzie wysoki, a cząstki będą przebijać i zatykać materiał. W przypadku, gdy prędkość filtrowania jest zbyt niska, filtr będzie efektywny, lecz bardzo drogi.

Ze względu na tendencję do przylegania do materiału filtra cząstek znajdujących się przy wylocie gazu odlotowego zbiorników pieców wytwarzających szkło, czyszczenie osadzonych cząstek z materiału filtra może niekiedy być trudne. Osiągnięcie satysfakcjonującego ciągłego działania może towarzyszyć tendencji cząstek do gromadzenia się poprzez stały powrót częściowego strumienia cząstek oczyszczonych z materiału filtra do brudnego strumienia gazu. Wykorzystanie uwodnionego wapienia w oczyszczaniu gazu wzmacnia ten efekt.

Przy wyborze materiału tkaniny należy wziąć pod uwagę skład gazów, naturę oraz wielkość cząstek pyłu, zastosowaną metodę czyszczenia, wymaganą efektywność oraz ekonomikę. Temperatura gazu musi być również wzięta pod uwagę wraz z metodą chłodzenia gazu, jeśli dotyczy, oraz powstałą parą wodną oraz punktem rosy kwasu. Właściwości materiału, które należy uwzględnić to maksymalna temperatura operacyjna, odporność chemiczna, forma włókna oraz typ włókna, spłot materiału, wykończenie materiału, odporność na ścieranie oraz zginanie, siła, efektywność zbierania, wykończenia materiału oraz przepuszczalność materiału.

Osiągnięte korzyści środowiskowe

Filtry workowe są bardzo wydajnymi urządzeniami zbierania pyłu, a spodziewana wydajność zbierania to 95 - 99 %.

Można osiągnąć emisję pyłu zawieszonego pomiędzy 0,5 a 5 mg/Nm³ i w wielu zastosowaniach spodziewane są poziomy poniżej 5 mg/Nm³. To na ogół odpowiada znacznie mniejszym wartościom niż 0,008 kg na tonę stopionego szkła oraz poniżej 0,02 kg/t szkła w niektórych szczególnych przypadkach, takich jak szkła borokrzemianowe lub modyfikowane szkła sodowo-wapniowe. Jakkolwiek, należy zauważyć, że w przypadkach pomiarów nieciągłych, niepewność metod standardowych (patrz EN 13284-1: 2003) jest tego samego rzędu co wartość zmierzona dlatego, raportowane dane niskiego stężenia powinny być ostrożnie oceniane.

Konieczność osiągnięcia takich niskich poziomów może być ważne w przypadku, gdy pył uwolniony z procesu zawiera znaczną ilość metali (zbliżając się lub przekraczając typowe wartości graniczne emisji).

Usunięcie związków boru z gazów odlotowych może być bardziej wydajne przy wykorzystaniu filtra workowego, który może funkcjonować przy relatywnie niskich temperaturach (patrz Podrozdział 4.4.1).

W sektorze wełny mineralnej, w szczególności dla pieców szybowych wytwarzających wełnę skalną, podaje się, że poprzez zastosowanie filtrów workowych w istniejących instalacjach osiągnąć można stężenia poniżej 10 mg/Nm³ dla emisji pyłów wyłącznie w około 60 % przypadków.

W przypadku, gdy w połączeniu z filtrem workowym są zainstalowane skrubery, zwykle skutkuje to obniżeniem ogólnych emisji gazów kwaśnych (patrz Podrozdziały 4.4.3 i 4.4.4.2). W przypadku, gdy pył jest przetwarzany, niektóre gazy kwaśne zostaną ponownie wyemitowane. Jakkolwiek, dynamiczna równowaga powstanie tam, gdzie na ogół absorpcja w szkłe będzie wyższa, niektóre poziomy surowców mogą zostać ograniczone, a ogólne emisje będą niższe. Dla niektórych zanieczyszczeń gazowych oraz szczególnych okoliczności, wydajność oczyszczania na sucho może być wyższa przy filtrach workowych niż filtrach ESP, ponieważ dalsza absorpcja może nastąpić na

osadzie filtra, który jest na workach, lub podczas przetwarzania części pyłu w ramach mechanizmów występujących w nowoczesnych systemach filtrów workowych.

Wzajemne powiązania pomiędzy różnymi komponentami środowiska

Wykorzystanie filtrów workowych wymaga zużycia energii elektrycznej dla sprężonego powietrza, wentylatorów oraz systemów kontroli odpowiadających mniej niż 1 % zużycia energii pieca. Pośrednie emisje CO₂ związane z wykorzystaniem energii elektrycznej będą zależne od źródła produkcji w zakładzie produkcyjnym. Szacowane emisje dla pieca wytwarzającego szkło w ilości 500 ton/dzień to około 2 500 ton CO₂/rok (około 2,5 - 3 % rocznych emisji CO₂ z pieca wytwarzającego szkło). Szacowane dane dla pieca wytwarzającego szkło opakowaniowe w ilości 300 ton/dzień wskazują, że pośrednie emisje CO₂ związane z wykorzystaniem filtra workowego mogą stanowić do 3 % rocznych emisji CO₂ z pieca wytwarzającego szkło (ze spalania oraz z surowców).

Dla pieców wytwarzających zastawę stołową, pośrednie emisje CO₂ to około 200 - 250 ton/rok, dla wydajności 30 - 40 ton/dzień oraz 600 ton/rok dla większych pieców wytwarzających 180 - 200 ton/dzień (około 3 % ogólnych emisji CO₂ pieca).

Pośrednie emisje związane z wykorzystaniem energii elektrycznej oszacowano w zakresie 10 - 26 kg CO₂ na tonę stopionego szkła, 0,025 - 0,045 kg NO_x na tonę stopionego szkła oraz 0,09 - 0,16 kg SO₂ na tonę stopionego szkła, w zależności od wydajności instalacji (patrz również Podrozdział 8.1.7, Tabela 8.7, dla szczególnych oszacowanych danych).

Tak jak w przypadku filtrów ESP, dodatkowe emisje pośrednie są związane z produkcją czynników zasadowych wykorzystywanych w procesie oczyszczania (biwęglan sodu, węglan sodu, wodorotlenek wapnia). Wartości oszacowano w zakresie 60 - 200 ton CO₂/rok dla pieców wytwarzających szkło opakowaniowe o wydajności 200 - 600 ton/dzień (<0,5 % ogólnych emisji CO₂ pieca), oraz do 300 - 600 ton CO₂/rok dla dużych pieców wytwarzających szkło float o wydajności 500 - 900 ton/dzień (około 0,5 % ogólnych emisji CO₂ pieca).

W przypadku, gdy faza oczyszczania jest włączona w technikę, produkowany jest strumień odpadów stałych, który musi być ponownie przetworzony w piecu lub usunięty. Jeśli chodzi o zastosowanie filtrów ESP, produkcja odpadów stałych może być głównym przejawem powiązania między różnymi komponentami środowiska, gdy niemożliwe jest przetworzenie pyłów i konieczny jest wywóz zewnętrzny. Te same ograniczenia przedstawione w Podrozdziale 4.4.1.2 dla przetwarzania pyłu z filtra obowiązują, gdy zastosowany jest filtr workowy. Podsumowanie kosztów oraz powiązań pomiędzy różnymi komponentami środowiska dla zastosowanych systemów kontroli zanieczyszczenia powietrza wskazano w Tabeli 8.7, Podrozdziale 8.1.7.

Dane eksploatacyjne

Tak jak w przypadku filtrów elektrostatycznych, wydajność redukcji pyłu filtra workowego może zmieniać się z czasem oraz wraz z warunkami operacyjnymi (patrz Podrozdział 4.4.1.2, dane eksploatacyjne).

Istotne jest utrzymanie temperatury gazu odlotowego w poprawnym zakresie dla systemu filtrów workowych. Gaz musi być utrzymywany powyżej punktu rosy każdej obecnej substancji, którą można skondensować (np. H₂SO₄ lub woda) oraz poniżej górnej granicy temperatury materiału filtra. W przypadku, gdy temperatura jest zbyt niska występuje kondensacja, która może przyczynić się do zatkania worka i/lub ataku chemicznego na materiał tkaniny. W przypadku, gdy temperatura jest zbyt wysoka, materiał filtra może zostać uszkodzony wymagając drogiej wymiany. Konwencjonalny materiał filtra zwykle posiada maksymalną temperaturę operacyjną pomiędzy 130 a 220 °C i na ogół, im wyższa temperatura operacyjna, tym wyższy koszt. W większości procesów produkcji szkła, temperatura gazu odlotowego wynosi pomiędzy 450 a 800 °C. Dlatego, gaz musi zostać schłodzony przed filtrem poprzez rozrzedzenie, schłodzenie lub przez wymiennik ciepła.

W przypadku, gdy istnieje prawdopodobieństwo, że spaliny zawierają substancje kwasowe (w szczególności piece opalane olejem), uważa się za konieczne zainstalowanie fazy oczyszczania w gorze filtra w celu zapobieżenia kondensacji kwasu, która uszkodziłaby pewne materiały worka oraz

obudowę filtra. Dla spalin zawierających bor, faza oczyszczania pomaga kondensować substancje lotne boru oraz może ułatwić zebranie pyłu bez przeszkód.

Chociaż filtry tkaninowe to materiały wrażliwe, technologia się rozwinęła i nowoczesne filtry są obecnie stosownie mocne. Istnieją właściwe systemy kontroli, które umożliwiają dobrą kontrolę temperatury, aby zapobiec uszkodzeniu materiału worka zapewniając ogólną dobrą niezawodność. Dobrze rozwinięta procedura techniczna w połączeniu z niezawodnym ciągłym systemem kontroli elektronicznej jest wymagana, aby zapobiec uszkodzeniu tkaniny filtra.

Nowoczesne systemy filtrów workowych zawierają ponad 1 000 worków. Uszkodzenie niewielkiej ilości worków zwykle nie wpływa w sposób znaczny na wydajność filtrowania. Systemy ciągłego monitorowania spiętrzenia pyłu efektywnie rozpoznają każdy potencjalny problem.

Podsumowanie głównych zalet i wad związanych z wykorzystaniem filtrów workowych wskazano w Tabeli 4.9.

Tabela 4.9: Główne zalety i wady filtrów workowych

<p><u>Zalety</u></p> <ul style="list-style-type: none">• Bardzo wysokie efektywności zbierania• Zbieranie produktu w stanie suchym• Niższy koszt kapitałowy dla prostszych zastosowań• Efektywne wychwycenie metali• Na ogół, lepsza efektywność usuwania kwaśnych substancji gazowych, np. fluorowodoru, związków selenu i boru <p><u>Wady</u></p> <ul style="list-style-type: none">• Produkowany jest strumień odpadów stałych, który nie zawsze można ponownie przetworzyć• Zwiększone zużycie energii ze względu na wyższy spadek ciśnienia (CO₂ oraz inne pośrednie emisje z produkcji energii elektrycznej)• Często wymagane chłodzenie gazu• Niekiedy wymagane kondycjonowanie tkanin• Niekiedy wymagane drogie materiały• Problemy punktu rosy prowadzące do zatykania filtrów tkaninowych oraz obudowy filtra• Oczyszczenie powietrza (odwrotny przepływ) niekiedy wymaga ogrzania• Niektóre pyły bardzo trudno usunąć, co powoduje spadek ciśnienia do przekroczenia projektowanych wartości• Temperatura wylotowa spalin zbyt niska do zastosowania SCR, wymagająca ponownego podgrzania gazów odlotowych przy zwiększeniu zużycia energii o około 5 - 10 % w porównaniu ze zużyciem energii pieca do topienia

Możliwość zastosowania

Filtry workowe zdobyły szerokie uznanie w wielu sektorach branży szklarskiej. W zasadzie, filtry materiałowe mogą być zastosowane dla wszystkich typów pieców w branży szklarskiej, oraz zarówno dla nowych, jak i istniejących pieców. Jakkolwiek, w wielu sektorach, nie często była to technika pierwszego wyboru ze względu na relatywnie wysokie wymagania obsługi oraz potencjalne zapychanie tkaniny, skutkujący kosztowną wymianą medium filtra. Chociaż, dodanie fazy oczyszczania oraz niskie poziomy siarki w paliwie zmniejszają tendencję do zaślepienia worków.

Kolejną obawą związaną z filtrami workowymi jest to, że większość pieców opalanych paliwem kopalnym wymaga dokładnej kontroli ciśnienia, a obecność filtra tkaninowego o wysokim spadku ciśnienia może to jeszcze utrudnić. Nowoczesne materiały oraz systemy kontroli ograniczyły ten problem.

Ze względu na wspomniane obawy, za bardziej realne technicznie uważa się podłączenie wielorakich pieców do filtra ESP niż do filtra workowego.

W nowoczesnych systemach, przewyciężono większość powyższych problemów oraz istnieje wiele przykładów filtrów workowych dobrze funkcjonujących w zakładach wytwarzających szkło opakowaniowe, zakładach wytwarzających szkło borokrzemianowe oraz w innych sektorach szkła.

W sektorze szkła płaskiego, kontrola ciśnienia w piecu jest decydująca do zapewnienia wysokiej jakości szkła wymaganej dla wielu zastosowań. Ze względu na wysoki spadek ciśnienia, który wytwarzają, udowodniono, że filtry workowe są bardzo trudne w zastosowaniu podczas utrzymania wymaganego stanu ciśnienia w piecu i w ten sposób wymaganej jakości wyprodukowanego szkła. Z tego powodu, oprócz trudności kondycjonowania spalin przy niskich temperaturach, filtry workowe nie są najlepszą opcją dla pieców wytwarzających szkło float. W 1996 roku, jeden piec wytwarzający szkło float był wyposażony w filtr workowy, a dziś pozostaje on jedyny w Europie, i od tego czasu żaden inny piec wytwarzający szkło float nie został wyposażony w filtr workowy; we wszystkich przypadkach filtr ESP wybrano jako technikę preferowaną.

Zatory filtrów ze względu na zaślepienie tkaniny stanowią szczególny problem w piecach opalanych paliwem kopalnym wytwarzających wełnę szklaną (oraz inne szkła zawierające bor), ze względu na kleistą naturę drobnego pyłu zawieszono, która bez fazy oczyszczania na sucho utrudnia unikanie zatorów.

Piece są zwykle opalane gazem o bardzo niskich stężeniach substancji kwasowych, i dlatego, przy dobrze utrzymanym filtrze workowym, faza oczyszczania może nie być uważana za konieczną. To znacznie ogranicza koszty kapitałowe i operacyjne oraz ułatwia przetwarzanie pyłów. Jakkolwiek, wykorzystanie fazy oczyszczania sprzyja absorpcji oraz kondensacji substancji lotnych, np. związków boru i seleniu.

Dalszym problemem związanym z filtrami workowymi jest to, że większość pieców opalanych paliwem kopalnym wymaga dokładnej kontroli ciśnienia, a obecność filtra tkaninowego przy wysokim spadku ciśnienia utrudniłoby to jeszcze bardziej. Nowoczesne materiały oraz systemy kontroli ograniczyły ten problem.

Technika ta jest powszechnie wykorzystywana w połączeniu z piecami elektrycznymi, piecami szybowymi wytwarzającymi wełnę skalną, piecami wytwarzającymi fryty oraz piecami dla wysokotemperaturowych wełen izolacyjnych (HTIW) oraz w mniejszym stopniu dla pieców wytwarzających szkło opakowaniowe. W wielu mniejszych piecach opalanych paliwem kopalnym, filtry workowe zostały wybrane jako technika do funkcjonowania z systemami oczyszczania, które są instalowane, aby ograniczyć emisje gazów kwaśnych. Ponadto, niższe koszty kapitałowe filtrów workowych w porównaniu z filtrami elektrostatycznymi są bardzo atrakcyjne, równoważąc wydatki związane z wyższym utrzymaniem oraz ryzykiem zaślepienia worka.

Zastosowanie systemów filtrów workowych nie stanowi najlepszej opcji, gdy przewidziane jest wykorzystanie SCR ze względu na zwykle niskie temperatury operacyjne, które nie są właściwe dla warunków operacyjnych katalizatora.

Ekonomika

Na ogół, koszty inwestycji mogą być niższe dla systemu filtrów workowych niż dla filtrów ESP, lecz koszty bieżące mogą być wyższe. Jakkolwiek, dla dużych ilości gazów, specyficzne koszty filtrów workowych połączonych z fazą oczyszczania na sucho są porównywalne lub nawet wyższe niż dla filtra ESP wraz z systemem płuczki wieżowej. Tak to wygląda głównie przy piecach wytwarzających szkło float lub w sytuacjach, gdy kilka pieców wytwarzających szkło opakowaniowe jest podłączonych do jednego systemu kontroli zanieczyszczenia powietrza.

Głównymi czynnikami mającymi wpływ na koszty filtrów workowych są:

- ilość gazów odlotowych
- obszar powierzchni filtra (w zależności od wymaganej wydajności)
- materiał tkaniny (włókno szklane, poliamid, poliimid, itd.)
- schładzanie gazów odlotowych do temperatury operacyjnej filtra
- w przypadku, gdy wymagane jest oczyszczanie gazów kwaśnych, wydajność płuczki wieżowej oraz typ czynnika oczyszczającego (tj. uwodniony wapień, biwęglan sodu, węglan sodu)
- charakterystyka zakładu (dostępność przestrzeni, układ, wymagane przygotowanie miejsca, itd.)
- koszty energii, energii elektrycznej, wody oraz siły roboczej

- koszty usunięcia pyłu (jeśli nie jest możliwe jego przetworzenie).

Oszacowań kosztów dla różnych wydajności pieca oraz wydajności usuwania SO_x dokonano na podstawie metodologii raportowanej w Podrozdziale 8.1, biorąc pod uwagę dwie opcje całkowitego przetwarzania pyłu z filtra lub całkowitego usunięcia jako odpadu. Dane opierają się na realnych kosztach (np. cytaty od dostawców) oraz obliczonych wartościach [94, Beerkens - APC Evaluation 2008].

Stężenie emisji dla pyłu w zakresie <5 - 10 mg/Nm³ zostało wzięte pod uwagę wraz z typowym początkowym poziomem emisji 800 - 1000 mg/Nm³ SO_x dla pieców opalanych gazem oraz 1800 - 2000 mg/Nm³ SO_x dla pieców opalanych olejem oraz zakładając ograniczoną wydajność usunięcia SO₂ około 30 % osiągniętą przy warunkach oczyszczania na sucho uwodnionym wapieniem, jeśli nie określono inaczej. Szacowane dane kosztowe podano poniżej.

Produkcja szkła float

- Szacunkowy ogólny koszt inwestycji dla filtra workowego + fazy oczyszczania na sucho odpowiada 2,7 miliona EUR dla pieca opalanego gazem wytwarzającego 500 ton/dzień oraz 4,5 miliona EUR dla pieca opalanego olejem, gdy oczyszczanie na półsucho jest zastosowane w połączeniu z filtrem workowym.
- Koszty operacyjne oszacowano w zakresie 700 000 do 930 000 EUR rocznie, w zależności od typu paliwa oraz możliwości ponownego przetworzenia pyłu z filtra.
- Szacunkowe specyficzne koszty wyrażone na tonę stopionego szkła mogą być zróżnicowane od 7 do 9,5 EUR na tonę stopionego szkła, w zależności od paliwa oraz biorąc pod uwagę całkowite usunięcie pyłu z filtra.
- Specyficzne koszty mogą być zróżnicowane pomiędzy 12 a 21 EUR na kg usuniętego pyłu oraz od 0,6 do 1 EUR na kg usuniętego SO₂, w zależności od wydajności pieca oraz warunków operacyjnych (typ paliwa oraz usunięcie pyłu z filtra).

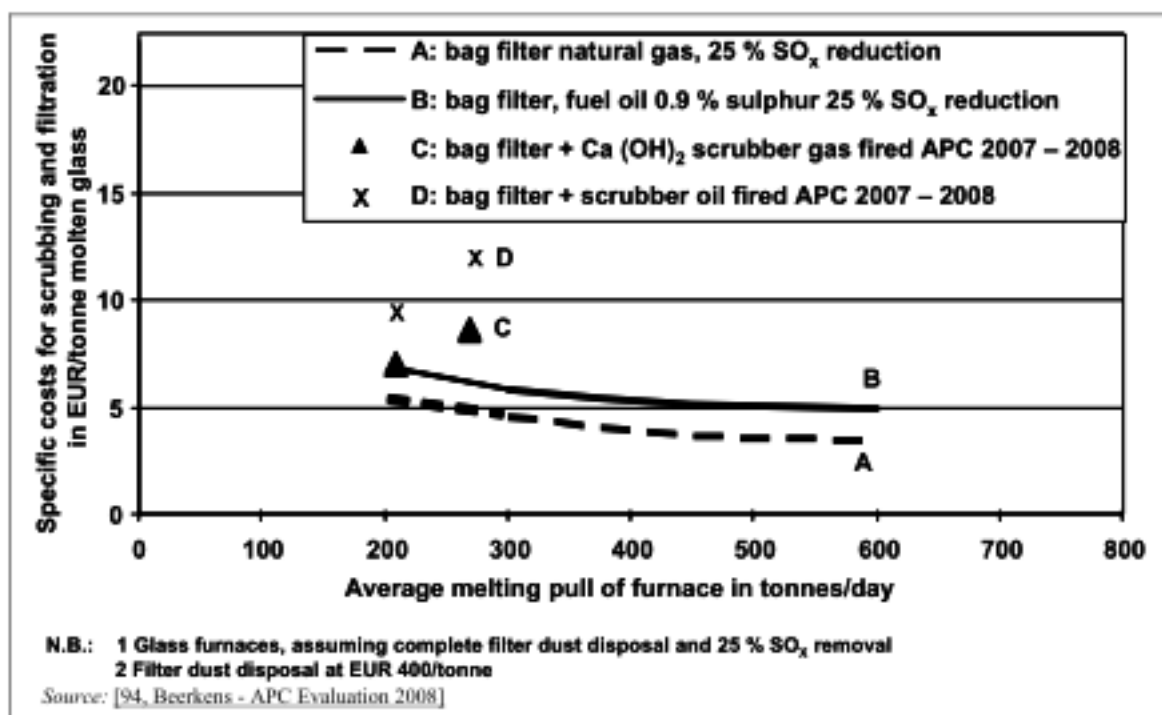
Produkcja szkła opakowaniowego

- Ogólne koszty inwestycji dla systemu kontroli zanieczyszczenia powietrza (filtr workowy + faza oczyszczania na sucho) mogą być zróżnicowane pomiędzy 1,2 miliona a 2 miliony EUR, w zależności od wielkości pieca (200 - 600 ton/dzień).
- Koszty operacyjne mogą być zróżnicowane pomiędzy 160 000 a 526 000 EUR rocznie, niższa wartość jest związana z piecem opalonym gazem wytwarzającym 200 t/d oraz przetwarzaniem pyłu z filtra, a wyższa wartość jest związana z piecem opalonym olejem przy całkowitym usunięciu pyłu z filtra.
- Specyficzne koszty na tonę stopionego szkła mogą być zróżnicowane pomiędzy 2,7 a 7,3 EUR, niższa wartość jest związana z dużym piecem (600 t/d) oraz przetwarzaniem pyłu z filtra, a wyższa wartość - z piecem opalonym olejem wytwarzającym 290 t/d oraz usunięciem pyłu z filtra.
- Specyficzne koszty mogą być zróżnicowane pomiędzy 13 a 23 EUR na kg usuniętego pyłu oraz pomiędzy 0,65 a 1,2 EUR na kg usuniętego SO₂, w zależności od wydajności instalacji oraz kosztów operacyjnych.
- Spodziewane są wyższe koszty inwestycji w granicach 2,3 miliona EUR, dla systemów kontroli zanieczyszczenia powietrza obejmujących filtr workowy + fazę oczyszczania na półsucho zastosowanych przy piecu wytwarzającym 350 t/d. W tym przypadku, specyficzne koszty na tonę stopionego szkła znajdują się w zakresie 5 – 6,5 EUR.

Produkcja szkła gospodarczego

- Ogólne koszty inwestycji dla systemu kontroli zanieczyszczenia powietrza (filtr workowy+ faza oczyszczania na sucho) mogą być zróżnicowane pomiędzy 0,77 a 1,15 miliona EUR, w zależności od wielkości pieca (30 - 200 ton/dzień).
- Koszty operacyjne mogą być zróżnicowane pomiędzy 65 000 a 174 000 EUR rocznie, niższa wartość jest związana z małym piecem opalonym gazem (30 t/d), a wyższa wartość jest związana z większym piecem opalonym gazem (180 t/d), obydwie z ponownym przetwarzaniem pyłu z filtra.
- Specyficzne koszty na tonę stopionego szkła mogą być zróżnicowane pomiędzy 3,8 a 13,8 EUR, głównie w zależności od wielkości pieca: niższa wartość jest związana z większymi piecami, a wyższa wartość z piecem wytwarzającym 30 t/d.
- Specyficzne koszty na kg usuniętego zanieczyszczenia mogą być zróżnicowane od 23 do 35 EUR na kg usuniętego pyłu oraz od 1,2 do 1,8 EUR na kg usuniętego SO₂, w zależności od wydajności instalacji oraz kosztów operacyjnych.

Rysunek 4.5 przedstawia niektóre szacunkowe dane kosztowe dla filtrów workowych wraz z suchymi płuczkami wieżowymi zastosowanymi w piecach wytwarzających szkło opakowaniowe.



Rysunek 4.5: Szacunkowe koszty dla suchych płuczek wieżowych w połączeniu z filtrami workowymi dla pieców wytwarzających szkło opakowaniowe, zakładając całkowite usunięcie pyłu z filtra oraz 25% usunięcie SO_x

EN	PL
Specific costs for scrubbing and filtration in EUR/tonne molten glass	Specyficzne koszty dla oczyszczania i filtrowania w EUR/tonę stopionego szkła
A: bag filter natural gas, 25% SO _x reduction	A: filtr workowy gaz ziemny, redukcja SO _x -25%
B: bag filter, fuel oil 0.9% sulphur 25% SO _x reduction	B: filtr workowy, olej opałowy 0,9% siarki redukcja SO _x -25%
C: bag filter+ Ca(OH) ₂ scrubber gas fired APC 2007-2008	C: filtr workowy + Ca(OH) ₂ płuczka wieżowa opalana gazem APC 2007-2008
D: bag filter + scrubber oil fired APC 2007-2008	D: filtr workowy + płuczka wieżowa opalana olejem APC 2007-2008
Average melting pull of furnace in tonnes/day	Średnia wydajność wytopu pieca w tonach/dzień
N.B. 1 Glass furnaces, assuming complete filter dust	N.B. 1 Piec szklarskie przy założeniu całkowitego

disposal and 25% SO _x removal	usunięcia pyłu z filtra oraz 25% usunięcie SO _x
2. Filter dust disposal at EUR 400/tonne	2. Składowanie pyłu z filtra 400 EUR/tonę
Source: [94, Beerkens – APC Evaluation 2008]	Źródło: [94, Beerkens – APC Evaluation 2008]

Na Rysunku 4.5, specyficzne koszty dla pieców opalanych olejem, zakładając ten sam odsetek redukcji emisji SO₂, wydają się 30 - 35 % wyższe niż dla pieców opalanych gazem, głównie ze względu na wyższe koszty usunięcia pyłu siarczanowego z filtra oraz zwiększone koszty uwodnionego wapienia (ze względu na wyższe poziomy stężenia SO₂ w spalinach pieców do wytopu szkła opalanych olejem, wymagana jest większa ilość uwodnionego wapienia). Koszty te wzrosły w 2007 roku ze względu na wyższe koszty kapitałowe (inwestycji) dla instalacji (filtr, płuczka wieżowa oraz instalacja rurowa), jak wskazano na Rysunku 4.5 dla instalacji C oraz D. Typowe koszty dla mniejszych instalacji produkujących szkło znajdują się w przedziale od 6 do 10 EUR na tonę stopionego szkła, lecz niekiedy spodziewane są nawet wyższe koszty. Instalacje o produkcji powyżej 400 - 500 ton/dzień posiadają koszty pomiędzy 3,5 a 5 EUR na tonę stopionego szkła. Koszty te odnoszą się do pieców opalanych gazem oraz całkowitego usunięcia zebranego pyłu z filtra na wysypisko. Specyficzne koszty wzrosną o 1 – 1,5 EUR na tonę stopionego szkła w przypadku opalania olejem opałowym oraz usunięcia pyłu z filtra.

W Podrozdziale 8.1.7, w Tabeli 8.7 podano podsumowanie szacunkowych kosztów dla różnych wielkości instalacji w sektorach szkła opakowaniowego, szkła float, szkła zastawy stołowej oraz włókna szklanego ciągłego przy zastosowaniu filtrów workowych oraz różnych opcji systemów oczyszczania.

Przykłady rzeczywistych danych kosztowych dla dwóch instalacji wytwarzających szkło specjalne przy różnych warunkach operacyjnych przedstawiono w Tabeli 4.10.

Tabela 4.10: Przykłady rzeczywistych kosztów filtrów workowych stosowanych w sektorze szkła specjalnego w dwóch instalacjach

	Szko specjalne Instalacja Nr 1 (*)		Szko specjalne Instalacja Nr 2
Typ pieca	Wytop elektryczny		Spalanie w tlenie
Paliwo			Gaz ziemny
Wydajność pieca	86 t/dzień		50 t/dzień
Rzeczywista wydajność pieca	80 t/dzień		40 t/dzień
Dogrzewanie elektryczne			tak
Typ szkła	Borokrzemianowe, białe		Borokrzemianowe
Stłuczka szklana	70 %		60 %
Specyficzne zużycie energii ⁽²⁾	4,18 GJ/t szkła (średnia dwóch pieców)		6,72 GJ/t szkła
Temperatura przed filtrem	80 °C		105 °C
Typ absorbentu	Ca(OH) ₂		Ca(OH) ₂
Ilość absorbentu	3 kg/h		15 kg/h
Ponowne wykorzystanie pyłu z filtra w zestawie wsadowym	0%		0%
Zużycie energii dla systemu filtrowania, w tym wentylatora	20 kWh/h		34 kWh/h
Koszty inwestycji ⁽³⁾	440 000 EUR		1,5 miliona EUR
Okres amortyzacji	10 lat		15 lat
Koszty operacyjne	50 000 EUR /rok		83 109 EUR /rok
Roczne koszty amortyzacji	58 520 EUR /rok		126 000 EUR /rok
Koszty roczne razem	108 520 EUR /rok		209 109 EUR /rok
Szacunkowe koszty na tonę szkła	3,71 EUR /t szkła		14,32 EUR /t szkła
Powiązane poziomy emisji (AELs)	Półgodzinne wartość i średnie		Półgodzinne wartości średnie
mg/Nm ³ , suchy gaz	Pył: 1,2 ⁽⁴⁾ SO _x : 0,7 HCl: 5,1 HF: 0,3	Pył: 0,8 ⁽⁴⁾ SO _x : 4,7 HCl: 22,0 HF: 0,3	Pył: 0,3 ⁽⁴⁾ SO _x : 5,6 HCl: 6,9 HF: 0,45
kg/t szkła	Pył: 0,0017 SO _x : 0,037 HCl: 0,028 HF: 0,0018	Pył: 0,0008 SO _x : 0,013 HCl: 0,061 HF: 0,0009	Pył: 0,0027 SO _x : 0,054 HCl: 0,066 HF: 0,0043
<p>⁽¹⁾ Dane odnoszą się do instalacji z dwoma piecami elektrycznymi, wskazana wydajność produkcji jest sumą dwóch pieców.</p> <p>⁽²⁾ Raportowane dane odnoszą się do energii w miejscu użytkowania oraz nie są poprawione o energię pierwotną.</p> <p>⁽³⁾ Dane kosztowe odnoszą się do systemu filtrowania oraz oczyszczania na sucho. Wartości są z roku instalacji systemu kontroli zanieczyszczenia powietrza i niekoniecznie są reprezentatywne dla obecnych kosztów.</p> <p>⁽⁴⁾ Niskie wartości stężenia odnoszą się do pomiarów punktów, które mogą być związane ze szczególnie sprzyjającymi warunkami.</p> <p>Niepewność metody pomiarowej jest zwykle tego samego rzędu co wartość zmierzona (patrz Podrozdział 8.3.2).</p> <p>Źródło: [75, Germany-HVG Glass Industry report 2007]</p>			

Podstawa wdrożenia

Przestrzeganie prawnych limitów emisji jest najważniejszą kwestią.

Dodatkowym czynnikiem w kwestii instalacji systemu filtrów workowych w połączeniu z oczyszczaniem na sucho lub półsucho może być ograniczenie emisji metali (Pb, Se, itd.) i/lub emisji

gazowych (SO₂, HCl, HF, itd.). Gdy metale są powiązane z emisjami pyłowymi, filtry workowe mogą być dobrym rozwiązaniem. Przy metalach lotnych, takich jak selen i arsen, niższe temperatury operacyjne filtrów workowych korzystnie wpływają na wychwycenie metali.

Przykładowe zakłady

Dla szkła opakowaniowego, ponad 16 zakładów zostało wyposażonych w filtry workowe w 2005 roku oraz wiele innych w innych sektorach szkła. W UE-27, tylko jedna instalacja wytwarzająca szkło płaskie stosuje filtr workowy.

Odniesienia do literatury

[33, Beerkens 1999] [64, FEVE 2007] [70, VDI 3469-1 2007] [94, Beerkens - APC Evaluation 2008] [86, Austrian container glass plants 2007] [110, Austria, Domestic glass plants 2007]

4.4.1.4 Kolektory mechaniczne

Opis

Termin „kolektory mechaniczne” stosowany jest w celu opisanie technik wykorzystujących siły mechaniczne (grawitacja, inercja, siła odśrodkowa) do oddzielania pyłów od strumienia gazu, przykładowo:

- Cyklony - ruch wirowy, w który wprowadzany jest gaz, dzięki czemu pył oddziela się za pomocą siły odśrodkowej;
- osadnik grawitacyjny – gaz dostaje się do dużej komory, w której zmniejszana jest prędkość gazu, co powoduje osadzenie się pyłu;
- komora pyłowa z przegrodami – przegrody powodują, że gaz zmienia kierunek, co pozwala na osadzenie się pyłu;
- krata żaluzjowa – zespoły niewielkich przegród rozszczepiających i zmieniających kierunek przepływu gazu, co powoduje osadzenie się pyłu.

Wspomniane techniki charakteryzują się słabą skutecznością w zakresie gromadzenia niewielkich cząstek, w szczególności mniejszych niż 10 µm, i z powodu niewielkiego rozmiaru cząsteczek większości pyłów występujących w przemyśle szklanym, są one rzadko stosowane. Wyjątkiem jest cyklon, który znajduje kilka zastosowań, w szczególności na etapie przed oczyszczaniem, przy wykorzystaniu innych technik. Zasady operacyjne oraz główne zalety i wady zostały zebrane poniżej. Jednakże z racji tego, iż nie są one uznawane za skuteczne techniki w odniesieniu do emisji z pieców, cyklony nie zostały szczegółowo opisane.

Cyklon jest inercyjnym urządzeniem oczyszczania gazów. Pył jest oddzielany od strumienia gazów przy zmianie kierunku przepływu gazu, przy czym pył nadal podąża bezwładnościowo w pierwotnym kierunku, a następnie osadza się na powierzchni zbierającej. Istnieją dwa rodzaje cyklonów: przepływ wsteczny oraz przepływ prosty. Cyklony o przepływie wstecznym występują najczęściej i składają się z cylindrycznej muszli o stożkowej podstawie, leja zbierającego pyły oraz dopływów i odpływów powietrza. Istnieją dwa główne rodzaje cyklonów o przepływie wstecznym: tangensowe i osiowe. Klasyfikacje te biorą się z geometrii wlotu powietrza.

Strumień wlatującego gazu jest wprawiany w wir, a siły dośrodkowe podtrzymują ruch kołowy. Cząstki o wielkości powyżej wielkości krytycznej są wyrzucane ze spirali wlotowej do szerszej ścieżki kołowej i osadzają się na ścianach cyklonu. Przepływ powietrza przenosi pył do leja zbierającego, zaś przy podstawie stożka przepływ gazu ulega odwróceniu, a oczyszczony gaz przechodzi ponownie wzdłuż środka cyklonu w spirali wylotowej.

Ogólnie rzecz biorąc, skuteczność cyklonu wzrasta wraz z odpowiednim wzrostem: gęstości materiału pyłowego, prędkości wlotowej, długości cyklonu, liczby obrotów gazu, stosunku średnicy korpusu do średnicy wylotu, średnicy cząstek, ilości pyłu oraz gładkości ściany cyklonu. Skuteczność zmniejsza się wraz ze wzrostem: lepkości gazu, gęstości gazu, temperatury, średnicy cyklonu, średnicy wylotu gazu, szerokości przewodu wylotowego gazu oraz obszaru wlotowego.

Osiągnięte korzyści środowiskowe

Cyklony są wykorzystywane na szeroką skalę przez wiele sektorów przemysłu i są szczególnie przydatne do zbierania cząstek o średnicy większej niż 10 µm. W zależności od projektu, cyklony o średniej/dużej skuteczności wykazują skuteczność zbierania wynoszącą 45 - 90 % przy średnicy 10 µm oraz 5 – 30% przy średnicy 1 µm. Są one często wykorzystywane we wstępnej fazie procesu oczyszczania w zakładach stosujących droższe technologie, w celu usunięcia gruboziarnistego materiału ze strumienia gazów i tym samym zmniejszenia obciążenia pyłu wprowadzanego do głównych urządzeń oczyszczających.

Podsumowanie głównych zalet i wad związanych ze stosowaniem cyklonów zostało przedstawione w tabeli 4.11.

Tabela 4.11: Główne zalety i wady cyklonów

<p><u>Zalety:</u></p> <ul style="list-style-type: none">• Niskie koszty kapitałowe i operacyjne (w tym koszty konserwacji)• Umiarkowany spadek ciśnienia• Niewielkie wymogi przestrzenne w porównaniu z innymi technologiami• Możliwość pracy przy dużym ładunku pyłów• Mogą być stosowane do szerokiego zakresu gazów i pyłów• Mogą pracować przy wysokich temperaturach i wysokim ciśnieniu• Mogą być wykonane z różnych materiałów <p><u>Wady:</u></p> <ul style="list-style-type: none">• Niska skuteczność zbierania niewielkich cząstek• Trudność w usunięciu materiałów lekkich lub posiadających igłowaty kształt• Może nastąpić zatykanie w przypadku natrafienia na ciśnieniowy punkt rosy• Trudność w zapobieganiu eksplozji materiałów łatwopalnych• <u>Potencjalne problemy z pyłem szorstkim</u>
--

Zastosowanie

Technologia ta jest rzadko stosowana bez powiązania z innymi technologiami w przemyśle szklanym, z wyjątkiem sektora wełny mineralnej, w którym cyklony stosowane są często w powiązaniu z innymi systemami oczyszczającymi gazy odlotowe w dalszych działaniach. Ogólnie rzecz biorąc, cyklony są stosowane do usuwania materiałów gruboziarnistych, co ma na celu zmniejszenie ilości pyłu wprowadzanego do głównego systemu ograniczającego zanieczyszczenie.

4.4.1.5 Środki filtrujące w wysokich temperaturach

Opis

Jednym z problemów odnoszących się do konwencjonalnych filtrów workowych jest konieczność utrzymywania temperatury gazów odlotowych w granicach operacyjnych materiału filtrującego. Jeżeli temperatura wzrasta ponad górną granicę, filtr musi zostać ominięty przez gazy lub gazy muszą zostać schłodzone, np. w drodze rozcieńczenia. Konwencjonalne materiały filtrujące posiadają granicę operacyjną temperatury wynoszącą 120 – 180°C, a niektóre z nich 250°C (włókno szklane). Koszty materiałów znacznie wzrastają w przypadku materiałów o zdolności operacyjnej w temperaturze powyżej 180°C. W niektórych zastosowaniach wykorzystuje się środki działające w wysokich temperaturach, jednakże nie są to normalne filtry workowe – są one raczej podobne do filtrów świecowych.

Filtry funkcjonujące w wysokich temperaturach były skutecznie wykorzystywane do redukcji emisji pochodzących z niektórych pieców szybowych do produkcji wełny skalnej, jednakże nie są już one stosowane z powodu wysokich kosztów lub zamknięcia zakładu. Najczęściej stosowanymi w innych sektorach filtrami funkcjonującymi w wysokiej temperaturze są świece ceramiczne lub wełniane, wykorzystywane do usuwania pyłów. Filtry te są wykonane z krzemianów glinu i mogą być stosowane w temperaturach do 1000°C. Obecnie dostępny jest nowy typ filtra, który łączy

technologię świec ceramicznych z wbudowanym katalizatorem, w celu usuwania NO_x. Technologia ta jest jeszcze w fazie rozwoju, dlatego też została opisana w dziale 6.7.

Osiągnięte korzyści środowiskowe

Przy zastosowaniu filtrów ceramicznych funkcjonujących w wysokich temperaturach stwierdzono stężenie pyłów wynoszące <10 mg/Nm³. Bardziej aktualne informacje są związane ze stosowaniem zaawansowanych filtrów ceramicznych oraz ceramicznych filtrów katalitycznych w procesie usuwania różnorodnych substancji zanieczyszczających (zob. dział 6.7). Podsumowanie głównych zalet i wad stosowania filtrów funkcjonujących w wysokiej temperaturze zostało przedstawione w Table 4.12.

Tabela 4.12: Główne zalety i wady filtrów funkcjonujących w wysokiej temperaturze

<p><u>Zalety:</u> Praca w wysokich temperaturach, do 1 000°C Ogólnie wysoka odporność na gazy kwaśne Wysoka skuteczność filtrowania, do 99,9% Brak konieczności zmniejszania temperatury gazów spalinowych za pomocą rozcieńczonego powietrza Systemy odzysku ciepła mogą być umieszczone za filtrem (gazy oczyszczone) i pracować w wysokich temperaturach</p> <p><u>Wady:</u> Sztuczne i kosztowne materiały Wysokie koszty konserwacji i napraw awarii Niska odporność chemiczna na fluorowodór w warunkach wysokiej wilgotności i niskich temperatur</p>
--

4.4.1.6 Płuczki wodne

Opis

Systemy płuczek wodnych mogą być stosowane w celu kontroli emisji gazów i cząsteczek, mimo iż wykazują ogólnie większą skuteczność w procesie usuwania zanieczyszczeń gazowych. Podczas gdy podstawowa technologia obu tych systemów jest podobna, kryteria konstrukcyjne w zakresie usuwania cząsteczek i gazów znacznie różnią się od siebie. Jednakże, aby zredukować koszty kapitałowe, systemy płuczek wodnych są często stosowane do kontrolowania mieszanych emisji cząstek i gazów. Konstrukcja jest więc kompromisem, jednakże może stanowić najlepszą możliwą technikę w sytuacji, gdy oddzielne systemy kontroli są wykluczająco kosztowne. Systemy płuczek wodnych mogą być również podatne na blokowanie cząstkami nierozpuszczalnymi, co prowadzi do tworzenia się odpadów w formie szlamu. Technologia ta została bardziej szczegółowo opisana w dziale 4.5.6.1.2 w odniesieniu do działań niezakładających topienia wełny mineralnej, w szczególności zastosowań w obszarze formowania się zanieczyszczeń, oraz w dziale 4.4.3.4 w odniesieniu do usuwania gazów kwaśnych (SO_x, HCl, HF, związki boru, itp.).

W niektórych zastosowaniach można rozważyć wykorzystanie płuczek gazowych zwężkowych. Systemy te charakteryzują się dużym spadkiem ciśnienia i co za tym idzie, wysokim zużyciem energii, co skutkuje wysokimi kosztami operacyjnymi. Mimo iż płuczki gazowe zwężkowe wykazują wysoką skuteczność usuwania zanieczyszczeń, technologia ta jest uznawana w większości przypadków za technicznie i ekonomicznie niepraktyczną z powodu rozmiarów procesów produkcyjnych szkła. Jednakże eliminacja emisji pyłów za pomocą płuczek wodnych może mieć zastosowanie w niektórych wyspecjalizowanych operacjach, zwłaszcza jeżeli konieczne jest również wyeliminowanie emisji gazów.

W przypadku większości pieców szklarskich, stosowanie płuczek wodnych nie jest użyteczną lub najbardziej optymalną technologią efektywnego kosztowo ograniczania emisji pyłów.

Osiągnięte korzyści środowiskowe

Dane dotyczące skuteczności stosowania systemów płuczek wodnych w konwencjonalnych piecach szklarskich nie są dostępne.

Skuteczność płuczek wodnych stosowanych w elektrycznych piecach w procesie produkcji specjalnych odmian szkła została przedstawiona w dziale 4.4.3.4.

Podsumowanie głównych zalet i wad związanych ze stosowaniem płuczek wodnych zostało przedstawione w Table 4.13..

Tabela 4.13: Główne zalety i wady płuczek wodnych

<p><u>Zalety:</u> Jednoczesne usuwanie pyłów i gazowych substancji zanieczyszczających Mniejsze wymogi przestrzenne</p> <p><u>Wady:</u> Tworzenie strumienia ścieków, który musi zostać poddany oczyszczaniu Wysoka skuteczność jedynie wraz ze spadkiem ciśnienia oraz wysokim zużyciem energii</p> <p><u>Trudności i wysokie koszty odzyskiwania pyłów/szlamu, w celu ponownego wykorzystania przy formowaniu zestawu składników</u></p>
--

Ekonomia

Szacowane koszty inwestycyjne i operacyjne związane ze stosowaniem systemów płuczek wodnych w piecach szklarskich zostały podsumowane poniżej [94, Beerkens - APC Evaluation 2008].

- W przypadku pieców tlenowych wytwarzających 100 – 150 ton szkła borokrzemowego niskokrystalicznego dziennie, inwestycja szacowana jest na EUR 2,65 mln, przy rocznych kosztach operacyjnych wynoszących EUR 286 400 oraz kosztach jednostkowych wynoszących od EUR 14,4 do EUR 21,5 za tonę wytopionego szkła, w oparciu o koszty usuwania pyłów, wynoszące EUR 100 do 400 za tonę pyłu.
- W przypadku konwencjonalnych pieców powietrznych/gazowych wytwarzających 100 – 150 ton szkła borokrzemowego niskokrystalicznego dziennie, inwestycja szacowana jest na EUR 2,96 mln, przy rocznych kosztach operacyjnych wynoszących EUR 300 000 oraz kosztach jednostkowych wynoszących od EUR 15,7 do EUR 20,5 za tonę wytopionego szkła, w oparciu o koszty usuwania pyłów i szlamu, wynoszące EUR 100 do 400 za tonę pyłu.

Przykładowe zakłady

W przemyśle szklarskim znanych jest niewiele przypadków zastosowania płuczek wodnych, w szczególności w sektorach wytwarzania szkła gospodarczego i włókna szklanego ciągłego. Są to:

- Bormioli Luigi, Parma, Włochy, szkło gospodarcze (piece elektryczne)
- PPG Industries Fibre Glass, Hoogezand, Holandia, włókno szklane ciągłe.

Bibliografia

[94, Beerkens - APC Evaluation 2008]

4.4.2 Tlenki azotu (NO_x)

[88. FEVE Proposal Ch.4-NO_x 2007]

Termin „tlenki azotu (NO_x)” obejmuje tlenek azotu (NO) oraz dwutlenek azotu (NO₂), wyrażony jako ekwiwalent (NO₂). Tlenek dwuazotu (N₂O) nie jest normalną substancją zanieczyszczającą w przemyśle szklanym i nie jest objęty terminem „NO_x”. Trzema głównymi źródłami emisji NO_x z czynności wytapiania szkła są surowce, paliwo oraz NO_x poddawane procesowi cieplnemu. Czwarte źródło, NO_x natychmiastowe (pochodzące z reakcji azotu drogą złożoną z krótkotrwałymi grupami węglowodorowymi) jest stosunkowo mało ważne.

W przypadku, gdy azotany są obecne w zestawie składników, NO_x będą emitowane w trakcie topienia materiałów. Ogólnie rzecz biorąc, większość azotu jest emitowana w postaci NO_x i nie wchodzi w skład szkła. Przykładowo, w procesie topnienia azotanu sodu (NaNO₃), sód wchodzi w skład szkła jako Na₂O, zaś reszta związku jest uwalniana w postaci gazów (NO_x, O₂ oraz N₂).

Paliwowe NO_x pochodzi z utlenienia azotu i związków azotowych obecnych w paliwie, jednakże całkowity jego wkład jest niski w porównaniu z NO_x formującymi się w wyniku procesu termicznego. Przy stosowaniu zasilania w postaci gazu ziemnego, ilość NO tworzących się w wyniku spalania paliwa wynosi zero. Jednakże azot może zostać dodany do gazu ziemnego w celu kontroli liczby Wobbego oraz wartości opałowej. Ma to szczególne znaczenie dla NO_x formujących się w wyniku procesu termicznego w piecach tlenowych, co zostało omówione w dziale 4.4.2.5..

Ze względu na wysokie temperatury w piecach szklarskich (do 1 650°C oraz do 2 500°C w płomieniu), głównym źródłem NO_x jest NO_x generowane termicznie, pochodzące z utleniania azotu w atmosferze spalania, w temperaturach powyżej 1 300°C. Głównymi źródłami azotu są powietrze spalania, powietrze rozpylane (w piecach olejowych), zawartość azotu w gazie ziemnym (w przypadku spalania tlenowego) oraz przeciek powietrza do pieca. Dominującym gatunkiem jest NO (90 - 95 %), formującym się w wyniku reakcji N₂ + O₂ → 2NO. Stężenia NO₂ są bardzo niskie, a większość NO₂ stwierdzonego w emisji pochodzi z atmosferycznego utleniania NO. Warunki panujące w piecu powodują, że tlenek dwuazotu (N₂O) nie jest wykrywany w emisjach.

W piecach podgrzewanych elektrycznie, NO_x pochodzi jedynie z rozpadu zestawu składników. W piecach szybowych do produkcji wełny skalnej ma miejsce atmosfera odtleniająca, a poziom emisji NO_x jest ogólnie bardzo niski. Emisje mogą wystąpić po zainstalowaniu systemu dopalaczy gazów odlotowych. Celem takiego systemu jest utlenienie tlenku węgla i siarkowodoru.

W piecach opalanych paliwami kopalnymi, w przypadku gdy wszelkie inne czynniki kształtują się na równym poziomie, poziom emisji NO_x formującego się w wyniku procesu termicznego spada po zmniejszeniu zużycia paliwa. Dlatego też technologie poprawiające wydajność energetyczną przynoszą ogólny efekt w postaci niższego ogólnego poziomu emisji NO_x, wyrażonego w kg NO_x/tonę wytopionego szkła. Jednakże stężenie emisji nie zawsze daje się obniżyć, w szczególności gdy ilość gazów odlotowych jest niższa. Redukcja w NO_x formujących się w wyniku procesu termicznego wynika z połączenia czynników, jednakże głównie z niższych temperatur oraz niższych poziomów powietrza spalania. Technologie zmniejszające poziom emisji NO_x, stosowane głównie w celu zmniejszenia zużycia energii, zostały opisane w dziale 4.8 i nie będą tu omawiane.

4.4.2.1 Modyfikacje procesu spalania

Opis

Formowanie się NO_x w wyniku procesu termicznego zależy od szeregu reakcji chemicznych; proces ten został opisany w sposób jakościowy za pomocą poniższego wzoru.

$$\frac{d[NO_x]}{dt} = \frac{A}{T^{0.5}} \exp\left(-\frac{B}{T}\right) \times [N_2] \times [O_2]^{0.5}$$

A i *B* oznaczają stałe szybkości reakcji, *T* oznacza temperaturę płomienia (K), zaś *t* oznacza czas przebywania w temperaturze *T* (w sekundach). Wszystkie gazy (NO_x, N₂, O₂) zostały wyrażone w postaci stężeń (gmol/m³).

Dlatego też głównymi czynnikami mającymi wpływ na formowanie się NO_x są temperatura płomienia, zawartość tlenu w strefie reakcji oraz czas przebywania w strefie wysokiej temperatury płomienia. Podstawowe środki kontrolne w odniesieniu do NO_x mają na celu wytworzyć warunki maksymalnie utrudniające formowanie się NO_x, tj. uniknięcie jednoczesnej obecności azotu i tlenu w wysokiej temperaturze. Główne technologie minimalizacji formowania się NO_x w wyniku procesu termicznego zostały opisane poniżej.

a. Zmniejszony stosunek powietrza do paliwa

Infiltracja powietrza do pieca, szczególnie w bliskości dysz palnika oraz przez podajnik zestawu składników, może doprowadzić do zwiększonego poziomu NO_x . Blok palnika daje się stosunkowo łatwo uszczelnić, można również podjąć działania zapobiegające przedostawaniu się powietrza w obszarze podawania zestawu surowców. Środki te są stosunkowo tanie i całkiem skuteczne. Zmniejszenie poziomu NO_x zależy od poziomu początkowego, jednakże może osiągnąć wartość do 10%.

Ogólnie rzecz biorąc, piece wykorzystują do działania nadmiar powietrza wynoszący 5 – 10% (np. nadmiar tlenu wynoszący 1 – 2%), w celu zapewnienia pełnego spalania. Poprzez redukcję stosunku powietrza do paliwa do poziomów niemal stechiometrycznych, można osiągnąć znaczne zmniejszenie poziomu NO_x , co może przynieść efekt w postaci znacznych oszczędności energii, mimo że niewielki nadmiar powietrza jest wymagany, aby zapobiec znacznym stratom środka klarującego z zestawu i aby zapewnić odpowiednią jakość szkła. W celu skutecznego wdrożenia tej technologii, konieczne będzie monitorowanie poziomów NO , CO oraz O_2 w gazach odlotowych. Jeżeli spalanie ma charakter sub-stechiometryczny, może wzrosnąć poziom tlenku węgla oraz nastąpić zużycie warstwy ogniotrwalej, zaś wartość utleniająco-redukująca szkła może się zmienić, mając wpływ na jakość szkła.

Jeżeli do opalania pieca stosowany jest olej napędowy, ilość powietrza w piecu może zostać jeszcze bardziej zmniejszona za pomocą gazu ziemnego, wysokiego ciśnienia lub pary, jako alternatywa dla powietrza koniecznego do rozpylenia oleju. Prowadzi to do zmniejszenia poziomu tlenu i zmniejszenia szczytowych temperatur płomienia. Wyniki uzyskiwane za pomocą tej technologii są różne – niektóre zastosowania przynoszą bardzo niewielkie korzyści.

Ten rodzaj zmiany musi być wdrażany ostrożnie i stopniowo, aby uniknąć problemów i osiągnąć jak najlepsze wyniki. W niektórych przypadkach (np. piece rekuperacyjne), jeśli rozważymy stechiometrię pieca, palnik w niektórych ustawieniach może korzystać z nadmiaru paliwa w najgorętszych częściach pieca, w innych zaś ustawieniach może korzystać z nadmiaru powietrza w częściach chłodniejszych. Ogółem, stosunek będzie zbliżony do stechiometrycznego.

b. Zmniejszona temperatura powietrza spalania

Temperatura płomienia może zostać obniżona za pomocą zmniejszenia temperatury podgrzewania powietrza do spalania. Przykładowo, temperatury powietrza spalania w piecach rekuperacyjnych są znacznie niższe od tych panujących w piecach regeneracyjnych, co przynosi efekt w postaci niższych temperatur płomienia oraz niższych stężeń NO_x . Jednakże niższa temperatura podgrzewania skutkuje niższą skutecznością pieca (słabszy ciąg), niższą wydajnością paliwową i tym samym, wyższym zapotrzebowaniem na paliwo oraz potencjalnie wyższym poziomem emisji (kg/tonę szkła) NO_x , CO_2 , tlenków siarki, cząstek itp. Dlatego też, ogólnie rzecz biorąc, wydaje się, że technologia ta może przynieść niewielkie korzyści ekonomiczne lub dla środowiska.

c. Spalanie stopniowe

Jeżeli paliwo oraz powietrze/tlen są wtłaczane w tym samym miejscu palnika, wówczas wytwarza się płomień o głównej strefie utleniania na gorąco znajdującej się w pobliżu otworu przelotowego oraz chłodniejszej strefie wtórnej znajdującej się nieco dalej. Większość NO_x jest wytwarzana w najgorętszej strefie. Dlatego też poprzez zmniejszenie proporcji powietrza do paliwa wtłaczanego do palnika, zmniejszeniu ulega również maksymalna temperatura oraz wytwarza się mniejsza ilość NO_x . Pozostałe paliwo, powietrze lub tlen są dodawane w późniejszej fazie, w strefie spalania. Zastosowanie tej zasady jest podstawą stopniowego spalania, w obu przypadkach etapowania powietrza do spalania lub paliwa.

Etapowanie powietrza do spalania polega na spalaniu sub-stechiometrycznym, a następnie dodaniu pozostałego powietrza lub tlenu do pieca, w celu dokończenia spalania. Istnieje kilka sposobów etapowania powietrza lub tlenu do spalania. Pierwsze doświadczenia z etapowym spalaniem za pomocą gorącego powietrza były problematyczne. W USA opracowano takie technologie, jak stopniowe wdmuchiwanie powietrza (BAS) oraz okresowe wzbogacanie powietrza (OEAS).

Według stanu z 2010 r., nie są dostępne informacje na temat zastosowania procesu stopniowego spalania za pomocą powietrza.

Stopniowanie paliwa opiera się na następującej zasadzie: w kołnierzu otworu przelotowego tworzy się płomień gazu o niskim impulsie (ok. 10% całkowitej energii). Płomień wtórny pokrywa podstawę płomienia pierwotnego, zmniejszając zawartość tlenu w płomieniu pierwotnym oraz temperaturę rdzenia. Tym samym utrudnia się formowanie NO_x . Technika ta jest stosowana na szeroką skalę w przemyśle szklarskim i wykorzystywana jest powszechnie w najbardziej konwencjonalnych piecach. W momencie powstawania niniejszej publikacji (2010) nie przewidywano dalszych ulepszeń tej metody.

d. Recyrkulacja gazów spalinowych

Gazy spalinowe z pieca mogą zostać ponownie wtłoczone do płomienia, w celu zmniejszenia zawartości tlenu i tym samym temperatury i skuteczności tworzenia się NO_x . Natrafiono na trudności przy stosowaniu tej techniki w przemyśle szklarskim na pełną skalę. Innowacyjne zastosowanie technologii opartej na wewnętrznej recyrkulacji gazów spalinowych (zwanej spalaniem bezpłomieniowym lub utlenianiem bezpłomieniowym) ma miejsce od 2007 r. w piecu rekuperacyjnym wytwarzającym szkło specjalne (oświetleniowe) w zakładach Osram, w niemieckim mieście Augsburg. Stosowany system opiera się na wykorzystaniu palników wykonanych w specjalnej technologii 'Glass- FLOX®' oraz automatycznej recyrkulacji gazów spalinowych. W tym przypadku recyrkulacja gazów spalinowych odbywa się bezpośrednio w komorze spalania, zaś spalone gazy są wykorzystywane do rozcieńczenia płomieni FLOX®. Zastosowanie to wykazuje skuteczność w zakresie redukcji emisji NO_x na poziomie 46-59% w porównaniu z wartością początkową. Jednakże zastosowanie to jest nadal uznawane za technologię w fazie rozwoju; została więc ona opisana w dziale 6.1.

e. Palniki o niskiej emisji NO_x .

Termin ten obejmuje zestaw systemów palników zastrzonych lub opracowanych przez firmy szklarskie, zaprojektowanych w celu minimalizacji tworzenia się NO_x . Systemy te mogą się różnić co do zasady działania i mogą charakteryzować się różnymi właściwościami, w tym opisanymi powyżej i wymienionymi poniżej. Systemy opalania za pomocą gazów różnią się w pewnych kwestiach od systemów opalania za pomocą oleju. Główne właściwości systemów palników o niskiej emisji NO_x zostały podane poniżej.

- Wolniejsze mieszanie paliwa i powietrza w celu zmniejszenia szczytowej temperatury płomienia (kształtowanie płomienia).
- Minimalne prędkości wtłaczania pozwalające na pełne spalanie (opóźnione lecz pełne spalanie).
- Zwiększony współczynnik emisji (napromienianie) płomienia wraz z optymalizacją przenoszenia ciepła do wsadu roztopionego. Dlatego też, niższy poziom temperatury może nadal zapewniać wymagany poziom energii do wytapiania, ze względu na wysoką jaskrawość subiektywną płomienia (efektywną emisję ciepła).
- Różne konstrukcje dysz umożliwiają instalowanie wielu dysz paliwowych przypadających na jeden palnik; niektóre dysze są chronione przed dostępem powietrza przez inne dysze paliwowe, tworząc sadzę ulepszającą przenoszenie ciepła i chłodzenie płomienia, co skutkuje zmniejszeniem poziomu tworzących się NO_x . Produkcja sadzy może stanowić potencjalny problem związany z jakością szkła.
- Pełne spalanie przy minimalnym stosunku powietrza do paliwa.

f. Wybór paliwa

Ogólnym doświadczeniem przemysłu szklarskiego jest to, że piece zasilane gazem charakteryzują się wyższym poziomem emisji NO_x niż piece zasilane olejem. Istnieją różnice pomiędzy typami pieców i ich zastosowaniem, jednakże różnice pomiędzy piecami zasilanymi gazem i piecami zasilanymi olejem dochodzą nierzadko do 25-40%. Ogólnie rzecz biorąc, korzystanie z oleju napędowego przynosi około 5% oszczędność zużycia energii w porównaniu z piecem zasilanym gazem ziemnym. Główną przyczyną tego stanu rzeczy jest to, że płomienie gazowe mają niższy współczynnik emisyjności cieplnej od płomieni olejowych, co wymaga wyższych temperatur płomienia, aby

umożliwić ten sam przepływ ciepła do wsadu roztopionego i tym samym umożliwić lepsze warunki do tworzenia się NO_x . Jednakże w miarę zdobywania doświadczenia w zakresie konstruowania pieców gazowych, różnice pomiędzy dwoma paliwami w zakresie różnic w poziomach emisji NO_x oraz zużycia paliwa zmniejszyły się. W niektórych zastosowaniach (np. szkło opakowaniowe) wydajność paliwowa i emisje NO_x pochodzące z pieców opalanych gazem stopniowo zbliżają się do tych, którymi charakteryzują się piece opalane olejem, co jest skutkiem odpowiedniego dostosowania płomienia. Jednakże porównanie wydajności energetycznej uzyskanej za pomocą oleju napędowego oraz gazu ziemnego zależy w dużej mierze od konstrukcji pieca oraz palnika.

Do pewnego stopnia, wypalanie za pomocą mieszanki oleju i gazu utrzymuje korzyści w kontekście promieniowania płomienia olejowego przy jednoczesnym zastosowaniu gazu ziemnego w odpowiedniej proporcji. Metoda ta jest stosowana na coraz większą skalę w niektórych sektorach.

Jak już zostało stwierdzone, zawartość azotu w gazie ziemnym jest pomijalna, jednakże azot można dodawać w różnych proporcjach, różniących się od siebie w poszczególnych regionach. Dodatek azotu do gazu ziemnego może być konieczny w celu kontroli wartości opałowej oraz indeksu Wobbego, który musi być utrzymywany na stałym poziomie, przykładowo w gospodarstwach domowych z powodów bezpieczeństwa. Praktyka ta jest stosowana w Holandii w sieci dystrybucji gazu ziemnego, gdzie w składzie gazu znajduje się 11 – 14% azotu. W Wielkiej Brytanii stężenie azotu w dostarczonym do gospodarstw domowych gazie oscyluje w granicach 0,1 a 5,7% w całym kraju, według krajowej sieci dystrybucji gazu; sytuacja taka ma również miejsce w innych państwach członkowskich, np. w Portugalii i we Włoszech. To źródło azotu będzie miało szczególnie znaczący wpływ na emisje NO_x z pieców wykorzystujących proces tlenowo-paliwowy.

Wybór pomiędzy gazem a olejem napędowym zależy w dużej mierze od warunków gospodarczych oraz polityki energetycznej państw członkowskich. Zależy on również od dostępności paliwa, w którym to aspekcie mogą występować różnice geograficzne, oraz w ujęciu sezonowym zależy od bezpieczeństwa dostaw. Przykładowo, w Portugalii gaz ziemny jest przeważającym paliwem wykorzystywanym w sektorze szkła opakowaniowego, w którym również wykorzystuje się bardzo niewiele energii elektrycznej.

Osiągnięte korzyści środowiskowe

Redukcje emisji, które są możliwe do osiągnięcia za pomocą wspomnianych technologii modyfikacji spalania zostały podane w opisie każdej z tych technologii.

Skutki stosowania tych technologii nie są skumulowane, gdyż istnieją różne sposoby osiągania tych samych, szeroko nakreślonych celów. Dlatego też 10% redukcja emisji wynikająca z zastosowania jednej technologii nie może zostać po prostu dodana do 10% redukcji uzyskanej za pomocą innej technologii.

Całkowite poziomy redukcji emisji w zakresie zoptymalizowanych systemów spalania różnią się między sobą od poniżej 10% do powyżej 70%. W przypadku pieca, w którym opalanie następowało bez lub z niewielkim udziałem tych technologii, w większości zastosowań należy spodziewać się redukcji emisji o 40-60%.

Rzeczywiste poziomy emisji możliwe do osiągnięcia za pomocą tych technologii różnią się znacznie od siebie, w zależności od punktu wyjścia, wieku oraz konstrukcji pieca oraz, w szczególności, od rygoru ich stosowania i monitorowania. Za pomocą stosunkowo prostych środków da się uzyskać bardzo wiele korzyści, jeśli tylko środki te są w odpowiedni sposób stosowane. W ciągu ostatniej dekady przemysł szklarski dokonał znacznych postępów w zakresie minimalizacji emisji NO_x za pomocą modyfikacji procesu spalania oraz dużych nakładów przeznaczonych na ten cel.

Dane zbiorcze za rok 2005, dotyczące stosowania podstawowych technologii w odniesieniu do pieców produkujących szkło opakowaniowe zostały przedstawione w tabeli 3.15, gdzie średnie stężenie emisji NO_x dla pieców opalanych gazem wynosi $1\ 000\ \text{mg}/\text{Nm}^3$, a dla pieców opalanych olejem napędowym $750\ \text{mg}/\text{Nm}^3$.

Zob. również dane dotyczące przykładowych instalacji, przedstawione w tabeli 4.15.

Skutki przenoszenia zanieczyszczeń pomiędzy komponentami środowiska

Głównym skutkiem przenoszenia zanieczyszczeń pomiędzy komponentami środowiska związanym ze stosowaniem większości opisanych technologii jest emisja tlenku węgla (CO) ze względu na lokalne sub-stechiometryczne warunki spalania w piecu wraz z potencjalnymi problemami związanymi z piecami rekuperacyjnymi oraz regeneracyjnymi, w których CO jest utleniane do CO₂.

Czasami zakończenie procesu spalania może nastąpić w górnych częściach pieców regeneracyjnych, powodując wzrost temperatury, co generuje wyższe poziomy emisji SO_x ze względu na zjawisko parowania/rozkładu siarczanów odkładających się na powierzchni pieców regeneracyjnych.

Lokalne zaistnienie warunków redukcyjnych może być również odpowiedzialne za zwiększone parowanie z wsadu roztopionego i co za tym idzie, za wyższe poziomy emisji pyłów. Co więcej, może nastąpić wczesny rozkład siarczanów stosowanych w zestawie wraz z wynikającą z niego utratą skuteczności procesu klarowania oraz wyższymi poziomami emisji SO_x.

Zmiana paliwa z gazu ziemnego na olej, w celu poprawy współczynnika emisji płomienia oraz zmniejszenia emisji NO_x, doprowadzi do znaczącego wzrostu emisji SO_x, co jest związane z zawartością siarki w oleju napędowym. Co więcej, zastosowanie oleju napędowego będzie miało wpływ na emisje CO₂, z powodu wyższej intensywności emisji.

Dane operacyjne

Ogólnie rzecz biorąc, piece regeneracyjne z palnikami w ścianie czołowej powodują niższe emisje NO_x niż piece regeneracyjne z opalaniem krzyżowym (zob. dział 4.2), a technologie opisywane w tym dziale są bardziej skuteczne dla pieców z palnikami w ścianie czołowej. Jeśli chodzi o sektor szkła opakowaniowego, stosując piece z opalaniem krzyżowym osiągnięto poziomy emisji wynoszące 700 - 1100 mg/Nm³ oraz 0,9 - 2 kg na tonę szkła. W odniesieniu do pieców z palnikami w ścianie czołowej osiągnięto poziomy emisji wynoszące 550 - 800 mg/Nm³ oraz 1,5 kg na tonę szkła. Wartości niższe od zaprezentowanych powyżej stwierdzono w niewielu zastosowaniach.

Wyniki w zakresie pieców rekuperacyjnych są bardziej zróżnicowane, jednakże może być to skutkiem bardziej zróżnicowanych sposobów korzystania z tych pieców. Wyniki porównywalne (lub czasem niższe) z piecami regeneracyjnymi osiągnięto w piecach rekuperacyjnych służących do wytapiania szkła opakowaniowego oraz włókna szklanego ciągłego.

Ogólnie rzecz biorąc, oczekuje się, że emisje tlenku węgla (mierzone w kominie) związane ze stosowaniem technologii modyfikacji spalania w piecach szklarskich zasilanych powietrzem/paliwem będą wynosiły poniżej 100 mg/Nm³.

W przypadku pieców, w których wytapia się szkło float, o wydajności 650 ton dziennie i zasilanych olejem napędowym o niskiej zawartości siarki, średnia roczna wartość emisji CO wynosi 38 mg/Nm³ (0,107 kg/tonę wytopionego szkła). Odpowiadająca temu średnia wartość emisji NO_x wynosi 733 mg/Nm³ (2,07 kg/tonę wytopionego szkła). Stężenia emisji zarówno CO, jak i NO_x odnoszą się do pomiarów ciągłych.

Stwierdzono poziom emisji CO, wynoszący 30 mg/Nm³, z pieca rekuperacyjnego o wydajności 400 ton dziennie, zasilanego gazem ziemnym lub mieszkanką olejowo-gazową, służącego do wytapiania szkła opakowaniowego. Piec wykorzystuje palniki niskoemisyjne NO_x, co pozwala na osiągnięcie poziomu emisji NO_x wynoszącego około 500 mg/Nm³ (1 kg/t). Stężenia emisji CO oraz NO_x są wynikiem pomiarów miejscowych [165, France 2010].

Oczekuje się, że zastosowanie pierwotnych technologii w sektorze fryt szklanych nie przyniesie takich samych wyników, jak w innych sektorach przemysłu szklarskiego, ze względu na osobliwą charakterystykę pieców małogabarytowych, które działają zwykle w warunkach utleniania (nadmiar

powietrza do spalania, wzbogacanie tlenem) oraz nadają się do przetwarzania form zestawu składników zawierających znaczne ilości azotanów (zob. dział 3.10.2.2).

Zestawienie głównych zalet i wad związanych ze stosowaniem modyfikacji spalania zostało przedstawione w Table 4.14..

Tabela 4.14: Główne zalety i wady modyfikacji spalania

<u>Zalety:</u>	
•	___ Niskie koszty względne
•	___ Znacząca redukcja emisji NO _x osiągalna dla większości typów pieców
•	___ Zastosowanie w nowych i istniejących piecach (choć czasami jedynie w drodze przeróbki podczas naprawy)
•	___ Technologie te mogą nierzadko przynieść znaczne oszczędności energii
•	___ Niższe temperatury pieca i niższe zużycie energii przynoszą efekt w postaci niższego ogólnego poziomu emisji
<u>Wady:</u>	
•	___ W celu osiągnięcia najlepszych rezultatów konieczne jest posiadanie dużego doświadczenia (zarówno w fazie rozruchu, jak i normalnego funkcjonowania)
•	___ Aby uzyskać najlepsze wyniki może zaistnieć konieczność przeprowadzenia modyfikacji konstrukcji pieca
•	___ Należy dołożyć starań w celu zapobieżenia problemom w zakresie jakości szkła ze względu na zmiany utleniająco-redukujące
•	___ Konieczne jest kontrolowanie poziomów CO, w celu uniknięcia zniszczenia materiałów ogniotrwałych. Co więcej, poziomy CO muszą być kontrolowane pod kątem nadmiernego parowania z płynnego szkła, w celu zapobieżenia wczesnemu rozkładowi siarczanów w warstwie wsadu
•	___ Bardziej redukująca atmosfera może spowodować wzrost emisji SO ₂ ze względu na wzmocnione zjawisko parowania i rozkładu

Przykłady poziomów emisji NO_x związanych ze stosowaniem modyfikacji procesu spalania w piecu wytapiającym zostały przedstawione w Table 4.15..

Tabela 4.15: Przykłady poziomów emisji NO_x związanych ze stosowaniem modyfikacji procesu spalania

	Szkoło opakowanie we⁽¹⁾	Szkoło opakowaniowe⁽²⁾	Szkoło płaskie⁽²⁾	Szkoło płaskie⁽²⁾	Szkoło gospodarcze
Paliwo	Gaz ziemny	Gaz ziemny + olej napędowy	Olej napędowy	Gaz ziemny + olej napędowy	Olej napędowy
Typ pieca	Regeneracyjny z opalaniem krzyżowym	Regeneracyjny z palnikami w ścianie czołowej	Regeneracyjny z opalaniem krzyżowym	Regeneracyjny z opalaniem krzyżowym	Regeneracyjny z palnikami w ścianie czołowej
Całkowita zdolność wytapiania	350 t/dziennie	300 t/dziennie	350 t/dziennie	800 t/dziennie	125 t/dziennie
Rzeczywista prędkość ciągnięcia	275 t/dziennie	297 t/dziennie	259 t/dziennie	700 t/dziennie	110 t/dziennie
Wspomaganie elektryczne	Nie	Tak	Tak	Tak	Nie
Typ szkła	Krzemianowe	Brunatne	Szkoło lane	Szkoło float	Nieokreślone
Stłuczka	60 %	72 %	30 %	35 %	40 %
Typ działania wstępnego	Zmniejszony stosunek paliwa do powietrza; działania uszczelniające; projekt pieca;	Zmniejszony stosunek paliwa do powietrza; działania uszczelniające;	Zmniejszony stosunek paliwa do powietrza; działania uszczelniające; dostosowanie	Zmniejszony stosunek paliwa do powietrza; działania uszczelniające; dostosowanie	Działania uszczelniające; dostosowanie lambda

	modyfikacja palników	dostosowanie lambdy; projekt pieca; modyfikacja palników	lambdy; projekt pieca; modyfikacja palników	lambdy; projekt pieca; modyfikacja palników	
Zużycie energii	3.78 GJ/t szkła	4.21 GJ/t szkła	5.71 GJ/t szkła	5.20 GJ/t szkła	4.97 GJ/t szkła
Powiązane poziomy emisji (emisje NO_x)					
mg/Nm ³ , suchy gaz przy 8% O ₂	909	507	780	750	827
kg/t wytopionego szkła	1.42	0.82	1.89	1.54	1.71
(1) Piec jest wyposażony w podgrzewacz wsadu i stłuczki. (2) Piece są wyposażone w system odzysku ciepła. <i>Źródło:</i> T75, Germany-HVG Glass Industry report 20071					

Zasadniczo technologie te mają zastosowanie do wszystkich konwencjonalnych pieców zasilanych paliwem kopalnym (i podlegają wymienionym powyżej ograniczeniom). Większość technologii można zastosować w istniejących i nowych piecach. Jednakże korzyści płynące z niektórych technik (np. palniki o niskiej emisji NO_x) mogą zostać osiągnięte w pełni jedynie w połączeniu z optymalną konstrukcją i geometrią pieca, która charakteryzuje jedynie nowe piece.

Osiągnięcie sukcesu za pomocą tych technologii może zależeć również od doświadczenia operatora oraz zasobów naukowych. Optymalizacja systemów wymaga dłuższego okresu stopniowego eksperymentowania i monitorowania oraz znacznego doświadczenia technicznego. Operatorom nieposiadającym takich zasobów oferowane są specjalistyczne usługi w zakresie modyfikacji i optymalizacji procesu spalania w piecach. Oczywiście tego rodzaju prace rozwojowe generują dodatkowe koszty technologiczne.

Zakres, w którym technologie te mogą być stosowane różni się także w zależności od produktu i wymagań procesowych. Przykładowo, w niektórych zakładach produkcyjnych szkła gospodarczego lub opakowniowego (butelki luksusowe, małe opakowania lub butelki do perfum), wymogi jakościowe produktu powodują, że uzyskane szkło musi być wysoce utlenione i bardzo przezroczyste. Zakłada to dłuższy czas przebywania w piecu, wyższe temperatury oraz stosowanie środków utleniających, które przyczyniają się do wyższych emisji NO_x i co ogranicza zastosowanie niektórych z wyżej wymienionych technologii. Przykład ten został omówiony szerzej w dziale 4.4.2.2.

Tendencją obserwowaną we wszystkich sektorach przemysłu szklarskiego jest ciągle ulepszanie procesu poprzez rozszerzanie w miarę możliwości zastosowania tych technologii oraz próby stwierdzenia, jakich poziomów emisji można oczekiwać w przyszłości stosując technologie wstępne.

Ekonomika

Koszty obejmują kupno regulowanych palników, droższych materiałów ogniotrwałych dla pieców regeneracyjnych, czujników tlenu (w przypadku pieców z opalaniem krzyżowym wymagana jest większa liczba czujników tlenu oraz bardziej złożony system kontroli w porównaniu z piecami regeneracyjnymi z palnikami w ścianie czołowej), jednostki kontrolnej do pomiaru stosunku powietrza do paliwa oraz koszty konserwacji i siły roboczej w zakresie modyfikowania i kontroli ustawień palników.

Wymiana palników oraz zmiany w bloku palników oznaczają zwykle konieczność poniesienia kosztów w wysokości od 50 000 do 100 000 EUR w przypadku pieca z palnikami w ścianie czołowej do 300 000 – 400 000 EUR w przypadku pieca z opalaniem krzyżowym. Koszt systemu czujników tlenu wynosi zwykle pomiędzy 20 000 a 25 000 EUR w przypadku palników w ścianie czołowej oraz pomiędzy 60 000 a 125 000 w przypadku pieców z napromieniowaniem krzyżowym [94, Beerkens - APC Evaluation 2008].

W przypadku dokonywania zmian w konstrukcji pieca, należy wziąć pod uwagę dodatkowe koszty inwestycyjne w zakresie materiałów ogniotrwałych oraz konstrukcji stalowych, które mogą wynosić 2

mln EUR w przypadku pieców wytapiających szkło float oraz 700 000 EUR w przypadku pieców z palnikami w ścianie czołowej, służących do wytapiania szkła opakowaniowego.

Koszty modyfikacji procesu opalania są stosunkowo niskie i mogą czasami zostać zrównoważone niższymi kosztami operacyjnymi, wynikającymi z oszczędności energii. Koszty palników stanowią koszty wymiany (z wyłączeniem kosztów dodatkowych), natomiast w przypadku nowego pieca koszty dodatkowe są bardzo niskie. Systemy etapowego spalania za pomocą powietrza mogą być znacznie droższe.

Technologie podstawowe wraz z optymalizacją zestawu surowców szklarskich są ogólnie rzecz biorąc znacznie tańsze od wtórnych technologii oczyszczania. Koszty porównawcze zostały przedstawione w dziale 8.1.7..

Motywacja do wdrożenia technologii

Ulepszenie oraz wdrożenie podstawowych środków ukierunkowanych na zmniejszenie poziomu emisji NO_x opiera się na zasadzie mówiącej, że działania podejmowane w celu zapobieżenia tworzeniu się NO_x charakteryzują się ogólnie bardziej pozytywnym oddziaływaniem na środowisko niż technologie „końca rury”, a mianowicie niższe oddziaływanie ekonomiczne oraz potencjał oszczędności energii, prowadzący do zmniejszenia emisji innych substancji zanieczyszczających, tj. CO₂. Biorąc pod uwagę fakt, że wprowadzenie środków podstawowych i wtórnych w odniesieniu do tego samego pieca jest możliwe, należy przeprowadzić pełną ocenę ekonomiczną oraz zbadać oddziaływanie na inne aspekty, aby stwierdzić, czy przeprowadzenie modyfikacji jest uzasadnione środowisko lub ekonomicznie. W szczególności, jeżeli środki podstawowe przyczyniły się do osiągnięcia lub przewiduje się, że przyczynią się do osiągnięcia pewnego poziomu emisji, decyzja o tym, czy przeznaczenie dodatkowych nakładów na środki wtórne jest uzasadnione, powinna zostać podjęta na podstawie wiedzy o tym, co można osiągnąć dzięki środkom podstawowym.

Przykładowe zakłady

W 2005 r. w sektorze szkła pojemnikowego zastosowano technologie podstawowe w ponad 76 piecach. W innych sektorach przemysłu szklanego skutecznie stosuje się jedną lub więcej tego typu technologii. Wiele pieców w Europie i Stanach Zjednoczonych posiada regulowane palniki oraz czujniki tlenu, w celu sprawowania kontroli nad procesem spalania (stosunek powietrza do paliwa). Ma to zastosowanie do procesu produkcji szkła opakowaniowego, szkła float oraz szkła specjalnego.

Bibliografia

[33, Beerkens 1999] [64, FEVE 2007] [94, Beerkens - APC Evaluation 2008] [88, FEVE Proposal Ch.4-NO_x, 2007] [117, GWI, VDI-Berichte Nr. 1988 2007] [118, CTCV Data for BREF revision 2007]

4.4.2.2 Przygotowanie zestawu

W procesie wytwarzania szkła azotany są wykorzystywane jako środki utleniające. Zdecydowanie najczęściej używanym azotanem jest azotan sodu, jednakże w odniesieniu do specjalnych zastosowań szkła stosowane są również azotan potasu lub azotan baru. Azotan sodu (NaNO₃) jest często używany w połączeniu ze środkami klarującymi (np. As₂O₃, Sb₂O₃, CeO₂), które wymagają utlenienia lub utrzymywania w najbardziej utlenionym stanie przed rozpoczęciem procesu klarowania (uwolnienia gazowego tlenu ze wsadu roztopionego). Tym samym, azotan pośrednio bierze udział w procesie klarowania, mimo że w większości zastosowań siarczan sodu jest preferowanym środkiem klarującym. W procesie wytapiania azotany dysocjują do postaci NO, NO₂, N₂ oraz O₂. O₂ jest stosowany do utleniania wsadu roztopionego (zwłaszcza żelaza Fe²⁺ do Fe³⁺), w celu uzyskania bardzo przejrzystego szkła, oraz do utleniania wszelkich komponentów organicznych zestawu składników.

Zastosowanie azotanów różni się pomiędzy poszczególnymi sektorami przemysłu szklanego. Są one rzadko wykorzystywane w produkcji szkła płaskiego lub opakowaniowego, z wyjątkiem produkcji wyrobów o bardzo wysokiej jakości (butelki luksusowe lub flakony na perfumy i kosmetyki), wyrobów niezabarwionych lub mocno zabarwionego szkła, np. szkła szarego lub brązowego. Azotany są stosowane w sektorze szkła gospodarczego w produkcji wyrobów o wysokiej jakości, wymagających dużej przejrzystości optycznej i niskich poziomów Fe²⁺. Azotany są używane na

szeroką skalę w sektorze szkła specjalnego, w produkcji telewizorów (lampy elektronopromieniowe), szkła boro-krzemianowego, ceramicznego i optycznego oraz w sektorze produkcji fryt [99, ITC-C080186 2008].

Piece elektryczne wytapiające szkło o znacznym stopniu utlenienia lub w których wytapiane są surowce zawierające związki organiczne (np. odpady z wełny szklanej) mogą również wymagać zastosowania azotanów jako środków utleniających.

W produkcji wełny szklanej azotany są czasami wykorzystywane do wyrównania zużycia tlenu podczas spalania materiałów organicznych zawartych w zestawie składników, zwłaszcza jeśli do zestawu dodawane są duże ilości szkła z odzysku. W produkcji fryt azotany wchodzi w skład zestawu wielu produktów, co ma na celu uzyskanie pożądanej charakterystyki. Ogółem, szacuje się, że 7 – 9 % produkcji szkła w UE wykorzystuje znaczne ilości azotanów. Typowo stosuje się 0,5 - 1% azotanów, tj. 5 – 10 kg NaNO₃ na tonę szkła. W odniesieniu do niektórych procesów, np. produkcja szkła telewizyjnego lub fryt, wielkość ta może dochodzić do 4% lub więcej. W trakcie wytapiania emitowane są głównie takie gazy, jak NO i O₂ oraz mniejsze ilości N₂ and NO₂. Na 1% azotanów wprowadzonych do zestawu, maksymalna emisja NO_x wynosi 5,4 kg/tonę szkła. Wartość ta odpowiada około 2 200 mg/Nm³ przy 8 % O₂, np. w odniesieniu do typowego pieca wytapiającego szkło gospodarczego. Rzeczywiste emisje NO_x pochodzące z azotanów oscylują pomiędzy 30 a 80%, przy czym typowa wartość w warunkach przemysłowych wynosi około 50 – 65% (mimo iż często stwierdza się pełen zakres wartości).

Ilość NO emitowanego z azotanów zależy od stopnia podgrzania, stanu utleniająco-redukcyjnego zestawu oraz efektów redukcji gazów (redukcja płomieni) wchodzących w kontakt z warstwą zestawu zawierającą azotany.

Stosowanie skutecznych alternatyw do azotanów jest ograniczone kwestiami środowiskowymi i ekonomicznymi. Przykładowo, możliwe jest zastosowanie siarczanów, jednakże konieczna ilość jest znacznie większa, ponad trzykrotnie, oraz emitowany jest SO₂. Możliwe jest także zastosowanie tlenków arsenu, jednakże są one wycofywane z użycia z powodów środowiskowych. W niektórych przypadkach można użyć tlenku ceru, jednakże jest on wielokrotnie droższy od azotanu sodu. Niektóre modyfikacje procesu mogą również wpłynąć na zmniejszenie wymaganej ilości azotanów, jednakże są one ogólnie zakazane z powodów jakościowych oraz ze względu na wymogi energetyczne, restrykcje dotyczące wydajności oraz tworzenie się NO_x w procesie termicznym.

Podsumowując, obecnie panująca w przemyśle szklarskim opinia, że poziom azotanów da się obniżyć do minimum poprzez eksperymenty proporcjonalne do wymagań produktowych oraz procesu wytapiania, jednakże z powodów ekonomicznych i środowiskowych nie jest jeszcze dostępna skuteczna alternatywa (stan na 2010 r.).

W wielu państwach członkowskich ustawodawstwo zezwala na dwukrotne podwyższenie górnej granicy emisji NO_x w odniesieniu do szkła wymagającego dodatku azotanów. Podejście to nie jest uznawane za proporcjonalne z celami dyrektywy 2008/1/WE. Nie zezwala ono na szeroki rozstrzał w zakresie ilości dodawanych azotanów i nie stanowi dużego bodźca do minimalizacji stosowania azotanów.

Co więcej, w odniesieniu do procesów, w których dodawana jest niewielka ilość azotanów, dwukrotne podwyższenie granicy emisji może ukryć wysoki poziom emisji NO_x tworzących się w procesie termicznym i może negatywnie wpłynąć na optymalizację warunków spalania.

Dodawanie azotanów nie może być uznawane za odrębną cechę procesu wytapiania. Ogólnie rzecz biorąc, rodzaje szkła wymagające dodatku azotanów mogą charakteryzować się innymi ograniczeniami związanymi z ich zastosowaniem. Przykładowo, proces wytapiania szkła sodowo-wapniowego, zastawy stołowej lub opakowań luksusowych różni się od produkcji szkła opakowaniowego nie tylko zastosowaniem azotanów, lecz także: czasem przebywania (co najmniej 50% dłuższym), wymogiem lepszych warunków utleniania wsadu roztopionego oraz w piecu, a także wyższymi temperaturami szkła (między 50 a 100 °C i więcej). Wszystkie te kwestie przyczyniają się do wyższych emisji NO_x na jednostkę produkcji szkła i mogą być dwu lub trzykrotnie wyższe niż

emisje z pieców regeneracyjnych z palnikami w ścianie czołowej, stosowane do wytapiania szkła opakowaniowego.

Koszty metod zmniejszania dodatku azotanów oraz możliwe do uzyskania poziomy emisji są bardzo trudne do obliczenia; zależą one w ogromnej mierze od punktu startowego i są właściwe dla każdego przypadku.

4.4.2.3 Specjalne konstrukcje pieców

Obawy związane z emisjami NO_x doprowadziły do tego, że niektórzy konstruktorzy pieców przedstawili typy pieców rekuperacyjnych, integrujących różne cechy mające na celu uzyskanie niższych temperatur płomienia i tym samym niższych emisji NO_x. Najbardziej znanym tego typu piecem jest piec LoNO_x®. Inną dostępną konstrukcją jest piec Flex®, który początkowo miał być przeznaczony do zastosowań nieciągłych, jednakże do tej pory większość zbudowanych pieców jest wykorzystywanych w systemie ciągłym. Uznaje się, że piec Flex® charakteryzuje się podobnym poziomem emisji NO_x do kotła do wytapiania LoNO_x®. Krótki opis pieca Flex® jest zawarty w dziale 2.3.7, jednakże szczegółowo został opisany jedynie piec LoNO_x®.

Konstrukcje pieców typu regeneracyjnego również mogą zostać zmodyfikowane w celu obniżenia emisji NO_x. Nie są jednak dostępne szczegółowe informacje na temat tych zastosowań. Ogólnie rzecz biorąc, ważnymi parametrami dotyczącymi konstrukcji pieców, w odniesieniu do kwestii formowania się/ograniczania emisji NO_x są:

- typ palników
- liczba działających palników
- kąt nachylenia palników
- kąt nachylenia otworu do palnika
- rozmiar otworów do palnika (który ma wpływ na prędkość, z jaką powietrze dostaje się do komory spalania)
- odległość pomiędzy palnikiem/otworem do palnika a wsadem roztopionym
- wysokość i rozmiar komory spalania (ogólnie rzecz biorąc, zwiększone rozmiary są związane z niższą emisją NO_x oraz nieco większym zużyciem energii przez piec do wytopu szkła)
- geometria płomienia proporcjonalnie do komory spalania.

Opis

W piecu LoNO_x® stosuje się połączenie klarowania w płytkim basenie oraz wstępnego podgrzewania surowców w celu osiągnięcia zmniejszonych poziomów emisji NO_x, możliwie bez kompromisu w postaci zmniejszonych właściwości termicznych.

Wstępne podgrzewanie powietrza spalania jest procesem rekuperacyjnym; stosowane jest dwufazowe wstępne podgrzewanie surowców w celu wyrównania redukcji występującej w procesie podgrzewania powietrzem spalającym w porównaniu z piecem regeneracyjnym. Gazy odlotowe z głównych palników przechodzą nad surowcami ładowanymi do pieca, w obszernej strefie wstępnego topienia, zanim trafią do rekuperatorów. Po wejściu do pieców rekuperacyjnych gazy odlotowe przechodzą przez zewnętrzny moduł wstępnego ogrzewania słuczki, zanim w końcu opuszczą cały układ.

Moduł rafinujący za pomocą płytkiej kąpieli wymusza krytyczną drogę prądu w pobliżu powierzchni warstwy kąpieli szkła, co powoduje tym samym zmniejszenie różnicy temperatury pomiędzy warstwą kąpieli a nadbudową pieca. Piec może funkcjonować w niższych temperaturach niż porównywalne piece konwencjonalne.

Piec LoNO_x® jest długi i wąski i jest podzielony na trzy części. Pierwsza część stosowana jest do wstępnego podgrzewania, a następnie do wstępnego stopienia zestawu i słuczki. Kolejną strefą jest obszar wstępnego klarowania, w którym głębokość kąpieli szkła jest zmniejszona do 400 mm (lub mniej). Ostatnią strefą zbiornika jest moduł głębokiej rafinacji.

Podgrzewanie następuje dzięki palnikom gazowym lub olejowym w strefie wytapiania i, w szczególności, w obszarze rafinowania. Gazy odlotowe są usuwane z układu ponad zestawem i stłuczką w pierwszej strefie pieca, co powoduje wstępne podgrzanie materiałów. Piec jest podzielony za pomocą ścianek wewnętrznych, tak aby surowce ładowane do pieca nie były bezpośrednio podgrzewane ciepłem emitowanym z gorętszych części pieca. Dlatego też utrzymywana jest duża różnica temperatury pomiędzy surowcami a gazami, dzięki czemu osiągnięte zostaje skuteczne przenoszenie ciepła.

Piec może zostać wyposażony we wspomaganie elektryczne, które w niewielkim stopniu pomaga w utrzymywaniu prądów konwekcyjnych w strefie wstępnego podgrzewania oraz zapobiega powstawaniu stosunkowo niskich temperatur poniżej warstwy zestawu składników. Efekt ten jest wspomagany za pomocą barbotera, umieszczonego w końcowej części strefy wytapiania.

Zewnętrzny moduł podgrzewający stłuczkę jest umieszczony za rekuperatorem i stanowi ważną część pieca LoNOx[®]. Jest to system bezpośredniego podgrzewania, w którym gorące gazy odlotowe oraz stłuczka przeznaczona do podgrzania znajdują się we wzajemnym kontakcie. Stłuczka oraz gazy odlotowe przesuwają się przeciwnie.

Stłuczka wchodzi do struktury wieżowej od góry i powoli przesuwa się w dół do wyjścia; gazy odlotowe wchodzi do pieca od dołu i są usuwane z układu u góry. Moduł wstępnego podgrzewania posiada wewnętrzne łopatki żaluzjowe, które rozpraszają gazy odlotowe bardziej równomiernie w kolumnie stłuczki. Czas przebywania stłuczki w module wstępnego podgrzewania wynosi około pięciu godzin. Gazy odlotowe wchodzące do modułu wstępnego podgrzewania mają zwykle temperaturę 500 °C, a wychodzące zwykle 200 °C. Temperatura wstępnego podgrzewania stłuczki wynosi zwykle około 350 °C.

Osiągnięte korzyści środowiskowe

Ze względu na niższe temperatury spalania, osiągnięto całkiem niskie poziomy emisji NO_x. Stwierdzono, iż piec LoNO_x[®] charakteryzuje się poziomem emisji wynoszącym 500 mg/Nm³, co jest równe <1 kg NO_x na tonę wytopionego szkła. Osiągnięcie niższych emisji może być możliwe wraz ze zwiększeniem doświadczenia operacyjnego oraz stosowaniem technologii optymalizacji spalania.

Technologia ta może przynieść dobre efekty energetyczne; dla stosunku stłuczki wynoszącego 90 – 95% oraz wspomaganie elektryczne wynoszącego 3% stwierdzono wartości około 3,3 GJ na tonę wytopionego szkła. Wartość ta, aczkolwiek nie skorygowana pod kątem energii pierwotnej, porównuje korzystne i nowoczesne piece regeneracyjne, mimo iż tak wysoki udział stłuczki (90 - 95%) może być trudny do utrzymania z powodu braku stłuczki użytkowej, co będzie miało wpływ na wartości w zakresie wydajności energetycznej.

W odniesieniu do normalnych warunków operacyjnych, określone zużycie energii jest podobne do zużycia przez piec regeneracyjny.

Dane dotyczące wydajności pieca LoNO_x[®], produkującego 358 ton szkła opakowaniowego dziennie, zawierającego 80% stłuczki w zestawie składników wskazują, że zużywa on 4,0 GJ energii na tonę szkła (w tym wspomaganie elektryczne, nie biorąc jednak pod uwagę całkowitej energii pierwotnej), a poziom emisji NO_x wynosi 336 mg/Nm³ przy 8 % tlenu. [75, Germany-HVG Glass Industry report 2007]

Wpływ na inne aspekty

Piec LoNO_x[®] został zaprojektowany tak, aby przyjmował duże ilości stłuczki, co może spowodować wzrost emisji metali oraz gazowych komponentów kwaśnych (SO_x, HCl, HF) zawartych w surowcach.

Z powodu małej głębokości szkła, naturalną właściwością konstrukcji jest długi, wąski piec, a powierzchnia pieca może być znacznie większa od powierzchni konwencjonalnego pieca rekuperacyjnego o określonej prędkości ciągnięcia. Zwiększa to wymogi przestrzenne, koszty

kapitałowe oraz wymogi w zakresie materiałów do budowy pieca i ich składowania po okresie użytkowania.

Tak jak w przypadku wszystkich systemów wstępnego podgrzewania słuczki, istnieje potencjał emisji zanieczyszczeń organicznych, w tym substancji zapachowych oraz dioksyn/furanów. Wedle pomiarów, poziom emisji dioksyn jest niższy od 0.1 ng/Nm³ I-TEQ. Kwestie te zostały omówiony szerzej w dziale 4.8.

Dane operacyjne

Dane zostały podane wraz z opisem.

Zastosowanie

Technologia konstruowania specjalnych pieców opiera się na wstępnym podgrzewaniu zestawu surowców, co jest trudne do osiągnięcia bez dużej ilości słuczki. Piece te są w rzeczywistości zdolne do pracy jedynie wówczas, gdy użyte zostaną duże ilości słuczki, tj. ponad 70%. Dlatego też w trakcie sporządzania niniejszego dokumentu (2010) technologia ta miała zastosowanie jedynie w sektorze szkła opakowaniowego i w piecach, które przyjmują >70% słuczki. Technologia ta może być stosowana jedynie w wyniku całkowitej przebudowy pieca.

Wymiary zbiornika (długi i wąski) mogą również ograniczyć zastosowanie, jeżeli istnieją ograniczenia przestrzenne.

Ekonomia

W 1998 r. oszacowano, że dla pieca wytapiającego 350 ton szkła opakowaniowego dziennie, dodatkowe koszty operacyjne wynikające z zastosowania tej technologii są pomijalne, jednakże dodatkowe koszty kapitałowe mogą dochodzić do 1,8 miliona EUR. Do tej pory nie uzyskano innych informacji.

Motywacja do wdrożenia technologii

Brak danych.

Przykładowe zakłady

Wiegand & Sohne, Steinbach am Wald, Niemcy – szkło opakowaniowe.

Bibliografia

[60, SORG 1999] [20, Ehrig et al. 1995] [75, Germany-HVG Glass Industry report 2007] [7, Ind.duVerre 1996],

4.4.2.4 Proces FENIX

Opis

Proces FENIX jest oparty na połączeniu pewnej liczby środków podstawowych, mających na celu optymalizację procesu spalania w piecach regeneracyjnych służących do wytapiania szkła float, z palnikami w ścianie przedniej, oraz redukcję zużycia energii. Podobnie, jak w przypadku technologii modyfikacji procesu spalania, opisanych w dziale 4.4.2.1, optymalizacja procesu spalania w procesie FENIX odnosi się do:

- zmniejszenia nadmiaru powietrza;
- eliminacji punktów gorących dzięki homogenizacji temperatur płomienia; oraz kontrolowania mieszania paliwa oraz powietrza spalania, bez powodowania problemów związanych z jakością szkła lub emisji tlenku węgla.

Proces FENIX zakłada również całkowitą modyfikację systemu spalania, zwłaszcza zastosowanie nowego typu wtryskiwacza. Wtryskiwacze te przechodzą właśnie procedurę patentową i różnią się od

siebie w zależności od stosowanego źródła energii (gaz, olej ciężki lub energia mieszana) i są związane z nowymi konstrukcjami pieców, w tym:

- ogólne wymiary (długość, szerokość, głębokość szkła) również zależą od prędkości ciągnięcia
- konstrukcja otworów do palnika
- regeneratory (oddzielne komory).

Technologia może być wdrożona w piecach korzystających z gazu, oleju ciężkiego lub połączenia tych źródeł energii. Kontrola spalania odbywa się poprzez:

- minimalizację nadmiaru powietrza poprzez redukcję powietrza wykorzystywanego do rozpylania oleju napędowego, specjalną konstrukcją płyt kielichowych, eliminację punktów dostępu zimnego powietrza oraz konserwację pieców;
- zmniejszenie prędkości mieszania paliwa/powietrza poprzez optymalizację liczby, rodzajów i pozycji (kątownachylenia) wtryskiwaczy w porcie palnikowym.

Technologia ta obejmuje również przegląd systemu kontroli pieca oraz instalację metod monitorowania niektórych parametrów pieca. W szczególności, w górnej części komór regeneracyjnych instalowane są próbniki tlenu, w celu zapewnienia lepszej kontroli nad nadmiarem powietrza.

Główne właściwości technologii FENIX zostały opisane we wniosku patentowym [38, FENIX 1998], zaś modyfikacje tej technologii, dokonane po 1998 r., przechodzą obecnie procedurę patentową.

Osiągnięte korzyści środowiskowe

Proces FENIX umożliwia ciągłą stabilizację emisji

W wyniku specjalnej konserwacji pieca, ograniczono pełne zastosowanie technologii Fenix



Rysunek 4.6: Emisje

Wpływ na inne aspekty

W momencie sporządzania niniejszego dokumentu (2010 r.), wpływ na inne aspekty nie został

poddany ocenie. **Dane operacyjne**

Jak stwierdzono w Glass BREF, przyjętym w 2001 r., pierwszy test w zakładzie Aniche (Francja), w którym piece zasilane były wówczas olejem napędowym, został przeprowadzony na podstawie modyfikacji systemu spalania opisanego we wniosku patentowym [38, FENIX 19981 i wskazał na wydajność wynoszącą 510 - 580 mg/Nm³ (1,25 kg NO_x/tonę wytopionego szkła) w krótkim okresie testowym. Obecnie (2010 r.) piec jest zasilany w 60% gazem oraz w 40% olejem ciężkim, a emisje NO_x zostały trwale ustabilizowane na poziomie wyższym niż osiągnięty w trakcie testów, wynoszącym 700 - 800 mg/Nm³.

W międzyczasie proces Fenix został zastosowany w innych piecach i osiągnięto ten sam zakres emisji (700 - 800 mg/Nm³).

Zastosowanie

Proces FENIX wymaga ostrożnego stosowania przez wyspecjalizowany zespół. Proces ten został w pełni rozwinięty w co najmniej dziewięciu piecach zakładów Saint-Gobain Glass w Europie. Technologia ta jest dostępna dla procesów produkcyjnych szkła float, przy jej bezpośrednim zintegrowaniu z konstrukcją pieca.

W 2001 r. przedsiębiorstwo Saint-Gobain Glass oznajmiło, że jest gotowe do udzielenia niewyłącznej licencji technologii FENIX innym producentom szkła, pod warunkiem, że zostałyby osiągnięte porozumienie dotyczące warunków tej licencji. Jednakże stosowanie tej technologii wymaga uprzedniego przeprowadzenia badania pieca przez dostawcę; konieczność ta może bardzo utrudnić zastosowanie u innych producentów szkła z powodów związanych z poufnością danych konstrukcyjnych.

W momencie opracowywania tego dokumentu (2010 r.) technologia ta była stosowana jedynie w piecach regeneracyjnych z opalaniem krzyżowym i, ze względu na swoją specyfikę, nie jest możliwe objęcie nią pieców wykorzystujących inne technologie.

Tendencje wykazane przez pierwsze rezultaty uzyskane w zakładzie Aniche, które zostały zawarte w Glass BREF z 2001 r., zostały odtworzone w innych piecach, wykorzystujących inne rodzaje paliw, co pozwoliło stwierdzić, że zakres emisji wynoszący 700 - 800 mg/Nm³ może zostać osiągnięty na trwałe.

Ekonomika

Koszty kapitałowe, w tym modyfikacje pieca (wysokie koszty materiałów ogniotrwałych), zastosowanie nowych palników oraz ulepszonych systemów kontroli, wynoszą około 1,5 mln EUR, co obejmuje dostosowanie do istniejącego pieca zasilanego przynajmniej częściowo olejem napędowym. W przypadku nowego zakładu lub jego przebudowy koszty dodatkowe byłyby jednak mniejsze i wyniosłyby około 1 mln EUR. Należałoby również wziąć pod uwagę kwestie opłat licencyjnych oraz czasu i doświadczenia wymaganego do wdrożenia tej technologii.

Siła napędowa procesu wdrażania

Brak danych.

Przykładowe zakłady

Saint-Gobain Glass, Stolberg, Niemcy – szkło float

Saint-Gobain Glass, Herzogenrath, Niemcy – szkło float

Saint-Gobain Glass, Chanteraine, France – szkło float

Saint-Gobain Glass, Aniche, France – szkło float.

Bibliografia

4.4.2.5 *Topienie tlenowo-paliwowe*

Opis

Topienie tlenowo-paliwowe obejmuje zastąpienie powietrza spalającego tlenem (>90% czystości). Technologia ta może być stosowana zarówno w piecach zasilanych gazem ziemnym lub olejem, mimo iż zasilanie gazowe jest częściej spotykane. Eliminacja większości azotu z atmosfery spalania redukuje ilość gazów odlotowych (składających się głównie z CO₂ oraz pary wodnej) o 70 – 85%, w zależności od czystości tlenu.

Topienie tlenowo-paliwowe może być bardzo skuteczną technologią oczyszczania NO_x oraz, poza wyjątkami opisanymi poniżej, może być uznawana jako technologicznie potwierdzona.

Ogólnie rzecz biorąc, podstawowa konstrukcja pieców tlenowo-paliwowych jest taka sama, jak pieców rekuperacyjnych i posiada kilka bocznych palników oraz pojedynczy otwór do odprowadzania gazów odlotowych. W większości nowoczesnych pieców, geometria jest zoptymalizowana pod kątem spalania tlenowo-paliwowego oraz minimalizacji emisji NO_x. Piece wykorzystujące spalanie tlenowe nie są obecnie wyposażone w systemy odzyskiwania ciepła w celu wstępnego podgrzewania tlenu dostarczanego do palników. Dzieje się tak ze względów bezpieczeństwa.

Technologia ta posiada potencjał oszczędzania energii na miejscu, ponieważ nie jest konieczne podgrzewanie azotu atmosferycznego do temperatury płomieni. Podgrzewana jest mniejsza ilość powietrza do spalania i tym samym mniej energii traci się wraz z gazami odlotowymi. Potencjalne oszczędności energii zależą w dużej mierze od pieca konwencjonalnego, z którym technologia ta jest porównywana. Jednakże ogólne oszczędności energii należy ocenić biorąc pod uwagę energię pośrednią związaną ze stosowaniem spalania tlenowo-paliwowego.

Dokonując oceny wydajności pieca tlenowo-paliwowego w porównaniu z piecem konwencjonalnym (paliwowo-powietrznym), należy wziąć pod uwagę skuteczność systemu odzyskiwania gazów odlotowych (rekuperator, regeneratory, itp.) oraz ilość energii koniecznej do wytworzenia tlenu. Ta złożona kwestia została omówiona w dalszej części tego działu.

Potencjał tworzenia się NO_x w wyniku procesu termicznego jest znacznie zmniejszony, gdyż główne źródło azotu w piecu jest znacznie mniejsze, mimo iż pewna ilość azotu jest nadal obecna w atmosferze spalania. Pochodzi ona z azotu resztkowego znajdującego się w tlenie (absorpcja ciśnieniowa, absorpcja próżniowa 4 - 6%, niskie temperatury <0,5%), azotu znajdującego się w paliwie (gaz ziemny o nasyceniu azotem wynoszącym 2 – 15%), azotu pochodzącego z rozpadu azotanów oraz z powietrza niepożądanego. Ze względu na wysokie temperatury płomienia, N₂ obecne w każdej postaci jest łatwiej przetworzyć w NO_x, i nawet niskie poziomy N₂ mogą okazać się znaczące. Dlatego też ważne jest zminimalizowanie dostępu powietrza do pieca.

Przepływ gazów odlotowych jest 4 do 7 razy mniejszy w porównaniu z piecami zasilanymi powietrzem; ich temperatura może być bardzo wysoka (1200 - 1450 °C) i zwykle wymaga chłodzenia. Ze względu na wysoką zawartość wody oraz stężenie czynników korozyjnych (np. chlorków i siarczanów), chłodzenie odbywa się najczęściej poprzez rozcieńczanie za pomocą powietrza. Po rozcieńczeniu ilość gazów odlotowych wynosi zwykle pomiędzy 30 a 100 % ilości charakterystycznej dla pieców konwencjonalnych, w zależności stopnia niezbędnego rozcieńczenia.

Topienie tlenowo-paliwowe wymaga innej konstrukcji palnika od tej, którą stosuje się w konwencjonalnych piecach zasilanych gazem i powietrzem. Od momentu wprowadzenia tej technologii, systemy palników zostały istotnie zmodernizowane, od wczesnych modyfikacji istniejących konstrukcji dla zastosowania tlenowo-paliwowego do obecnych, wysoko wyspecjalizowanych palników tlenowo-paliwowych, o niskiej emisji NO_x, opracowanych specjalnie dla procesu wytwarzania szkła. Systemy te mogą przejmować niektóre właściwości innych palników wysokiej wydajności, o niskim poziomie emisji NO_x, przeznaczonych do wypalania

konwencjonalnego. Niektóre z ważnych cech głównych systemów zastrzeżonych zostały omówione poniżej:

- palniki o długich, szerokich jasnych płomieniach, umożliwiające jednolite przekazywanie ciepła
- palniki o wielokrotnym wtrysku tlenu, umożliwiające prowadzenie etapowego procesu spalania
- płaskie płomienie o szerszym obszarze pokrycia
- opóźnione mieszanie paliwa i tlenu, w celu zmniejszenia szczytowych temperatur płomienia w strefie nasyconej tlenem
- brak chłodzenia wodą
- dostosowanie płomienia do pędu i kształtu
- możliwość korzystania z wielu paliw.

Tlen wymagany do spalania może być dostarczany, bądź wytwarzany na miejscu. Z wyjątkiem zastosowań na bardzo niewielką skalę (np. odosobnione piece frytowe), wymagania dotyczące ilości tlenu zwykle powodują, że bardziej opłaca się produkować go na miejscu. Jednakże, jeśli zakład znajduje się w pobliżu przemysłowego rurociągu z tlenem, często bardziej efektywnie kosztowo jest uzyskiwanie tlenu bezpośrednio z rurociągu. Istnieją dwie główne technologie wytwarzania tlenu na miejscu, kriogenicznie lub za pomocą systemu absorberów. Zakład, w którym wytwarzany jest tlen jest często własnością dostawcy, będącego jednocześnie operatorem, który nakłada opłatę za dostawę tlenu, mimo iż niektórzy operatorzy będą preferować całkowitą własność zakładu wytwarzania tlenu. Zakłady wytwarzania tlenu na miejscu są zawsze wyposażone w rezerwowy magazyn ciekłego tlenu. Tlen jest wytwarzany kriogenicznie poprzez sprężenie powietrza i wtłoczenie go do modułu oczyszczającego w celu usunięcia pyłów, dwutlenku węgla oraz śladowych substancji zanieczyszczających. Oczyszczone powietrze jest następnie schładzane i przepuszczone przez kolumnę destylującą w niskiej temperaturze, w której następuje oddzielenie. Oddzielone gazy mogą zostać podgrzane w wymiennikach ciepła, w celu uzyskania tlenu i azotu w postaci gazowej oraz, w razie konieczności, ciekły tlen może zostać pobrany z zimniejszych części systemu.

Proces absorpcji przyjmuje zwykle jedną z dwóch form: absorpcja ciśnieniowa lub absorpcja próżniowa. Obydwie są systemami niekriogenicznymi, a oddzielenie następuje w temperaturze otoczenia. Sprężone powietrze wchodzi na dno jednego z dwóch naczyń absorbera wypełnionych zeolitem, który pochłania większość azotu. Tlen jest usuwany z górnej części naczynia, aż do momentu, w którym zeolit staje się nasycony azotem. Strumień powietrza jest następnie kierowany do drugiego naczynia, podczas gdy azot z pierwszego naczynia jest uwalniany do powietrza. W systemie próżniowym azot jest usuwany poprzez próżnię i jest wypuszczany pod ciśnieniem w systemie ciśnieniowym. System próżniowy jest zwykle najbardziej skuteczny.

Technologia jest zwykle znacznie tańsza, niż kriogeniczne otrzymywanie tlenu za pomocą dostaw, jednakże charakteryzuje się ona mniejszą wydajnością w porównaniu z systemem kriogenicznym i jest najczęściej wybierana przy średnim zapotrzebowaniu na tlen.

Większość zakładów dostarczających tlen do jednego lub dwóch pieców do wytapiania szkła wybierze właśnie te technologie (absorpcja ciśnieniowa, absorpcja próżniowa). W przypadku wielu pieców lub pieców o wysokim zapotrzebowaniu na O_2 (np. szkło float), preferowany może być system kriogeniczny. Wybór zależy głównie od czynników ekonomicznych, na które wpływ mogą mieć warunki lokalne. W przypadku instalacji do wytwarzania szkła float, systemy kriogeniczne współpracują przy wytwarzaniu tlenu do spalania oraz azotu do komory, w której szkło float jest wytwarzane na warstwie stopionego metalu.

Technologia częściowego opalania tlenowo-paliwowego jest stosowana w przemyśle szklarskim od wielu lat. Testowane były dwie różne technologie: lancowanie tlenowe, polegające na dodatkowym wtrysku O_2 w konwencjonalnym piecu powietrzno-paliwowym, w celu poprawy przenoszenia ciepła lub dodanie palnika zasilanego czystym tlenem i paliwem. Technologia ta była stosowana głównie do rozwiązywania problemów dotyczących jakości szkła poprzez pozycjonowanie bardzo gorących płomieni na stopionej powierzchni, w celu zwiększenia gradientów temperatury oraz wzmocnieniu prądów konwekcyjnych we wsadzie roztopionym. Zmniejsza się również przepływ gazów odlotowych, przy jednoczesnym zasilaniu systemu taką samą ilością energii. Technologia ta była

często stosowana w celu wydłużenia cyklu operacyjnego pieca, który wykazywał oznaki zniszczenia lub problemy z regeneratorem. Technologia ta jest nadal wykorzystywana w ten sposób, jednakże stosuje się ją już rzadziej, z powodu problemów z potencjalnie zwiększoną emisją NO_x wynikającą z wysokich temperatur. Stosowane są również bezotworowe palniki tlenowe, chociażby w piecach do wytapiania szkła float, w końcowej fazie procesu funkcjonowania pieca, w celu poprawy topienia warstwy zestawu.

Osiągnięte korzyści środowiskowe

Należy zauważyć, że stężenie substancji zanieczyszczających w odniesieniu do pieców tlenowych może pokazywać znacznie wyższe wartości, niż te charakterystyczne dla pieców powietrzno-paliwowych, ze względu na zmniejszenie ilości gazów spalinowych. Korekta stężeń emisji do 8% tlenu nie ma znaczenia dla pieców tlenowych, gdyż zawartość tlenu w gazach spalinowych obejmuje zarówno możliwy nadmiar tlenu dostarczanego do spalania oraz powietrze dostające się do pieca i systemu gazów odlotowych. W takich przypadkach bardziej odpowiednie jest stosowanie jednostkowych emisji masowych (kg/tonę szkła).

Zasada ta powinna mieć zastosowanie nawet wówczas, gdy do jednego komina doprowadzana jest mieszanka gazów spalinowych z różnych pieców, za pomocą różnych technologii spalania (tlenowe, wzbogacanie tlenem, powietrzne), co ma często miejsce w przypadku instalacji do produkcji fryt szklanych, w celu uniknięcia nieprawidłowego oszacowania poziomu emisji.

Główną korzyścią dla środowiska, płynącą ze spalania tlenowego jest znaczny potencjał redukcji emisji NO_x (w kontekście czynników emisji), w odniesieniu do ekwiwalentu pieca powietrzno-paliwowego, niewykorzystującego podstawowych lub wtórnych technologii oczyszczania, który wynosi ponad 70%. Wartość ta wyraźnie zależy od punktu porównania i może być wyższa niż 95% i niższa niż 60%. Stwierdzono określone wartości emisji, wynoszące około 0,5 kg NO_x/tonę szkła, w zależności od konkretnego zużycia energii, typu gazu ziemnego, typu/jakości tlenu oraz wieku pieca. W szczególnych przypadkach, da się osiągnąć poziom emisji wynoszący jedynie 0,23 kg/tonę szkła, przy zastosowaniu opalania tlenowo-paliwowego (zob. tabela 4.17) [75, Germany-HVG Glass Industry report 2007].

W sektorze fryt szklanych, stwierdzona redukcja emisji NO_x, osiągnięta za pomocą pieców zasilanych tlenem i paliwem, wynosi 20-45% ze względu na osobliwą konfigurację i warunki operacyjne pieców wytapiających (niewielkie ciśnienie ujemne), które pozwalają na przedostawanie się powietrza do pieca (zob. tabela 3.51).

Poza wyborem palnika, możliwe do osiągnięcia poziomy emisji zależą w znacznym stopniu od typu gazu ziemnego dostarczonego do systemu spalania, który może zawierać znaczny odsetek azotu, oraz innych parametrów opisanych w poniższym dziale poświęconym danym operacyjnym.

Opalanie tlenowo-paliwowe może również przyczynić się do zmniejszenia ogólnego poziomu emisji materiałów lotnych z pieca (pyły, fluorki, chlorki, itp.), ze względu na zmniejszony przepływ gazu nad wsadem roztopionym oraz, w niektórych przypadkach, zmniejszoną turbulencję, pomimo wysokiego stężenia pary wodnej w atmosferze pieca, które stymuluje parowanie metali alkalicznych lub boru.

Emisje pyłów przy produkcji szkła sodowo-wapniowego mogą zostać zmniejszone o 10-30% w porównaniu z początkowymi poziomami emisji (zasilanie powietrzno-paliwowe), mimo iż nie jest to obserwowane przy wszystkich zastosowaniach. Emisje pyłów są najskuteczniej zredukowane w przypadku szkła zawierającego bor (do 50%), w szczególności szkło borowo-alkaliczne. W Stanach Zjednoczonych, motywacją stojącą za przechodzeniem na wytapianie tlenowo-paliwowe było, w niektórych przypadkach, obniżenie emisji pyłów, nie zaś obniżenie emisji NO_x. W przypadkach, gdy zastosowanie opalania tlenowego przynosi efekt w postaci zmniejszenia zużycia paliwa, prowadzi to również do niższego poziomu SO₂, pod względem czynników emisji, jeżeli do zasilania pieców stosowany jest olej. Jednakże poziom emisji SO_x może wzrosnąć, jeżeli zmniejsza się zatrzymywanie siarki w szkłe, co jest spowodowane zmienoną równowagą pomiędzy roztopionym płynnym szkłem a gazami spalającymi. Bezpośrednie emisje CO₂ również ulegają zmniejszeniu, proporcjonalnie do

oszczędności energii, mimo iż należy również wziąć pod uwagę pośrednie emisje CO₂, odpowiadające energii elektrycznej wymaganej do wytworzenia tlenu, wraz z emisjami innych substancji zanieczyszczających wytwarzanych w elektrowni.

Wpływ na inne aspekty

Główne skutki przenoszenia zanieczyszczeń wynikającego ze spalania tlenowo-paliwowego widoczne są w poziomie emisji wytwarzanych w początkowych fazach procesu, w zakładzie wytwarzającym energię stosowaną do produkcji tlenu. Produkcja tlenu wymaga około 0,4 - 1 kWh/Nm³ i, według podstawowych źródeł energii, powiązane emisje zrównoważą w większym lub mniejszym stopniu potencjał redukcji emisji NO_x, CO₂ oraz energii uzyskanej w wyniku zastosowania zasilania tlenowo-paliwowego do procesu wytapiania szkła.

Tak jak w przypadku wszystkich działań oczyszczających, wymagających wykorzystania energii, korzyści dla środowiska zaobserwowane na miejscu są częściowo osłabione, gdy weźmiemy pod uwagę emisje pośrednie.

W szczególności, stwierdzone skutki przenoszenia zanieczyszczeń są następujące:

- emisje NO_x pośrednio związane z produkcją tlenu wynoszą do 10 – 15 % redukcji bezpośrednich emisji NO_x;
- na podstawie przykładów stwierdza się zwiększenie emisji CO₂ wynoszące 35 – 230% w porównaniu z redukcją bezpośrednich emisji uzyskanych dzięki zaoszczędzeniu energii;
- w ujęciu uśrednionym, produkcja tlenu za pomocą absorpcji próżniowej wymaga około 1,44 MJ/Nm³ energii, co odpowiada około 24% energii spalania wykorzystywanej przez piec, biorąc pod uwagę współczynnik konwersji elektrycznej wynoszący 33% w elektrowni (1 MJ energii ze spalania dostarczonej do pieca zasilanego w systemie tlenowo-paliwowym odpowiada 1,24 MJ energii podstawowej).
- SO_x pyły oraz inne emisje do atmosfery są związane z wytwarzaniem energii elektrycznej.

Ogólnie rzecz biorąc, można stwierdzić, że jeśli oszczędności energii wynikające z zastosowania procesu opalania zasilanego tlenem i paliwem przeważają nad kosztami produkcji tlenu, wówczas zmniejszony poziom emisji znacząco przeważa poziom emisji związanych z produkcją energii.

W piecach rekuperacyjnych bez dodatkowych środków odzyskiwania energii (kocioł podgrzewający odpady lub wstępne podgrzewanie stłuczki), średnie oszczędności energii wynoszą około 25 – 35%, w tym zużycie energii na potrzeby produkcji tlenu. W przypadku wielkich pieców regeneracyjnych, wartość ta kształtuje się w granicach 0 – 15%. W przypadku wysoce wydajnych pieców regeneracyjnych, wartość ta może być ujemna.

Niektóre przykłady dotyczące oceny skutków spalania tlenowo-paliwowego w piecach do wytapiania szkła na inne media zostały przedstawione poniżej (dane zostały uzyskane na podstawie metodologii obliczeniowej wskazanej w dziale 8.1.).

- W przypadku piecu do wytapiania szkła, o wydajności 225 ton dziennie, bezpośredni spadek emisji NO_x wynosi 80 ton rocznie, zaś ilość NO_x związana z produkcją tlenu wynosi 11 ton rocznie; tym samym redukcja netto wynosi 69 ton rocznie. Spadek ilości CO₂ uwalnianego z pieca odpowiada 1 942 tonom rocznie, jednakże produkcja tlenu powoduje, że pośrednia emisja CO₂ wynosi 4 444 tony rocznie. Poza tym, poziom emisji SO₂ uwalnianego z przeciętnej elektrowni wynoszą 30 ton rocznie.
- W przypadku pieca wytapiającego włókno szklane, redukcja bezpośrednich emisji NO_x wynosi 80 ton rocznie, jednakże wzrost emisji pośrednich NO_x (elektrownia) wynosi niemal 9 ton rocznie. Spadek ilości CO₂ uwalnianego z pieca wynosi 5 390 ton rocznie, jednakże poziom pośrednich emisji CO₂ wzrasta o 3 530 ton rocznie.

Porównanie konkretnych emisji pośrednich szacowanych dla różnych pieców szklarskich oraz różnych technologii oczyszczania zostało zawarte w dziale 8.1.7, tabela 8.8.

W przypadku potencjalnie szybkiego zniszczenia nadbudowy ogniotrwałej pieca szklarskiego, tworzenie się odpadów stałych (materiały ogniotrwałe do wymiany) będzie stanowił dodatkowy wpływ spalania tlenowo-paliwowego na pozostałe aspekty.

Dane operacyjne

Najnowsze wersje palników tlenowo-paliwowych, w połączeniu ze zoptymalizowaną konstrukcją i działaniem skutkują poziomem emisji NO_x wynoszącym 0.3 - 0.8 kg NO_x/tonę wytopionego szkła w sektorze szkła opakowaniowego, co równa się 200 - 500 mg NO_x/Nm³.

W sektorze fryt szklanych, osiągnięte poziomy emisji NO_x związane ze stosowaniem wytapiania zasilanego tlenowo-paliwowo są znacznie niższe. Przedstawione dane wskazują, że poziomy emisji wynoszą 7 - 11 kg NO_x/tonę wytopionego szkła, co jest wartością niższą w porównaniu z typowym poziomem emisji, wynoszącym 13 kg na tonę szkła lub wyższym przy zastosowaniu konwencjonalnych pieców powietrzno-paliwowych oraz pieców powietrzno-paliwowych wzbogacanych tlenem. Wartości te odnoszą się do procesów produkcji, w których zestaw składników może zawierać znaczne ilości azotanów i w których warunki operacyjne pieców umożliwiają przedostawanie się powietrza do komory spalania (zob. dział 3.10.2.2).

Poziom emisji NO_x zależy w dużej mierze od następujących czynników:

- procesu produkcyjnego tlenu; tlen wytwarzany za pomocą absorpcji ciśnieniowej, bądź absorpcji próżniowej zawiera niewielki odsetek azotu;
- jakości gazu ziemnego; w UE gaz ziemny jest często dostarczany wraz z 10% udziałem azotu;
- typu stosowanych palników; palniki przystosowane do spalania etapowego umożliwiają osiągnięcie niższych wartości NO_x (<0,5 kg/tonę wytopionego szkła w sektorze szkła opakowaniowego);
- zużycia energii przez piec; determinuje to przepływ gazów spalinowych na jednostkę miary wytopionego szkła i zależy, między innymi, od wymaganej jakości szkła, rozmiaru pieca oraz ilości stłuczki w zestawie;
- jakości paliwa; niektóre typy paliwa mogą zawierać niskie ilości wiązanej organicznie azotu.

Jedną z najważniejszych kwestii związanych z tą technologią są potencjalne oszczędności energii. Jak wspomniano powyżej, często może stanowić to decydujący czynnik wykonalności ekonomicznej technologii w odniesieniu do danego zastosowania. Rozważając efektywność kosztową technologii, należy ją porównać nie tylko z piecem, który zastępuje, lecz także z innymi dostępnymi możliwościami i alternatywnymi metodami oczyszczania, biorąc pod uwagę energię zużywaną na wytwarzanie tlenu.

Oszczędność energii na miejscu może wynosić powyżej 50%, w przypadku gdy niewydajne termicznie piece zostaną przekształcone w piece zasilane tlenem i paliwem. W przypadku średniej wielkości pieców rekuperacyjnych, niezakładających konkretnych metod oszczędzania energii, o standardowych poziomach izolacji i korzystających jedynie z wewnętrznej stłuczki, zużycie energii przy wytapianiu tlenowo-paliwowym będzie 20 – 50% niższe. Jednakże w przypadku wielkich, wydajnych energetycznie pieców regeneracyjnych, o zoptymalizowanej wydajności termicznej, oszczędności mogą być zbliżone do zera lub nawet ujemne, jeśli weźmiemy pod uwagę energię podstawową, przy czym wzrost może wynosić do 5%. W tych przypadkach oszczędności energii na miejscu nie zrekompensują kosztów tlenu. Każdy przypadek jest jedyny w swoim rodzaju i musi być rozważany w odniesieniu do konkretnych okoliczności.

Ogólną zasadą jest to, że piece tlenowo-paliwowe powinny być wyposażone w bardzo dobrą izolację i uszczelnienie, w celu uniknięcia problemów z korozją i wpływem substancji lotnych z procesu wytapiania szkła na nadbudowę ogniotrwałą. Spalanie tlenowo-paliwowe może doprowadzić do zwiększonego zużycia sprzętu, lecz zależy to również od wyboru materiału ogniotrwałego oraz parametrów operacyjnych pieca.

Główną kwestią mogącą prowadzić do poprawy ekonomiki tlenowo-paliwowego topienia szkła jest odzysk ciepła z gazów odlotowych. Wysoka temperatura gazów odlotowych zwiększa potencjał

odzysku ciepła; istnieją jednak również pewne trudności. Gazy odlotowe wymagają schłodzenia przed oczyszczaniem, w celu uzyskania temperatury operacyjnej sprzętu oczyszczającego i upewnieniu się, że wszelkie pyły pochodzące z materiałów lotnych zostały sprężone.

Charakter gazów odlotowych z wielu pieców ogranicza stosowanie bezpośrednich wymienników ciepła, co jest spowodowane problemem zanieczyszczania skondensowanych pyłów i korozją. Problemy te zwiększają się wraz z dużym stężeniem gazów, związanym z zasilaniem tlenowo-paliwowym.

Szczególnym problem dotyczy szkła zawierającego bor, gdzie gazy spalinowe muszą zostać szybko schłodzone, aby zapobiec formowaniu się lepkich substancji stałych, które powodują korozję i zanieczyszczają przewody oraz sprzęt oczyszczający, taki jak filtry elektrostatyczne. Z tych powodów schładzanie jest zwykle przeprowadzane w tych przypadkach za pomocą rozcieńczenia powietrzem.

Z powyższych przyczyn, działania mające na celu uzyskanie oszczędności energii możliwa do osiągnięcia przy zastosowaniu pieców konwencjonalnych (np. kotły podgrzewające odpady, palniki o wysokiej wydajności, wstępne podgrzewanie słuczki) nie są stosowane na szeroką skalę w odniesieniu do pieców tlenowo-paliwowych. Istnieją pewne doświadczenia z wymienionymi technologiami, natomiast w momencie tworzenia niniejszego dokumentu (2010 r.) jest zrozumiałe, że istnieją co najmniej dwa piece wyposażone w podgrzewacze odpadów oraz że bardzo niewiele pieców zasilanych tlenowo stosuje wstępne podgrzewanie słuczki lub zestawu. Nowa technologia wstępnego podgrzewania zestawu i słuczki, zaprojektowaną specjalnie dla pieców tlenowo-paliwowych, która umożliwi działanie przy znacznie wyższych temperaturach gazów spalinowych, jest oczekiwana w najbliższej przyszłości w Stanach Zjednoczonych. We Francji prowadzone są prace rozwojowe w zakresie wstępnego podgrzewania gazów oraz dostaw tlenu (2008 r.), w odniesieniu do pieców tlenowych służących do wytapiania szkła float. Więcej szczegółów znajduje się w rozdziale 6, zatytułowanym „Opracowywane technologie”, dział 6.2.

Jednakże, wraz z gromadzeniem doświadczeń, metody te mogą być w większym stopniu wykorzystane również w odniesieniu do pieców tlenowo-paliwowych. Nie istnieją wyraźne przeciwwskazania, wedle których większość tych technologii nie mogła by być wykorzystywana w odniesieniu do pieców tlenowo-paliwowych, jednakże istnieją ważne kwestie techniczne, które należy wziąć pod uwagę i które wymagają czasu do rozwiązania (np. możliwe zniszczenie materiałów ogniotrwałych, zmiany kolorystyczne wsadu roztopionego, pienienie się, itp.).

Topienie tlenowo-paliwowe obejmuje wyższe temperatury płomienia, które w niektórych zastosowaniach mogą doprowadzić do wyższych wydajności na metr kwadratowy powierzchni pieca (zwiększenie do 25%). Ma to szczególne znaczenie tam, gdzie istnieje potrzeba zwiększenia pojemności pieca, lecz gdzie nie jest możliwe umieszczenie konwencjonalnego pieca o wymaganej wielkości. Sytuację tę wspomaga brak systemu wstępnego podgrzewania. W niektórych zastosowaniach technologia może prowadzić do lepszej kontroli procesu i lepszej jakości szkła. Ma to szczególne zastosowanie do niektórych procesów wytwarzania szkła specjalnego, które wymagają wysokich temperatur wytapiania. Jednakże, większa ilość tlenu i pary wodnej może mieć wpływ na skład chemiczny szkła niektórych typów, co może wymagać zmian w zestawie składników.

Istnieją nadal obawy dotyczące wyższego zużycia materiałów ogniotrwałych i tym samym krótszego cyklu użytkowania pieca. W niektórych przypadkach może to doprowadzić również do zwiększonego odsetka uszkodzonego szkła (np. z powodu skraplania się substancji z sklepienia pieca). W przypadku szkła sodowo-wapniowego, wysoka prężność pary wodnej może spowodować wysoką prężność NaOH, co może przyczynić się do zużycia warstwy ogniotrwałej, w szczególności ponad poziomem szkła.

Dostawcy materiałów ogniotrwałych pracują nad opracowaniem nowych materiałów, takich jak ulepszone materiały silikatowe i spinelowe, jako alternatywa dla drogich materiałów aluminiowych lub stapiano-wylewanych spieków tlenków glinu, cyrkonu i krzemu. Jednakże nadal istnieje pewien stopień ryzyka związanego z technologią tlenowo-paliwową. Stosowanie materiałów ogniotrwałych o

wysokiej jakości może zwiększyć koszty kapitałowe pieca. Istnieją również obawy, że nie będą one wystarczająco wytrzymałe we wszystkich zastosowaniach.

Zmniejszona długość cyklu użytkowania ma bardzo ważny wpływ finansowy na zakład produkcyjny, w szczególności w odniesieniu do większych pieców, takich jak piece stosowane przy wytwarzaniu szkła float. Z dotychczasowego doświadczenia (2010 r.) wynika, że skuteczność tej metody waha się w poszczególnych zastosowaniach od niskiej do bardzo wysokiej. Włożono wiele energii w prace w tej dziedzinie, tak więc problem może zostać w znacznym stopniu rozwiązany. Niektórzy producenci materiałów borowo-krzemianowych donoszą o zwiększonej długości cyklu użytkowania pieców oraz, w niektórych zastosowaniach, udało się stwierdzić niższe temperatury sklepienia pieca po konwersji. Udowodniono, że w celu uniknięcia formowania się krzemianu sodu oraz kapania przy zastosowaniu krzemianowego sklepienia pieca, temperatura kronu powinna być przez cały czas utrzymywana na wysokim poziomie (ponad 1 460 – 1 470°C).

Nowe systemy palników o wysokim współczynniku emisji są znacznie bardziej skuteczne w zakresie przenoszenia ciepła do szkła. W połączeniu ze szczegółowym projektem pieca, ostrożne umieszczenie palników oraz materiały ogniotrwałe wyższej jakości, wspomniane wyżej palniki ułatwiają utrzymywanie działania materiałów ogniotrwałych w granicach ich wytrzymałości termicznej.

W tych warunkach piec wytapiający sodowo-wapniowe szkło opakowaniowe o krzemianowej kronie funkcjonował nadal, po 14 latach od uruchomienia (O-I Europe, Leerdam, Holandia, działający od 1994 r.).

Technologia tlenowo-paliwowego wytapiania szkła podlega ciągłemu rozwojowi, dlatego można oczekiwać, że piece opracowane przy pomocy najnowszych technologii będą charakteryzowały się dłuższym cyklem użytkowania od pieców budowanych w przeszłości. W niektórych zastosowaniach stwierdzono problemy z pienieniem się. Może to powodować problemy w zakresie jakości szkła i zmniejszyć skuteczność i stabilność grzewczą.

Wysokie stężenie pary wodnej w atmosferze pieca, tworzone w wyniku zasilania tlenowo-paliwowego, wzmaga uwalnianie się gazów ze wsadu roztopionego wraz z potencjałem poprawy procesu klarowania (mniej ziaren), jednakże o znacznie większym potencjale pienienia się. Wpływ atmosfery pieca na stabilność piany nie został jeszcze do końca wytłumaczony i jest tematem dalszych badań.

W procesie wytwarzania wełny szklanej, wysokie poziomy tlen w piecu mogą ułatwić ponowne wprowadzenie do obiegu odpadów zawartych w materiałach organicznych, bez konieczności stosowania azotanów.

Mimo iż piece tlenowe są uznawane za sprawdzoną technologię, istnieją możliwości optymalizacji geometrii pieca, wysokości kronu, rozmieszczenia palników oraz wysokości nad wsadem roztopionym, pozycjonowania otworów wylotowych, co może mieć wpływ na skuteczność i zmniejszenie emisji CO₂ oraz kosztów energii. Innymi możliwościami odzyskiwania ciepła z przepływu niskoobjętościowego bardzo gorących gazów spalinowych jest wstępne podgrzewanie zestawu składników lub wstępne podgrzewanie gazów oraz wykorzystanie odzyskanej energii, które to metody można poddać dalszemu rozwojowi. Wysokie stężenie CO₂ w gazach spalinowych może potencjalnie ułatwić ich gromadzenie.

Zestawienie głównych zalet i wad związanych ze stosowaniem wytapiania w piecach tlenowo-paliwowych zostało przedstawione w tabeli 4.16.

Tabela 4.16: Główne zalety i wady topienia szkła w piecach tlenowo-paliwowych

<p><u>Zalety:</u> Mogą zostać osiągnięte niskie wartości emisji NO_x (typowo <0,5 – 0,8 kg/tonę wytopionego szkła w przypadku sodowo-wapniowego szkła opakowaniowego, o minimalnej stwierdzonej wartości wynoszącej 0,23 kg/tonę) Koszty kapitałowe pieców są zwykle znacznie niższe W niektórych zastosowaniach technologia ta jest neutralna kosztowo lub generuje oszczędności W niektórych zastosowaniach możliwa jest znaczna redukcja zużycia energii (zwłaszcza, jeśli dokona się wymiany pieca rekuperacyjnego)</p>
--

Potencjalnie niższe emisje substancji lotnych i pyłów, wyrażone w przepływie masowym, gdzie zmniejszona jest objętość gazów odlotowych. Może to prowadzić do zmniejszenia kosztów kapitałowych w zakresie sprzętu oczyszczającego.

Potencjalny wzrost wydajności produkcji/m² oraz poprawa kontroli procesu

W niektórych przypadkach jakość szkła może ulec poprawie

Wysokie stężenie CO₂ w gazach spalinowych może potencjalnie ułatwić gromadzenie jego wychwytywanie

Wady:

Jeżeli nie zostaną osiągnięte znaczące oszczędności energii, technologia ta może okazać się bardzo droga, zwłaszcza w odniesieniu do dużych pieców do topiania szkła sodowo-wapniowego. Jest to spowodowane różnicą w kosztach gazu/oleju oraz elektryczności.

Efektywność kosztowa różni się znacząco w zależności od zastosowania i musi być indywidualnie rozpatrywana

Istnieją problemy ze zużyciem materiałów ogniotrwałych, co prowadzi do skrócenia cyklu użytkowania pieców.

Problem ten nie został w pełni rozwiązany.

Wytwarzanie tlenu wymaga energii elektrycznej, co odpowiada ok. 7% zużycia energii przez piec, lecz aż do 20%, jeżeli wyrazimy to w postaci energii pierwotnej

Emisje pośrednie z procesu generowania energii elektrycznej (CO₂, NO_x, SO_x) mogą przeważać nad potencjalnymi korzyściami dla środowiska

Technologia ta jest zasadniczo środkiem podstawowym w zakresie redukcji potencjału tworzenia się NO_x, lecz nie zajmuje się kwestią redukcji emisji NO_x ze źródeł innych, niż procesy termiczne, np. azotany znajdujące się w zestawie

Technologia ta jest najskuteczniej wykorzystywana po dokonaniu przeróbki pieca

Magazynowanie, wytwarzanie i stosowanie tlenu niesie ze sobą pewne ryzyka, dlatego też konieczne jest stosowanie odpowiednich środków bezpieczeństwa

Generowanie tlenu może powodować hałas, którego poziom musi być kontrolowany

Mogą wystąpić dodatkowe emisje SO_x, ponieważ zatrzymywanie siarki w szkłe może ulec zmniejszeniu, jednakże w celu wyrównania można przeprowadzić dostosowanie do ilości siarczanów w zestawie składników

Zjawisko pienienia się może wystąpić w piecu

Jeżeli wymagana jest wysoka jakość szkła, stosowanie tej techniki może ulec ograniczeniu, ze względu na potencjalne zużywanie się materiałów ogniotrwałych w piecu

Dane dotyczące poziomów emisji osiągniętych za pomocą wytapiania tlenowo-paliwowego w odniesieniu do instalacji wytwarzających szkło opakowaniowe i specjalne, zostały przedstawione w tabeli 4.17.

Tabela 4.17: Poziomy emisji NO_x związane ze stosowaniem tlenowo-paliwowego procesu wytapiania w przykładowych instalacjach

	Szkło opakowaniowe (*)	Szkło specjalne	Szkło specjalne	Szkło specjalne (²)
Paliwo	Gaz ziemny	Gaz ziemny	Gaz ziemny	Gaz ziemny
Całkowita zdolność wytapiania	300 + 350 t/dziennie	50 t/dziennie	50 t/dziennie	40 t/dziennie
Rzeczywista wydajność	222 + 280 t/dziennie	40 t/dziennie	50 t/dziennie	40 t/dziennie
Wspomaganie elektryczne	Nie	Tak	Tak	Tak
Typ szkła	Brązowe, zielone	Borokrzemianowe	Borokrzemianowe, opakowaniowe	szkło ceramika
Stłuczka	66% (wartość średnia)	60 %	40 %	50 %
Zużycie energii (³)	4,20 GJ/tonę szkła (wartość średnia)	6,72 GJ/t szkła	10,37 GJ/t szkła	12,31 GJ/t szkła
Powiązane poziomy emisji	0,23 kg NOX/t szkła	1,42 kg NOX/t szkła	6,67 kg NOX/t szkła (⁴)(⁵)	5,59 kg NOX/t szkła (⁵)

(1) . Instalacja składa się z dwóch pieców.

(2) . Instalacja jest wyposażona w system odzyskiwania ciepła, zainstalowany przed filtrem workowym.

(3) . Dane odnoszą się do energii w punkcie użytkowania i nie zostały skorygowane do energii podstawowej.

(4) . Wartość została obliczona w oparciu o dostępne informacje (przeływ masy, objętość gazów spalinowych, wytopione szkło, zmierzone stężenie emisji).

(5) . Zestaw surowców zawiera azotany.

Źródło: T75, Germany-HVG Glass Industry report 20071

Zastosowanie

Mimo iż zasada 100% wytapiania za pomocą systemu tlenowo-paliwowego jest ugruntowana i może być uznawana za możliwą do wprowadzenia w całym przemyśle szklanym, nie należy niedoceniać problemów z wdrażaniem tej zasady.

Technologia jest stosowana w szczególności w sektorze produkcji włókna szklanego ciągłego oraz szkła specjalnego; jej zastosowanie w całości przemysłu szklarskiego jest ograniczone kilkoma czynnikami. Technologia ta jest nadal uznawana za potencjalnie wysokie ryzyko finansowe w odniesieniu do pieców o większej wydajności, wynoszącej >500 ton dziennie. Kilka kwestii nadal wymaga badań. Są to chociażby wybór optymalnych materiałów ogniotrwałych używanych w budowie pieca, zapobieganie i stabilizacja tworzenia się piany oraz odzyskiwanie ciepła z gazów spalinowych.

W kilku piecach zasilanych tlenem nadal występują problemy z pienieniem się, które nie zostały rozwiązane. [109, Schep, A decade of oxy-fuel 2003]

Ogólnie rzecz biorąc, korzystne jest opóźnienie instalacji do momentu przebudowy pieca, w celu zmaksymalizowania potencjalnych korzyści oraz uniknięcia przewidywanych problemów operacyjnych. Z zasady, palniki tlenowo-gazowe mogą być instalowane w wielu procesach, z wyjątkiem pieców z otworami w ścianie czołowej, bez czekania na naprawę na zimno. Instalacja na ciepło może prowadzić do oszczędności energii oraz zwiększonej prędkości ciągnięcia. Jednakże mało prawdopodobne jest, aby przyczyniła się ona do zmniejszenia poziomu emisji NO_x, wręcz przeciwnie, może ten poziom zwiększyć; istnieje również niebezpieczeństwo przyśpieszenia procesu zużycia.

W 1998 r. szacowano, że 5 – 10% światowej produkcji szkła odbywało się w ramach procesu wytapiania tlenowo-paliwowego. Obliczenia wykonane przez francuskiego producenta tlenu, Air Liquide, wskazują na to, że spośród całkowitej produkcji szkła za pomocą metody tlenowo-paliwowej, 25% produkcji ma miejsce w Europie, a 56% w Stanach Zjednoczonych. Od tamtego czasu wartości te ulegają zmianie wraz ze zmianami tendencji obserwowanych w danych sektorach.

Na całym świecie funkcjonuje co najmniej 200 przemysłowych pieców do wytapiania szkła w systemie tlenowym. Zwłaszcza w sektorze produkcji włókna szklanego oraz szkła specjalnego, wytapiania w procesie tlenowo-paliwowym jest stosowane na szeroką skalę. Na świecie funkcjonuje pięć pieców do wytapiania szkła float w systemie tlenowym (trzy w Stanach Zjednoczonych, jeden w Japonii i jeden w Europie) oraz 40 do 50 pieców do wytapiania szkła opakowaniowego w systemie tlenowym, w większości w Stanach Zjednoczonych.

Istnieje również kilka przykładów na piece tlenowe funkcjonujące z powodzeniem w sektorach produkcji wełny mineralnej, szkła specjalnego oraz fryt.

Stosowanie topienia tlenowo-paliwowego natrafia na większą liczbę problemów w sektorze produkcji szkła gospodarczego, z powodu znacznego pienienia, które może mieć negatywny wpływ w kontekście wyższych wymagań jakościowych dotyczących tego rodzaju szkła. Jednakże niektóre instalacje z powodzeniem wykorzystują piece tlenowe. Biorąc pod uwagę sektor szkła płaskiego i opakowaniowego, główną barierą w zakresie stosowania spalania tlenowo-paliwowego stanowią wysokie koszty tlenu oraz specjalnych materiałów ogniotrwałych wymaganych do zastosowania w piecu.

W trakcie sporządzania niniejszego dokumentu (2010 r.) w Europie funkcjonował jeden piec tlenowy w sektorze szkła płaskiego (szkła lanego) oraz uruchomiono jedno zastosowanie tej technologii w piecu do wytapiania szkła float we Francji. W sektorze szkła opakowaniowego działa osiem pieców, co stanowi 3,2% całkowitej europejskiej produkcji tego sektora (w Niemczech, Holandii, Francji i we Włoszech). W produkcji włókna szklanego ciągłego, ponad 50% pieców do wytapiania funkcjonujących w Europie działa w systemie tlenowym, niektóre są wyposażone we wspomaganie elektryczne. W produkcji fryty szklanej, 15% pieców stosuje tlenowo-paliwową metodę wytapiania. Znacząca liczba europejskich pieców działających w sektorach produkcji wełny mineralnej, szkła gospodarczego i szkła specjalnego (w szczególności borkorzemianowych rurek szklanych) to piece zasilane tlenem.

Zastosowanie spalania tlenowo-paliwowego wzmacnia potencjał wpływu na inne komponenty środowiska, co musi zostać wzięte pod uwagę; przykładem może być wpływ wytwarzania tlenu na środowisko [99, ITC-C080186 2008].

Ekonomika

Aspekt finansowy wytapiania szkła w systemie tlenowo-paliwowym może przybierać różne formy w poszczególnych sektorach i poszczególnych zastosowaniach. Koszty są bardzo trudne do przewidzenia, jednakże w dziale 8.1.7 podano indykatywne wartości w wyniku porównania kosztów technologii oczyszczania emisji NO_x. Głównymi czynnikami mającymi wpływ na koszty są:

- Koszt kapitałowy w porównaniu z najbardziej prawdopodobną alternatywą (w tym koszty dodatkowe zakupu trwalszych materiałów ogniotrwałych – sklepienia pieca oraz kanały przepływu gazów spalinowych)
- możliwe do uzyskania oszczędności energii (zależne w bardzo dużej mierze od rozmiaru i konstrukcji pieca)
- przeważające koszty tlenu przeznaczonego do zastosowania w instalacji
- potencjalny wpływ na długość cyklu użytkowania oraz związane z tym ryzyko finansowe.

Względne zalety wytapiania szkła w procesie tlenowo-paliwowym różnią się w poszczególnych przypadkach, zaś na decyzję o wdrożeniu tej technologii ma wpływ wiele czynników, przykładowo, jeżeli jest wymagane zwiększenie wydajności bez zwiększenia wielkości pieca lub jeżeli zakład jest zlokalizowany nieopodal taniego źródła tlenu. Na ekonomikę stosowania tej technologii mogą mieć do pewnego stopnia wpływ czynniki właściwe dla miejsca, dlatego każdy przypadek należy rozważyć w oparciu o zastane okoliczności.

Ważnym czynnikiem w kwestii kosztów kapitałowych jest fakt, iż piece tlenowo-paliwowe nie posiadają konwencjonalnego systemu wstępnego podgrzewania powietrza do spalania, dlatego też koszt kapitałowy jest ogólnie niższy od kosztów związanych ze stosowaniem pieców regeneracyjnych lub rekuperacyjnych o podobnej wydajności. Jest to najbardziej ewidentne w przypadku nowych zakładów, w których nie są ponoszone koszty całkowite instalacji systemu wstępnego podgrzewania. Najbardziej zaawansowane palniki tlenowo-paliwowe są najczęściej droższe od zaawansowanych palników o niskiej emisji NO_x, przy czym koszty systemu kontroli tlenu są znaczące. Jednakże w przypadku większości pieców, koszty dodatkowe palników tlenowo-paliwowych oraz systemów kontroli są znacznie niższe od oszczędności w zakresie systemu wstępnego podgrzewania.

Obawy dotyczące wpływu technologii na cykl użytkowania materiałów ogniotrwałych prowadzi do stosowania droższych materiałów do wyłożenia sklepienia pieca. W razie konieczności, poniesienie tego dodatkowego kosztu może znacząco zmniejszyć korzyści kapitałowe. W rzeczywistości, początkowo (1990 – 1995 r.) cykl życia pieców do wytapiania szkła w systemie tlenowo-paliwowym miał być krótszy niż tradycyjnych pieców powietrzno-paliwowych. Jednakże w europejskim sektorze szkła opakowaniowego istnieje co najmniej kilka pieców zasilanych tlenem o tej samej długości cyklu użytkowania. Konstrukcja pieca, jakość materiałów (zwłaszcza zastosowanych w sklepieniu) oraz bardzo dokładne uszczelnienie nadbudowy są ważnymi czynnikami mającymi wpływ na cykl użytkowania pieca.

Konkurencyjność ekonomiczna tej technologii zależy głównie od potencjału oszczędności energii oraz kosztów względnych alternatywnych technologii, stosowanych w celu osiągnięcia porównywalnych poziomów emisji NO_x.

W odniesieniu do wielu zastosowań wymagających budowy pieców o niewielkich lub średnich rozmiarach, znaczne oszczędności energii są możliwe do uzyskania, co sprawia, że technologia ta staje się bardziej konkurencyjna. W niektórych zastosowaniach (zwłaszcza piece wytwarzające <50 ton szkła dziennie) rzeczywiście same oszczędności energii mogą być wystarczającą motywacją do zainstalowania tej technologii. Większe piece konwencjonalne wykazują naturalną tendencję do większej efektywności energetycznej oraz potencjalna redukcja ogólnego zużycia energii (w tym energii koniecznej do wytworzenia tlenu) przy zmianie lub konwersji na system tlenowy jest znacznie niższa, co powoduje wzrost ogólnych kosztów technologii (głównie koszty tlenu). Z drugiej strony, większe piece wymagają dużych ilości tlenu, co jest zwykle powiązane z korzystniejszą ceną za m³.

Obliczono koszty porównawcze dla pieców tlenowych o sklepieniu z wysokotrwalej krzemionki (300 000 - 400 000 EUR kosztów dodatkowych) oraz dla sklepień zbudowanych z materiałów stapiano-wylewanych (spieki tlenków glinu, cyrkonu i krzemu lub aluminium). Powyższe materiały stapiano-wylewane mogą zwiększyć koszty sklepienia pieca do wytapiania szkła float o 4 – 5 milionów EUR.

Eliminacja systemów wstępnego podgrzewania powietrza i uzyskane w konsekwencji oszczędności kapitałowe nie dotyczą jedynie najbardziej powszechnych sektorów produkcji szkła (szkło opakowaniowe, włókno szklane ciągłe, szkło specjalne, itp.), lecz także sektora produkcji fryt, w którym zastosowanie wstępnego podgrzewania powietrza wraz z rekuperacyjnymi wymiennikami ciepła jest ugruntowane i stosowane w większości pieców.

W odniesieniu do pieców regeneracyjnych, systemy regeneracyjne sięgają wstecz do pierwszego pieca zbudowanego w tym systemie i będą one w razie konieczności podlegać naprawom, unowocześnianiu lub wymianom wraz z każdą przebudową pieca. Dlatego też, mimo znaczących oszczędności, instalacja tego systemu może nie być tak korzystna, jak w przypadku nowego zakładu. W odniesieniu do pieców rekuperacyjnych, rekuperator jest zwykle zastępowany nowym systemem wraz z każdą przebudową pieca, jednakże rama nośna może zostać ponownie wykorzystana, jeżeli konstrukcja pieca i umiejscowienie systemu pozostają w dużej mierze niezmienione. Oszczędności kapitałowe w odniesieniu do nowych zakładów mogą się znacząco różnić w zależności od instalacji. Ogólnie rzecz biorąc, stwierdzono oszczędności wynoszące około 20% dla pieców rekuperacyjnych oraz 30—40 % dla pieców regeneracyjnych.

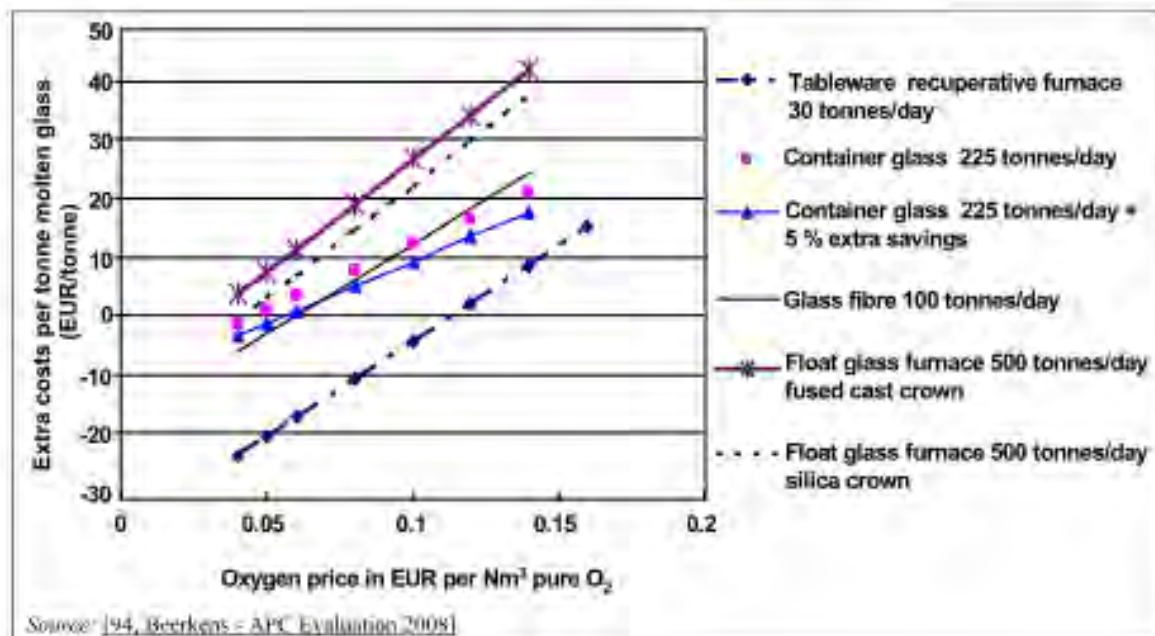
Jeżeli operatorem zakładu wytwarzania tlenu jest jego dostawca, wówczas koszt kapitałowy jest zawarty w opłatach za tlen i nie jest brany pod uwagę jako oddzielna pozycja.

Lokalizacja zakładu wytwarzania tlenu jest zwykle udostępniona przez przedsiębiorstwo wytwórstwa szkła, jednakże koszty są tu raczej niewielkie. Jeżeli wytwórca szkła podejmuje decyzję o byciu samodzielnym operatorem zakładu wytwarzania tlenu, wówczas koszty kapitałowe mogą stanowić do 10% kosztów pieca. Jeżeli azot, będący produktem ubocznym wytwarzania tlenu, może być zastosowany lub sprzedany, może się to przyczynić do zmniejszenia kosztów ogólnych.

Kilka dokumentów będących częścią literatury fachowej w zakresie przemysłu szklanego podaje, że koszty wytapiania szkła w procesie tlenowo-paliwowym są większe lub równe selektywnej redukcji katalitycznej. Jednakże nie jest to zawsze odzwierciedlone w praktyce, a niektórzy operatorzy donoszą o przypadkach neutralnej kosztowo konwersji lub oszczędności kosztów operacyjnych. Większość pozytywnych rezultatów dotyczy konwersji mniejszych pieców nieregeneracyjnych, o stosunkowo wysokim zużyciu energii.

Pomijając obawy dotyczące cyklu życia materiałów ogniotrwałych, w większości zastosowań czynnikiem decydującym o efektywności kosztowej procesu tlenowo-paliwowego jest różnica pomiędzy oszczędnościami energii a kosztami i wpływem na inne komponenty środowiska, w porównaniu z kosztami i wpływem na inne komponenty środowiska alternatywnych technologii oczyszczania NOx. Jest to właściwe dla każdego przypadku z osobna i tak jak dla wielu mniejszych pieców bilans będzie korzystny, tak dla pieców większych oszczędności są ogólnie niższe, a bilans finansowy zależy będzie w znacznie większym stopniu od konkretnych okoliczności oraz znaczenia naboru również inne czynniki (w szczególności roczne koszty kapitałowe). Dominujące koszty energii i, w szczególności, tlenu (jedne i drugie podlegające zmianom) są również bardzo ważne.

Rys. 4.7 przedstawia całkowitą różnicę w określonych kosztach wytapiania pomiędzy piecami tlenowo-gazowymi a piecami konwencjonalnymi. Wykorzystano szacunkowe dane dotyczące pieców regeneracyjnych służących do wytapiania szkła float i opakowaniowego oraz małych pieców rekuperacyjnych służących do wytapiania zastawy stołowej (patrz dział 8.1 w celu zapoznania się z metodologią i kosztami przyjętymi do przeprowadzenia studium porównawczego).



Koszty dodatkowe na tonę wytopionego szkła (EUR/tonę)
 Cena tlenu w EUR za Nm³ czystego O₂
 Piec rekuperacyjny do wytopu elementów zastawy stołowej o wydajności 30 ton dziennie
 Szkło opakowaniowe – 225 ton dziennie
 Szkło opakowaniowe – 225 ton dziennie + 5% dodatkowych oszczędności
 Włókno szklane – 100 ton dziennie
 Piec do wytapiania szkła float, o wydajności 500 ton dziennie, z sklepieniem z materiałów stapiano-wylewanych
 Piec do wytapiania szkła float, o wydajności 500 ton dziennie, z sklepieniem krzemionkowym

Rysunek 4.7: Różnica w określonych kosztach wytapiania po konwersji pieców konwencjonalnych na piece tlenowe dla różnych instalacji w zakresie produkcji szkła (szkło opakowaniowe, float, włókno szklane oraz zastawa stołowa)

W 2007 r. w Niemczech, bieżące średnie koszty produkcji tlenu wynosiły 0,04 EUR /m³ and 0,07 EUR /m³, w zależności od zastosowanego typu systemu wytwarzania (kriogeniczny, absorpcja ciśnieniowa, absorpcja próżniowa) oraz produkowanych wielkości; z kolei cena końcowa wynosiła 0,046 oraz 0,11 za m³. Zapotrzebowanie na energię elektryczną do produkcji tlenu wynosi pomiędzy 0,4 a 1 kWh/m³, a typowe koszty wynoszą 0,05 – 0,065 EUR za kWh. [75, Germany-HVG Glass Industry report 2007]. Cena tlenu może różnić się znacząco o wartość mnożnika wynoszącą dwa lub więcej, w zależności od ilości tlenu wykorzystanego w instalacji.

Koszty jednostkowe związane ze stosowaniem tlenowo-paliwowego procesu wytapiania zostały oszacowane dla różnych typów szkła i wydajności pieców. Możliwe do osiągnięcia poziomy emisji, przyjęte do obliczenia, wyniosły:

- szkło float: 1.5 - 2 kg NO_x na tonę wytopionego szkła
- szkło opakowaniowe: 0,5 – 0,9 kg NO_x na tonę wytopionego szkła
- szkło specjalne (brak azotanów w zestawie): 1 – 1,5 kg NO_x na tonę wytopionego szkła

Poniżej znajduje się podsumowanie otrzymanych wyników:

Szkło opakowaniowe

Szacowane koszty pieców o różnej wydajności (200 ton dziennie oraz 450 ton dziennie), porównując piec regeneracyjny o palnikach w ścianie czołowej oraz piec tlenowy, wykazują spadek kosztów inwestycyjnych, kształtujących się w granicach 2 mln EUR dla pieców niewielkich oraz 4,7 mln EUR

dla pieców większych, przy rocznych kosztach operacyjnych wzrastających odpowiednio o 450 000 EUR rocznie oraz 1,5 mln EUR rocznie (również w zależności od cen tlenu, przyjmując cenę 0,06 EUR za Nm³). Wzrost kosztów jednostkowych na tonę wytopionego szkła odpowiada 3 EUR za tonę szkła w przypadku pieca małego oraz 5 – 5,25 EUR za tonę szkła w przypadku pieca o większej wydajności. Koszt usunięcia NO_x szacuje się na 3,4 – 4 EUR na kg NO_x w przypadku pieca małego oraz 5,5 – 6 EUR na kg NO_x w przypadku pieca o większej wydajności.

Szkło płaskie

Szacunkowe koszty zastosowania spalania tlenowo-paliwowego w piecach do wytapiania szkła float o wydajności 500 ton dziennie wskazują na spadek kosztów inwestycyjnych wynoszących 7,5 mln EUR w przypadku sklepienia krzemionkowego zainstalowanej w piecu, zmniejszonych do 3,5 mln EUR w przypadku sklepienia ze spieków tlenków glinu, cyrkonu i krzemu lub aluminium. Koszty operacyjne wzrosłyby o 2,7 mln EUR rocznie, w tym koszty uprawnień w zakresie CO₂ w celu uzyskania zgodności z dyrektywą 2003/87/WE, handel uprawnieniami do emisji (mimo iż koszty te trudne do obliczenia, gdyż są właściwe dla danego miejsca i podlegają znacznym zmianom), obliczone na podstawie kosztów ekwiwalentu tlenu do 0,06 EUR za m³. Koszty jednostkowe wzrosłyby o 6,8 EUR za tonę szkła do 11,4 EUR za tonę szkła, w zależności od typu materiału zastosowanego w sklepieniu pieca. Niższa cena tlenu znacznie zmniejszyłaby wzrost kosztów za tonę wytopionego szkła. W przypadku ceny 0,045 EUR za m³, wzrost kosztów jednostkowych wynosiłby 1,1 do 5,6 EUR za tonę szkła. Szacunki dla pieców służących do wytapiania szkła float w odniesieniu do kosztów usunięcia NO_x wynoszą 3 - 5 EUR za kg usuniętego NO_x.

Szkło gospodarcze

W przypadku zastawy stołowej, dodatkowe koszty inwestycyjne szacowane dla pieca o wydajności 30 ton dziennie odpowiadają 500 000 EUR, ze względu na wymóg zastosowania wysokiej jakości materiału ogniotrwałego do produkcji tego typu szkła. Jeżeli cena tlenu będzie wynosić poniżej 0,12/m³ EUR, wówczas oczekiwany jest spadek kosztów operacyjnych. W przypadku istniejącego pieca o wydajności 70 ton dziennie, przekształcenie z konfiguracji regeneracyjnej na tlenową przyniosło spadek kosztów inwestycyjnych, wynoszący 2,25 mln EUR. Koszty operacyjne wzrosły o 600 000 EUR rocznie, co odpowiada wzrostowi o 12 - 13 EUR za tonę szkła, bazując na cenie tlenu wynoszącej 0,10 EUR za m³.

Włókno szklane

W przypadku pieca o wydajności 100 – 120 ton dziennie, wzrost kosztów inwestycyjnych związanych z przekształceniem pieca rekuperacyjnego w piec tlenowo-paliwowy został oszacowany na 1,5 mln EUR, przy spadku kosztów operacyjnych wynoszącym 250 000 EUR, przyjmując cenę tlenu wynoszącą 0,10 EUR za m³. W tej sytuacji koszty jednostkowe w przeliczeniu na tonę wytopionego szkła wzrosną o 6 EUR za tonę, a koszt usunięcia NO_x odpowiada 3 – 3,25 EUR za kg NO_x.

Wełna szklana

W przypadku wełny szklanej, zastosowanie spalania tlenowo-paliwowego w piecu o wydajności 125 ton dziennie wskazuje na koszty jednostkowe wytapiania wynoszące około 100 EUR za tonę szkła, co zostało obliczone na podstawie kosztów kapitałowych/inwestycyjnych (w tym amortyzacja i koszty odsetkowe) oraz kosztów operacyjnych (w tym energia, surowce, uprawnienia do emisji CO₂, gospodarka odpadami, itp.). Szacunki zostały oparte na cenie tlenu w punkcie dostawy wynoszącej 0,1 EUR za m³ oraz kosztach elektryczności wynoszących 0,091 EUR za kWh, w tym podatki. W piecach o wyższej wydajności, stosowanie spalania powietrzno-paliwowego wydaje się generować niższe koszty jednostkowe [115, [EURIMA-ENTEC Costs evaluation 2008](#)].

Przykłady kosztów rzeczywistych i szacowanych znajdują się w tabeli 4.18, w odniesieniu do instalacji wytwarzających różne rodzaje szkła w różnych warunkach operacyjnych.

Tabela 4.18: Przykłady kosztów rzeczywistych i szacunkowych wytapiania tlenowo-paliwowego w sektorach szkła opakowaniowego i specjalnego.

	Szkło opakowaniowe^(*)	Szkło specjalne⁽²⁾	Szkło specjalne⁽³⁾
Paliwo	Gaz ziemny	Gaz ziemny	Gaz ziemny
Wydajność pieca	300 + 350 t dziennie	50 t dziennie	50 t dziennie
Rzeczywista wydajność	222 + 280 t dziennie	40 t dziennie	50 t dziennie
Wspomaganie elektryczne	Nie	Tak	Tak
Typ szkła	Brązowe/zielone	borokrzemianowe	borokrzemianowe
Stłuczka	66% (wartość średnia)	60 %	40 %
Jednostkowe zużycie energii (4)	4,20 GJ/t szkła (wartość średnia)	6,72 GJ/t szkła	10,37 GJ/t szkła
Powiązane poziomy emisji	0,23 kg NO _x na tonę szkła	1,42 kg NO _x na tonę szkła	6,67 kg NO _x na tonę szkła
Powiązane koszty (5)			
Produkcja tlenu	Na miejscu, proces kriogeniczny	Dostarczany, proces kriogeniczny	Na miejscu, proces kriogeniczny
Koszty energii elektrycznej	0,05 EUR/kWh	0,065 EUR/kWh	0,065 EUR/kWh
Koszt dostawy tlenu	0,046 EUR/m ³	0,11 EUR/m ³	0,065 EUR/m ³
Cena gazu ziemnego	0,0193 EUR/kWh	0,025 EUR/kWh	0,025 EUR/kWh
Koszty jednostkowe wytapiania tlenowo-paliwowego	9,97 EUR za tonę szkła (wartość średnia)		23 EUR za tonę szkła
Całkowity koszt inwestycji, w tym amortyzacja całego zakładu	34,2 EUR za tonę szkła	93,46 EUR za tonę szkła	90,73 EUR za tonę szkła
Stopa procentowa	6 %		
Okres użytkowania	12 lat		
Szacowane koszty inwestycyjne w przypadku porównywalnych konwencjonalnych pieców regeneracyjnych	40,2 EUR za tonę szkła (6)	120,13 EUR za tonę szkła	142,36 EUR za tonę szkła
Szacowana różnica	-15 %	-22 %	-36 %
<p>(1) Instalacja jest wyposażona w dwa piece. System odzysku ciepła jest zainstalowany przed filtrem workowym. Wartości w zakresie ilości zastosowanej stłuczki oraz zużycia energii są średnią z dwóch pieców.</p> <p>(2) Koszty zostały oszacowane w oparciu o komunikację werbalną z personelem zarządzającym zakładem.</p> <p>(3) Koszty zostały oszacowane w oparciu o dostępne informacje. Koszty związane z zastosowaniem wspomaganie elektrycznego nie zostały uwzględnione w obliczeniu.</p> <p>(4) Dane dotyczące zużycia energii nie zostały skorygowane o energię pierwotną.</p> <p>(5) Dane dotyczące kosztów poniesionych w roku instalacji systemu kontroli zanieczyszczenia powietrza niekoniecznie odzwierciedlają koszty bieżące.</p> <p>(6) Koszty zawierają amortyzację całego zakładu.</p> <p>Źródło: [75, Germany-HVG Glass Industry report 2007 1</p>			

Dodatkowe informacje dotyczące porównania szacowanych kosztów oraz wpływu spalania tlenowo-paliwowego na inne komponenty środowiska z innymi technologiami są zawarte w dziale 8.1.7, tabela 8.5, tabela 8.7 oraz tabela 8.9.

Siła napędowa procesu wdrażania

Topienie tlenowo-paliwowe jest podstawową technologią stosowaną w celu zmniejszenia emisji NO_x, a w niektórych przypadkach, również innych emisji do atmosfery (pyły). Stosowanie topienia tlenowo-paliwowego w niektórych sektorach przemysłu szklarskiego (szkło specjalne, włókno szklane ciągłe, wełna mineralna) uznawane jest za dobrą opcję techniczną i ekonomiczną w odniesieniu do procesu wytapiania. Redukcja zużycia energii może być główną motywacją do zastosowania wytapiania tlenowo-paliwowego w piecach działających w powyższych sektorach.

W sektorze fryt szklarskim, wydajność w zakresie usuwania NO_x związanego ze spalaniem tlenowo-paliwowym wynosi około 20 – 45%. Dlatego też w sektorze tym omawiana technologia jest uznawana za właściwą alternatywę do procesu wytapiania. [99, ITC-C080186 2008].

Przykładowe zakłady

Pilkington-LOF, Toledo, Ohio, Stany Zjednoczone – szkło float
Ardagh Glass, Moerdijk, Holandia – szkło opakowaniowe
Ardagh Glass, Obernkirchen, Niemcy – szkło opakowaniowe
O-I Europe, Leerdam, Holandia – szkło opakowaniowe
O-I Europe, Schiedam, Holandia – szkło opakowaniowe
Vetrobalsamo, Sesto San Giovanni, Włochy – szkło opakowaniowe
PPG Industries, Hoogezand, Holandia – włókno szklane
PPG Fiber Glass, Wigan, Wielka Brytania – włókno szklane
OCV Reinforcements - Vado Ligure, Włochy – włókno szklane
Gerresheimer Pisa, Pisa, Włochy – borokrzemianowe rurki szklane
Schott Glas, Mainz, Niemcy – szkło specjalne
Philips Lighting, Francja, Polska, Holandia – szkło oświetleniowe
Owens Corning Building Products (UK) Ltd, Cwmbran, Wielka Brytania – wełna szklana
James Kent Ltd, Stoke-on-Trent, Wielka Brytania – fryty
SGD, Mers, Francja – szkło opakowaniowe, flakony
Orrefors Kosta Boda, Szwecja - <5 ton dziennie szkła kryształowego
Verrerie de La Rochere, Francja – 17 ton dziennie szkła sodowo-wapniowego
Nachtmann, Niemcy – 9 ton dziennie szkła ołowiowego.

Bibliografia

[4, EPA 1994] [7, Ind.duVerre 1996] [30, Infomil 1998] [9, IPC Guidance S2 3.03 1996][33, Beerkens 1999] [18, Ercole 1998] [46, Illy et al. 1998] [19, CPIV 1998] [75, Germany-HVG Glass Industry report 2007] [78, DUTCH oxo-firing furnaces 2007] [79, TNO OxyFiring2005ATIVFinal 2005] [88, FEVE Proposal Ch.4-NO_x 2007] [91, ITC - C071304 2007] [92, ITC - C071603 2007] [94, Beerkens - APC Evaluation 2008] [79, TNO Oxy-firing 2005, ATIV Final 2005] [98, ANFFECC Position of the Frit Sector 2005] [99, ITC-C080186 2007] [115, EURIMA-ENTEC Costs evaluation 2008].

4.4.2.6 Chemiczna redukcja paliwem

Chemiczna redukcja paliwem obejmuje te technologie, w których paliwo jest dodawane do strumienia gazów odlotowych, w celu chemicznej redukcji NO_x do N₂ poprzez serię reakcji. Paliwo nie spala się lecz ulega pirolizie tworząc rodniki, które wchodzi w reakcję z komponentami gazów spalinowych, tworząc H₂O oraz N₂. Dwie główne technologie, które opracowano z myślą o przemyśle szklarskim to proces 3R oraz proces ponownego spalania. Stosowanie obydwu technologii jest obecnie ograniczone do pieców regeneracyjnych. Proces 3R został w pełni opracowany w celu stosowania w przemyśle, jednakże w momencie sporządzania niniejszego dokumentu (2010 r.), proces ponownego spalania nie wykazał jeszcze zastosowania w przemyśle szklarskim.

Proces jest oparty na serii reakcji chemicznych, które mają miejsce pomiędzy wtryskiwanym paliwem kopalnym a tlenkami azotu obecnymi w gazach spalinowych.

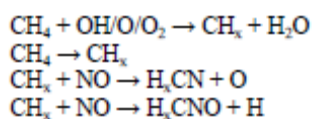
W pierwszej fazie procesu, rodniki węglowodorowe (CH_x) tworzą się głównie w wyniku rozpadu termicznego w strefie, w której wtryskiwane jest paliwo (zwykle gaz ziemny).

Rodniki wchodzi w reakcję z NO_x tworzącym się w piecu, tworząc inne związki azotu, takie jak HCN oraz NH₃. Po uformowaniu się, związki te wchodzi w szybką reakcję z innymi pierwotnymi cząsteczkami NO, tworząc azot cząsteczkowy (N₂). Po umożliwieniu ponownie spalonemu paliwu zmieszanie i wejście w reakcję z gazami spalinowymi, spalone powietrze jest wtryskiwane w celu dokonania całkowitego, ponownego spalania paliwa. W strefie spalania wszelkie pozostałe związki azotu są w całości przekształcane w azot cząsteczkowy (N₂) lub ponownie w NO.

Opis

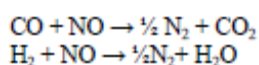
Podstawą procesu 3R jest dodanie paliwa węglowodorowego (np. gazu ziemnego lub ropy) w sposób kontrolowany do strumienia gazów odlotowych przy wejściu do regeneratora. Paliwo nie ulega spalaniu lecz dysocjuje i redukuje NO_x tworzące się w piecu. Technologia ta została przeznaczona do zastosowania w piecach regeneracyjnych, w których regenerator tworzy niezbędne warunki termiczne, burzliwe mieszanie oraz odpowiedni czas przebywania, dzięki czemu mogą zachodzić reakcje. Nazwa procesu 3R odnosi się do reakcji, redukcji i regeneracji.

Istnieją dwa główne etapy procesu 3R, usunięcie tlenków azotu oraz wypalenie. Etap usuwania tlenków azotu składa się z dwóch głównych mechanizmów: pierwszy z nich zakłada reakcję pomiędzy rodnikami paliwa oraz NO. Rodniki (CH_x) tworzą się bardzo szybko po wprowadzeniu paliwa do regeneratora. Głównymi reakcjami zachodzącymi na tym etapie są:

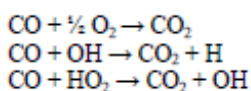


Reakcje te są bardzo szybkie i mają miejsce głównie w górnej komorze regeneratora. Są one odpowiedzialne za 25% redukcję NO_x.

Drugi mechanizm włącza się w momencie przechodzenia gazów odlotowych przez kratownicę regeneratora, w którym będą stosunkowo długo przebywać. CO oraz H₂ (formujące się z pierwotnych paliw 3R) dysponują odpowiednim czasem w wystarczająco wysokiej temperaturze, aby zredukować większość pozostałości NO do N₂. Reakcja ta zachodzi w systemie regeneratora, lecz przede wszystkim w kratownicy, i jest odpowiedzialna za większość redukcji NO_x osiągniętej w procesie 3R. Głównymi reakcjami są:



Drugi etap procesu obejmuje wypalanie zredukowanych gatunków, głównie CO i H₂, które nie weszły w reakcję. Substancje te są utleniane poprzez kontrolowany dodatek powietrza do gazów spalinowych znajdujących się pod regeneratorem. Główne reakcje zostały podane poniżej.



Technologia 3R powinna być uznawana za technologię wtórną, tak jak selektywna redukcja katalityczna i selektywna redukcja niekatalityczna, gdyż nie zapobiega ona tworzeniu się, lecz jedynie redukuje formowanie się NO_x w wyniku procesu termicznego, lecz także NO_x pochodzących z innych źródeł, jak na przykład surowce.

Osiągnięte korzyści środowiskowe

W zależności od instalacji, poziomy emisji uzyskane dzięki zastosowaniu procesu 3R w piecach regeneracyjnych do wytopu szkła float oraz piecach do wytopu szkła opakowaniowego kształtują się w granicach 1,0 – 1,5 kg na tonę wytopionego szkła. Wedle danych pochodzących od dostawcy technologii 3R, możliwa jest ogólna redukcja NO_x wynosząca 70 - 85% oraz stężenia emisji NO_x do poziomu 500 mg/Nm³ lub niższych [65, GEPVP-Proposals for GLS revision 2007].

Wpływ na inne komponenty środowiska

Główną wadą technologii 3R jest to, że zastosowanie paliw węglowodorowych w celu uzyskania niezbędnej redukcji NO_x zakłada istnienie kosztów własnych i prowadzi do zwiększenia emisji CO₂. Oznacza to, że korzystne jest łączenie technologii 3R z bardziej konwencjonalnymi środkami redukcji emisji NO_x w celu zmniejszenia zapotrzebowania na paliwo w omawianej technologii. Jednakże w tym przypadku należy wziąć pod uwagę ogólne koszty i wpływ na inne komponenty środowiska, w szczególności w przeliczeniu na tonę oczyszczonego NO_x.

Jeśli zainstalowany jest kocioł wykorzystujący ciepło odpadowe i jest możliwe wykorzystanie odzyskanej energii na miejscu lub lokalnie, wówczas większość energii zawartej w paliwach 3R jest możliwa do odzyskania. W takich przypadkach ogólny wzrost CO₂ będzie minimalny; jednakże zastosowanie technologii 3R niekoniecznie zakłada, że kocioł odzysknicowy będzie w ogólnym ujęciu efektywny kosztowo, natomiast jeśli zostanie on zainstalowany (lub zostanie wyrażony zamiar jego instalacji), wówczas technologia 3R przynosi efekt w postaci korzystnego wzrostu ładunku pieca, dzięki czemu można korzystać z kotła. Ogółem, może to doprowadzić do znaczących oszczędności w zakresie zapotrzebowania zakładu na energię oraz zmniejszenia wykorzystania innych źródeł energii (np. kotłów paliwa kopalnego). Ważnym ograniczeniem ilości energii możliwej do odzyskania jest często brak zapotrzebowania na parę w instalacji. Przykładowo, w sektorze szkła opakowaniowego, kotły odzysknicowe znajdują się zwykle w zakładach, w których wykorzystywany jest olej napędowy (wymagający podgrzewania), mimo iż w ostatnich latach odchodzi się od kotłów jednopunktowych na rzecz nagrzewania śladowego w wielu zakładach stosujących olej napędowy.

Jeżeli zakład nie posiada systemu odzysku ciepła odpadowego, wymagane dodatkowe paliwo stanowi około 7% energii wytapiania. Przyniosłoby to efekt w postaci zwiększonych emisji CO₂, kształtujących się na poziomie 25 – 35 kg na tonę wytopionego szkła lub 4 – 6 ton na tonę oczyszczonego NO_x. Szacowany wzrost emisji nie obejmuje dodatkowych emisji pośrednich CO₂ (100 – 150 ton rocznie) oraz NO_x, związanych z wykorzystaniem dodatkowej energii elektrycznej niezbędnej przy zwiększonej wydajności wentylatorów (dodatkowa objętość gazów odlotowych).

W praktyce, precyzyjne wymogi paliwowe w kontekście osiągnięcia pożądanej redukcji emisji NO_x mogą różnić się w zależności od konkretnych warunków pieca.

Jeżeli proces 3R jest nieodpowiednio uruchamiany i prowadzony, może nastąpić zniszczenie regeneratorów. Zmniejszenie emisji gazów odlotowych może doprowadzić do zwiększonego poziomu korozji, wynikającego ze zjawisk kondensacji i wytrącania się, w zależności od typu materiału ogniotrwałego zastosowanego w regeneratorze.

Dane operacyjne

Stopień redukcji NO_x osiągnięty dzięki technologii 3R zależy głównie od ilości dodatkowego paliwa i może zostać przystosowany do różnych norm emisji. W przypadku zastosowań w piecach do wytopu szkła float, zasilanych powietrzem i paliwem, osiągnięte stężenia NO_x powinny wynosić poniżej 500 mg/Nm³ przy 8 % objętości suchej O₂. Jednakże stosowanie powinno być dokładnie kontrolowane, zwłaszcza przy niektórych typach zastosowanego materiału ogniotrwałego.

Główne aspekty technologii 3R zostały podane poniżej.

- Przedział temperatury do wtryskiwania paliwa wynosi zwykle >1300 – 1400 °C w odniesieniu do gorących gazów odlotowych wchodzących do regeneratora.
- W wyniku powyższego, wszelkie wprowadzone węglowodory są przekształcane w CO₂ oraz parę wodną, w zależności od ilości dostępnego tlenu.
- Typowa skala redukcji emisji NO_x mieści się w zakresie 70 – 85% w porównaniu z wartościami wstępnymi, jednakże stwierdzone są również niższe stopnie redukcji w odniesieniu do niższych ilości wtłoczonych węglowodorów.
- Ilość dodatkowego paliwa niezbędnego dla procesu 3R wynosi 7 – 10% całkowitej ilości stosowanej do zapewnienia energii dla pieca wytapiającego, przy czym typową wartością jest 8%. Zużycie dodatkowego paliwa kształtuje się zwykle na poziomie 350 – 375 Nm³ gazu ziemnego na godzinę, przy piecu do wytopu szkła float o wydajności 500 ton dziennie. Zużycie dodatkowego paliwa wynosi 125 – 150 Nm³ gazu ziemnego na godzinę, przy piecu do wytopu szkła opakowaniowego o wydajności 300 ton dziennie.
- Pod względem jednostkowego zużycia energii, zwiększenie spowodowane zastosowaniem procesu 3R szacuje się na około 0,5 GJ na tonę w przypadku szkła float oraz 0,36 GJ na tonę szkła opakowaniowego.
- Dodatkowe kwestie związane ze stosowaniem procesu 3R dotyczą materiałów ogniotrwałych zastosowanych w regeneratorze, które mogą nie być wytrzymałe na zmniejszanie ilości gazów

(CO, węglowodory i sadze), osady soli o właściwościach redukujących oraz wysokie stężenie metali alkalicznych. W przypadku zastosowania technologii 3R, należy unikać pewnych typów materiałów ogniotrwałych, w celu zapobieżenia potencjalnym zniszczeniom regeneratora oraz skróceniu jego okresu użytkowania.

Zestawienie głównych zalet i wad związanych ze stosowaniem technologii 3R zostało przedstawione w Table 4.19..

Tabela 4.19: Główne zalety i wady technologii 3R

<p><u>Zalety:</u> Możliwe osiągnięcie znacznych redukcji emisji NO_x Możliwość zastosowania w większości typów pieców regeneracyjnych (brak stwierdzonych przypadków zastosowań w piecach z palnikami w ścianie czołowej) Brak daleko idących zmian w konstrukcji lub funkcjonowaniu zakładu Niskie koszty kapitałowe Można stosować bez konieczności wyłączania pieca Brak potrzeby stosowania odczynników chemicznych Zwiększone zużycie paliwa może być, w niektórych przypadkach, zrekompensowane odzyskiem ciepła odlotowego Zmniejsza poziom NO_x pochodzących ze wszystkich źródeł</p> <p><u>Wady:</u> Zwiększone zużycie paliwa (ogólnie o 7%, jednakże wzrost zużycia może być, w niektórych przypadkach, zmniejszony za pomocą odzysku ciepła odlotowego) Zwiększony poziom emisji CO₂ (20 – 30 kg na tonę wytopionego szkła, jednakże wzrost ten może być, w niektórych przypadkach, zmniejszony za pomocą odzysku ciepła odlotowego) Potencjalne emisje CO Obawy dotyczące wpływu na zastosowane w regeneratorze materiały ogniotrwałe <u>Brak możliwości zastosowania w piecach nieregeneracyjnych</u></p>
--

Zastosowanie

Omawiana technologia, według stanu na 2009 r., była uznawana za mającą zastosowanie jedynie w piecach regeneracyjnych, jednakże może być wdrożona zarówno w istniejących, jak i w nowych zakładach oraz w piecach, w których proces produkcyjny jest zasilany ropą lub gazem ziemnym.

Proces 3R jest stosowany głównie w przemyśle wytwarzającym szkło float. Poza tym sektorem jest wykorzystywany bardzo rzadko.

Istnieją obawy, że atmosfera redukująca wytworzona w regeneratorach może spowodować zniszczenie niektórych rodzajów materiałów ogniotrwałych, zwłaszcza przy występowaniu wyższych temperatur. Większość doświadczeń związanych z tą technologią uzyskano na podstawie użytkowania pieców do wytapiania szkła float, z których większość korzysta z wysokiej jakości materiałów ogniotrwałych w regeneratorach. Prawdopodobieństwo wystąpienia zniszczenia materiałów ogniotrwałych jest większe w przypadku materiałów o niższej jakości (np. tych zawierających Ca, Fe i Cr), które są wykorzystywane w niektórych zakładach wytwarzających szkło opakowaniowe. Kwestia ta jest właściwa dla każdego przypadku, jednakże zastąpienie istniejących materiałów ogniotrwałych materiałami o większej wytrzymałości termicznej i chemicznej może pociągnąć za sobą znaczące koszty.

Autorzy tej technologii twierdzą, że modyfikacje regeneratorów nie będą konieczne w ogromnej większości przypadków.

Ekonomika

Typowe koszty inwestycyjne kształtują się w granicach 200 000 – 350 000 EUR, w zależności od liczby otworów na palniki oraz rozmiaru pieca.

Koszty operacyjne obejmują głównie koszty dodatkowe paliwa (często jest to gaz ziemny), wtlaczanego w górnej części komór regeneratora; dlatego też zależą one w dużej mierze od ceny paliwa. Dodatkowym kosztem są również opłaty licencyjne za korzystanie z technologii. Wzór opłaty

licencyjnej jest dość złożony, jednakże wraz z kolejnymi etapami cyklu korzystania z licencji, opłaty te wynoszą zwykle około 0,5 EUR za tonę wytopionego szkła.

Szkło float

Szacunkowe dane dotyczące kosztów stosowania procesu 3R w sektorze produkcji szkła float, oparte na domniemanym osiągniętym poziomie emisji NO_x wynoszącym <500 mg/Nm³, zostały podane poniżej.

- Koszty inwestycyjne, które różnią się w zależności od rozmiaru pieca, mogą kształtować się w granicach od 310 000 EUR (500 ton dziennie) do 360 000 EUR (900 ton dziennie).
- Koszty operacyjne, składające się z dodatkowego gazu ziemnego oraz licencji na korzystanie z technologii 3R, mieszczą się w granicach 1,06 mln – 1,3 mln EUR rocznie.
- W oparciu o ceny gazu ziemnego w 2007 r., stosowanie procesu 3R przynosi efekt w postaci kosztów jednostkowych wynoszących od 6 do 6,25 EUR za tonę wytopionego szkła float w piecu o wydajności 500 ton dziennie oraz około 5,5 EUR za tonę wytopionego szkła w piecu o wydajności 650 ton dziennie. Koszty zmniejszenia emisji NO_x na kg wynoszą 1,4 – 1,8 EUR na kg usuniętego NO_x. W przypadku pieców do wytapiania szkła float, roczna redukcja emisji NO_x wynosi zwykle 700 – 1 000 ton NO_x rocznie, w zależności od rozmiaru pieca i wstępnych emisji NO_x.
- Dane kosztowe nie obejmują odzysku ciepła za pomocą kotłów ciepła odlotowego.

Szkło opakowaniowe

Poniżej zostały przedstawione szacunkowe koszty stosowania technologii 3R w piecach służących do wytapiania szkła opakowaniowego.

- Koszty inwestycyjne kształtują się w zakresie od 185 000 EUR (200 ton dziennie) do 280 000 EUR (600 ton dziennie).
- Typowe koszty operacyjne wynoszą od 300 000 EUR rocznie w przypadku pieców o wydajności 200 ton dziennie do 780 000 EUR rocznie w przypadku pieców o wydajności 600 ton dziennie. W rezultacie koszty wynoszą 4 – 4,5 EUR na tonę wytopionego szkła w przypadku małych i średnich pieców do wytapiania szkła opakowaniowego oraz 3,75 EUR za tonę wytopionego szkła w przypadku pieców bardzo dużych.
- Koszty zmniejszenia emisji NO_x w przeliczeniu na kg wynoszą 2,5 EUR na kg usuniętego NO_x. W przypadku mniejszych pieców do wytapiania szkła opakowaniowego (200 – 300 ton dziennie), możliwa do osiągnięcia redukcja emisji wynosi około 125 – 150 ton emisji NO_x rocznie, zaś w przypadku pieców o wydajności 600 ton dziennie, możliwe jest zmniejszenie emisji o ponad 300 ton emisji NO_x rocznie.
- Dane kosztowe nie obejmują odzysku ciepła za pomocą kotłów ciepła odlotowego.

Wzrastające koszty paliwa oraz kary związane ze zwiększoną emisją CO₂ mogą mieć wpływ na stosowanie technologii 3R w przyszłości.

Podsumowanie danych kosztowych oraz danych dotyczących powiązanego usunięcia emisji NO_x w pewnej liczbie zastosowań technologii 3R zostało przedstawione w dziale 8.1.7, tabela 8.8.

Motywacja do wdrożenia technologii

Główną motywacją do stosowania tej technologii jest chęć dochowania zgodności z ograniczeniami prawnymi oraz czerpania korzyści z niskich kosztów inwestycyjnych.

Przykładowe zakłady

W 2007 r. funkcjonowało co najmniej 14 pieców, w których zainstalowany był sprzęt 3R.

Proces 3R jest stosowany głównie w przemyśle wytwarzającym szkło float. Poza tym sektorem jest wykorzystywany bardzo rzadko.

Sektor szkła opakowaniowego:

Testy krótkoterminowe zostały przeprowadzone z powodzeniem w United Glass w St. Helens (zakład ten został zamknięty w 1998 r.). Nie badano długoterminowego oddziaływania procesu.

Sektor szkła float:

- Pilkington, Weiherhammer, Niemcy
- Pilkington, Gladbeck, Niemcy
- Pilkington, St. Helens, Wielka Brytania, szkło float – trzy piece
- Pilkington, Finlandia
- Pilkington, Szwecja
- Pilkington, Marghera-Wenecja, Włochy
- Pilkington, Stany Zjednoczone, dwa piece do wytopu szkła float
- Guardian Industries, Luksemburg

Sektor szkła specjalnego:

Samsung Corning, Korea (szkło telewizyjne)

Bibliografia

[40, Shulver et al. 1997] [65, GEPVP-Proposals for GLS revision 2007] [85, Spanish BAT Glass Guide 2007] [94, Beerkens - APC Evaluation 2008].

4.4.2.7 Selektywna redukcja katalityczna (SCR)

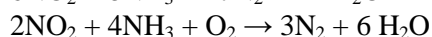
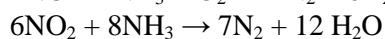
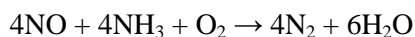
Opis

SCR obejmuje reakcje NO_x z amoniakiem w warstwie katalitycznej w odpowiedniej temperaturze. Dostępnych jest kilka katalizatorów, z których każdy działa w nieco innym zakresie temperatur. Najczęściej stosowanymi katalizatorami są wanad i tlenki tytanu (zwykle TiO₂ oraz V₂O₅), zimpregnowane w substracie metalicznym lub ceramicznym. Mogą być zastosowane również zeolitowe sita cząsteczkowe, w których reakcja odbywa się w mikroskopijnej strukturze porowatej. Skuteczność zeolitów może zostać zoptymalizowana poprzez dodanie takich materiałów, jak platyna lub pallad do struktury. Niezależnie od tego, jaki katalizator zostanie użyty, ważne jest utrzymanie odpowiedniej temperatury użytkowania, zwykle 200 – 500 °C, przy czym optymalna temperatura wynosi 300 – 450 °C.

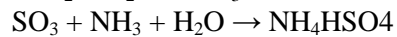
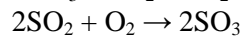
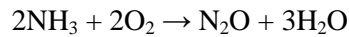
Katalizatory stosowane w przemyśle szklarskim są modularnymi strukturami przypominającymi plaster miodu, choć w innych sektorach stosowane są również formy ziarniste i płytkowe. Rozmiar modułu zależy od objętości oczyszczanego gazu oraz pożądanego stopnia redukcji NO_x. Struktura modułarna umożliwia łatwą wymianę sekcji lub dodanie kolejnych katalizatorów. Okres użytkowania katalizatorów zależy od wielu czynników, w szczególności jednak od składu gazów odlotowych i konstrukcji zakładu. Większość dostawców gwarantuje trzyletni lub dłuższy okres użytkowania, a w większości zastosowań przemysłowych należy oczekiwać, że okres użytkowania bez znaczącego spadku skuteczności będzie wynosił 5 do 6 lat.

Systemy są projektowane tak, aby uzyskać 75 – 95% redukcję emisji NO_x, mimo iż typowa długoterminowa skuteczność usuwania NO_x kształtuje się w granicach 70 – 80%. W teorii skuteczność redukcji emisji NO_x wzrasta wraz ze stosunkiem molowym NH₃:NO_x, jednakże jest on zwykle utrzymywany na poziomie jak najbardziej zbliżonym do 1:1, w celu zminimalizowania stopnia prześlizgu amoniaku. NO_x wchodzi w reakcję z NH₃, zgodnie z ogólnymi reakcjami, które zostały podane poniżej. Reakcje te typowo zachodzą w temperaturze około 950 °C (zob. dział 4.4.2.8, selektywna redukcja niekatalityczna), jednakże obecność katalizatorów obniża temperaturę poprzez absorbowanie NH₃, który wchodzi w reakcję z NO w fazie gazowej. Amoniak jest włączany do górnej części katalizatora, w postaci ciekłego NH₃ lub roztworu wodnego. W niektórych zastosowaniach wykorzystuje się mocznik, jednakże nie jest on postrzegany jako korzystny przez przemysł szklany.

Główne reakcje utleniająco-redukujące są następujące:



Zachodzi również kilka niepożądanych reakcji:



Wraz z selektywną redukcją katalityczną, produkcja N_2O utrzymuje się na bardzo niskim poziomie i nie stanowi zwykle problemu. Formowanie się SO_3 oraz następująca reakcja na wodorosiarczan amonu (NH_4HSO_4) może stanowić problem, zwłaszcza w przypadku stosowania paliw o dużej zawartości siarki. Wodorosiarczan amonu może zatruć katalizator i powodować zanieczyszczenie i korozję sprzętu. Niektóre pyły zawierające metale alkaliczne (np. MgO , CaO , Na_2O , K_2O) lub metale ciężkie mogą również zatruwać katalizatory.

Pomimo istnienia systemów odpylających, w procesie wytopiania szkła konieczne jest zainstalowanie modułu odpylającego przed modułem selektywnej redukcji katalitycznej. Moduł ten musi redukować stężenie pyłów do 10 - 15 mg/Nm^3 i niemal zawsze przyjmuje postać filtra elektrostatycznego. Niskie temperatury użytkowania filtrów workowych wymagałyby podgrzewania gazów odlotowych do temperatury reakcji katalizatora, co wybitnie zwiększyłoby koszty operacyjne i uznawane byłoby za kwestię uniemożliwiającą wprowadzenie tego systemu. Konieczne jest również wdmuchiwanie powietrza przez warstwę katalizatora (mniej więcej co dwie godziny), w celu zapobieżenia ich blokowania przez pyły drobnoziarniste. Zastosowanie filtra elektrostatycznego oznacza, że w wielu przypadkach konieczne jest również zainstalowanie systemu przemywania gazów kwaśnych w końcowym odcinku filtra elektrostatycznego.

Osiągnięte korzyści środowiskowe

Osiągnięte poziomy emisji NO_x zależą głównie od stężenia na wejściu oraz ilości zastosowanych katalizatorów i amoniaku. Poziom amoniaku jest zwykle utrzymywany poniżej stosunku 1,1:1, w celu ograniczenia potencjału ubytku amoniaku. W niektórych zastosowaniach w przemyśle szklanym stwierdzane są stężenia emisji wynoszące poniżej 500 mg/Nm^3 , zwłaszcza w sektorach szkła opakowaniowego i płaskiego, przy zastosowaniu katalizatorów dwuwarstwowych. Wyższe wartości, wynoszące około 700 mg/Nm^3 , są stwierdzane w instalacjach z katalizatorami jednowarstwowymi.

Teoretycznie, w przypadku zastosowania wystarczającej ilości katalizatorów, możliwe jest uzyskanie bardzo niskich poziomów emisji, jednakże w praktyce istnieje wiele czynników ograniczających skuteczność.

Bez zastosowania podstawowych środków oczyszczania NO_x na szeroką skalę, bardziej typowe poziomy emisji z pieców szklarskich wynosiłyby 1 200 - 2 000 mg/Nm^3 , zaś redukcja o 80 - 90% przyniosłaby wartości w zakresie od poniżej 200 do 500 mg/m^3 oraz 0,5 do 1,0 kg na tonę wytopionego szkła w sektorze szkła opakowaniowego oraz 1 do 1,5 kg na tonę w sektorze szkła płaskiego. W połączeniu ze środkami podstawowymi, opisanymi w dziale 4.4.2.1, można oczekiwać bardzo niskich wartości, jednakże w tym przypadku należy wziąć pod uwagę ogólne koszty i wpływ na inne komponenty środowiska, w szczególności w przeliczeniu na tonę oczyszczonego NO_x .

W praktyce, co zostało stwierdzone powyżej, rzeczywiste wartości w odniesieniu do zastosowań w sektorze szkła opakowaniowego i płaskiego kształtują się w granicach 400 - 800 mg/Nm^3 , przy czym skuteczność usuwania wynosi 70 - 80%, w zależności od wstępnego stężenia NO_x . Jeśli chodzi o produkcję szkła specjalnego, wykorzystującą azotany w zestawie składników, o wstępnym stężeniu NO_x wynoszącym 5 000 mg/Nm^3 , stwierdzane są wartości oscylujące wokół 900 mg/Nm^3 po zastosowaniu technologii selektywnej redukcji katalitycznej. Wartości te są ogólnie związane z kwestią ucieczki amoniaku, w zakresie 8 - 20 mg/Nm^3 ; jednakże stwierdzane są również wartości <30 mg/Nm^3 , gdy uda się uzyskać stężenie NO_x zbliżone do dolnej granicy lub gdy stosowany jest system jednego katalizatora.

Wpływ na inne komponenty środowiska

Głównym oddziaływaniem na inne komponenty środowiska związanym ze stosowaniem technologii selektywnej redukcji katalitycznej są potencjalne emisje amoniaku, korzystanie z energii elektrycznej oraz produkcja odpadów stałych po zakończeniu cyklu użytkowania katalizatora.

Stosowanie amoniaku jest związane nie tylko z ucieczką roztworu, który nie wszedł w reakcję, lecz także z wymogami środowiskowymi i prawnymi w zakresie bezpieczeństwa transportu, magazynowania i stosowania amoniaku (w celu zapoznania się z metodami zapobiegania i kontroli głównych ryzyk związanych z substancjami niebezpiecznymi, zob. dyrektywy 96/82/WE oraz 2003/105/WE). Emisje pośrednie związane z wytwarzaniem amoniaku należy również wziąć pod uwagę.

Emisje amoniaku z systemu selektywnej redukcji katalitycznej do gazów odlotowych wynosi zwykle mniej niż 30 mg/Nm³. W przypadku selektywnej redukcji katalitycznej wykorzystującej pojedynczy katalizator w zakładzie wytwarzającym szkło float stwierdzono stężenie wynoszące około 30 mg/Nm³, przy czym poziom wyjściowy wynosił 2 400 mg/Nm³ a skuteczność usuwania 71%. W przypadku zastosowania dwóch katalizatorów w piecu do wytapiania szkła float stwierdzono stężenie wynoszące 33 mg/Nm³, w powiązaniu z niskim krótkoterminowym stężeniem NO_x, wynoszącym około 340 mg/Nm³.

W przypadku pieca do wytopu szkła specjalnego stwierdzono poziom emisji amoniaku wynoszący 20 mg/Nm³, przy czym stężenie wyjściowe wynosiło 5 278 mg/Nm³, a skuteczność usuwania wyniosła 80%.

Zwykle dodatkowa warstwa katalizatora może przyczynić się do zmniejszenia ucieczki amoniaku i zwiększenia prawdopodobieństwa obniżenia emisji NO_x (całkowite usunięcie NO_x >80%). Jednakże lepszą skuteczność otrzymuje się przy dodatkowych kosztach, co należy wziąć pod uwagę. Korzystanie z energii elektrycznej (w celu uzyskania dodatkowej wydajności wentylatorów oraz sprężonego powietrza do czyszczenia modułów katalizatorów oraz rozpylenia roztworu amoniaku w gazach odlotowych) oraz zużycie amoniaku są powiązane z pośrednimi emisjami związanymi z ich produkcją. Szacunki sporządzone dla technologii selektywnej redukcji katalitycznej stosowanej w piecach do wytapiania szkła float wynoszą 1,8 – 2,5 ton pośrednich emisji NO_x rocznie oraz 800 – 1 500 ton CO₂ rocznie, w zależności od rozmiaru pieca do wytapiania szkła float. Pośrednie emisje NO_x stanowią jedynie 0,3 do 0,5% ilości NO_x zredukowanego za pomocą selektywnej redukcji katalitycznej (600 – 1 300 ton rocznie w przypadku pieców do wytapiania szkła float o wydajności 500 - 600 ton dziennie), a pośrednie emisje CO₂ stanowią niemal 1% ogółu emisji CO₂ przez piece.

Po zakończeniu okresu użytkowania katalizatora staje się on odpadem. Typowy okres użytkowania katalizatora wynosi 4 - 5 lat (w przypadku szkła opakowaniowego okres ten wynosi >10 lat), zaś wielkość wytwarzanych odpadów może wynosić 20 m³ w przypadku pieca do wytapiania szkła float o wydajności 700 ton dziennie.

Dane operacyjne

W większości zastosowań w przemyśle szklanym, selektywna redukcja katalityczna jest stosowana w celu utrzymania zgodności ze stosowanym prawem lokalnym, które zakłada poziom emisji nie niższy od 500 mg/Nm³. Poziom emisji NO_x wynoszący <500 mg/Nm³ (<800 mg/Nm³ w przypadku wysokiego stężenia wejściowego) jest typowo osiągany za pomocą selektywnej redukcji katalitycznej. Istniejące prawodawstwo w zakresie emisji NO_x oraz amoniaku resztkowego ma wpływ na bieżące dane operacyjne.

W niektórych działach przemysłu osiągnięto wartości <200 mg/Nm³ i nie jest nierozsądnym oczekiwać, że podobne wartości mogą zostać osiągnięte w niektórych przypadkach w przemyśle szklarskim. Jednakże należy podkreślić, że w momencie sporządzania niniejszego dokumentu (2010 r.), te niższe wartości nie zostały uzyskane w praktyce w przemyśle szklarskim, tak więc należy rozważyć zarówno konsekwencje techniczne, jak i ekonomiczne.

Większość istniejących zastosowań technologii selektywnej redukcji katalitycznej w przemyśle szklarskim przyczyniło się do redukcji emisji na poziomie 70 – 80%, jednakże osiągnięcie poziomu 80 – 95% również jest możliwe, zwłaszcza za pomocą nowej instalacji selektywnej redukcji katalitycznej, przy zastosowaniu katalizatorów o większej objętości (np. druga warstwa modułów katalizatorowych).

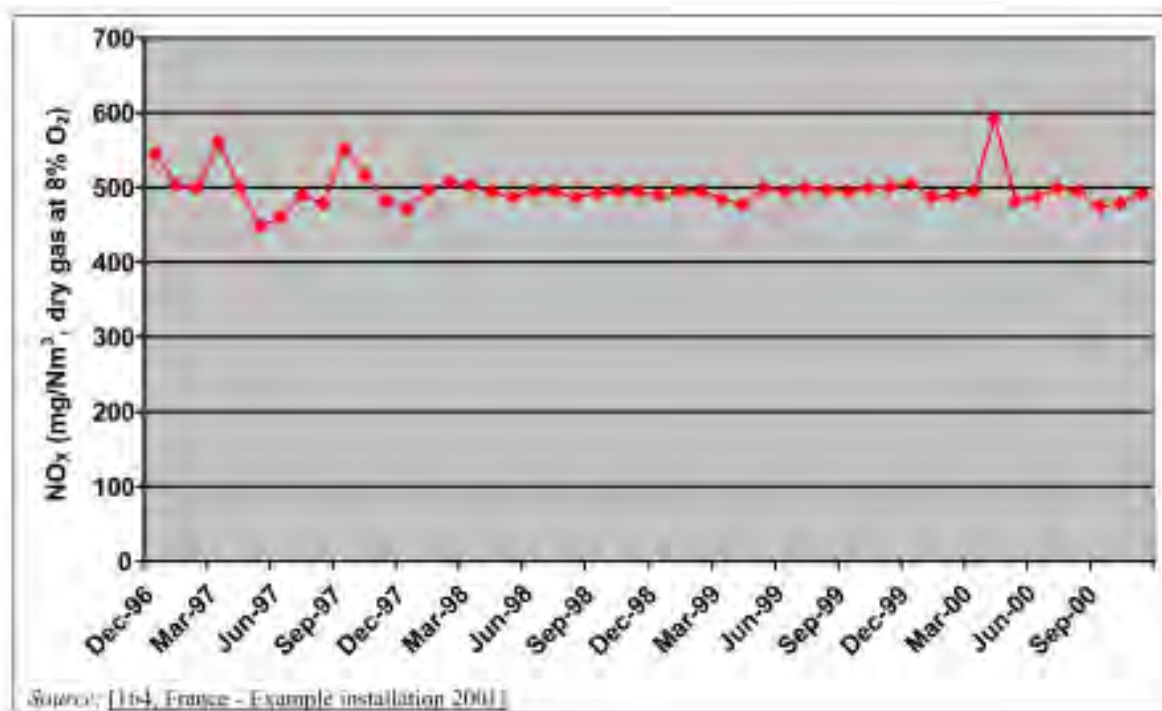
Podczas sporządzania tego dokumentu (2010 r.) najlepsze wartości, w granicach 460 - 500 mg/Nm³, uzyskiwane za pomocą tej technologii zaobserwowano w piecach do wytapiania szkła opakowaniowego oraz szkła płaskiego, bez przekraczania stężenia NH₃ wynoszącego 30 mg/Nm³ w dalszych fazach procesu selektywnej redukcji katalitycznej.

Dane dotyczące przykładowych instalacji stosowanych przy produkcji szkła opakowaniowego, płaskiego i specjalnego, wykorzystujących technologię selektywnej redukcji katalitycznej w połączeniu z filtrami elektrostatycznymi oraz przemywania na sucho, zostały przedstawione w Table 4.20..

Tabela 4.20: Poziomy emisji NO_x związane ze stosowaniem technologii selektywnej redukcji katalitycznej na przykładach

	Szkło opakowaniowe⁽¹⁾	Szkło płaskie⁽²⁾	Szkło specjalne⁽³⁾
Paliwo	Gaz ziemny	Gaz ziemny	Gaz ziemny/lekki olej napędowy
Typ pieca	Z palnikami w ścianie czołowej (cztery piece)	Float	Regeneracyjny z napromieniowaniem krzyżowym
Całkowita wydajność	640 ton dziennie	600 ton dziennie	170 ton dziennie
Instalacja selektywnej redukcji katalitycznej	Dwuwarstwowy katalizator typu plaster miodu	Jednowarstwowy katalizator typu plaster miodu	Katalizator typu plaster miodu o objętości 10 m ³
Środek redukujący	25% roztwór amoniaku	25% roztwór amoniaku	25% roztwór amoniaku
Zużycie środka redukującego	145 l/h	200 l/h	Brak
Powiązane poziomy emisji	Średnie wartości półgodzinne	Średnie wartości półgodzinne	Średnie wartości półgodzinne
Emisje NO _x			
mg/Nm ³ , suchy gaz przy 8% O ₂	456	700	950
kg/t szkła	0.97 ⁽⁴⁾	1.12	6.05
Skuteczność usuwania NO _x	75 %	71 %	82 %
Emisje amoniaku			
mg/Nm ³ , suchy gaz przy 8% O ₂	19.5	<30 ⁽⁵⁾	20
(1) Instalacja składa się z czterech pieców. (2) Instalacja jest wyposażona w ciągłe monitorowanie NO _x , NH ₃ i innych parametrów. (3) Instalacja jest wyposażona w system odzysku ciepła. Zestaw surowców zawiera azotany. (4) Wartość została obliczona w oparciu o udostępnione informacje (przepływ masy, objętość gazów spalinowych, wytopione szkło, stężenie emisji). (5) Wartość odnosi się do pomiarów punktowych. Stwierdzono średnie stężenie ciągle wynoszące około 10 mg/Nm ³ <i>Źródło: T75, Germany-HVG Glass Industry report 20071 T84, Italy-Report 20071</i>			

Przykład zmieniającego się stężenia emisji NO_x pochodzących z zakładu produkcji szkła float, wyposażonego w instalację selektywnej redukcji katalitycznej, został przedstawiony na rys. 4.8. Dane podane na tym rysunku odnoszą się do średnich wartości miesięcznych, przy czym stężenia emisji NO_x są mierzone w ujęciu ciągłym.



NO_x (mg/Nm³, suchy gaz przy 8% O₂)

Rysunek 4.8: Zmiany stężenia NO_x zachodzące z czasem, dla pieca do wytapiania szkła float wyposażonego w instalację selektywnej redukcji katalitycznej

Pomiary nieciągłe były prowadzone przez porównywalny okres czasu na tym samym piecu przez certyfikowane laboratorium. Wyniki pomiarów zostały przedstawione w tabeli 4.21, zarówno pod względem stężenia (mg/Nm³, przy 8 % O₂) oraz emisji (kg/tonę wytopionego szkła).

Tabela 4.21: Wyniki nieciągłych pomiarów emisji NO_x z pieca do wytapiania szkła float

Data	Emisje NO _x (1)	
	mg/Nm ³ , przy 8 % O ₂	kg/tonę wytopionego szkła
Luty 97	485	1.15
Kwiecień 98	419	1.01
Listopad 98	372	0.91
Kwiecień 99	433	1.04
Październik 99	375	0.92
Kwiecień 00	343	0.84
Listopad 00	411	1.00

(1) Wartości odnoszą się do nieciągłych pomiarów przeprowadzonych przez certyfikowane laboratorium
 Źródło: [164, France - Example installation 2001]

Odczynnik NH₃ zastosowany w procesie selektywnej redukcji katalitycznej jest często wprowadzany w stan lotny i wtryskiwany pod ciśnieniem w postaci pary do strumienia gazów spalinowych w dalszym odcinku warstwy katalizatora. Można zastosować zarówno ciekły amoniak lub roztwór wodny (zwykle 25%). Płynny NH₃ jest substancją niebezpieczną, dlatego też istnieją ważne kwestie dotyczące kosztów i bezpieczeństwa magazynowania i stosowania tej substancji, w tym kwestia świadomości otoczenia. Większość procesów wytwarzania szkła nie wykorzystuje tych typów substancji chemicznych, zaś operatorzy preferują stosowanie roztworu wodnego, który również

wymaga ostrożnego magazynowania i obchodzenia się. Kwestie właściwe dla miejsce, w szczególności bliskość zabudowań domowych oraz środowiska wrażliwego, muszą zostać wzięte pod uwagę.

Temperatura operacyjna selektywnej redukcji katalitycznej powinna wynosić powyżej 330°C, w celu uniknięcia tworzenia się wodorosiarczanu amonu (NH_4HSO_4). Ten produkt procesu kondensacji/wytrącania się może zanieczyszczać powierzchnię katalizatora oraz instalacji selektywnej redukcji katalitycznej, prowadząc do ich obniżonej skuteczności.

Jeżeli zjawiska te nie występują, wówczas okres użytkowania katalizatora powinien wynosić co najmniej 4 – 5 lat w przypadku większości pieców szklarskich oraz właściwości gazów spalinowych, jednakże stwierdzano również znacznie dłuższe okresy użytkowania (do 10 – 12 lat).

Typowa objętość katalizatora niezbędnego do zainstalowania w piecu do wytapiania szkła float, o wydajności 700 ton dziennie (90 000 Nm^3/h objętości gazów spalinowych) wynosi 20 m (jedna warstwa). Zwykle szacuje się, że potrzebne jest 0,008 m katalizatora na redukcję tony emisji NO_x , zaś objętość 20 m^3 stosowana przez okres 4 – 5 lat przyczyni się do redukcji całkowitej emisji NO_x o około 2 500 – 3 000 ton w tym okresie.

Zastosowanie katalizatora dwuwarstwowego poprawi skuteczność usuwania NO_x i obniży emisję amoniaku. Przy zastosowaniu jednej warstwy, redukcja NO_x wynosi około 75—80%, przy odpowiednim poziomie dawkowania amoniaku. Wyższy stopień dozowania amoniaku przy katalizatorze jednowarstwowym (o wysokości 1 – 1,3 m) zwiększy przebiecie amoniaku do wartości, które mogą stać się nie do zaakceptowania.

Zestawienie głównych zalet i wad związanych ze stosowaniem technologii selektywnej redukcji katalitycznej zostało przedstawione w Table 4.22..

Tabela 4.22: Główne zalety i wady technologii selektywnej redukcji katalitycznej

Zalety:

Bardzo wysoka skuteczność redukcji emisji NO_x

Pozwala dokonać redukcji NO_x ze wszystkich źródeł w piecu, nie tylko NO_x powstającego w wyniku procesu termicznego. Może stanowić część zintegrowanego systemu kontroli zanieczyszczeń powietrza. Istnieją przykłady zastosowania w różnych sektorach przemysłu szklanego. Dostawcy często oferują gwarancję skuteczności.

Wady:

W niektórych zastosowaniach konieczne jest rozwiązanie pewnych kwestii technicznych (np. pewne typy szkła zawierające bor)

Zużywany jest amoniak, który częściowo przedostaje się do powietrza. Wpływ na inne komponenty środowiska związany z produkcją amoniaku oraz kwestie środowiskowe i bezpieczeństwa związane z magazynowaniem i stosowaniem. Zużycie energii przez system

Konieczna jest instalacja wraz z systemem oczyszczania pyłów oraz przemywania gazów kwaśnych; wymagane jest utrzymanie niskich poziomów pyłów i SO_2 .

Stosunkowo wysoki koszt kapitałowy, w szczególności w odniesieniu do małych zakładów. Duże wymogi przestrzenne.

Względna efektywność kosztowa ulegająca obniżeniu w świetle opracowywania tańszych technologii.

Obawy dotyczące okresu użytkowania katalizatorów.

Możliwa interakcja pomiędzy katalizatorem a innymi emisjami (np. SO_2) Temperatura operacyjna ogranicza możliwość odzysku ciepła. Może być wymagane chłodzenie gazów w przypadku pieców rekuperacyjnych

Ze względu na minimalną temperaturę operacyjną, selektywna redukcja katalityczna nie jest kompatybilna ze stosowaniem filtrów workowych, chyba że gazy zostaną ponownie podgrzane.

Zastosowanie

Zasadniczo selektywna redukcja katalityczna może być stosowana w większości nowych i istniejących procesów w przemyśle szklanym. Jednakże istnieje kilka kwestii, które mocno ograniczają stosowanie tej technologii w niektórych przypadkach.

Wysokie poziomy SO_2 zawartego w gazach spalinowych mogą prowadzić do tworzenia się wodorosiarczanu amoniaku, tym samym zatrzymując katalizator i powodując korozję. Jest to potencjalnie również prawdziwe w przypadku pieców gazowych, w których tworzą się duże stężenia siarczanów. Aby uniknąć tego problemu, temperatura gazów spalinowych musi być utrzymywana na poziomie wyższym od $330\text{ }^\circ\text{C}$. Jednym z kluczowych aspektów dotyczących kosztów selektywnej redukcji katalitycznej jest okres użytkowania katalizatora, który może ulec znacznemu skróceniu w przypadku zaistnienia jego zatrucia.

Selektywna redukcja katalityczna jest stosowana w przemyśle energetycznym w celu oczyszczania gazów o wysokim stężeniu SO_2 , a problem ten został rozwiązany poprzez zastosowanie skutecznych technologii odsiarczania gazów spalinowych na końcowych odcinkach instalacji. Skuteczność usuwania SO_2 demonstrowana przez systemy przemywania gazów stosowane w przemyśle szklanym nie wydaje się być porównywalna z selektywną redukcją katalityczną. Bardziej skuteczna metoda usuwania SO_2 spowodowałaby znaczące zwiększenie kosztów i utrudniłaby ponowne wprowadzenie zgromadzonego materiału do pieca, tym samym tworząc kolejny strumień odpadów. Więcej informacji na ten temat znajduje się w dziale 4.4.3.

Jednakże stwierdzono dużą skuteczność stosowania selektywnej redukcji katalitycznej w piecach olejowych. Może to sugerować, że stosowanie oleju napędowego nie stanowi już czynnika ograniczającego wdrażanie selektywnej redukcji katalitycznej; aspekt ten musi jednak zostać poddany dogłębnyemu badaniu.

Technologia selektywnej redukcji katalitycznej wymaga wiele przestrzeni, zwłaszcza jeżeli nie zainstalowane zostały moduły przemywające i filtrujące. W niektórych istniejących zakładach, w których przestrzeń jest ograniczona, może to znacznie zwiększać koszty stosowania tej technologii lub, w niektórych sytuacjach, uniemożliwić jej zastosowanie ze względu na wysokość kosztów.

Innym ważnym aspektem mającym wpływ na stosowanie technologii selektywnej redukcji katalitycznej jest temperatura gazów spalinowych. Nie jest ogólnie praktykowane stosowanie metody selektywnej redukcji katalitycznej w połączeniu z systemem filtrów workowych, gdyż niska temperatura operacyjna, w granicach $180 - 200^\circ\text{C}$, powoduje zwykle konieczność ponownego podgrzania gazów odlotowych. Koszt ponownego ogrzania gazów do około 400°C uniemożliwia właściwie zastosowanie tej technologii, zwiększając jednocześnie zużycie energii do $5 - 10\%$, w porównaniu z energią pobraną przez piec do wytapiania szkła.

Nawet w przypadku filtracji za pomocą filtrów elektrostatycznych, zakres temperatur może być zbyt niski z powodu konieczności dużych zmian produkcyjnych (np. produkcja bardzo cienkiego szkła float), co ma negatywny wpływ na skuteczność systemu selektywnej redukcji katalitycznej.

Technologia ta wymaga również utrzymywania bardzo niskich poziomów pyłów (najlepiej $<10\text{ mg/Nm}^3$) i jeżeli istniejące filtry elektrostatyczne nie są odpowiednie, będzie to wymagało ich unowocześnienia lub wymiany.

Poza ograniczeniami stosowania opisanymi powyżej, najważniejszą kwestią dla przemysłu szklanego w zakresie stosowania selektywnej redukcji katalitycznej jest jej koszt w porównaniu z innymi technologiami.

W dziale 8.1.7 zostały przedstawione i porównane koszty związane ze stosowaniem różnych technologii redukcji NO_x . Selektowna redukcja katalityczna jest stosunkowo drogą technologią w porównaniu ze środkami podstawowymi. Wszystkie wspomniane technologie uległy znacznemu ulepszeniu w ciągu ostatnich lat, zaś w odniesieniu do wielu zastosowań, w których poziom nieoczyszczonych emisji wynosił poniżej 2500 mg/Nm^3 (tj. te, w których nie dodaje się azotanów lub w których wymagane są bardzo wysokie temperatury), selektywna redukcja katalityczna nie jest uznawana przez przemysł szklany za najbardziej efektywną kosztowo technologię redukcji emisji NO_x , natomiast ewolucja kosztów energii może spowodować, że technologia ta stanie się atrakcyjna w porównaniu z innymi opcjami (np. redukcja chemiczna za pomocą paliwa lub niektóre zastosowania systemu zasilania tlenowo-paliwowego, w których stężenia na wejściu są bardzo wysokie).

W momencie sporządzania niniejszego dokumentu (2010 r.) przeprowadzane były badania dotyczące pieców szklarskich stosujących specjalny rodzaj filtra ceramicznego z wbudowanym katalizatorem (system oczyszczania gazów spalinowych CerCat), który jest odporny na temperatury wynoszące około 400 °C. Jednakże technologia ta jest nadal uznawana za będącą w fazie rozwoju, ponieważ w przemyśle szklanym przeprowadzono jedynie testy, a dane związane ze stosowaniem tej technologii na pełną skalę w instalacjach przemysłowych nie są jeszcze dostępne (zob. dział 6.7).

Technologia selektywnej redukcji katalitycznej udowodniła swoją przydatność w odniesieniu do niektórych rodzajów szkła, zawierających wysoką ilość boru (borokrzemianowe rurki szklane przeznaczone dla sektora farmaceutycznego), lecz nie była ona nigdy badana w dziedzinie produkcji wełny szklanej lub włókna szklanego ciągłego. Potencjalnym problemem wynikającym dla tych procesów jest obecność lotnych związków boru, zwłaszcza kwasu borowego, w gazach odlotowych. Materiały te mogą ulegać sprężeniu i formować sole lub materiały kwaśne w temperaturach powyżej 60°C, zaś przy temperaturach wymagane w procesie selektywnej redukcji katalitycznej, mogą one występować w bardzo dużych ilościach. Materiały te mogą mieć poważny wpływ na skuteczność katalizatora i byłyby trudne do usunięcia za pomocą zdmuchiwania sadzy.

Stosowanie technologii selektywnej redukcji katalitycznej w instalacjach wytwarzających szkło gospodarcze o wysokiej zawartości potasu w zestawie składników może być problematyczne, z powodu możliwości potencjalnego zatrucia katalizatora przez związki alkaliczne.

Ekonomika

Koszt selektywnej redukcji katalitycznej zależy głównie od rozmiaru zakładu (objętość gazów odlotowych przeznaczonych do oczyszczenia) oraz pożądanego stopnia redukcji NO_x. Ogólnie rzecz biorąc, technologia ta jest uznawana za generującą wysokie koszty inwestycyjne oraz umiarkowanie wysokie koszty operacyjne. Ponieważ technologia ta jest zintegrowanym, trzystopniowym systemem oczyszczania, koszt jej wdrożenia zależy również w dużej mierze od tego, czy uwzględnione zostały koszty instalacji filtrów elektrostatycznych oraz modułu przemywającego gazy odlotowe. W niektórych przypadkach, można by argumentować, że bez instalacji selektywnej redukcji katalitycznej, piec nie wymagałby instalacji sprzętu odpylającego; jednakże w większości sytuacji jest to wymóg kluczowy.

Istniejące informacje na temat kosztów nie są zawsze łatwe do interpretacji, gdyż są one w dużej mierze właściwe dla danego przypadku. Poniżej podsumowano informacje dostępne w momencie sporządzania niniejszego dokumentu (2010 r.).

W oparciu o metodologię, o której mowa w dziale 8.1, dane dotyczące kosztów zostały oszacowane dla różnych typów produkcji i wydajności pieców. Dane zostały oparte na kosztach rzeczywistych (np. dane pochodzące od dostawców) oraz wartościach obliczonych [94, Beerkens - APC Evaluation 2008].

Powiązane poziomy emisji, które zastosowano do oszacowania kosztów związanych ze stosowaniem technologii selektywnej redukcji katalitycznej w piecach do wytopu szkła, kształtują się w granicach 400 - 500 mg/Nm³ NO_x.

Poniższe dane kosztowe nie obejmują kosztów inwestycyjnych i operacyjnych związanych z uprzednio wymaganymi instalacjami odsiarczającymi i odpylającymi.

Produkcja szkła float

- Typowe koszty inwestycyjne obejmują katalizator, obudowę katalizatora, wentylator lub zwiększoną wydajność wentylatora, w celu uniknięcia spadku ciśnienia nad katalizatorem (około 10 mbar), dodatkowe przewody, magazynowanie roztworu amoniaku, monitorowanie NO_x oraz środki bezpieczeństwa w zakresie przygotowania zakładu.
- Całkowite koszty inwestycyjne mogą wahać się pomiędzy 1,9 mln a 3,1 mln EUR, w zależności od rozmiaru pieca (500 – 900 ton dziennie); wyższa wartość odnosi się do pieców wytwarzających 900 ton szkła float dziennie. Koszty inwestycyjne mogą różnić się pomiędzy

zakładami, w zależności od całkowitej długości przewodów, objętości gazów spalinowych oraz koniecznych do podjęcia środków bezpieczeństwa.

- Koszty operacyjne są generowane głównie przez roztwór amoniaku (lub mocznik), elektryczność, konserwację i katalizator. Podane koszty odnoszą się do selektywnej redukcji katalitycznej wykorzystującej katalizator jednowarstwowy oraz moduły katalizatorów o wysokości około 1,2 - 1,4 m.
- Na podstawie początkowego stężenia NO_x, wynoszącego około 1 800 – 2 000 mg/Nm³ w przypadku pieców gazowych oraz 1 400 mg/Nm³ w przypadku pieców olejowych, roczne koszty operacyjne generowane przez piece do wytapiania szkła float mieszczą się w granicach od 331 000 EUR (piec o wydajności 500 ton dziennie) do 450 000 EUR (piec o wydajności 900 ton dziennie). Zużycie amoniaku oraz koszty powiązane będą wzrastać wraz z wyższymi stężeniami NO_x w nieoczyszczonych gazach spalinowych. Typowe dodatkowe koszty produkcyjne szkła float wynoszą około 2,5 EUR za tonę wytopionego szkła. W przypadku mniejszych wydajności produkcji szkła (<600 ton dziennie) oraz zasilaniu gazowym, koszty te mogą wynosić aż 3 EUR za tonę szkła.
- Koszty jednostkowe na kg redukcji emisji NO_x, związane ze stosowaniem selektywnej redukcji katalitycznej w piecach do wytapiania szkła, wynoszą 0,7 – 0,9 EUR na kg usuniętego NO_x.

Produkcja szkła opakowaniowego

- Typowe koszty inwestycyjne mogą kształtować się w granicach 840 000 EUR – 1,27 mln EUR, w zależności od rozmiaru pieca; wyższa wartość odnosi się do pieców o wydajności 450 ton dziennie, niższa zaś do pieców o wydajności około 200 ton dziennie. Może być konieczne przeprowadzenie dodatkowych inwestycji w celu unowocześnienia systemu oczyszczania gazów spalinowych (np. niskie stężenia pyłów i SO_x).
- Koszty operacyjne wynoszą około 75 000 – 80 000 EUR w przypadku pieców o wydajności 200 ton dziennie do 136 000 EUR rocznie w przypadku większych pieców o wydajności 450 ton dziennie.
- Koszty jednostkowe w przeliczeniu na tonę wytopionego szkła wynoszą około 1,75 – 2,6 EUR.
- Koszty jednostkowe w przeliczeniu na tonę wytopionego szkła są niższe w porównaniu z piecami do wytapiania szkła float, ze względu na niższe jednostkowe zużycie energii oraz mniejszą objętość gazów spalinowych. W zależności od rozmiaru pieca, dodatkowe koszty produkcji kształtują się w zakresie 1,8 – 2,6 EUR za tonę wytopionego szkła, przy czym niższe wartości odnoszą się do większych pieców.
- Koszty jednostkowe w przeliczeniu na kg redukcji emisji NO_x są wyższe w porównaniu z piecami do wytapiania szkła float i wynoszą od 1,3 do 1,7 EUR za kg usuniętych NO_x, w zależności od wielkości pieca do wytapiania szkła opakowaniowego. Koszty jednostkowe wzrastają wraz ze zmniejszaniem się wydajności pieca.

Produkcja szkła gospodarczego

Brak konkretnych danych dotyczących kosztów stosowania selektywnej redukcji katalitycznej w instalacjach służących do produkcji szkła gospodarczego, gdyż technologia ta nie jest obecnie stosowana w tym sektorze. Poniżej opisane koszty zostały oszacowane na podstawie ekstrapolacji danych dotyczących kosztów stosowania technologii selektywnej redukcji katalitycznej w sektorze szkła opakowaniowego.

- W przypadku pieca rekuperacyjnego o wydajności około 35 ton dziennie, wytwarzającego elementy zastawy stołowej, zastosowanie metody selektywnej redukcji katalitycznej oznaczałoby poniesienie kosztów w wysokości około 0,5 mln EUR (w tym przygotowanie zakładu, zwiększenie wydajności wentylatora, magazynowanie roztworu amoniaku) oraz kosztów operacyjnych w wysokości do 40 000 EUR rocznie. Koszty jednostkowe w przeliczeniu na tonę wytopionego szkła są szacowane na 8 EUR. Redukcja emisji NO_x wyniosłaby około 20 – 25 ton NO_x rocznie, przy kosztach jednostkowych wynoszących około 4 – 4,5 EUR na kg usuniętych NO_x.

- W przypadku większych pieców regeneracyjnych do wytapiania zastawy stołowej, koszty inwestycyjne wyniosłyby około 750 000 – 800 000 EUR, zaś koszty operacyjne wyniosłyby 80 000 EUR rocznie, przy kosztach jednostkowych wynoszących niemal 5 EUR za tonę wytopionego szkła oraz 1,4 EUR na kg redukcji emisji NO_x.

Ogólnie rzecz biorąc, dodanie kolejnej warstwy katalizatora zwiększy koszt stosowania technologii selektywnej redukcji katalitycznej o około 0,6 – 0,8 EUR na tonę wytopionego szkła i generować będzie dalszy spadek, wynoszący około 100 mg NO_x/Nm³. Powiązane koszty dodatkowe wyniosłyby około 2,2 EUR na każdy dodatkowy kg redukcji emisji NO_x, w tym koszty dodatkowe katalizatora oraz koszty dodatkowe elektryczności, w celu poprawy wydajności wentylatora.

Podsumowanie typowych wielkości kosztów (inwestycyjnych, operacyjnych i jednostkowych w przeliczeniu na tonę wytopionego szkła oraz na kg redukcji emisji NO_x) w odniesieniu do pieców do wytapiania szkła float, szkła opakowaniowego oraz szacunkowych kosztów hipotetycznych zastosowań selektywnej redukcji katalitycznej w piecach do wytapiania szkła gospodarczego, zostało przedstawione w dziale 8.1.7, tabela 8.8.

Kilka przykładów rzeczywistych danych dotyczących kosztów związanych ze stosowaniem technologii selektywnej redukcji katalitycznej (w powiązaniu ze stosowaniem filtrów elektrostatycznych oraz fazy przemywania na sucho) zostało zamieszczonych w tabeli 4.23, w odniesieniu do instalacji do produkcji szkła opakowaniowego, płaskiego i specjalnego.

Tabela 4.23: Dane dotyczące kosztów związanych ze stosowaniem technologii selektywnej redukcji katalitycznej, przykładowo w odniesieniu do instalacji wytwarzających szkło opakowaniowe, płaskie i specjalne

	Szkło opakowaniowe ⁽¹⁾	Szkło płaskie	Szkło specjalne ⁽¹⁾
Paliwo	Gaz ziemny	Gaz ziemny	Gaz ziemny/lekki olej napędowy
Całkowita zdolność produkcyjna	640 ton dziennie	600 ton dziennie	220 ton dziennie
Powiązane poziomy emisji	456 mg/Nm ³ 0,97 kg/t szkła	700 mg/Nm ³ 1,12 kg/t szkła	950 mg/Nm ³ 6,05 kg/t szkła
System kontroli emisji	Selektywna redukcja katalityczna + filtry elektrostatyczne + przemywanie na sucho za pomocą Ca(OH) ₂	Selektywna redukcja katalityczna + filtry elektrostatyczne + przemywanie na sucho za pomocą Ca(OH) ₂	Selektywna redukcja katalityczna + filtry elektrostatyczne + przemywanie na sucho za pomocą Ca(OH) ₂
Koszty powiązane ⁽²⁾			
Koszty inwestycyjne selektywnej redukcji katalitycznej, w tym magazynowania amoniaku	2,35 mln EUR	Brak	1,5 mln EUR
Koszty inwestycyjne filtrów elektrostatycznych + przemywania na sucho	3,95 mln EUR	Brak	2,8 mln EUR
Całkowite koszty inwestycyjne	6,3 mln EUR	5,0 mln EUR	4,3 mln EUR
Czas trwania amortyzacji	13 lat	Brak	10 lat
Roczne koszty amortyzacji selektywnej redukcji katalitycznej + filtrów elektrostatycznych	312 550 EUR rocznie + 525 350 EUR rocznie	Brak	199 500 EUR rocznie + 372 400 EUR rocznie

i przemywania na sucho			
Jednostkowe koszty inwestycyjne katalizatora	2,00 EUR na tonę szkła	Brak	9,34 EUR na tonę szkła
Koszty dostawy amoniaku	106 000 EUR rocznie	Brak	Brak
Jednostkowe koszty inwestycyjne systemu kontroli emisji	5,61 EUR na tonę szkła	4,5 EUR na tonę szkła	19,77 EUR na tonę szkła
(1). Koszty obejmują akcesoria, dmuchawę, rurociąg, magazynowanie amoniaku, itp. ⁽²⁾ . Dane dotyczące kosztów odnoszą się do roku instalacji systemu kontroli zanieczyszczenia powietrza i niekoniecznie odzwierciedlają koszty bieżące. Źródło: [75, Germany-HVG Glass Industry report 2007] [84, Italy-Report 2007]			

Siła napędowa procesu wdrażania

Główną motywacją do wdrożenia tej technologii jest chęć przestrzegania granicznych wartości emisji określonych prawnie.

Przykładowe zakłady

Tabela 4.24 zawiera wykaz zakładów, w których stosowana jest technologia selektywnej redukcji katalitycznej, wraz z podsumowaniem parametrów operacyjnych.

Tabela 4.24: Zakłady wykorzystujące technologię selektywnej redukcji katalitycznej wraz z parametrami operacyjnymi

Nazwa i lokalizacja zakładu	Objętość gazu Nm ³ /godzinę	Na wejściu mg/Nm ³	Na wyjściu mg/Nm ³	Redukcja (%)	NH ₃ mg/Nm ³
Schott-Rohrglas, Mitterteich, Niemcy (szkło specjalne)	60000	5000	1500	70	<20
Euroglas SA, Hombourg, Francja, szkło float	55000	2000	500	75	<5
AGC Flat Glass Europe, Cuneo, Włochy (szkło float)	70000	2400	700	71	<30
Ardagh, Bad Munder, Niemcy (szkło opakowaniowa)	60000	1300	<460	>65 %	19.5
Quinn glass, Ince, Wielka Brytania (szkło opakowaniowe)	50000	1100	<500	55	<30

W 2007 r. stwierdzono, iż w siedmiu zakładach funkcjonuje system selektywnej redukcji katalitycznej w sektorze produkcji szkła płaskiego, w tym:

- Euroglas SA, Hombourg, Francja (szkło float)
- Euroglas SA, G.Osterweddingen, Niemcy (szkło float)
- AGC Flat Glass Europe, Cuneo, Włochy (szkło float)
- AGC Flat Glass Europe, Roux, Belgia (szkło float)
- Interpane Vitrage France S.a.r.l. Seingbouse (szkło float), rozpoczęcie stosowania selektywnej redukcji katalitycznej w 2007 r.
- AGC Flat Glass, Boussois, Francja.

W kilku zakładach planowano zastosowanie tej technologii w latach 2008 – 2009.

Bibliografia

[33, Beerkens 1999] [47, ANFFECC 1999] [7, Ind.duVerre 1996] [65, GEPVP-Proposals for GLS revision 2007] [64, FEVE 2007] [88, FEVE Proposal Ch.4-NOx 2007] [75, Germany- HVG Glass Industry report 2007] [94, Beerkens - APC Evaluation 2008] [84, Italy-ENEA Report 2007] [Schmalhorst, E.; Ernas, T.; Jeschke, R.: Doświadczenia ze stosowaniem technologii selektywnej redukcji katalitycznej w procesie usuwania tlenków azotu w piecach do wytapiania szkła opakowaniowego. *Glastech. Ber. Glass Sci. Technol.* 70 (1997) no. 11 pp. 354-358].

4.4.2.8 *Selektywna redukcja niekatalityczna (SNCR)*

Opis

W procesie selektywnej redukcji niekatalitycznej (SNCR), zwanym również termicznym usuwaniem tlenków azotu, tlenki azotu zawarte w gazach spalinowych są redukowane do azotu poprzez wejście w reakcję z amoniakiem lub mocznikiem w wysokich temperaturach. W przemyśle szklarskim stosowane są głównie amoniak oraz wodny roztwór amoniaku (typowo 25% roztwór wodny), zaś w niektórych zastosowaniach wykorzystuje się mocznik. Związane z tym procesem reakcje chemiczne są identyczne z opisanymi dla selektywnej redukcji katalitycznej w dziale 4.4.2.7. Jednakże reakcje zachodzą w wyższych temperaturach, bez konieczności stosowania katalizatora. Temperatura operacyjna wynosi od 900 do 1 050 °C, jednakże temperatura optymalna wynosi około 950°C dla amoniaku oraz 1 000°C dla mocznika.

W niektórych zastosowaniach sugeruje się, że dodatek wodoru do gazów odlotowych może wspomagać reakcję w niższych temperaturach, jednakże ten typ zastosowania nie ma miejsca w przemyśle szklarskim. W procesie selektywnej redukcji niekatalitycznej amoniak jest włączany bliżej pieca niż w procesie selektywnej redukcji katalitycznej i zwykle wykorzystywany jest gaz nośny. Skuteczność technologii zależy od wielu czynników, z których główne są następujące:

- temperatura
- początkowe stężenie NO_x
- równomierne mieszanie odczynnika i gazów spalinowych
- stosunek amoniaku do NO_x; oraz
- czas reakcji (konieczne są 1 – 2 sekundy) w temperaturze od 900 do 1 050°C.

W szczególności ważne jest, aby upewnić się, czy został osiągnięty prawidłowy zakres temperatury, gdyż wtłoczenie NH₃ w temperaturze poniżej 900°C prowadzi do ucieczki amoniaku i obniżenia skuteczności, zaś powyżej 1 050°C stwarza warunki do dalszego tworzenia się NO_x. Niezbędne jest również upewnienie się, czy odczynnik jest równomiernie rozprowadzany w gazach spalinowych. W osiąganiu właściwej temperatury kluczowe jest umiejscowienie wtryskiwaczy amoniaku, jednakże dostęp do strefy właściwej temperatury może nie być możliwy lub zmieniać się w zależności od warunków operacyjnych (np. zmiany obciążenia). Do zmiany umiejscowienia strefy właściwej temperatury można się dostosować poprzez zapewnienie kolejnych wtryskiwaczy amoniaku, jednakże spowoduje to wzrost kosztów kapitałowych i będzie zależało od dostępności tych wtryskiwaczy. Równomierne rozprowadzanie można osiągnąć za pomocą prawidłowej konstrukcji przewodów, zastosowania przegród lub innych urządzeń korygujących przepływ.

Potencjalne problemy operacyjne w zakresie tej technologii są te same, co w przypadku selektywnej redukcji katalitycznej, np. emisje amoniaku, tworzenie się N₂O (większe ilości przy stosowaniu mocznika) oraz tworzenie się wodorosiarczanów amonu. W technologii tej ilości tworzących się wodorosiarczanów amonu mogą być większe, niż w przypadku selektywnej redukcji katalitycznej, gdyż temperatura operacyjna wymaga wtryskiwania amoniaku na dalszym odcinku systemu, za filtrami i systemem przemywania. Nie jest stosowany katalizator, jednakże wodorosiarczan amonu może powodować zjawisko zbrylania się.

Ze względu na trudności związane z równomiernym mieszaniem odczynnika i gazów spalinowych w wymaganym zakresie temperatur, zastosowanie selektywnej redukcji niekatalitycznej w piecach regeneracyjnych jest bardzo ograniczone.

Osiągnięte korzyści środowiskowe

Zwykle obserwowany jest poziom redukcji emisji w zakresie 40 – 70% w przypadku technologii selektywnej redukcji niekatalitycznej, jednakże stwierdzano również wartości powyżej 80% w niektórych zastosowaniach poza przemysłem szklarskim.

Głównym czynnikiem jest stopień, w którym możliwa jest optymalizacja czynników, od których zależy skuteczność. W dobrze kontrolowanym procesie, w którym możliwe jest osiągnięcie optymalnych warunków, możliwe jest osiągnięcie poziomu redukcji w wysokości 50 – 75%.

Wpływ na inne komponenty środowiska

Emisje amoniaku są jednym z najpoważniejszych problemów i mogą stanowić czynnik ograniczający skuteczność technologii. Oprócz wymogów prawnych w zakresie transportu i magazynowania amoniaku, konieczne jest podjęcie środków bezpieczeństwa w celu zapobiegania wyciekom amoniaku oraz narażenia na ucieczkę NH_3 podczas magazynowania i przed wtłoczeniem do strumienia gazów spalinowych. Powyższe kwestie bezpieczeństwa mają również wpływ na aspekty finansowe.

Należy również wziąć pod uwagę kwestie emisji pośrednich, związanych ze zużyciem energii elektrycznej (sprężone powietrze, produkcja amoniaku). Zużycie energii w procesie selektywnej redukcji niekatalitycznej wynosi około 1 700 kWh na tonę redukcji NO_x , podczas gdy ilość energii niezbędnej do produkcji amoniaku jest szacowana na 10 kWh/kg NH_3 . Wkład emisji pośrednich (głównie CO_2) z procesu produkcji energii elektrycznej jest bardzo niewielki, w porównaniu z poziomami emisji z pieców szklarskich, kształtując się na poziomie poniżej 0,35% całkowitej emisji.

Dane operacyjne

Końcowe stężenie emisji zależy od początkowej zawartości NO_x i dlatego też, najlepsze wyniki będą uzyskiwane wówczas, gdy technologia zostanie połączona z podstawowymi środkami redukcji. Jednakże w tym przypadku należy wziąć pod uwagę ogólne koszty i wpływ na inne komponenty środowiska, w szczególności w przeliczeniu na tonę oczyszczonego NO_x . Przykładowo, początkowe stężenie wynoszące 1100 mg/ Nm^3 może zostać zredukowane do wartości 275 – 770 mg/ Nm^3 , w zależności od warunków procesowych. Wysokie stężenie początkowe, wynoszące 4 000 mg/ m^3 , może zostać zredukowane do wartości 1 000 – 2 800 mg/ m^3 .

Typowe dane operacyjne związane ze stosowaniem selektywnej redukcji niekatalitycznej w piecach szklarskich zostały przedstawione poniżej.

W przypadku procesu selektywnej redukcji niekatalitycznej wykorzystującego roztwór amoniaku:

- emisje amoniaku: <10 mg/ Nm^3
- zużycie amoniaku: typowo około 0,75 kg NH_3 jest wymagane na kg usuniętego NO_x (obliczanego jako NO_2), przyjmując skuteczność usuwania wynoszącą 50%, co daje emisję w zakresie 0,5 do 1 kg NO_x /tonę wytopionego szkła, w odniesieniu do produkcji sodowo-wapniowego szkła opakowaniowego.

W przypadku procesu SNCR wykorzystującego mocznik:

- emisje amoniaku: 3 mg/ Nm^3
- zużycie mocznika: typowo około 1,14 kg mocznika na kg usuniętego NO_x (obliczanego jako NO_2), przyjmując skuteczność usuwania wynoszącą do 40%, co daje emisję w wysokości 2,6 kg NO_x /tonę wytopionego szkła (szkło specjalne, ekrany telewizyjne, których zestaw składników zawiera azotany).

Zestawienie głównych zalet i wad związanych ze stosowaniem technologii selektywnej redukcji niekatalitycznej zostało przedstawione w Tabeli 4.25.

Tabela 4.25: Główne zalety i wady technologii selektywnej redukcji niekatalitycznej

Zalety:

Możliwość osiągnięcia wysokiej skuteczności usuwania NO_x w przypadku występowania odpowiednich warunków

Niskie koszty kapitałowe w porównaniu z niektórymi alternatywnymi technologiami

Brak konieczności stosowania katalizatorów

Niskie zapotrzebowanie na energię

Wady:

Kluczowe jest wtryskiwanie amoniaku w odpowiedniej temperaturze, co jest czasami utrudnione lub niepraktyczne (zwłaszcza w przypadku pieców regeneracyjnych)

Poza zakresem temperatury operacyjnej, możliwe emisje NH_3 lub zwiększony poziom emisji NO_x

Ważne jest równomierne mieszane, co może być trudne do osiągnięcia
Amoniak jest zużywany i emitowany, zaś magazynowanie i stosowanie tego materiału budzi obawy w zakresie ochrony środowiska i bezpieczeństwa
Obawy dotyczące możliwego zniszczenia materiału ogniotrwałego w obudowie regeneratora

Zastosowanie

Zasadniczo, technologia ma zastosowanie we wszystkich procesach wytopu szkła, w tym w nowych i istniejących zakładach. Selektowna redukcja niekatalityczna zakłada niższe koszty inwestycyjne i nie charakteryzuje się dużymi wymogami przestrzennymi, co czyni tę technologię bardziej atrakcyjną dla procesów o ograniczonej przestrzeni. Technologia ta może być również stosowana bez konieczności instalowania sprzętu do przemywania gazów i odpylania. W przypadku zaistnienia odpowiednich warunków dla procesu, technologia selektywnej redukcji niekatalitycznej jest łatwiejsza do modernizacji w istniejących zakładach, niż ma to miejsce w przypadku selektywnej redukcji katalitycznej. Jednakże, technologia ta posiada również kilka czynników, które ograniczają jej zastosowanie w przemyśle szklarskim. Najważniejszym z nich jest to, czy odczynnik może być wprowadzony w punkcie systemu gazów odlotowych, w którym odpowiednia temperatura może być utrzymana przez odpowiedni czas reakcji. Ma to szczególne znaczenie w istniejących zakładach oraz w odniesieniu do pieców regeneracyjnych.

W istniejących zakładach, obszar, w którym występuje odpowiednia temperatura może być trudno dostępny lub znajdować się w miejscu, w którym utrudnione jest równomierne wymieszanie strumienia gazów z odczynnikiem. W wielu przypadkach, problemy te można przezwyciężyć lub złagodzić, jednakże może to spowodować znaczny wzrost kosztów i osłabić skuteczność redukcji NO_x. W piecach regeneracyjnych odpowiedni zakres temperatury zwykle występuje w regeneratorze, co bardzo utrudnia skuteczne wtłoczenie amoniaku. Problem ten można rozwiązać poprzez zastosowanie podzielonych regeneratorów i wtryskiwanie amoniaku do połączenia pomiędzy rozdzielonymi regeneratorami. Rozdzielone regeneratory mogą zostać uwzględnione w projekcie nowego zakładu, jednakże w przypadku istniejących procesów, rozdzielenie regeneratorów może nieść ze sobą duże koszty i dokonane jedynie w formie przebudowy. Nawet w przypadku zastosowania rozdzielonych regeneratorów, trudno jest utrzymać zakres temperatury odpowiedniej dla procesu selektywnej redukcji niekatalitycznej, ze względu na odwrócenie płomienia pomiędzy komorami, co powoduje cykliczne zmiany temperatury, a także zmiany wydajności pieca.

Biorąc pod uwagę powyższe trudności, ogółem rzecz biorąc, technologia selektywnej redukcji niekatalitycznej jest łatwiejsza do wdrożenia w piecach rekuperacyjnych, niż w piecach regeneracyjnych. W praktyce, jest mało prawdopodobne, aby technologia selektywnej redukcji niekatalitycznej została zastosowana w istniejących piecach regeneracyjnych; koszty i powiązane trudności powodują zwykle, że operator wybiera inne środki redukcji emisji NO_x. W odniesieniu do mniejszych pieców rekuperacyjnych, względne koszty selektywnej redukcji niekatalitycznej są stosunkowo wysokie, a w wielu przypadkach, poszczególne sektory przemysłu przychylają się do zastosowania bardziej efektywnych kosztowo środków kontroli, mimo iż zależeć to będzie od wymaganego poziomu skuteczności.

W momencie sporządzania niniejszego dokumentu (2010 r.), technologia selektywnej redukcji niekatalitycznej jest stosowana w Europie w sektorze szkła specjalnego. Wcześniejsze formy zastosowania w sektorze szkła opakowaniowego (Niemcy) oraz szkła płaskiego (Stany Zjednoczone) zostały zakończone.

Ekonomika

Szacowane koszty związane ze stosowaniem technologii selektywnej redukcji niekatalitycznej w piecach o różnych rozmiarach zostały podane poniżej; obliczenia zostały oparte na przypuszczalnych poziomach emisji wynoszących 450 – 500 mg/Nm³ NO_x.

Produkcja szkła opakowaniowego

Typowe koszty inwestycyjne w odniesieniu do pieców rekuperacyjnych, o wydajności 200 – 350 ton dziennie, kształtują się w granicach 680 000 – 900 000 EUR. Koszty operacyjne zostały ustalone na poziomie 74 000 EUR rocznie dla pieca rekuperacyjnego o wydajności 200 ton dziennie oraz do 97 000 EUR rocznie w przypadku większego pieca, o wydajności 350 ton

rocznie. Koszty jednostkowe kształtują się w granicach 1,9 – 2,3 EUR za tonę szkła, przy czym wyższa wartość odnosi się do mniejszych pieców (o wydajności 200 ton dziennie). Koszty w przeliczeniu na kg usuniętego NO_x wynoszą 2,1 – 2,5 EUR na kg usuniętego NO_x i są wyższe od kosztów ponoszonych w systemie selektywnej redukcji katalitycznej ze względu na niższą skuteczność konwersji amoniaku w procesie selektywnej redukcji niekatalitycznej.

Produkcja szkła specjalnego

Jeśli chodzi o zastosowanie technologii selektywnej redukcji niekatalitycznej w piecach tlenowo-paliwowych, stosujących azotany w zestawie składników, koszty jednostkowe oszacowano na 3 – 4 EUR za tonę szkła oraz 1 EUR za kg usuniętego NO_x. Stosunkowo niewielki koszt na tonę zredukowanego NO_x wynika z wysokich poziomów stężenia początkowego w gazach spalinowych znajdujących się w piecach tlenowo-paliwowych.

Włókno szklane

Nie ma wiedzy na temat zastosowań technologii selektywnej redukcji niekatalitycznej w tym sektorze. Oszacowanie kosztów potencjalnej instalacji w piecu o wydajności 100 ton dziennie wskazuje na inwestycję kapitału w wysokości 600 000 – 625 000 EUR, przy czym koszty jednostkowe wynoszą 65 000 – 70 000 EUR rocznie. Zastosowanie metody selektywnej redukcji niekatalitycznej zwiększyłoby koszty jednostkowe produkcji o 4 – 4,25 EUR na tonę szkła.

Porównanie danych kosztowych technologii selektywnej redukcji niekatalitycznej z innymi dostępnymi technologiami usuwania NO_x znajduje się w dziale 8.1.7..

Motywacja do wdrożenia technologii

Motywacją do wdrożenia tej technologii są niższe koszty oraz mniejsze wymagania przestrzenne, niż w przypadku metody SCR.

Przykładowe zakłady

- Schott Glas AG, Mainz, Niemcy, stosowane w pięciu piecach tlenowych (szkło specjalne)
- Osram, Augsburg, Niemcy (szkło specjalne, szkło oświetleniowe).

Bibliografia

[33, Beerkens 1999] [94. Beerkens - APC Evaluation 2008] [75. Germany-HVG Glass Industry report 2007] [Lubitz G: Langzeiterfahrungen mit dem SNCR-DeNO_x-Prozess an einer rekuperativ beheizten Behälterglaswanne - Vortrag v. d. Fachausschuss VI d. DGG (Umweltschutz) am 10. März 2004 in Würzburg].

4.4.3 Tlenek siarki (SO_x)

[89, EURIMA, Suggestions 2001]

Określenie tlenki siarki (SO_x) zawiera dwutlenek siarki (SO₂) i trójtlenek siarki (SO₃), wyrażony jako ekwiwalent SO₂. Dwutlenek siarki jest zdecydowanie najbardziej rozpowszechnionym tlenkiem siarki w przemyśle szklarskim i większość poniższego opisu odnosi się do tego związku. Poniżej temperatury około 200°C, SO₃ jest zazwyczaj w postaci kwasowej mgły lub pary, w związku z tym, kwas siarkowy (H₂SO₄) jest na ogół uważany za włączony przez termin SO_x, ponieważ stanowi produkt kondensacji SO₃. Dwa główne źródła emisji tlenków siarki to utlenianie siarki w paliwach i rozkład / utlenianie związków siarki w materiałach wsadowych.

Retencja związków siarki w szkle jest zazwyczaj niska (<0,35% jako SO₃, w większości szkieł przemysłowych) oraz ogólnie, większość siarki wchodzącej do pieca jest emitowana do atmosfery jako SO_x. Niektóre SO_x w strumieniu gazów odlotowych reagują z innymi gatunkami w celu wytworzenia siarczanów, które skraplają się tworząc pył.

Ilość siarczanu w pyłe różni się w zależności od rodzaju szkła, ale dla większości szkieł sodowo-wapniowych wynosi około 80 - 95%, przede wszystkim siarczan sodu. Ta kwestia została omówiona bardziej szczegółowo w rozdziale 4.4.1.

W piecach ogrzewanych elektrycznie, emisje SO₂ są zazwyczaj bardzo niskie, a wynikają wyłącznie z rozkładu surowców. W piecach szybowych do węgla skalnej, jest ogólnie atmosfera redukująca i siarka z surowców i paliwa jest emitowana głównie jako SO_x i siarkowodór (H₂S). W instalacjach, w UE, spaliny są zwykle oczyszczane w systemie dopalaczowym, który utlenia H₂S do SO₂.

W niektórych sektorach (np. HTIW, fryty), tlenki siarki (SO_x) są związane wyłącznie z zanieczyszczeniami obecnymi w surowcach i pośrednio z recyklingu pyłu z filtra systemów redukcji emisji pyłu [98, ANFFECC Position of the Frit Sector 20051]

4.4.3.1 Wybór paliwa

Opis

W przypadku wykorzystywania oleju jako paliwa głównym źródłem SO_x jest utlenianie siarki w paliwie. Ilość SO_x otrzymanego z materiałów wsadowych zmienia się w zależności od rodzaju szkła, ale ogólnie rzecz biorąc, w miarę jak olej opałowy spala się, emisje SO_x z paliwa przewyższają te z materiałów wsadowych. Najbardziej oczywistym sposobem na zmniejszenie emisji SO_x jest zmniejszenie zawartości siarki w paliwie.

Korzyści dla środowiska

Zawartość siarki w oleju opałowym jest regulowana dyrektywą Rady 1999/32/WE, która określa limit 1%, z możliwymi odstępstwami w określonych okolicznościach. Dostępne są dwa rodzaje olejów opałowych z różnymi zawartościami siarki: <1% siarki i <0,3% siarki. Gaz ziemny jest zasadniczo bez zawartości siarki.

Tabela 4.26 pokazuje typowe zakresy emisji SO_x z pieców do szkła sodowo-wapniowego, z oleju opałowego i gazu ziemnego, bez stosowania dodatkowych środków do redukcji SO_x. Liczby są tylko orientacyjne i rzeczywiste wartości mogą się znacznie od siebie różnić (np. patrz tabela 3.15 w rozdziale 3.3.2.2).

Tabela 4.26: Orientacyjne zakresy emisji SO_x z pieców do szkła sodowo-wapiennego dla różnych paliw

Paliwo	SO _x (jako SO ₂) mg/Nm ³
Gaz ziemny	300 – 1 000
olej opałowy 1 % siarki	1 200 – 1 800

Efekty wzajemnych powiązań pomiędzy różnymi komponentami środowiska (ang. cross-media effects)

Ogólne doświadczenie w branży jest takie, że przejście na gaz ziemny skutkuje wyższymi emisjami NO_x, 25 - 40%, choć wraz ze wzrostem doświadczenia, różnica ta maleje. Ta kwestia została omówiona bardziej szczegółowo w rozdziale 4.4.1. (wybór paliwa) Wykorzystanie gazu ziemnego wiąże się z niższymi szczególnymi poziomami emisji CO₂ w porównaniu z olejem opałowym, jednak jednostkowe zużycie energii na tonę wytopionego szkła może wzrosnąć z powodu niższej emisyjności / jaskrawości płomienia, innej objętości spalin i wydajności ciepła.

Olej opałowy, aby być podgrzany do 110 - 120 ° C, przed dostarczeniem do palników, wymaga dodatkowego zużycia energii lub wykorzystania odzyskanego ciepła.

Konwersja do niższej zawartości siarki w paliwie generalnie powoduje wzrost kosztów z tytułu wyższej ceny paliwa. Jednakże, jeśli pył z filtra powstały w wyniku odsiarczania gazów odlotowych, nie może być ponownie wykorzystany w piecu, oczekiwana jest redukcja kosztów z powodu mniejszych ilości pyłu, który należy usunąć na składowiska.

Dane operacyjne

Brak dodatkowych zgłoszonych danych

Możliwość zastosowania

Wykorzystanie gazu ziemnego jest rozległe w przemyśle. Na przykład, prawie wszystkie piece do wełny szklanej opalane paliwem kopalnym, piece szklanych włókien ciągłych, wszystkie piece fryty szklanej, i ponad 50% wszystkich pieców szkła opakowaniowego są opalane gazem ziemnym.

Zmiana na opalanie gazem wymaga różnych palników, systemu zasilania gazem do palników i zmian do palnika i portów paliw. Pełna konwersja istniejących pieców do spalania gazu nie zawsze jest możliwa, ze względu na potencjalną jakość szkła i usterki podczas pracy pieca, w tych przypadkach mieszanki do wypalania mogą być stosowane. Coraz więcej pieców szklarskich jest przystosowanych do korzystania z obu rodzajów paliw.

Jednakże głównym czynnikiem wpływającym na wybór paliwa jest różnica w cenie między gazem i olejem.

Ponadto, różne strategie i polityki energetyczne państw członkowskich UE i geograficzna dostępność gazu ziemnego i oleju opałowego może mieć wpływ na wybór paliwa [157, Komisja Europejska - Zielona księga 2000].

Ekonomika

Jak już wspomniano powyżej, ekonomika związana z wyborem paliwa zależy od kraju i ze względu na potencjalną geograficzną niedostępność niektórych rodzajów paliw, ogólna ocena kosztów nie ma znaczenia.

Piece szybowe wykorzystywane do produkcji wełny skalnej są ogrzewane koksem. Zmienność zawartości siarki w koksie używanym przez sektor jest dość niska (0,6 - 0,9%), i zależy od źródła. SO₂ pochodzący z koksu zwykle stanowi 30 - 70% całkowitych emisji, w zależności od wykorzystania żużlu wielkopieczowego i odpadów związanych cementem. Koks z niską zawartością siarki może być drogi do transportu, chyba, że zakład znajduje się blisko od dogodnego źródła, a redukcja emisji może być nieproporcjonalna w stosunku do kosztów. Sektor nie wykorzystuje alternatyw z wysoką zawartością siarki, takich jak koks naftowy, oraz w wielu przypadkach, zawartość siarki w koksie została zredukowana o ile jest to ekonomicznie wykonalne.

Przesłanki do wdrożenia

Szczególne lokalne warunki środowiskowe i konsekwentnie rygorystyczne limity emisji SOX mogą być siłą napędową do przełączania się na paliwa z niską zawartością siarki lub paliwa bez siarki.

Przykładowe zakłady

Żadne nie są wymienione

Literatura przedmiotu

[88, FEVE Proposal Ch.-NOx2007]

4.4.3.2 Zmiany w zestawie szklarskim

Opis

W konwencjonalnej produkcji szkła, siarczany z materiałów wsadowych są głównym źródłem emisji SOx. Siarczany są najczęściej stosowanymi środkami rafinowania i są ważnymi utleniaczami. Zdecydowanie najczęściej stosowanym siarczanem jest siarczan sodu, który podczas topienia i klarowania dysocjuje by dać gazowe SO₂, O₂ i Na²O, które są włączone do szkła. Siarczany potasu i wapnia są również powszechnie stosowane. W większości pieców szklarskich, poziomy siarczanów wsadowych zostały zredukowane do najniższego możliwego poziomu, który różni się w zależności od rodzaju szkła.

Jak już wskazano w rozdziale 4.4.3, zatrzymanie związków siarki w szkłe jest zazwyczaj niskie i może zmieniać się znacząco z typem wytwarzanego szkła. Konwersja pieca z powietrzno paliwowego do tlenowo paliwowego może powodować spadek w retencji siarczanu w stopionym szkłe. W takich przypadkach, mogą być wymagane modyfikacje zestawu szklarskiego w celu zapewnienia

odpowiedniej ilości środka klarującego dla procesu topienia. Zagadnienia dotyczące redukcji siarczanów we wsadzie zostały omówione w rozdziale 4.4.1.1, a kwestie związane z recyklingiem pyłu z filtra / ESP zostały omówione w rozdziale 4.4.3.3. Typowe emisje związane z środkami do rafinowania i utleniania wynoszą 200 - 800 mg/Nm³ i 0,2 - 1,8 kg / tonę stopionego szkła.

W produkcji wełny skalnej, istotnym źródłem emisji SO₂ (oprócz koksu) jest wykorzystanie żużła wielkopieczowego i cementowych brykietów we wsadzie. Żużel zawiera zwykle 0,6 - 1,5% wag. siarki a większość siarki zostanie uwolniona jako H₂S i SO₂. Jeśli zastosowany jest dopalacz, emisje w dużym stopniu zostaną utlenione do SO₂. Możliwości zakupu żużła wielkopieczowego o niskim poziomie siarki są nieliczne, a zakłady są zwykle ograniczone przez ich bliskość do bardzo ograniczonej liczby dostawców w odległościach transportowo ekonomicznych.

Odsetek żużła we wsadzie waha się znacznie od niemal 100% dla wełny żużlowej do zera w wielu normalnych zakładach wełny skalnej. W większości przypadków, w których żużel jest używany, stanowi on mniej niż 30% całości wsadu (z wyjątkiem koksu). Jedyne zastosowanie w którym jego użycie jest konieczne dla produktu, jest w produkcji białych włókien do takich zastosowań jak w pistolecie rozpylonych włókien i płyt sufitowych. Zastosowania te stanowią jedynie niewielki procent całkowitej produkcji sektora, ale zakłady mogą produkować tylko te produkty.

W zakładzie używającym około 30% żużła we wsadzie, nieobniżonych emisje SO₂ są około 2-3 razy wyższe niż dla wsadu bez żużła. Szacuje się, że w czasie pisania (2010), około 10% europejskich zakładów wełny skalnej wykorzystuje żużel wielkopieczowy.

Korzystny wpływ na emisję SO₂ eliminujący stosowania żużła jest jasny. Jednakże, wykorzystanie żużła, w szczególności w sektorze wełny mineralnej, nie przynosi szeregu zalet, które są podsumowane poniżej.

- Mniejsze zużycie energii i zmniejszenie emisji CO₂, wynikające z częściowego zastąpienia wapienia przez żużel. Zużycie energii i emisja CO₂ są zwykle 5 - 15% niższe przy zastosowaniu żużła niż w ładunku bazaltowo-wapiennym.
- W zależności od materiału, który jest podstawiony, ładunek może zawierać mniej żelaza, co zmniejsza wymaganą częstotliwość postojów i może poprawić wydajność. Jest też mniej przerw w produkcji i nieznaczne zmniejszenie odpadów stałych.
- W niektórych przypadkach, jest stwierdzone, że wykorzystanie żużła poprawia rozwłókniane właściwości w stanie stopionym, które mogą przyczynić się do poprawy wydajności procesu oraz niskiego poziomu odpadów poprzez zmniejszenie zrzutu.
- Żużel wielkopieczowy jest materiałem odpadowym, który, jeśli nie jest wykorzystywany, jest bardziej prawdopodobne, aby został usunięty do składowania. Ponadto, zastępuje naturalny kamień i zmniejsza popyt na materiały pozyskiwane.
- Żużel jest zwykle tańszy niż materiały, które zastępuje.

Korzyści dla środowiska

Ogólnie rzecz biorąc, minimalizacja / optymalizacja surowców zawierających siarkę we wsadzie ma wpływ nie tylko na emisje SO_x, lecz także na formowanie pyłu. Recykling pyłu z filtra może w pewnym stopniu zastąpić przez dodanie siarczanu do zestawu jako środka do klarowania / utleniania, a tym samym ograniczyć korzystanie z tych podstawowych surowców.

Optymalizacja ilości siarczanów stosowanych we wsadzie może powodować zmniejszenie strumienia odpadów stałych, w którym ten wytwarzany jest przy systemie dalszych redukcji SO_x.

Jest możliwe, że większość zalet opisanych powyżej może być również osiągnięta przez zwiększenie wykorzystania procesu recyklingu odpadów. Ocena dla konkretnego zakładu, wpływu wykorzystania żużła na zanieczyszczenia środowiska jako całości może być odpowiednia w niektórych przypadkach. Jednak w ogólnej ocenie jakościowej, zalety korzystania z żużła nie mogą przeważać emisji zanieczyszczeń. Jeśli wykorzystanie żużła jest konieczne dla koloru produktu, jego zastosowanie może być zminimalizowane przez zastosowanie wewnętrznego recyklingu odpadów procesu. Jeśli

środki wtórnej redukcji emisji SO_x są zastosowane, równowaga ekologiczna dla zastosowania żużłu może się zmienić.

Efekty wzajemnych powiązań pomiędzy różnymi komponentami środowiska (ang. cross-media effects)

Ogólnie, minimalizacja / kontrola zawartości siarki we wsadzie nie jest związana z oddziaływaniem na środowisko. Jednak nadmierne zmniejszenie ilości siarki spowodowałoby problemy z jakością końcowego wyrobu szklanego. Na przykład, niektóre ciemne kolory szkła opakowaniowego wykorzystywane do zapewnienia jakości produktu muszą mieć szczególny skład ,zestawu który zawiera siarkę (np. butelki na wina).

Zamiana związków siarki z innymi materiałami zapewniającymi ten sam efekt może być trudna z powodu większego wpływu na środowisko związanego z alternatywnymi materiałami.

Recykling pyłu z filtra jako surowca do produkcji szkła może zwiększyć emisje SO_x, ponieważ składa się głównie z siarczanów.

Dane operacyjne

Brak dodatkowych zgłoszonych danych

Możliwość zastosowania

Brak danych

Ekonomia

Brak danych

Przesłanki do wdrożenia

Ograniczanie kosztów surowców wraz z minimalizacją początkowych poziomów emisji SO_x może być siłą napędową dla realizacji tej techniki.

Przykładowe zakłady

Żadne nie są wymienione

Literatura przedmiotu

[89, EURIMA Suggestions 2007] [30, Infomil 1998] [27, EURIMA 1998].

4.4.3.3 Oczyszczanie na sucho lub pół-sucho

Opis

Zasady reakcji oczyszczania na sucho lub pół-sucho są takie same. Materiał reaktywny (absorbent) wprowadza się i rozpyla w strumieniu gazu odlotowego. Materiał ten reaguje z gatunkami SO_x tworząc części stałe, które mają być usuwane ze strumienia gazów odlotowych za pomocą filtra elektrostatycznego lub układu worka filtracyjnego. Absorbenty wybrane w celu usunięcia SO_x są również skuteczne w usuwaniu innych kwaśnych gazów, w szczególności halogenki (HCl i HF), ale także inne lotne związki takie jak selen, kwas borowy, itp. W pewnych zastosowaniach absorbent jest wstrzykiwany bezpośrednio do kanałów gazów odlotowych, ale techniki są znacznie bardziej efektywne, jeśli wieża reakcyjna (proces suchy) lub komora reakcyjna (pół-sucho proces) są wykorzystywane.

W procesie suchym, absorbentem jest suchy proszek (zwykle Ca(OH)₂, NaHCO₃, lub Na₂(CO)₃), do którego powietrze może być dodawane do wspomaganie dyspersji. W procesie półsuchym, absorbent (zwykle Na₂CO₃, CaO i Ca(OH)₂) dodaje się w postaci zawiesiny lub roztworu i odparowanie wody ochładza strumień gazu. W innych zastosowaniach przemysłowych, półsuchy proces, jak opisano powyżej, jest często określany jako pół-mokry, jednak w niniejszym dokumencie, termin "półsuchy" jest stosowany wyłącznie, jako że jest to powszechny termin używany w przemyśle szklarskim.

Suchy proces występuje częściej w przemyśle szklarskim niż proces półsuchy. Ogólnie, stopa redukcji emisji zależy w dużym stopniu od parametrów opisanych poniżej.

- Typ płuczki-Konstrukcja płuczki może wpływać na kontakt pomiędzy fazą gazową i środkiem pochłaniającym i możliwym czasem reakcji.
- Skład spalin-Istnieje różna reaktywności zanieczyszczeń gazów odlotowych z różnymi absorbentami i konkurujące reakcje występują pomiędzy różnymi gatunkami, zwłaszcza jeśli stosunek reagentów do kwaśnych gazów jest stosunkowo niski.
- Temperatura spalin- Idealna temperatura powinna być jak najbardziej zbliżona do temperatury punktu rosy gazów spalinowych (poniżej 180 ° C) i o wiele wyższa (około 400 ° C). Zakres temperatur 180 - 350 ° C, nie nadaje się do suchej absorpcji SO₂ przez wapno hydratyzowane. Należy pamiętać, że temperatura gazów spalinowych powyżej 350 ° C jest również wymagana dla prawidłowego funkcjonowania jednostki SCR (patrz punkt 4.4.2.7 po więcej szczegółów).
- Wilgotność gazu spalinowego.
- Stosunek molowy środka absorpcyjnego / gazy kwaśne, Zazwyczaj konieczne jest, aby posiadać nadmiernie stechiometryczny absorbent. Konkretna ilość środka absorpcyjnego jest często wyrażana w proporcji molowej, którą można określić na dwa sposoby:
 - MR1 = stosunek molowy absorbentu do SO_x zmniejszonego
 - MR2 = stosunek molowy absorbentu do całkowitego materiału wejściowego SO_x.
- Każdy system zarówno suchy jak i półsuchy może być stosowany w połączeniu z filtrem elektrostatycznym, natomiast w przypadku filtra workowego gazy spalinowe wymagają będą chłodzenia. Najbardziej powszechnym procesem absorpcji wykorzystywanym w przemyśle szklarskim jest proces suchy w połączeniu z filtrem elektrostatycznym, przy zastosowaniu Ca(OH)₂ jako absorbenta, przy temperaturze operacyjnej około 400°C. Dlatego Ca(OH)₂ osiąga stosunkowo dobre wskaźniki redukcji przy tej temperaturze i dlatego łatwo jest osiągnąć temperaturę spalin 400°C bez potrzeby chłodzenia, co mieści się w przedziale temperatur operacyjnych filtra elektrostatycznego. Odczynnik może być wtryskiwany do gazów spalinowych przed strumieniem wymiennika ciepła. Pozwala to utrzymać następnie reakcję na poziomie około 350 - 400 ° C, tak jak w ESP. Idealna temperatura reakcji powinna wynosić około 400 ° C, w praktyce, zakres temperatur od 300 - 350 ° C jest bardziej powszechny, z powodu ograniczeń operacyjnych. Tam gdzie systemy filtra workowego są używane, temperatura ma być obniżona do poziomu poniżej 200°C. Chłodzenie można osiągnąć przez wymiennik ciepła lub powietrza chłodzącego, a także wspierać proces półsuchy poprzez odparowanie wody. Zastosowanie filtrów workowych tworzy placek filtracyjny na tkaninie, z uwagi na złożony odczynnik absorpcji, co powoduje wzrost spadku ciśnienia i zwykle poprawia absorpcję kwaśnych gazów.
- • Typ reagentów. Najczęściej używane środki oczyszczające w przemyśle szklarskim to: wapno gaszone (Ca(OH)₂), węgiel sodu (Na₂CO₃), wodorowęglan sodu (NaHCO₃), i rzadziej wodorotlenku sodu (NaOH), wapień (CaCO₃). Skład chemiczny odczynnika jest ważnym czynnikiem dla określenia możliwości recyklingu otrzymanego stałego produktu w piecu do topienia Powierzchnia właściwa odczynnika, wyrażona jako BET (m²/gram) jest czynnikiem decydującym dla osiągnięcia dobrej szybkości reakcji. Odczynniki są zazwyczaj wstrzykiwane jako drobny proszek o określonej powierzchni do 40 m² / g.

Dodatkowa opcja do "suchego oczyszczania" kwasowych gazów składa się z bezpośredniego podgrzewania wsadu. W tym przypadku alkaliczne składniki kompozycji wsadowych pełnią funkcję środków absorpcyjnych. Zastosowanie tej techniki jest opisane w rozdziale 4.8.5.

Korzyści dla środowiska

Większość zainstalowanych systemów oczyszczania SO_x działa z oczyszczaniem w suchym hydratyzowanym wapieniem w temperaturze w zakresie od 300 - 400 ° C, która jest temperaturą gazów odlotowych uzyskaną z efektywnego pieca typu regeneracyjnego. W tych temperaturach, redukcja SO_x o około 30 - 40% uzyskuje się na ogół przy użyciu dobrej jakości suchego wapna i nadstechiometrycznego stosunku Ca (OH)₂/SO₂. Lepszą skuteczność usuwania można osiągnąć za pomocą wodorowęglanu sodu lub roztworu węglanu sodu, z redukcją SO_x około 60% lub więcej, w

zależności od ilości reagenta. Porównywalna lub lepsza stopa redukcji SO_x może zostać osiągnięta w temperaturze około 200°C i wilgotnej atmosferze. To może być uzyskane przez wstrzyknięcie wody - rozpuszczonego sorbentu w połączeniu z filtrami workowymi. Jednakże, ta półsucha technologia obniża temperaturę gazów spalinowych do poziomu który generalnie jest zgodny z wtórnym odzyskiem ciepła lub dla dalszych zastosowań które wymagają wyższych poziomów temperatury (np. SCR lub podgrzewanie stłuczki). W tych przypadkach, uwaga powinna być również zwrócona na konwencjonalny (pół suchy) proces, chociaż jest jeszcze małe doświadczenie z tą techniką w przemyśle szklarskim. To podkreśla potrzebę zintegrowanej analizy przed zastosowaniem odsiarczania, biorąc pod uwagę wszystkie efekty, skutki uboczne, koszty i priorytety (np. polityka zakwaszania, polityka energetyczna, polityka dotycząca odpadów).

Należy zauważyć, że wysokie stechiometryczne wskaźniki środka absorbującego siarkę oznaczają zwiększone obciążenie sprzętu redukującemu wydobywający się pył. W praktyce ograniczona poprawa absorpcji musi być zrównoważona w stosunku do wymagań technologicznych oraz wszelkich dodatkowych kosztów dla zwiększenia pojemności elektrofiltru.

Proces oczyszczania jest również skuteczny do innych zanieczyszczeń gazowych, kwasu, takiego jak HCl, HF i różnych wskaźników redukcji. Typowa skuteczność usuwania skorelowana z typem odczynników i warunków prowadzenia działalności jest podana w "danych operacyjnych", przedstawionych poniżej.

Te techniki są skuteczne w usuwaniu niektórych innych zanieczyszczeń, np. związki selenu i gatunki kwasu borowego takie jak HBO_2 i H_3BO_3 , ale są bardzo ograniczone informacje na temat poziomów redukcji. Na przykład, w płaskim piecu szklarskim do produkcji brązowego szkła, wyposażonego w system suchego oczyszczania działający z użyciem NaHCO_3 , osiągnięta skuteczność usuwania wynosi około 90%, od wartości wlotu 30 mg/Nm^3 związków selenu do stężenia wylotowej emisji 3 mg/Nm^3 (substancje stałe + gaz). W celu uzyskania niższego poziomu emisji selenu (1 mg/Nm^3) ilość odczynnika alkalicznego powinna być zwiększona z 55 kg/h do 120 kg/h z wynikającym efektem wzajemnym powiązań pomiędzy różnymi komponentami środowiska z wynikającą koniecznością dysponowania tym.

Efekty wzajemnych powiązań pomiędzy różnymi komponentami środowiska (ang. cross-media effects)

W niektórych przykładach w przemyśle szklarskim, ważną motywacją do instalacji technik jest ochrona sprzętu zapobiegającego pyleniu, lub, w niektórych przypadkach (np. włókno ciągłe, fryty), w celu usunięcia emisji fluorku. W szczególnych przypadkach, gdy ograniczanie emisji pyłów lub fluorku nie są wymagane, to może być bardziej ekonomiczne, aby przejść do spalania gazu, a nie instalować te techniki.

Zastosowanie systemów oczyszczania wymaga użycia energii elektrycznej. Jednostkowe zużycie energii wynosi zazwyczaj około $12 - 20\text{ kWh/tonę}$ stopionego szkła z filtrów workowych oraz $8 - 11\text{ kWh/tonę}$ wytopionego szkła dla filtrów elektrostatycznych.

Te techniki wytwarzają duże ilości stałych pozostałości, ale w większości zastosowań ten materiał może być ponownie wykorzystany w piecu. Problemy mogą wystąpić w szczególności w piecach opalanych olejem używających wysokich poziomów stłuczki. Jeżeli węgiel sodu jest stosowany jako absorbent, filtr pyłu będzie ponownie wykorzystany w szklach sodowo wapniowych w miejscu bardziej cennego surowca, z powodu znacznego zapotrzebowania dla węgla sodu. Jednakże, wysoki stopień redukcji węgla sodu i wodorowęglanu sodu w kierunku HCl powoduje znaczne wzbogacenie filtra pyłu w NaCl, który może stwarzać problemy, gdy jest ponownie wprowadzony do pieca w skład wsadu. Ulatnianie się NaCl, w piecu prowadzi do ataku chemicznego na krzemionkowe / krzemianowe materiały ogniotrwałe w piecu lub regeneratorsze.

Na ogół, dla określonego rodzaju szkła, absorpcja siarki jest stała, w celu zagwarantowania stanu redoks i koloru szkła. W związku z tym, ponowne wykorzystanie pyłu siarczanu napotyka ograniczenia ilościowe.

Przy niskich poziomach stłuczki, zebranego siarczanu będzie zazwyczaj mniej niż wymaganego do wyklarowania, oraz, w pewnych szczególnych przypadkach, może być również możliwe, aby zwiększyć absorpcję siarki z zebranego pyłu w szybie (tj. wyższy % SO₃). W tych przypadkach, ogólny poziom emisji obniża się podobnie jak zużycie siarczanu sodu jest zmniejszone. Jeżeli zebranego siarczanu jest więcej niż siarczanu wymaganego we wsadzie, wtedy strumień odpadów stałych jest utworzony w celu usunięcia poza miejsce. Alternatywnie, gdy cały materiał jest zawracany w większych ilościach, niż jest to wymagane, to system staje się obiegiem zamkniętym osiagającym dynamiczną równowagę z jedynym pochłaniaczem siarki będącym szkłem i emisjami do powietrza. Przy wysokich poziomach wykorzystania stłuczki, zapotrzebowanie na klarowanie siarczanem są dużo niższe, dlatego o ile część pyłu nie zostanie usunięta, emisje SO_x wzrastają i ogólne korzyści z redukcji SO_x są znacznie zmniejszone. Problemem jest najbardziej widoczny w zredukowanym szkłe, gdzie rozpuszczalność siarki jest stosunkowo niska, i gdy wysokie poziomy stłuczki są używane.

W praktyce, jeśli miałyby to nastąpić, koszty utylizacji pyłów, które nie mogą być poddane recyklingowi mogą być wyższe niż koszty paliw niskosiarkowych (np. olej o niskiej zawartości siarki lub gaz ziemny).

Dlatego też, w wielu przypadkach, operator wybierze do zmianę paliwa, a nie utworzy zwarty strumień odpadów do utylizacji. Jednak duża różnica między kosztami paliwa o niskiej zawartości siarki (zwłaszcza gazu ziemnego) i innych paliw może sprawić, że takie opcję będą ekonomicznie nieatrakcyjne.

Jeśli wodorotlenek wapnia jest stosowany jako absorbent, większości kompozycji szkła będzie miało granicę co do tego ile wapnia może być ponownie wykorzystane. Korekty mogą być wykonane w składzie wsadu w celu kompensacji pyłu z filtra, ale we wsadach, z wysokim poziomem stłuczki, możliwość regulacji wsadu jest ograniczona. We wsadach z dużą ilością stłuczki, zawartość wapnia może być większa niż może być tolerowana w szkłe, tworząc stałe odpady. W takim przypadku rozwiązaniem może być zmiana absorbentu i przełączenie na węglan sodu lub wodorowęglan, lub mieszaninę różnych absorbentów.

W regionach, w których jest duże ponowne wykorzystanie stłuczki, system staje się bardziej obiegiem zamkniętym kiedy poziomy różnych związków budowane są w szkłe ciągle wykorzystywanym ponownie. To może być problemem dla metali, fluorków i chlorków, jak również dla siarki. Obecność metali w filtrze pyłu, w szczególności ołowiu, może przyczynić się do postępującej akumulacji w masie szklanej. W przypadku szkła opakowaniowego, powstałe stężenie może, w wyjątkowych przypadkach, być w zakresie progu dla metali ciężkich ustanowionych w Dyrektywie odnośnie opakowań i odpadów opakowaniowych 94/62/WE, dla których szkło ma odstępstwo bez ograniczeń czasowych.

W przypadku, gdy ilość zebranego materiału stanowi problemu dla recyklingu, techniki, które są dostępne do ponownego użycia części absorbentu zmniejszającego ogólną wielkość. Problemy z niezgodnymi sformułowaniami zebranego pyłu zwykle nie są problemem. Takie problemy można przezwyciężyć poprzez staranne analizy i, jeśli to konieczne, magazynowanie i mieszanie materiału przed ponownym wykorzystaniem.

W produkcji wełny skalnej, redukcja SO_x musi nastąpić po spalarni spalin i przed systemem filtracyjnym. W większości zastosowań, system filtracyjny jest umieszczony przed piecem, który jest przeznaczony do przetwarzania czystego gazu. W tych przypadkach, instalacja techniki w istniejących zakładach wymagać będzie spalarni oraz dodatkowego systemu filtrów. Oczekiwana inwestycja wyniesie 4 - 5 mln EUR.

Nie udowodniono, że pół-suchy proces jest opłacalny w tym sektorze.

Ponowne wykorzystanie materiału w piecu jest trudniejsze w przypadku wełny skalnej niż w innych sektorach, ponieważ proces ten nie wymaga dodawania siarczanów i absorpcja siarki w stopionym materiale jest niewielka. W związku z tym, większość zanieczyszczeń będzie ponownie emitowana. Ponowne wykorzystanie pyłu z filtra w piecu szybowym do wełny skalnej wymaga użycia systemu brykietów. Jeżeli system taki nie jest dostępny, znaczny strumień odpadów stałych związanych z

usunięciem SO_x zostanie utworzony. Oznacza to, że zebrane odpady muszą być usuwane jako odpady stałe lub, jeśli to możliwe, odzyskiwane. Składowanie odpadów generowanych przez system odsiarczania spalin staje się coraz trudniejsze i może wymagać wstępnej obróbki, aby uniknąć wypłukiwania. Ten efekt wzajemnych powiązań między komponentami środowiska przeważa nad korzyściami dla środowiska z redukcji emisji gazów kwasowych (patrz typowy bilans siarki w rozdziale 8.2.).

Wybór absorbenta dla wełny skalnej jest także ograniczony, jeśli ponowne użycie jest brane pod uwagę. Produkt wymaga bardzo niskich poziomów sodu tak że węglan sodu i wodorowęglan sodu, mogą być stosowane tylko wtedy gdy zebrany materiał nie jest wykorzystany ponownie.

Przy produkcji wełny skalnej, alternatywą dla oczyszczania suchego lub półsuchego może być zastosowanie układu płuczki Venturiego. Dobrą skuteczność usuwania SO_x (90 - 95%) można uzyskać, ale technika jest mniej efektywna niż filtr workowy do redukcji emisji pyłu. Również ścieki są generowane, a materiał jest trudny do ponownego użycia. Niewielka liczba instalacji wykorzystuje tę technikę z powodzeniem od ponad 20 lat.

Dane operacyjne

Jak wspomniano powyżej, redukcja uzyskana z takich technik zależy od wielu czynników, w tym temperatury spalin, ilości i rodzaju dodanego absorbentu (lub dokładniej, stosunku molowego reagentów i zanieczyszczeń) i dyspersji absorbentu. Poniższe tabele pokazują ocenę efektywności uzyskaną z różnymi absorbentami i w różnych procesach. Rzeczywiste osiągnięte wyniki różnią się od przypadku do przypadku, a oba wyższe i niższe wyniki zostały sprawdzone.

W tabeli 4.27, prezentowana są orientacyjna efektywność suchej absorpcji do usuwania zanieczyszczeń gazowych. Z powodu różnych wskaźników absorpcji występujących w placku na filtrach workowych i różnych temperaturach roboczych związanych z ESP i filtrami workowymi, odrębne dane podane są dla dwóch rodzajów filtrów.

Tabela 4.27. Orientacyjne efektywności absorpcji Ca(OH)₂ w suchej absorpcji

Zanieczyszczenia	ESP		Filtry workowe
	~ 400 °C	200 - 280 °C	130 - 240 °C
SO ₂	50 %	10 %	10 %
SO ₃	80 %	90 %	95 %
HCl	70 %	35 %	80 %
HF	95 %	95 %	95 %
SeO ₂	90 %	70 %	90 %

Bardziej ogólnie, odniesienia przedstawiają orientacyjne wyniki dla procesu suchego z Ca(OH)₂ podano w tabeli 4.28.

Tabela 4.28: Orientacyjne wskaźniki redukcji SO_x dla suchego oczyszczania z Ca(OH)₂

Temperatura	Wskaźnik redukcji SO _x	
	130 - 140 °C	170 - 180 °C
Stosunek molowy Ca/S =1	30 %	22 %
Stosunek molowy Ca/S =2	50 %	40 %
Stosunek molowy Ca/S =3	70 %	55 %

Wskaźnik redukcji 65% odnotowano w przypadku pieca do topienia szkła za pomocą suchego oczyszczania plus ESP przy stosunku molowym MR1 4,4, przy użyciu 180 kg/h z Ca(OH)₂ w temperaturze około 400 ° C. Cały pył jest ponownie wykorzystywany w piecu.

Doświadczenia w procesie suchym z Na₂CO₃ jako absorbentem są zestawione w tabeli 4.29 w zakresie temperatur od 300 ° C do 400 ° C. Podane zakresy stopy redukcji są znów orientacyjne i są w dużym stopniu zależne od temperatury i ilości używanego absorbentu.

Tabela 4.29: Orientacyjne wskaźniki redukcji SO_x dla suchego oczyszczania z Na₂CO₃.

Zanieczyszczenie	Wskaźnik redukcji SO _x
SO ₂	<50 %
SO ₃	90 %
HCl	50 - 75 %
HF	10 - 40 %
SeO ₂	30 - 60 %

Wyniki doświadczeń z absorbentami wykazują bardzo dobre tempo absorpcji SO_x zwłaszcza dla dolnej części zakresu temperatur, maksymalnie do 90% możliwego usuwania SO_x.

Jak już opisano powyżej, istnieje kilka parametrów, które mają wpływ na efektywność redukcji emisji kwasowych gazów uwalnianych z pieca do topienia. Rzeczywiste szybkości usuwania mogą się różnić od tych orientacyjnych.

Porównanie skuteczności usuwania zaobserwowanych pomiarów warunków dla różnych typów reagentów zasadowych i w różnych warunkach pracy są przedstawione w Tabeli 4.30

Tabela 4.30: Rzeczywista skuteczność usuwania kwasowych zanieczyszczeń gazowych dla suchego oczyszczania z innego rodzaju odczynnikiem absorpcji i warunkami pracy.

Odczynnik	Typ systemu oczyszczania	Temperatura gazów odlotowych °C	Wskaźnik stechiometryczny	Skuteczność usuwania ^(^)		
			Reagent/SO ₂	SO _x (%)	HCl (%)	HF (%)
<i>Wapno gaszone</i>						
Ca(OH) ₂ powierzchnia właściwa 14 m ² /g	ESP + suche oczyszczanie ⁽¹⁾	335	G.5	17	<5	62
			G.65	22	56	7G
			2	37	95	97
Ca(OH) ₂ powierzchnia właściwa 34 m ² /g	ESP + suche oczyszczanie ⁽¹⁾	335	G.5	26	56	72
			G.7	34	65	81
			1	4G	78	89
			1,7	43	95	97
<i>Wodorowęglan sodu</i>						
NaHCO ₃	ESP + suche oczyszczanie ⁽¹⁾	342	G.2	7	24	<5
			G.45	24	28	<5
			2	56	51	17
NaHCO ₃	Filtr workowy i suche oczyszczanie ⁽¹⁾	2GG	G.3	32	76	28
			G.4	44	S3	39
			G.5	45	93	63
(1) Dane odnoszą się do średnich wartości trzech półgodzinnych pomiarów dla każdego z warunków pracy						
(2) Instalacja z dwoma olejowymi piecami do szkła opakowaniowego.						
(3) Instalacja z jednym gazowym piecem do szkła opakowaniowego. Źródło: [84, Italy-Report 2007]						

Półsuchy proces ma ograniczoną liczbę zastosowań w przemyśle szklarskim. W połączeniu z filtrem workowym i stosowaniu roztworu Na_2CO_3 jako absorbent, opisywano wysokie wskaźniki redukcji. Te orientacyjne wyniki są zestawione w tabeli poniżej 4.31. Redukcja SO_2 o 95% jest maksymalnym możliwym procentem. W obecnej przemysłowej eksploatacji zakres redukcji otrzymanej jest zazwyczaj w zakresie 80 - 90%.

Tabela 4.31: Orientacyjne wskaźniki redukcji SO_x dla suchego oczyszczania związku Na_2CO_3 :

Zanieczyszczenie	Wskaźnik redukcji SO_x
SO_2	9G - 95 %
HCl	>9G %
HF	>85 %
SeO_2	>9G %

Bardziej ogólnie, w innych zastosowaniach przemysłowych, odniesienia dają wyniki przedstawione w tabeli poniżej 4.32 dla półsuchego procesu z $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Jednak pół suche aplikacje wykorzystujące wapno nie są powszechnie spotykane w przemyśle szklarskim.

Tabela 4.32: Orientacyjne wskaźniki redukcji SO_x dla pół-suchego oczyszczania z $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Stosunek molarny	Wskaźnik redukcji SO_x
Ca/S =1	8G %
Ca/S =1.5	9G %
Ca/S =2	92 %
Źródło: [49, ADEME 1999]	

Wpływ na emisję NO_x stwierdzono również także przy użyciu Na_2CO_3 lub NaHCO_3 w procesie półsuchym. Dla NaHCO_3 optymalny zakres znajduje się pomiędzy 120 - 160°C. Jednak w normalnych warunkach reprezentatywnych w przemyśle szklarskim, tylko umiarkowany wpływ na wskaźniki redukcji NO_x został zaobserwowany.

Reasumując, osiągnięta redukcja zależy od wielu czynników związanych z procesem i absorbentem. W sprzyjających warunkach, wysokie stopy redukcji mogą zostać osiągnięte w najlepszym przypadku do 95% dla całkowitego SO_x wyrażonego jako SO_2 . Wartość wskaźnika redukcji SO_3 jest zwykle większy niż 80%.

W produkcji włókna szklanego ciągłego, do preparatów wsadowych zawierających bor, stopy redukcji podane powyżej, są szczególnie trudne do osiągnięcia, ze względu na osadzanie się związków boru, które odparowują ze stopionego szkła na powierzchnię suchego odczynnika alkalicznego, co w konsekwencji powoduje dezaktywację. W tych przypadkach, skuteczność usuwania na etapie oczyszczania może się znacznie zmniejszyć.

Rzeczywiste stężenie emisji i emisji cząstek na tonę szkła zależy od stężenia wlotowego i wydajności odsiarczania. Stężenia wlotowe zależą od następujących czynników:

- Materiał wejściowy z paliwem-siarką
- rodzaj szkła (kolor, stan utlenienia i retencja / zawartość siarki w szkło)
- wymagania technologiczne do rafinacji, jakości i ilości siarczanów
- ilość i rodzaj stłuczki (wewnętrznej lub zewnętrznej, zawartość siarki i zanieczyszczeń)
- Skład pyłu z filtra i wskaźnik ponownego wykorzystania
- warunki spalania (blisko stechiometrycznych warunków spalania, do redukcji NO_x za pomocą podstawowych środków, może zwiększyć zawartość SO_2 w surowcach spalin).

Jednak całkowita redukcja emisji wymaga eliminacji (przez wewnętrzne lub zewnętrzne ponowne wykorzystanie lub składowanie) z strumienia odpadów stałych z wytworzonego pyłu siarczanowego. W przypadku składowania, koszt redukcji SO_x można oszacować na wysokość od 0,5 do 1,2 kg na SO₂ usunięte w zależności od kontekstu, [76, TNO SO₂ 2007].

W praktyce, całkowite ponowne wykorzystanie pyłu z filtra, w tym siarkowych odpadów, jest bardzo często uważane za rozwiązanie rozsądne ekologicznie i ekonomicznie, gdzie jest to technicznie możliwe. W tym przypadku, całkowita redukcja emisji SO_x jest ograniczona (poprzez rozpatrzenie bilansu masy) do redukcji źródeł uzyskanych poprzez zastąpienie siarczanów w surowcach przez pył z filtra.

W związku z tym, w celu zmniejszenia emisji kwasowych gazów, może być konieczne, aby rozważyć zewnętrzną drogę usuwania części zebranego materiału. Opcja zewnętrzna do ponownego przetwarzania lub ponownego użycia byłyby bardziej preferowana niż składowiska. Jednakże, w większości przypadków nie jest opłacalne zewnętrzna opcja ponownego użycia dla materiału. Istniejące wymogi prawne określające takie materiały jak odpady mogące działać jako dodatkowe bariery dla zewnętrznego użycia ponownego. Ustalenie, co stanowi najlepszą ochronę środowiska jako całości, często mogą być określone i mogą wymagać rozważenie odnośnie usuwania strumienia odpadów stałych.

Dla zamkniętego obiegu ponownego przetwarzania pyłu z filtra, poziomy emisji SO_x obserwowane w czasie opracowywania (2010), dla pieców opalanych gazem, mieszczą się na ogół w zakresie od 200 do 800 mg/Nm³ dla szkła produkowanego z niskim wskaźnikiem ponownego wykorzystania stłuczki i 600 - 900 mg/Nm³ dla najbardziej popularnych produkcji szkła opakowaniowego z zastosowaniem wysokich poziomów stłuczki zewnętrznej. Emisje w zakresie od 800 do 600 mg/Nm³ z oleju z 1% siarki można osiągnąć w zależności od wyżej wymienionych czynników. Szczególnie dla szkieł z wysokim procentem stłuczki w formule wsadowej i niskiej zdolności do absorpcji siarki (np. zredukowane szkło takie jak niektóre zielone i brązowe szkła opakowaniowe), wartości w wyższym granicy zakresu są oczekiwane. Istnieją przykłady w przemyśle szklarskim, gdzie efektywność netto odsiarczania jest bliska zeru, gdy pył zawierający siarkę jest w pełni możliwy do ponownego wykorzystania. Jednak w takiej sytuacji głównym celem nie było odsiarczanie, ale usuwanie HCl, HF, metali i pyłu. Niemniej jednak, nawet w tych przypadkach, niższe stężenie może być otrzymany w konsekwencji utworzenie siarkowego strumienia odpadów do zewnętrznego usuwania.

Tak więc, kiedy bierze się pod uwagę odsiarczania w przemyśle szklarskim, ważne jest, aby uwzględnić ewentualne efekty przeciwdziałania i narażania innych celów środowiskowych. Najważniejsze cele środowiskowe dotyczące redukcji emisji SO₂ są następujące

- Wysokie wskaźniki ponownego wykorzystania stłuczki
- Minimalizacja produkcji odpadów poprzez wewnętrzne i zewnętrzne ponowne wykorzystanie pyłu
- Odzysk ciepła
- Inne redukcje emisji atmosferycznych

Ponowne wykorzystanie stłuczki jest ważnym celem środowiskowym z powodu oszczędności energii, redukcji odpadów i zmniejszenie zużycia zasobów naturalnych.

Europejska Dyrektywa 94/62/WE ustanawia cele w zakresie ponownego wykorzystania odpadów opakowaniowych, w tym szkła, co powoduje, że większość europejskich państw członkowskich ponownie wykorzystuje około 60 - 70% ze szkła opakowaniowego, które jest wprowadzane na rynek. Na przykład, dla pieców do szkła opakowaniowego, wymóg prawny w Niemczech dotyczący ponownego wykorzystania stłuczki wynosi 75% średniorocznie i ta kwota jest regularnie przekraczana. W przypadku, gdy jest stosowana stłuczka o wyższej zawartości siarki niż wytwarzane szkła, nadmiar siarki może spowodować zwiększenie emisji SO_x. Jest to, na przykład, w przypadku zielonych i brązowych szkieł zredukowanych, które wykorzystują mieszaną pod względem kolorystycznym stłuczka użytkową. użyciu stłuczka pochodząca ze zbiórki selektywnej wymieszana kolorystycznie jest, w niektórych przypadkach jedynym źródłem tego typu stłuczki dla

producentów i zawartość w niej siarki jest wyższa w wytwarzanym produkcie ze względu na obecność utlenionego szkła (szkła bezbarwne, szkła płaskie, niektóre zielone szkła) w mieszance stłuczki. Postępująca poprawa selektywnego zbierania i sortowania stłuczki poprawi sytuację. Jednak utlenione szkło kolorowe, jak niektóre zielone szkło, może mieć wyższy poziom zawartości siarki z powodu ich stanu utlenienia oraz sortowania na kolory będzie więc mniej skuteczne w redukcji zawartości siarki w stłuczce, gdy znaczna część takich szkieł jest obecna.

Ponowne przetwarzanie pyłu z filtra jest również ważnym celem dla względów zapobiegania powstawaniu odpadów. Ponowne przetwarzanie pyłu z filtra oznacza zastąpienie pewnej ilości siarczanu zawartego w materiale wsadowym. W zasadzie, pył z filtra działa jako środek do klarowania, ale może być mniej skuteczny w niektórych przypadkach, a 100% zamiana nie zawsze jest możliwa. W zależności od różnych rodzajów szkła (np. kolor, stan utlenienia) absorpcja siarczanu wynikająca z pyłu siarkowego z filtra waha się i jest czasem ograniczona. W odniesieniu do pełnego ponownego wykorzystania pyłu z filtra i uwzględnieniu wyżej wymienionych zmian szczególną uwagę należy zwrócić na bilans masy siarki i sprzęt do oczyszczania powinien być zaprojektowany w celu umożliwienia odpowiedniego doboru środków do oczyszczania.

Ponowne wykorzystanie pyłu z filtra może spowodować wzrost pylenia podczas ładowania surowca, zwłaszcza, gdy podgrzewanie wsadu jest stosowane.

Podsumowanie głównych zalet i wad związanych z użyciem suchych i półsuchych technik oczyszczania przedstawiono w tabeli 4.33.

Tabela 4.33. Główne zalety i wady związane z użyciem suchych i półsuchych technik oczyszczania

<p><u>Zalety</u></p> <ul style="list-style-type: none">• Znaczne zmniejszenie emisji SO_x może zostać osiągnięte (w zależności od konkretnego bilansu siarki i recyklingu)• Zmniejszone emisje innych substancji (chlorki, fluorki, związki selenu, inne kwasy, np. kwas borowy)• W większości urządzeń do topienia szkła, zebrany pył może być poddany recyklingowi, zmniejszając zużycie nowych surowców. Nie jest to możliwe w niektórych rodzajach produkcji, np. wełny skalnej. <p><u>Wady:</u></p> <ul style="list-style-type: none">• Metoda zużywa energię, Może prowadzić do wytworzenia pozostałości w stałej postaci, które nie zawsze mogą być odzyskane (szczególnie w wysokiej wydajności absorpcji), z powodu asymetrii materiałów wejściowych i wyjściowych siarki, akumulacji chlorku lub kwestii jakości szkła, a tym samym zwiększenia poziomów odpadów.• W większości przypadków pyły mogą być poddane recyklingowi, ale to wymaga dostosowania do procesu i może ograniczyć ogólną efektywność redukcji SO_x. Dla niektórych rodzajów produkcji szkła odpady stałe są całkowicie lub częściowo usunięte w celu składowania. W przypadku wełny mineralnej, pył ten nie może być przetwarzany w ogóle w procesie, o ile układ brykietów jest w użyciu• W większości przypadków te odpady są uznane za niebezpieczne (w zależności od składu chemicznego), oraz z miejsc, gdzie na składowiska nie istnieją, odpady muszą być transportowane na duże odległości do innych krajów (np. kopalnie soli w Niemczech)• • Wymaga to znacznego kapitału i kosztów operacyjnych
--

Przykładowe instalacyjne dane sprawozdawcze osiągalnych poziomów emisji związane z zastosowaniem suchego etapu oczyszczania w połączeniu z systemem filtracji, wraz z głównymi parametrami operacyjnymi, zostały przedstawione w rozdziale 4.4.1.2, tabeli 4.8 oraz w tabeli 4.34 poniżej.

Tabela 4.34: Poziomy emisji związane z zastosowaniem suchego oczyszczania w połączeniu z systemem filtracji w instalacji przykładowych

	Szko opakowaniowe (1)	Szko płaskie (2) (3)
Rodzaj pieca	Regeneracyjne palniki w ścianie	Float, poprzeczno-płomienny, regeneracyjny
Paliwo	Gaz ziemny +olej opałowy	Gaz ziemny
Wydajność pieca	300 t/dziennie	600 t/dziennie
Rzeczywista wydajność	297 t/dziennie	600 t/dziennie
Impuls elektryczny	Tak	Tak
Typ szkła	Bursztyn	Czyste
Słuczka	72 %	25 %
Szczególne zużycie energii	4.21 GJ/t szkła	Nie określono
System filtracyjny	ESP - 2 obszary	ESP - 2 obszary
Temperatura przed filtracją	400 °C	Nie określono
Typ sorbentu	Ca(OH) ₂	Ca(OH) ₂
Ilość sorbentu	28 kg/h	Nie określono
Ponowne użycie pyłu z filtra w formule wsadu	100 %	Nie-usuwalne
Powiązane poziomy emisji (AEL)	Pół godzinne średnie wartości	Pół godzinne średnie wartości
mg/Nm ³ , suchy gaz z 8 % O ₂	Pył 1.2 SO _x : 829 HCl: 25.0 HF: 3.3	Pył <20 SO _x : <300 HCl: <15 HF: <1
kg/t szkła	Pył 0.0019 SO _x : 1.34 HCl: 0.0405 HF: 0.0053	Pył <0.05 SO _x : <0.75 HCl: <0.04 HF: <0.003
(1) Instalacja jest wyposażona w system odzyskiwania ciepła zainstalowany po ESP. (2) Skuteczność usuwania dla zanieczyszczeń gazowych 36% dla SO _x , 57% dla HCl i 83% dla HF (3) Wartości podane w kg / t obliczono stosując współczynnik przeliczeniowy 2,5 x 10 ⁻³ dla szkła płaskiego Zob. tabela 5.2. Źródło: [75, Germany-HVG Glass Industry report 2007] [84, Italy Report 2007]		

Możliwość zastosowania

Zasadniczo, techniki stosuje się do wszystkich procesów, w tym (nowych i istniejących) z gazów odlotowych zawierających substancje kwasowe. Ze względu na wysokie obciążenia pyłem, usuwania pyłu jest istotne. Suchy proces jest dużo bardziej powszechnie stosowany w przemyśle szklarskim, bo to jest najbardziej opłacalny sposób osiągnięcia panujących wymogów technicznych i prawnych. Najpowszechniej stosowany absorbent to wapno hydratyzowane Ca(OH)₂.

Zasady tych techniki są wspólne, niezależnie od wielkości instalacji. Jednak należy pamiętać, że skala i rzeczywiste koszty i ewentualnie opłacalność będą znacznie różniły się zastosowanie od zastosowania. W szczególności, istnieje ograniczone doświadczenie z oczyszczaniem põesuchym dla mniejszych procesów.

Ekonomika

Koszty systemów oczyszczania w połączeniu z elektrofiltrami i filtrami workowymi są podane w rozdziale 4.4.1.2 i 4.4.1.3. Wodorowęglan sodu jest znacznie bardziej kosztowny niż inne absorbenty i nie jest tak często stosowany.

Zestawienie szacunkowych kosztów dla typowych zastosowań suchego oczyszczania jest podane poniżej. Dane przedstawione są w oparciu o metodologię opisaną w rozdziale 8.1. [94 Beerkens - APC Evaluation 2008].

Produkcja szkła płaskiego

- Typowe koszty inwestycyjne dla systemów suchego oczyszczania stosowanych w piecach szkła płaskiego są w wysokości od 250 000 - 500 000, w tym odpylania filtracyjnego i przechowywania.

- Koszty kompletnego systemu składającego się z ESP w połączeniu oraz suchego oczyszczania wynoszą około 3,5 – 4 mln o pojemności pieca 500 ton / dziennie i do 5,5 mln EUR w przypadku większego pieca 900 ton / dziennie.
- Do stosowania suchego systemu oczyszczania w połączeniu z filtrem workowego, szacowane koszty inwestycji wynoszą od 2 do 2,5 mln EUR.
- Związane z tym określone koszty mieszczą się w przedziale 4 - 6,5 EUR na tonę, gdy ESP jest stosowany 4,5 - 7 EUR na tonę szkła z filtrem workowym.

Produkcja szkła opakowaniowego

- Koszty inwestycyjne dla ESP w połączeniu z suchym oczyszczaniem wynoszą od 1,5 do 3 mln EUR dla mocy pieca pomiędzy 300 ton / dziennie i 600 ton / dziennie i koszty mogą przekroczyć 4 mln EUR dla większych instalacji, ponad 750 ton / dziennie (np. dwa lub więcej pieców, podłączone do jednego filtra).
- Zastosowanie filtra workowego w połączeniu z suchym oczyszczaniem w piecu średniej wielkości (<300 ton / dziennie) obejmują koszty inwestycji w wysokości od 700 000 do 1 250 000 EUR.
- Związane z tym koszty szczegółowe mają być w wysokości od 4 do 7 za tonę stopionego szkła z zastosowaniem filtrów workowych i całkowitym usuwaniem kurzu oraz w wysokości od 2,7 - 5,5 EUR za tonę stopionego szkła z zastosowaniem elektrostatycznego filtra, w zależności od wydajności topnienia dla instalacji. Wyższe wartości odnoszą się do mniejszych i nowszych instalacji, podczas gdy niższe poziomy są związane z gazowych piecami i całkowitym ponownym wykorzystaniem pyłu z filtra. Wyższe koszty szczególne, w zakresie od 10 EUR do 16 EUR na tonę stopionego szkła, są oczekiwane dla mniejszych pieców (<150 ton / dziennie). Stosowanie oleju opałowego zamiast gazu ziemnego może stanowić dodatkowy wzrost kosztów o około 1,5 EUR za tonę stopionego szkła.

Pozostałe sektory produkcji szkła

- Dla małych pieców, o pojemności <40 ton / dziennie, szacunkowe koszty szczegółowe mieszczą się w zakresie od 10 EUR do 14 EUR na tonę stopionego szkła z zastosowaniem filtrów workowych oraz między 15 a 17 EUR za tonę stopionego szkła z zastosowanie filtrów elektrostatycznych.

Produkcja wełny skalnej

Dla pieca szybowego do produkcji wełny skalnej o wydajności 200 ton/dziennie, koszty kapitałowe dla oczyszczania na sucho, oprócz standardowej techniki filtrów workowych, szacowane są na 1,7 mln EUR z kosztami operacyjnymi w wysokości 340 000, biorąc pod uwagę usuwanie pyłu z filtra. W tym przypadku, szczególne koszty szacuje się na około 9 EUR za tonę stopionego szkła. [115, EURIMA-ENTEC Costs evaluation 2008].

Podczas gdy stosowane jest pół-sucho (quasi-dry) system do oczyszczania, szacowane, związane z tym koszty są następujące:

Produkcja szkła płaskiego

1. Typowe koszty inwestycji dla systemu oczyszczania na pół-sucho w połączeniu z filtrem workowym stosowanym dla pieców szklarskich „float”szacuje się od 4,5 - 5 mln EUR dla średniej wielkości pieca i do 7 mln EUR dla dużych pieców do 900 t / dziennie.
2. Dla pieca gazowego „float” z filtrem ponownie wykorzystującym pyły, szczególne koszty wynoszą od 6 do 8 EUR na tonę szkła, co odpowiada 0,75 EUR za kilogram SO_x usuniętego i 15 - 22 EUR za kg pyłu usuniętego. Gdy olej opałowy stosuje się do spalania, szczególne koszty są wyższe, z uwagi na dodatkowe koszty do usuwania części pyłu z filtra i mieszczą się w granicach od 10 do 14 EUR na tonę stopionego szkła, około 50 - 100 % wyższe niż koszty dla suchego oczyszczania.

Produkcja szkła opakowaniowego

- Koszty inwestycyjne dla zastosowanie filtra workowego w połączeniu z pół-suchym oczyszczaniem w piecach z wydajnością 350 ton/dziennie wynoszą około 2,25 mln EUR.
- Powiązane koszty szczególne są oczekiwane na poziomie 5,5 -6,5 mln EUR na tonę stopionego szkła lub wyższym.

Produkcja wełny skalnej

- Dla piec szybowego do produkcji wełny skalnej o wydajności 200 ton/dobę, koszty kapitałowe dla oczyszczania na sucho, w dodatku do standardowej techniki filtrów workowych, szacowane są na poziomie 2,1 mln EUR z kosztami operacyjnymi w wysokości 250 000 EUR, biorąc pod uwagę usuwanie pyłu z filtra. Powiązane koszty szczególne są szacowane na około 9,5 EUR na tonę stopionego szkła [115, EURIMA-ENTEC Costs evaluation 2008].

Porównanie danych szacunkowych kosztów stosowania systemu filtracji plus etapu oczyszczania, wraz z wykonaniem, zalety, wady oraz warunki graniczne różnych metod oczyszczania stosowanych do usuwania różnych zanieczyszczeń gazowych (SO_x, HF, HCl, kwasy borowe i związki selenu) z gazów spalinowych z pieców szklarskich jest przedstawione w rozdziale 8.1.7.

Przesłanki do wdrożenia

Zgodność z limitami prawnymi emisji jest, ogólnie rzecz biorąc, główną siłą napędową dla implementacji.

Możliwość ograniczenia emisji kwasowych zanieczyszczeń gazowych, zwłaszcza SO₂, HCl i HF, wraz z koniecznością, w większości, ale nie we wszystkich przypadkach, ochrony filtra przed korozją są siłą napędową stosowania tych technik.

Konieczność zmniejszenia emisji metali (np. selen ze szkła ołowiowego lub brązowe szkło płaskie) może być siłą napędową dla niektórych zastosowaniach, gdy ich dominująca obecność w gazach odlotowych jest w postaci związków gazowych.

Przykładowe zakłady

Istnieje wiele przykładów takich technik wykorzystywanych do pieców szklarskich, a zwłaszcza suchego procesu w połączeniu z filtrem elektrostatycznym lub filtrem workowym. Większość pieców w Europie, gdzie wtórna redukcja emisji pyłów jest wdrożona wykorzystuje te techniki. Bardzo niewiele zastosowań jest obecnych w sektorze produkcji wełny skalnej.

Literatura przedmiotu

[49, ADEME 1999] [42, VDI 1997] [75, Germany-HVG Glass Industry report 2007] [76, TNO SO2 2007] [86, Austrian container glass plants 2007] [89, EURIMA Suggestions 2007] [94, Beerkens - APC Evaluation 2008] [65, GEPVP-Proposals for GLS revision 2007]

4.4.3.4 Oczyszczanie na mokro

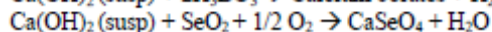
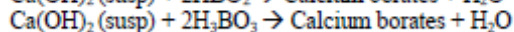
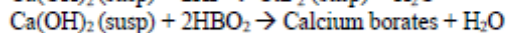
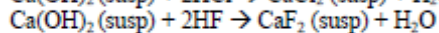
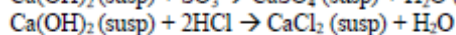
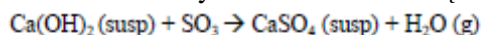
Opis

W procesie oczyszczania na mokro, związki gazowe (takie jak HF, HCl, SO₃, and SO₂) najpierw rozpuszcza się w cieczy, w zależności od rozpuszczalności tych gazów w odpowiedniej cieczy. Rozpuszczalność zwiększa się z zasadowością roztworu lub używanej zawiesiny. Szybkości rozpuszczania w gazach można poprawić za pomocą reaktywnych roztworów i specjalnych wieży, umożliwiając bliski kontakt pomiędzy spalinami i fazą ciekłą. Ogólnie, ciecz jest roztworem wodnym jonowych gatunków, który zwiększa rozpuszczalność gazu. Wymagany nadmiar reagenta w roztworze w celu osiągnięcia wysokiego poziomu kwasowych gazów jest bardzo mała. Wskaźnik jest głównie określony przez absorpcję gazu w cieczy.

Konstrukcja reaktora jest ważna, i często stosowany jest przepływ w przeciwnym kierunku gazu / cieczy, a oraz w celu poprawy kontaktu utrzymywany jest wysoki poziom turbulencji . Roztwory wodorotlenku sodu lub węglanu sodu są często wykorzystywane do oczyszczania na mokro, chociaż czasami zawiesiny lub szlamy wapienia / wapna są stosowane.

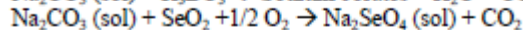
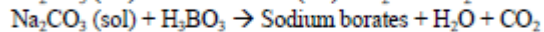
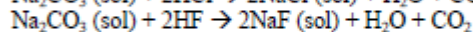
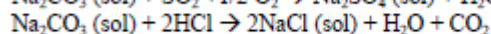
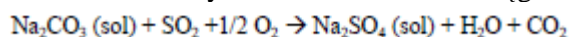
Pod koniec mokrego oczyszczania gazy spalinowe są nasycone wodą i separacja kropeł (zawierających zaabsorbowane gazy) jest wymagana przed wylotem spalin. Oddzielona ciecz może zawierać nierozpuszczalne cząstki, rozpuszczony materiał, produkty reakcji i nieprzereagowany środek alkaliczny. Otrzymana ciecz kierowana jest do obróbki w procesie oczyszczania ścieków oraz nierozpuszczalne cząstki są zbierane przez sedymentację lub filtrację, aby wyodrębnić materiał stały lub szlam w postaci stężonej. Zagęszczony osad jest często suszony lub część wody jest usuwana przed unieszkodliwianiem. W większości przypadków bardzo trudne jest ponowne wykorzystanie osadu jako surowca w składzie wsadu do szkła. Typowe reakcje, które występują podczas oczyszczania na mokro są przedstawione poniżej.

- Proces oczyszczania z zawiesiną wapnia hydratyzowanego:



(susp = zawiesina) (g = (para/gaz))

- Proces oczyszczania z roztworem węgla sodu:



(sol = roztwór)

Korzyści dla środowiska

Efektywność usuwania ponad 90% jest możliwa do osiągnięcia z oczyszczania na mokro, w zależności od ilości stosowanego środka absorpcyjnego. Zanieczyszczenia gazowe, takie jak SO₂, SO₃, HF, HCl, H₃BO₃, HBO₂ i SeO₂ mogą zostać usunięte przez oczyszczanie na mokro gazów spalinowych z pieców szklarskich.

Efekty wzajemnych powiązań pomiędzy różnymi komponentami środowiska (ang. cross-media effects)

Główne efekty wzajemnych powiązań pomiędzy różnymi komponentami środowiska są reprezentowane przez ilość ścieków, które muszą być oczyszczane przed odprowadzeniem. Ponadto, odpady stałe (placki filtracyjne) i osady są generowane z oddzielenia nierozpuszczalnych substancji ze ścieków, przez filtrację lub sedymentację a następnie przez prasowanie pozostałości. Szlam może być oddzielony w postaci suchej lub częściowo suchej, w zależności od zastosowanego systemu. Bezpośrednie ponowne wykorzystanie osadów lub placka filtracyjnego do zestawu szklarskiego często nie jest możliwe, ale zależy w dużym stopniu od ich składu chemicznego. W kilku przypadkach ponowne wykorzystanie lub recykling placka filtracyjnego lub osadu do zestawu szklarskiego może powodować gromadzenie się związków takich jak chlorki, fluorki lub siarki, w piecu szklarskim, a ze względu na ograniczoną rozpuszczalność tych składników w stopionym szkłe i wysoka skuteczność usuwania z gazów spalinowych dla tych elementów jest osiągana za pomocą oczyszczania na mokro. Ponadto, ponowne wykorzystywanie osadów lub placka filtracyjnego może również obejmować problemy obsługi.

Zużycie energii jest związane z zastosowaniem oczyszczania na mokro, w tym energii elektrycznej do dozowania odczynnika alkalicznego, czyszczenia filtra, transportu pneumatycznego osadu / placka filtracyjnego, pola elektrostatycznego (w przypadku mokrych filtrów elektrostatycznych), i wykorzystanie wentylatora.

Typowe zużycie energii do systemu oczyszczania na mokro wynosi około 20 - 25 kWh / tonę szkła.

Emisje pośrednie związane z wykorzystaniem energii elektrycznej szacuje się na około 550 - 660 ton CO₂/rocznie dla instalacji 100 - 125 ton stopionego szkła dziennie.

Dane operacyjne

Typowa temperatura pracy stosowana w przemyśle szklarskim mieści się między 50 i 80 ° C.

W większości przypadków, wydajność konwersji stosowanych absorbentów jest bardzo wysoka i stechiometryczna ilość reagenta jest dodawana w zależności od względnej ilości SO₂, HF, HCl, SO₃, H₃BO₃, HBO₂ and SeO₂ obecnych w spalinach.

Jednak większa skuteczność usuwania zanieczyszczeń gazowych osiągnięta przez systemu oczyszczania na mokro może być kompensowana przez znaczną redukcję tempa redukcji emisji dla emisji cząstek stałych w porównaniu do systemu oczyszczania na sucho i mokro w połączeniu z filtrami.

Możliwość zastosowania

Oczyszczanie na mokro nie jest często stosowane w przemyśle szklarskim ze względu na wzrost kosztów i aspektów dotyczących oczyszczania ścieków. Oczyszczanie ścieków często produkuje osad lub stałe odpady, zawierające materiał nie reagujący (np. wapno), produkty reakcji z wodą. Osad ten nie zawsze może być używany jako surowiec do produkcji szkła i większość wody w osadzie musi być usunięte przed transportem i rozładowywaniem materiału odpadowego do zewnętrznego składowiska.

Oczyszczanie na mokro stosowane jest w sektorze wełny mineralnej dla oczyszczania gazów z obszaru formowania i utwardzania w piecu. Patrz rozdział 4.5.6.1.2 i 4.5.6.2.2.

Istnieją zastosowania systemu oczyszczania na mokro w celu oczyszczania gazów odlotowych z pieców elektrycznych – cold-top.

W ograniczonej liczbie przypadków, oczyszczanie na mokro jest stosowane w oczyszczaniu gazów odlotowych z instalacji powlekania na gorąco w przemyśle szkła opakowaniowego do usuwania cyny, związków cynorganicznycych i chlorków z gazów odlotowych. Takie rozwiązanie może być stosowane w uzupełnieniu lub w miejsce bardziej wspólnej procedury łączenia emisji z procesów powlekania na gorąco z gazami odlotowymi z pieca do topienia, jak opisano w rozdziale 4.5.1. W tym przypadku celem jest zredukowanie stężenia chlorków gazowych wysłanych do systemu redukcji (suche oczyszczanie plus filtr).

Ekonomika

Oszacowanie kosztów stosowania systemu oczyszczania na mokro do pieców do topienia szkła została przeprowadzona w oparciu o metodologię opisaną w rozdziale 8.1 Główny wyniki przedstawiono poniżej:

- Koszty inwestycyjne dla stosowania systemu oczyszczania na mokro wynoszą około 2 - 3.000.000 EUR przy objętości gazów odlotowych 10.000 - 15.000 Nm³/h.. Typowe koszty szczegółowe mieszczą się w zakresie od 15 EUR do 20 EUR za tonę stopionego szkła lub 1 - 1,5 EUR za kg usuniętego SO_x i 15 EUR - 25 EUR za kg pyłu usuniętego. Koszty te obejmują działania filtru, który jest uważany za konieczny do zmniejszenia emisji cząstek stałych. W tym przypadku, całkowite koszty oczyszczania na mokro są znacznie wyższe niż w przypadku oczyszczania na sucho wraz z filtrem.
- Szacowane koszty inwestycyjne stosowania oczyszczania na mokro z pieca opalanego tlenowo-paliwowo lub pieca rekuperacyjnego paliwo-powietrze o wydajności produkcyjnej 100 - 125 ton / dziennie z włókien szklanych ciągłych mieszczą się w zakresie od 2,6 do 3,0 mln EUR, w tym osadów i oczyszczania ścieków. Roczne koszty operacyjne wynoszą 300 000 EUR rocznie, za piec. Dodatkowe koszty produkcji szacuje się na 14 - 16 EUR na tonę szkła, zważywszy na koszt utylizacji w wysokości 100 EUR za każdą tonę odpadów i bez kosztów uzdatniania wody, które w znaczącym stopniu przyczyniają się do określonej wartości. Te koszty będą znacznie wzrastać, do 20 EUR - 22 EUR na tonę stopionego szkła jeśli wyższe opłaty usuwania odpadów (400 EUR /tonę odpadów), są stosowane. W tym przypadku, szczególne koszty usuwania SO_x wynosiłyby , 1 - 1,65 EUR na kg SO₂ usuniętego i 20 - 30 EUR na kg pyłu usuniętego.

- Brak danych dotyczących kosztów do zastosowania w instalacjach do produkcji zastawy stołowej, szkła opakowaniowego i szkła typu float, ponieważ technika ta nie jest obecnie stosowana w tych sektorach.

Przesłanki do wdrożenia

Siłą napędową dla realizacji systemu oczyszczania na mokro może być konieczna, aby zminimalizować emisje gazowe, które są szczególnie trudne do kontrolowania z innymi technikami, takie jak kwas borowy. Jednak znaczące oddziaływanie na środowisko związane z tą techniką utrudnia stosowanie oczyszczania na mokro.

Przykładowe zakłady

Bardzo ograniczona liczba zastosowań działa w branży szklarskiej. Niektóre systemy są stosowane w piecach do topienia włókien szklanych ciągłych (dwa piece w Holandii) oraz do produkcji szkła specjalnego (np. w Niemczech i Austrii). Technika ta jest stosowana do stosunkowo małych urządzeń we Włoszech, w sektorze szkła gospodarczego, do oczyszczania spalin z sześciu pieców elektrycznych.

Dane dotyczące przykładowej instalację produkującej szkło specjalne przedstawiono w tabeli 4.35.

Tabela 4.35: Poziomy emisji związane ze stosowaniem oczyszczania na mokro w piecu elektrycznym do produkcji specjalnego szkła w przykładowej instalacji.

Parametry operacyjne		
Rodzaj pieca	Topienie elektryczne	
Wydajność pieca	40 t/d	
Rzeczywista wydajność	32 t/d	
Wiek pieca	3.5 roku	
Typ szkła	Sodowo-wapniowe do reflektorów	
Stłuczka(tylko wewnętrzna)	30 %	
Szczególne zużycie energii (tylko topienie)	4.50 GJ/t szkła	
Ogólne zużycie energii (na tonę stopionego szkła)	7.11 GJ/t szkła	
Systemu redukcji emisji gazu odlotowego	Oczyszczanie na mokro	
Poziomy emisji (1)		
	mg/Nm³ suchy gaz	kg/tonę stopionego szkła
Cząstki stałe	1.8	0.017
NO _x ⁽²⁾	159	1.54
SO _x	2.3	0.022
HCl	<0.2	<0.002
(1). Dane dotyczące emisji odnoszą się do nieciągłych pomiarów co pół godziny.		
(2). Emisje NO _x wynikają z azotanów w formule wsadu. Źródło: [111, <i>Austrian Special glass plant 2006</i>]		

Odniesienia do literatury

[94. Beerrens - APC Evaluation 2008]

4.4.4 Fluorki (HF) i chlorki (HCl)

W tym rozdziale, wszystkie gazowe fluorki i chlorki w postaci fluorowodoru (HF) i chlorowodoru (HCl), odpowiednio. Większość z halogenków emitowanych występuje w tych postaciach. Emisje HF i HCl powstają z zanieczyszczeń w materiałach wsadowych lub z materiałów wsadowych, które zostały wybrane, ponieważ zawierają te związki. w wystarczających ilościach w celu nadania pożądanych właściwości produktu

4.4.4.1 Redukcja u źródła

W większości procesów emisje HF i HCl wynikają z zanieczyszczeń w materiałach wsadowych, które są emitowane po roztopieniu. Wiele surowców zawiera bardzo małe ilości fluoru i chloru, które mają niewielki wpływ na końcowe poziomy emisji. Jednakże, pewne surowce, w tym zewnętrzna stłuczka, zawierają znaczne ilości tych pierwiastków w postaci zanieczyszczeń i do głównych substancji tego typu należą:

- Syntetyczna soda amoniakalna, która ma resztkową zawartość NaCl wynoszącą 0,05 – 0,15%
- Dolomit, który zawiera znaczne zanieczyszczenia fluorami
- użytkowa stłuczka szklana, która może zawierać szereg zanieczyszczeń na znacznym poziomie, zwłaszcza chlorków, fluorków i metali. Ilość tych substancji zależy od czystości dostarczanej stłuczki, ale w regionach z wysokim poziomem recyklingu te związki mogą stopniowo zwiększać swoją zawartość w szkłe
- Poddane recyklingowi pyły ze sprzętu do redukcji emisji zawierają sole fluoru i chloru, które mogą gromadzić się w systemie
- niektóre paliwa (np. koks z pewnych źródeł) mogą zawierać chlorki
- tworzywa sztuczne w recyklingu stłuczki zewnętrznej, które mogą zawierać chlorki

Emisje chlorków z tych procesów z wykorzystaniem wysokich poziomów syntetycznej sody amoniakalnej we wsadzie (głównie szkło sodowo-wapniowe) są znacznie wyższe niż na przykład z wełny szklanej lub ciągłych włókien szklanych (patrz rozdział 3). Z tych procesów, które nie celowo zawierają te materiały we wsadzie, najwyższe emisje HCl i HF wydają się pochodzić z procesów produkcji szkieł płaskich i opakowaniowych.

Poziomy emisji mogą być zminimalizowane przez staranny dobór surowców. Kwestie związane z poziomami NaCl w sodzie amoniakalnej są omówione w rozdziale 4.4.1.1. Szereg innych technik omówionych w rozdziale 4 ma również korzystny wpływ na emisje HF i HCl. Są to przede wszystkim te techniki, które redukują ulatnianie przez obniżenie temperatury, przez zmniejszenie przepływu powietrza i minimalizację turbulencji. Techniki te obejmują:

- zwiększone wykorzystanie stłuczki, która obniża temperaturę i zużycie energii, i namiastki sody amoniakalnej oraz związanych z nią nieczystości chlorku Potencjalnie istnieje paradoksalny efekt, jeśli stłuczka ma wysoki poziom HCl lub HF
- Impuls elektryczny
- Poprawiona konstrukcja i geometria pieca
- Pozycjonowanie palnika
- Topienie tlenowo-paliwowe
- Topienie elektryczne

Szereg rodzajów produktów wytwarzanych w przemyśle szklarskim używa materiałów zawierających fluorki w celu nadania określonych właściwości materiału lub w celu spełnienia wymagań jakości szkła. Najważniejsze przykłady tego są omówione poniżej.

Włókno szklane ciągłe

Produkcja włókna szklanego ciągłego generalnie wymaga użycia fluoru. Fluor jest dodawany do optymalizacji napięcia powierzchniowego i właściwości płynności, do wspomagania rozwłókniania i zminimalizowania pęknięcia włókna. Są to ważne czynniki w ekonomicznej i środowiskowej wydajności procesu. Wysoka pękalność prowadzi do zmniejszenia wydajności i zwiększenia ilości odpadów. Głównym źródłem dodanego fluoru jest zwykle fluoryt (CaF_2), ale znaczne poziomy mogą być także obecne w kaolinie (krzemian glinu).

Poczyniono wysiłki w celu zmniejszenia lub wyeliminowania ilości dodanych fluorków w zestawie szklarskim włókien ciągłych. W takich przypadkach, tylko fluorki obecne w stopionym szkłe pochodzą z usuwania fluorków obecnych w surowcach mineralnych, głównie z gliny, kaolinu. Gdy odpowiednie źródła minerałów są dostępne (o odpowiedniej jakości, a które są rentowne), staranny

dobór surowców pozwala na osiągnięcie poziomów emisji na poziomie $<20 \text{ mg/Nm}^3$ lub $0,09 \text{ kg / tonę stopionego}$.

Ostatni rozwój E-szkła niezawierającego związków boru, teraz produkowanego przez niektóre firmy w Europie, które mają dostęp do tej nowoczesnej technologii, pozwala praktycznie na wyeliminowanie lotnych składników stopionego szkła: brak boru, niski poziom alkali ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} < 1\%$), niski siarczanów i fluorków.

Potencjalne efekty wzajemnych powiązań między różnymi komponentami środowiska wiąże się z wykorzystaniem preparatów fluoru i boru ma wyższe zużycie energii wynikające z wyższej temperatury topnienia. Jednak brak boru oferuje możliwość użycia „konwekcyjnych technik wytopu szkła” („crown burners”), aby osiągnąć lepsze przeniesienie dostępnego ciepła do stopionego szkła.

Rozwój szkła o niskiej zawartości fluoru i boru jest wynikiem kosztownych prac rozwojowych i technologia jest ściśle strzeżona przez firmy, które opracowały ją. W związku z tym, technika ta nie jest już dostępny dla wszystkich podmiotów. Są też długie i kosztowne procedury rejestracji produktów, które muszą być ukończone dla nowych produktów ze zmianami w składzie.

Wytwarzanie fryt

Emisje fluorków są bezpośrednio związane z wykorzystaniem związków fluoru we wsadzie. Fluorki są głównie stosowane do produkcji szkliwa fryty i zazwyczaj nie są obecne w znacznym stopniu w surowcach stosowanych do wytwarzania fryt ceramicznych. Niektórzy producenci fryt ceramicznych mogą okresowo produkować niewielkie ilości szkliwa fryty w ceramicznych piecach fryty, powodujących emisje fluoru, ale stanowią bardzo niewielką część ogólnej produkcji operatorów. Emisja fluorków jest prawdopodobnie najbardziej znaczącym wpływem na środowisko naturalne produkcji fryt.

Fluorki zapewniają unikalne właściwości fryty, takie jak poprawa odporności termicznej i chemicznej oraz zmniejszone ryzykiem wystąpienia pęcherzy na powłoce emaliowanej. Są one dodawane do wsadu jako fluoryt, fluorokrzemian, kriolit i fluorokrzemian sodu. Większość producentów oferuje obecnie kilka emalii bez fluoru lub z niską zawartością fluoru i dostępność tych produktów wzrasta. Na ogół, produkty bez fluoru stanowią mniej niż 10% produkcji, produkty o niskiej zawartości fluoru, około 30%. Fluor we wsadzie nie może, na ogół, być zredukowany w stopniu wystarczającym do osiągnięcia poziomów emisji porównywalnych z technikami oczyszczania, lub innymi typami fryty.

Szkło matowe

Matowe szkło znajduje się w sektorze szkła gospodarczego, specjalnego, opakowaniowego. Dodatek fluoru powoduje krystalizację w szkłe, dając charakterystyczny mętny i nieprzezroczysty wygląd. Większość instalacji wytwarzających te produkty wykorzystuje suche techniki oczyszczania w oczyszczaniu emisji HF. Nie ma praktycznie alternatywy, które wytwarzają porównywalną jakość. W wielu przypadkach, nieprzezroczyste szkło jest topione w piecach elektrycznych cold-top. Powoduje to obniżenie emisji, ponieważ znaczna część fluorku jest wchłaniana w kocu wsadowym i ogólnie mniej fluorku jest konieczne. Ponadto, stosowanie topienia elektrycznego znacznie zmniejsza objętość gazów odlotowych do oczyszczania.

Sektor szkła specjalnego produkuje szkło fluorine crown, które jest produktem optycznym o bardzo wysokiej zawartości fluoru. Poziom produkcji tego szkła jest bardzo niski i w UE jest to zawsze przeprowadzane z oczyszczanie gazów odlotowych.

Ogólnie, środki do osiągnięcia redukcji u źródła są preferowane do oczyszczania gazu odlotowego. Z szkłem zawierającym fluor, środki do redukcji poziomu fluorku mogą spowodować poważne ograniczenia dotyczące warunków pracy i wymagające znacznych środków na rozwój. W przypadku, gdy redukcje emisji są wymagane przez przepisy, doprowadziło to wielu producentów do faworyzowania oczyszczanie gazów odlotowych i szczególnie oczyszczania na sucho.

4.4.4.2 Techniki oczyszczania

Techniki oczyszczania stosowane do tych emisji są oczyszczaniem na sucho, półsucho i na mokro. Te techniki oraz osiągalne poziomy emisji są omówione w rozdziale 4.4.3.3 i 4.4.3.4 powyżej. Wybór absorbentu jest ważny i jest czasami potrzeba kompromisu między redukcją SO₂ i zmniejszenie stężenia HF i HCl. W szczególności, istnieje konkurencyjna reakcja między HCl / HF i SO₂ z węglanem sodu. Optymalny wybór zależy od wielu kwestii, w tym względne poziomy różnych zanieczyszczeń w spalinach. Poszczególne skuteczność usuwania dla najbardziej powszechnych odczynników alkalicznych stosowanych w przemyśle produkcji szkła jest przedstawiona w tabeli 4.27, tabeli 4.30 i tabeli 4.31.

Inną techniką, która może być technicznie i ekonomicznie opłacalna dla procesów na małą skalę (np. niektóre piece fryt) jest oczyszczanie na mokro, stosując płuczkę w obiegu zamkniętym wody lub bardziej skutecznie, w roztworze alkalicznym. Główną wadą tej metody jest to, że strumień wodny z odpadami jest wytwarzane.

4.4.5 Tlenki węgla

Tlenki węgla obejmują dwutlenek węgla (CO₂) i tlenek węgla (CO). Tlenek węgla powstaje jako produkt niecałkowitego spalania i jest rzadko emitowany z instalacji przemysłu szklarskiego na poziomie spowodowania zagrożeń dla środowiska. Istotne poziomy występują w piecach szybowych do wełny skalnej, ale większość zakładów jest wyposażonych w dopalacz do utlenienia emisji przed uwolnieniem. Dwutlenek węgla powstaje w wyniku spalania paliw kopalnych i innych materiałów organicznych, na podstawie rozkładu węglanów, oraz w wyniku utleniania z innymi surowcami zawierającymi węgiel (żużel, węgiel, itp.) obecny we wsadzie. Emisje CO₂ silnie zależą od efektywności energetycznej procesu topnienia i mogą się znacznie różnić, gdy stosowane są pierwotne lub wtórne techniki do zwalczania innych zanieczyszczeń, np. wsadu i podgrzewania stłuczki, ponowne spalanie lub procesy 3R, itp.

Węglany, takie jak soda amoniakalna i wapień są głównymi źródłami tlenków metali alkalicznych i tlenków metali ziem alkalicznych w produkcji szkła. Jednakże, zastosowanie wapna palonego i dolomitu w miejsce węglanów niedawno zostało wdrożone w produkcję szkła. Jedyne realne źródła tych tlenków są to odpady po użyciu i odpady procesowe, to jest w procesie stłuczki szklanej i odpady procesu recyklingu produktu, i żużel (tylko w produkcji wełny skalnej). Kwestie związane z tymi materiałami są dyskutowane w innym rozdziale tego dokumentu, ale generalnie głównym czynnikiem ograniczającym ich stosowanie jest dostępność odpowiedniej ilości materiałów o wystarczającej jakości i spójności dostaw. Wysokie wykorzystanie tych materiałów jest zwykle ograniczone do szkła opakowaniowego i wełny szklanej dla stosowania stłuczki i wełny skalnej do wykorzystania żużla.

Dwutlenek węgla ma dobrze znane skutki dla środowiska, ale to nie jest jedna z głównych substancji zanieczyszczających wymienionych w załączniku II do dyrektywy 2010/75/UE. Zwiększenie wykorzystania surowców wtórnych w przemyśle szklarskim jest napędzane przez potrzebę oszczędzania energii i zmniejszenia ilości odpadów i ich wpływ na zastępowanie materiałów węglowych jest dodatkową korzyścią. Podobnie, redukcja emisji CO₂ pochodzących z ograniczenia zużycia paliwa jest napędzana przez potrzeby ograniczenia zużycia energii i kosztów operacyjnych, i przez presją zmniejszenia emisji NO_x. Wiele technik omówionych w niniejszym rozdziale ma istotne znaczenie dla emisji CO₂, ale nie ma techniki, poza tymi, brany pod uwagę w przypadku energii i innych zanieczyszczeń są przedstawiane do rozpatrzenia przy określaniu BAT dla instalacji w przemyśle szklarskim.

Pośrednie emisje CO₂, w szczególności, gdy energia elektryczna jest wymagane w procesie produkcji i eksploatacji systemów kontroli zanieczyszczenia powietrza, także powinny być brane pod uwagę przy ocenie ogólnego wpływu instalacji na emisje tlenków węgla.

Dwutlenek węgla (i inne emisje gazów cieplarnianych) są regulowane przede wszystkim przez "siostrzaną" dyrektywę (2003/87/WE) Parlamentu Europejskiego i Rady ustanawiającej system handlu przydziałami emisji gazów cieplarnianych we Wspólnocie (Europejski System Handlu Uprawnieniami do Emisji).

4.5 Techniki kontroli emisji do powietrza z czynności innych niż topienie

Niniejszy podrozdział obejmuje te czynności, które nie są związane z topieniem lub transportem materiałów. Czynności te obejmują formowanie produktu oraz wszelkie działania przeprowadzane na produktach, które, są na ogół uznawane za część procesu głównego. W większości działów przemysłu szklarskiego topienie surowców jest zwykle pierwszym podstawowym działaniem, dlatego też kolejne działania są w tym dokumencie określane czasami jako czynności następujące po procesie topienia.

Ze względu na to, że czynności następujące po procesie topienia ściśle zależą od danego sektora, zostały one omówione w ujęciu sektorowym.

4.5.1 Szkło opakowaniowe

Głównym źródłem emisji do powietrza z czynności innych niż topienie w produkcji szkła opakowaniowego jest operacja powlekania na gorąco. Powłoka, bardzo cienka warstwa tlenku metalu, nakładana jest podczas przepuszczania gorących pojemników wychodzących z maszyny formującej przez kołpak zawierający pary związków cyny lub tytanu. Najbardziej znanymi ze stosowanych materiałów są bezwodny czterochlorek cyny (SnCl_4), chlorek monobutyloowo-cynowy ($\text{C}_4\text{H}_9\text{SnCl}_3$) oraz bezwodny czterochlorek tytanu (TiCl_4). Emisje zawierają HCl, tlenochlorki, tlenki cyny i tytanu (SnO_2 , TiO_2) w postaci drobnych cząstek oraz pozostałe nieprzereagowane materiały powłokowe. W przypadku powlekania na zimno mogą pojawiać się mniej istotne emisje lotnych związków organicznych (LZO). Emisje te nie mają większego znaczenia i nie są omawiane w dalszej części niniejszego dokumentu.

Pierwszym krokiem w kierunku redukcji emisji jest minimalizacja zastosowania powłok proporcjonalnie do wymagań produktu. Dalsza optymalizacja wykorzystania materiału może być przeprowadzona przez zapewnienie odpowiedniej szczelności na powlekanych obszarach, aby zminimalizować straty.

Obecnie istnieją cztery podstawowe możliwości traktowania gazów odlotowych z operacji powlekania na gorąco:

- ekstrakcja i emisja bezpośrednio do atmosfery,
- ekstrakcja i oczyszczanie przy pomocy technik wtórnych, np. oczyszczanie na sucho, na mokro i filtracja,
- łączenie gazów odlotowych ze spalinami z pieca przed systemem oczyszczania i filtracji
- łączenie gazów odlotowych z powietrzem spalania w piecu.

Ekstrakcja i emisja gazów odlotowych z operacji powlekania na gorąco bezpośrednio do atmosfery jest uzasadniona jedynie stosunkowo niewielkim masowym przepływem lub niewielkim stężeniem zanieczyszczeń obecnych w spalinach. W niektórych warunkach, przy zastosowaniu kołpaków oraz systemów dystrybucji nowej generacji, możliwe jest ograniczenie emisji do mniej niż 5 mg/Nm^3 związków metali i mniej niż 30 mg/Nm^3 HCl.

Praktykowane jest to jednak tylko w specyficznych przypadkach, podczas gdy w większości instalacji stosowane są inne możliwości.

Możliwość łączenia gazów odlotowych z powietrzem spalania w piecu może mieć wpływ na skład chemiczny szkła oraz na materiał regeneratora, choć wpływ ten raczej nie jest znaczący. Niektóre instalacje w Europie wykorzystują tę technikę, łącząc gaz odlotowy z powlekania na gorąco z powietrzem spalania przed wejściem do regeneratora, choć nie ma obecnie dostępnych danych dotyczących tego zastosowania (na rok 2009).

Połączenie spalin z powlekania na gorąco z gazem odlotowym z pieca przed systemem kontroli zanieczyszczeń jest często stosowane tam, gdzie stosowane są wtórne techniki redukcji gazów odlotowych z pieca. Z dostępnych danych wynika, że opcja ta jest najczęściej stosowaną techniką do oczyszczania gazów odlotowych z powlekania na gorąco.

Badanie obejmujące całkowitą liczbę 125 zakładów wykazało, że 25 z 31 instalacji do oczyszczania gazów odlotowych z powlekania na gorąco wykorzystuje tę technikę. Jeśli nagromadzony materiał poddaje się recyklingowi, należy liczyć się z wpływem metali na szkło oraz możliwością nawarstwiania się chlorków i metali oraz ich wpływem na instalację. Względy te mogą w niektórych przypadkach ograniczać recykling pyłów.

Jak to zostało omówione w innych częściach niniejszego dokumentu, mokre płuczki mogą być efektywne w redukcji emisji gazowych, ale ich sprawność w przypadku redukcji drobnych pyłów jest ograniczana przez spadki ciśnienia wewnątrz systemu. Sprawność zależy będzie od składu na wlocie, ale nawet jeden etap oczyszczania może być wystarczający, by spełnić lokalne wymogi. Jeżeli zachodzi potrzeba dalszej redukcji, wtedy stosuje się filtr workowy poprzedzający skrubler z wypełnieniem, lub też płuczkę Venturiego, a za nią skrubler z wypełnieniem. Można oczekiwać, że techniki te zredukują HCl do poziomu poniżej 10 mg/Nm^3 , jednak wydajność usuwania pyłu oraz wszystkich metali jest dość niska w związku z drobnymi cząsteczkami i szczególnymi właściwościami chemicznymi produktów reakcji powstałych w wyniku zastosowania chlorków tytanu. Tam, gdzie HCl obecny jest w postaci aerozolu, spodziewać się można emisji poniżej 10 mg/Nm^3 . Koszty tych alternatywnych metod zależą będą od objętości gazów odlotowych. Lokalne warunki mogą umożliwiać osiąganie porównywalnych wyników przy mniej wyszukanych metodach. Inne znaczące źródło emisji z operacji dokonywanych na gorąco na powierzchni związane jest z poddawaniem wewnętrznej powierzchni szkła opakowaniowego przeznaczonego głównie do zastosowań farmaceutycznych działaniu SO_3 . W takich przypadkach do usunięcia SO_x stosowana jest zwykle mokra płuczka.

Szczegóły techniczne dotyczące zastosowania mokrych płuczek podane zostały w pkt. 4.4.3.4 i 4.5.6.1.2.

4.5.2 Szkło płaskie

Na ogół emisje do powietrza z czynności innych niż topienie przy produkcji szkła płaskiego są bardzo niskie i nie wymagają działań redukujących. Jeżeli wanna float jest właściwie eksploatowana, nie powstają znaczne emisje par cyny. SO_2 stosowany jest przy początku odprężarki tunelowej, ale jeśli proces przebiega poprawnie, emisje są niewielkie. Zwykle stężenia i emisje masowe wynoszą między 150 a 300 mg/Nm^3 a $0,02 - 0,04 \text{ kg/t}$ szkła (zob. pkt. 3.4.2.3).

Jedynym potencjalnym źródłem emisji stanowią produkty spalania z grzejników zasilanych gazem ziemnym w odprężarce tunelowej. Wyjątkiem są procesy bezpośredniego powlekania. Emisje z tych procesów różnią się znacznie w zależności od indywidualnego przypadku. Poniższy opis tej techniki został sporządzony na podstawie rzeczywistego przykładu.

Surowcami w tym procesie powlekania są: czterochlorek cyny (SnCl_4), kwas fluorowodorowy (HF), metanol (CH_3OH) oraz silan (SiH_4). Występują dwa oddzielne etapy powlekania: podkład SiCO oraz powłoka nawierzchniowa z tlenku cyny z domieszką fluoru. Emisje z etapu pierwszego przechodzą przez proces spalania termicznego w celu zniszczenia wszelkich składników organicznych; gaz odlotowy jest następnie chłodzony, a cząstki stałe (krzemionka bezpostaciowa) usuwane przez filtr workowy. Osadzony materiał podlega recyklingowi w piecu.

Na etapie nakładania powłoki zewnętrznej spaliny, które zawierają halogenki i związki cyny, przepuszczane są przez wysokotemperaturowy reaktor w celu utlenienia związków cyny. Tlenek cyny w postaci stałej usuwany jest przez filtr elektrostatyczny, halogenki natomiast usuwane są w chemicznym skruberze z wypełnieniem. Osiągnięte poziomy emisji są następujące:

- | | |
|---|------------------------|
| • pyły | 15 mg/Nm^3 |
| • chlorowodór | 5 mg/Nm^3 |
| • fluor i jego gazowe związki, takie jak HF | $<1 \text{ mg/Nm}^3$ |
| • metale | $<5 \text{ mg/Nm}^3$. |

Na ogół emisje z tego typu działań można kontrolować stosując jedną z wymienionych poniżej technik lub ich połączenie; w niektórych przypadkach właściwe mogą być inne, równie efektywne metody:

- urządzenia redukujące pyły, filtr workowy lub filtr elektrostatyczny, chociaż filtr workowy może prowadzić do uzyskania niższych emisji ($1 - 5 \text{ mg/Nm}^3$),
- system filtracji może być łączony z oczyszczaniem na sucho,
- mokra płuczka chemiczna,
- wysokotemperaturowe utlenianie np. spalanie termiczne.

Koszty zależą od zakładu, ale ogólnie uważa się, że są proporcjonalne do uzyskanych wyników.

4.5.3 Włókna szklane ciągłe

W tym sektorze emisje do powietrza z czynności innych niż topienie pochodzą z czterech głównych źródeł:

- nakładanie powłok na włókna,
- suszenie,
- krojenie i mielenie,
- obróbka wtórna.

Emisje do powietrza z nakładania powłok są zwykle niskie z powodu małej lotności materiałów powłokowych oraz niskich temperatur szkła w miejscu powlekania. Ważnym tego aspektem jest dobór materiałów powłokowych o małej zawartości rozpuszczalników organicznych. Jednakże, niektóre substancje lotne są obecne bądź jako rozpuszczalniki, bądź też jako produkty uboczne reakcji. Stosowane materiały powłokowe różnią się w zależności od produktów oraz instalacji, jednak najbardziej efektywną metodą redukcji emisji jest odpowiedni dobór materiałów. Duże objętości powietrza potrzebne do chłodzenia szkła sprawiają, że kontrola emisji lotnych związków organicznych (LZO) przy wykorzystaniu technik wtórnych jest trudna i kosztowna.

Duże przepływy powietrza powodują rozkurz kropelek oraz wzmacniają ulatnianie się ewentualnych lotnych związków organicznych (LZO). Do kontroli gazów odlotowych często stosowane są systemy mokrych płuczek, jednak ich wpływ na lotne substancje ogranicza się do kondensacji. W tym zastosowaniu można by również wykorzystać mokre filtry elektrostatyczne, jednak nie są znane przykłady tego zastosowania. Koszty mokrych płuczek oraz mokrych filtrów elektrostatycznych będą zbliżone do tych, które są przedstawione w sektorze wełny mineralnej. Osiągnięte poziomy emisji zależą będą wyłącznie od poziomów wyjściowych w poszczególnych przypadkach; niektóre wartości maksymalne przedstawione zostały w pkt. 3.5.2.3.

Mokre placki osadów osuszane są zwykle w piecach i wszelkie lotne substancje przy tych temperaturach emitowane są z parą wodną. Na ogół masy cząsteczkowe materiałów są dość duże, a znaczna część emisji substancji lotnych ma miejsce podczas nakładania powłok. Bardzo mało jest dostępnych informacji odnośnie wielkości emisji, a jedyną techniką stosowaną w celu ograniczenia emisji do minimum jest dobór materiałów. Objętości spalin są dość małe, a w przypadku stwierdzenia większych emisji można zastosować standardowe techniki kontroli, na przykład spalanie, adsorpcję i płuczki. Nie ma dostępnych informacji na temat kosztów tych technik w omawianym zastosowaniu, ale są one łatwo dostępne w przypadku małych objętości gazów. Zawsze jednak preferowana będzie kontrola emisji poprzez optymalizację składu powłok przed instalacją jakichkolwiek technik redukujących.

Emisje pyłów powstające podczas cięcia i mielenia mogą bez trudu zostać oczyszczone poprzez ekstrakcję do systemu filtra. Jest to standardowa technika wykorzystywana w całym sektorze, umożliwiającą osiągnięcie emisji w zakresie $1 - 5 \text{ mg/Nm}^3$.

Obróbka wtórna może wiązać się z dalszym zastosowaniem materiałów powłokowych lub wiążących. Emisje zależą od specyfiki przypadku i jeśli podstawowe techniki nie pozwalają osiągnąć wymaganego poziomu, można wykorzystać standardowe techniki redukcji lotnych związków organicznych (LZO) oraz gazów śladowych.

4.5.4 Szkło gospodarcze

W większości procesów przy produkcji szkła gospodarczego nie ma istotnych emisji do atmosfery z czynności następujących po procesie topienia. Liczne systemy palników wykorzystywane są do utrzymywania właściwej temperatury szkła, do zatapiania oraz w odprężarce tunelowej, jednak nie ma tam istotnych emisji, wymagających specjalnych działań.

Wyjątek stanowi produkcja wyrobów wymagających cięcia i szlifowania, szczególnie szkło ołowiowe i szkło kryształowe. Obecność ołowiu w pyłe powstającym w wyniku czynności następujących po procesie topienia wymaga dokładnej kontroli potencjalnych lotnych emisji w celu ochrony zdrowia i bezpieczeństwa pracowników.

Krojenie polega na ręcznym lub automatycznym wycinaniu precyzyjnych wzorów na gładkich wyrobach ze szkła przy użyciu tarcz diamentowych. Mogą być również przeprowadzane inne czynności związane z cięciem lub szlifowaniem, jak na przykład szlifowanie obrzeży. Aby zapobiec emisji pyłów, a także w celu chłodzenia, wykorzystywana jest zwykle woda. Można również zastosować ekstrakcję, aby usunąć mgłę powstającą z czynnika chłodzącego. Tam, gdzie powyższe czynności przeprowadzane są w obecności ciekłego czynnika chłodzącego, nie występują istotne emisje do powietrza, chociaż konieczny może być system odciągania wyposażony w odmgławiacz. Jeżeli przeprowadzane są operacje cięcia i szlifowania na sucho, pył może być odciągany i przepuszczany przez efektywny system filtra workowego, dając w rezultacie emisje rzędu 1 – 5 mg/Nm³. W przypadku operacji cięcia i szlifowania na szkle ołowiowym emisje Pb po oczyszczeniu (np. za pomocą filtra workowego) powinny być niższe niż 1 – 1,5 mg/Nm³.

Cięcie szkła sprawia, że powierzchnia staje się szara, niewykończona. Powierzchnia ta jest przywracana do wyglądu wyjściowego poprzez zanurzenie w polerującej kąpeli kwasów fluorowodorowego oraz siarkowego, zwykle w roztworze zawierającym 30% H₂SO₄ i 2 – 3% HF w temperaturze <50°C. Z powierzchni kąpeli polerującej uwalniają się opary HF oraz SiF₄. Najbardziej skutecznym sposobem redukcji tych emisji jest zwykle zastosowanie mokrej płuczki z wodą, bądź z roztworem chemicznym. Podczas tej operacji tworzy się kwas sześćfluorokrzemowy (H₂SiF₆ do 35%), a kwaśna ciecz z płuczki wymaga neutralizacji. Alternatywnie, można odzyskać H₂SiF₆, który tam, gdzie to wykonalne, może być wykorzystany jako surowiec w przemyśle chemicznym. Głównym problemem związanym z emisjami do atmosfery z systemów oczyszczania kwasem jest kwas fluorowodorowy; którego stężenie <5 mg/Nm³ HF jest zwykle osiągnięte. Woda z operacji polerowania jest zwykle oczyszczana wapnem gaszonym w celu usunięcia z niej fluorków i siarczanów. Osad z uzdatniania wody składa się z CaSO₄ i niewielkich ilości CaF₂ i oczyszczany jest na zewnątrz z myślą o potencjalnym ponownym wykorzystaniu (np. w przemyśle produkcji cementu).

W tych zastosowaniach dzięki mokrym płuczkom można osiągnąć bardzo niskie poziomy emisji HF <5 mg/Nm³. Z powodu bardzo kwasowego charakteru tych emisji wykazują one wysoką rozpuszczalność w wodzie i oczyszczanie chemiczne raczej nie jest konieczne. Oczyszczanie chemiczne pozwala zmniejszyć zużycie wody, jednak uniemożliwia odzysk H₂SiF₆ ze ścieków. Ostatnio opracowane zostały techniki alternatywne dla polerowania kwasem, np. polerowanie mechaniczne i polerowanie wysokotemperaturowe płomieniowe bądź laserowe, ale w czasie sporządzania niniejszego dokumentu (2010 r.) informacje dotyczące zastosowania tych technik nie są dostępne.

4.5.5 Szkło specjalne

Na ogół w tym sektorze brak jest istotnych emisji ze standardowych czynności następujących po procesie topienia. Produkcja szkła telewizyjnego wiąże się z operacjami szlifowania i polerowania, jednakże przeprowadzane są one w ciekłym medium i nie powinny powodować emisji do powietrza.

Jeżeli przeprowadzane jest cięcie, szlifowanie lub polerowanie szkła telewizyjnego lub innych produktów, w celu kontroli emisji można zastosować ich ekstrakcję do systemu filtra workowego, co daje emisje rzędu 1 – 5 mg/Nm³. Sektor ten jest bardzo zróżnicowany i w niektórych instalacjach mogą pojawić się działania, które wymagają indywidualnego rozpatrywania.

4.5.6 Wełna mineralna

W sektorze wełny mineralnej emisje wywołują cztery podstawowe działania poza procesem topienia: formowanie, utwardzanie, chłodzenie oraz obróbka i pakowanie produktu. Dane zaprezentowane w pkt. 0 pokazują, że najbardziej istotne są emisje z operacji formowania i utwardzania. Emisje te są w znacznym stopniu związane z zastosowaniem systemu wiązania opartego na żywicy fenolowej.

Poniżej oddzielnie opisano techniki dla obszarów formowania i utwardzania. Zastosowano taki podział dla wygody, a także dlatego, że właściwości gazów odlotowych w omawianych dwóch przypadkach różnią się. Jednakże niektóre z tych technik są możliwe do wykorzystania w obydwu obszarach, a ponadto, szczególnie w przypadku produkcji wełny szklanej, łączenie emisji w celu ich oczyszczania może być korzystne. Tam, gdzie ma to miejsce, techniki zostały opisane bardziej dokładnie w punkcie omawiającym obszar formowania, a w opisie obszaru utwardzania podano odpowiednie odsyłacze.

Istnieje wiele istotnych różnic pomiędzy emisjami z procesów produkcji wełny szklanej i wełny skalnej. Zostały one omówione w punktach odnoszących się do tych technik, dla których są one najbardziej odpowiednie.

4.5.6.1 Obszar formowania

W obszarze formowania stop szklany lub skalny ulega rozwłóknieniu i wprowadzane jest lepiszcze. Włókno pokryte żywicą jest wprowadzane na taśmę zbierającą, która pracuje w warunkach podciśnienia. W procesach wełny szklanej woda rozpylana jest do kanału ekstrakcyjnego oraz do wentylatora. Spełnia to dwie funkcje: zapobiega nawarstwianiu się materiału w przewodach oraz usuwa niektóre składniki pyłowe i gazowe ze strumienia gazu. Procesy wełny skalnej różnią się pod względem zastosowania wewnętrzkanalowych rozpylaczy wody; niektóre z nich są porównywalne do urządzeń wełny szklanej, ale wiele w ogóle nie stosuje rozpylaczy wodnych. Długość cyklu pracy pieca szybowego do produkcji wełny skalnej wynosi kilka tygodni, a zatem istnieje możliwość oczyszczania kanałów i wodne rozpylacze nie zawsze są konieczne.

Gazy odlotowe z obszaru formowania mogą zawierać znaczne ilości cząstek stałych, fenolu, formaldehydu oraz amoniaku. Cząstki stałe składają się z materiału zarówno organicznego jak i nieorganicznego, są często lepkie, o bardzo małych rozmiarach. Można również wykryć mniejsze ilości lotnych związków organicznych (LZO) oraz amin, jeżeli znajdują się w systemie lepiszcza. Ze względu na właściwości procesu strumień gazu ma temperaturę nieznacznie wyższą od temperatury otoczenia, charakteryzuje się dużą objętością i (w przypadku zastosowania wewnętrzkanalowych rozpylaczy wody) jest nasycony wodą. Te właściwości, w połączeniu z naturą substancji zanieczyszczających, ograniczają liczbę technik redukujących, które mogą być wykorzystane. Istnieje wiele czynników mających wpływ na uwalnianie zanieczyszczających substancji, w szczególności są to:

- właściwości chemiczne substancji wiążącej,
- technika rozwłókniania,
- warunki operacyjne (temperatura, przepływ powietrza i wilgotność),
- ilość zastosowanego lepiszcza,
- metoda aplikacji lepiszcza.

Optymalizacja tych parametrów, w powiązaniu z rozpylaczami wody wewnątrz kanałów, może znacznie zredukować emisje z procesu. Właściwości chemiczne substancji wiążącej są jednym z najważniejszych czynników i mają największy wpływ na system wody technologicznej oraz na emisje z operacji formowania, utwardzania i chłodzenia (dodatkowe informacje znajdują się w

punkcie 2.9.1). Substancje wiążące są różne u poszczególnych producentów i na ogół poza tym sektorem nie są dobrze znane. Mogą one w dużym stopniu zależeć od poszczególnych zakładów, co sprawia, że muszą być rozpatrywane indywidualnie. Poniżej przedstawiono w skrócie podstawowe problemy.

Względy dotyczące właściwości chemicznych żywicy i lepiszcza

Optymalizacja właściwości chemicznych substancji wiążącej oraz efektywność metody jej zastosowania mogą mieć zasadniczy wpływ na uwalnianie substancji do środowiska. Lepiszczce ma również wysoki udział w koszcie produktu końcowego. Dlatego też przedstawiciele przemysłu traktują wszelkie informacje na temat postępów w kwestii właściwości chemicznych lepiszcza i technik jego zastosowania jako ściśle tajne.

Lepiszczce powstaje z wody, żywicy fenolowej, mocznika, siarczanu amonowego, amoniaku, silanu, oleju mineralnego, oleju silikonowego i ewentualnie innych składników charakterystycznych dla poszczególnych procesów.

Żywica jest zasadniczo rezelem fenolowym składającym się z mieszaniny trihydroksymetylofenolu, dihydroksymetylofenolu, formaldehydu, drugorzędnych produktów reakcji fenolu i formaldehydu oraz śladowych ilości fenolu. Żywica oparta jest na wodzie, zwykle 50% stanowią substancje stałe. Aby otrzymać małe ilości wolnego fenolu, w reakcji wykorzystywany jest nadmiar formaldehydu.

Niektóre żywice są otrzymywane w katalizatorach aminowych i mogą przyczynić się do obecności znacznych ilości gazowych amin w gazach odlotowych. Emisje te mogą być faktycznie wyeliminowane przez zastosowanie innych substancji jako katalizatorów przy produkcji żywic. Zastosowanych może zostać wiele substancji, jednak dokładne szczegóły optymalizacji systemów są na ogół traktowane jako informacje prawnie zastrzeżone. Dzięki zastosowaniu systemu bezaminowo katalizowanych żywic można osiągnąć poziomy emisji poniżej 5 mg/Nm³. Jeżeli przedsiębiorstwo nie posiada własnej wystarczającej wiedzy specjalistycznej, aby rozwinąć bezaminowo katalizowane żywice, systemy takie są łatwo dostępne u wyspecjalizowanych dostawców żywic.

Żywicę poddaje się reakcji z mocznikiem w celu jej spęcznienia, redukcji ilości wolnego formaldehydu, a także zwiększenia ognioodporności produktu końcowego. Mocznik reaguje z wolnym formaldehydem w żywicy tworząc metylomocznik, który z kolei reaguje z aktywnymi miejscami na żywicy fenolowej i bierze udział w mechanizmie poprzecznego wiązania podczas utwardzania. Mocznik działa jak substytut fenolu, dzięki czemu można uzyskać tańszą substancję wiążącą. Jest to zatem bodziec dla producentów, aby maksymalizować zawartość mocznika w żywicy aż do momentu, gdy mogłoby to negatywnie wpłynąć na jakość produktu lub parametry procesu.

Mocznik ma dwie podstawowe wady: zmniejsza rozpuszczalność żywicy i może rozkładać się, zarówno w obszarze formowania, jak i utwardzania, tworząc amoniak. Z punktu widzenia środowiska maksymalizacja wykorzystania mocznika jest korzystna, ponieważ redukuje on uwalnianie formaldehydu, zastępuje fenol, a produkty rozkładu mocznika są i tak mniej szkodliwe niż pochodne związki fenolowe i produkty niecałkowitego spalania, które w przeciwnym przypadku byłyby emitowane.

Amoniak spełnia wiele ważnych zadań w substancji wiążącej i umożliwia pewien stopień elastyczności, który jest ważny dla optymalizacji procesu jako całości. Amoniak poprawia rozpuszczalność spoiwa, co daje możliwość dodania większej ilości mocznika i umożliwia dłuższe magazynowanie lepiszcza. Pomaga również utrzymać pH systemu we właściwym zakresie i reaguje z wolnym formaldehydem. Dzięki temu procesowi w krótkim okresie mogą uwalniać się większe niż zwykle ilości amoniaku. Skutki redukcji ilości amoniaku w procesie mogą być nieproporcjonalne do wpływu na resztę procesu, a większe ilości uwalnianego amoniaku w rezultacie mogą przyczynić się do niższych emisji całkowitych.

Siarczan amonu dodawany jest w celu kontrolowania utwardzania żywicy. Silan zapewnia konieczną powierzchnię międzyfazową pomiędzy nieorganicznym szkłem a organicznym lepiszczem. Grupy hydroksylowe silanu oddziałują z tlenkami ze szkła, a funkcyjne grupy organiczne reagują z żywicą tworząc silne wiązanie. Olej mineralny i silikonowy dodawane są, aby poprawić właściwości

użytkowe produktu, ograniczyć powstawanie pyłów oraz zapewnić odpowiedni stopień odporności na wodę.

Jeśli lepiszcze stosowane jest do gorącego szkła, związki lotne w obszarze formowania (np. amoniak, formaldehyd i fenol) odparują i zostaną ekstrahowane. Ilość uwolnionych substancji lotnych będzie funkcją ilości nieprzereagowanego lotnego materiału w lepiszczu, rozcieńczenia lepiszcza, temperatury w kołpaku formującym oraz temperatury szkła. Lepiszczce wprowadzane jest w postaci drobno rozpylonej cieczy i jakiegokolwiek kropelki, które nie są zatrzymane przez matę, będą przedostawać się do odciąganego powietrza. Stopień retencji lepiszcza na produkcie zależy będzie od składu granulometrycznego kropelek, grubości maty oraz poziomu przyłożonego zasysania. Ocenionych zostało kilka alternatyw dla lepiszczy opartych na żywicach fenolowych, jednakże nie znaleziono żadnych dających akceptowalną jakość produktu.

4.5.6.1.1 Oczyszczanie strumieniowe (impact jets) i odpylacze cyklonowe

Opis techniki

Ważnym elementem przy rozważaniu właściwych systemów redukcji w obszarze formowania jest zawartość wody w strumieniu gazów. Ciągły charakter produkcji wełny szklanej wymaga zastosowania mechanizmu czyszczącego, aby zapobiec nawarstwianiu się lepkiego materiału organicznego oraz włókien w przewodzie odciągowym i w wentylatorze. Normalnie stosowaną techniką jest wewnątrzkanalowe rozpylanie wody, które może przyjmować różne formy. Nieciągły charakter produkcji wełny skalnej w piecach szybowych (cykle produkcyjne od 1 do 3 tygodni) pozwala na oczyszczanie przewodów, jeśli jest to konieczne. Produkcja wełny skalnej wiąże się również z zastosowaniem stosunkowo mniejszej ilości substancji wiążącej na jednostkę objętości produktu, a zatem proces nawarstwiania jest wolniejszy. Niektóre procesy wełny skalnej wykorzystują rozpylacze wody w obszarze formowania, jednak jest to w dużej mierze związane z preferencjami producenta lub specyficznymi wymogami operacyjnymi zakładu.

Tam gdzie wykorzystuje się rozpylacze wodne do oczyszczania przewodów, logiczna jest optymalizacja ich zastosowania również do oczyszczania gazów odlotowych. W tej sytuacji obydwa cele są całkowicie komplementarne: im więcej materiału zostanie usunięte z gazów odlotowych, tym bardziej skuteczne oczyszczanie. Na ogół przyjęte są systemy spełniające wymogi powyżej minimum, aby zapobiec niepożądanemu nawarstwianiu w przewodach. W ramach tego sektora do opisu tej zoptymalizowanej techniki stosowane jest pojęcie oczyszczania strumieniowego (impact jets).

Aby zoptymalizować efektywność oczyszczania gazu, systemy mogą aplikować wodę w dużej objętości i pod wysokim ciśnieniem, nie powodując dużego spadku ciśnienia. Konstrukcja dysz spiętrzających będzie różna dla poszczególnych procesów; jej zamierzeniem jest jednak optymalizacja sprawności tej techniki, zarówno dla oczyszczania przewodów, jak i dla oczyszczania gazów odlotowych. W celu usunięcia przepracowanej wody z gazów odlotowych, oczyszczanie strumieniowe jest zawsze powiązane z odpylaczami cyklonowymi (lub innymi urządzeniami), które również, w zależności od konstrukcji, mają wpływ na ilość cząstek, jak to zostało opisane w punkcie 4.4.1.4.

Usunięcie cząstek i kropelek odbywa się przez uderzenie/zderzenie i, w mniejszym stopniu, przez dyfuzję. W niektórych systemach może być wymagane zwężenie kanału, aby poprawić sprawność usuwania, jednak sprawność usuwania cząstek zależy głównie od spadku ciśnienia, który jest mały we wszystkich tych systemach. Na ogół w związku z małym spadkiem ciśnienia w systemie skuteczność usuwania drobnych cząsteczek i kropelek jest dość niska, podczas gdy duże pyłki i włókna są usuwane skutecznie.

Substancje gazowe są częściowo zaabsorbowane przez kontakt z wodą. Sprawność absorpcji gazu zależy od różnicy pomiędzy ciśnieniem cząstkowym gazu w strumieniu gazów odlotowych a prężnością pary gazu w cieczy, rozpuszczalności gazu w cieczy, wielkości powierzchni kontaktowej oraz w mniejszym stopniu od czasu trwania kontaktu. Będzie tu również zachodził efekt skraplania, który może być istotny, jeśli gazy odlotowe są ciepłe.

Do oczyszczania strumieniowego wykorzystywana jest zwykle woda technologiczna, która zawiera już, w różnych ilościach, większość substancji obecnych w strumieniu gazów. Będzie to miało wpływ szczególnie na efektywność usuwania substancji gazowych. Woda technologiczna przeznaczona do recyklingu jest filtrowana zanim zostanie powtórnie wykorzystana, jednak zawierać będzie znaczne ilości materiałów rozpuszczalnych. System ten reprezentuje dynamiczną równowagę. System wody technologicznej opisany jest w dalszej części tego dokumentu.

Korzyści dla środowiska

Zastosowanie oczyszczania strumieniowego i odpylaczy cyklonowych pozwala na łatwe usunięcie materiałów w postaci stałej obecnych w dużych ilościach w spalinach z obszaru formowania w postaci włókien. Jednak ze względu na niewielką skuteczność usuwania drobnych pyłków, odpylacze cyklonowe i oczyszczanie strumieniowe są stosowane głównie jako technika wstępna. Emisje końcowe są uzależnione od właściwości chemicznych wody technologicznej i substancji wiążącej oraz od ilości lepiszcza.

Efekty wzajemnych powiązań pomiędzy różnymi komponentami środowiska

Jeżeli nie stosuje się innych technik, takich jak skrubery z wypełnieniem, cyklony (lub czasem alternatywne urządzenie) są łączone z oczyszczaniem strumieniowym w celu usunięcia przepracowanej wody. Jest to konieczne, by zmniejszyć zużycie wody i osiągnąć akceptowalne poziomy widoczności i dyspersji pióropuszu.

Jeśli wykorzystywane są inne mokre techniki (np. mokre filtry elektrostatyczne lub skrubery z wypełnieniem), oczyszczanie strumieniowe zwykle stosowane jest przed nimi.

Dane operacyjne

Wyniki osiągnięte przy zastosowaniu tej techniki zaprezentowane zostały w tabeli 4.40.

Możliwości zastosowania

W zasadzie technikę tę można stosować we wszystkich procesach wełny szklanej i wełny skalnej. Nie stosuje się jej w zbyt wielu zakładach produkujących wełnę skalną, ponieważ nie zachodzi tam konieczność oczyszczania procesu, a mogłaby ona negatywnie oddziaływać na inne wykorzystywane techniki redukcji. Oczyszczanie strumieniowe oraz odpylacze cyklonowe stosowane są do kontroli emisji na obszarze formowania w około 90% zakładów produkujących wełnę szklaną i 10% zakładów produkujących wełnę skalną.

Uwarunkowania finansowe

Koszty tej techniki, przedstawione w tabeli 4.41, zależą głównie od przepływu powietrza oraz wielkości zakładu. Koszty tej techniki w odniesieniu tylko do działań redukujących są trudne do oszacowania, ponieważ tam, gdzie stosowane jest oczyszczanie strumieniowe, pewna forma mechanizmu czyszczącego jest nieodłącznym wymogiem tego procesu. Koszty podane w tabeli przedstawiają całkowity koszt systemu. Nie ma przykładu implementacji systemów tylko i wyłącznie w celu czyszczenia przewodów; ich instalacja ma zawsze podwójne zastosowanie. Szacuje się, że pierwiastek oczyszczający gaz stanowi 60% całkowitego kosztu. Jednakże jest to analiza w pewnym sensie akademicka, ponieważ w większości państw członkowskich całkowicie nieoczyszczone emisje nie byłyby dopuszczone i poniesione musiałyby być koszty innej techniki redukcji.

Przesłanki do wdrożenia

Na obszarze formowania znaczna ilość materiału w stanie stałym ma postać dużych włókien, które można łatwo usunąć za pomocą oczyszczania strumieniowego i odpylaczy cyklonowych, zwłaszcza w przypadku produkcji wełny szklanej.

Przykładowe zakłady

Technika ta jest tak powszechnie stosowana, że nie ma potrzeby wymieniać przykładowych zakładów.

Bibliografia

[89, EURIMA Suggestions 2007]

Opis techniki

Systemy mokrych płuczek mogą być stosowane do kontroli zarówno emisji gazowych jak i pyłowych. Podczas gdy technologia podstawowa w obu przypadkach jest podobna, kryteria konstrukcji w przypadku usuwania gazów lub pyłów są różne. Jednakże aby obniżyć koszty inwestycyjne, systemy mokrych płuczek wykorzystywane są często do mieszanych emisji pyłów oraz gazów. Z konieczności konstrukcja taka jest rozwiązaniem kompromisowym, ale może stanowić najlepszą dostępną technikę (BAT) tam, gdzie koszty oddzielnych systemów kontroli są zaporowe. Mokra płuczka jest dobrze udokumentowaną techniką, zatem zostaną tutaj omówione tylko podstawowe zasady oraz problemy specyficzne dla tego sektora.

Osadzanie cząstek poprzez mokrą płuczkę dokonuje się w wyniku trzech głównych mechanizmów: zderzenia bezwładnościowego, intercepcji oraz dyfuzji. Usuwanie gazów śladowych w mokrych płuczkach osiąga się przez absorpcję i w mniejszym stopniu przez kondensację. Absorpcja polega na przekazaniu masy między rozpuszczalnym gazem a rozpuszczalnikiem w urządzeniu, gdzie gaz styka się z płynem.

Sprawność osadzania pyłów w mokrych płuczkach jest w dużym stopniu zależna od całkowitego zużycia energii, szczególnie od spadku ciśnienia wzdłuż strefy osadzania. Jeżeli ciecz jest równomiernie rozproszona w płuczce, podobne spadki ciśnień będą dawać podobną sprawność w przypadku tego samego pyłu w płuczkach o różnych konstrukcjach. Nie jest zatem możliwe aby konstrukcja mokrej płuczki, która osiąga wysokie sprawności dla cząstek o wielkości 1 μm i mniejszych, nie wymagała dużego spadku ciśnienia. Płuczki o wysokim zużyciu energii może charakteryzować wysoka sprawność osadzania dla cząstek poniżej $<0,5 \mu\text{m}$, jednak ze względu na wysokie koszty ich funkcjonowania alternatywne techniki mogą być bardziej korzystne z ekonomicznego punktu widzenia. Sprawność absorpcji gazu zależy od różnicy pomiędzy ciśnieniem cząstkowym rozpuszczalnego gazu w strumieniu gazów odlotowych a prężnością pary gazu w cieczy, rozpuszczalności gazu w cieczy, wielkości powierzchni kontaktowej oraz w mniejszym stopniu od czasu trwania kontaktu. Będzie tu również zachodził efekt skraplania, który może być istotny, jeśli gazy odlotowe są ciepłe. Rozpuszczalność zależy oczywiście od gazu i od cieczy. Woda może być stosowana do absorpcji rozpuszczalnych kwaśnych gazów, takich jak chlorowódor, fluorowódor, sześćofluorek krzemu oraz do absorpcji amoniaku. Alkaliczne lub kwaśne roztwory są odpowiednie do absorpcji trudniej rozpuszczalnych gazów, a w niektórych przypadkach roztwory utleniające ograniczać mogą nieprzyjemne zapachy organiczne. Wielkość powierzchni kontaktowej zależy od materiału wypełniającego lub od wielkości kropelek.

Skrubery z wypełnieniem składają się z zewnętrznej powłoki, warstwy materiału wypełniającego na kratkach podtrzymujących, dystrybutorów cieczy, wlotów i wylotów gazu i cieczy oraz odmgławiacza. Ciecz rozprowadzana jest w sposób ciągły nad powierzchnią materiału tworzącego błonę, która zapewnia dużą powierzchnię kontaktu gaz/ciecz. Zanieczyszczony strumień gazu przepływa przez wypełnienie i ciecz, a kierunek przepływu może być przeciwbieżny, współbieżny lub poprzeczny. Istnieją różne sposoby upakowania materiału, w układzie przypadkowym bądź uporządkowanym. Błona utworzona z cieczy na powierzchni upakowanego materiału zapewnia dużą powierzchnię przenikania masy. Przeciwbieżne absorbery z wypełnieniem maksymalizują siłę napędową absorpcji, ponieważ gaz opuszczając wypełnienie napotyka świeżą ciecz absorpcyjną. Wypełnienia mogą zostać zablokowane przez nierozpuszczalne cząstki stałe, zgorzelinę i osad biologiczny.

W niektórych zastosowaniach można wziąć pod uwagę płuczki Venturiego. Cechą charakterystyczną płuczki Venturiego jest zwężka kanału (zwężka Venturiego) powodująca wzrost prędkości gazu. Do płuczki wprowadzana jest ciecz, która jest rozpylana przez strumień gazu w zwężce Venturiego, tworząc na ściankach powłokę. Sprawność płuczki Venturiego zależy od spadku ciśnienia, co w rezultacie powoduje większe zużycie energii i wyższe koszty operacyjne. Płuczki Venturiego są na ogół urządzeniem oczyszczającym o najwyższej wydajności osadzania pyłów, ponieważ są odpowiednie dla submikronowych cząstek. Mogą one być również stosowane do usuwania gazów śladowych, jednak w tym przypadku sprawność ograniczona jest krótkim okresem kontaktu.

Najczęściej stosowanymi w tym sektorze mokrymi płuczkami są skrubery z wypełnieniem, używane zwykle z wcześniejszym oczyszczaniem strumieniowym. Oczyszczanie strumieniowe usuwa większe cząstki stałe, zapobiegając w ten sposób blokowaniu wypełnienia. Niektórzy producenci posiadają instalacje jonizujących mokrych płuczek (ionising wet scrubbers IWS), których zamierzeniem jest połączenie korzyści wynikających z niskich kosztów inwestycyjnych mokrych płuczek z niskimi kosztami operacyjnymi filtrów elektrostatycznych. Postawą IWS jest skrubler z wypełnieniem posiadający ładunek neutralny, poprzedzony strefą jonizacji, w której nadawany jest cząstkom ładunek. Warstwa wypełnienia składa się zwykle z tworzywa sztucznego. Prędkości gazu są tutaj niskie, aby zapewnić cząstkom odpowiednio długi czas przebywania w pobliżu elementów wypełnienia.

Kiedy gazy odlotowe z obszaru formowania wchodzi w kontakt z wodą w sprawnym systemie oczyszczania, mają miejsce następujące zdarzenia:

- część dostających się pyłów, przeważnie większe cząstki i kropelki, utrzymane zostają w zawiesinie;
- część rozpuszczalnego materiału żywicznego zostaje zaabsorbowana przez wodę;
- substancje lotne ustalają równowagę pomiędzy fazą gazową i wodną.

Woda technologiczna jest najczęściej wykorzystywaną cieczą oczyszczającą w tym sektorze. Może to powodować problemy z utrzymaniem odpowiednio niskiego stężenia substancji lotnych w medium czyszczącym, aby zwiększyć sprawność absorpcji i aby zapobiec ich ponownemu uwalnianiu do fazy gazowej. Proces wytwarzania wełny mineralnej zużywa wodę bezpowrotnie, natomiast sprawność płuczki można zwiększyć wprowadzając czystą wodę do systemu od góry. Ta korzyść może zostać zoptymalizowana przez zastosowanie łączonego wieloetapowego procesu oczyszczania, gdzie woda przepływa w poszczególnych etapach w kierunku przeciwnym do strumienia gazu. W ten sposób najbardziej brudna woda wykorzystywana jest do oczyszczania wchodzącego (najbardziej zanieczyszczonego) strumienia gazu, a czysta woda wykorzystywana jest w ostatnim etapie oczyszczania. Opis typowego obiegu wody w produkcji wełny szklanej zaprezentowany jest na rysunku 2.11, w pkt. 2.9.1.

Możliwym rozwiązaniem problemu byłoby oddzielenie medium czyszczącego od systemu wody technologicznej i wykorzystanie czystej wody, wystarczająco oczyszczonej, aby utrzymać sprawność absorpcji, albo też dozowanie chemicznie cieczy czyszczącej z substancjami, które będą reagować ze składnikami lotnymi. Oba te podejścia mają jednak istotne ograniczenia. Aby osiągnąć znacznie wyższą sprawność przez wykorzystanie systemu czystej wody, objętość szlamu byłaby zbyt duża dla recyklingu w systemie wody technologicznej, co powodowałoby powstawanie nowego strumienia odpadów wymagającego oddzielnego oczyszczania. Objętość wody pochodzącej z oczyszczania strumieniowego mogłaby rozwiązać ten problem.

W skrubierach chemicznych zawartość wody i żywiczne właściwości gazów odlotowych powodowałyby blokowanie i problemy z objętością cieczy czyszczącej, chyba że zastosowano by oczyszczanie dużych ilości materiału. Z powodu składu chemicznego żadne z nich nie mogłyby być zwracane do systemu wody technologicznej, powodując z kolei powstawanie nowego strumienia odpadów wymagającego oddzielnego oczyszczania. Dalsze komplikacje wynikają stąd, że chemiczne odczynniki potrzebne do usunięcia fenolu/formaldehydu oraz amoniaku są niekompatybilne i wymagałyby oddzielnych etapów. Etapy płuczki chemicznej mogłyby być rozmieszczone seryjnie wraz z płuczką wody technologicznej, jednakże zwiększyłyby to koszty i nie przewyższyłyby omawianych problemów, chyba że byłyby one bardzo skuteczne. Również wtedy, gdy brany jest pod uwagę strumień wodnych odpadów, różnica w całkowitych emisjach pomiędzy taką techniką a płuczką wody technologicznej może być ograniczona przy dobrej kontroli procesu.

Wieloetapowa płuczka, czy to w postaci zespolonego układu, czy też oddzielnych modułów, jest teoretycznie możliwym rozwiązaniem dla emisji z obszaru formowania i emisji łącznych z formowania i utwardzania. Jednakże żaden zakład produkujący wełnę mineralną nie wykorzystuje wieloetapowej płuczki, a zatem brak jest dostępnych informacji na temat jej oddziaływania na środowisko, kosztów oraz potencjalnych problemów operacyjnych. Dlatego też technika ta nie może

być aktualnie uznawana za ogólnodostępną. Mogłaby jednak być brana pod uwagę jako możliwa opcja, gdyby w danej instalacji emisje liniowe były bardzo wysokie.

Korzyści dla środowiska

Możliwe do osiągnięcia poziomy emisji przy zastosowaniu skruberów z wypełnieniem (z wodą technologiczną jako cieczą czyszczącą) w przemyśle produkcji wełny mineralnej zostały przedstawione w tabeli 4.40.

Efekty wzajemnych powiązań pomiędzy różnymi komponentami środowiska

Ważną kwestią w przypadku mokrych płuczek jest potencjalny wpływ na środowisko generowania strumienia odpadów wodnych, które wymagają oczyszczenia. W sektorze produkcji wełny mineralnej uniknięto tego problemu dzięki wykorzystaniu wody technologicznej jako medium czyszczącego a następnie jej 100% recyklingu do systemu wody technologicznej. Wykorzystanie czystej wody lub płuczek chemicznych prowadziłyby do generowania strumienia odpadów wodnych (zob. punkt 2.9.1, rysunek 2.11).

Dane operacyjne

Sprawność w odniesieniu do pyłów ograniczona jest przez mały spadek ciśnienia, a dla substancji gazowych przez zastosowanie wody technologicznej jako medium czyszczącego. Znacznie niższych poziomów emisji można oczekiwać dla fenolu, formaldehydu oraz amoniaku przy oczyszczaniu czystą wodą. Równowaga wody technologicznej jest czynnikiem krytycznym i w niektórych rzadkich przypadkach (np. produkcja wyrobu o niskiej zawartości spoiwa następująca po długim okresie produkcji wyrobów o wysokiej zawartości lepiszcza) może się zdarzyć, że płuczka będzie nieskuteczna w odniesieniu do składników gazowych.

W ostatnich latach kilku producentów zastosowało jonizujące mokre płuczki, jednak ich ogólne wyniki były rozczarowujące. Wzrost wydajności w przypadku skruberów z wypełnieniem na ogół nie przekraczał 10%.

Brak jest doświadczenia w tym sektorze w zakresie oczyszczania chemicznego lub wieloetapowego, natomiast doświadczenia przemysłu chemicznego sugerują, że bez trudu można osiągnąć emisje poniżej 10 mg/m³ w przypadku fenolu, formaldehydu oraz amoniaku, jeśli udałoby się przezwyciężyć pozostałe problemy. W porównaniu z danymi z tabeli 4.40 stanowi to znaczną poprawę wyłącznie dla amoniaku.

Możliwości zastosowania

Co do zasady skrubery z wypełnieniem z krążącą wodą technologiczną można stosować we wszystkich procesach w tym sektorze. Technika ta nie ogranicza się tylko do zakładów nowych lub przeprowadzających znaczne modyfikacje, jednak prawdopodobnie koszty będą wyższe w przypadku istniejących instalacji. W niektórych zastosowaniach, zwłaszcza w przypadku wełny skalnej, można osiągnąć podobne lub niższe poziomy emisji stosując inne techniki.

Prawie 20% instalacji w produkcji wełny szklanej wykorzystuje skrubery z wypełnieniem, czy to dla emisji łącznych z obszaru formowania i utwardzania, czy też tylko z obszaru formowania. W produkcji wełny skalnej skrubery z wypełnieniem stosowane są w około 10% instalacji dla obszaru formowania i takim samym procencie instalacji dla obszaru utwardzania. W instalacjach wełny skalnej emisje z tych dwóch obszarów nie są, na ogół, łączone.

Uwarunkowania finansowe

Koszty tej techniki, przedstawione w tabeli 4.41, zależą głównie od przepływu powietrza oraz wielkości zakładu. Włączenie etapu jonizacji, tak jak w przypadku IWS, wiąże się ze wzrostem kosztów inwestycyjnych o około 75% i przybliżonym wzrostem kosztów operacyjnych o 10%. Można się spodziewać, że koszt wieloetapowego oczyszczania chemicznego będzie dwukrotnie wyższy od wartości przedstawionych w tabeli. Koszt łączonej płuczki wieloetapowej byłby prawdopodobnie bardziej porównywalny do kosztu systemu IWS. Konieczne byłoby jednak całkowite oddzielenie poszczególnych etapów, co zwiększyłoby koszt, a ponadto mogłoby wiązać się z koniecznością zastosowania bardziej kosztownych materiałów odpornych na korozję.

Przesłanki do wdrożenia

Zaletą tej techniki jest możliwość łączenia emisji z obszaru formowania i komór polimeryzacyjnych w pojedynczym etapie oczyszczania. Objętość gazów odlotowych z obszaru formowania jest, na ogół, dziesięciokrotnie większa niż tych z komory polimeryzacyjnej. Jeżeli łączenie gazów odlotowych jest wdrażane na etapie projektu, nie powinno to wpłynąć na wzrost całkowitych kosztów tej techniki.

Przykładowe zakłady

Knauf Insulation, St. Helens, UK

URSA, Hiszpania

Isover Orange, Francja

Bibliografia

[89, EURIMA Suggestions 2007]

4.5.6.1.3 Mokre filtry elektrostatyczne

Opis techniki

Podstawowe zasady działania filtrów elektrostatycznych (electronic precipitators – ESP) opisane zostały w punkcie 4.4.1.2. W przypadku mokrych filtrów elektrostatycznych nagromadzony materiał splukiwany jest z elektrod osadczycielskich odpowiednią cieczą, zwykle wodą, w sposób przerywany lub przez ciągłą irygację rozpylaczem. Na mokro eksploatować można wszystkie trzy podstawowe typy ESP: „płytę i drut”, „płytę i płytę”, „rurę i drut”. W rodzajach z płytami przepływ gazu jest poziomy, w konstrukcjach cylindrycznych przepływ gazu jest pionowy, zaś ciecz przepływa w kierunku przeciwnym do gazu. W niektórych, bardziej wytrzymałych konstrukcjach druty zastąpione są przez pręty. W celu usunięcia kropelek wody przed odprowadzeniem gazów odlotowych do atmosfery zwykle instaluje się jakiś mechanizm: odmgławiacz lub ostatnią suchą sekcję.

Na ogół preferowane jest osadzanie na sucho, jednak mokre filtry elektrostatyczne przydatne są do usuwania pyłów z wilgotnych gazów przy temperaturach zbliżonych do punktu rosy oraz osadzania ciekłych aerozoli i lepkich materiałów, takich jak cząstki żywiczne oraz smoła. Wydajność mokrych filtrów elektrostatycznych w mniejszym stopniu zależy od właściwości cząstek, ponieważ wilgoć obecna w gazie łatwo się wydziela i wspomaga wytrącanie trudnych pyłów.

W mokrych zastosowaniach najczęściej stosowane są jednostki cylindryczne, gdyż łatwiej jest zapewnić ich odporność na wybuchy, jeśli obecne są smoły. Urządzenia cylindryczne mają jednak, na ogół, tylko jedno pole elektryczne i są mniej odpowiednie dla uzyskiwania wysokich wydajności. Wszystkie trzy rodzaje znalazły zastosowanie przy produkcji wełny mineralnej, jednak aktualnie preferowane są typy „płytę i drut” oraz „rura i drut”. Do gaszenia pożarów instalowany jest zwykle system tryskaczowy.

Na wejściu do mokrego filtra elektrostatycznego niezbędna jest dobra dystrybucja gazów spalinowych, aby uzyskać jednakową i niską prędkość gazów pomiędzy wszystkimi elementami. Gaz odlotowy jest kondycjonowany przez oczyszczanie strumieniowe przed filtrem elektrostatycznym; usuwane są duże cząstki włókien, a gaz jest nasycony i chłodzony. Aby zapewnić możliwość działania w określonych warunkach konstrukcyjnych, stosowana jest również czysta woda. Jest ona rozpylana na wlocie do filtra elektrostatycznego, aby zapewnić nasycenie, a także wykorzystywana do czyszczenia elektrod. Przy procesach wełny szklanej objętość tej wody jest zwykle wystarczająco nieduża, żeby można ją było usunąć do obiegu wody technologicznej i żeby mogła stanowić główne źródło zasilania tego obiegu. W większości procesów wełny skalnej potencjał parowania z procesu formowania jest dużo mniejszy i nie jest możliwe wykorzystywanie takiej objętości czystej wody.

Korzyści dla środowiska

Mokre filtry elektrostatyczne są efektywne przy usuwaniu cząstek stałych, aerozoli i kropelek o wielkości w przedziale 10µm do 0,01µm. Wydajność zależy od wielu czynników, w szczególności od prędkości gazu. Mokre filtry elektrostatyczne o najnowszej konstrukcji mogłyby osiągać sprawność usuwania cząstek powyżej 98% dla wszystkich cząstek o średnicy >1µm, chociaż

sprawność usuwania gwałtownie spada dla cząstek <1µm. Wydajność może spadać wraz z okresem eksploatacji urządzenia, a zatem bardzo ważna jest właściwa konserwacja.

Zasadniczo mokre filtry elektrostatyczne wykazują ograniczoną sprawność w przypadku usuwania substancji gazowych. Zależy to w dużej mierze od asortymentu wyrobów oraz od właściwości chemicznych wody technologicznej i substancji wiążącej. Jednakże z powodu dużego stopnia nasycenia oraz wykorzystywania znacznych ilości czystej wody ma miejsce pewien poziom absorpcji substancji gazowych.

Dane odnoszące się do przykładowej instalacji do produkcji wełny szklanej zaprezentowane zostały w tabeli 4.36. Zakład ten jest wyposażony w zaawansowany system kontroli zanieczyszczeń powietrza składający się z mokrego filtra elektrostatycznego połączonego z mokrą spłuczką, odpylaczem cyklonowym i oczyszczaniem biologicznym do usuwania zanieczyszczeń organicznych.

Tabela 4.36: Emisje stałe i gazowe z obszaru formowania w instalacji produkcji wełny szklanej, w której stosowany jest mokry ESP

Produkcja wełny szklanej – obszar formowania		
Wydajność produkcji: 36 000 – 38 000 ton rocznie		
Objętość spalin: 191 707 Nm ³ /h		
System usuwania zanieczyszczeń: mokra płuczka, odpylacz cyklonowy, wentylacja ssąca, biologiczne oczyszczanie z sześcioma pionowymi płuczkami wieżowymi, mokry ESP z trzema polami		
	Poziomy emisji (1) (mg/Nm³)	Przepływ masy (kg/h)
Formaldehyd + fenol	4,3	0,82
Całość związków organicznych (TOC) jako C	4,4	0,84
Pył zawieszony	21	4,03
Amoniak (NH ₃)	18	3,45
HF	<0,02	<0,004
HCl	7	1,3
SO ₂	~ 3	~ 0,6
NO _x (jako NO ₂)	9,9	1,9
Miedź (Cu)	0,0217	0,004
Mangan (Mn)	0,0381	0,007
Odorymetria	64 ouE/m ³	
(1) Wartości emisji z pomiarów nieciągłych (średnia wartość z 4-6 półgodzinnych pomiarów wyrażona w zmierzonym 20,5% O ₂)		
Źródło: [112, Austrian glass wool plant 2006]		

Efekty wzajemnych powiązań pomiędzy różnymi komponentami środowiska

Podsumowanie głównych zalet i wad stosowania mokrych ESP zaprezentowane zostało w tabeli 4.37.

Tabela 4.37: Głównie zalety i wady mokrych filtrów elektrostatycznych (WESP)

<p>Zalety:</p> <ul style="list-style-type: none"> - duża skuteczność w usuwaniu pyłów oraz kropel/aerozoli; możliwość osiągnięcia wartości <20 mg/m³, - możliwość absorpcji substancji gazowych przy wysokim nasyceniu oraz zastosowaniu czystej wody, - możliwość zastosowania w przypadku emisji z procesu formowania i utwardzania, - małe spadki ciśnienia i wynikające z nich stosunkowo niskie zużycie energii i koszty operacyjne, - rzadkie blokowanie urządzenia przy zastosowaniu oczyszczania strumieniowego do usuwania dużych włóknistych cząstek, - długi okres eksploatacji przy niskich nakładach na konserwację <p>Wady:</p>

- generowanie wodnych ścieków, których recykling jest zwykle możliwy w przypadku wełny szklanej, jednak w przypadku produkcji wełny skalnej wiąże się z dużymi trudnościami,
- ogólnie niska wydajność usuwania substancji gazowych,
- występowanie zużycia energii, jednak stosunkowo niskiego, w porównaniu z wymaganiami innych procesów,
- zastosowanie niemożliwe przy wysokim stężeniu CO (np. przy produkcji wełny skalnej),
- stosunkowo wysokie koszty inwestycyjne,
- potrzeba dużej przestrzeni,
- niewielkie wymagania konserwacyjne jednak o krytycznym znaczeniu; złe utrzymanie powoduje znaczny spadek wydajności,
- praca pod wysokim napięciem wiąże się z wymogami bezpieczeństwa

Dane operacyjne

Wyniki osiągnięte przy zastosowaniu tej techniki zaprezentowane zostały w tabeli 4.40.

Możliwości zastosowania

W zasadzie technikę tę można stosować we wszystkich nowych i istniejących procesach wełny szklanej i wełny skalnej. Główną wadą w przypadku wełny skalnej są potencjalne trudności z usuwaniem strumienia ścieków wodnych. Technika ta odpowiednia jest zarówno dla emisji z obszaru formowania jak i komory polimeryzacyjnej, a także dla emisji łącznych. W 1997 r. około 30% instalacji wełny szklanej wykorzystywało tę technikę do oddzielnych bądź łącznych emisji z obszaru formowania i komory polimeryzacyjnej. Żaden zakład produkujący wełnę skalną nie wykorzystywał mokrych filtrów elektrostatycznych.

Uwarunkowania finansowe

Koszty tej techniki, przedstawione w tabeli 4.41, zależą głównie od przepływu powietrza oraz wielkości zakładu.

Przesłanki do wdrożenia

Główną przesłanką do wdrożenia tej techniki jest zmieszczenie się w prawnych limitach emisji. Na konieczność zastosowania tej techniki mogą również wpływać kwestie związane z jakością powietrza w otoczeniu.

Przykładowe zakłady

Knauf Insulation, St. Helens, UK
Saint-Gobain Isover G + H AG, Niemcy
Saint-Gobain Isover Etten-Leur, Holandia
Saint-Gobain Isover, Stockerau, Austria

Bibliografia

[89, EURIMA Suggestions 2007]

4.5.6.1.4 Filtry wełny skalnej

Opis techniki

Konwencjonalne procesy filtracji pasywnej (np. filtry workowe) nie są odpowiednie dla oczyszczania gazów odlotowych z operacji w obszarze formowania oraz utwardzania.

Lepkie a czasem wilgotne gazy powodowałyby szybkie zatkanie nawet przy intensywnym oczyszczaniu i konserwacji. Przy czynnościach związanych z produkcją wełny skalnej, gdzie procesy formowania są zwykle prowadzone na sucho, można zastosować filtry z płyt wełny skalnej. Składają się one ze stalowej lub betonowej obudowy, w której płyty wełny skalnej zamontowane na kasetach działają jako medium filtrujące. Tego rodzaju filtry cechuje wysoka sprawność usuwania pyłów i kropelek lepiszcza; jednak w przypadku usuwania składników gazowych ich wydajność jest niska. W celu utrzymania sprawności usuwania cząstek i zapobiegania wzrostowi oporu przepływu powietrza,

należy okresowo czyścić lub wymieniać medium filtrujące. Zwykle można zużyte bloki filtrów poddać recyklingowi w piecu, jeśli w danym zakładzie przeprowadzany jest proces brykietowania.

Operacja może być przeprowadzana w formie półsuchej, jednak sprawność całkowita wzrasta znacznie, jeśli operacja przebiega na sucho. Żaden z tych systemów nie generuje strumienia wodnych odpadów, a wilgotne płyty filtrów mogą bez trudu zostać przetworzone w procesie brykietowania.

Wcześniejsza wersja tej konstrukcji oparta była na filtrach wieżowych z medium filtrującym w postaci walców z wełny skalnej. Technika ta jest mniej wydajna i została w dużej mierze zastąpiona przez płyty zamontowane na konstrukcji kaset. Konstrukcja filtra wieżowego była bardziej odpowiednia dla wilgotnych gazów odlotowych o większej zawartości lepiszcza, ale nie mogłaby obsługiwać gazów odlotowych oczyszczanych za pomocą oczyszczania strumieniowego.

Korzyści dla środowiska

Filtry z wełny skalnej są bardzo skuteczne w usuwaniu pyłów oraz kropelek/aerozoli. Wielkości emisji, jakie można osiągnąć przy zastosowaniu tej techniki, zaprezentowane zostały w tabeli 4.40. Technika ta nie ma większego wpływu na substancje gazowe, ale w połączeniu z podstawowymi technikami kontroli (np. operacja przeprowadzana na sucho) oraz niską emisją aerozoli, poziom emisji przedstawiony w tabeli jest możliwy do osiągnięcia. Prowadzi to również do bardzo niskiej widoczności pióropuszu z tego typu filtra (zob. też pkt. 4.5.6.2.5).

Efekty wzajemnych powiązań pomiędzy różnymi komponentami środowiska

Podsumowanie głównych zalet i wad stosowania filtrów z wełny skalnej zaprezentowane zostało w tabeli 4.38.

Tabela 4.38: Główne zalety i wady stosowania filtrów z wełny skalnej

Zalety:

- wysoka skuteczność w usuwaniu pyłów, osiągalny poziom <20 mg/m³,
- przy zastosowaniu odpowiedniego sprzętu możliwy jest recykling wykorzystanych płyt filtrów w procesie,
- brak odpadów wodnych,
- niskie koszty inwestycyjne,
- małe spadki ciśnienia i wynikające z nich stosunkowo niskie zużycie energii i koszty operacyjne

Wady:

- zużycie energii, choć jest ono stosunkowo niskie w porównaniu z innymi technikami wtórnymi,
- ograniczona sprawność usuwania substancji gazowych,
- nie nadaje się do zastosowania w procesach produkcji wełny szklanej

Dane operacyjne

Nie przedstawiono informacji.

Możliwości zastosowania

Technika ta ograniczała się niegdyś głównie do zastosowania w obszarze formowania w procesach produkcji wełny skalnej, chociaż coraz częściej stosowana jest również w komorach polimeryzacyjnych wełny skalnej (zob. pkt. 4.5.6.2.5). Technikę tę można stosować tak w nowych, jak i w istniejących instalacjach do produkcji wełny skalnej.

Ponad 90% procesów wełny skalnej stosuje tę technikę do oczyszczania gazów odlotowych z obszaru formowania, ok. 10% wykorzystuje ją do emisji z komory polimeryzacyjnej, a prawie 40% do oczyszczania gazów chłodzących. Ograniczenie jej zastosowania w przypadku komory polimeryzacyjnej wynikało częściowo z wysokiej temperatury gazów, ale również z szerokiego zastosowania spalania. Obecnie zastosowanie pasywnych filtrów z wełny skalnej w przypadku komór polimeryzacyjnych może być jednak uznane za technikę preferencyjną.

Nieznane są przykłady wykorzystania tej techniki w procesach wełny szklanej. Główne powody, dla których technika ta nie jest stosowana przy produkcji wełny szklanej zostały omówione poniżej.

Ciągły charakter produkcji wełny szklanej wymaga zastosowania mechanizmu czyszczącego, aby zapobiec nawarstwianiu się materiału w kanałach ekstrakcyjnych i w wentylatorze. Zwykle stosowaną techniką jest oczyszczanie strumieniowe. Nie jest ona na ogół wykorzystywana przy produkcji wełny skalnej, ponieważ nieciągły charakter procesu umożliwia oczyszczanie kanałów. Produkcja wełny skalnej wiąże się również z zastosowaniem stosunkowo mniejszej ilości substancji wiążącej, a zatem proces nawarstwiania materiału zachodzi wolniej.

W procesach wełny skalnej włókno jest zwykle gromadzone jako mata o stałej grubości, której warstwa następnie jest nakładana na oddzielny przenośnik formujący, aby nadać produktowi pożądane właściwości. Pierwotnie mata jest cienka, powoduje tylko mały, stały spadek ciśnienia i umożliwia zastosowanie pojedynczego systemu ekstrakcji o stosunkowo małej objętości. W produkcji wełny szklanej stosowany jest pojedynczy system przenośnika formującego. Grubość maty rośnie na całej długości przenośnika formującego i jest różna w zależności od produktu. Zmiana dyferencjału ciśnienia wzdłuż przenośnika wymaga zastosowania kilku systemów ekstrakcji o różnej wydajności, a całość odciąganego powietrza musi mieć odpowiednio wysokie ciśnienie, zmienne i możliwe do kontrolowania. Wielkość i rozkład ekstrakcji jest ważnym narzędziem kontroli procesu, które często różni się pomiędzy poszczególnymi producentami. Zmienne większe objętości oraz wyższe ciśnienie gazów odlotowych z wełny szklanej nie są idealnymi parametrami dla systemów filtracyjnych.

Nasycone wodą, z dużą zawartością lepiszcza, gazy odlotowe z obszaru formowania wełny szklanej powodowałyby szybkie zablokowanie filtra z wełny skalnej. Wymuszałoby to częstą wymianę medium filtrującego i prowadziłyby do powstawania dużej ilości mokrych odpadów, które wymagałyby recyklingu lub usunięcia.

Dodatkową komplikacją przy zastosowaniu filtrów z wełny mineralnej w procesach produkcji wełny szklanej jest większa trudność w recyklingu odzyskanego materiału w piecu. Recykling odpadów włókien w piecach do produkcji wełny mineralnej został omówiony w pkt. 4.7.

Uwarunkowania finansowe

Koszty tej techniki, przedstawione w tabeli 4.41, zależą głównie od przepływu powietrza oraz wielkości zakładu. Koszty inwestycyjne są szczególnie niskie, a niewielkie spadki ciśnienia prowadzą do niskich kosztów operacyjnych w porównaniu z innymi systemami filtrów konwencjonalnych.

Przesłanki do wdrożenia

Filtry z wełny skalnej są bardzo skuteczne w usuwaniu pyłów oraz kropelek/aerozoli przy stosunkowo niskich kosztach inwestycyjnych i operacyjnych oraz niewielkim zużyciu energii.

Przykładowe zakłady

Rockwool Lapinus, Roermond, Holandia
Partek Rockwool AB, Hallekis, Szwecja

Bibliografia

[89, EURIMA Suggestions 2007]

4.5.6.2 Komora polimeryzacyjna

Mokra mata produktu zostaje wprowadzona do komory, w której panuje temperatura około 250°C. Wilgoć jest usuwana wraz z innymi lotnymi materiałami i rozpoczyna się utwardzanie lepiszcza. Krytycznymi parametrami są tu temperatura oraz czas przebywania w komorze polimeryzacyjnej.

W lepiszczu muszą powstać odpowiednie wiązania, jednak nie może ono zostać nadmiernie utwardzone, gdyż ucierni na tym jakość produktu. Emisje z komory polimeryzacyjnej składać się będą z lotnych materiałów lepiszcza, produktów rozkładu lepiszcza oraz produktów spalania mieszanki paliwowej. Na ogół produkty z wełny szklanej zawierają stosunkowo większe ilości lepiszcza niż produkty z wełny skalnej, co powoduje większe emisje. Emisje z komory polimeryzacyjnej przejawiają również tendencję do wydzielania nieprzyjemnych zapachów, jeżeli nie są oczyszczone.

Komora polimeryzacyjna jest zwykle opalana gazem i wyposażona w wyciąg, a wydobywające się z niej emisje są lepkie i stanowią potencjalne zagrożenie pożarowe z powodu osadzania palnego materiału w systemie ekstrakcji, szczególnie w przypadku wełny szklanej. Aby zapobiec pożarom, strumień gazu musi zostać poddany oczyszczaniu wodą, bądź też musi zostać dodatkowo podgrzany, w celu zlikwidowania lepkości substancji zanieczyszczających. W tych procesach bez spalania woda jest zwykle rozpylana do kanału ekstrakcyjnego, aby zapobiec nawarstwianiu się materiału żywicznego oraz aby zapobiec pożarom. Rozpylacze wodne usuwają również część materiału wchodzącego w strumień gazów.

4.5.6.2.1 Oczyszczanie strumieniowe (impact jets) i odpylacze cyklonowe

Opis techniki

Technika ta została opisana w pkt. 4.5.6.1.1, istnieją jednak pewne kwestie, które należałoby rozważyć. Gazy odlotowe z komory polimeryzacyjnej mają znacznie mniejszą objętość i wyższą temperaturę niż gazy z obszaru formowania. Dlatego też, szczególnie w procesach wełny szklanej, nawarstwianie się materiału żywicznego w przewodach grozi pożarem, a nawet eksplozją. Woda rozpylana w gazie daje znaczący efekt chłodzący i niektóre substancje zawarte w gazach odlotowych ulegają kondensacji. Niekoniecznie oznacza to, że substancje zostaną usunięte, natomiast w początkowych etapach systemu następuje ułatwienie się materiału z zanieczyszczonej wody technologicznej.

Korzyści dla środowiska

Z powodu niewielkiego spadku ciśnienia, sprawność usuwania drobnych pyłów jest dość niska, jednak zastosowanie oczyszczania strumieniowego i odpylaczy cyklonowych sprzyja kondensacji niektórych substancji, co zapobiega nawarstwianiu się osadów w kanałach oraz ryzyku wybuchu ognia skutkującego emisjami do atmosfery. Tak jak w przypadku obszaru formowania system jest w dynamicznej równowadze, a emisje gazów zależą w dużej mierze od właściwości chemicznych wody technologicznej i substancji wiążącej.

Efekty wzajemnych powiązań pomiędzy różnymi komponentami środowiska

Jeśli nie jest stosowana żadna inna technika do usuwania przepracowanej wody (np. skrubery z wypełnieniem, cyklony, odmgławiacze), technika ta może prowadzić do wysokiego poziomu zużycia wody oraz emisji mgieł.

Dane operacyjne

Wielkości emisji, jakie można osiągnąć przy zastosowaniu tej techniki, zaprezentowane zostały w tabeli 4.40.

Możliwości zastosowania

Tak jak w przypadku obszaru formowania technikę tę można w zasadzie stosować we wszystkich procesach produkcji wełny mineralnej. Nie stosuje się jej w zbyt wielu zakładach produkujących wełnę skalną, ponieważ nie zachodzi tam konieczność oczyszczania procesu, a mogłaby ona negatywnie oddziaływać na inne wykorzystywane techniki. Oczyszczanie strumieniowe i odpylacze cyklonowe są wykorzystywane w komorach polimeryzacyjnych w 90% zakładach produkcji wełny szklanej, często do oczyszczania połączonych spalin z procesu formowania i utwardzania. Technika ta jest stosowana jako oczyszczanie wstępne w połączeniu z innymi technikami.

Uwarunkowania finansowe

Koszty tej techniki, przedstawione w tabeli 4.41, zależą głównie od przepływu powietrza oraz wielkości zakładu. Względy decydujące o tym, jaką część tych kosztów stanowi koszt redukcji zanieczyszczeń, są takie same, jak w przypadku obszaru formowania.

Przesłanki do wdrożenia

Zwłaszcza w procesach produkcji wełny szklanej nawarstwianie się materiału żywicznego w przewodach grozi pożarem, a nawet eksplozją. Woda rozpylana w gazie daje znaczący efekt chłodzący i niektóre substancje ulegają kondensacji z gazów odlotowych.

Przykładowe zakłady

Technika ta jest tak powszechnie stosowana, że nie ma potrzeby wymieniać przykładowych zakładów.

Bibliografia

[89. EURIMA Suggestions 2007]

4.5.6.2.2 Mokre płuczki

Technika ta została opisana w części poświęconej obszarowi formowania w punkcie 4.5.6.1.2, a zawarte tam informacje mają również zastosowanie do emisji z komory polimeryzacyjnej. W szczególności należy zwrócić uwagę na fakt, że w przypadku emisji z komory polimeryzacyjnej ich objętość jest mniejsza a poziomy stężenia substancji zanieczyszczających są różne; na ogół mniej jest pyłów, występuje porównywalne stężenie fenolu, natomiast amoniaku i formaldehydu jest znacznie więcej.

Możliwe do osiągnięcia poziomy emisji przy zastosowaniu skruberów z wypełnieniem (z wodą technologiczną jako cieczą czyszczącą) w przemyśle produkcji wełny mineralnej zostały przedstawione w tabeli 4.40. (zob. omówienie w pkt. 4.5.6.1.2). Emisje z komory polimeryzacyjnej zawierają więcej emisji gazowych w porównaniu do emisji z obszaru formowania, a zatem całkowita efektywność w tym przypadku może być wyższa. Również i to zależy od ilości wykorzystanej czystej wody oraz właściwości chemicznych lepiszcza oraz wody technologicznej.

Koszty tej techniki, przedstawione w tabeli 4.41, zależą głównie od przepływu powietrza oraz wielkości zakładu. Koszty podane są dla emisji łącznych z procesu formowania i utwardzania. Większość przykładów oczyszczania emisji z komory polimeryzacyjnej w mokrych płuczkach odnosi się do emisji łącznych, a ze względu na ich małą objętość dodatkowy koszt jest zwykle niski. Zróżnicowanie przedstawionych kosztów w dużej mierze związane jest z przepływem powietrza, a przybliżony kosztorys dla oczyszczania samych tylko emisji z komory polimeryzacyjnej można uzyskać przez proporcjonalnie zmniejszenie wyników, jednakże relacja kosztów nie jest liniowa.

Technikę tę można w zasadzie wykorzystywać we wszystkich zakładach, (zob. omówienie w pkt. 4.5.6.1.2).

4.5.6.2.3 Mokre filtry elektrostatyczne

Technika ta została opisana w części poświęconej obszarowi formowania w punkcie 4.5.6.1.3, a zawarte tam informacje mają również zastosowanie do emisji z komory polimeryzacyjnej. Zastosowanie mokrych filtrów elektrostatycznych (wet electrostatic precipitators – WESP) do oczyszczania wyłącznie emisji z komory polimeryzacyjnej nie jest powszechne; systemy te są zwykle wykorzystywane do emisji łącznych. Z powodu relatywnie większych koncentracji substancji gazowych i zapachowych w gazach odlotowych z komory polimeryzacyjnej mokry filtr elektrostatyczny nie jest najlepszą techniką redukcji zanieczyszczeń wyłącznie z komory polimeryzacyjnej. Jednak w połączeniu z emisjami z obszaru formowania oraz rozrzedzeniem, jakie się z tym wiąże, mokry filtr elektrostatyczny może być odpowiednim rozwiązaniem.

Poziomy emisji osiągalne przy zastosowaniu tej techniki zostały przedstawione w tabeli 4.40, a koszty w tabeli 4.41. Technikę tę można w zasadzie stosować tak w nowych, jak i w istniejących instalacjach.

4.5.6.2.4 Spalanie gazów odlotowych

Opis techniki

Spalanie ma szerokie zastosowanie w kontrolowaniu emisji organicznych z procesów przemysłowych. Jego wadą jest niszczenie materiału (uniemożliwiające odzysk), często dodatkowe zapotrzebowanie na energię oraz powstawanie dwutlenku węgla i tlenków azotu. Można je jednak zaprojektować tak, aby było bardziej energooszczędne; może ono również stanowić integralną część

systemu dostarczania ciepła do operacji suszenia lub utwardzania. Istnieją dwa rodzaje urządzeń do spalania: termiczne (>750°C) lub katalityczne (350 do 400°C).

Spalanie termiczne niszczy związki organiczne poprzez termiczne utlenianie do dwutlenku węgla, wody, tlenków siarki i azotu oraz innych produktów spalania. Główne warunki efektywnego spalania są następujące:

- Czas przebywania w komorze spalania musi być wystarczająco długi, aby zapewnić całkowite spalanie. 99% wydajność destrukcji wymagać będzie zwykle czasu przebywania od 1 do 4 sekund w odpowiedniej temperaturze.
- Temperatura operacyjna powinna wynosić 200 – 400°C powyżej temperatury samozapłonu większości substancji stałych; zwykle temperatury operacyjne wynoszą około 800°C. Tam, gdzie strumień gazu zawiera chlorowane lub aromatyczne substancje, temperatury muszą wzrosnąć do 1100 – 1200°C i wymagane jest gwałtowne schładzanie spalin, aby zapobiec powstawaniu dioksyn.
- Turbulencje są niezbędne, aby zapewnić efektywne przenoszenie ciepła i przenikanie masy w strefie spalania oraz aby zapobiec powstawaniu „zimnych punktów” (cool spots). Można to zwykle osiągnąć przez wykorzystanie palników, które generują wirujący płomień spalania oraz przez wprowadzenie zastawek w komorze spalania.

Jest mało prawdopodobne, aby spalanie katalityczne było praktycznym rozwiązaniem w tym sektorze, ponieważ duże zagęszczenie pyłów oraz obecność materiałów żywicznych prowadziłyby do zatrucia katalizatora.

Korzyści dla środowiska

Spalanie jest skuteczną techniką usuwania substancji organicznych ze strumieni gazów odlotowych, jednak nie redukuje ono ilości pyłów nieorganicznych. Spalanie zużywa energię i prowadzi do powstawania emisji CO₂ oraz NO_x, które w tych ilościach, jakie są emitowane, są jednak mniej szkodliwe niż substancje zniszczone., a także mogą zwiększyć ilość energii, którą można by odzyskać ze spalin. W gazach odlotowych z komory polimeryzacyjnej występuje również amoniak i inne substancje zawierające azot, które są częściowo lub całkowicie utleniane tworząc NO_x. Dobra konstrukcja urządzenia spalającego zapewnia całkowitą redukcję związków organicznych do poziomu poniżej 10 mg/Nm³.

Efekty wzajemnych powiązań pomiędzy różnymi komponentami środowiska

Podsumowanie głównych zalet i wad związanych ze spalaniem gazów odlotowych zaprezentowane zostało w tabeli 4.39.

Zużycie energii związane ze spalaniem gazów odlotowych równie jest 200 m³ gazu na kg usuniętego fenolu i formaldehydu lub 20 m³ na kg usuniętego amoniaku. Spowodowany spalaniem wzrost emisji CO₂ szacowany jest na ok. 400 kg na kg fenolu/formaldehydu i 40 kg na kg amoniaku.

Tabela 4.39: Główne zalety i wady spalania gazów odlotowych

<p><u>Zalety:</u></p> <ul style="list-style-type: none">- wysoka skuteczność eliminowania organicznych zanieczyszczeń oraz nieprzyjemnych zapachów,- brak odpadów wodnych ani stałych <p><u>Wady:</u></p> <ul style="list-style-type: none">- wysokie zużycie energii Jeśli to tylko technicznie wykonalne, należy stosować metody odzysku energii ze spalin,- emisja tlenku węgla oraz tlenku azotu. Część amoniaku przechodzi w tlenki azotu,- brak możliwości usuwania cząstek nieorganicznych,- znacznie wyższe koszty niż w przypadku oczyszczania połączonego z emisjami z procesu formowania, tam gdzie to możliwe <p>Źródło: [89, EURIMA Suggestions 2007]</p>
--

Dane operacyjne

Wielkości emisji, jakie można osiągnąć przy zastosowaniu tej techniki, zaprezentowane zostały w tabeli 4.40.

Dane dotyczące zużycia energii na potrzeby spalania gazów odlotowych nie są dostępne.

Możliwości zastosowania

W czasie sporządzania niniejszego dokumentu (2010 r.) technika ta stosowana była tylko do oczyszczania emisji z komory polimeryzacyjnej w produkcji wełny skalnej i wykorzystywana przez 60 – 70% instalacji. Możliwości alternatywne zostały opisane poniżej.

Ze względu na duże objętości, niewielkie stężenie, niską temperaturę i czasami wysoką wilgotność zawartości, koszt tej techniki uważany jest za zaporowy w przypadku oczyszczania gazów odlotowych z obszaru formowania. W zasadzie technikę tę można stosować we wszystkich nowych i istniejących procesach.

W procesach produkcji zarówno wełny szklanej jak i skalnej istnieje zwykle możliwość połączenia emisji z komory polimeryzacyjnej z emisjami z obszaru formowania w celu oczyszczania przy pomocy jednej techniki, co jest zwykle bardziej opłacalne. W zasadzie nie ma technicznych powodów, dla których emisje z komory polimeryzacyjnej wełny szklanej nie mogłyby być zredukowane przez spalanie. Jednak może to nie być najbardziej opłacalne rozwiązanie.

Uwarunkowania finansowe

Koszty tej techniki, przedstawione w tabeli 4.41, zależą głównie od przepływu powietrza oraz wielkości zakładu. Opłacalność spalania zależy w znacznej mierze od możliwości odzyskania ciepła. Koszty są funkcją wielu czynników, a w szczególności:

- objętości gazów odlotowych przeznaczonych do oczyszczenia, która determinuje wielkość komory spalania;
- temperatury gazów odlotowych, która ma wpływ na konstrukcję urządzeń do spalania oraz na dodatkowe zapotrzebowanie paliwa;
- wartości kalorycznej gazu, która wpływa na dodatkowe zapotrzebowanie paliwa;
- temperatury spalania, która determinuje materiały konstrukcyjne;
- oprzyrządowania;
- możliwości odzysku ciepła;
- wymogów instalacyjnych; wewnątrz, czy na zewnątrz budynku, na parterze, stropie, itd.

Przesłanki do wdrożenia

Przesłanką do wdrożenia może być zmieszczenie się w wyznaczonych prawem limitach emisji substancji organicznych oraz kwestie związane ze skargami okolicznej ludności na nieprzyjemne zapachy.

Przykładowe zakłady

Rockwool Lapinus, Roermond, Holandia
Partek Rockwool AB, Hallekis, Szwecja
Owens Corning, Queensferry, UK

Bibliografia

[89, EURIMA Suggestions 2007]

4.5.6.2.4 Filtry z wełny skalnej

Opis techniki

Filtry z wełny skalnej mogą być stosowane jako system filtracji połączonych gazów odlotowych z obszarów formowania i utwardzania lub jako oddzielny filtr wyłącznie dla procesu utwardzania. Szczegółowy opis techniki znajduje się w pkt. 4.5.6.1.4.

Korzyści dla środowiska

Filtr ogranicza skutecznie ilość cząsteczek organicznych i nieorganicznych, jednak nie ma większego wpływu na redukcję emisji gazowych. To prowadzi do zwiększonych emisji składników organicznych

oraz amoniaku z substancji wiążącej, jednak zużycie energii będzie niższe, a redukcja emisji tlenków azotu oraz CO₂ większa niż w przypadku spalania. Większa emisja składników lepiszcza jest zwykle nieznaczna w porównaniu do emisji z obszaru formowania.

Efekty wzajemnych powiązań pomiędzy różnymi komponentami środowiska

Filtr z wełny skalnej zatrzyma większość pyłów, organicznych oraz nieorganicznych, ale spowoduje jedynie nieznaczną redukcję składników gazowych.

Dane operacyjne

Wyniki dotyczące zastosowania filtrów z wełny skalnej zaprezentowane zostały w tabeli 4.40, w porównaniu z innymi technikami redukcji emisji.

Możliwości zastosowania

Filtry z wełny skalnej stosowane są do oczyszczania emisji z komór polikondensacyjnych wełny skalnej jako alternatywa dla spalania. Stężenie pyłu w gazach odlotowych z procesu utwardzania jest zwykle bardzo niewielkie, więc kilka istniejących zakładów stosuje jedynie środki podstawowe oraz komin do oczyszczania gazów odlotowych z komór polikondensacyjnych. Kominy mogą być albo oddzielne albo połączone dla procesu formowania/utwardzania.

Uwarunkowania finansowe

Koszty tej techniki, przedstawione w tabeli 4.41, zależą głównie od przepływu powietrza oraz wielkości zakładu.

Przesłanki do wdrożenia

Główną przesłanką do wdrożenia może być usuwanie pyłów oraz kropel/aerozolu w celu zmieszczenia się w prawnych ograniczeniach emisji substancji organicznych.

Przykładowe zakłady

Nie przedstawiono informacji.

Bibliografia

[89, EURIMA Suggestions 2007]

4.5.6.3 Schładzanie produktu

Przez produkt musi przejść duża ilość powietrza (zwykle 10 000 do 40 000 m³/godz.), aby go schłodzić do akceptowalnej temperatury po opuszczeniu komory. Gaz ten z dużym prawdopodobieństwem zawiera włókna, cząstki utwardzonego lepiszcza oraz niewielkie ilości organicznych oparów, które mogą mieć nieprzyjemny zapach. Ów strumień gazu nie jest największym problemem tego sektora, jednak może on powodować lokalne problemy. Istnieją trzy główne metody oczyszczania tego gazu; przykłady wszystkich znaleźć można w sektorze i wszystkie są akceptowane jako dostępne w sensie rynkowym i finansowym. Wszystkie trzy mogą osiągać stosunkowo niskie poziomy emisji, a preferowane rozwiązanie zależy będzie od warunków lokalnych. W niektórych przypadkach, gdy emisje są bardzo małe, zastosowanie wtórnych technik redukcji może okazać się zbędne. Do tych trzech technik należą:

- system filtra do usuwania pyłów połączony z wystarczającą prędkością wylotową i wysokością w celu uniknięcia nieprzyjemnych zapachów na poziomie ziemi,
- system mokrej płuczki w połączeniu z odpowiednią dyspersją. System typu płuczka Venturiego dawałby najniższe emisje pyłów i wzywów,
- połączenie powietrza chłodzącego z systemem oczyszczania gazów odlotowych z obszaru formowania lub komory polimeryzacyjnej.

Opcja połączenia jest prawdopodobnie, najbardziej efektywną metodą ze środowiskowego i ekonomicznego punktu widzenia.

4.5.6.4 Obróbka i pakowanie produktu

Procesy produkcji wełny mineralnej wiążą się z wieloma operacjami – przycinanie, cięcie, krojenie produktu – które generują emisje pyłowe. Przyjętą metodą oczyszczania tych emisji jest skuteczne osadzanie oraz ekstrakcja, a następnie przepuszczanie odciągniętego powietrza przez sprawny system usuwania pyłów, zwykle filtr workowy (zob. też pkt. 3.8.2.4).

Operacje pakowania są również potencjalnym źródłem powstawania pyłu i powinny być traktowane w ten sam sposób.

Objętości gazów z tych operacji mogą znacznie się różnić (5 000 do 70 000 m³/godz.). Aby zminimalizować koszty inwestycyjne i operacyjne urządzeń redukujących emisje, objętość wyciągniętego powietrza powinna być ograniczona do minimum, współgrając z dobrym osadzaniem pyłu.

4.5.6.5 Wyziewy powstające przy produkcji wełny mineralnej

Techniczna ocena wyziewów jest trudna, kosztowna oraz może być subiektywna, a ponadto istnieje niewiele dostępnych informacji. Jednakże instalacje przy produkcji wełny mineralnej mogą być przyczyną skarg mieszkańców na nieprzyjemne zapachy. Rozmiary tego problemu zmniejszyły się w ostatnich latach ze względu na poprawę metod eksploatacji i kontroli, jednak w wielu instalacjach ten problem nadal istnieje. Niniejsza część dotyczy wyziewów powstających na wszystkich etapach procesu produkcyjnego, w tym podczas topienia.

Z powodu wysokich temperatur konwencjonalne piece opalane mieszanką powietrzno-gazową oraz tlenowo-gazową nie powodują zwykle problemów zapachowych, nawet gdy topiony jest materiał pochodzący z recyklingu. Piece elektryczne typu cold-top rzadko powodują problemy zapachowe, ale mogą one wystąpić, jeśli ma miejsce recykling odpadów z wełny mineralnej. Podczas topienia materiały lepiszcza mogą ulegać częściowemu rozkładowi termicznemu powodującemu powstawanie pewnych substancji o nieprzyjemnym zapachu. Problem ten można zminimalizować przez dodanie czynników utleniających lub przez wstępne oczyszczenie włókien.

Topienie w piecach szybowych powoduje znaczne emisje siarkowodoru o nieprzyjemnym zapachu. Przyjętym w tym przypadku rozwiązaniem jest spalanie w systemie dopalacza, które również załatwia sprawę emisji innych substancji zapachowych z materiałów przetwarzanych lub surowców pierwotnych.

Głównym źródłem substancji zapachowych są operacje następujące po procesie topienia, szczególnie formowanie i utwardzanie. Wyziewy mogą również powstawać podczas chłodzenia produktu, zwłaszcza w przypadku produktów o dużej gęstości lub dużej zawartości lepiszcza, lub też jeśli nastąpił proces nadmiernego utwardzania. Zapach poszczególnych substancji chemicznych stosowanych w procesie nie ma istotnego znaczenia. Wyziewy powstają głównie podczas chemicznych i termicznych reakcji organicznego lepiszcza wykorzystywanego w procesie. Mają one charakterystyczną woń „spalonego bakelitu”. Skargi spoza zakładu na występowanie zapachów formaldehydu lub amoniaku pojawiają się rzadko.

Uważa się, że większość wyziewów pochodzi z komory polimeryzacyjnej, w której mają miejsce główne reakcje chemiczne i procesy termiczne. Proces suszenia również powoduje w pewnym stopniu destylację związków lepiszcza oraz produktów pośrednich z parą wodną. We wnętrzu większości komór polimeryzacyjnych następuje nawarstwienie włókien i materiałów żywicznych, co może również prowadzić do pojawiania się nieprzyjemnego zapachu pod wpływem temperatury. Drobne pożary i miejscowe przypadki „tlenia się” nie są również rzadkością w przypadku komór polimeryzacyjnych, a dym i opary mogą mieć bardzo nieprzyjemny zapach.

Pojawianie się wyziewów można w znacznym stopniu ograniczyć poprzez właściwą konserwację i czyszczenie komory polimeryzacyjnej, systemy mokrej płuczki, odpowiednią dyspersję oraz zapewnienie natychmiastowego gaszenia jakichkolwiek pożarów. Spalanie gazów odlotowych z komory polimeryzacyjnej jest bardzo skutecznym rozwiązaniem tego problemu.

Czynności w obszarze formowania mogą również powodować powstawanie związków zapachowych, szczególnie wtedy, gdy lepiszcze napyłane jest na gorące włókna. Jednakże powietrze w atmosferze jest chłodniejsze i w związku z tym bardziej wilgotne niż w komorze polimeryzacyjnej, ponadto objętości gazów są dużo większe a stężenie jakichkolwiek substancji zapachowych rozrzedzone. Choć znaczna ilość związków zapachowych może zostać wyemitowana z obszaru formowania, nieprzyjemny zapach występuje jedynie wtedy, gdy koncentracja danego związku przekracza próg zapachu, a zatem emisje z obszaru formowania są na ogół mniej zapachowe niż emisje z komory polimeryzacyjnej. Jeżeli jednak emisje z obszaru formowania powodują powstawanie nieprzyjemnych zapachów, można je zminimalizować poprzez moką płuczkę i odpowiednią dyspersję. Problemy z przykrymi zapachami można rozwiązywać poprzez zastosowanie mokrej płuczki przy użyciu czynnika utleniającego, jednakże czynność ta musiałaby zostać oddzielona od systemu wody technologicznej. Zagadnienia związane z mokrym oczyszczaniem chemicznym omówione zostały w punkcie 4.5.6.1.2.

Podsumowanie ogólnie osiągalnych wartości dla emisji do powietrza z głównych czynności innych niż topienie w sektorze produkcji wełny mineralnej (rozwłóknianie, formowanie, utwardzanie i chłodzenie) zaprezentowane zostało w tabeli 4.40. Dane zaprezentowane w tabeli przedstawiają faktyczne pomiary działających zakładów. Faktyczne emisje zależą nie tylko od zastosowanej techniki redukcji emisji, ale też od zawartości lepiszcza w wytwarzanym produkcie oraz zastosowanych technik podstawowych. W rezultacie dane zaprezentowane w tabeli pokazują zachodzące na siebie zakresy emisji dla różnych technik redukcji.

W tabeli 4.41 zaprezentowane zostały skrótkowo dane dotyczące kosztów stosowania technik redukcji w głównych czynnościach innych niż topienie w sektorze produkcji wełny mineralnej. Techniki redukcji wykorzystywane są zgodnie z opisem podanym w tabeli. Na przykład WESP będzie zawsze połączony ze skrublerem, a odpylacz cyklonowy będzie stosowany przed nimi w celu usunięcia włókien i wody, stąd też podane koszty będą zgodne z opisem.

Tabela 4.40: Ogólnie osiągalne wartości dla emisji do powietrza z czynności innych niż topienie w sektorze produkcji wełny mineralnej z zastosowaniem różnych technik

Proces/technika	Emisje (1) na mg/Nm ³ (kg/tonę produktu w nawiasie)							
	Pyły	Fenol	Formaldehyd	Amoniak	NO _x	CO ₂	LZO (²)	Aminy (²)
Połączone rozwłóknianie, formowanie i utwardzanie								
Odpylacz cyklonowy	15 (0,6)	2 (0,08)	1 (0,04)	10 (0,4)			14(0,56)	
Skruber ciśnieniowy (impact scrubber) + odpylacz cyklonowy	9 – 64 (0,6 – 3,2)	0,4 – 14 (0,03 – 0,8)	0,7 – 6,4 (0,06 – 0,25)	8 – 61 (0,36 – 5,0)			3-28 (0,13-1,7)	
Skruber ciśnieniowy + odpylacz cyklonowy + WESP (³)	19 (1,21)	7,0 (0,46)	3,6 (0,269)	56 (3,6)			20,3 (1,43)	
Skruber ciśnieniowy + odpylacz cyklonowy + komora osadczą	18,1 (0,65)	1,31 (0,0465)	3 (0,1)	48,8 (1,81)		5 236 (194)	23,7 (0,89)	
Filtr z wełny skalnej (⁴)	18,3 (0,8)	18,8 (0,7)	6,5 (0,23)	39,3 (1,41)	48 (²)			
Połączone rozwłóknianie i formowanie								
Odpylacz cyklonowy	14,5 (1,11)	1,88 (0,14)	1,65 (0,13)	19,5 (1,49)			9,3(0,71)	
Skruber ciśnieniowy + odpylacz cyklonowy + PBS (³)	11 (0,35)	0,75 (0,024)	1,4 (0,044)	30,9 (0,97)	2 (0,06)		20,7(0,65)	
Filtr z wełny skalnej (⁴)	7 – 44 (0,15 – 1,2)	0,5 – 14 (0,01 – 0,25)	0,7 – 5,4 (0,017 – 0,14)	6,7 – 64,2 (0,18 – 1,4)	70,4 (2,75)			0,08 (0,0016)
Samo utwardzanie								
Odpylacz cyklonowy	81 (0,33)	1,02 (0,0043)	1,4 (0,018)	125 (0,84)			14,4 (0,08)	
Skruber ciśnieniowy + odpylacz cyklonowy + PBS (³)	1,9 (0,0048)	0,18 (0,0005)	0,03 (0,00007)	44,3 (0,11)			42,7(0,11)	
Spalanie gazów odlotowych (⁴)	3 – 29 (0,01 – 0,16)	0,2 – 30 (0,0004 – 0,1)	0,22 – 7,1 (0,001 – 0,06)	6 – 90 (0,05 – 0,24)	45 – 204 (0,08 – 1,3)	16 000 – 8 000 (35 – 81)		0,07 (0,0002)
Filtr z wełny skalnej (⁴)	11 (0,25)	5,85 (0,019)	5,4 (0,022)	65 (0,28)	34 (0,12)			
Spalanie + filtr z wełny skalnej (²)	13,5 (0,03)	1,2 (0,004)	5 (0,011)	83 (0,26)	225 (0,3)			0,3 (0,001)
Schlądanie								
Odpylacz cyklonowy	12,5 (0,04)							
Filtr z wełny skalnej (⁴)	4 – 50 (0,02 – 0,41)	5,5 (0,047)	3,89 (0,02)	18,3 (0,08)	43,3 (0,12)			

(1) Dane związane z emisją odnoszą się do znacznej liczby pomiarów (min. 9, max. 23). Pojedyncze dane związane z emisją odnoszą się do średniej wartości z ograniczonej liczby pomiarów (min. 1, max. 4).

(2) Dostępne dane są ograniczone.

(3) WESP = mokry filtr elektrostatyczny (Wet Electrostatic Precipitator); PBS = skrubler z wypełnieniem (Packed Bed Scrubber); LZO = lotne związki organiczne (Volatile Organic Compounds).

(4) Techniki te odnoszą się jedynie do produkcji wełny skalnej.

Źródło: [93, EURIMA data tables 80% 2007]

Tabela 4.41: Koszty inwestycyjne i operacyjne technik redukcji emisji dla czynności innych niż topienie

Technika redukcji	Zdolność produkcyjna instalacji (tony/rok)	Koszty inwestycyjne (mln EUR) ⁽¹⁾	Koszty operacyjne (mln EUR rocznie) ⁽¹⁾	Koszty bezpośrednie (EUR/tona) ⁽¹⁾
Formowanie + utwardzanie				
Skruber ciśnieniowy + odpylacz cyklonowy	50	1,1	0,15	16,5
Skruber ciśnieniowy + odpylacz cyklonowy + WESP	150	4,4	0,6	23,5
Skruber ciśnieniowy + odpylacz cyklonowy + mokrą płuczka	100 – 150	2,3	0,5 (100 t/d) 0,62 (150 t/d)	18,5 (150 t/d) 20,5 (100 t/d)
Filtry z wełny skalnej	150 – 350	0,9 (200 t/d)	0,86 (200 t/d)	16 (200 t/d)
Formowanie + utwardzanie + chłodzenie				
Skruber ciśnieniowy + odpylacz cyklonowy + mokra płuczka + WESP	250	7,6	0,95	21
Oczyszczanie na mokro + na sucho + WESP ⁽²⁾	250	13,7	0,73	28,5
Formowanie + chłodzenie				
Filtry z wełny skalnej	150	1,3 – 4,3	0,4 – 0,55	17 – 18,5
Samo formowanie				
Skruber ciśnieniowy + odpylacz cyklonowy	25	0,8	0,16	29
Skrubery z przepływem poprzecznym	100	3,1	0,15	15,5
Filtry z wełny skalnej	150 – 350	1,0 (150 t/d) 8,4 (350 t/d)	0,55 – 0,6	8,5 – 17
Samo utwardzanie				
Filtr z wełny skalnej + dopalacz	150 – 200	0,8 – 1,3	0,2 (recykling) 0,4 (usunięcie)	5,5 (recykling) 14,5 (usunięcie)
Utwardzanie + schładzanie				
Spalanie gazów odlotowych (dopalacz)	150 – 350	0,6 – 1,3 (150 – 250 t/d) 3,5 (350 t/d)	0,3 – 0,6	5,5 – 14
(1) Koszty inwestycyjne obejmują roczną amortyzację inwestycji, koszty odsetek, przygotowanie lokalizacji, oczyszczanie spalin, oczyszczanie/usuwanie odpadów itp.				
(2) Koszty operacyjne i bezpośrednie obejmują konserwację, energię, czynniki chemiczne, pozwolenia na emisję CO ₂ , usuwanie odpadów, zużycie wody itp.				
(3) W przypadku oczyszczania na mokro i na sucho + mokrego filtra elektrostatycznego: koszty inwestycyjne obejmują zakład recyklingu wody płuczkowej, natomiast koszty bezpośrednie nie obejmują powiązanych kosztów zakładu recyklingu wody płuczkowej.				
Źródło: [115, EURIMA-ENTEC Costs evaluation 2008]				

4.5.7 Wysokotemperaturowe wełny izolacyjne

Podstawowym problemem, z punktu widzenia środowiska, związanym z sektorem produkcji wysokotemperaturowej wełny izolacyjnej (HTIW) jest uwalnianie do atmosfery cząstek stałych, które mogą zawierać włóknisty pył z samej wysokotemperaturowej wełny izolacyjnej. Ponadto niektóre operacje technik wtórnych mogą powodować emisje lotnych związków organicznych, szczególnie podczas operacji suszenia i utwardzania.

Emisje pyłów i włókien mogą powstawać w wielu obszarach podczas procesu produkcji, m.in.: rozwłókniania i odbioru, igłowania, wypalenia smaru, krojenia, przycinania, cięcia, pakowania oraz obszarów wtórnego przetwarzania. Opcje redukcji emisji z czynności następujących po topieniu są zwykle związane z filtracją pyłów za pomocą specjalnych filtrów umieszczonych niedaleko źródła powstawania spalin.

Podczas produkcji włókien dodawany jest smar w celu ograniczenia tarcia pomiędzy poszczególnymi włóknami i umożliwienia procesu igłowania. Po rozwłóknieniu poszczególne włókna przyciągane są na przepuszczającą powietrze taśmę siatkową zrobioną ze spleczonego drutu w komorze zbiorczej.

Zapylone gazy przenoszone są pneumatycznie wzdłuż rury na filtr tkaninowy (suchy separator), gdzie usuwany jest pył. Filtry tkaninowe są co jakiś czas czyszczone pneumatycznie. Usunięte włókna i pył włóknisty są pakowane w zamykane torby polietylenowe i wykorzystywane częściowo jako surowiec do wytwarzania produktów formowanych próżniowo lub w alternatywnym procesie recyklingu materiałów.

Na skutek procesu zmękczenia ograniczane są emisje pyłu w czasie igłowania sieci/maty. Pył generowany przez maszynę igłującą odciągany jest bezpośrednio przy maszynach. Odciągnięte powietrze oczyszczane jest w separatorach filtracyjnych. W celu usunięcia organicznego czynnika zmękczonego uformowana warstwa jest oczyszczana termicznie przed dalszym przetwarzaniem. Odpady i skrawki wyprodukowane w czasie przycinania oraz wszelki pył są odsysane, wprowadzane do filtra tkaninowego w układzie zamkniętym i pakowane jako produkt w torby polietylenowe. Przed zapakowaniem uformowanej warstwy w celu jej schłodzenia przechodzi ona przez strefę chłodzenia, w której przepuszczane jest przez nią powietrze o temperaturze pokojowej. Wszelki pył powstały w wyniku tego procesu zbierany jest w separatorach filtracyjnych. Materiał usunięty we wszystkich systemach wykorzystywany jest jako surowiec do płyt lub części formowanych próżniowo.

Wszystkie obszary, gdzie mogą być generowane emisje pyłów lub włókien, mogą być zaopatrzone w skuteczny system ekstrakcji, który wentyluje je do systemu filtrów tkaninowych. Dobra konstrukcja i efektywnie eksploatowany system filtra podstawowego jest w stanie osiągnąć poziomy emisji w zakresie $1 - 5 \text{ mg/Nm}^3$ ($<1 \text{ mg/Nm}^3$ dla włókien).

Tam, gdzie proces oparty jest na filtrach podstawowych, ochronę zapewni urządzenie awaryjne. Wiele zakładów wyposażonych jest w alarmowe monitory spadku ciśnienia, jednakże nie można polegać tylko i wyłącznie na nich.

Systemy filtra z zainstalowanym wentylatorem ekstrakcyjnym po czystej stronie filtra tkaninowego (systemy podciśnienia) są zwykle preferowanym rozwiązaniem. Systemy nadciśnienia, z wentylatorem po stronie zanieczyszczonej, mogą być niebezpieczne, ponieważ wszelkie nieszczelności za wentylatorem będą powodować ulatnianie się materiału.

Cykle oczyszczania filtrów tkaninowych można zoptymalizować, aby zapewnić maksymalną sprawność filtracji. W niektórych zastosowaniach, szczególnie tych wiążących się z emisją włókien, mechanizmy wibracyjne mogą być bardziej skuteczne niż systemy odwrotnych dysz spiętrzających. Ze względu na właściwości osadzonego materiału ważne jest, aby jego transport i usuwanie były przeprowadzane w sposób, który uniemożliwia jego przedostawanie się do atmosfery lub wody. W niektórych przypadkach możliwy jest recykling osadzonego materiału do pieca.

Emisje organiczne mogą powstawać podczas opalania smaru, z operacji utwardzania lub suszenia, lub też podczas wtórnej obróbki. Doświadczenie operacyjne wykazuje, że te emisje są zwykle bardzo małe. Jednakże jeżeli osiągają one znaczne rozmiary (np. $>100 \text{ g/godz.}$), można je kontrolować za pomocą podstawowych technik doboru składu, bądź też standardowych technik redukcji, np. spalania lub absorpcji.

4.5.8 Fryty

Produkcja fryt nie powoduje istotnych emisji do powietrza z czynności następujących po procesie topienia. Szlifowanie i mielenie produktu jest zwykle przeprowadzane na mokro, jednakże techniki kontroli pyłów mogą okazać się niezbędne w przypadku suchego mielenia oraz, w niektórych przypadkach, w obszarach suchego pakowania produktu. Prawdopodobnie najbardziej efektywną techniką jest ekstrakcja poprzedzająca system filtra workowego.

4.6 Techniki kontroli emisji do wody

Zasadniczo emisje zanieczyszczeń do wody są stosunkowo nieduże i niewiele problemów można powiązać bezpośrednio z przemysłem szklarskim. Niniejszy dokument nie obejmuje tych ogólnych problemów zanieczyszczenia wody, które są powszechne dla wielu procesów przemysłowych i które są omawiane szczegółowo w literaturze technicznej. Niniejszy podrozdział podsumowuje krótko te ogólne zagadnienia, rozszerzając odpowiednio informacje w odniesieniu do tych elementów, które są specyficzne dla przemysłu szklarskiego. Na ogół woda jest wykorzystywana głównie do czyszczenia i chłodzenia i może być łatwo wprowadzona do obiegu (recykulacji) lub oczyszczana przy wykorzystaniu standardowych technik. Do głównych potencjalnych źródeł zanieczyszczenia wody należą:

- drenaż wód powierzchniowych;
- wypływy lub wycieki ze składowisk surowców;
- drenaż wód z obszarów skażonych przez substancje ciekłe lub stałe;
- woda używana do czyszczenia produktu;
- woda stosowana do chłodzenia i wyciek wody używanej do chłodzenia z systemów w obiegu zamkniętym;
- ścieki z mokrych płuczek.

Poza ściekami komunalnymi, ścieki zawierają głównie cząstki stałe szkła, nieznaczne zanieczyszczenia olejami, pewne zanieczyszczenia rozpuszczalnymi materiałami wykorzystywanymi przy produkcji szkła (np. siarczanem sodu) oraz chemikaliami używanymi w czyszczeniu systemu chłodzenia wodą. W przypadku wykorzystania jakichkolwiek potencjalnie niebezpiecznych materiałów mogą zostać podjęte kroki w celu zabezpieczenia ich przed przedostaniem się do obiegu wody. Gdy tylko jest to wykonalne, stosowane mogą być zamknięte systemy chłodzenia, a wypływ minimalizowany. Standardowe techniki kontroli zanieczyszczeń mogą zostać zastosowane do dalszej redukcji emisji, jeśli jest to konieczne, przykładowo: osadzanie, ekranowanie, separatory oleju, neutralizacja oraz usuwanie do miejskich systemów odprowadzania ścieków.

Do kontroli emisji ze składowisk substancji ciekłych oraz pośrednich mogą być stosowane standardowe dobre praktyki, takie jak:

- zaopatrzenie w zbiorniki o odpowiednich wymiarach (obwałowanie);
- inspekcja/testowanie silosów i zbiorników w celu zapewnienia integralności;
- zabezpieczenie przed przepełnieniem (zawory odcinające dopływ, alarmy itp.);
- odpowiednie usytuowanie wentylatorów i punktów napełniania wewnątrz zbiorników lub innych pojemników.

Na ogół monitorowanie emisji do wody przeprowadza się na próbach złożonych pobranych w okresie dwóch godzin lub jednego dnia (w niektórych państwach członkowskich punktem odniesienia jest średnia dzienna z czterech lub pięciu prób). Powszechne są stałe pomiary pH i temperatury.

Za charakterystyczne dla przemysłu szklarskiego uważa się następujące obszary:

- systemy wody technologicznej przy produkcji wełny mineralnej;
- ścieki z produkcji włókien szklanych ciągłych;
- szkło specjalne (szkło telewizyjne);
- szkło gospodarcze (szkło ołowiowe, szkło kryształowe);

- chłodzenie fryt (obieg mielenia i hartowanie).

Wetna mineralna

Procesy związane z wetną mineralną w normalnych warunkach zużywają wodę bezpowrotnie, przy znacznych ilościach odparowanej wody emitowanej do powietrza w trakcie operacji formowania i w mniejszym stopniu procesów utwardzania. Poza wspomnianymi powyżej ogólnymi aspektami, nie występują tu dodatkowo specyficzne ścieki. Większość operacji objęta jest zamkniętym systemem wody technologicznej (zob. rysunek 2.11), a tam, gdzie to praktycznie wykonalne, spływająca woda chłodząca oraz woda stosowana do oczyszczania wprowadzana jest do tego systemu. Woda używana w procesie do czyszczenia i wypływy substancji wiążącej są zwykle zwracane do obiegu wody technologicznej.

System wody technologicznej ma ograniczoną objętość, ale może być zaprojektowany tak, aby zawierał zbiornik zapasowy zatrzymujący nadmiar substancji, który może być później wprowadzony z powrotem do systemu. Większość materiałów użytych w procesie jest kompatybilna ze składem chemicznym wody wykorzystywanej w tym procesie. Niewielkie ilości zanieczyszczonych ścieków mogą powstać ze związków chemicznych, wycieków oraz pochłaniaczy olejowych. Kiedy tego typu materiały nie odpowiadają systemowi wody technologicznej, mogą one zostać skierowane do zbiornika zapasowego. W związku z tym, że ilości tych materiałów są bardzo małe, są one zwykle odprowadzane poprzez system ścieków komunalnych lub usuwane na wysypisko poza zakładem. W tabeli 4.42 przedstawione zostały techniki, które mogą być stosowane, jednakże ze względu na małe ilości substancji jest mało prawdopodobne, aby były one opłacalne.

Duża objętość systemu wody technologicznej stanowi potencjalne zagrożenie zanieczyszczenia obiegów czystej wody, takich jak wody powierzchniowe i woda z termicznego rozdrabniania stłuczki. Systemy mogą zostać zaprojektowane i wykorzystywane tak, aby zminimalizować to ryzyko. Na przykład, systemy czystej wody powinny być uszczelnione, gdy przechodzą przez obszary, gdzie może wystąpić zanieczyszczenie.

Oczyszczanie biologiczne to technika, która może zostać wykorzystana w sektorze produkcji wetny mineralnej do usuwania związków organicznych pochodzących z zastosowania substancji wiążącej. Oczyszczanie biologiczne wykorzystujące bakterie i płuczki wieżowe ogranicza ilość zanieczyszczeń organicznych w wodzie technologicznej. (zob. tabela 4.36 w pkt. 4.5.6.1.3).

Włókna szklane ciągłe

Emisje powstają w obszarze formowania, przygotowania lepiszcza, czyszczenia, chłodzenia, stosowania spoiwa do tkanin/mat z włókien oraz w systemie mokrej płuczki. Głównym źródłem emisji jest obszar formowania. Z powodu znacznej szybkości mieszadeł i ruchu włókien podczas procesu formowania część używanego lepiszcza zostaje wyrzucona na zewnątrz i wyłączona z procesu. Głównymi substancjami zanieczyszczającymi ścieki są same materiały spoiwa. Ostrożny transport, zwłaszcza w obszarze przygotowania lepiszcza, może zasadniczo zmniejszyć poziomy emisji z całego procesu produkcji.

Rodzaje substancji zanieczyszczających i ich stężenia będą różniły się znacznie w zależności od zmian zachodzących w systemach spoiw oraz w praktyce działania. Stężenie zanieczyszczeń w ściekach jest czasami bardzo niskie dzięki ich rozcieńczeniu przez przepływającą wodę, ale zawierają one zazwyczaj duże ilości zanieczyszczeń organicznych z materiałów lepiszcza. Ścieki będą zasadniczo wymagały oczyszczenia bądź w systemie oczyszczalni ścieków komunalnych, bądź też poprzez oczyszczenie na terenie zakładu przez zastosowanie technik wymienionych w tabeli 4.42. Jeżeli ścieki mają zostać odprowadzone bezpośrednio do cieków wodnych, najbardziej efektywną metodą ich oczyszczania na terenie zakładu będzie najprawdopodobniej oczyszczanie biologiczne. Wymagane jest jednak ostrożne projektowanie i eksploatacja systemu oczyszczania, ponieważ efektywność oczyszczalni biologicznych jest czasami obniżana w związku z niskimi stężeniami i wysokim udziałem różnego rodzaju polimerów.

Szkło specjalne

Sektor szkła specjalnego jest bardzo różnorodny i nie jest możliwe zidentyfikowanie wszystkich potencjalnych emisji do wody, jak również najważniejszych dla nich technik redukcji. Większość działań w tym sektorze obejmuje jedynie ogólne problemy ścieków wodnych, które zostały opisane powyżej. Jednakże, wytwarzanie niektórych produktów, szczególnie szkła telewizyjnego, wymaga zastosowania operacji szlifowania i polerowania na mokro. Operacje te powodują powstawanie strumienia wody zawierającego resztki materiałów używanych przy szlifowaniu i polerowaniu (np. tlenek ceru, węgiel krzemu) oraz drobnitkie szkło mogące zawierać ołów. Ten strumień odpadów może być oczyszczany z zastosowaniem połączenia standardowych technik usuwania substancji stałych zestawionych w tabeli 4.32. Ołów zawarty w szkłe jest zasadniczo nierozpuszczalny, a całkowita zawartość ołowiu zależy od zawartości substancji stałych.

Szkło gospodarcze

Na ogół sektor szkła gospodarczego wykazuje bardzo niski poziom emisji do wody. Podobnie jak w innych sektorach tego przemysłu, największe zużycie wody związane jest z chłodzeniem i czyszczeniem, stąd emisje do wody będą zawierały zanieczyszczenia z systemu wody chłodzącej, czyszczącej oraz spływające wody powierzchniowe. Pewne czynności, w szczególności związane z produkcją szkła ołowiowego i szkła kryształowego, wykazują jednak bardziej specyficzne emisje.

- Woda używana przy skrawaniu zawiera dodatki szlifierskie oraz pewną ilość drobnych cząstek szkła. Ścieki takie mogą być utylizowane przy użyciu standardowych technik oddzielania substancji stałych. Woda ta może być powtórnie użyta w procesach skrawania w celu zmniejszenia wielkości emisji, chociaż niewielkie jej ilości muszą zostać wydalone z obiegu. Ołów zawarty w szkłe jest zasadniczo nierozpuszczalny.
- W przypadku polerowania kwasem, po zanurzeniu w kwasie szkło otrzymuje powłokę z siarczanu ołowiu na powierzchni. Jest ona zmywana za pomocą gorącej wody, która nabiera odczynu kwasowego i zawiera rozpuszczalne siarczany ołowiu. Takie ścieki mogą być oczyszczone za pomocą połączenia technik chemicznych i fizycznych. Siarczan ołowiu może być poddany reakcji w celu kondensacji ołowiu (np. z węglanem wapnia dając węglan ołowiu), który następnie może zostać usunięty, zazwyczaj poprzez koagulację i flokulację, po których następuje fizyczne oddzielenie. Przy użyciu tych technik powinno być możliwe zmniejszenie poziomu ołowiu do <0,5 mg/l.
- Kwaśne odpady z mokrych płuczek będą wymagały neutralizacji przed wypuszczeniem. Kwas heksafluorokrzemowy może również zostać odzyskany oraz sprzedany jako surowiec chemiczny. Dodanie węglanu wapnia do wód o odczynie kwasowym może być stosowane do usunięcia fluorków z roztworu kwasu fluorowodorowego wykorzystywanego do polerowania (zob. pkt. 3.6.2.3).

W tabeli 4.42 zaprezentowana została lista możliwych technik do oczyszczania ścieków.

Tabela 4.42: Lista potencjalnych technik oczyszczania ścieków w przemyśle szklarskim

Przetwarzanie fizyczne/chemiczne	<ul style="list-style-type: none">• neutralizacja• napowietrzanie• strącanie• koagulacja i flokulacja
<ul style="list-style-type: none">• ekranowanie• zbieranie zanieczyszczeń• osadzanie• odwirowywanie• filtrowanie	
Oczyszczanie biologiczne	<ul style="list-style-type: none">• osad czynny• biofiltracja

Fryty

Emisje do wody zawierają zwykle emisje z procesu schładzania, czyszczenia oraz spływające emisje z powierzchni. Obiegi hartowania i mielenia są zwykle zamknięte ze świeżą wodą u góry, jednak czasami są wyposażone w system oczyszczania w celu uniknięcia nawarstwiania się soli. Poziomy emisji są bardzo niskie, jednak mogą zawierać zawiesinę z elementami, które mogą uczynić oczyszczanie na miejscu koniecznym w celu ponownego wykorzystania tej wody do innych procesów operacyjnych. Elementy te są zwykle związane w zawieszynie i mogą być usunięte z zastosowaniem technik oddzielania ciał stałych. W przypadku boru, jego zawartość w oczyszczonej wodzie może być wyższa od standardowych wartości w innych sektorach szkła, co wymaga innych rozwiązań w zakresie przetwarzania. [98, ANFFECC Position of the Frit Sector 2005].

4.7 Techniki minimalizacji ilości pozostałych odpadów

Charakterystyczną cechą przemysłu szklarskiego jest fakt, że większość czynności generuje stosunkowo niewielkie ilości odpadów stałych. Większość procesów nie jest związana z żadnymi istotnymi strumieniami produktów ubocznych. Pozostałości z procesów zawierają nieużyte surowce lub odpady szklane, które nie zostały przetworzone na produkty. Poniżej omówione zostały główne odpady z procesów produkcyjnych oraz techniki stosowane do ich redukcji.

Materiały odpadowe z zestawów

Materiały odpadowe z zestawów powstają w czasie transportu i składowania materiałów, a kiedy pozwalają na to wymagania jakościowe, mogą być one natychmiast poddane recyklingowi. W niektórych przypadkach materiały mogą nie być wystarczająco czyste, by móc podlegać recyklingowi, jednak ilość tego typu materiałów może być minimalizowana dzięki technikom opisanym w punkcie 4.3.

Pyły osadzone ze strumieni gazów odlotowych

W większości przypadków pył osadzony ze strumieni gazów odlotowych może być wprowadzony ponownie do procesu (recykling). Pył z filtrów poddany recyklingowi stosowany jest jako substytut surowców naturalnych zawierających siarkę w produkcji szkła wykorzystującej siarczany jako środki klarujące. Jeżeli stosowane są absorbenty kwaśnych gazów, zwykle można dobrać je tak, żeby były kompatybilne z surowcami i możliwy był recykling, chociaż wtedy konieczne może się okazać dopasowanie składu zestawu. Kwestia ta została omówiona szerzej w pkt. 4.4.1.

Wykorzystanie pyłu w składzie zestawu może stanowić źródło długoterminowych problemów w związku z rozkurzem i potencjalną korozją materiałów ogniotrwałych oraz problemów krótkoterminowych związanych z gromadzeniem się siarki i par NaCl w spalinach.

W piecach regeneracyjnych znaczna ilość pyłów osadza się w regeneracjach w trakcie działania pieca. W trakcie przebudowy/naprawy materiał ten jest wydobywany i składowany w wyznaczonym miejscu. Na ogół nie praktykuje się recyklingu tego materiału.

Szkło nieprzetworzone na produkt

Strumień tych odpadów powstaje głównie w wyniku zaburzeń w procesie formowania, czy to z powodu wadliwego działania czy też zmian w obrębie samego produktu. Najbardziej powszechnie stosowaną i efektywną techniką jest chłodzenie i rozdrabnianie stopu w wodzie, a następnie wykorzystywanie otrzymanej w ten sposób stłuczki bezpośrednio jako surowca. Istnieje jednak wiele przykładów, kiedy ta metoda nie jest stosowana lub jej zastosowanie nie jest możliwe. Na ogół możliwe jest przetopienie całego odrzuconego szkła opakowaniowego. Głównym wyjątkiem jest przypadek, kiedy szkło zostało skażone, na przykład przez nieczystości ceramiczne ze stłuczki z obcych źródeł.

W procesie produkcji szkła float przerwy w produkcji pojawiają się zazwyczaj po formowaniu w wannie, a zatem odpadem jest głównie szkło w postaci stałej, które może być również rozdrobnione i przetworzone jako stłuczka. Podobnie w przypadku produkcji włókien szklanych ciągłych, zaburzenia zwykle pojawiają się po uformowaniu włókien, a materiałem odpadowym są włókna. Innym źródłem tego typu odpadów jest szkło odpadowe, które powstaje podczas usuwania ze strumienia

przepływającej masy szklanej niestopionych, gęstych cząstek. Jeżeli nie zostaną usunięte, cząstki te mogą wywołać problemy w trakcie rozwłókniania, które spowodują kosztowne zniszczenia i zwiększoną ilość odpadów. Wewnątrzzakładowy recykling tego materiału nie jest zwykle pożądanym, ponieważ wiąże się z powtórным wprowadzeniem do pieca oddzielonych już zanieczyszczeń, które mogą dostać się z powrotem do łódek. Prowadziłoby to do stopniowego nawarstwiania trudno topliwych materiałów i potencjalnie większej ilości odpadów ze względu na problemy podczas rozwłókniania. W niektórych przypadkach możliwe jest wykorzystanie tego materiału w ramach recyklingu w innych sektorach przemysłu szklarskiego.

W przypadku produkcji HTIW bodźce finansowe do przetwarzania stopu tych odpadów są bardzo słabe, jednak w praktyce recykling jest coraz bardziej powszechny, gdyż rosną koszty surowców i składowania odpadów.

Przy produkcji wełny skalnej nie jest możliwy recykling drobnych materiałów w piecach szybowych, ponieważ spowoduje to przerwę w dopływie powietrza do materiałów zestawu. Problem ten może zostać wyeliminowany poprzez brykietowanie materiałów odpadowych tak, aby uformować części o rozmiarach porównywalnych do standardowych surowców. Powyższa technika jest obecnie szeroko stosowana i może być uznana za sprawdzoną zarówno pod względem ekonomicznym, jak i technicznym, chociaż warunki ekonomiczne będą zmieniały się zależnie od skali produkcji. Koraliki wełny skalnej (nierozwłóknione cząsteczki) również mogą być powtórnie przetwarzane w ten sam sposób (zob. pkt. 3.8.4).

Produkty odpadowe

Kategoria to obejmuje materiały niewyszczególnione, pochodzące z obcinania obrzeży, produkty odpadowe ze zmiany asortymentu, stłuczki i próbki jakościowe. Gdy tylko jest to możliwe, powinno się stosować techniki zmniejszania ilości tego typu odpadów, raczej niż recykling; na przykład można zredukować obcinane obrzeża do minimalnej szerokości. Takie metody przynoszą zazwyczaj również korzyści ekonomiczne.

„Twarde” odpady, jak na przykład obcięte krawędzie szkła i wybrakowane egzemplarze szkła opakowaniowego, są łatwo poddawane recyklingowi stłuczki po ich rozkruszeniu. W niektórych instalacjach recykling może być niemożliwy z powodu różnic w składzie produktu lub po prostu ponieważ nie jest on uważany za opłacalny. Teoretycznie wszystkie „twarde” odpady szklane mogą być powtórnie przetwarzane w ten sposób z wyjątkiem bardzo zanieczyszczonego szkła lub wybrakowanych egzemplarzy z dużymi wadami (w postaci kamieni, nici), które muszą zostać usunięte.

W sektorze wełny mineralnej takie odpady produktowe są rozwłóknione i w związku z tym nie mogą trafić bezpośrednio do powtórnego przetwarzania w piecu. Rozwiązaniem tego problemu jest kruszenie lub mielenie materiału, a następnie jego recykling w postaci pyłu, który zasypuje się do pieca wannowego, lub proces brykietowania dla zastosowania w piecach szybowych do produkcji wełny skalnej. Chociaż technika ta wydaje się być prosta, jest ona dość droga i dopiero w ostatnim czasie staje się ona ekonomicznie opłacalna z uwagi na rosnące koszty usuwania odpadów. W czasie sporządzania niniejszego dokumentu (2010 r.) technika ta nie jest powszechnie stosowana. Kolejnym problemem w produkcji wełny szklanej jest zawartość związków organicznych w materiale, który musi być poddawany utlenianiu w piecu. Wymaga to na ogół zwiększonego użycia azotanów, które ulegają rozkładowi, uwalniając NO_x i czasami MnO_2 , który również jest wykorzystywany jako utleniacz. Gdy tylko jest to możliwe, odpady włókien są przetwarzane i sprzedawane jako wełna granulowana. Odpady z obciętych obrzeży są zazwyczaj rozdrabiane i poddawane bezpośrednio recyklingowi. Ilości odpadów, które mogą być poddane w ten sposób recyklingowi, są ograniczone (wyłącznie obcięte obrzeża), nie można również stosować tej techniki do produktów o wysokich wymaganiach jakościowych co do ich wytrzymałości.

Te same problemy, jak w przypadku wełny mineralnej, odnoszą się do odpadów w postaci włókien z sektora produkcji HTIW. W sektorze poddawanych jest recyklingowi coraz więcej odpadów włóknistych i wciąż trwają prace nad tym zagadnieniem.

Produkcja włókien szklanych ciągłych podlega bardzo wysokim wymaganiom jakościowym i w czasie sporządzania tego dokumentu (2010 r.) nie ma znanych przykładów odpadów z włókien będących na dużą skalę poddawanych recyklingowi w piecach. Problemem są na ogół związki organiczne występujące w włóknach oraz transport materiałów włóknistych.

Odpady stałe z systemu ścieków

Na ogół odpady oddzielone z systemu wody technologicznej nie są poddawane recyklingowi, ale składowane na wysypiskach. W niektórych sektorach, szczególnie w sektorze szkła gospodarczego (szlam polerski ze szkła ołowiowego), pojawiają się coraz to nowe pomysły, aby odzyskiwać i zagospodarować te strumienie odpadów. W większości sektorów odzyskiwanie odpadów nie jest opłacalne finansowo ze względu na ich małe ilości lub ich nieprzewidywalny/skażony skład.

W sektorze szkła opakowaniowego odpady z systemów wody chłodzącej są często poddawane recyklingowi wewnątrz zakładu (niewielkie drobiny szkła zmieszane z olejem).

Wstępne oczyszczanie odpadów pokonsumpcyjnych (np. ze skupów butelek) nie jest tutaj omawiane, ponieważ nie należą one do strumienia odpadów z procesu produkcyjnego, a zatem są poza zasięgiem uwagi w rozumieniu dyrektywy IPPC. Recykling słuczki ma jednak istotny wpływ na przebieg procesu, co zostało uwzględnione w punktach 4.4 i 4.8. Ponadto, oprócz ograniczania zużycia energii wymaganej do procesu topienia, praktyka ta redukuje zużycie surowców naturalnych, co ma istotne znaczenie w sensie pozytywnym z punktu widzenia dyrektywy IPPC.

4.8 Energia

Produkcja szkła jest procesem bardzo energochłonnym, a dobór źródła energii, techniki grzewczej oraz metody odzyskiwania ciepła są zasadniczą kwestią zarówno z punktu widzenia projektowania pieca, jak również ekonomicznej efektywności procesu. Te same wybory są jednymi z najistotniejszych czynników wpływających na efektywność środowiskową i energetyczną procesu topienia. Zasadniczo, energia potrzebna do topienia szkła może stanowić ponad 75% całkowitego zapotrzebowania na energię w przetwórstwie szkła, przy czym jej średni udział w całości wymaganej energii we wszystkich sektorach przemysłu szklarskiego wynosi ok. 65%. Podane udziały procentowe dotyczą całości zużywanej energii, a nie tylko energii pierwotnej (zob. 3.2.3).

Zwykle wartości osiągnięte dzięki zastosowaniu dostępnych technik/środków minimalizujących bezpośrednie zużycie energii zostały podane w tabeli 4.43, w której dane dotyczących poszczególnych sektorów produkcji szkła pochodzą z łącznych danych statystycznych zaczerpniętych z rozdz. 3 (np. w przypadku szkła opakowaniowego wykorzystane zostało dolne 50% łącznych danych) oraz z przykładowych wartości z instalacji.

Tabela 4.43: Typowe wartości bezpośredniego zużycia energii osiągnięte poprzez zastosowanie dostępnych technik/środków minimalizujących zużycie energii

Sektor	Rodzaj pieca/zdolność produkcyjna	GJ/tonę wytopionego szkła ⁽¹⁾	GJ/tonę gotowego produktu ⁽²⁾
Szkło opakowaniowe			
<i>Butelki i słoiki</i>	<100 t/d	5,5 – 7	<7,7
	>100 t/d	3,3 – 4,6	
	Piece elektryczne	2,9 – 3,6	
<i>Opakowania typu flaconage (małe opakowania wysokiej jakości)</i>	<100 t/d	7 – 9	<16
	>100 t/d	4,8 – 6	
Szkło płaskie			
	Wszystkie zdolności produkcyjne	5 – 7	<8
Włókna szklane ciągłe			
	Wszystkie zdolności produkcyjne	7 – 14	<20
Szkło gospodarcze			
	Piece konwencjonalne		<24 dla zdolności produkcyjnych <100 t/d ⁽³⁾
	<100 t/d ⁽³⁾	6,7 – 9,5	
	>100 t/d	5 – 6	<18 dla zdolności produkcyjnych >100 t/d
	Piece elektryczne ⁽⁴⁾	3,4 – 4,3	
Szkło specjalne			
<i>Wszystkie produkty</i>	Piece elektryczne ⁽⁴⁾	3,9 – 4,5	<20
<i>Szkło sodowo-wapniowe</i>	Piece konwencjonalne	5 – 10	
<i>Szkło borokrzemianowe</i>		10 – 15	
Wetna mineralna			
<i>Wetna szklana</i>	Wszystkie zdolności produkcyjne	2,7 – 5,5	<14
<i>Wetna skalna</i>	Wszystkie zdolności produkcyjne	4,2 – 10	<12
Wysokotemperaturowa wetna izolacyjna			
	Wszystkie zdolności produkcyjne	6,5 – 16,5	<20
Fryty			
	Piece tlenowo-paliwowe	≤9	
	Piece opalane mieszanką powietrzno-paliwową oraz wzbogaconą mieszanką powietrzno-paliwową	≤13	
(1) Dane odnoszą się do zużycia energii w piecu.			
(2) Dane odnoszą się do całości energii zużytej w instalacji.			
(3) Wartości nie obejmują instalacji wyposażonych w piece donicowe ani wanny wyrobowe, których zużycie energii w procesie topienia może mieścić się w zakresie 10 – 30 GJ/tonę stopionego szkła.			
(4) Dane odnoszą się do energii zużywanej na miejscu, a nie do energii pierwotnej.			

W tabeli 4.43 zaprezentowane zostały orientacyjne dane dla konkretnych sektorów; mogą one jednak nie obejmować całego zakresu warunków eksploatacji pieca szklarskiego oraz wszystkich czynności następujących po topieniu związanych z konkretnym wyrobem. Udział stłuczki w zestawie szklarskim, wymagania jakościowe względem stopu szkła oraz stosunek wkładu do stopu mogą się znacznie różnić w każdym sektorze, co nie pozostaje bez wpływu na bezpośrednie zużycie energii. Uwzględnienie jedynie energii pierwotnej w prezentowanych danych (np. dla topienia elektrycznego,

elektrycznego wspomaganie, zasilania mieszkanką tlenowo-paliwową) może mieć również wpływ na poziom bezpośredniego zużycia energii.

Koszt energii procesów topienia jest jedną z najwyższych pozycji w kosztach operacyjnych instalacji przemysłu szklarskiego. Jest to zatem silny bodziec dla producentów do redukcji zużycia energii. Tradycyjnym motywem wdrażania energooszczędnych technik były oszczędności ekonomiczne, jednakże ostatnio wzrosło znaczenie środowiskowych konsekwencji zużycia energii. W przypadku pieców opalanych paliwami kopalnymi, zużycie energii wpływa również na wskaźnik pośrednich i bezpośrednich emisji tych substancji na tonę szkła, który jest bezpośrednio związany z ilością spalonego paliwa, szczególnie CO₂, SO₂ i NO_x, ale również pyłów. Te kwestie omawiane są w niniejszym rozdziale, w częściach odnoszących się do poszczególnych substancji.

Zużycie energii oraz podstawowe czynniki wpływające na efektywność energetyczną zostały omówione w rozdziale 3, w którym dane związane ze zużyciem energii zostały zaprezentowane oddzielnie dla każdego sektora przemysłu szklarskiego. W rozdziale tym rozważone zostały techniki umożliwiające wzrost sprawności pieca.

4.8.1 Techniki topienia a konstrukcja pieca [19, CPIV 1998] [6, EEO 1995] [15, ETSU 1992]

Wybór techniki topienia może mieć ogromny wpływ na efektywność energetyczną. Wybór ten jest w znacznym stopniu zdeterminowany szeregiem uwarunkowań ekonomicznych. Głównym czynnikiem jest pożądana wydajność produkcji oraz związane z tym koszty inwestycyjne i operacyjne podczas całego okresu eksploatacji pieca. Ważnym elementem kosztów operacyjnych są koszty zużycia energii, w związku z czym producenci będą na ogół wybierać możliwie najbardziej energooszczędne projekty.

W konwencjonalnych piecach opalanych paliwem kopalnym podstawową różnicą konstrukcyjną jest to, czy system odzysku ciepła oparty jest na regeneratorach, czy na rekuperatorze. Różnice w konstrukcji oraz w eksploatacji omówione zostały w rozdziale 2. Jednym z podstawowych czynników wpływających na wybór jest wielkość pieca, która omówiona została szerzej w punkcie 4.2.

Piece regeneracyjne osiągają wyższą temperaturę podgrzewania dla spalanych gazów, nawet do 1300 – 1400°C w porównaniu z maksymalnie 750 – 800°C w przypadku pieców rekuperacyjnych, co w rezultacie daje większą efektywność topienia. Większe, na ogół, rozmiary pieców regeneracyjnych przyczyniają się również do wyższej sprawności energetycznej niż sprawność mniejszych pieców rekuperacyjnych. Dzieje się tak dlatego, że straty strukturalne są odwrotnie proporcjonalne do wielkości pieca, czego głównym powodem jest zmiana stosunku powierzchni do objętości. Nowoczesny piec regeneracyjny do produkcji szkła opakowaniowego będzie miał całkowitą sprawność termiczną około 50%, przy stratach gazów odlotowych wynoszących ok. 25-35% (ok. 14 – 20%, kiedy stosowane jest wstępne podgrzewanie zestawu i słuczki) oraz stratach strukturalnych stanowiących znaczną większość pozostałych. Sprawność termiczna pieca rekuperacyjnego bez dodatkowego odzysku ciepła będzie wynosiła bliżej 20 – 30%.

Piece regeneracyjne mogą być U-płomiennie lub poprzeczno-płomiennie. Termiczna efektywność pieców U-płomiennych jest teoretycznie wyższa (do 10%), jednak kontrola temperatury jest bardziej ograniczona i występuje górny limit rozmiarów pieca (aktualnie około 150m² dla szkła opakowaniowego). Ogólnie rzecz biorąc, sposób działania pieca odgrywa znacznie ważniejszą rolę w efektywności energetycznej niż jego rodzaj (piec U-płomienny lub poprzeczno-płomienny). Piece do produkcji szkła typu float, zastawy stołowej i flakonów (perfum i luksusowych kosmetyków) są mniej efektywne niż piece do produkcji szkła opakowaniowego, ponieważ określona wydajność pieca dla szkła typu float jest dużo niższa ze względu na wymagania jakościowe i/lub właściwości chemiczne substancji klarujących.

Energia odzyskana przez regeneratory może być zmaksymalizowana poprzez wzrost ilości wykorzystanej cegły ogniotrwałej. W praktyce można to zorganizować w powiększonej komorze

regeneratora lub w oddzielnych, ale połączonych strukturach, dających wieloprzepustowe regeneratory. Gdy sprawność regeneratora zbliża się asymptotycznie do swojego maksymalnego poziomu, zaczyna mieć zastosowanie prawo malejących zwrotów z inwestycji. Zasadniczymi ograniczeniami są koszty dodatkowych cegieł ogniotrwałych oraz, w przypadku istniejących pieców, ograniczenia dostępnej przestrzeni i dodatkowe koszty modyfikacji infrastruktury pieca. Ta zasada ma bardziej powszechne zastosowanie w przypadku pieców U-płomiennych ze względu na ich prostą geometrię regeneratorów, chociaż stwierdzono możliwość jej zastosowania w piecach poprzeczno-płomiennych. Modyfikacja struktur regeneratora w istniejących piecach (jeżeli jest to technicznie i ekonomicznie wykonalne w danych warunkach zakładu) może być przeprowadzona tylko podczas przebudowy pieca. Na początku cyklu pracy regeneratora zużycie energii może zostać zredukowane nawet o 15% w porównaniu z równoważnym piecem z typowymi jednoprzepustowymi regeneratorami, w zależności od rozmiaru oryginalnego jednoprzepustowego regeneratora. Z drugiej strony zastosowanie regeneratorów wieloprzepustowych może wiązać się z potencjalnymi problemami z kondensacją oraz koniecznością czyszczenia kratownicy, co obniża efektywność energetyczną. Nowoczesne piece wyposażone w regeneratory jednoprzepustowe wykazują efektywność odzysku ciepła na poziomie bliskim 65%. W takich przypadkach zastosowanie regeneratorów wieloprzepustowych nie doprowadziłoby do osiągnięcia znacznej poprawy efektywności energetycznej pieca.

Jedynym negatywnym wpływem jest wzrost objętości materiałów wyłożenia ogniotrwałego, które muszą zostać przetransportowane po zakończeniu eksploatacji pieca. To negatywne oddziaływanie ma ograniczony zakres, gdyż znaczna część dodatkowych ogniotrwałych cegieł wytrzymuje dwa lub więcej cykli pracy pieca, a istnieją już i będą nadal rozwijane rozwiązania mające na celu umożliwienie recyklingu tych materiałów. Chociaż wzrost temperatury wstępnego podgrzewania powietrza w piecach wyposażonych w regeneratory wieloprzepustowe jest potencjalnie czynnikiem zwiększającym temperaturę płomienia, a co za tym idzie, tworzenie się NO_x , w praktyce piece te nie wykazują wysokich poziomów NO_x , jeśli podjęte są odpowiednie działania redukcji u źródła.

Dostępne są różne materiały, które można wykorzystywać jako media przechowujące ciepło i wypełnienie regeneratorów. Najprostszym rozwiązaniem jest zastosowanie cegieł ogniotrwałych w ustawce otwartej lub „koszykowej”, co daje na ogół około 50% sprawność regeneratora lub większą (ciepło odzyskane przez powietrze w porównaniu do ilości ciepła zawartego w gazach odlotowych). Transfer ciepła można jednak poprawić poprzez zastosowanie specjalnego kształtu upakowania. Na przykład, kształtki krzyżowe z ogniotrwałej masy topionej zwiększą sprawność wymiany ciepła w porównaniu z typowym wypełnieniem ceglanym. Wpływ tego rodzaju cegieł ogniotrwałych na zużycie energii zależy od sytuacji wyjściowej oraz rozmiaru regeneratora; odnotowuje się typowe oszczędności paliwa na poziomie 7%. Ponadto materiały te są bardzo odporne na działania chemiczne ze strony substancji lotnych ze strumienia gazów odlotowych i wykazują mniejsze zniszczenie podczas eksploatacji (w porównaniu z cegłą) w trakcie całego cyklu pracy. Jak dotychczas (2010 r.), upowszechniło się zastosowanie kształtów pofałdowanych – często w generatorze zainstalowane są elementy krzyżowe.

Maksymalna teoretyczna sprawność regeneratora wynosi ok. 77%, ponieważ masa gazów odlotowych z pieca przewyższa masę wchodzącego powietrza do spalania, a pojemność cieplna wypuszczanych gazów spalinowych przekracza pojemność cieplną powietrza spalania. W praktyce, sprawność ograniczona jest przez koszty, a straty strukturalne stają się bardziej dotkliwe w miarę, jak wzrastają rozmiary regeneratorów. Trudno jest stworzyć projekt efektywnego kosztowo regeneratora o sprawności przekraczającej 70%.

Geometria pieca stale podlega udoskonalaniu tak, aby zoptymalizować prądy termiczne i przenoszenie ciepła, zarówno w celu poprawy jakości szkła, jak i oszczędności energii. Prace badawczo-rozwojowe są często związane z rozwojem systemów spalania w kierunku redukcji emisji oraz oszczędności energii. Zmiany geometrii pieca możliwe są tylko w przypadku nowych pieców lub przy przebudowie, a nawet wtedy faktyczne możliwości mogą być ograniczone przez stałą konstrukcję i istniejącą infrastrukturę.

Topienie elektryczne, czy to częściowe, czy też 100%, poprawia sprawność energetyczną na poziomie zakładu, gdy jednak bierze się pod uwagę sprawność wytwarzania energii oraz straty przesyłowe, sytuacja staje się mniej oczywista. Techniki te zostały opisane bardziej szczegółowo w punkcie 4.2. Topienie tlenowo-paliwowe może również prowadzić do mniejszego zużycia energii, jest to jednak złożony problem, który omówiony został bardziej szczegółowo w punkcie 4.4.2.5.

Postęp w zakresie materiałów ogniotrwałych, jaki miał miejsce w ciągu ostatnich dziesięcioleci, umożliwił dłuższe cykle pracy pieców przy wyższym poziomie izolacji. Ograniczenie temperatury, która może oddziaływać na nadbudowę pieca, było w przeszłości czynnikiem ograniczającym wysoką izolację. Obecnie izolacja musi być dokładnie projektowana z uwzględnieniem części pieca oraz warunków eksploatacyjnych (temperatura, rodzaj szkła, itp.). Nie wszystkie części pieca mogą być wyłożone izolacją. Linia przepływu oraz przepust muszą zostać niezainstalowane i będą musiały być chłodzone, aby przedłużyć żywotność pieca. Większość materiałów ogniotrwałych stosowanych do wymurówki pieca i mających kontakt ze stopionym szkłem to materiały z masy topionej lub ze spieczonego tlenku chromu, o wysokiej gęstości i niskiej porowatości, odporne na działanie stopionej masy szklanej oraz lotnych substancji w nadbudowie. Charakteryzuje je wysokie przewodnictwo termiczne i wymagają one, na ogół, wysokiego poziomu izolacji, która prowadzi do znacznych oszczędności energii. W przypadku szkła sodowo-wapniowego sklepienie jest krzemionkowe, silnie zainstalowane. W przypadku pieców opalanych mieszkanką tlenowo-paliwową mogą być stosowane inne materiały (stopiony tlenek glinu lub AZS) w celu oparcia się możliwemu oddziaływaniu par metali alkalicznych. Krzemionka ogranicza temperaturę sklepienia pieca do 1600 – 1620°C, podczas gdy inne materiały ogniotrwałe w sklepieniu, takie jak stopiona masa AZS, mulit czy stopiony tlenek glinu mogą wytrzymać temperatury przekraczające 1620°C. Jakikolwiek wzrost temperatury pieca może zadziałać niekorzystnie, powodując emisje NO_x oraz emisje pochodzące z lotnych składników zestawu.

W niektórych obszarach pieca można zastosować dodatkową izolację przy małym ryzyku zniszczeń strukturalnych. Izolacja natryskowa z włókien może znacznie zredukować straty ciepła, jeśli zostanie zastosowana w strukturze regeneratora. Ta prosta, efektywna kosztowo technika może zredukować strukturalne straty ciepła z regeneratora nawet do 50% dając oszczędności energetyczne rzędu 5%. Dodatkową korzyścią jest to, że materiał ten uszczelni skutecznie wszelkie pęknięcia w strukturze regeneratora, redukując w ten sposób dopływ zimnego powietrza oraz wydostawanie się powietrza gorącego.

4.8.2 Kontrola spalania oraz dobór paliwa [6, EEO 19951 H5, ETSU 1992]

W ostatnich dekadach przeważającym paliwem w produkcji szkła był olej opałowy, choć wciąż wzrasta popularność gazu ziemnego. Obecnie wykorzystanie obu rodzajów paliw jest porównywalne. Opalanie gazem ziemnym daje niższe emisje SO_x, ale na ogół powoduje wzrost emisji NO_x. Dzieje się tak, ponieważ płomień gazu ziemnego ma mniejsze promieniowanie, a pojemność cieplna gazów spalinowych z opalania gazem (na GJ spalania) różni się od pojemności z opalania olejem. Skutkuje to różnymi stratami ciepła nawet przy tej samej temperaturze spalin oraz, na ogół, większym zużyciem energii, średnio o 7 – 8% w przypadku gazu ziemnego w porównaniu do oleju opałowego. Jednakże, wraz ze wzrostem doświadczeń w opalaniu gazem, poziomy wydajności sukcesywnie zbliżają się do tych, jakie mogą być osiągnięte przy opalaniu olejem opałowym, choć piece opalane olejem wciąż wykazują większą wydajność energetyczną. Gaz ziemny ma wyższy stosunek wodoru do węgla i jego zastosowanie redukuje całkowite emisje CO₂ nawet o 25% przy danej wydajności.

Rozwój systemów palników o niskiej emisji NO_x również przyczynił się do oszczędności energetycznych. Dzięki redukcji ilości powietrza zużywanego do spalania do poziomów bliskich jego poziomom stechiometrycznym, wraz z gazami odlotowymi traci się mniejsze ilości energii.

Usprawnienia wprowadzone w systemie spalania, systemy przenoszenia ciepła oraz całościowa kontrola procesu podczas prowadzenia prac badawczo-rozwojowych w kierunku redukcji NO_x doprowadziło w wielu przypadkach również do poprawy eksploatacji pieca oraz jego sprawności.

Techniką często stosowaną w przeszłości do poprawy sprawności energetycznej oraz wydajności urządzeń było wzbogacanie tlenem powietrza do spalania. Zredukowane objętości gazów oraz wyższe temperatury płomienia zwiększają sprawność energetyczną, ale całkowita wielkość emisji NO_x może znacznie wzrosnąć, chyba że technika ta stanowi część uważnie kontrolowanego całkowitego systemu spalania o niskiej emisji NO_x. Zastosowanie tej techniki w systemie izolacji staje się coraz mniej powszechne ze względu na uwarunkowania środowiskowe. Wzbogacanie tlenem stosowane jest jednak często, kiedy azot oddzielany jest od powietrza (w przypadku komór wanien cynowych w produkcji szkła float), co umożliwia dostęp do powietrza wzbogaconego tlenem.

4.8.3 Zastosowanie stłuczki [30, Infomil 1998] [15, ETSU 1992]

Zastosowanie stłuczki w piecach do produkcji szkła może w znacznym stopniu zredukować zużycie energii i może być wykorzystane we wszystkich typach pieców, tj. opalanych paliwami kopalnymi, opalanych mieszkanką tlenowo-paliwową oraz w piecach ogrzewanych elektrycznie. W większości sektorów przemysłu szklarskiego rutynowo stosuje się recykling całej stłuczki własnej. Podstawowymi wyjątkami są tu włókna szklane ciągłe, gdzie ze względu na ograniczenia jakościowe nie jest to możliwe, oraz produkcja fryty (gdzie stłuczka jako taka nie jest produkowana). W sektorze wełny skalnej koraliki i stop wyciekający poddawane są recyklingowi tylko, jeśli stosowany jest proces brykietowania (zob. pkt. 3.8.4). Podstawowy udział stłuczki własnej w zestawie będzie się zwykle mieścić w przedziale od 10 do 25%.

Stłuczkę charakteryzuje mniejsze zapotrzebowanie na energię podczas topienia niż zestaw surowcowy, ponieważ endotermiczne reakcje chemiczne związane z powstawaniem szkła już miały miejsce, a jej masa jest o 20% niższa niż masa odpowiedników w zestawie. Dlatego też, zwiększanie ilości stłuczki w zestawie stanowi potencjał dla oszczędności energetycznych; co do zasady, każde dodatkowe 10% stłuczki pozwala na zmniejszenie zużycia energii w piecu o 2,5 – 3,0%. Zastosowanie stłuczki daje, na ogół, znaczne oszczędności kosztowe w wyniku redukcji zapotrzebowania zarówno na energię, jak i na surowce. Cena stłuczki wzrosła jednak znacznie i staje się ona coraz trudniej dostępna, w związku z czym jej wykorzystanie nie zawsze jest opłacalne.

Należy dokonać rozróżnienia pomiędzy stłuczką własną (recykling odrzuconego szkła z linii produkcyjnej) a stłuczką obcą (recykling szkła pokonsumpcyjnego lub z zewnętrznych źródeł przemysłowych). Skład stłuczki obcej jest mniej dokładnie określony, co ogranicza jej zastosowanie. Wysokie wymagania co do jakości produktu końcowego mogą ograniczyć ilość stłuczki obcej w zestawie w związku z jej skażeniem, które ciężko wykryć i usunąć. Dzieje się tak zwłaszcza w przypadku luksusowego szkła opakowaniowego (butelki wysokobezbarwne lub flakoniki perfum i kosmetyków), zastawy stołowej, szkieł specjalnych i szkła płaskiego, gdzie wysokie wymagania jakościowe względem produktu końcowego ograniczają stosowanie stłuczki. Jednakże sektor szkła opakowaniowego ma największe możliwości wykorzystywania znacznych ilości stłuczki obcej z systemu recyklingu butelek. Recykling stłuczki szklanej reguluje prawo unijne, zwłaszcza dyrektywa 94/62/WE, która ustanawia cele recyklingu odpadów opakowaniowych. W czasie sporządzania niniejszego dokumentu (2010 r.), z wyjątkiem sytuacji, gdzie ustalone zostały specjalne programy, znaczące zastosowanie stłuczki obcej ograniczone jest do sektora szkła opakowaniowego oraz niektórych obszarów sektora wełny mineralnej, zwłaszcza wełny szklanej. Choć sektor produkcji szkła opakowaniowego jest głównym użytkownikiem stłuczki obcej, wymogi klientów wobec wysokiej jakości niektórych szklanych produktów końcowych (butelki wysokobezbarwne lub flakoniki perfum i kosmetyków) nie są zawsze kompatybilne z jakością dostępnej stłuczki, ze względu na jej zawartość nieczystości, co skutkuje ograniczeniem jej stosowania w zestawie szklarskim. Stłuczka pokonsumpcyjna wymaga drogiego oczyszczania, by mogła zostać wykorzystana jako surowiec do produkcji szkła. Sektory szkła o wyższych wymaganiach jakościowych lub niskiej dostępności stłuczki obcej (np. szkło płaskie) mogą starać się nawiązać współpracę z masowymi odbiorcami w celu recyklingu generowanych przez nich odpadów szkła.

Użycie stłuczki obcej przy produkcji szkła opakowaniowego waha się od <20% do >90%, przy czym średnia w UE wynosi około 50%.

Poziom recyklingu różni się znacznie pomiędzy poszczególnymi państwami członkowskimi w zależności od programów zbiórki szkła pokonsumpcyjnego.

W sektorze szkła gospodarczego względy jakościowe uniemożliwiają na ogół od wykorzystanie stłuczki obcej w procesie produkcyjnym. Wykorzystanie stłuczki własnej jest natomiast ograniczone przez dostępność stłuczki o właściwej jakości i składzie. Przeciętne ilości wykorzystanej stłuczki własnej wynoszą ok. 25% w przypadku produktów ze szkła sodowo-wapniowego, choć możliwy jest aż 50% udział w zależności od rodzaju wytwarzanych produktów; w przypadku szkła ołowiowego wykorzystuje się zwykle 35% stłuczki.

Przy produkcji szkła typu flint (szkła bezbarwnego) tolerowane mogą być tylko małe ilości kolorowej stłuczki, ponieważ szkła barwnego nie da się odbarwić. Dlatego też systemy recyklingu, które obejmują posegregowaną zbiórkę szkła według głównych kolorów bądź też segregację stłuczki ze wspólnej zbiórki szkła według kolorów, są konieczne do maksymalizacji recyklingu. W UE podaż szkła barwnego o różnych kolorach, zielonego i brązowego jest duża. Stłuczka szkła typu flint jest jednak mniej powszechna i z tego też powodu piece do wytopu kolorowego szkła działają w oparciu o większy udział stłuczki, zwłaszcza w przypadku produkcji szkła zielonego, do którego wytwarzania może być stosowana mieszanka różnych kolorów. Sytuacja różni się znacznie pomiędzy poszczególnymi państwami członkowskimi z uwagi na różnice regionalne. Na przykład w Zjednoczonym Królestwie występują trudności, gdyż duża ilość produkcji stanowi szkło typu flint, podczas gdy znaczna część stłuczki pochodzi z butelek importowanych win i jest barwna. W efekcie średnia ilość stłuczki wykorzystywanej w piecach w Zjednoczonym Królestwie jest mniejsza.

Jeśli chodzi o eksploatację pieca duży udział stłuczki może przynosić również inne korzyści, takie jak niższe emisje pyłów. Stłuczki łatwiej też podgrzać niż zestaw. Wydajność pieca może również znacznie wzrosnąć. Istnieją jednak liczne strony ujemne dla producenta w przypadku produkcji przy wysokim udziale stłuczki, takie jak te wymienione poniżej.

- Zanieczyszczenia metaliczne, takie jak kapsle od butelek lub folie z butelek po winie, mogą powodować poważne zniszczenia wyłożenia ogniotrwałego i skracać żywotność pieca. Części metalowe opadają na dno, gdzie ma miejsce zjawisko zwane „downward drilling”. Metale lub krople metali (zwłaszcza ołowiu) gromadzące się na ogniotrwałym dnie pieca szklarskiego wwiercają się w materiał dna w związku z rozpuszczaniem materiału ogniotrwałego, któremu sprzyja napięcie powierzchniowe pojawiające się bezpośrednio przy kroplach metalu. Skażenie metalem, obecność szkła ołowiowego i składników redukujących w stłuczce może powodować wady szkła.
- Wtrącenia ceramiczne, takie jak z wyrobów ceramicznych porowatych lub garncarskich oraz wyroby z tworzywa szklano-ceramicznego, które z trudem rozpuszczają się w stopionej masie szklanej, występują w produkcie końcowym jako nieprzezroczyste „kamienie” lub krople, co prowadzi do jego odrzucenia.
- Przy wysokim udziale stłuczki kontrola składu, a co za tym idzie, właściwości fizycznych stopu szkła może być obniżona, co może prowadzić do problemów odnośnie jakości produktów końcowych. W szczególności, różna zawartość składników organicznych (resztek żywności, papierowych etykiet, elementów plastikowych) może powodować problemy związane z utlenianiem i redukcją, prowadząc do trudności w przypadku barwienia i klarowania.
- Kapsle i folie aluminiowe działają jak silny lokalny czynnik redukujący, powodując redukcję krzemionki ze szkła do krzemu (Si). Krzem tworzy w szklanych produktach inkluzje (małe paciorki), które znacznie pogarszają wytrzymałość mechaniczną szkła, z powodu naprężeń wynikających z dużej różnicy współczynników rozszerzalności termicznej szkła i krzemu.
- Nieczystości ze stłuczki mogą prowadzić do emisji zanieczyszczeń do atmosfery (związków ołowiu, fluoru i boru itp.).

Wraz ze znacznymi oszczędnościami energii możliwymi dzięki zastosowaniu stłuczki, istnieje też szereg innych ważnych, związanych z tym korzyści środowiskowych. Emisje CO₂, SO_x, NO_x oraz pyłu są znacznie zredukowane w wyniku zmniejszenia zużycia paliwa oraz niższych temperatur

pieca. Emisje innych substancji lotnych mogą również być niższe z powodu zredukowanych temperatur. Jednakże zanieczyszczenia w stłuczce mogą prowadzić do wyższych emisji HCl, HF i metali oraz SO_x (przy produkcji szkła z o niskiej zawartości siarki). Jest to szczególnie istotne na obszarach o wysokim wskaźniku recyklingu, gdzie zanieczyszczenia w zawracanym materiale mogą się nawarstwiać. Wiele surowców do produkcji szkła to węglany i siarczany, które w trakcie topienia uwalniają CO₂ i SO_x.

Zwiększone wykorzystanie stłuczki redukuje te emisje pochodzące z surowców, jak również zmniejsza zużycie surowców naturalnych.

4.8.4 Kotły odzysknicowe

Zasadą tej techniki jest przepuszczanie gazów odlotowych bezpośrednio przez odpowiednie rury kotła, w celu wytworzenia strumienia pary. Para ta może być wykorzystana do celów grzewczych (ogrzewanie budynków oraz ogrzewanie składowanego oleju opałowego i instalacji opałowej), lub, dzięki zastosowaniu odpowiedniego silnika parowego lub turbiny, do zasilania urządzeń generujących energię elektryczną lub urządzenia zakładowe, takie jak sprężarki powietrza, automaty rządowe (IS) lub wentylatory urządzeń.

Gazy wchodzące z regeneratorów/rekuperatorów mają zwykle temperaturę w zakresie od 600°C do 300°C. Temperatura na wyjściu determinuje możliwość odzyskiwania ciepła, która jest ograniczona do około 200°C, ze względu na ryzyko kondensacji w kotle oraz aby zapewnić właściwe działanie komina. Rury kotła wystawione na działanie gazów odlotowych z pieca mogą pokrywać się skondensowanymi materiałami (np. siarczanem sodu, zależnie od składu). Mogą się też tworzyć lepkie i korozyjne związki (np. dwusiarczan sodu), w zależności od temperatury i składu gazów spalinowych, które mogą wchodzić w reakcje z metalową strukturą rur. Dlatego też rury kotła muszą być okresowo czyszczone, aby utrzymać sprawność odzysku (jest to mniej istotne w przypadku kotłów działających za urządzeniami do usuwania pyłów). Czyszczenie na miejscu może być przeprowadzane automatycznie przy użyciu pary, przez zastosowanie środków mechanicznych, lub też poprzez okresową konserwację

Możliwość zastosowania i rentowność przedmiotowej techniki zależą od ogólnej efektywności, jaką można osiągnąć (w tym od efektywnego wykorzystania wygenerowanej pary wodnej). W praktyce kotły odzysknicowe uwzględniane były tylko do odzyskiwania ciepła resztkowego za systemami regeneratora/rekuperatora i uważa się, że istnieją przynajmniej dwa przykłady ich zastosowania w piecach opalanych mieszkanką tlenowo-paliwową (zob. tabela 4.18). W wielu przypadkach ilość możliwej do odzyskania energii jest za niska dla efektywnej produkcji energii i może być konieczne dodatkowe opalenie w celu wygenerowania podgrzanego strumienia do napędzania turbin. Piece rekuperacyjne o wyższych temperaturach gazów odlotowych lub instalacje, w których możliwe jest połączenie gazów odlotowych z kilku pieców, stwarzają więcej możliwości wytwarzania energii. Kotły odzysknicowe w przemysłowym zastosowaniu znajdują się w kilku zakładach produkujących szkło opakowaniowe, jednak większość instalacji stosowanych jest w piecach do produkcji szkła typu float. Wszystkie piece do produkcji szkła typu float w Niemczech i wiele w innych państwach członkowskich wyposażonych jest w kotły odzysknicowe.

Koszty inwestycyjne mogą przekraczać 1 mln EUR, przy różnym okresie zwrotu, w zależności od wydajności oraz od przeważających kosztów energii. Przeprowadzane usprawnienia w efektywności wykorzystania energii pierwotnej powodują spadek opłacalności kotłów odzysknicowych. Czasami okres zwrotu z inwestycji może okazać się nieatrakcyjny, jednakże będzie się to różnić w zależności od konkretnego przypadku. Proces 3R może spowodować, że istniejące systemy kotłów odzysknicowych będą bardziej wydajne i prawdopodobnie poprawić efektywność ekonomiczną każdego nowego systemu, który ma zostać zainstalowany. Jednakże, jeżeli z jakiegokolwiek powodu instalacja kotła odzysknicowego wydaje się niewłaściwa lub nieatrakcyjna ekonomicznie, instalacja procesu 3R niekoniecznie zmieni tę sytuację.

W tabeli 4.44 zaprezentowane zostały dane dotyczące przykładowych instalacji, w których kotły odzysknicowe (wymyenniki ciepła) stosowane są w różnych sektorach przemysłu szklarskiego.

Tabela 4.44: Przykładowe instalacje, w których kotły odzysknicowe (wymienniki ciepła) stosowane są w różnych sektorach przemysłu szklarskiego

Rodzaj szkła	Opakowaniowe	Opakowaniowe	Płaskie	Float	Specjalne	Specjalne
Rodzaj pieca	Opalany mieszanką tlenowo-paliwową (2 piece)	U-płomienny, regeneracyjny	Poprzeczno-płomienny, regeneracyjny	Poprzeczno-płomienny, regeneracyjny	Opalany mieszanką tlenowo-paliwową	Poprzeczno-płomienny, regeneracyjny
Paliwo	Gaz ziemny	Gaz ziemny/olej opałowy	Olej opałowy	Gaz ziemny/olej opałowy	Gaz ziemny	Gaz ziemny/olej opałowy
Zdolność produkcyjna	650 ton/dzień (razem)	300 ton/dzień	350 ton/dzień	800 ton/dzień	40 ton/dzień	220 ton/dzień
Faktyczna wydajność	502 ton/dzień (razem)	297 ton/dzień	259 ton/dzień	700 ton/dzień	40 ton/dzień	180 ton/dzień
Ostatnia duża naprawa	2000 – 1996	1997	2000	2002	2004	
Wspomaganie elektryczne		Tak	Tak	Tak	Tak	Tak
Rodzaj szkła	Brązowo-zielone	Brązowe	Białe, brązowe, żółte	Białe	Tworzywo szklano-ceramiczne	Brak danych
Stłuczka	66% (średnio)	72%	30%	35%	50%	25%
Rodzaj wymiennika ciepła	Wiązka rur	Wiązka rur	Wymiennik rurowy	Wymiennik rurowy		Wymiennik rurowy
Miejsce instalacji	Przed filtrem workowym	Za ESP	Przed ESP	Przed ESP	Przed filtrem workowym	Za ESP
Nośnik ciepła	Woda/para	Woda/para	Woda/para	Woda/para	Woda/para	Woda/para
Wykorzystanie odzyskanej energii	Energia elektryczna, skompresowane powietrze	Energia elektryczna, woda przemysłowa	Woda przemysłowa, opalanie, wstępne podgrzewanie oleju	Woda przemysłowa, elektryczność, opalanie	Woda przemysłowa	Woda do użytku domowego
Odpylanie	Bezpośrednie	Bezpośrednie	Bezpośrednie	Bezpośrednie	Brak danych	Brak
Usuwanie pyłu	Dodawanie do zestawu	Dodawanie do zestawu	Specjalne usuwanie	Recykling lub specjalne usuwanie	Brak danych	Recykling lub specjalne usuwanie
Różnica temperatur	Od 1380 do 200°C	Ok. 150°C	Ok. 200°C	Brak danych	Brak danych	Brak danych
Ilość odzyskanej energii	6 472 kWh/h	1 500 kWh/h (szacunek)	1 500 kWh/h	3 000 kWh/h	550 kWh/h	1 140 kWh/h
Bezpośrednie odzyskiwanie ciepła	0,31 kWh/kg szkła	0,12 kWh/kg szkła (szacunek)	0,14 kWh/kg szkła	0,10 kWh/kg szkła	0,33 kWh/kg szkła	0,15 kWh/kg szkła
Bezpośrednie zużycie energii	4,20 GJ/t stopionego szkła (średnio)	4,21 GJ/t stopionego szkła	5,71 GJ/t stopionego szkła	5,20 GJ/t stopionego szkła	12,31 GJ/t stopionego szkła	16,44 GJ/t stopionego szkła
Koszty inwestycji/zamiany ⁽¹⁾		1,67 mln EUR ⁽²⁾	0,5 mln EUR ⁽²⁾	1 mln EUR ⁽²⁾		
Czas amortyzacji		10 lat	10 lat	10 lat		
Koszty operacyjne		33 500 EUR	60 000 EUR	70 000 EUR		
Roczne koszty amortyzacji		222 111 EUR	65 000 EUR	133 000 EUR		
Roczne koszty razem ⁽¹⁾		255 611 EUR	255 611 EUR	203 000 EUR		

Szacunkowy koszt na tonę szkła		2,36 EUR/tona szkła	1,34 EUR/tona szkła	0,79 EUR/tona szkła		
(1) Dane dotyczące kosztów odnoszą się do roku instalacji systemu kontroli emisji zanieczyszczeń do atmosfery i niekoniecznie są reprezentatywne dla obecnych kosztów. (2) Koszty inwestycyjne dla wymiennika ciepła obejmują akcesoria. <i>Źródło: [75, Germany-HVG Glass Industry report 2007]</i>						

4.8.5 Wstępne podgrzewanie zestawu i stłuczki

[30, Infomil 1998] [65, GEPVP-Proposals for GLS revision 2007]

Opis techniki

Zestaw i stłuczka są zwykle wprowadzane do pieca zimne, jednak poprzez wykorzystanie resztkowego ciepła gazów odlotowych do podgrzania zestawu oraz stłuczki, możliwe są znaczne oszczędności energetyczne. Ma to jednak zastosowanie wyłącznie w piecach szklarskich opalanych paliwem kopalnym. W sektorze produkcji wełny skalnej wykorzystywane są przeważnie piece szybowe, których konstrukcja umożliwia wewnętrzne podgrzewanie surowców.

Temperatury wczesnego podgrzewania nie powinny być niższe niż 270°C, ale nie powinny też przekraczać 500 – 550°C. W praktyce większość podgrzewaczy zestawu i stłuczki działa w przedziale temperatur od 275 do 325°C.

Systemy wstępnego podgrzewania zestawu/stłuczki zostały opracowane i zainstalowane przez Nienburg/Interprojekt (podgrzewanie bezpośrednie), Zippe (podgrzewanie pośrednie) oraz Sorg (podgrzewanie bezpośrednie). Połączony system bezpośredniego podgrzewacza stłuczki oraz filtra elektrostatycznego został opracowany i zainstalowany przez firmę Edmeston, obecnie Praxair EGB. W USA opracowywany jest nowy rodzaj systemu wykorzystujący wysokotemperaturowe gazy spalinowe o temperaturze ok. 1 300°C, który powinien pozwolić na wstępne podgrzanie zestawu i stłuczki do ok. 500°C.

Dostępne systemy zostały opisane poniżej.

- Podgrzewanie bezpośrednie – ten rodzaj podgrzewania polega na bezpośrednim kontakcie pomiędzy przepływającymi w przeciwnych kierunkach gazami spalinowymi a surowcami (stłuczka oraz zestawem). Gazy odlotowe doprowadzane są do podgrzewacza z kanału spalinowego z tyłu regeneratora. Przepływają one przez wnęki w podgrzewaczu, w ten sposób mając bezpośredni kontakt z surowcem. Temperatura stłuczki i zestawu na wyjściu wynosi ok 300°C, ale może osiągnąć nawet 400°C. System ten zawiera również obejście, które umożliwia ciągłość działania pieca również wtedy, gdy zastosowanie podgrzewacza jest niewskazane lub niemożliwe. Podgrzewacze bezpośrednie zostały opracowane i zainstalowane przez Nienburg/Interprojekt oraz Sorg. Przykładowa instalacja stosująca bezpośrednio podgrzewanie stłuczki została zaprezentowana w tabeli 4.45.
- Podgrzewanie pośrednie – podgrzewacz pośredni jest w zasadzie płytowym wymiennikiem ciepła o poprzecznym przepływie, w którym materiał podgrzewany jest pośrednio. Zaprojektowany został w formie modułowej i składa się z pojedynczych bloków wymienników ciepła, umieszczonych jeden nad drugim. Te bloki, z kolei, podzielone są na kanały, poziome dla spalin i pionowe dla materiału. W kanałach materiałowych materiał przepływa z góry na dół dzięki grawitacji. W zależności od przepustowości, materiał osiąga prędkość od 1 do 3 m/h i zwykle nagrzewa się od temperatury otoczenia do około 300°C. Gazy spalinowe wprowadzane są do podgrzewacza od dołu i przepływają do wyższych części dzięki specjalnej konstrukcji kanałów. Gazy odlotowe przepływają horyzontalnie przez poszczególne moduły. Spaliny zostają zwykle ochłodzone o około 270°C – 300°C. Pośredni system podgrzewania stłuczki opracowany został przez firmę Zippe.
- Filtr Praxair EGB – System filtrujący Edmeston z granulowanym naelektryzowanym podłożem (electrified granulate bed – EGB) jest systemem hybrydowym pomiędzy filtrem elektrostatycznym do usuwania pyłów, a bezpośrednim podgrzewaczem stłuczki. System składa się z dwóch różnych etapów wykorzystujących stłuczka własną i obcą. Oba strumienie stłuczki są wstępnie podgrzewane, ale na różny sposób. Tylko sekcja ze stłuczka własną oraz stłuczka obcą po oczyszczeniu w jednostce pirolizy (pierwszy etap wstępnego podgrzewania) wykorzystywana jest w polu elektrostatycznym do wychwytywania pyłu z gazów spalinowych. W czasie sporządzania niniejszego dokumentu (2010 r.) system wstępnego podgrzewania Praxair EGB nie jest stosowany w przemyśle szklarskim w Europie. System zawierający

zintegrowane podłoże filtrujące ze stłuczki działa w Leone Glass w USA w połączeniu z piecem opalonym mieszanką tlenowo-gazową do produkcji szkła opakowaniowego. Gazy spalinowe z pieca opalanego mieszanką tlenowo-paliwową wykorzystującego stłuczkę poddaną recyklingowi (własną i obcą) wprowadzane są do sekcji wstępnego podgrzewania zawierającej stłuczkę obcą (etap 1). Pary organiczne uwolnione ze stłuczki obcej na etapie wstępnego podgrzewania są rozkładane termicznie i łączą się z drugim strumieniem gazów spalinowych z pieca. Połączony strumień gazów wpada do komory jonizacyjnej, w której cząsteczkom pyłu obecnym w spalinach nadawany jest ładunek elektryczny. Gorące spaliny zawierające naładowane cząstki pyłu przechodzą do podgrzewacza stłuczki wyposażonego w elektrody (etap 2). Do podgrzewacza wciąż dodawana jest stłuczka własna (czysta) i obca z pierwszego etapu podgrzewania. Pola elektrostatyczne przyciągają naładowane cząstki pyłu do powierzchni stłuczki. Wstępnie podgrzana stłuczka (do 400°C) wraz z przyłączonymi cząstkami wprowadzana jest do pieca szklarskiego.

Korzyści dla środowiska

Techniki te mają szereg korzyści środowiskowych, które mogą się różnić w zależności od konkretnych przypadków. Generalnie, odnotowano następujące korzyści:

- Bezpośrednia oszczędność energii od 10% do 20% wraz z ograniczeniem emisji CO₂.
- Redukcja emisji NO_x (dzięki mniejszemu zapotrzebowaniu na paliwo oraz niższym temperaturom w piecu). Choć w większości przypadków oszczędność energii wykorzystywana jest do zwiększenia wydajności pieca.
- W przypadku podgrzewania bezpośredniego odnotowano redukcję kwaśnych związków SO₂, HF oraz HCl w spalinach, odpowiednio o 60%, 50% i 90% (różnica przed i za warstwą zestawu).
- Zwiększenie poziomu wydajności o nawet 10 – 15% jest możliwe do osiągnięcia w istniejących piecach szklarskich przy wstępnym ogrzewaniu zestawu do 300°C.
- Ograniczenie lub wyeliminowanie potrzeby stosowania środka do oczyszczania na sucho.

Efekty wzajemnych powiązań pomiędzy różnymi komponentami środowiska

Technika ta może spowodować wzrost wydajności pieca o 10% – 15% bez wpływu na żywotność pieca. Jeżeli nie wzrasta wydajność, możliwe może się okazać niewielkie przedłużenie okresu eksploatacji pieca. Dzięki uzyskaniu większego ciepła w piecu, technika ta może również zredukować zapotrzebowanie na elektryczny dogrzew.

W niektórych przypadkach pojawiły się problemy związane z nieprzyjemnymi zapachami pochodzącymi z podgrzewacza, z powodu dymów organicznych uwalnianych podczas wstępnego suszenia stłuczki, uzależnionymi od zawartości substancji organicznych w stłuczce. Przyczyną tych problemów jest spalanie i odparowywanie resztek żywności i innych substancji organicznych w stłuczce obcej. Opracowywane są sposoby rozwiązania tych problemów (np. spalanie).

Stosowanie bezpośredniego podgrzewania wstępnego prowadzi do zwiększonej emisji pyłów (do 2000 mg/Nm³), w związku z czym konieczna jest wtórna redukcja pyłów. Osadzony pył może być zawracany z powrotem do pieca.

Wstępne podgrzewanie zestawu i stłuczki skutkuje bardzo suchym zestawem, co może prowadzić do rozkurzania składników pyłowych w czasie wprowadzania zestawu do pieca szklarskiego, lub też kiedy spaliny poruszają się z dużą prędkością nad warstwą zestawu przed rozpoczęciem topienia i spiekania.

Stosowanie bezpośredniego podgrzewania wstępnego powoduje konieczność konserwacji i czyszczenia ze względu na zwiększoną emisję pyłów, co skutkuje podniesieniem kosztów.

Kiedy podgrzewanie bezpośrednie wymaga filtra elektrostatycznego, zużywana jest energia elektryczna. Ogranicza to ilość zaoszczędzonej energii, ale nie jest to znacząca wielkość.

Istnieje możliwość, że bezpośrednie podgrzewanie może prowadzić do emisji dioksyn, zwłaszcza jeżeli w gazach odlotowych znajduje się HCl powstający w procesie powlekania na gorąco. Badania i pomiary nie dają dowodów na tworzenie się dioksyn na istotnych poziomach w spalinach z pieców wyposażonych w podgrzewacze zestawu.

Dane operacyjne

W celu utrzymania utraty ciepła podczas transportu przed wymiennikiem ciepła na jak najniższym poziomie podgrzewacz powinien być zlokalizowany jak najbliżej kieszeni zasypowej. Idealną lokalizacją byłoby umieszczenie go bezpośrednio nad urządzeniem zasypowym zestawu. Z przyczyn ekonomicznych temperatura dostępnego gazu odlotowego powinna wynosić co najmniej 400 – 450°C. Ponadto konieczne jest chłodzenie spalin o co najmniej 200 – 250°C. W celu zapobiegnięcia nagromadzenia się materiału w większości istniejących systemach wstępnego podgrzewania zestawu maksymalna temperatura gazów spalinowych na wejściu nie powinna przekraczać 600°C. Trwają jednak prace nad umożliwieniem wykorzystania gazów spalinowych o wyższych temperaturach (zob. pkt. 6.2).

Możliwości zastosowania

Systemy wstępnego podgrzewania słuczki/zestawu mogą być teoretycznie zainstalowane w każdym funkcjonującym piecu do topienia szkła o zawartości słuczki w zestawie powyżej 50%, choć w specyficznych warunkach i w ograniczonym okresie jedna instalacja działała z udziałem słuczki wynoszącym zaledwie 30%. Wstępne podgrzewanie samego zestawu okazało się problematyczne i nie jest uznawane za sprawdzoną technologię. Wstępne podgrzewanie mieszaniny słuczki i zestawu jest bardziej skomplikowane niż podgrzewanie samej słuczki. W związku z tymi trudnościami wstępne podgrzewanie zestawu i słuczki stosowane jest prawie wyłącznie w sektorze produkcji szkła opakowaniowego.

Uwarunkowania finansowe

Ekonomika podgrzewaczy zestawu/słuczki zależy w dużym stopniu od pojemności pieca i samego podgrzewacza. Jako orientacyjny przykład kosztów i oszczędności zostały wykonane szacunki dla dwóch różnych zastosowań podgrzewacza pośredniego w sektorze produkcji szkła opakowaniowego. Wyniki zostały zaprezentowane poniżej.

- W przypadku poprzeczno-płomiennego pieca regeneracyjnego o zdolności topienia 350 ton dziennie dodatkowy koszt inwestycyjny związany z zastosowaniem podgrzewacza wynosi ok. 2,5 mln EUR, która to kwota obejmuje pewne adaptacje w urządzeniach zasypujących. Roczne oszczędności w zakresie kosztów operacyjnych wynoszą ok. 820 000 EUR, przy założeniu ceny paliwa wynoszącej 9,4 EUR na GJ wartości spalania brutto. Średnie oszczędności w czasie cyklu pracy pieca szacowane są na 3 EUR na tonę stopionego szkła, obliczone na podstawie obecnych cen energii.
- Zastosowanie wstępnego podgrzewania zestawu/słuczki w piecu o zdolności topienia 450 ton dziennie pozwala na zwiększenie wydajności do 500 ton dziennie oraz na oszczędność energii. Koszty inwestycyjne wynoszą 3,4 mln EUR, a oszczędności (w oparciu o wydajność 500 ton dziennie) – 1,1 EUR rocznie. W tym przypadku okres zwrotu z inwestycji wynosi trzy lata. Całkowite oszczędności są równe 5 – 6 EUR rocznie na tonę szkła, częściowo w związku ze zwiększoną zdolnością topienia pieca bez konieczności powiększania jego konstrukcji.
- W celu skorzystania z większej wydajności konieczne będą inwestycje w sprzęt i infrastrukturę za piecem. Koszty, zwłaszcza związane ze zwiększoną wydajnością, mogą być znaczne.

W czasie sporządzania niniejszego dokumentu (2010 r.) technologia ta nie jest powszechnie stosowana ze względu na wysokie koszty inwestycyjne oraz, w niektórych przypadkach, ze względu na ograniczenia przestrzenne. Sytuacja może jednak przedstawiać się różnie w zależności od regionu i jest wciąż rozważana w związku ze zmianami w cenie energii oraz zmianami innych czynników (np. limitów emisji).

Przykładowa instalacja stosująca bezpośrednie wstępne podgrzewanie zestawu i słuczki w piecu do produkcji szkła opakowaniowego typu flint została zaprezentowana w tabeli 4.45.

Przesłanki do wdrożenia

Główną przesłanką do wdrożenia jest ograniczenie zużycia energii oraz związane z tym ograniczenie emisji CO₂. Inną przesłanką może być zwiększenie zdolności topienia pieca (do 10% lub więcej).

Tabela 4.45: Przykładowa instalacja stosująca bezpośrednie wstępne podgrzewanie zestawu i stłuczki w piecu do produkcji szkła opakowaniowego

Warunki eksploatacji		
Rodzaj pieca	Poprzeczno-płomienny, regeneracyjny	
Paliwo	Gaz ziemny	
Zdolność produkcyjna	350 t/d	
Faktyczna wydajność	275 t/d	
Ostatnia duża naprawa	2005 rok	
Wspomaganie elektryczne	Tak	
Rodzaj szkła	Flint	
Stłuczka	60%	
Bezpośrednie zużycie energii	3,78 GJ/t szkła	
Rodzaj filtra	ESP z 3 polami	
Temperatura przed filtrem	200°C	
Sorbent	Brak	
Wykorzystanie pyłu z filtra w zestawie	100%	
Zużycie energii wraz z wentylatorem	194 kWh/h	
Rodzaj podgrzewacza surowca	Bezpośredni kontakt z gazami odlotowymi z pieca	
Objętość gazów spalinowych przed podgrzewaczem zestawu	17 000 m ³ /h	
Temperatura gazów spalinowych na wejściu/wyjściu	Ok. 450/200°C	
Temperatura surowca na wejściu/wyjściu	Ok. 20/300°C	
Ilość odzyskanej energii	Ok. 900 kWh/h	
	System filtra, w tym akcesoria, rury, wentylator ⁽¹⁾	Podgrzewacz surowca, w tym akcesoria ⁽¹⁾
Koszty inwestycji/zamiany	1,5 mln EUR	1 mln EUR
Czas amortyzacji	10 lat	12 lat
Koszty operacyjne	120 000 EUR	10 000 EUR
Roczne koszty amortyzacji	199 500 EUR	113 333 EUR
Roczne koszty razem	319 500 EUR	123 333 EUR
Szacunkowy koszt na tonę szkła	3,18 EUR/t szkła	1,23 EUR/t szkła
Poziomy emisji ⁽²⁾		
	(mg/Nm ³ , suchy gaz przy 8% O ₂)	kg/t szkła
Pył zawieszony	23,8	0,037
NO _x	909	1,42
SO _x	386	0,60
HCl	4,8	0,0075
HF	3,0	0,0047
<i>Metale</i>		
Klasa I (Hg, Tl)	0,003	0,005 x 10 ⁻³
Klasa II (Pb, Co, Ni, Se)	0,76	1,2 x 10 ⁻³
Klasa III (Sb, Cr, Cu, Mn, V, Sn)	1,01	1,6 x 10 ⁻³
⁽¹⁾ Dane dotyczące kosztów odnoszą się do roku instalacji systemu kontroli emisji zanieczyszczeń do atmosfery i niekoniecznie są reprezentatywne dla obecnych kosztów.		
⁽²⁾ Dane dotyczące emisji odnoszą się do średnich wartości półgodzinnych.		
Źródło: [75, Germany-HVG Glass Industry report 2007]		

Przykładowe zakłady

Wszystkie przykłady zastosowania wstępnego podgrzewania zestawu i stłuczki występują w sektorze szkła opakowaniowego:

- podgrzewanie bezpośrednie:
 - Ardagh Glass, Nienburg, Niemcy (trzy piece)
 - Ardagh Glass, Neuenhagen, Niemcy
 - Wiegand Glas, Steinbach am Wald, Niemcy
 - Leone Industries, Bridgeton, New Jersey, USA (piec opalany mieszkanką tlenowo-paliwową).
- podgrzewanie pośrednie:
 - i. Ardagh Glass, Dongen, Holandia.

Bibliografia

[30, Infomil 1998] [65, GEPVP-Proposals for GLS revision 2007] [94, Beerkens – APC Evaluation 2008] [75, Germany-HVG Glass Industry report 2007]

4.9 Systemy zarządzania środowiskiem

Opis

Formalny system, który wskazuje na zgodność z celami środowiskowymi.

Opis techniczny

Dyrektywa definiuje „techniki” (w oparciu o definicję „najlepszych dostępnych technik”) jako „zarówno stosowane technologie, jak i sposób, w jaki dana instalacja jest projektowana, budowana i utrzymywana, eksploatowana i wycofywana z eksploatacji”.

Na tej zasadzie system zarządzania środowiskowego (environmental management system – EMS) stanowi technikę pozwalającą operatorom instalacji na podejmowanie kwestii dotyczących środowiska w sposób systematyczny i widoczny. Systemy te są najbardziej skuteczne i wydajne, gdy stanowią nieodłączny element ogólnego zarządzania i eksploatowania instalacji.

System ten kieruje uwagę operatora na efektywność środowiskową instalacji, szczególnie poprzez zastosowanie przejrzystych procedur eksploatacji dla normalnych, jak również innych niż normalne, warunków eksploatacji oraz poprzez określanie właściwego zakresu odpowiedzialności.

Wszystkie skuteczne systemy uosabiają koncepcję ciągłego doskonalenia instalacji, co oznacza, że zarządzanie środowiskowe jest trwającym procesem, nie zaś projektem o określonym momencie finalizacji. Istnieją różne projekty procesu, jednak większość systemów zarządzania środowiskowego bazuje na cyklu planowanie-wykonanie-kontrola-działanie (znajdującym szerokie zastosowanie w innych kwestiach związanych kierowaniem przedsiębiorstwem). Cykl stanowi iteracyjny, dynamiczny model, w którym zakończenie jednego z cykli łączy się z rozpoczęciem kolejnego (zob. rys. 4.9).



Rysunek 4.9: Ciągłe udoskonalanie w ramach modelu EMS

System zarządzania środowiskowego może przyjąć formę systemu standardowego lub niestandardowego („dostosowanego do potrzeb”). Wdrożenie i przyjęcie stosowanego na świecie znormalizowanego systemu, np. EN ISO 14001:2004, może podnieść wiarygodność EMS, zwłaszcza gdy podlega właściwie dokonywanej weryfikacji zewnętrznej. EMAS zapewnia dodatkową wiarygodność ze względu na interakcję ze społeczeństwem dzięki deklaracji środowiskowej i mechanizmowi zapewniającemu zgodność z właściwym prawodawstwem środowiskowym. Jednakże systemy niestandardowe mogą zasadniczo być równie efektywne, pod warunkiem, że są odpowiednio zaprojektowane i wdrażane.

Podczas gdy zarówno systemy standardowe (EN ISO 14001:2004 lub EMAS), jak i niestandardowe zasadniczo znajdują zastosowanie w przedsiębiorstwach, niniejszy dokument stosuje bardziej zawężone podejście i nie uwzględnia całej działalności danego przedsiębiorstwa, np. jeśli chodzi o jej towary i usługi, ponieważ dyrektywa reguluje jedynie kwestie dotyczące instalacji/obiektów.

EMS może zawierać następujące elementy:

1. zaangażowanie kierownictwa, w tym kierownictwa wyższego szczebla;
2. określenie polityki środowiskowej, która obejmuje ciągłe udoskonalanie instalacji przez kierownictwo;
3. planowanie i ustalenie niezbędnych procedur, celów i zadań w powiązaniu z planami finansowymi i inwestycjami;
4. wdrożenie procedur ze szczególnym uwzględnieniem:
 - (a) struktury i odpowiedzialności,
 - (b) szkoleń, świadomości i kompetencji,
 - (c) komunikacji,
 - (d) zaangażowania pracowników,
 - (e) dokumentacji;
 - (f) wydajnej kontroli procesu,
 - (g) programu obsługi technicznej,
 - (h) gotowości na sytuacje awaryjne i reagowania na nie,
 - (i) zabezpieczenia zgodności z prawodawstwem środowiskowym;
5. sprawdzanie wydajności i podejmowanie działań naprawczych, ze szczególnym uwzględnieniem:

- (a) monitorowania i pomiarów (zob. również dokument referencyjny dotyczący ogólnych zasad monitoringu) [122, WE 2003].
 - (b) działań naprawczych i zapobiegawczych,
 - (c) prowadzenia zapisów,
 - (d) niezależnego (jeżeli jest to możliwe) audytu wewnętrznego i zewnętrznego w celu określenia, czy system zarządzania środowiskowego jest zgodny z zaplanowanymi ustaleniami oraz czy jest właściwie wdrożony i utrzymywany;
6. przegląd systemu zarządzania środowiskowego przeprowadzony przez ściśle kierownictwo pod kątem stałej przydatności systemu, jego prawidłowości i skuteczności;
 7. przygotowanie regularnych deklaracji środowiskowych;
 8. sprawdzanie przez organ certyfikujący lub zewnętrznego weryfikatora EMS;
 9. kontynuacja rozwoju czystszych technologii;
 10. uwzględnienie – na etapie projektowania nowego obiektu i przez cały okres jego eksploatacji – skutków dla środowiska wynikających z ostatecznego wycofania instalacji z eksploatacji;
 11. regularne stosowanie sektorowej analizy porównawczej.

Korzyści dla środowiska

EMS promuje i wspiera ciągle udoskonalanie efektywności środowiskowej instalacji. Jeśli zakład już posiada ogólnie dobrą wydajność środowiskową, wtedy system pomaga operatorowi utrzymać wysoki poziom wydajności.

Wyniki środowiskowe i dane operacyjne

Wszystkimi istotnymi poziomami zużycia (w tym zużycia energii) oraz emisjami w sposób skoordynowany gospodaruje operator dla krótkiego, średniego oraz długiego okresu, w połączeniu z planami finansowymi i cyklami inwestycyjnymi. Oznacza to, że np. realizacja krótkoterminowych rozwiązań technologii „końca rury” w odniesieniu do emisji, może zmusić operatora do wyższego długofalowego zużycia energii oraz do przełożenia inwestycji na czas realizacji ogólnie bardziej korzystnych dla środowiska rozwiązań. Wymaga to wzięcia pod uwagę kwestii skutków przenoszenia zanieczyszczeń pomiędzy komponentami środowiska, zaś stosowne wytyczne, rachunek kosztów i kwestie stosunku kosztów do korzyści zawarto w dokumencie referencyjnym dotyczącym ekonomiki i wzajemnych powiązań pomiędzy różnymi komponentami środowiska ("cross-media effects") [156, EC 2006] oraz w dokumencie referencyjnym dotyczącym efektywności energetycznej [124, WE 2008].

Efekty wzajemnych powiązań pomiędzy różnymi komponentami środowiska

Brak zgłoszonych przypadków. Systematyczna analiza początkowych skutków dla środowiska oraz pola do udoskonalenia w kontekście EMS stanowi podstawę oceny najlepszych rozwiązań dla wszystkich komponentów.

Techniczne aspekty zastosowania

Komponenty opisane powyżej mogą być zastosowane wobec wszystkich zakładów zawartych w niniejszym dokumencie. Zakres (np. poziom szczegółowości) i rodzaj systemu zarządzania środowiskowego (np. oparty o normy czy nie) będą zasadniczo odnosić się do charakteru, skali i złożoności instalacji oraz do zasięgu oddziaływania takiej instalacji na środowisko.

Wdrażanie systemu zarządzania środowiskowego, zgodnie z wytycznymi ISO 14001, względem kilku z pośród instalacji przemysłu szklarskiego, okazało się być dobrym narzędziem określania wytycznych przedsiębiorstwa odnośnie kwestii takich jak:

- ukierunkowanie wszystkich pracowników na właściwe zadania;
- ustanowienie organizacji zakładu, w obrębie której wszelkie zadania i obowiązki względem każdej z funkcji są jasno wyznaczone;
- definiowanie procesów produkcyjnych tak, aby wszyscy mogli się do nich stosować;

- przyjęcie systemu kontroli, który pozwoli wykrywać usterki i anomalie oraz naprawiać je w sposób rzetelny, wdrażanie systemu, który poprawi wydajność zakładu poprzez określanie i realizację konkretnych celów.

Uwarunkowania finansowe

Trudno jest określić dokładnie koszty i korzyści ekonomiczne wprowadzenia i utrzymania dobrego EMS. Istnieją również korzyści ekonomiczne, które stanowią rezultat zastosowania EMS i które różnią się istotnie w poszczególnych sektorach.

Koszty zewnętrzne dotyczące weryfikacji systemu mogą być szacowane w oparciu o wytyczne wydane przez Międzynarodowe Forum Akredytacji [182, IAF 2010].

Przesłanki do wdrożenia

Do podstaw wdrożenia EMS należy:

- lepsza efektywność środowiskowa
- lepsze zrozumienie aspektów środowiskowych przedsiębiorstwa, co może zostać wykorzystane na rzecz spełnienia wymogów środowiskowych klientów, organów regulacyjnych, banków, firm ubezpieczeniowych lub innych zainteresowanych stron (np. osób mieszkających lub pracujących w okolicy instalacji);
- lepsza podstawa procesu decyzyjnego
- lepsza motywacja personelu (np. kierownicy mogą zyskać pewność, że skutki dla środowiska są kontrolowane, a pracownicy mogą poczuć, że pracują dla firmy dbającej o środowisko);
- dodatkowe możliwości redukcji kosztów operacyjnych i poprawy jakości towarów;
- lepszy obraz firmy
- ograniczona odpowiedzialność, ubezpieczenie i koszty braku

zgodności.

Przykładowe zakłady

EMS są stosowane w szeregu instalacji w UE.

Za przykład mogą posłużyć wszystkie zakłady wyrobu szkła metodą *float* należące do AGC Flat Glass Europe, Pilkington/NSG i Saint-Gobain, które posiadają certyfikaty lub będą autoryzowane pod kątem ISO 14001. Firmy te stanowią część dużych międzynarodowych grup zajmujących się działalnością ogólnoswiatową, więc preferują raczej standard ISO 14001 niż swoisty dla Europy EMAS.

Inne europejskie instalacje produkujące szkło opakowaniowe, włókna szklane ciągłe, wełnę mineralną, fryty szklane, etc. objęte są certyfikatem ISO 14001 lub zarejestrowane w EMAS (np. Rockwool Denmark, OCV, Saint-Gobain ISOVER, Saint-Gobain Mondego, etc).

Bibliografia

Rozporządzenie EMAS (WE) nr 1221/2009 [181, rozp. 1221/2009]. Strona internetowa EMAS DG ds. Środowiska [180, DG ds. Środowiska 2010]. EN ISO 14001: 2004 [179, ISO 2004].

5 KONKLUZJE DOTYCZĄCE BAT W ODNIESIENIU DO PRODUKCJI SZKŁA

ZAKRES

Niniejsze konkluzje dotyczące BAT odnoszą się do następujących rodzajów działalności wymienionych w załączniku I do dyrektywy 2010/75/UE:

- 3.3. wytwarzanie szkła, łącznie z włóknem szklanym, z wydajnością przetopu przekraczającą 20 ton dziennie;
- 3.4. wytop substancji mineralnych, łącznie z produkcją włókien mineralnych, o wydajności przekraczającej 20 ton dziennie.

Niniejsze konkluzje dotyczące BAT nie odnoszą się do następujących rodzajów działalności:

- produkcja szkła wodnego, objęta dokumentem referencyjnym dotyczącym wytwarzania wielkotonażowych chemikaliów nieorganicznych (substancje stałe i inne (LVIC-S));
- produkcja wełny polikrystalicznej;
- produkcja luster, objęta dokumentem referencyjnym dotyczącym obróbki powierzchniowej z wykorzystaniem rozpuszczalników organicznych (STS).

Poniżej wymieniono inne dokumenty referencyjne, które są istotne dla rodzajów działalności objętych niniejszymi konkluzjami dotyczącymi BAT.

Dokumenty referencyjne	Rodzaj działalności
Emisje z miejsc magazynowania (EFS)	Magazynowanie i przygotowanie surowców
Efektywność energetyczna (ENE)	Ogólna efektywność energetyczna
Ekonomia i efekty wzajemnych powiązań pomiędzy różnymi komponentami środowiska (ECM)	Ekonomia technik i efekty ich wzajemnych powiązań w odniesieniu do różnych komponentów środowiska
Ogólne zasady monitorowania (MON)	Monitorowanie emisji i zużycia

Techniki wymienione i opisane w niniejszych konkluzjach dotyczących BAT nie mają ani nakazowego, ani wyczerpującego charakteru. Dopuszcza się stosowanie innych technik, o ile zapewniają co najmniej równoważny poziom ochrony środowiska.

DEFINICJE

Do celów niniejszych konkluzji dotyczących BAT zastosowanie mają następujące definicje:

Stosowany termin	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 dotyczących BAT.
Istniejąca instalacja	Instalacja, która nie jest nową instalacją.
Nowy piec	Piec uruchomiony na terenie instalacji po opublikowaniu niniejszych konkluzji dotyczących BAT lub całkowita przebudowa pieca po opublikowaniu niniejszych konkluzji dotyczących BAT.
Normalna przebudowa pieca	Przebudowa między cyklami produkcyjnymi bez istotnych zmian w wymaganiach lub technologii pieca oraz w wyniku której konstrukcja pieca nie zostaje zmodyfikowana w znaczący sposób, a jego wymiary pozostają zasadniczo niezmienione. Wykładzina ogniotrwała pieca oraz, w stosowanych przypadkach, komory regeneratora podlegają naprawie polegającej na pełnej lub częściowej wymianie materiału.
Całkowita przebudowa pieca	Przebudowa polegająca na wprowadzeniu poważnych zmian w wymaganiach lub technologii pieca, obejmująca znaczne dostosowanie lub wymianę pieca oraz powiązanego wyposażenia.

INFORMACJE OGÓLNE

Okresy uśredniania i warunki referencyjne dla emisji do powietrza

O ile nie określono inaczej, odpowiadające najlepszym dostępnym technikom poziomy emisji (BAT-AEL) do powietrza podane w niniejszych konkluzjach dotyczących BAT mają zastosowanie w warunkach referencyjnych przedstawionych w tabeli 5.1. Wszystkie wartości stężeń w gazach odlotowych odnoszą się do warunków standardowych: gaz suchy, temperatura 273,15 K, ciśnienie 101,3 kPa.

Pomiary nieciągłe	BAT-AEL odnoszą się do średniej wartości trzech próbek punktowych, z których każda jest pobierana przez co najmniej 30 minut; w przypadku pieców regeneracyjnych okres pomiaru powinien obejmować co najmniej dwukrotną zmianę kierunku opalania między komorami regeneratora.
Pomiary ciągłe	BAT-AEL odnoszą się do średnich wartości dobowych.

Tabela 5.1: Warunki referencyjne dla odpowiadających BAT poziomów emisji do powietrza

	Rodzaje działalności	Jednostka	Warunki referencyjne
Rodzaje działalności związane z topieniem	Tradycyjny piec do topienia w przypadku instalacji o działaniu ciągłym	mg/Nm ³	8 % obj. tlenu
	Tradycyjny piec do topienia w przypadku instalacji o działaniu nieciągłym	mg/Nm ³	13 % obj. tlenu
	Piece tlenowo-paliwowe	kg/t wytopionego szkła	Przeliczanie poziomów emisji mierzonych w mg/Nm ³ na referencyjne stężenie tlenu nie ma zastosowania.
	Piece elektryczne	mg/Nm ³ lub kg/tonę wytopionego szkła	Przeliczanie poziomów emisji mierzonych w mg/Nm ³ na referencyjne stężenie tlenu nie ma zastosowania.
	Piece do topienia fryt	mg/Nm ³ lub kg/tonę wytopionych fryt	Stężenia odnoszą się do 15 % obj. tlenu. Jeżeli stosuje się opalanie mieszkanką powietrzno-gazową, zastosowanie mają BAT-AEL wyrażone jako stężenie emisji (mg/Nm ³). Jeżeli stosuje się tylko opalanie mieszkanką tlenowo-paliwową, zastosowanie mają BAT-AEL wyrażone jako jednostkowe emisje masowe (kg/tonę wytopionych fryt). Jeżeli stosuje się tylko opalanie mieszkanką powietrzno-paliwową wzbogaconą tlenem, zastosowanie mają BAT-AEL wyrażone jako stężenie emisji (mg/Nm ³) lub jako jednostkowe emisje masowe (kg/tonę wytopionych fryt).
	Wszystkie typy pieców	kg/t wytopionego szkła	Jednostkowe emisje masowe odnoszą się do jednej tony wytopionego szkła.
Rodzaje działalności niezwiązane z topieniem, w tym procesy końcowe	Wszystkie procesy	mg/Nm ³	W odniesieniu do tlenu korekta nie ma zastosowania.
	Wszystkie procesy	kg/tonę szkła	Jednostkowe emisje masowe odnoszą się do jednej tony wytworzonego szkła.

Przeliczanie na referencyjne stężenie tlenu

Poniżej przedstawiono wzór na obliczenie stężenia emisji przy referencyjnym poziomie tlenu (zob. tabela 5.1).

$$E_R = \frac{21 - O_R}{21 - O_M} * E_M$$

gdzie:

E_R (mg/Nm³): stężenie emisji skorygowane względem referencyjnego poziomu tlenu O_R ;

O_R (vol %): referencyjny poziom tlenu;

E_M (mg/Nm³): stężenie emisji w odniesieniu do mierzonego poziomu tlenu O_M ;

O_M (vol %): mierzony poziom tlenu.

Przeliczanie stężeń na jednostkowe emisje masowe

Odpowiadające BAT poziomy emisji podane w pkt 5.2-5.9 jako jednostkowe emisje masowe (kg/tonę wytopionego szkła) opierają się na przedstawionym poniżej obliczeniu, z wyjątkiem pieców opalanych mieszanką tlenowo-paliwową oraz, w ograniczonej liczbie przypadków, topienia elektrycznego, dla którego BAT-AEL podane w kg/tonę wytopionego szkła określono na podstawie określonych przekazanych danych.

Poniżej przedstawiono metodę obliczania stosowaną przy przeliczaniu stężeń na jednostkowe emisje masowe.

Jednostkowa emisja masowa (kg/tonę wytopionego szkła) = przelicznik \times stężenie emisji (mg/Nm³)

gdzie: przelicznik = $(Q/P) \times 10^{-6}$,

przy czym Q = objętość gazów odlotowych wyrażona w Nm³/h,

P = wydajność pieca w tonach wytopionego szkła/h.

Objętość gazów odlotowych (Q) określa się na podstawie konkretnych poziomów zużycia energii, typu paliwa oraz utleniacza (powietrze, powietrze wzbogacone tlenem i tlen o czystości zależącej od procesu produkcji). Zużycie energii jest złożoną funkcją (głównie) typu pieca, typu szkła i procentowego udziału słuczki.

Na stosunek stężenia i jednostkowego przepływu masowego może jednak oddziaływać szereg czynników, w tym:

- typ pieca (temperatura wstępnego podgrzewania powietrza, technika topienia);
- rodzaj wytwarzanego szkła (zapotrzebowanie energetyczne na topienie);
- koszyk energetyczny (paliwo kopalne/dodatkové podgrzewanie elektryczne);
- rodzaj paliwa kopalnego (olej, gaz);
- rodzaj utleniacza (tlen, powietrze, powietrze wzbogacone tlenem);
- procentowy udział słuczki;
- skład zestawu;
- rok produkcji pieca;
- wielkość pieca.

Przy przeliczaniu BAT-AEL ze stężeń na jednostkowe emisje masowe zastosowano przeliczniki podane w tabeli 5.2.

Przeliczniki zostały określone na podstawie efektywności energetycznej pieców i odnoszą się tylko do pieców opalanych w 100 % mieszanką powietrzno-paliwową.

Tabela 5.2: Orientacyjne przeliczniki stosowane przy przeliczaniu mg/Nm^3 na $\text{kg}/\text{tonę}$ wytopionego szkła w oparciu o efektywność energetyczną

Sektory		Przeliczniki mg/Nm^3 na $\text{kg}/\text{tonę}$ wytopionego szkła
Szkło płaskie		$2,5 \times 10^{-3}$
Szkło opakowaniowe	Przypadek ogólny	$1,5 \times 10^{-3}$
	Przypadki szczególne ⁽¹⁾	Badanie poszczególnych przypadków (często $3,0 \times 10^{-3}$)
Włókno szklane ciągle		$4,5 \times 10^{-3}$
Szkło gospodarcze	Sodowo-wapniowe	$2,5 \times 10^{-3}$
	Przypadki szczególne ⁽²⁾	Badanie poszczególnych przypadków (od $2,5$ do $>10 \times 10^{-3}$; często $3,0 \times 10^{-3}$)
Wełna mineralna	Wełna szklana	2×10^{-3}
	Piec szybowy do produkcji wełny skalnej	$2,5 \times 10^{-3}$
Szkło specjalne	Szkło telewizyjne (panele)	3×10^{-3}
	Szkło telewizyjne (stożek)	$2,5 \times 10^{-3}$
	Szkło borokrzemowe (rura)	4×10^{-3}
	Tworzywo szklano-ceramiczne	$6,5 \times 10^{-3}$
	Szkło oświetleniowe (sodowo-wapniowe)	$2,5 \times 10^{-3}$
Fryty		Badanie poszczególnych przypadków (od 5 do $7,5 \times 10^{-3}$)

⁽¹⁾ Przypadki szczególne odnoszące się do mniej korzystnych przypadków (tj. małych specjalistycznych pieców o wydajności produkcji zasadniczo mniejszej niż 100 ton dziennie przy procentowym udziale słuczki poniżej 30 %). Kategoria ta stanowi tylko 1 % lub 2 % produkcji szkła opakowaniowego.

⁽²⁾ Przypadki szczególne odnoszące się do mniej korzystnych przypadków lub szkła innego niż sodowo-wapniowe – szkła borokrzemowego, tworzywa szklano-ceramicznego, szkła kryształowego oraz rzadziej – kryształu ołowiowego.

DEFINICJE NIEKTÓRYCH CZYNNIKÓW ZANIECZYSZCZENIA POWIETRZA

Do celów niniejszych konkluzji dotyczących BAT oraz BAT-AEL przedstawionych w pkt 5.2-5.9 zastosowanie mają następujące definicje:

NO_x wyrażone jako NO_2	Suma tlenku azotu (NO) i dwutlenku azotu (NO_2) wyrażona jako NO_2 .
SO_x wyrażone jako SO_2	Suma dwutlenku siarki (SO_2) i trójtlenku siarki (SO_3) wyrażona jako SO_2 .
Chlorowódor wyrażony jako HCl	Wszystkie chlorki gazowe wyrażone jako HCl.
Fluorowódor wyrażony jako HF	Wszystkie fluorki gazowe wyrażone jako HF.

OKRESY UŚREDNIANIA DLA ZRZUTÓW ŚCIEKÓW

O ile nie określono inaczej, odpowiadające najlepszym dostępnym technikom poziomy emisji (BAT-AEL) ścieków podane w niniejszych konkluzjach dotyczących BAT odnoszą się do średniej wartości próbki złożonej, pobieranej przez okres dwóch lub 24 godzin.

5.1 Ogólne konkluzje dotyczące BAT dla produkcji szkła

O ile nie stwierdzono inaczej, konkluzje dotyczące BAT przedstawione w niniejszym punkcie mogą być stosowane w odniesieniu do wszystkich instalacji.

Oprócz ogólnych BAT, o których mowa w niniejszym punkcie, zastosowanie mają BAT dotyczące określonego procesu technologicznego zawarte w pkt 5.2-5.9.

5.1.1 Systemy zarządzania środowiskowego

1. BAT mają na celu wdrażanie i przestrzeganie systemu zarządzania środowiskowego zawierającego w sobie wszystkie następujące cechy:

- i. zaangażowanie ścisłego kierownictwa, w tym kadry kierowniczej wyższego szczebla;
- ii. określenie polityki ochrony środowiska, która obejmuje ciągle doskonalenie instalacji przez ścisłe kierownictwo;
- iii. planowanie i ustalenie niezbędnych procedur, celów i zadań w powiązaniu z planami finansowymi i inwestycjami;
- iv. wdrożenie procedur ze szczególnym uwzględnieniem:
 - (a) struktury i odpowiedzialności,
 - (b) szkoleń, świadomości i kompetencji,
 - (c) komunikacji,
 - (d) zaangażowania pracowników,
 - (e) dokumentacji;
 - (f) wydajnej kontroli procesu,
 - (g) programu utrzymania ruchu,
 - (h) gotowości na sytuacje awaryjne i reagowania na nie,
 - (i) zapewnienia zgodności z przepisami dotyczącymi środowiska;
- v. sprawdzanie efektywności i podejmowanie działań korygujących, ze szczególnym uwzględnieniem:
 - (a) monitorowania i pomiarów (zob. też dokument referencyjny BAT dotyczący ogólnych zasad monitorowania),
 - (b) działań korygujących i zapobiegawczych,
 - (c) prowadzenia zapisów,
 - (d) niezależnego (jeżeli jest to możliwe) audytu wewnętrznego i zewnętrznego w celu określenia, czy system zarządzania środowiskowego jest zgodny z zaplanowanymi ustaleniami oraz czy jest właściwie wdrożony i utrzymywany;
- vi. przegląd systemu zarządzania środowiskowego przeprowadzony przez ścisłe kierownictwo pod kątem stałej przydatności systemu, jego prawidłowości i skuteczności;
- vii. wymóg podążania za rozwojem czystszych technologii;
- viii. uwzględnienie – na etapie projektowania nowego obiektu i przez cały okres jego eksploatacji – skutków dla środowiska wynikających z ostatecznego wycofania instalacji z eksploatacji;
- ix. regularne stosowanie sektorowej analizy porównawczej.

Możliwość zastosowania

Zakres (np. poziom szczegółowości) i rodzaj systemu zarządzania środowiskowego (np. oparty o normy czy nie) będą zasadniczo odnosić się do charakteru, skali i złożoności instalacji oraz do zasięgu oddziaływania takiej instalacji na środowisko.

5.1.2 Efektywność energetyczna

2. BAT mają na celu ograniczenie konkretnych poziomów zużycia energii poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

Technika	Możliwość zastosowania
i. optymalizacja procesu dzięki kontroli parametrów eksploatacyjnych;	Techniki mają ogólne zastosowanie.
ii. regularna konserwacja pieca do topienia;	
iii. optymalizacja konstrukcji pieca oraz dobór technik topienia;	Przedmiotowa technika ma zastosowanie w nowych instalacjach. W przypadku istniejących instalacji wdrożenie wymaga całkowitej przebudowy pieca.
iv. stosowanie technik kontroli spalania;	Technika ta ma zastosowanie do pieców opalanych mieszanką paliwowo-powietrzną i tlenowo-paliwową.
v. stosowanie coraz większych ilości słuczki, jeżeli jest ona dostępna oraz jeżeli rozwiązanie to jest technicznie i ekonomicznie uzasadnione;	Technika ta nie ma zastosowania w sektorze produkcji włókna szklanego ciągłego, wysokotemperaturowej wełny izolacyjnej (HTIW) oraz fryt.
vi. użycie kotła odzysknicowego do odzysku energii, jeżeli jest to technicznie i ekonomicznie uzasadnione;	Technika ta ma zastosowanie do pieców opalanych mieszanką paliwowo-powietrzną i tlenowo-paliwową. Możliwość zastosowania i rentowność przedmiotowej techniki zależą od ogólnej efektywności, jaką można osiągnąć, w tym od efektywnego wykorzystania wygenerowanej pary wodnej.
vii. stosowanie wstępnego podgrzewania zestawu i słuczki, jeżeli jest to technicznie i ekonomicznie uzasadnione.	Technika ta ma zastosowanie do pieców opalanych mieszanką paliwowo-powietrzną i tlenowo-paliwową. Możliwość zastosowania jest normalnie ograniczona do składów zestawów, w których słuczka stanowi więcej niż 50 %.

5.1.3 Magazynowanie i przygotowanie surowców

3. BAT mają na celu zapobieganie rozproszonym emisjom pyłu magazynowania i przygotowania materiałów stałych lub, jeżeli jest to niemożliwe, redukcję tych emisji poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

I. Magazynowanie surowców

- i. przechowywanie sproszkowanych materiałów luzem w zamkniętych silosach wyposażonych w układ odpylający (np. filtr tkaninowy);
- ii. przechowywanie miążkich materiałów w zamkniętych pojemnikach lub szczelnie zamkniętych workach;
- iii. przechowywanie pylących gruboziarnistych materiałów w przykrytych stosach;
- iv. wykorzystywanie pojazdów do czyszczenia dróg oraz stosowanie technik zwilżania wodą.

II. Przygotowanie surowców

Technika	Możliwość zastosowania
i. w przypadku materiałów przemieszczanych nad podłożem stosowanie zamkniętych przenośników, aby uniknąć strat materiału;	Techniki mają ogólne zastosowanie.
ii. w przypadku transportu pneumatycznego stosowanie zamkniętego układu wyposażonego w filtr do czyszczenia powietrza wykorzystywanego do transportu pneumatycznego przed jego uwolnieniem do atmosfery;	

iii. zwilżanie zestawu;	Stosowanie tej techniki jest ograniczone ze względu na negatywne skutki dla efektywności energetycznej pieca. Ograniczenia mogą mieć zastosowanie do niektórych składów zestawu, w szczególności w przypadku produkcji szkła borokrzemowego.
iv. stosowanie niewielkiego podciśnienia wewnątrz pieca;	Technika ta ma zastosowanie tylko jako nieodłączny element eksploatacji (tj. w przypadku pieców do topienia do produkcji fryt) ze względu na negatywny wpływ na efektywność energetyczną pieca.
v. stosowanie surowców, które nie powodują zjawisk rozpadu (głównie dolomitu i wapienia). Zjawiska te polegają na skrzypieniu (skwierczeniu) minerałów wystawionych na działanie wysokich temperatur przy powiązanych możliwym wzroście poziomu emisji pyłu;	Technika ta jest stosowana przy ograniczeniach związanych z dostępnością surowców.
vi. zastosowanie systemu wyciągowego, który odprowadza zanieczyszczenia do systemu filtracji, w procesach, w przypadku których występuje prawdopodobieństwo wytworzenia pyłu (takich jak otwieranie worków, mieszanie zestawu do produkcji fryt, usuwanie pyłu z filtra tkaninowego, proces topienia w piecach z zimnym końcem);	Techniki mają ogólne zastosowanie.
vii. stosowanie zamkniętych zasilaczy ślimakowych;	
viii. obudowane kieszenie zasypowe.	Technika ma ogólne zastosowanie. Niezbędne może okazać się chłodzenie, aby uniknąć uszkodzenia urządzeń.

4. BAT mają na celu zapobieganie rozproszonym emisjom gazów z magazynowania i przygotowania surowców w postaci lotnej bądź, jeżeli jest to niemożliwe, redukcję tych emisji poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

- i. pokrywanie zbiorników farbą o niskiej absorpcji promieniowania słonecznego w przypadku przechowywania luzem, jeżeli na warunki składowania wpływają zmiany temperatury wywołane działaniem promieniowania słonecznego;
- ii. kontrolowanie temperatury przy składowaniu surowców w postaci lotnej;
- iii. izolacja zbiorników do składowania surowców w postaci lotnej;
- iv. zarządzanie zapasami;
- v. stosowanie zbiorników z pływającą pokrywą w przypadku składowania dużych ilości lotnych produktów naftowych;
- vi. stosowanie systemów transportu z urządzeniami zawracającymi dla oparów w przypadku przemieszczania lotnych cieczy (np. z samochodu cysterny do zbiornika magazynowego);
- vii. stosowanie zbiorników o sklepieniach przeponowych w przypadku składowania surowców ciekłych;
- viii. stosowanie zaworów ciśnieniowo-próżniowych w zbiornikach, których konstrukcja jest odporna na wahania ciśnienia;
- ix. odpowiednie postępowanie z emisjami (np. adsorpcja, absorpcja, kondensacja) w przypadku składowania materiałów niebezpiecznych;
- x. stosowanie wypełnienia podpowierzchniowego w przypadku składowania cieczy, które się łatwo pienią.

5.1.4 Podstawowe techniki ogólne

- 5. BAT mają na celu zmniejszenie zużycia energii i redukcję emisji do powietrza dzięki prowadzeniu stałego monitorowania parametrów eksploatacyjnych oraz zaplanowanej konserwacji pieca do topienia**

Przedmiotowa technika obejmuje szereg czynności z zakresu monitorowania i konserwacji – które można realizować oddzielnie lub w kombinacji odpowiedniej dla typu pieca, aby ograniczyć do minimum efekty starzenia się pieca – takich jak uszczelnienie pieca i bloków palnikowych, utrzymywanie maksymalnej izolacji, kontrolowanie stabilności płomienia, kontrolowanie stosunku paliwa do powietrza itp.	Technika ta może być stosowana w przypadku pieców regeneracyjnych, rekuperacyjnych oraz pieców opalanych mieszkanką tlenowo-paliwową. Możliwość zastosowania w przypadku pieców innego typu zależy od oceny poszczególnych instalacji.
---	---

6. BAT mają na celu przeprowadzanie dokładnej selekcji i kontroli wszystkich substancji i surowców wprowadzanych do pieca do topienia, aby zredukować emisje do powietrza lub im zapobiec poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

Technika	Możliwość zastosowania
stosowanie surowców i stłuczki obcej o niskim poziomie zanieczyszczeń (np. metalami, chlorkami, fluorkami);	Technika ta ma zastosowanie przy ograniczeniach związanych z rodzajem szkła produkowanego w instalacji oraz dostępnością surowców i paliw.
stosowanie surowców alternatywnych (np. mniej lotnych);	
stosowanie paliw o niskim poziomie zanieczyszczenia metalami.	

7. BAT mają na celu prowadzenie regularnego monitorowania emisji lub innych odpowiednich parametrów procesu, w tym:

Technika	Możliwość zastosowania
i. stałe monitorowanie parametrów najważniejszych procesów, aby zapewnić stabilność procesów, w tym np. temperatury, podawania paliwa i przepływu powietrza;	Techniki mają ogólne zastosowanie.
ii. regularne monitorowanie parametrów procesu, aby zapobiec zanieczyszczeniom, np. zawartości O ₂ spalanych gazów w celu kontrolowania stosunku paliwa do powietrza, lub je zredukować;	
iii. prowadzenie ciągłych pomiarów pyłu, emisji NO _x i SO ₂ lub pomiarów nieciągłych co najmniej dwa razy w roku, w ramach kontroli parametrów zastępczych, aby zapewnić właściwe działanie układu oczyszczania między pomiarami;	
iv. prowadzenie ciągłych pomiarów lub regularnych okresowych pomiarów emisji NH ₃ , jeżeli stosowana jest technika selektywnej redukcji katalitycznej (SCR) lub selektywnej redukcji niekatalitycznej (SNCR);	Techniki te mają zastosowanie w przypadku tradycyjnych pieców do topienia opalanych mieszkanką powietrzno-paliwową.
v. prowadzenie ciągłych pomiarów lub regularnych okresowych pomiarów emisji CO, jeżeli w celu redukcji emisji NO _x stosuje się techniki podstawowe lub techniki chemicznej redukcji paliwem lub może wystąpić spalanie częściowe;	
vi. prowadzenie regularnych okresowych pomiarów emisji HCl, HF, CO oraz metali, szczególnie jeżeli stosowane są surowce zawierające takie substancje lub może wystąpić spalanie częściowe;	Techniki mają ogólne zastosowanie.
vii. stałe monitorowanie parametrów zastępczych, aby zapewnić odpowiednie działanie układu oczyszczania gazu odlotowego oraz utrzymanie poziomów emisji między pomiarami nieciągłymi. Monitorowane parametry zastępcze obejmują: doprowadzanie odczynników, temperaturę, doprowadzanie wody, napięcie, usuwanie pyłu, prędkość obrotów wentylatora itp.	

8. BAT mają na celu eksploataowanie układów oczyszczania gazu odlotowego w normalnych warunkach eksploatacji przy optymalnej efektywności i dostępności, aby zapobiec emisjom lub je zredukować

Możliwość zastosowania

W odniesieniu do szczególnych warunków eksploatacji można określić specjalne procedury, w szczególności:

- i. w trakcie rozruchu i wyłączenia;
- ii. w trakcie innych specjalnych czynności, które mogłyby mieć wpływ na właściwe funkcjonowanie układów (np. regularnej i nadzwyczajnej konserwacji oraz czyszczenia pieca lub układu oczyszczania gazu odlotowego bądź poważnej zmiany procesu produkcji);
- iii. w przypadku niewystarczającego przepływu gazu odlotowego lub zbyt niskiej temperatury, które uniemożliwiają eksploataowanie układu przy pełnej efektywności.

9. BAT mają na celu ograniczenie emisji tlenku węgla (CO) z pieców do topienia, jeżeli w celu redukcji emisji NO_x stosuje się techniki podstawowe lub chemiczną redukcję paliwem

Technika	Możliwość zastosowania
<p>Podstawowe techniki redukcji emisji NO_x opierają się na modyfikacjach procesu spalania (np. zmniejszeniu stosunku powietrza do paliwa, stosowaniu palników o niskiej emisji NO_x do spalania etapowego itp.). Chemiczna redukcja paliwem polega na dodawaniu węglowodorowego paliwa do strumienia gazów odlotowych, aby ograniczyć NO_x powstały w piecu.</p> <p>Wzrost emisji CO spowodowany zastosowaniem powyższych technik można ograniczyć dzięki dokładnej kontroli parametrów eksploatacyjnych.</p>	<p>Techniki te mają zastosowanie w przypadku tradycyjnych pieców opalanych mieszkanką powietrzno-paliwową.</p>

Tabela 5.3 Odpowiadające BAT poziomy emisji tlenku węgla z pieców do topienia

Parametr	BAT-AEL
Tlenek węgla wyrażony jako CO	<100 mg/Nm ³

10. BAT mają na celu redukcję emisji amoniaku (NH₃), jeżeli w celu wysoko efektywnej redukcji emisji NO_x stosuje się technikę selektywnej redukcji katalitycznej (SCR) lub selektywnej redukcji niekatalitycznej (SNCR)

Technika	Możliwość zastosowania
<p>Przedmiotowa technika polega na ustaleniu i utrzymaniu odpowiednich warunków eksploatacji układów oczyszczania gazu odlotowego przy użyciu techniki SCR lub SNCR, aby zredukować emisje nieprzereagowanego amoniaku.</p>	<p>Technika ta ma zastosowanie w przypadku pieców do topienia wyposażonych w funkcję SCR lub SNCR.</p>

Tabela 5.4: Odpowiadające BAT poziomy emisji amoniaku przy zastosowaniu techniki SCR lub SNCR.

Parametr	BAT-AEL ⁽¹⁾
Amoniak wyrażony jako NH ₃	<5 - 30 mg/Nm ³
<p>⁽¹⁾ Wyższe poziomy są związane z wyższymi stężeniami wejściowymi NO_x, większym tempem redukcji oraz starzeniem się katalizatora.</p>	

11. BAT mają na celu redukcję emisji boru z pieca do topienia, jeżeli do sporządzania zestawu wykorzystywane są związki boru, poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

Technika ⁽¹⁾	Możliwość zastosowania
i. praca systemu filtracji przy odpowiedniej temperaturze, aby zwiększyć efektywność oddzielania związków boru w stanie stałym, przy uwzględnieniu, że niektóre rodzaje kwasu borowego mogą występować w spalinach jako związki gazowe przy temperaturach poniżej 200 °C, ale również tak niskich jak 60 °C;	Możliwość zastosowania w istniejących instalacjach może być ograniczona względami natury technicznej związanymi z umiejscowieniem i parametrami istniejącego systemu filtracji.
ii. stosowanie oczyszczania suchego lub półsuchego w połączeniu z systemem filtracji;	Możliwość zastosowania może być ograniczona ze względu na zmniejszoną efektywność usuwania innych zanieczyszczeń gazowych (SO _x , HCl, HF), spowodowaną wytrącaniem się związków boru na powierzchni suchego odczynnika alkalicznego.
iii. stosowanie płuczki wodnej.	Możliwość zastosowania w istniejących instalacjach może być ograniczona ze względu na konieczność użycia konkretnej techniki oczyszczania ścieków.
⁽¹⁾ Opis przedmiotowych technik przedstawiono w pkt 5.10.1, 5.10.4 oraz 5.10.6.	

Monitorowanie

Monitorowanie emisji boru należy prowadzić zgodnie z konkretną metodyką, umożliwiającą dokonywanie pomiarów emisji w postaci substancji stałych i gazów oraz określenie skutecznego usuwania tych substancji ze spalin.

5.1.5 Emisje do wody z procesów produkcji szkła

12. BAT mają na celu zmniejszenie zużycia wody poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

Technika	Możliwość zastosowania
i. ograniczenie do minimum wycieków i nieszczelności;	Technika ma ogólne zastosowanie.
ii. ponowne użycie wód chłodniczych i wód z czyszczenia po usunięciu zanieczyszczeń;	Technika ma ogólne zastosowanie. Recyrkulacja wody płuczkowej ma zastosowanie w prawie wszystkich układach czyszczących. Konieczne może okazać się jednak okresowe usuwanie i wymiana medium czyszczącego.
iii. eksploatacja układu doprowadzania wody o prawie zamkniętym obiegu, o ile jest to technicznie i ekonomicznie uzasadnione.	Możliwość zastosowania tej techniki może być ograniczona względami związanymi z zarządzaniem bezpieczeństwem procesu produkcji. W szczególności: <ul style="list-style-type: none"> • otwarty obieg chłodzenia może być stosowany, jeżeli jest to konieczne ze względów bezpieczeństwa (np. prawdopodobieństwo wypadków, podczas których muszą zostać schłodzone duże ilości szkła); • może okazać się konieczne całkowite lub częściowe odprowadzenie wody wykorzystanej w niektórych określonych procesach (np. końcowych procesach produkcji włókna szklanego ciągłego, polerowania kwasem w działach produkcji szkła gospodarczego i specjalnego) do układu oczyszczania ścieków.

13. BAT mają na celu redukcję ładunku emisji zanieczyszczeń w zrzutach ścieków poprzez zastosowanie jednego z następujących systemów oczyszczania ścieków lub ich kombinacji:

Technika	Możliwość zastosowania
i. standardowe techniki kontroli zanieczyszczeń, takie jak osadzanie, ekranowanie, zbieranie zanieczyszczeń, neutralizacja, filtracja, napowietrzanie, strącanie, koagulacja i flokulacja itp. Standardowe, określone w dobrych praktykach techniki kontroli emisji z magazynowania ciekłych surowców i półproduktów, obejmujące obudowy, kontrolowanie/testowanie zbiorników, ochronę przed przepełnieniem itp.;	Techniki mają ogólne zastosowanie.
ii. układy oczyszczania biologicznego, takie jak układy oparte na procesie osadu czynnego, biofiltracji, aby usunąć związki organiczne;	Możliwość zastosowania jest ograniczona do sektorów, w których w procesie produkcji wykorzystuje się substancje organiczne (np. sektor włókna szklanego ciągłego i wełny mineralnej).
iii. odprowadzanie do oczyszczalni ścieków komunalnych;	Technika ta ma zastosowanie w przypadku instalacji wymagających dodatkowej redukcji zanieczyszczeń.
iv. ponowne zewnętrzne wykorzystanie ścieków.	Możliwość zastosowania jest zasadniczo ograniczona do sektora produkcji fryt (możliwe ponowne wykorzystanie w przemyśle ceramicznym).

Tabela 5.5: Odpowiadające BAT poziomy emisji dotyczące zrzutów ścieków pochodzących z procesu produkcji szkła do wód powierzchniowych

Parametr ⁽¹⁾	Jednostka	BAT-AEL ⁽²⁾ (próbka złożona)
pH	-	6,5-9
Zawiesina ogółem	mg/l	<30
Chemiczne zapotrzebowanie na tlen (ChZT)	mg/l	<5 - 130 ⁽³⁾
Siarczany wyrażone jako SO ₄ ²⁻	mg/l	<1000
Fluorki wyrażone jako F	mg/l	<6 ⁽⁴⁾
Węglowodory ogółem	mg/l	<15 ⁽⁵⁾
Ołów wyrażony jako Pb	mg/l	<0,05 - 0,3 ⁽⁶⁾
Antymon wyrażony jako Sb	mg/l	<0,5
Arsen wyrażony jako As	mg/l	<0,3
Bar wyrażony jako Ba	mg/l	<3,0
Cynk wyrażony jako Zn	mg/l	<0,5
Miedź wyrażona jako Cu	mg/l	<0,3
Chrom wyrażony jako Cr	mg/l	<0,3
Kadm wyrażony jako Cd	mg/l	<0,05
Cyna wyrażona jako Sn	mg/l	<0,5
Nikiel wyrażony jako Ni	mg/l	<0,5
Amoniak wyrażony jako NH ₄	mg/l	<10
Bor wyrażony jako B	mg/l	<1 - 3
Fenol	mg/l	<1

⁽¹⁾ Znaczenie zanieczyszczeń wymienionych w tabeli zależy od sektora przemysłu szklarskiego oraz od różnych rodzajów działalności prowadzonych w instalacji.

⁽²⁾ Poziomy odnoszą się do próbki złożonej pobieranej w czasie dwóch lub 24 godzin.

⁽³⁾ Dla sektora włókna szklanego ciągłego BAT-AEL wynoszą < 200 mg/l.

⁽⁴⁾ Poziom odnosi się do uzdatnionej wody pochodzącej z rodzajów działalności obejmujących polerowanie kwasem.

⁽⁵⁾ Zasadniczo węglowodory ogółem składają się z olejów mineralnych.

⁽⁶⁾ Wyższy poziom w ramach zakresu jest związany z końcowymi procesami produkcji kryształu ołowiowego.

5.1.6 Odpady z procesów produkcji szkła

14. BAT mają na celu zmniejszenie produkcji odpadów stałych przeznaczonych do unieszkodliwienia poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

Technika	Możliwość zastosowania
i. recykling odpadów z surowców szklarskich, jeżeli pozwalają na to wymogi jakościowe;	Możliwość zastosowania tej techniki może być ograniczona względami związanymi z jakością końcowego wyrobu ze szkła.
ii. ograniczenie do minimum strat materiałów w trakcie magazynowania i przygotowania surowców;	Technika ma ogólne zastosowanie.
iii. recykling stłuczki własnej z wybrakowanych wyrobów;	Zasadniczo technika ta nie ma zastosowania w sektorze produkcji włókna szklanego ciągłego, wysokotemperaturowej wełny izolacyjnej oraz fryt.
iv. recykling pyłu przy sporządzaniu zestawu, jeżeli pozwalają na to wymogi jakościowe;	Możliwość zastosowania tej techniki może być ograniczona ze względu na występowanie szeregu czynników, takich jak: <ul style="list-style-type: none">wymogi jakościowe dotyczące końcowego wyrobu ze szkła;udział procentowy stłuczki w składzie zestawu;możliwe zjawiska związane z przenoszeniem oraz korozją materiałów ogniotrwałych;ograniczenia związane z utrzymaniem równowagi siarkowej.
v. waloryzacja odpadów stałych lub szlamu dzięki odpowiedniemu użyciu na miejscu (np. osadów z uzdatniania wody) lub w innych gałęziach przemysłu;	Technika ma ogólne zastosowanie w sektorze szkła gospodarczego (w odniesieniu do szlamu polerskiego z kryształu ołowiowego) oraz w sektorze szkła opakowaniowego (drobne cząstki szkła zmieszane z olejem). Możliwość zastosowania tej techniki jest ograniczona w przypadku innych sektorów produkcji szkła ze względu na nieprzewidywalny skład i zanieczyszczenia, małe ilości i niską rentowność.
vi. waloryzacja materiałów ogniotrwałych pod koniec okresu eksploatacji w celu możliwego ich wykorzystania w innych gałęziach przemysłu;	Możliwość zastosowania tej techniki jest ograniczona wymogami producentów wyrobów ogniotrwałych i możliwych użytkowników końcowych.
vii. stosowanie brykietowania odpadów z użyciem cementu jako spoiwa w celu przeprowadzenia recyklingu w piecach szybowych z podgrzewaniem dmuchu, jeżeli pozwalają na to wymogi jakościowe.	Brykietowanie odpadów z użyciem cementu jako spoiwa ma zastosowanie tylko w sektorze produkcji wełny skalnej. Należy przyjąć podejście oparte na kompromisie między emisjami do powietrza a generowanym strumieniem odpadów stałych.

5.1.7 Hałas z procesów produkcji szkła

15. BAT mają na celu redukcję emisji hałasu poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

- i. przeprowadzanie oceny hałasu w środowisku oraz sporządzenie planu zarządzania hałasem dostosowanego do środowiska lokalnego;
- ii. zamknięcie hałaśliwych urządzeń lub przeprowadzanie procesów generujących hałas w wydzielonej strukturze/jednostce;
- iii. wykorzystywanie nasypów w celu ekranowania źródła hałasu;
- v. przeprowadzanie w ciągu dnia procesów generujących hałas realizowanych na wolnym powietrzu;
- vi. stosowanie barier dźwiękoszczelnych, w tym barier naturalnych (drzew, krzewów) między instalacją a obszarem chronionym, na podstawie warunków lokalnych.

5.2 Konkluzje dotyczące BAT dla wytwarzania szkła opakowaniowego

5.2.1 Emisje pyłu z pieców do topienia

16. BAT mają na celu redukcję emisji pyłu z gazów odlotowych z pieca do topienia poprzez zastosowanie systemu oczyszczania spalin, np. elektrofiltra lub filtra workowego.

Technika ⁽¹⁾	Możliwość zastosowania
Systemy oczyszczania spalin zaliczane do technik „końca rury” opierające się na filtracji wszystkich cząstek stałych w punkcie pomiaru.	Technika ma ogólne zastosowanie.
⁽¹⁾ Opis systemów filtracji (tj. elektrofiltra, filtra workowego) przedstawiono w pkt 5.10.1.	

Tabela 5.6: Odpowiadające BAT poziomy emisji pyłu z pieca do topienia w sektorze szkła opakowaniowego

Parametr	BAT-AEL	
	mg/Nm ³	kg/t wytopionego szkła ⁽¹⁾
Pył	<10 - 20	<0,015 – 0,06
⁽¹⁾ W celu wyznaczenia dolnej i górnej wartości zakresu zastosowano przeliczniki wynoszące odpowiednio $1,5 \times 10^{-3}$ i 3×10^{-3} .		

5.2.2 Tlenki azotu (NO_x) z pieców do topienia

17. BAT mają na celu redukcję emisji NO_x z pieca do topienia poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

I. Techniki pierwotne, takie jak:

Technika ⁽¹⁾	Możliwość zastosowania
i. Zmiany w procesie spalania	
(a) zmniejszenie stosunku powietrza do paliwa;	Dotyczy tradycyjnych pieców opalanych mieszanką powietrzno-paliwową. Pełne korzyści można uzyskać po przeprowadzeniu normalnej lub całkowitej przebudowy pieca przy jednoczesnej optymalizacji jego konstrukcji i geometrii.
(b) obniżona temperatura powietrza spalania;	Możliwe do zastosowania wyłącznie w warunkach określonych dla danej instalacji z uwagi na niższą wydajność pieca i zwiększone zapotrzebowanie na paliwo (tj. wykorzystanie pieców rekuperacyjnych zamiast pieców regeneracyjnych).
(c) spalanie etapowe: <ul style="list-style-type: none"> • stopniowanie powietrza, • stopniowanie paliwa; 	Stopniowanie paliwa można zastosować w przypadku większości tradycyjnych pieców opalanych mieszanką powietrzno-paliwową. Możliwość stopniowania powietrza jest bardzo ograniczona z uwagi na techniczną złożoność tej metody.
(d) recyrkulacja spalin;	Możliwość zastosowania tej techniki ogranicza się do wykorzystania specjalnych palników z automatyczną recyrkulacją gazu odlotowego.
(e) palniki niskoemisyjne (Low-NO _x);	Technika ma ogólne zastosowanie. Uzyskane korzyści dla środowiska są z reguły mniejsze w przypadku zastosowań odnoszących się do pieców poprzeczno-płomiennych opalanych gazem z uwagi na ograniczenia techniczne oraz mniejszą elastyczność tego rodzaju pieców. Pełne korzyści można uzyskać po przeprowadzeniu normalnej lub całkowitej przebudowy pieca przy

	jednoczesnej optymalizacji jego konstrukcji i geometrii.
(f) dobór paliwa;	Możliwość zastosowania techniki może być ograniczona względami związanymi z przydatnością poszczególnych rodzajów paliwa, na którą może mieć wpływ polityka energetyczna państwa członkowskiego.
ii. Specjalna konstrukcja pieca	Możliwość zastosowania ogranicza się do zestawów o dużej zawartości słuczki obcej (> 70 %). Stosowanie tej metody wymaga przeprowadzenia całkowitej przebudowy pieca do topienia. Kształt pieca (długi i wąski) może narzucać ograniczenia przestrzeni.
iii. Topienie elektryczne	Technika ta nie może być stosowana w przypadku wytwarzania szkła w dużych ilościach (> 300 ton/dobę). Technika ta nie może być stosowana w przypadku produkcji wymagającej dużej zmienności wydajności pieca. Wdrożenie techniki wymaga całkowitej przebudowy pieca.
iv. Topienie tlenowo-paliwowe	Maksymalne korzyści dla środowiska można osiągnąć po przeprowadzeniu całkowitej przebudowy pieca.
⁽¹⁾ Opis przedmiotowych technik przedstawiono w pkt 5.10.2.	

II. Techniki wtórne, takie jak:

Technika ⁽¹⁾	Możliwość zastosowania
i. selektywna redukcja katalityczna (SCR);	Zastosowanie tej techniki może wymagać modernizacji systemu redukcji emisji pyłu, aby zapewnić stężenie pyłu poniżej 10–15 mg/Nm ³ oraz systemu odsiarczania w celu wyeliminowania emisji SO _x . Ze względu na optymalny zakres temperatury operacyjnej możliwość zastosowania ogranicza się do przypadków, gdy stosowane są elektrofiltry. Na ogół technika ta nie jest stosowana w przypadku systemu filtrów workowych, ponieważ niska temperatura robocza w granicach 180–200 °C wymagałaby ponownego ogrzania gazów odlotowych. Wdrażanie tej techniki może wymagać dostępności dużej ilości miejsca.
ii. selektywna redukcja niekatalityczna (SNCR).	Technika ta ma zastosowanie w przypadku pieców rekuperacyjnych. Technika ta może być stosowana w bardzo ograniczonym zakresie w odniesieniu do konwencjonalnych pieców regeneracyjnych, w przypadku których trudno jest ocenić właściwy zakres temperatur i które nie pozwalają na dobre mieszanie spalin z reagentem. Technika ta może być stosowana w przypadku nowych pieców regeneracyjnych wyposażonych w dzielone komory regeneracyjne; zakres temperatur jest jednak trudny do utrzymania ze względu na zmianę kierunku opalania między komorami, która powoduje cykliczną zmianę temperatur.
⁽¹⁾ Opis przedmiotowych technik przedstawiono w pkt 5.10.2.	

Tabela 5.7: Odpowiadające BAT poziomy emisji NO_x z pieca do topienia w sektorze szkła opakowaniowego

Parametr	BAT	BAT-AEL	
		mg/Nm ³	kg/t wytopionego szkła ⁽¹⁾
NO _x wyrażone jako NO ₂	Zmiany w procesie spalania, specjalne konstrukcje pieca ⁽²⁾ ⁽³⁾	500 - 800	0,75 - 1,2
	Topienie elektryczne	<100	<0,3

	Topienie tlenowo-paliwowe ⁽⁴⁾	Nie dotyczy	<0,5 - 0,8
	Techniki wtórne	<500	<0,75

(¹) Zastosowano przelicznik podany w tabeli 5.2 dla przypadków ogólnych ($1,5 \times 10^{-3}$) z wyjątkiem topienia elektrycznego (przypadki szczególne: 3×10^{-3}).
(²) Wartości dolne odnoszą się do używania, w stosownych przypadkach, specjalnych konstrukcji pieca.
(³) Wartości te należy rozważyć ponownie przy okazji normalnej lub całkowitej przebudowy pieca do topienia.
(⁴) Poziomy możliwe do osiągnięcia zależą od jakości dostępnego gazu ziemnego i tlenu (zawartość azotu).

18. x

BAT-AEL przedstawiono w tabeli 5.7.

W tabeli 5.8 przedstawiono poziom emisji odpowiadający BAT w odniesieniu do przypadków, w których azotany są stosowane w zestawie na potrzeby krótkich cykli produkcyjnych lub pieców do topienia o wydajności < 100 t/dobę.

Technika ⁽¹⁾	Możliwość zastosowania
<p>Techniki pierwotne:</p> <ul style="list-style-type: none"> Ograniczenie do minimum stosowania azotanów w zestawie <p>Stosowanie azotanów dotyczy produktów o bardzo wysokiej jakości (tj. flakonów, butelek do perfum i pojemników na kosmetyki). Skutecznymi materiałami alternatywnymi są: siarczany, tlenki arsenu, tlenek ceru.</p> <p>Alternatywą dla stosowania azotanów jest wprowadzenie zmian w procesach (np. specjalnych warunków spalania utleniającego).</p>	<p>Możliwość zastąpienia azotanów w zestawie może być ograniczona wysokimi kosztami lub większym oddziaływaniem materiałów alternatywnych na środowisko.</p>

(¹) Opis przedmiotowych technik przedstawiono w pkt 5.10.2.

Tabela 5.8: Odpowiadające BAT poziomy emisji NO_x z pieca do topienia w sektorze szkła opakowaniowego w przypadku wykorzystania azotanów w zestawie lub specjalnych warunków spalania utleniającego w przypadku krótkich cykli produkcyjnych lub pieców do topienia o wydajności <100 t/dobę.

Parametr	BAT	BAT-AEL	
		mg/Nm ³	kg/t wytopionego szkła ⁽¹⁾
NO _x wyrażone jako NO ₂	Techniki pierwotne	<1000	<3

(¹) Zastosowano przelicznik podany w tabeli 5.2 dla przypadków szczególnych (3×10^{-3}).

5.2.3 Tlenki siarki (SO_x) z pieców do topienia

19. BAT mają na celu redukcję emisji SO_x z pieca do topienia poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

Technika ⁽¹⁾	Możliwość zastosowania
i. oczyszczanie suche lub półsuche w połączeniu z systemem filtracji.	Technika ma ogólne zastosowanie.

ii. ograniczenie do minimum zawartości siarki w zestawie i optymalizacja bilansu siarki	Ograniczenie do minimum zawartości siarki w zestawie stosuje się ogólnie w zakresie ograniczonym wymaganiami jakościowymi dotyczącymi końcowego produktu szklanego. Stosowanie optymalizacji bilansu siarki wymaga znalezienia kompromisu między usuwaniem emisji SO _x a gospodarowaniem odpadami stałymi (pył z filtra). Skuteczna redukcja emisji SO _x zależy od retencji związków siarki w szkłe, która może być bardzo zróżnicowana w zależności od rodzaju szkła.
iii. stosowanie paliw o niskiej zawartości siarki	Możliwość zastosowania jest zawężona przez ograniczenia związane z dostępnością paliw o niskiej zawartości siarki, na którą może mieć wpływ polityka energetyczna państwa członkowskiego.
⁽¹⁾ Opis przedmiotowych technik przedstawiono w pkt 5.10.3.	

Tabela 5.9: Odpowiadające BAT poziomy emisji SO_x z pieca do topienia w sektorze szkła opakowaniowego

Parametr	Paliwo	BAT-AEL ⁽¹⁾ ⁽²⁾	
		mg/Nm ³	kg/t wytopionego szkła ⁽³⁾
SO _x wyrażone jako SO ₂	Gaz ziemny	<200 - 500	<0,3 – 0,75
	Olej opałowy ⁽⁴⁾	<500 - 1200	<0,75 – 1,8

⁽¹⁾ W przypadku specjalnych rodzajów szkła barwionego (np. zredukowanego szkła zielonego) względy związane z możliwymi do osiągnięcia poziomami emisji mogą wymagać zbadania bilansu siarki. Wartości podane w tabeli mogą być trudne do osiągnięcia w połączeniu z recyklingiem pyłu z filtra oraz współczynnikiem recyklingu stłuczki obcej.

⁽²⁾ Wartości dolne są związane z warunkami, w których redukcja emisji SO_x ma wysoki priorytet w stosunku do zmniejszenia ilości wytwarzanych odpadów stałych w postaci zatrzymanego na filtrze pyłu bogatego w siarczan.

⁽³⁾ Zastosowano przelicznik podany w tabeli 2 dla przypadków ogólnych ($1,5 \times 10^{-3}$).

⁽⁴⁾ Odpowiadające BAT poziomy emisji dotyczą zastosowania oleju opałowego o zawartości siarki w wysokości 1 % w połączeniu z wtórnymi technikami redukcji emisji.

5.2.4 Chlorowódor (HCl) i fluorowódor (HF) z pieców do topienia

20. BAT mają na celu redukcję emisji HCl i HF z pieca do topienia (ewentualnie w połączeniu ze spalinami z procesów powlekania na gorąco) poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

Technika ⁽¹⁾	Możliwość zastosowania
i. dobór surowców o niskiej zawartości chloru i fluoru przy sporządzaniu zestawu	Możliwość zastosowania tej techniki może być ograniczona względami związanymi z rodzajem szkła wytwarzanego w instalacji oraz dostępnością surowców.
ii. oczyszczanie suche lub półsucho w połączeniu z systemem filtracji	Technika ma ogólne zastosowanie.
⁽¹⁾ Opis przedmiotowych technik przedstawiono w pkt 5.10.4.	

Tabela 5.10: Odpowiadające BAT poziomy emisji HCl i HF z pieca do topienia w sektorze szkła opakowaniowego

Parametr	BAT-AEL	
	mg/Nm ³	kg/t wytopionego szkła (1)
Chlorowódor wyrażony jako HCl ⁽²⁾	<10 - 20	<0,02 - 0,03
Fluorowódor wyrażony jako HF	<1 - 5	<0,001 - 0,008

(¹) Zastosowano przelicznik podany w tabeli 5.2 dla przypadków ogólnych ($1,5 \times 10^{-3}$).

(²) Wyższe poziomy są związane z równoczesnym oczyszczaniem spalin z procesów powlekania na gorąco.

5.2.5 Metale z pieców do topienia

21. BAT mają na celu redukcję emisji metali z pieca do topienia poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

Technika (¹)	Możliwość zastosowania
i. dobór surowców o niskiej zawartości metali przy sporządzaniu zestawu;	Możliwość zastosowania tej techniki może być ograniczona względami związanymi z rodzajem szkła wytwarzanego w instalacji oraz dostępnością surowców.
ii. ograniczanie do minimum wykorzystania związków metali w zestawie dzięki odpowiedniemu doborowi surowców w przypadku konieczności barwienia lub odbarwiania szkła, w zależności od wymogów klienta dotyczących jakości szkła;	
iii. zastosowanie systemu filtracji (filtr workowy lub elektrofiltr);	Techniki mają ogólne zastosowanie.
iv. zastosowanie oczyszczania suchego lub półsuchego w połączeniu z systemem filtracji.	
(¹) Opis przedmiotowych technik przedstawiono w pkt 5.10.5.	

Tabela 5.11: Odpowiadające BAT poziomy emisji metali z pieca do topienia w sektorze szkła opakowaniowego

Parametr	BAT-AEL (¹) (²) (³)	
	mg/Nm ³	kg/t wytopionego szkła (⁴)
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI})	<0,2 - 1 (³)	<0,3 – 1,5 x 10 ⁻³
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI} , Sb, Pb, Cr _{III} , Cu, Mn, V, Sn)	<1 - 5	<1,5 – 7,5 x 10 ⁻³
<p>(¹) Poziomy odnoszą się do sumy metali obecnych w spalinach zarówno w stanie stałym, jak i gazowym.</p> <p>(²) Wartości dolne stanowią BAT-AEL w przypadku, gdy związki metali nie są celowo stosowane w zestawie.</p> <p>(³) Górne poziomy są związane ze stosowaniem metali do barwienia lub odbarwiania szkła lub w przypadku, gdy spaliny z procesów powlekania na gorąco są oczyszczane razem z emisjami z pieca do topienia.</p> <p>(⁴) Zastosowano przelicznik podany w tabeli 5.2 dla przypadków ogólnych ($1,5 \times 10^{-3}$).</p> <p>W szczególnych przypadkach, kiedy wytwarzane jest wysokiej jakości szkło wysokobezbarwne, które wymaga większych ilości seleniu do celów odbarwiania (w zależności od surowców), odnotowuje się wyższe wartości sięgające 3 mg/Nm³.</p>		

5.2.6 Emisje z procesów końcowych

22. W przypadku stosowania związków cyny, związków cynoorganicznych lub związków tytanu w procesach powlekania na gorąco BAT mają na celu redukcję emisji poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

Technika	Możliwość zastosowania
i. ograniczenie do minimum strat produktu stosowanego do powlekania dzięki zapewnieniu odpowiedniej szczelności systemu nakładania powłok oraz zastosowaniu skutecznego okapu wyciągowego. Odpowiednia konstrukcja i uszczelnienie systemu nakładania powłok mają podstawowe znaczenie dla ograniczenia do minimum strat nieprzereagowanego produktu do powietrza;	Technika ma ogólne zastosowanie.

<p>ii. łączenie spalin z procesów powlekania z gazem odlotowym z pieca do topienia lub z powietrzem spalania w piecu w przypadku stosowania systemu wtórnego oczyszczania (filtr lub oczyszczanie suche lub półsuche). Gazy odlotowe z procesów powlekania mogą być łączone z innymi spalinami przed oczyszczeniem pod warunkiem kompatybilności chemicznej. Można zastosować dwie następujące opcje:</p> <ul style="list-style-type: none"> • połączenie ze spalinami z pieca do topienia przed systemem wtórnej redukcji (oczyszczanie suche lub półsuche oraz system filtracji); • połączenie z powietrzem spalania przed wejściem do komory regeneratora, a następnie wtórne oczyszczenie gazów odlotowych podczas procesu topienia (oczyszczanie suche lub półsuche oraz system filtracji); 	<p>Technika łączenia ze spalinami z pieca do topienia ma zastosowanie ogólne. Na łączenie z powietrzem spalania mogą wpływać ograniczenia techniczne wynikające z niektórych potencjalnych skutków dotyczących właściwości chemicznych szkła lub materiałów, z których zbudowana jest komora regeneratora.</p>
<p>iii. zastosowanie techniki wtórnej, np. płuczki wodnej, oczyszczania suchego z filtracją ⁽¹⁾.</p>	<p>Techniki mają ogólne zastosowanie.</p>
<p>⁽¹⁾ Opis przedmiotowych technik przedstawiono w pkt 5.10.4 i 5.10.7.</p>	

Tabela 5.12: Odpowiadające BAT poziomy emisji do powietrza z procesów powlekania na gorąco w sektorze szkła opakowaniowego w przypadku oddzielnego oczyszczania spalin z procesów końcowych

Parametr	BAT-AEL
	mg/Nm ³
Pył	<10
Związki tytanu wyrażone jako Ti	<5
Związki cyny, w tym związki cynoorganiczne, wyrażone jako Sn	<5
Chlorowodór wyrażony jako HCl	<30

23. W przypadku wykorzystywania SO₃ w procesach obróbki powierzchniowej BAT mają na celu redukcję emisji SO_x poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

Technika ⁽¹⁾	Możliwość zastosowania
<p>i. ograniczenie do minimum strat czynnika polerującego dzięki zapewnieniu odpowiedniej szczelności systemu dozowania Odpowiednia konstrukcja i konserwacja systemu nakładania powłok mają podstawowe znaczenie dla ograniczenia do minimum strat nieprzereagowanego produktu do powietrza;</p>	<p>Techniki mają ogólne zastosowanie.</p>
<p>ii. zastosowanie techniki wtórnej, np. oczyszczania na mokro;</p>	
<p>⁽¹⁾ Opis przedmiotowych technik przedstawiono w pkt 5.10.6.</p>	

Tabela 5.13: Odpowiadające BAT poziomy emisji SO_x z procesów końcowych, kiedy SO₃ jest wykorzystywany w procesach obróbki powierzchniowej w sektorze szkła opakowaniowego, w przypadku oddzielnego oczyszczania

Parametr	BAT-AEL
	mg/Nm ³
SO _x wyrażone jako SO ₂	<100 - 200

5.3 Konkluzje dotyczące BAT dla wytwarzania szkła płaskiego

O ile nie określono inaczej, konkluzje dotyczące BAT przedstawione w niniejszym punkcie mogą być stosowane w odniesieniu do wszystkich instalacji do wytwarzania szkła płaskiego.

5.3.1 Emisje pyłu z pieców do topienia

24. BAT mają na celu redukcję emisji pyłu z gazów odlotowych z pieca do topienia poprzez zastosowanie elektrofiltra lub systemu filtrów workowych

Opis przedmiotowych technik przedstawiono w pkt 5.10.1.

Tabela 5.14: Odpowiadające BAT poziomy emisji pyłu z pieca do topienia w sektorze szkła płaskiego

Parametr	BAT-AEL	
	mg/Nm ³	kg/t wytopionego szkła (¹)
Pył	<10 - 20	<0,025 – 0,05

(¹) Zastosowano przelicznik podany w tabeli 5.2 ($2,5 \times 10^{-3}$).

5.3.2 Tlenki azotu (NO_x) z pieców do topienia

25. BAT mają na celu redukcję emisji NO_x z pieca do topienia poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

I. Techniki pierwotne, takie jak:

Technika (¹)	Możliwość zastosowania
i. zmiany w procesie spalania	
(a) zmniejszenie stosunku powietrza do paliwa;	Dotyczy tradycyjnych pieców opalanych mieszanką powietrzno-paliwową. Pełne korzyści można uzyskać po przeprowadzeniu normalnej lub całkowitej przebudowy pieca przy jednoczesnej optymalizacji jego konstrukcji i geometrii.
(b) obniżona temperatura powietrza spalania;	Możliwość zastosowania tej techniki ogranicza się do pieców o małej pojemności do produkcji specjalistycznego szkła płaskiego oraz warunków charakterystycznych dla danej instalacji z uwagi na niższą wydajność pieca i zwiększone zapotrzebowanie na paliwo (tj. wykorzystanie pieców rekuperacyjnych zamiast pieców regeneracyjnych).
(c) spalanie etapowe: <ul style="list-style-type: none">o stopniowanie powietrza,o stopniowanie paliwa;	Stopniowanie paliwa można zastosować w przypadku większości tradycyjnych pieców opalanych mieszanką powietrzno-paliwową. Możliwość stopniowania powietrza jest bardzo ograniczona z uwagi na techniczną złożoność tej metody.
(d) recyrkulacja spalin;	Możliwość zastosowania tej techniki ogranicza się do wykorzystania specjalnych palników z automatyczną recyrkulacją gazu odlotowego.
(e) palniki niskoemisyjne (Low-NO _x);	Technika ma ogólne zastosowanie. Uzyskane korzyści dla środowiska są z reguły mniejsze w przypadku zastosowań odnoszących się do pieców poprzeczno-płomiennych opalanych gazem z uwagi na ograniczenia techniczne oraz mniejszą elastyczność tego rodzaju pieców. Pełne korzyści można uzyskać po przeprowadzeniu normalnej lub całkowitej przebudowy pieca przy jednoczesnej optymalizacji jego konstrukcji i geometrii.

(f) dobór paliwa;	Możliwość zastosowania techniki może być ograniczona względami związanymi z przydatnością poszczególnych rodzajów paliwa, na którą może mieć wpływ polityka energetyczna państwa członkowskiego.
ii. proces Fenix. Technika ta opiera się na połączeniu pewnej liczby technik pierwotnych w celu zoptymalizowania procesu spalania w regeneracyjnych piecach poprzecznopłomiennych do produkcji szkła „float”. Jej główne cechy to: <ul style="list-style-type: none"> o ograniczenie nadmiaru powietrza; o likwidacja stref maksimum temperatury oraz ujednorodnienie temperatur płomienia; o kontrola mieszania paliwa i powietrza spalania; 	Możliwość zastosowania tej techniki ogranicza się do regeneracyjnych pieców poprzecznopłomiennych. Technika ta może być stosowana w odniesieniu do nowych pieców. W przypadku istniejących pieców technika ta musi zostać bezpośrednio zintegrowana na etapie projektowania i budowy pieca przy jego całkowitej przebudowie.
iii. topienie tlenowo-paliwowe.	Maksymalne korzyści dla środowiska można osiągnąć po przeprowadzeniu całkowitej przebudowy pieca.
⁽¹⁾ Opis przedmiotowych technik przedstawiono w pkt 5.10.2.	

II. Techniki wtórne, takie jak:

Technika ⁽¹⁾	Możliwość zastosowania
i. chemiczna redukcja przy użyciu paliwa;	Technika ta może być stosowana w odniesieniu do pieców regeneracyjnych. Możliwość jej zastosowania może być ograniczona na skutek zwiększonego zużycia paliwa i związanych z tym skutków dla środowiska oraz względów ekonomicznych.
ii. selektywna redukcja katalityczna (SCR);	Zastosowanie tej techniki może wymagać modernizacji systemu redukcji emisji pyłu, aby zapewnić stężenie pyłu poniżej 10–15 mg/Nm ³ oraz systemu odsiarczania w celu wyeliminowania emisji SO _x . Ze względu na optymalny zakres temperatury operacyjnej możliwość zastosowania ogranicza się do przypadków, gdy stosowane są elektrofiltry. Na ogół technika ta nie jest stosowana w przypadku systemu filtrów workowych, ponieważ niska temperatura robocza w granicach 180–200 °C wymagałaby ponownego ogrzania gazów odlotowych. Wdrażanie tej techniki może wymagać dostępności dużej ilości miejsca.
⁽¹⁾ Opis przedmiotowych technik przedstawiono w pkt 5.10.2.	

Tabela 5.15: Odpowiadające BAT poziomy emisji NO_x z pieca do topienia w sektorze szkła płaskiego

Parametr	BAT	BAT-AEL ⁽¹⁾	
		mg/Nm ³	kg/t wytopionego szkła ⁽²⁾
NO _x wyrażone jako NO ₂	zmiany w procesie spalania, proces Fenix ⁽³⁾	700 - 800	1,75 - 2,0
	topienie tlenowo-paliwowe ⁽⁴⁾	Nie dotyczy	<1,25 - 2,0
	techniki wtórne ⁽⁵⁾	400 - 700	1,0 - 1,75

(¹) W przypadku sporadycznego stosowania azotanów do wytwarzania specjalnych rodzajów szkła przewidywane są wyższe poziomy emisji.
(²) Zastosowano przelicznik podany w tabeli 5.2 ($2,5 \times 10^{-3}$).
(³) Dolne wartości przedziału są związane ze stosowaniem procesu Fenix.
(⁴) Poziomy możliwe do osiągnięcia zależą od jakości dostępnego gazu ziemnego i tlenu (zawartość azotu).
(⁵) Górne wartości przedziału dotyczą istniejących instalacji do czasu normalnej lub całkowitej przebudowy pieca do topienia. Wartości dolne dotyczą nowszych lub zmodernizowanych instalacji.

26. W przypadku stosowania w zestawie azotanów BAT mają na celu redukcję emisji NO_x dzięki ograniczeniu wykorzystania tych surowców do minimum przy jednoczesnym zastosowaniu technik pierwotnych i wtórnych. W przypadku wykorzystania technik wtórnych zastosowanie mają BAT-AEL, które podano w tabeli 5.15.

W tabeli 5.16 przedstawiono BAT-AEL w odniesieniu do przypadków, w których azotany są używane w zestawie do wytwarzania specjalnych rodzajów szkła w ograniczonej liczbie krótkich cykli produkcyjnych.

Technika (¹)	Możliwość zastosowania
Techniki pierwotne: Ograniczenie do minimum stosowania azotanów w zestawie Stosowanie azotanów dotyczy specjalnych rodzajów produkcji (tj. szkła barwionego). Skutecznymi materiałami alternatywnymi są siarczany, tlenki arsenu oraz tlenek ceru.	Możliwość zastąpienia azotanów w zestawie może być ograniczona wysokimi kosztami lub większym oddziaływaniem materiałów alternatywnych na środowisko.
(¹) Opis przedmiotowej techniki przedstawiono w pkt 5.10.2.	

Tabela 5.16: Odpowiadające BAT poziomy emisji NO_x z pieca do topienia w sektorze szkła płaskiego w przypadku wykorzystania azotanów w zestawie do wytwarzania specjalnych rodzajów szkła w ograniczonej liczbie krótkich cykli produkcyjnych

Parametr	BAT	BAT-AEL	
		mg/Nm ³	kg/t wytopionego szkła (¹)
NO _x wyrażone jako NO ₂	Techniki pierwotne	<1200	<3
(¹) Zastosowano przelicznik podany w tabeli 5.2 dla przypadków szczególnych ($2,5 \times 10^{-3}$).			

5.3.3 Tlenki siarki (SO_x) z pieców do topienia

27. BAT mają na celu redukcję emisji SO_x z pieca do topienia poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

Technika (¹)	Możliwość zastosowania
i. oczyszczanie suche lub półsuche w połączeniu z systemem filtracji;	Technika ma ogólne zastosowanie.
ii. ograniczenie do minimum zawartości siarki w zestawie i optymalizacja bilansu siarki;	Ograniczenie do minimum zawartości siarki w zestawie stosuje się ogólnie w zakresie ograniczonym wymaganiami jakościowymi dotyczącymi końcowego produktu szklanego. Stosowanie optymalizacji bilansu siarki wymaga znalezienia kompromisu między usuwaniem emisji SO _x a gospodarowaniem odpadami stałymi (pył z filtra).

iii. stosowanie paliw o niskiej zawartości siarki.	Możliwość zastosowania jest zawężana poprzez ograniczenia związane z dostępnością paliw o niskiej zawartości siarki, na którą może mieć wpływ polityka energetyczna państwa członkowskiego.
⁽¹⁾ Opis przedmiotowych technik przedstawiono w pkt 5.10.3.	

Tabela 5.17: Odpowiadające BAT poziomy emisji SO_x z pieca do topienia w sektorze szkła płaskiego

Parametr	Paliwo	BAT-AEL ⁽¹⁾	
		mg/Nm ³	kg/t wytopionego szkła ⁽²⁾
SO _x wyrażone jako SO ₂	Gaz ziemny	<300 - 500	<0,75 – 1,25
	Olej opałowy ⁽³⁾ ⁽⁴⁾	500 - 1300	1,25 – 3,25

⁽¹⁾ Wartości dolne są związane z warunkami, w których redukcja emisji SO_x ma wysoki priorytet w stosunku do zmniejszenia ilości wytwarzanych odpadów stałych w postaci zatrzymanego na filtrze pyłu bogatego w siarczany.

⁽²⁾ Zastosowano przelicznik podany w tabeli 5.2 (2,5 × 10⁻³).

⁽³⁾ Odpowiadające BAT poziomy emisji dotyczą zastosowania oleju opałowego o zawartości siarki w wysokości 1 % w połączeniu z wtórnymi technikami redukcji emisji.

⁽⁴⁾ W przypadku dużych pieców do wytwarzania szkła płaskiego względy związane z osiągnięciem poziomami emisji mogą wymagać zbadania bilansu siarki. Wartości podane w tabeli mogą być trudne do osiągnięcia w połączeniu z recyklingiem pyłu z filtra.

5.3.4 Chlorowodór (HCl) i fluorowodór (HF) z pieców do topienia

28. BAT mają na celu redukcję emisji HCl i HF z pieca do topienia poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

Technika ⁽¹⁾	Możliwość zastosowania
dobór surowców o niskiej zawartości chloru i fluoru przy sporządzaniu zestawu;	Możliwość zastosowania tej techniki może być ograniczona względami związanymi z rodzajem szkła wytwarzanego w instalacji oraz dostępnością surowców.
czyszczenie suche lub półsuche w połączeniu z systemem filtracji;	Technika ma ogólne zastosowanie.

⁽¹⁾ Opis przedmiotowych technik przedstawiono w pkt 5.10.4.

Tabela 5.18: Odpowiadające BAT poziomy emisji HCl i HF z pieca do topienia w sektorze szkła płaskiego

Parametr	BAT-AEL	
	mg/Nm ³	kg/t wytopionego szkła ⁽¹⁾
Chlorowodór wyrażony jako HCl ⁽²⁾	<10 - 25	<0,025 - 0,0625
Fluorowodór wyrażony jako HF	<1 - 4	<0,0025 - 0,010

⁽¹⁾ Zastosowano przelicznik podany w tabeli 5.2 (2,5 × 10⁻³).

⁽²⁾ Wyższe wartości przedziału są związane z zawracaniem pyłu z filtra do zestawu.

5.3.5 Metale z pieców do topienia

29. BAT mają na celu redukcję emisji metali z pieca do topienia poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

Technika ⁽¹⁾	Możliwość zastosowania
i. dobór surowców o niskiej zawartości metali przy sporządzaniu zestawu;	Możliwość zastosowania tej techniki może być ograniczona względami narzuconymi przez rodzaj szkła wytwarzanego w instalacji oraz dostępność surowców.
ii. zastosowanie systemu filtracji;	Technika ma ogólne zastosowanie.
iii. zastosowanie oczyszczania suchego lub półsuchego w połączeniu z systemem filtracji.	

⁽¹⁾ Opis przedmiotowych technik przedstawiono w pkt 5.10.5.

Tabela 5.19: Odpowiadające BAT poziomy emisji metali z pieca do topienia w sektorze szkła płaskiego, z wyjątkiem szkła barwionego selenem

Parametr	BAT-AEL ⁽¹⁾	
	mg/Nm ³	kg/t wytopionego szkła ⁽²⁾
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI})	<0.2 - 1	<0,5 – 2,5 x 10 ⁻³
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI} , Sb, Pb, Cr _{III} , Cu, Mn, V, Sn)	<1 - 5	<2,5 – 12,5 x 10 ⁻³

⁽¹⁾ Zakresy odnoszą się do sumy metali obecnych w spalinach zarówno w stanie stałym, jak i gazowym.
⁽²⁾ Zastosowano przelicznik podany w tabeli 5.2 (2,5 × 10⁻³).

30. W przypadku stosowania związków selenu do barwienia szkła BAT mają na celu redukcję emisji selenu z pieca do topienia poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

Technika ⁽¹⁾	Możliwość zastosowania
i. ograniczenie do minimum parowania selenu z zestawu dzięki doborowi surowców charakteryzujących się wyższą skutecznością retencji w szkłe oraz zmniejszoną lotnością;	Możliwość zastosowania tej techniki może być ograniczona względami związanymi z rodzajem szkła wytwarzanego w instalacji oraz dostępnością surowców.
ii. zastosowanie systemu filtracji;	Technika ma ogólne zastosowanie.
iii. zastosowanie oczyszczania suchego lub półsuchego w połączeniu z systemem filtracji.	

⁽¹⁾ Opis przedmiotowych technik przedstawiono w pkt 5.10.5.

Tabela 5.20: Odpowiadające BAT poziomy emisji selenu z pieca do topienia w sektorze szkła płaskiego w przypadku wytwarzania szkła barwionego

Parametr	BAT-AEL ⁽¹⁾ (€)	
	mg/Nm ³	kg/t wytopionego szkła ⁽²⁾
Związki selenu wyrażone jako Se	1 - 3	2,5 – 7,5 x 10 ⁻³

⁽¹⁾ Poziomy odnoszą się do sumy selenu w spalinach zarówno w stanie stałym, jak i gazowym.
⁽²⁾ Wartości dolne odpowiadają warunkom, w których redukcja emisji Se ma priorytet w stosunku do wytwarzania mniejszej ilości odpadów stałych pochodzących z pyłu z filtra. W takim przypadku stosuje się wysoki stosunek stechiometryczny (odczynnik/środek zanieczyszczający) i wytwarzany jest duży strumień odpadów stałych.
⁽³⁾ Zastosowano przelicznik podany w tabeli 5.2 (2,5 × 10⁻³).

5.3.6 Emisje z procesów końcowych

31. BAT mają na celu redukcję emisji do powietrza z procesów końcowych poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

Technika ⁽¹⁾	Możliwość zastosowania
i. ograniczenie do minimum strat produktów stosowanych do powlekania szkła płaskiego dzięki zapewnieniu odpowiedniej szczelności systemu nakładania powłok;	Techniki mają ogólne zastosowanie.
ii. ograniczenie do minimum strat SO ₂ z odprężarki tunelowej dzięki optymalnej obsłudze układu sterowania;	

iii. połączenie emisji SO ₂ z odprężarki tunelowej z gazem odlotowym z pieca do topienia, jeżeli jest to technicznie możliwe i jeżeli stosowany jest system wtórnego oczyszczania (filtr oraz oczyszczanie suche lub półsuche);	
iv. zastosowanie techniki wtórnej, np. płuczki wodnej lub oczyszczania suchego i filtracji.	Techniki mają ogólne zastosowanie. Wybór techniki i jej działanie będzie zależeć od składu gazu odlotowego na wlocie.
⁽¹⁾ Opis systemów oczyszczania wtórnego przedstawiono w pkt 5.10.3 oraz 5.10.6.	

Tabela 5.21: Odpowiadające BAT poziomy emisji do powietrza z procesów końcowych w sektorze szkła płaskiego w przypadku oddzielnego oczyszczania

Parametr	BAT-AEL
	mg/Nm ³
Pył	<15-20
Chlorowódor wyrażony jako HCl	<10
Fluorowódor wyrażony jako HF	<1 - 5
SO _x wyrażone jako SO ₂	<200
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI})	<1
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI} , Sb, Pb, Cr _{III} , Cu, Mn, V, Sn)	<5

5.4 Konkluzje dotyczące BAT dla produkcji włókna szklanego ciągłego

O ile nie określono inaczej, konkluzje dotyczące BAT przedstawione w niniejszym punkcie mogą być stosowane w odniesieniu do wszystkich instalacji do produkcji włókna szklanego ciągłego.

5.4.1 Emisje pyłu z pieców do topienia

Odpowiadające BAT poziomy emisji pyłu przedstawione w niniejszym punkcie odnoszą się do wszystkich materiałów, które w punkcie pomiaru miały postać substancji stałej, w tym stałych związków boru. Gazowe związki boru występujące w punkcie pomiaru nie są uwzględniane.

32. BAT mają na celu redukcję emisji pyłu z gazów odlotowych z pieca do topienia poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

Technika ⁽¹⁾	Możliwość zastosowania
i. redukcja emisji składników lotnych dzięki wprowadzeniu zmian w surowcach. Opracowanie składów zestawu niezawierających związków boru lub o niskiej zawartości boru stanowi główny środek ograniczania emisji pyłu powstających w przeważającej mierze na skutek parowania. Bor jest głównym składnikiem pyłu zawieszonego emitowanego z pieca do topienia;	Możliwość zastosowania tej techniki jest ograniczona ze względu na kwestie związane z prawem własności intelektualnej, ponieważ zestawy niezawierające boru lub o niskiej zawartości boru są chronione patentem.
ii. System filtracji: elektrofiltr lub filtr workowy;	Technika ma ogólne zastosowanie. Maksymalne korzyści dla środowiska osiąga się w przypadku zastosowań w nowych instalacjach, jeżeli decyzje dotyczące rozmieszczenia i charakterystyki filtra mogą być podejmowane bez ograniczeń.
iii. system oczyszczania na mokro.	Możliwość zastosowania tej techniki w istniejących instalacjach może być ograniczona względami technicznymi; tj. potrzebą specjalnej oczyszczalni ścieków.
⁽¹⁾ Opis systemów oczyszczania wtórnego przedstawiono w pkt 5.10.1 oraz 5.10.7.	

Tabela 5.22: Odpowiadające BAT poziomy emisji pyłu z pieca do topienia w sektorze włókna szklanego ciągłego

Parametr	BAT-AEL ⁽¹⁾	
	mg/Nm ³	kg/t wytopionego szkła ⁽²⁾
Pył	<10 - 20	<0,045 – 0,09

⁽¹⁾ Przy zastosowaniu technik pierwotnych, w przypadku zestawów niezawierających boru zaobserwowano wartości < 30 mg/Nm³ (< 0,14 kg/t wytopionego szkła).
⁽²⁾ Zastosowano przelicznik podany w tabeli 5.2 ($4,5 \times 10^{-3}$).

5.4.2. Tlenki azotu (NO_x) z pieców do topienia

33. BAT mają na celu redukcję emisji NO_x z pieca do topienia poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

Technika ⁽¹⁾	Możliwość zastosowania
i. zmiany w procesie spalania	
(a) zmniejszenie stosunku powietrza do paliwa;	Dotyczy tradycyjnych pieców opalanych mieszanką powietrzno-paliwową. Pełne korzyści można uzyskać po przeprowadzeniu normalnej lub całkowitej przebudowy pieca przy jednoczesnej optymalizacji jego konstrukcji i geometrii.
(b) obniżona temperatura powietrza spalania;	Dotyczy tradycyjnych pieców opalanych mieszanką powietrzno-paliwową w zakresie ograniczonym efektywnością energetyczną pieca oraz zwiększonym zapotrzebowaniem na paliwo. Obecnie większość pieców jest już typu rekuperacyjnego.
(c) spalanie etapowe: o stopniowanie powietrza, o stopniowanie paliwa;	Stopniowanie paliwa można stosować w przypadku większości pieców opalanych mieszanką powietrzno-paliwową oraz mieszanką tlenowo-paliwową. Możliwość stopniowania powietrza jest bardzo ograniczona z uwagi na techniczną złożoność tej metody.
(d) recyrkulacja spalin;	Możliwość zastosowania tej techniki ogranicza się do wykorzystania specjalnych palników z automatyczną recyrkulacją gazu odlotowego.
(e) palniki niskoemisyjne (Low-NO _x);	Technika ma ogólne zastosowanie. Pełne korzyści można uzyskać po przeprowadzeniu normalnej lub całkowitej przebudowy pieca przy jednoczesnej optymalizacji jego konstrukcji i geometrii.
(f) dobór paliwa;	Możliwość zastosowania techniki może być ograniczona względami związanymi z przydatnością poszczególnych rodzajów paliwa, na którą może mieć wpływ polityka energetyczna państwa członkowskiego.
ii. topienie tlenowo-paliwowe.	Maksymalne korzyści dla środowiska można osiągnąć po przeprowadzeniu całkowitej przebudowy pieca.

⁽¹⁾ Opis przedmiotowych technik przedstawiono w pkt 5.10.2.

Tabela 5.23: Odpowiadające BAT poziomy emisji NO_x z pieca do topienia w sektorze włókna szklanego ciągłego

Parametr	BAT	BAT-AEL	
		mg/Nm ³	kg/t wytopionego szkła
NO _x wyrażone jako NO ₂	Zmiany w procesie spalania	<600 - 1000	<2,7 – 4,5 ⁽¹⁾
	Topienie tlenowo-paliwowe ⁽²⁾	Nie dotyczy	<0,5 – 1,5

⁽¹⁾ Zastosowano przelicznik podany w tabeli 5.2 ($4,5 \times 10^{-3}$).
⁽²⁾ Poziomy możliwe do osiągnięcia zależą od jakości dostępnego gazu ziemnego i tlenu (zawartość azotu).

5.4.3 Tlenki siarki (SO_x) z pieców do topienia

34. BAT mają na celu redukcję emisji SO_x z pieca do topienia poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

Technika (1)	Możliwość zastosowania
i. ograniczenie do minimum zawartości siarki w zestawie i optymalizacja bilansu siarki;	Technika ma ogólne zastosowanie w zakresie ograniczonym wymaganiami jakościowymi dotyczącymi końcowego produktu szklanego. Stosowanie optymalizacji bilansu siarki wymaga znalezienia kompromisu między usuwaniem emisji SO _x a gospodarowaniem odpadami stałymi (pył z filtra), które należy unieszkodliwić.
ii. stosowanie paliw o niskiej zawartości siarki;	Możliwość zastosowania jest zawężana poprzez ograniczenia związane z dostępnością paliw o niskiej zawartości siarki, na którą może mieć wpływ polityka energetyczna państwa członkowskiego.
iii. oczyszczanie suche lub półsuche w połączeniu z systemem filtracji;	Technika ma ogólne zastosowanie. Występowanie wysokiego stężenia związków boru w spalinach może ograniczać redukcyjną skuteczność odczynnika stosowanego w systemach oczyszczania suchego lub półsuchego.
iv. stosowanie płuczki wodnej.	Technika ma ogólne zastosowanie w ramach ograniczeń technicznych, tj. potrzeby specjalnej oczyszczalni ścieków.

(¹) Opis przedmiotowych technik przedstawiono w pkt 5.10.3 i 5.10.6.

Tabela 5.24: Odpowiadające BAT poziomy emisji SO_x z pieca do topienia w sektorze włókna szklanego ciągłego

Parametr	Paliwo	BAT-AEL (¹)	
		mg/Nm ³	kg/t wytopionego szkła (²)
SO _x wyrażone jako SO ₂	Gaz ziemny (³)	<200 - 800	<0,9 - 3,6
	Olej opałowy (⁴) (⁵)	<500 - 1000	<2,25 - 4,5

(¹) Wyższe poziomy w omawianym zakresie są związane ze stosowaniem siarczanów w zestawach służących do klarowania szkła.
(²) Zastosowano przelicznik podany w tabeli 5.2 ($4,5 \times 10^{-3}$).
(³) W odniesieniu do pieców tlenowo-paliwowych, w przypadku których stosuje się oczyszczanie na mokro, BAT-AEL wynoszą < 0,1 kg/t wytopionego szkła SO_x wyrażonych jako SO₂.
(⁴) Odpowiadające BAT poziomy emisji dotyczą zastosowania oleju opałowego o zawartości siarki w wysokości 1 % w połączeniu z wtórnymi technikami redukcji emisji.
(⁵) Wartości dolne są związane z warunkami, w których redukcja emisji SO_x ma priorytet w stosunku do zmniejszenia ilości wytwarzanych odpadów stałych w postaci zatrzymanego na filtrze pyłu bogatego w siarczany. W tym przypadku wartości dolne są związane z wykorzystaniem filtra workowego.

5.4.4 Chlorowodór (HCl) i fluorowodór (HF) z pieców do topienia

35. BAT mają na celu redukcję emisji HCl i HF z pieca do topienia poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

Technika (¹)	Możliwość zastosowania
i. dobór surowców o niskiej zawartości chloru i fluoru przy sporządzaniu zestawu;	Technika ma ogólne zastosowanie w zakresie ograniczonym względami dotyczącymi sporządzania zestawu i dostępnością surowców.

ii. ograniczanie do minimum zawartości fluoru w zestawie. Emisje fluoru powstające w ramach procesu topienia można ograniczyć do minimum dzięki: <ul style="list-style-type: none"> • minimalizacji/ograniczeniu ilości związków fluoru (np. fluorytu) wykorzystywanych w zestawie do minimum niezbędnego do zapewnienia odpowiedniej jakości produktu końcowego. Związki fluoru są wykorzystywane do optymalizacji procesu topienia, wspomagania procesu wytwarzania włókien oraz ograniczenia do minimum zjawiska rozrywania włókien; • zastąpieniu związków fluoru materiałami alternatywnymi (np. siarczanami); 	Możliwość zastąpienia związków fluoru materiałami alternatywnymi jest ograniczona wymogami jakościowymi produktu.
iii. oczyszczanie suche lub półsuche w połączeniu z systemem filtracji;	Technika ma ogólne zastosowanie.
iv. oczyszczanie na mokro.	Technika ma ogólne zastosowanie w ramach ograniczeń technicznych, tj. wymaga specjalnej oczyszczalni ścieków.
⁽¹⁾ Opis przedmiotowych technik przedstawiono w pkt 5.10.4 i 5.10.6.	

Tabela 5.25: Odpowiadające BAT poziomy emisji HCl oraz HF z pieca do topienia w sektorze włókna szklanego ciągłego

Parametr	BAT-AEL	
	mg/Nm ³	kg/t wytopionego szkła ⁽¹⁾
Chlorowódor wyrażony jako HCl	<10	<0,05
Fluorowódor wyrażony jako HF ⁽²⁾	<5 - 15	<0,02 – 0,07
⁽¹⁾ Zastosowano przelicznik podany w tabeli 5.2 ($4,5 \times 10^{-3}$).		
⁽²⁾ Wyższe poziomy w omawianym zakresie są związane z wykorzystaniem związków fluoru przy sporządzaniu zestawu.		

5.4.5 Metale z pieców do topienia

36. BAT mają na celu redukcję emisji metali z pieca do topienia poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

Technika ⁽¹⁾	Możliwość zastosowania
i. dobór surowców o niskiej zawartości metali przy sporządzaniu zestawu;	Technika ma ogólne zastosowanie w zakresie ograniczonym dostępnością surowców.
ii. zastosowanie oczyszczania suchego lub półsuchego w połączeniu z systemem filtracji;	Technika ma ogólne zastosowanie.
iii. zastosowanie oczyszczania na mokro.	Technika ma ogólne zastosowanie w ramach ograniczeń technicznych, tj. wymaga specjalnej oczyszczalni ścieków.
⁽¹⁾ Opis przedmiotowych technik przedstawiono w pkt 5.10.5 i 5.10.6.	

Tabela 5.26: Odpowiadające BAT poziomy emisji metali z pieca do topienia w sektorze włókna szklanego ciągłego

Parametr	BAT-AEL ⁽¹⁾	
	mg/Nm ³	kg/t wytopionego szkła ⁽²⁾
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI})	<0,2 - 1	<0,9 – 4,5 x 10 ⁻³
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI} , Sb, Pb, Cr _{III} , Cu, Mn, V, Sn)	<1 - 3	<4,5 – 13,5 x 10 ⁻³
⁽¹⁾ Poziomy odnoszą się do sumy metali obecnych w spalinach zarówno w stanie stałym, jak i gazowym.		
⁽²⁾ Zastosowano przelicznik podany w tabeli 5.2 ($4,5 \times 10^{-3}$).		

5.4.6 Emisje z procesów końcowych

37. BAT mają na celu redukcję emisji z procesów końcowych poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

Technika ⁽¹⁾	Możliwość zastosowania
i. systemy oczyszczania na mokro; ii. elektrofiltr mokry;	Techniki są stosowane ogólnie do oczyszczania gazów odlotowych powstających w procesie formowania (nakładanie powłoki na włókna) lub w procesach wtórnych, w których stosowana jest substancja wiążąca wymagająca utwardzenia lub wysuszenia.
iii. system filtracji (filtr workowy).	Technika jest stosowana ogólnie do oczyszczania gazów odlotowych powstających w procesach cięcia i mielenia produktów.

⁽¹⁾ Opis przedmiotowych technik przedstawiono w pkt 5.10.7 i 5.10.8.

Tabela 5.27: Odpowiadające BAT poziomy emisji do powietrza powstających w ramach procesów końcowych w sektorze włókna szklanego ciągłego w przypadku, gdy są one oczyszczane oddzielnie

Parametr	BAT-AEL
	mg/Nm ³
<i>Emisje powstające w procesie formowania i powlekania</i>	
Pył	<5 - 20
Formaldehyd	<10
Amoniak	<30
Lotne związki organiczne ogółem wyrażone jako C	<20
<i>Emisje powstające w ramach procesu cięcia i mielenia</i>	
Pył	<5 - 20

5.5 Konkluzje dotyczące BAT dla produkcji szkła gospodarczego

O ile nie określono inaczej, konkluzje dotyczące BAT przedstawione w niniejszym punkcie mogą być stosowane w odniesieniu do wszystkich instalacji do produkcji szkła gospodarczego.

5.5.1 Emisje pyłu z pieców do topienia

38. BAT mają na celu redukcję emisji pyłu z gazów odlotowych z pieca do topienia poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

Technika ⁽¹⁾	Możliwość zastosowania
i. redukcja emisji składników lotnych dzięki wprowadzeniu zmian w surowcach. Zestaw może zawierać bardzo lotne związki (np. związki boru, fluorki), które w znacznym stopniu przyczyniają się do powstawania emisji pyłu z pieca do topienia;	Technika ma ogólne zastosowanie w zakresie ograniczonym rodzajem produkowanego szkła oraz dostępnością surowców.
ii. topienie elektryczne;	Technika ta nie może być stosowana w przypadku wytwarzania szkła w dużych ilościach (> 300 ton/dobę). Technika ta nie może być stosowana w przypadku produkcji wymagającej dużej zmienności wydajności pieca. Wdrożenie techniki wymaga całkowitej przebudowy pieca.
iii. topienie tlenowo-paliwowe;	Maksymalne korzyści dla środowiska można osiągnąć po przeprowadzeniu całkowitej przebudowy pieca.
iv. system filtracji: elektrofiltr lub filtr workowy;	Techniki mają ogólne zastosowanie.

v. system oczyszczania na mokro.	Możliwość zastosowania ogranicza się do określonych sytuacji, w szczególności do pieców do topienia elektrycznego, w przypadku których wielkość spalin i emisji pyłu jest z reguły niska i powiązana z pozostałościami zestawu.
⁽¹⁾ Opis przedmiotowych technik przedstawiono w pkt 5.10.5 i 5.10.7.	

Tabela 5.28: Odpowiadające BAT poziomy emisji pyłu z pieca do topienia w sektorze szkła gospodarczego

Parametr	BAT-AEL	
	mg/Nm ³	kg/t wytopionego szkła ⁽¹⁾
Pył	<10 - 20 ⁽²⁾	<0,03 - 0,06
	<1 - 10 ⁽³⁾	<0,003 - 0,03

⁽¹⁾ Zastosowano przelicznik 3×10^{-3} (zob. tabela 5.2). W odniesieniu do konkretnych procesów produkcyjnych może jednak zachodzić konieczność zastosowania przelicznika właściwego dla danego przypadku.
⁽²⁾ Odnotowano uwagi dotyczące opłacalności osiągnięcia BAT-AEL w przypadku pieców o zdolności produkcyjnej < 80 t/dobę stosowanych w produkcji szkła sodowo-wapniowego.
⁽³⁾ Wskazany BAT-AEL ma zastosowanie do zestawów zawierających znaczne ilości składników, które zgodnie z przepisami rozporządzenia (WE) nr 1272/2008 mogą zostać uznane za substancje niebezpieczne.

5.5.2. Tlenki azotu (NO_x) z pieców do topienia

39. BAT mają na celu redukcję emisji NO_x z pieca do topienia poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

I. Techniki pierwotne, takie jak:

Technika ⁽¹⁾	Możliwość zastosowania
i. zmiany w procesie spalania	
(a) zmniejszenie stosunku powietrza do paliwa;	Dotyczy tradycyjnych pieców opalanych mieszkanką powietrzno-paliwową. Pełne korzyści można uzyskać po przeprowadzeniu normalnej lub całkowitej przebudowy pieca przy jednoczesnej optymalizacji jego konstrukcji i geometrii.
(b) obniżona temperatura powietrza spalania;	Możliwe do zastosowania wyłącznie w warunkach określonych dla danej instalacji z uwagi na niższą wydajność pieca i zwiększone zapotrzebowanie na paliwo (tj. wykorzystanie pieców rekuperacyjnych zamiast pieców regeneracyjnych).
(c) spalanie etapowe: <ul style="list-style-type: none"> • stopniowanie powietrza, • stopniowanie paliwa; 	Stopniowanie paliwa można zastosować w przypadku większości tradycyjnych pieców opalanych mieszkanką powietrzno-paliwową. Możliwość stopniowania powietrza jest bardzo ograniczona z uwagi na techniczną złożoność tej metody.
(d) recyrkulacja spalin;	Możliwość zastosowania tej techniki ogranicza się do wykorzystania specjalnych palników z automatyczną recyrkulacją gazu odlotowego.
(e) palniki niskoemisyjne (Low-NO _x);	Technika ma ogólne zastosowanie. Uzyskane korzyści dla środowiska są z reguły mniejsze w przypadku zastosowań odnoszących się do pieców poprzeczno-promiennych opalanych gazem z uwagi na ograniczenia techniczne oraz mniejszą elastyczność tego rodzaju pieców. Pełne korzyści można uzyskać po przeprowadzeniu normalnej lub całkowitej przebudowy pieca przy jednoczesnej optymalizacji jego konstrukcji i geometrii.
(f) dobór paliwa;	Możliwość zastosowania techniki może być ograniczona względami związanymi z przydatnością poszczególnych rodzajów paliwa, na którą może mieć wpływ polityka energetyczna państwa członkowskiego.
ii. specjalna konstrukcja pieca;	Możliwość zastosowania ogranicza się do zestawów o dużej zawartości stłuczki obcej (> 70 %). Stosowanie tej metody wymaga przeprowadzenia całkowitej przebudowy pieca do topienia. Kształt pieca (długi i wąski) może narzucać ograniczenia przestrzeni.

iii. topienie elektryczne;	Technika ta nie może być stosowana w przypadku wytwarzania szkła w dużych ilościach (> 300 ton/dobę). Technika ta nie może być stosowana w przypadku produkcji wymagającej dużej zmienności wydajności pieca. Wdrożenie techniki wymaga całkowitej przebudowy pieca.
iv. topienie tlenowo-paliwowe.	Maksymalne korzyści dla środowiska można osiągnąć po przeprowadzeniu całkowitej przebudowy pieca.
⁽¹⁾ Opis przedmiotowych technik przedstawiono w pkt 5.10.2.	

Tabela 5.29: Odpowiadające BAT poziomy emisji NO_x z pieca do topienia w sektorze szkła gospodarczego

Parametr	BAT	BAT-AEL	
		mg/Nm ³	kg/t wytopionego szkła ⁽¹⁾
NO _x wyrażone jako NO ₂	Zmiany w procesie spalania, specjalne projekty pieców	<500 - 1000	<1,25 - 2,5
	Topienie elektryczne	<100	<0,3
	Topienie tlenowo-paliwowe ⁽²⁾	Nie dotyczy	<0,5 - 1,5
⁽¹⁾ W odniesieniu do zmian w procesie spalania oraz specjalnych projektów pieców zastosowano przelicznik $2,5 \times 10^{-3}$, natomiast w odniesieniu do topienia elektrycznego – przelicznik 3×10^{-3} (zob. tabela 5.2). W odniesieniu do konkretnych procesów produkcyjnych może jednak zachodzić konieczność zastosowania przelicznika właściwego dla danego przypadku.			
⁽²⁾ Poziomy możliwe do osiągnięcia zależą od jakości dostępnego gazu ziemnego i tlenu (zawartość azotu).			

40. W przypadku stosowania w zestawie azotanów BAT mają na celu redukcję emisji NO_x dzięki ograniczeniu wykorzystania tych surowców do minimum przy jednoczesnym zastosowaniu technik pierwotnych i wtórnych.

BAT-AEL przedstawiono w tabeli 5.29.

W tabeli 5.30 podano poziomy emisji odpowiadające BAT w odniesieniu do przypadków, w których azotany są używane w zestawie w określonej liczbie krótkich cykli produkcyjnych lub są wykorzystywane w piecach do topienia o wydajności < 100 t/dobę wytwarzających specjalny rodzaj szkła sodowo-wapniowego (szkło bezbarwne/wysokobezbarwne lub kolorowe szkło zawierające selen) oraz specjalne szkło innego rodzaju (tj. szkło borokrzemowe, tworzywo szklano-ceramiczne, szkło opalowe, kryształ oraz kryształ ołowiowy).

Technika ⁽¹⁾	Możliwość zastosowania
Techniki pierwotne: • ograniczenie do minimum stosowania azotanów w zestawie Azotany wykorzystuje się w procesie wytwarzania produktów o bardzo wysokiej jakości, wymagających zastosowania szkła o bardzo dużej przezroczystości lub do wytwarzania specjalnych rodzajów szkła. Skutecznymi materiałami alternatywnymi są siarczany, tlenki arsenu oraz tlenek ceru.	Możliwość zastąpienia azotanów w zestawie może być ograniczona wysokimi kosztami lub większym oddziaływaniem materiałów alternatywnych na środowisko.
⁽¹⁾ Opis przedmiotowej techniki przedstawiono w pkt 5.10.2.	

Tabela 5.30: Odpowiadające BAT poziomy emisji NO_x z pieca do topienia w sektorze szkła gospodarczego w przypadku, w którym azotany są używane w zestawie w określonej liczbie krótkich cykli produkcyjnych lub są wykorzystywane w piecach do topienia o wydajności < 100 t/dobę wytwarzających specjalny rodzaj szkła sodowo-wapniowego (szkło bezbarwne/wysokobezbarwne lub kolorowe szkło zawierające selen) oraz specjalne szkło innego rodzaju (tj. szkło borokrzemowe, tworzywo szklano-ceramiczne, szkło opalowe, kryształ oraz kryształ ołowiowy)

Parametr	Rodzaj pieca	BAT-AEL	
		mg/Nm ³	kg/t wytopionego szkła
NO _x wyrażone jako NO ₂	Tradycyjne piece powietrzno-paliwowe	<500 - 1500	<1,25 - 3,75 ⁽¹⁾
	Topienie elektryczne	<300 - 500	<8 - 10

⁽¹⁾ Zastosowano przelicznik podany w tabeli 5.2 ($2,5 \times 10^{-3}$) dla szkła sodowo-wapniowego.

5.5.3 Tlenki siarki (SO_x) z pieców do topienia

41. BAT mają na celu redukcję emisji SO_x z pieca do topienia poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

Technika ⁽¹⁾	Możliwość zastosowania
i. ograniczenie do minimum zawartości siarki w zestawie i optymalizacja bilansu siarki;	Ograniczenie do minimum zawartości siarki w zestawie stosuje się ogólnie w zakresie ograniczonym wymaganiami jakościowymi dotyczącymi końcowego produktu szklanego. Stosowanie optymalizacji bilansu siarki wymaga znalezienia kompromisu między usuwaniem emisji SO _x a gospodarowaniem odpadami stałymi (pył z filtra).
ii. stosowanie paliw o niskiej zawartości siarki;	Możliwość zastosowania jest zawężana poprzez ograniczenia związane z dostępnością paliw o niskiej zawartości siarki, na którą może mieć wpływ polityka energetyczna państwa członkowskiego.
czyszczenie suche lub półsuche w połączeniu z systemem filtracji.	Technika ma ogólne zastosowanie.

⁽¹⁾ Opis przedmiotowych technik przedstawiono w pkt 5.10.3.

Tabela 5.31: Odpowiadające BAT poziomy emisji SO_x z pieca do topienia w sektorze szkła gospodarczego

Parametr	Paliwo/technika topienia	BAT-AEL	
		mg/Nm ³	kg/t wytopionego szkła ⁽¹⁾
SO _x wyrażone jako SO ₂	Gaz ziemny	<200 - 300	<0,5 - 0,75
	Olej opałowy ⁽²⁾	<1000	<2,5
	Topienie elektryczne	<100	<0,25

⁽¹⁾ Zastosowano przelicznik $2,5 \times 10^{-3}$ (zob. tabela 5.2). W odniesieniu do konkretnych procesów produkcyjnych może jednak zachodzić konieczność zastosowania przelicznika właściwego dla danego przypadku.
⁽²⁾ Poziomy emisji dotyczą stosowania oleju opałowego o zawartości siarki w wysokości 1 % w połączeniu z wtórnymi technikami redukcji emisji.

5.5.4 Chlorowodór (HCl) i fluorowodór (HF) z pieców do topienia

42. BAT mają na celu redukcję emisji HCl i HF z pieca do topienia poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

Technika ⁽¹⁾	Możliwość zastosowania
i. dobór surowców o niskiej zawartości chloru i fluoru przy sporządzaniu zestawu;	Możliwość zastosowania tej techniki może być ograniczona względami związanymi z zestawem wykorzystywanym do produkcji określonego rodzaju szkła w instalacji oraz dostępnością surowców.

ii. ograniczenie do minimum zawartości fluoru w zestawie i optymalizacja bilansu masy fluoru. Zredukowanie do minimum emisji fluoru z procesu topienia można osiągnąć dzięki zmniejszeniu ilości związków fluoru (np. fluorytu) wykorzystywanych w zestawie do minimum współmiernego do jakości końcowego produktu. Związki fluoru są dodawane do zestawu w celu nadania szkła nieprzezroczystego lub mętnego wyglądu;	Technika ma ogólne zastosowanie w zakresie ograniczonym wymaganiami jakościowymi dotyczącymi produktu końcowego.
iii. oczyszczanie suche lub półsuche w połączeniu z systemem filtracji;	Technika ma ogólne zastosowanie.
iv. oczyszczanie na mokro.	Technika ma ogólne zastosowanie w ramach ograniczeń technicznych, tj. wymaga specjalnej oczyszczalni ścieków. Wysokie koszty oraz kwestie związane z oczyszczaniem ścieków, w tym ograniczenia w zakresie recyklingu szlamu lub stałych pozostałości po oczyszczaniu ścieków, mogą ograniczać możliwość zastosowania tej techniki.
⁽¹⁾ Opis przedmiotowych technik przedstawiono w pkt 5.10.4 i 5.10.6.	

Tabela 5.32: Odpowiadające BAT poziomy emisji HCl i HF z pieca do topienia w sektorze szkła gospodarczego

Parametr	BAT-AEL	
	mg/Nm ³	kg/t wytopionego szkła ⁽¹⁾
Chlorowódor wyrażony jako HCl ⁽²⁾ ⁽³⁾	<10 - 20	<0,03 – 0,06
Fluorowódor wyrażony jako HF ⁽⁴⁾	<1 - 5	<0,003 – 0,015

⁽¹⁾ Zastosowano przelicznik 3×10^{-3} (zob. tabela 5.2). W odniesieniu do konkretnych procesów produkcyjnych może jednak zachodzić konieczność zastosowania przelicznika właściwego dla danego przypadku.
⁽²⁾ Wartości dolne są związane ze stosowaniem topienia elektrycznego.
⁽³⁾ W przypadku zastosowania KCl lub NaCl jako środka oczyszczającego BAT-AEL wynoszą < 30 mg/Nm³ lub < 0,09 kg/t wytopionego szkła.
⁽⁴⁾ Wartości dolne są związane ze stosowaniem topienia elektrycznego. Wartości górne są związane z procesem produkcji szkła opalowego, recyklingiem pyłu z filtra lub wysoką zawartością stłuczki obcej w zestawie.

5.5.5 Metale z pieców do topienia

43. BAT mają na celu redukcję emisji metali z pieca do topienia poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

Technika ⁽¹⁾	Możliwość zastosowania
i. dobór surowców o niskiej zawartości metali przy sporządzaniu zestawu;	Możliwość zastosowania może być ograniczona względami związanymi z rodzajem szkła produkowanego w instalacji oraz dostępnością surowców.
ii. ograniczanie do minimum wykorzystania związków metali w zestawie dzięki odpowiedniemu doborowi surowców w przypadku konieczności barwienia lub odbarwiania szkła lub w przypadku nadawania szkła określonych właściwości;	W odniesieniu do produkcji kryształu oraz kryształu ołowiowego minimalizacja ilości związków metali w zestawie jest ograniczona wartościami wskazanymi w dyrektywie 69/493/EWG, klasyfikującej skład chemiczny końcowego produktu szklanego.
iii. oczyszczanie suche lub półsuche w połączeniu z systemem filtracji.	Technika ma ogólne zastosowanie.
⁽¹⁾ Opis przedmiotowych technik przedstawiono w pkt 5.10.5.	

Tabela 5.33: Odpowiadające BAT poziomy emisji metali z pieca do topienia w sektorze szkła gospodarczego, z wyjątkiem szkła odbarwionego przy pomocy selenu

Parametr	BAT-AEL ⁽¹⁾	
	mg/Nm ³	kg/t wytopionego szkła ⁽²⁾
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI})	<0,2 - 1	<0,6 - 3 x 10 ⁻³
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI} , Sb, Pb, Cr _{III} , Cu, Mn, V, Sn)	<1 - 5	<3 - 15 x 10 ⁻³

⁽¹⁾ Poziomy odnoszą się do sumy metali obecnych w spalinach zarówno w stanie stałym, jak i gazowym.
⁽²⁾ Zastosowano przelicznik 3 × 10⁻³ (zob. tabela 5.2). W odniesieniu do konkretnych procesów produkcyjnych może jednak zachodzić konieczność zastosowania przelicznika właściwego dla danego przypadku.

44. W przypadku, w którym do odbarwienia szkła zastosowano związki selenu, BAT mają na celu redukcję emisji selenu z pieca do topienia poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

Technika ⁽¹⁾	Możliwość zastosowania
i. ograniczenie do minimum wykorzystania związków selenu przy sporządzaniu zestawu dzięki odpowiedniemu doborowi surowców;	Możliwość zastosowania może być ograniczona względami związanymi z rodzajem szkła produkowanego w instalacji oraz dostępnością surowców.
ii. oczyszczanie suche lub półsuche w połączeniu z systemem filtracji.	Technika ma ogólne zastosowanie.

⁽¹⁾ Opis przedmiotowych technik przedstawiono w pkt 5.10.5.

Tabela 5.34: Odpowiadające BAT poziomy emisji selenu z pieca do topienia w sektorze szkła gospodarczego w przypadku, gdy szkło zostało odbarwione przy pomocy związków selenu

Parametr	BAT-AEL ⁽¹⁾	
	mg/Nm ³	kg/t wytopionego szkła ⁽²⁾
Związki selenu wyrażone jako Se	<1	<3 x 10 ⁻³

⁽¹⁾ Poziomy odnoszą się do sumy selenu w spalinach zarówno w stanie stałym, jak i gazowym.
⁽²⁾ Zastosowano przelicznik 3 × 10⁻³ (zob. tabela 5.2). W odniesieniu do konkretnych procesów produkcyjnych może jednak zachodzić konieczność zastosowania przelicznika właściwego dla danego przypadku.

45. W przypadku, w którym do produkcji kryształu ołowiowego wykorzystano związki ołowiu, BAT mają na celu redukcję emisji ołowiu z pieca do topienia poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

Technika ⁽¹⁾	Możliwość zastosowania
i. topienie elektryczne;	Technika ta nie może być stosowana w przypadku wytwarzania szkła w dużych ilościach (> 300 ton/dobę). Technika ta nie może być stosowana w przypadku produkcji wymagającej dużej zmienności wydajności pieca. Wdrożenie techniki wymaga całkowitej przebudowy pieca.
ii. filtr workowy;	Technika ma ogólne zastosowanie.
iii. elektrofiltr;	
iv. oczyszczanie suche lub półsuche w połączeniu z systemem filtracji.	

⁽¹⁾ Opis przedmiotowej techniki przedstawiono w pkt 5.10.1 i 5.10.5.

Tabela 5.35: Odpowiadające BAT poziomy emisji ołowiu z pieca do topienia w sektorze szkła gospodarczego w przypadku wykorzystywania ołowiu do produkcji kryształu ołowiowego

Parametr	BAT-AEL ⁽¹⁾	
	mg/Nm ³	kg/t wytopionego szkła ⁽²⁾
Związki ołowiu wyrażone jako Pb	<0,5 - 1	<1 - 3 x 10 ⁻³

⁽¹⁾ Wartości odnoszą się do sumy ołowiu w spalinach zarówno w stanie stałym, jak i gazowym.
⁽²⁾ Zastosowano przelicznik 3 × 10⁻³ (zob. tabela 5.2). W odniesieniu do konkretnych procesów produkcyjnych może jednak zachodzić konieczność zastosowania przelicznika właściwego dla danego przypadku.

5.5.6 Emisje z procesów końcowych

46. W przypadku końcowych procesów pyłących BAT mają na celu redukcję emisji pyłu i metali poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

Technika ⁽¹⁾	Możliwość zastosowania
i. prowadzenie operacji powodujących pylenie (np. cięcie, szlifowanie, polerowanie) przy udziale cieczy;	Techniki mają ogólne zastosowanie.
ii. zastosowanie systemu filtrów workowych.	

⁽¹⁾ Opis przedmiotowych technik przedstawiono w pkt 5.10.8.

Tabela 5.36: Odpowiadające BAT poziomy emisji do powietrza z końcowych procesów pyłących w sektorze szkła gospodarczego w przypadku, gdy są one oczyszczane oddzielnie

Parametr	BAT-AEL
	mg/Nm ³
Pył	<1 - 10
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI}) ⁽¹⁾	<1
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI} , Sb, Pb, Cr _{III} , Cu, Mn, V, Sn) ⁽¹⁾	<1 - 5
Związki ołowiu w przeliczeniu na Pb ⁽²⁾	<1 - 1,5

⁽¹⁾ Poziomy odnoszą się do sumy metali występujących w gazach odlotowych.
⁽²⁾ Poziomy odnoszą się do czynności prowadzonych na kryształach ołowiowych w końcowej fazie procesu.

47. W przypadku procesów polerowania kwasem BAT mają na celu redukcję emisji HF poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

Technika ⁽¹⁾	Możliwość zastosowania
i. ograniczenie do minimum strat czynnika polerującego dzięki zapewnieniu odpowiedniej szczelności systemu dozowania;	Techniki mają ogólne zastosowanie.
ii. zastosowanie techniki wtórnej, np. oczyszczania na mokro.	

⁽¹⁾ Opis przedmiotowych technik przedstawiono w pkt 5.10.6.

Tabela 5.37: Odpowiadające BAT poziomy emisji HF powstających wskutek stosowania procesów polerowania kwasem w sektorze szkła gospodarczego w przypadku, gdy są one oczyszczane oddzielnie

Parametr	BAT-AEL
	mg/Nm ³
Fluorowódor wyrażony jako HF	<5

5.6 Konkluzje dotyczące BAT dla produkcji szkła specjalnego

O ile nie określono inaczej, konkluzje dotyczące BAT przedstawione w niniejszym punkcie mogą być stosowane w odniesieniu do wszystkich instalacji do produkcji szkła specjalnego.

5.6.1 Emisje pyłu z pieców do topienia

48. BAT mają na celu redukcję emisji pyłu z gazów odlotowych z pieca do topienia poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

Technika ⁽¹⁾	Możliwość zastosowania
i. redukcja emisji składników lotnych dzięki wprowadzeniu zmian w surowcach. Zestaw może zawierać bardzo lotne związki (np. związki boru, fluorki), które stanowią główny składnik pyłu emitowanego z pieca do topienia;	Technika ma ogólne zastosowanie w zakresie ograniczonym wymaganiami jakościowymi dotyczącymi produkowanego szkła.
ii. topienie elektryczne;	Technika ta nie może być stosowana w przypadku wytwarzania szkła w dużych ilościach (> 300 ton/dobę). Technika ta nie może być stosowana w przypadku produkcji wymagającej dużej zmienności wydajności pieca. Wdrożenie techniki wymaga całkowitej przebudowy pieca.
iii. system filtracji: elektrofiltr lub filtr workowy.	Technika ma ogólne zastosowanie.
⁽¹⁾ Opis przedmiotowych technik przedstawiono w pkt 5.10.1.	

Tabela 5.38: Odpowiadające BAT poziomy emisji pyłu z pieca do topienia w sektorze szkła specjalnego

Parametr	BAT-AEL	
	mg/Nm ³	kg/t wytopionego szkła ⁽¹⁾
Pył	<10 - 20	<0,03 - 0,13
	<1 - 10 ⁽²⁾	<0,003 - 0,065
⁽¹⁾ W celu określenia dolnej i górnej wartości zakresu BAT-AEL zastosowano przeliczniki $2,5 \times 10^{-3}$ oraz $6,5 \times 10^{-3}$ (zob. tabela 5.2), przy czym niektóre wartości zostały podane w przybliżeniu. W zależności od rodzaju produkowanego szkła może jednak zachodzić konieczność zastosowania przelicznika właściwego dla danego przypadku (zob. tabela 5.2). ⁽²⁾ BAT-AEL mają zastosowanie w odniesieniu do zestawów zawierających znaczną ilość składników, które zgodnie z przepisami rozporządzenia (WE) nr 1272/2008 mogą zostać uznane za substancje niebezpieczne.		

5.6.2. Tlenki azotu (NO_x) z pieców do topienia

49. BAT mają na celu redukcję emisji NO_x z pieca do topienia poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

I. Techniki pierwotne, takie jak:

Technika ⁽¹⁾	Możliwość zastosowania
i. zmiany w procesie spalania;	
(a) zmniejszenie stosunku powietrza do paliwa;	Dotyczy tradycyjnych pieców opalanych mieszanką powietrzno-paliwową. Pełne korzyści można uzyskać po przeprowadzeniu normalnej lub całkowitej przebudowy pieca przy jednoczesnej optymalizacji jego konstrukcji i geometrii.

(b) obniżona temperatura powietrza spalania;	Możliwe do zastosowania wyłącznie w warunkach określonych dla danej instalacji z uwagi na niższą wydajność pieca i zwiększone zapotrzebowanie na paliwo (tj. wykorzystanie pieców rekuperacyjnych zamiast pieców regeneracyjnych).
(c) spalanie etapowe: <ul style="list-style-type: none"> • stopniowanie powietrza, • stopniowanie paliwa; 	Stopniowanie paliwa można zastosować w przypadku większości tradycyjnych pieców opalanych mieszanką powietrzno-paliwową. Możliwość stopniowania powietrza jest bardzo ograniczona z uwagi na techniczną złożoność tej metody.
(d) recyrkulacja spalin;	Możliwość zastosowania tej techniki ogranicza się do wykorzystania specjalnych palników z automatyczną recyrkulacją gazu odlotowego.
(e) palniki niskoemisyjne (Low-NO _x);	Technika ma ogólne zastosowanie. Uzyskane korzyści dla środowiska są z reguły mniejsze w przypadku zastosowań odnoszących się do pieców poprzeczno-płomiennych opalanych gazem z uwagi na ograniczenia techniczne oraz mniejszą elastyczność tego rodzaju pieców. Pełne korzyści można uzyskać po przeprowadzeniu normalnej lub całkowitej przebudowy pieca przy jednoczesnej optymalizacji jego konstrukcji i geometrii.
(f) dobór paliwa;	Możliwość zastosowania techniki może być ograniczona względami związanymi z przydatnością poszczególnych rodzajów paliwa, na którą może mieć wpływ polityka energetyczna państwa członkowskiego.
ii. topienie elektryczne;	Technika ta nie może być stosowana w przypadku wytwarzania szkła w dużych ilościach (> 300 ton/dobę). Technika ta nie może być stosowana w przypadku produkcji wymagającej dużej zmienności wydajności pieca. Wdrożenie techniki wymaga całkowitej przebudowy pieca.
iii. topienie tlenowo-paliwowe.	Maksymalne korzyści dla środowiska można osiągnąć po przeprowadzeniu całkowitej przebudowy pieca.
⁽¹⁾ Opis przedmiotowych technik przedstawiono w pkt 5.10.2.	

II. Techniki wtórne, takie jak:

Technika ⁽¹⁾	Możliwość zastosowania
i. selektywna redukcja katalityczna (SCR)	Zastosowanie tej techniki może wymagać modernizacji systemu redukcji emisji pyłu, aby zapewnić stężenie pyłu poniżej 10–15 mg/Nm ³ oraz systemu odsiarczania w celu wyeliminowania emisji SO _x . Ze względu na optymalny zakres temperatury operacyjnej możliwość zastosowania ogranicza się do przypadków gdy stosowane są elektrofiltry. Na ogół technika ta nie jest stosowana w przypadku systemu filtrów workowych, ponieważ niska temperatura robocza w granicach 180–200 °C wymagałaby ponownego ogrzania gazów odlotowych. Wdrażanie tej techniki może wymagać dostępności dużej ilości miejsca.
ii. selektywna redukcja niekatalityczna (SNCR)	Bardzo ograniczona możliwość zastosowania w przypadku tradycyjnych pieców regeneracyjnych, gdzie prawidłowy zakres temperatury jest trudny do uzyskania lub nie daje możliwości prawidłowego wymieszania spalin z odczynnikami. Technika ta może być stosowana w przypadku nowych pieców regeneracyjnych wyposażonych w dzielone komory regeneracyjne; zakres temperatur jest jednak trudny do utrzymania ze względu na zmianę kierunku opalania między komorami, która powoduje cykliczną zmianę temperatur.
⁽¹⁾ Opis przedmiotowych technik przedstawiono w pkt 5.10.2.	

Tabela 5.39: Odpowiadające BAT poziomy emisji NO_x z pieca do topienia w sektorze szkła specjalnego

Parametr	BAT	BAT-AEL	
		mg/Nm ³	kg/t wytopionego szkła ⁽¹⁾
NO _x wyrażone jako NO ₂	Zmiany w procesie spalania	600 - 800	1,5 - 3,2
	Topienie elektryczne	<100	<0,25 - 0,4
	Topienie tlenowo-paliwowe	Nie dotyczy	<1 - 3

	(²) (³)		
	Techniki wtórne	<500	<1 - 3
<p>(¹) W celu określenia dolnej i górnej wartości zakresu BAT-AEL zastosowano przeliczniki $2,5 \times 10^{-3}$ oraz $6,5 \times 10^{-3}$ (zob. tabela 5.2), przy czym niektóre wartości zostały podane w przybliżeniu. W zależności od procesu produkcyjnego może jednak zachodzić konieczność zastosowania przelicznika właściwego dla danego przypadku (zob. tabela 5.2).</p> <p>(²) Wyższe wartości są związane ze specjalnym procesem produkcji rurek ze szkła borokrzemowego wykorzystywanych w przemyśle farmaceutycznym.</p> <p>(³) Poziomy możliwe do osiągnięcia zależą od jakości dostępnego gazu ziemnego i tlenu (zawartość azotu).</p>			

50. W przypadku stosowania w zestawie azotanów BAT mają na celu redukcję emisji NO_x dzięki ograniczeniu do minimum wykorzystania tych surowców przy jednoczesnym zastosowaniu technik pierwotnych lub wtórnych

Technika (¹)	Możliwość zastosowania
<p>Techniki pierwotne</p> <ul style="list-style-type: none"> ograniczenie do minimum stosowania azotanów w zestawie. <p>Azotany wykorzystuje się w procesie wytwarzania produktów o bardzo wysokiej jakości, w przypadku gdy szkło musi mieć specjalne właściwości. Skutecznymi materiałami alternatywnymi są siarczany, tlenki arsenu oraz tlenek ceru.</p>	<p>Możliwość zastąpienia azotanów w zestawie może być ograniczona wysokimi kosztami lub większym oddziaływaniem materiałów alternatywnych na środowisko.</p>
<p>(¹) Opis przedmiotowej techniki przedstawiono w pkt 5.10.2.</p>	

Tabela 5.40: Odpowiadające BAT poziomy emisji NO_x z pieca do topienia w sektorze szkła specjalnego w przypadku stosowania azotanów w zestawie

Parametr	BAT	BAT-AEL (¹)	
		mg/Nm ³	kg/t wytopionego szkła (²)
NO _x wyrażone jako NO ₂	Ograniczenie do minimum ilości azotanów stosowanych w zestawie przy jednoczesnym wykorzystywaniu technik pierwotnych lub wtórnych	<500 - 1000	<1 - 6
<p>(¹) Wartości dolne są związane ze stosowaniem topienia elektrycznego.</p> <p>(²) W celu określenia dolnej i górnej wartości zakresu BAT-AEL zastosowano przeliczniki wynoszące odpowiednio $2,5 \times 10^{-3}$ oraz $6,5 \times 10^{-3}$, przy czym niektóre wartości zostały podane w przybliżeniu. W zależności od procesu produkcyjnego może zachodzić konieczność zastosowania przelicznika właściwego dla danego przypadku (zob. tabela 5.2).</p>			

5.6.3 Tlenki siarki (SO_x) z pieców do topienia

51. BAT mają na celu redukcję emisji SO_x z pieca do topienia poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

Technika (¹)	Możliwość zastosowania
i. ograniczenie do minimum zawartości siarki w zestawie i optymalizacja bilansu siarki;	Technika ma ogólne zastosowanie w zakresie ograniczonym wymaganiami jakościowymi dotyczącymi końcowego produktu szklanego.

ii. stosowanie paliw o niskiej zawartości siarki;	Możliwość zastosowania jest zawężana poprzez ograniczenia związane z dostępnością paliw o niskiej zawartości siarki, na którą może mieć wpływ polityka energetyczna państwa członkowskiego.
iii. oczyszczanie suche lub półsuche w połączeniu z systemem filtracji;	Technika ma ogólne zastosowanie.
⁽¹⁾ Opis przedmiotowych technik przedstawiono w pkt 5.10.3.	

Tabela 5.41: Odpowiadające BAT poziomy emisji SO_x z pieca do topienia w sektorze szkła specjalnego

Parametr	Paliwo/technika topienia	BAT-AEL ⁽¹⁾	
		mg/Nm ³	kg/t wytopionego szkła ⁽²⁾
SO _x wyrażone jako SO ₂	Gaz ziemny, topienie elektryczne ⁽²⁾	<30 - 200	<0,08 - 0,5
	Olej opałowy ⁽³⁾	500 - 800	1,25 - 2
⁽¹⁾ Wskazane zakresy uwzględniają zmiany bilansów siarkowych związane z rodzajem produkowanego szkła. ⁽²⁾ Zastosowano przelicznik $2,5 \times 10^{-3}$ (zob. tabela 5.2). W zależności od procesu produkcyjnego może jednak zachodzić konieczność zastosowania przelicznika właściwego dla danego przypadku. ⁽³⁾ Wartości dolne są związane ze stosowaniem topienia elektrycznego oraz wykorzystywaniem zestawów niezawierających siarczanów. ⁽⁴⁾ Odpowiadające BAT poziomy emisji dotyczą zastosowania oleju opałowego o zawartości siarki w wysokości 1 % w połączeniu z wtórnymi technikami redukcji emisji.			

5.6.4 Chlorowódor (HCl) i fluorowódor (HF) z pieców do topienia

52. BAT mają na celu redukcję emisji HCl i HF z pieca do topienia poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

Technika ⁽¹⁾	Możliwość zastosowania
i. dobór surowców o niskiej zawartości chloru i fluoru przy sporządzaniu zestawu;	Możliwość zastosowania tej techniki może być ograniczona względami związanymi z zestawem wykorzystywanym do produkcji określonego rodzaju szkła w instalacji oraz dostępnością surowców.
ii. ograniczenie do minimum zawartości związków fluoru/chloru w zestawie i optymalizacja bilansu masy fluoru/chloru. Związki fluoru stosuje się w celu nadania określonych właściwości specjalnym rodzajom szkła (np. matowego szkła oświetleniowego, szkła optycznego). Związki chloru mogą być stosowane w charakterze środków klarujących w procesie produkcji szkła borokrzemowego;	Technika ma ogólne zastosowanie w zakresie ograniczonym wymaganiami jakościowymi dotyczącymi produktu końcowego.
iii. oczyszczanie suche lub półsuche w połączeniu z systemem filtracji;	Technika ma ogólne zastosowanie.
⁽¹⁾ Opis przedmiotowych technik przedstawiono w pkt 5.10.4.	

Tabela 5.42: Odpowiadające BAT poziomy emisji HCl i HF z pieca do topienia w sektorze szkła specjalnego

Parametr	BAT-AEL	
	mg/Nm ³	kg/t wytopionego szkła ⁽²⁾
Chlorowódor wyrażony jako HCl ⁽²⁾	<10 - 20	<0,03 - 0,05

Fluorowódor wyrażony jako HF	<1 - 5	<0,003 - 0,04 ⁽³⁾
⁽¹⁾ Zastosowano przelicznik $2,5 \times 10^{-3}$ (zob. tabela 5.2), przy czym niektóre wartości zostały podane w przybliżeniu. W zależności od procesu produkcji może zachodzić konieczność zastosowania przelicznika właściwego dla danego przypadku. ⁽²⁾ Wyższe poziomy są związane z wykorzystaniem materiałów zawierających chlor w zestawie. ⁽³⁾ Górne wartości zakresu określono w oparciu o szczegółowe przedstawione dane.		

5.6.5 Metale z pieców do topienia

53. BAT mają na celu redukcję emisji metali z pieca do topienia poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

Technika ⁽¹⁾	Możliwość zastosowania
i. dobór surowców o niskiej zawartości metali przy sporządzaniu zestawu;	Możliwość zastosowania może być ograniczona względami związanymi z rodzajem szkła produkowanego w instalacji oraz dostępnością surowców.
ii. ograniczanie do minimum wykorzystania związków metali w zestawie dzięki odpowiedniemu doborowi surowców w przypadku konieczności barwienia lub odbarwiania szkła lub w przypadku nadawania szkłu określonych właściwości;	Techniki mają ogólne zastosowanie.
iii. oczyszczanie suche lub półsuche w połączeniu z systemem filtracji.	
⁽¹⁾ Opis przedmiotowych technik przedstawiono w pkt 5.10.5.	

Tabela 5.43: Odpowiadające BAT poziomy emisji metali z pieca do topienia w sektorze szkła specjalnego

Parametr	BAT-AEL ⁽¹⁾ ⁽²⁾	
	mg/Nm ³	kg/t wytopionego szkła ⁽³⁾
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI})	<0.1 - 1	<0,3 - 3×10^{-3}
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI} , Sb, Pb, Cr _{III} , Cu, Mn, V, Sn)	<1 - 5	<3 - 15×10^{-3}
⁽¹⁾ Poziomy odnoszą się do sumy metali obecnych w spalinach zarówno w stanie stałym, jak i gazowym. ⁽²⁾ Wartości dolne stanowią BAT-AEL w przypadku, gdy związki metali nie są celowo stosowane w zestawie. ⁽³⁾ Zastosowano przelicznik $2,5 \times 10^{-3}$ (zob. tabela 5.2), przy czym niektóre wartości przedstawione w tabeli zostały podane w przybliżeniu. W zależności od procesu produkcji może zachodzić konieczność zastosowania przelicznika właściwego dla danego przypadku.		

5.6.6 Emisje z procesów końcowych

54. W przypadku końcowych procesów pyłących BAT mają na celu redukcję emisji pyłu i metali poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

Technika ⁽¹⁾	Możliwość zastosowania
i. prowadzenie operacji powodujących pylenie (np. cięcie, szlifowanie, polerowanie) przy udziale cieczy;	Techniki mają ogólne zastosowanie.
ii. zastosowanie systemu filtrów workowych.	
⁽¹⁾ Opis przedmiotowych technik przedstawiono w pkt 5.10.8.	

Tabela 5.44: Odpowiadające BAT poziomy emisji pyłu i metali z procesów końcowych w sektorze szkła specjalnego w przypadku, gdy są one oczyszczane oddzielnie

Parametr	BAT-AEL
	mg/Nm ³
Pył	1 - 10
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI}) ⁽¹⁾	<1
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI} , Sb, Pb, Cr _{III} , Cu, Mn, V, Sn) ⁽¹⁾	<1 - 5
⁽¹⁾ Poziomy odnoszą się do sumy metali występujących w gazach odlotowych.	

55. W przypadku procesów polerowania kwasem BAT mają na celu redukcję emisji HF poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

Technika ⁽¹⁾	Opis
i. ograniczenie do minimum strat czynnika polerującego dzięki zapewnieniu odpowiedniej szczelności systemu dozowania;	Techniki mają ogólne zastosowanie.
ii. zastosowanie techniki wtórnej, np. oczyszczania na mokro.	
⁽¹⁾ Opis przedmiotowych technik przedstawiono w pkt 5.10.6.	

Tabela 5.45: Odpowiadające BAT poziomy emisji HF powstających wskutek stosowania procesów polerowania kwasem w sektorze szkła specjalnego

Parametr	BAT-AEL
	mg/Nm ³
Fluorowódor wyrażony jako HF	<5

5.7 Konkluzje dotyczące BAT dla produkcji wełny mineralnej

O ile nie określono inaczej, konkluzje dotyczące BAT przedstawione w niniejszym punkcie mogą być stosowane w odniesieniu do wszystkich instalacji do wytwarzania wełny mineralnej.

5.7.1 Emisje pyłu z pieców do topienia

56. BAT mają na celu redukcję emisji pyłu z gazów odlotowych z pieca do topienia poprzez zastosowanie elektrofiltra lub systemu filtrów workowych

Technika ⁽¹⁾	Możliwość zastosowania
System filtracji: elektrofiltr lub filtr workowy.	Technika ma ogólne zastosowanie. Elektrofiltry nie mają zastosowania do pieców szybowych do produkcji wełny skalnej ze względu na ryzyko wybuchu w wyniku zapłonu tlenku węgla wytworzonego wewnątrz pieca.
⁽¹⁾ Opis przedmiotowych technik przedstawiono w pkt 5.10.1.	

Tabela 5.46: Odpowiadające BAT poziomy emisji pyłu z pieca do topienia w sektorze wełny mineralnej

Parametr	BAT-AEL	
	mg/Nm ³	kg/t wytopionego szkła ⁽¹⁾
Pył	<10 - 20	<0.02 - 0.050
⁽¹⁾ Zastosowano przeliczniki 2×10^{-3} i $2,5 \times 10^{-3}$ celem ustalenia dolnej i górnej wartości zakresu BAT-AEL (zob. tabela 5.2), aby uwzględnić zarówno produkcję wełny szklanej, jak i wełny skalnej.		

5.7.2. Tlenki azotu (NO_x) z pieców do topienia

57. BAT mają na celu redukcję emisji NO_x z pieca do topienia poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

Technika ⁽¹⁾	Możliwość zastosowania
i. zmiany w procesie spalania	
a) zmniejszenie stosunku powietrza do paliwa;	Dotyczy tradycyjnych pieców opalanych mieszanką powietrzno-paliwową. Pełne korzyści można uzyskać po przeprowadzeniu normalnej lub całkowitej przebudowy pieca przy jednoczesnej optymalizacji jego konstrukcji i geometrii.
b) obniżona temperatura powietrza spalania;	Możliwe do zastosowania wyłącznie w warunkach określonych dla danej instalacji z uwagi na niższą wydajność pieca i zwiększone zapotrzebowanie na paliwo (tj. wykorzystanie pieców rekuperacyjnych zamiast pieców regeneracyjnych).
c) spalanie etapowe: <ul style="list-style-type: none"> • stopniowanie powietrza, • stopniowanie paliwa; 	Stopniowanie paliwa można zastosować w przypadku większości tradycyjnych pieców opalanych mieszanką powietrzno-paliwową. Możliwość stopniowania powietrza jest bardzo ograniczona z uwagi na techniczną złożoność tej metody.
d) recyrkulacja spalin;	Możliwość zastosowania tej techniki ogranicza się do wykorzystania specjalnych palników z automatyczną recyrkulacją gazu odlotowego.
e) palniki niskoemisyjne (Low-NO _x);	Technika ma ogólne zastosowanie. Uzyskane korzyści dla środowiska są z reguły mniejsze w przypadku zastosowań odnoszących się do pieców poprzeczno-płomiennych opalanych gazem z uwagi na ograniczenia techniczne oraz mniejszą elastyczność tego rodzaju pieców. Pełne korzyści można uzyskać po przeprowadzeniu normalnej lub całkowitej przebudowy pieca przy jednoczesnej optymalizacji jego konstrukcji i geometrii.
f) dobór paliwa;	Możliwość zastosowania techniki może być ograniczona względami związanymi z przydatnością poszczególnych rodzajów paliwa, na którą może mieć wpływ polityka energetyczna państwa członkowskiego.
ii. topienie elektryczne;	Technika ta nie może być stosowana w przypadku wytwarzania szkła w dużych ilościach (> 300 ton/dobę). Technika ta nie może być stosowana w przypadku produkcji wymagającej dużej zmienności wydajności pieca. Wdrożenie techniki wymaga całkowitej przebudowy pieca.
iii. topienie tlenowo-paliwowe.	Maksymalne korzyści dla środowiska można osiągnąć po przeprowadzeniu całkowitej przebudowy pieca.

⁽¹⁾ Opis przedmiotowych technik przedstawiono w pkt 5.10.2.

Tabela 5.47: Odpowiadające BAT poziomy emisji NO_x z pieca do topienia w sektorze wełny mineralnej

Parametr	Produkt	Technika topienia	BAT-AEL	
			mg/Nm ³	kg/t wytopionego szkła ⁽¹⁾
NO _x wyrażone jako NO ₂	Wełna szklana	Piece powietrzno-paliwowe i piece elektryczne	<200 - 500	<0,4 - 1,0
		Topienie tlenowo-paliwowe ⁽²⁾	Nie dotyczy	<0,5
	Wełna skalna	Wszystkie rodzaje pieców	<400 - 500	<1,0 - 1,25

⁽¹⁾ Zastosowano przeliczniki 2×10^{-3} dla wełny szklanej i $2,5 \times 10^{-3}$ dla wełny skalnej (zob. tabela 5.2). ⁽²⁾ Poziomy możliwe do osiągnięcia zależą od jakości dostępnego gazu ziemnego i tlenu (zawartość azotu).

58. W przypadku stosowania azotanów w zestawie do produkcji wełny szklanej BAT mają na celu redukcję emisji NO_x poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

Technika ⁽¹⁾	Możliwość zastosowania
i. ograniczenie do minimum stosowania azotanów w zestawie. Azotany wykorzystuje się jako czynnik utleniający w zestawach o wysokiej zawartości zewnętrznej słuczki, aby skompensować obecność materiału organicznego zawartego w słuczce;	Technika ma ogólne zastosowanie w zakresie ograniczonym wymaganiami jakościowymi dotyczącymi produktu końcowego.
ii. topienie elektryczne;	Technika ma ogólne zastosowanie. Wdrożenie topienia elektrycznego wymaga całkowitej przebudowy pieca.
iii. topienie tlenowo-paliwowe.	Technika ma ogólne zastosowanie. Maksymalne korzyści dla środowiska można osiągnąć po przeprowadzeniu całkowitej przebudowy pieca.
⁽¹⁾ Opis przedmiotowych technik przedstawiono w pkt 5.10.2.	

Tabela 5.48: Odpowiadające BAT poziomy emisji NO_x z pieca do topienia w sektorze wełny szklanej w przypadku stosowania azotanów w zestawie

Parametr	BAT	BAT-AEL	
		mg/Nm ³	kg/t wytopionego szkła ⁽¹⁾
NO _x wyrażone jako NO ₂	Ograniczenie do minimum ilości azotanów stosowanych w zestawie przy jednoczesnym wykorzystywaniu technik pierwotnych	<500 - 700	<1,0 - 1,4 ⁽²⁾
⁽¹⁾ Zastosowano przelicznik 2×10^{-3} (zob. tabela 5.2).			
⁽²⁾ Dolne wartości zakresów są związane z zastosowaniem topienia tlenowo-paliwowego.			

5.7.3 Tlenki siarki (SO_x) z pieców do topienia

59. BAT mają na celu redukcję emisji SO_x z pieca do topienia poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

Technika ⁽¹⁾	Możliwość zastosowania
i. ograniczenie do minimum zawartości siarki w zestawie i optymalizacja bilansu siarki;	W produkcji wełny szklanej technika ma ogólne zastosowanie w obrębie ograniczeń dostępności surowców o niskiej zawartości siarki, w szczególności zewnętrznej słuczki. Wysoka zawartość zewnętrznej słuczki w zestawie ogranicza możliwość optymalizacji bilansu siarki ze względu na zmienną zawartość siarki. W produkcji wełny skalnej optymalizacja bilansu siarki może wymagać podejścia kompromisowego pomiędzy usuwaniem emisji SO _x ze spalin a gospodarowaniem odpadami stałymi pochodzącymi z obróbki spalin (pył z filtrów) lub z procesu rozwałkowania, które mogą zostać ponownie wykorzystane w zestawie (brykiety cementowe) lub mogą wymagać unieszkodliwienia.
ii. stosowanie paliw o niskiej zawartości siarki;	Możliwość zastosowania jest zawężana poprzez ograniczenia związane z dostępnością paliw o niskiej zawartości siarki, na którą może mieć wpływ polityka energetyczna państwa członkowskiego.
iii. oczyszczanie suche lub półsuche w połączeniu z systemem filtracji;	Elektrofiltry nie mają zastosowania do pieców szybowych do produkcji wełny skalnej (zob. BAT 56).

iv. stosowanie płuczki wodnej.	Technika ma ogólne zastosowanie w ramach ograniczeń technicznych, tj. potrzeby specjalnej oczyszczalni ścieków.
⁽¹⁾ Opis przedmiotowych technik przedstawiono w pkt 5.10.3 i 5.10.6.	

Tabela 5.49: Odpowiadające BAT poziomy emisji SO_x z pieca do topienia w sektorze wełny mineralnej

Parametr	Produkt/warunki	BAT-AEL	
		mg/Nm ³	kg/t wytopionego szkła ⁽¹⁾
SO _x wyrażone jako SO ₂	Wełna szklana		
	Piece gazowe i elektryczne ⁽²⁾	<50 - 150	<0,1 - 0,3
	Wełna skalna		
	Piece gazowe i elektryczne	<350	<0,9
	Piece szybowe bez recyklingu brykietów lub żużła ⁽³⁾	<400	<1,0
	Piece szybowe z recyklingiem brykietów cementowych lub żużła ⁽⁴⁾	<1400	<3,5
⁽¹⁾ Zastosowano przeliczniki 2 × 10 ⁻³ dla wełny szklanej i 2,5 × 10 ⁻³ dla wełny skalnej (zob. tabela 5.2). ⁽²⁾ Dolne wartości zakresów są związane z zastosowaniem topienia elektrycznego. Wyższe poziomy są związane z wysokimi poziomami recyklingu słuczki. ⁽³⁾ BAT-AEL jest powiązany z warunkami, w których redukcja emisji SO _x ma wysoki priorytet w stosunku do mniejszej produkcji odpadów stałych. ⁽⁴⁾ Gdy ograniczenie odpadów ma priorytet w stosunku do emisji SO _x , można spodziewać się wyższych wartości emisji. Możliwe do osiągnięcia poziomy powinny być oparte na bilansie siarki.			

5.7.4 Chlorowodór (HCl) i fluorowodór (HF) z pieców do topienia

60. BAT mają na celu redukcję emisji HCl i HF z pieca do topienia poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

Technika ⁽¹⁾	Opis
i. dobór surowców o niskiej zawartości chloru i fluoru przy sporządzaniu zestawu;	Technika ma ogólne zastosowanie w zakresie ograniczonym względami dotyczącymi sporządzania zestawu i dostępnością surowców.
ii. oczyszczanie suche lub półsuche w połączeniu z systemem filtracji;	Elektrofiltry nie mają zastosowania do pieców szybowych do produkcji wełny skalnej (zob. BAT 56).
⁽¹⁾ Opis przedmiotowych technik przedstawiono w pkt 5.10.4.	

Tabela 5.50: Odpowiadające BAT poziomy emisji HCl i HF z pieca do topienia w sektorze wełny mineralnej

Parametr	Produkt	BAT-AEL	
		mg/Nm ³	kg/t wytopionego szkła (1)
Chlorowodór wyrażony jako HCl	Wełna szklana	<5 - 10	<0,01 - 0,02
	Wełna skalna	<10 - 30	<0,025 - 0,075
Fluorowodór wyrażony jako HF	Wszystkie produkty	<1 - 5	<0,002 - 0,013 ⁽²⁾
⁽¹⁾ Zastosowano przeliczniki 2 × 10 ⁻³ dla wełny szklanej i 2,5 × 10 ⁻³ dla wełny skalnej (zob. tabela 5.2). ⁽²⁾ Zastosowano przeliczniki 2 × 10 ⁻³ i 2,5 × 10 ⁻³ celem ustalenia dolnej i górnej wartości zakresu BAT-AEL (zob. tabela 5.2).			

5.7.5 Siarkowódor (H₂S) z pieców do topienia wełny skalnej

- 61. BAT mają na celu redukcję emisji H₂S z pieca do topienia poprzez zastosowanie systemu spalania gazu odlotowego w celu utlenienia siarkowodoru do SO₂**

Technika ⁽¹⁾	Możliwość zastosowania
System dopalania gazu odlotowego	Technika jest ogólnie stosowana do pieców szybowych do produkcji wełny skalnej.
⁽¹⁾ Opis przedmiotowej techniki przedstawiono w pkt 5.10.9.	

Tabela 5.51: Odpowiadające BAT poziomy emisji H₂S z pieca do topienia do produkcji wełny skalnej

Parametr	BAT-AEL	
	mg/Nm ³	kg/t wytopionego szkła (1)
Siarkowódor wyrażony jako H ₂ S	<2	<0,005
⁽¹⁾ Zastosowano przelicznik $2,5 \times 10^{-3}$ dla wełny skalnej (zob. tabela 5.2).		

5.7.6 Metale z pieców do topienia

- 62. BAT mają na celu redukcję emisji metali z pieca do topienia poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:**

Technika ⁽¹⁾	Możliwość zastosowania
i. dobór surowców o niskiej zawartości metali przy sporządzaniu zestawu;	Technika ma ogólne zastosowanie w zakresie ograniczonym wymaganiami dostępnością surowców. Stosowanie manganu w zestawie jako czynnika utleniającego przy produkcji wełny szklanej zależy od ilości i jakości zewnętrznej słuczki wykorzystanej do przygotowania zestawu, a jego zawartość może być odpowiednio ograniczona do minimum.
ii. zastosowanie systemu filtracji.	Elektrofiltry nie mają zastosowania do pieców szybowych do produkcji wełny skalnej (zob. BAT 56).
⁽¹⁾ Opis przedmiotowych technik przedstawiono w pkt 5.10.5.	

Tabela 5.52: Odpowiadające BAT poziomy emisji metali z pieca do topienia w sektorze wełny mineralnej

Parametr	BAT-AEL ⁽¹⁾	
	mg/Nm ³	kg/t wytopionego szkła ⁽²⁾
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI})	<0.2 - 1 ⁽³⁾	<0,4 - 2,5 x 10 ⁻³
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI} , Sb, Pb, Cr _{III} , Cu, Mn, V, Sn)	<1 - 2 ⁽³⁾	<2 - 5 x 10 ⁻³
⁽¹⁾ Zakresy odnoszą się do sumy metali obecnych w spalinach zarówno w stanie stałym, jak i gazowym.		
⁽²⁾ Zastosowano przeliczniki 2×10^{-3} i $2,5 \times 10^{-3}$ celem ustalenia dolnej i górnej wartości zakresu BAT-AEL (zob. tabela 5.2).		
⁽³⁾ Wyższe wartości są związane z zastosowaniem pieców szybowych do produkcji wełny skalnej.		

5.7.7 Emisje z procesów końcowych

- 63. BAT mają na celu redukcję emisji z procesów końcowych poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:**

Technika ⁽¹⁾	Możliwość zastosowania
i. oczyszczanie strumieniowe i odpylacze cyklonowe. Technika ta polega na usuwaniu cząsteczek i kropelek z gazów odlotowych dzięki oczyszczaniu strumieniowemu/uderzeniowemu, a także substancji gazowych dzięki częściowemu pochłanianiu przez wodę. Do oczyszczania strumieniowego zazwyczaj wykorzystywana jest woda technologiczna. Przed jej ponownym wykorzystaniem zawracana woda technologiczna jest filtrowana;	Technika ta ma ogólnie zastosowanie w sektorze wełny mineralnej, w szczególności w procesach produkcyjnych wełny szklanej do oczyszczania emisji z obszaru formowania (nasycanie włókien spoiwem). Możliwość zastosowania w procesach produkcji wełny skalnej jest ograniczona, ponieważ mogłoby to niekorzystnie wpływać na inne wykorzystywane techniki redukcji emisji.
ii. płuczki wodne;	Technika ta ma ogólnie zastosowanie do czyszczenia gazów odlotowych z procesów formowania (nasycanie włókien spoiwem) lub wymieszanych gazów odlotowych (formowanie plus polimeryzacja).
iii. elektrofiltry mokre;	Technika ta ma ogólnie zastosowanie do czyszczenia gazów odlotowych z procesów formowania (nasycanie włókien spoiwem), z pieców do suszenia, lub do czyszczenia wymieszanych gazów odlotowych (formowanie plus polimeryzacja).
iv. filtry z wełny skalnej. Jest to stalowa lub betonowa konstrukcja, w której montuje się płyty z wełny skalnej pełniące rolę materiału filtracyjnego. Materiał filtracyjny wymaga okresowego czyszczenia lub wymiany. Filtr ten nadaje się do filtrowania gazów odlotowych o dużej zawartości wilgoci i pyłu zawieszoności o lepkościach;	Możliwość zastosowania ogranicza się głównie do procesów produkcji wełny skalnej w odniesieniu do gazów odlotowych z obszaru formowania lub obszaru polimeryzacji.
v. spalanie gazu odlotowego.	Technika ta ma ogólnie zastosowanie do czyszczenia gazów odlotowych z komór polimeryzacyjnych, w szczególności w procesach produkcji wełny skalnej. Zastosowanie do mieszanych gazów odlotowych (formowanie plus polimeryzacja) nie jest opłacalne z ekonomicznego punktu widzenia ze względu na dużą objętość, małe stężenie i niską temperaturę gazów odlotowych.
⁽¹⁾ Opis przedmiotowych technik przedstawiono w pkt 5.10.7 i 5.10.9.	

Tabela 5.53: Odpowiadające BAT poziomy emisji powietrza z procesów końcowych w sektorze wełny mineralnej w przypadku, gdy są one oczyszczane oddzielnie

Parametr	BAT-AEL	
	mg/Nm ³	kg/t gotowego produktu
<i>Obszar formowania – połączone emisje z formowania i polimeryzacji – połączone emisje z formowania, polimeryzacji i chłodzenia</i>		
Pył zawieszony ogółem	<20 - 50	-
Fenol	<5 - 10	-
Formaldehyd	<2 - 5	-
Amoniak	30 - 60	-
Aminy	<3	-
Lotne związki organiczne ogółem wyrażone jako C	10 - 30	-
<i>Emisje z komór polimeryzacyjnych ⁽¹⁾ ⁽²⁾</i>		
Pył zawieszony ogółem	<5 - 30	<0.2

Fenol	<2 - 5	<0.03
Formaldehyd	<2 - 5	<0.03
Amoniak	<20 - 60	<0.4
Aminy	<2	<0.01
Lotne związki organiczne ogółem wyrażone jako C	<10	<0.065
NO _x wyrażone jako NO ₂	<100 - 200	<1
<p>(¹) Na poziomy emisji wyrażone w kg/t produktu gotowego nie wpływa grubość wyprodukowanej maty wełny mineralnej ani wyjątkowe stężenie lub rozcieńczenie spalin. Zastosowano przelicznik $6,5 \times 10^{-3}$.</p> <p>(²) W przypadku produkcji wełny mineralnej o dużej gęstości lub dużej zawartości spoiwa poziomy emisji odpowiadające technikom wymienionym jako BAT dla tego sektora mogą być znacznie wyższe niż przedmiotowe BAT-AEL. Jeśli te rodzaje produktów stanowią większość produkcji z danej instalacji, należy rozważyć inne techniki.</p>		

5.8 Konkluzje dotyczące BAT dla produkcji wysokotemperaturowej wełny izolacyjnej (HTIW)

O ile nie określono inaczej, konkluzje dotyczące BAT przedstawione w niniejszym punkcie mogą być stosowane w odniesieniu do wszystkich instalacji do wytwarzania HTIW.

5.8.1 Emisje pyłu z topienia i procesów końcowych

64. BAT mają na celu redukcję emisji pyłu z gazów odlotowych z pieca do topienia poprzez zastosowanie systemu filtracji.

Technika (¹)	Możliwość zastosowania
System filtracji zazwyczaj składa się z filtra workowego.	Technika ma ogólne zastosowanie.
(¹) Opis przedmiotowej techniki przedstawiono w pkt 5.10.1.	

Tabela 5.54: Odpowiadające BAT poziomy emisji pyłu z pieca do topienia w sektorze HTIW

Parametr	BAT	BAT-AEL
		mg/Nm ³
Pył	Czyszczenie spalin za pomocą systemów filtracji	<5 - 20 (¹)
(¹) Wartości są powiązane z zastosowaniem systemu filtrów workowych.		

65. W przypadku końcowych procesów pyłących BAT mają na celu redukcję emisji poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

Technika ⁽¹⁾	Możliwość zastosowania
<p>i. Ograniczenie do minimum strat czynnika polerującego dzięki zapewnieniu prawidłowego uszczelnienia linii produkcyjnej, jeśli jest to możliwe z technicznego punktu widzenia.</p> <p>Potencjalne źródła emisji pyłu i włókien to:</p> <ul style="list-style-type: none"> • rozwłóknianie i odbiór; • formowanie maty (igłowanie); • opalanie smaru; • cięcie, przycinanie i pakowanie produktu gotowego. <p>Dobra konstrukcja, uszczelnienie i konserwacja systemów obróbki końcowej mają zasadnicze znaczenie dla ograniczenia do minimum strat produktu w powietrzu;</p>	Techniki mają ogólne zastosowanie.
<p>ii. cięcie, przycinanie i pakowanie w próżni poprzez zastosowanie wydajnego systemu usuwania w połączeniu z filtrem tkaninowym.</p> <p>Na stanowisku roboczym (tj. w maszynie tnącej, kartonie do pakowania) ciśnienie jest obniżane poniżej atmosferycznego w celu usunięcia emisji cząstek i włókien i skierowania ich do filtra tkaninowego;</p>	
<p>iii. zastosowanie systemu filtrów tkaninowych ⁽¹⁾</p> <p>Gazy odlotowe z operacji końcowych (rozwłóknianie, formowanie mat i opalanie smaru) są kierowane do systemu oczyszczania w postaci filtra workowego.</p>	
⁽¹⁾ Opis przedmiotowej techniki przedstawiono w pkt 5.10.1.	

Tabela 5.55: Odpowiadające BAT poziomy emisji z końcowych procesów pyłących w sektorze HTIW w przypadku, gdy są one oczyszczane oddzielnie

Parametr	BAT-AEL
	mg/Nm ³
Pył ⁽¹⁾	1-5
⁽¹⁾ Dolna wartość zakresu jest powiązana z emisjami z wełny szklanej na bazie krzemianu glinu/ogniotrwałych włókien ceramicznych (ASW/RCF).	

5.8.2 Tlenki azotu (NO_x) z topienia i procesów końcowych

66. BAT mają na celu redukcję emisji NO_x z pieca do opalania smaru poprzez zastosowanie kontroli spalania lub jego zmian

Technika	Możliwość zastosowania
<p>Kontrola lub zmiany spalania</p> <p>Techniki ograniczające powstawanie termicznych emisji NO_x obejmują kontrolę głównych parametrów spalania:</p> <ul style="list-style-type: none"> • stosunku powietrza do paliwa (zawartości tlenu w obszarze reakcji); • temperatury płomienia; • czasu przebywania w strefie wysokiej temperatury. <p>Dobra kontrola spalania to wytworzenie takich warunków, które w mniejszym stopniu sprzyjają powstawaniu NO_x.</p>	Technika ma ogólne zastosowanie.

Tabela 5.56: Odpowiadające BAT poziomy emisji NO_x z pieca do opalania smaru w sektorze HTIW

Parametr	BAT	BAT-AEL
		mg/Nm ³
NO _x wyrażone jako NO ₂	Kontrola lub zmiany spalania	100 - 200

Tlenki siarki (SO_x) z topienia i procesów końcowych

- 67. BAT mają na celu redukcję emisji SO_x z pieca do topienia i procesów końcowych poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:**

Technika ⁽¹⁾	Możliwość zastosowania
i. dobór surowców o niskiej zawartości siarki przy sporządzaniu zestawu;	Technika ma ogólne zastosowanie w zakresie ograniczonym dostępnością surowców.
ii. stosowanie paliwa o niskiej zawartości siarki.	Możliwość zastosowania jest zawężana poprzez ograniczenia związane z dostępnością paliw o niskiej zawartości siarki, na którą może mieć wpływ polityka energetyczna państwa członkowskiego.

⁽¹⁾ Opis przedmiotowej techniki przedstawiono w pkt 5.10.3.

Tabela 5.57: Odpowiadające BAT poziomy emisji SO_x z pieca do topienia i procesów końcowych w sektorze HTIW

Parametr	BAT	BAT-AEL
		mg/Nm ³
SO _x wyrażone jako SO ₂	Techniki pierwotne	<50

5.8.4 Chlorowodór (HCl) i fluorowodór (HF) z pieców do topienia

- 68. BAT mają na celu redukcję emisji HCl i HF z pieca do topienia dzięki doborowi surowców o niskiej zawartości chloru i fluoru przy sporządzaniu zestawu**

Technika ⁽¹⁾	Możliwość zastosowania
Dobór surowców o niskiej zawartości chloru i fluoru przy sporządzaniu zestawu	Technika ma ogólne zastosowanie.

⁽¹⁾ Opis przedmiotowej techniki przedstawiono w pkt 5.10.4.

Tabela 5.58: Odpowiadające BAT poziomy emisji HCl i HF z pieca do topienia w sektorze HTIW

Parametr	BAT-AEL
	mg/Nm ³
Chlorowodór wyrażony jako HCl	<10
Fluorowodór wyrażony jako HF	<5

5.8.5 Metale z pieców do topienia i procesów końcowych

- 69. BAT mają na celu redukcję emisji metali z pieca do topienia lub procesów końcowych poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:**

Technika ⁽¹⁾	Możliwość zastosowania
i. dobór surowców o niskiej zawartości metali przy sporządzaniu zestawu;	Techniki mają ogólne zastosowanie.
ii. zastosowanie systemu filtracji.	
⁽¹⁾ Opis przedmiotowej techniki przedstawiono w pkt 5.10.5.	

Tabela 5.59: Odpowiadające BAT poziomy emisji metali z pieca do topienia lub procesów końcowych w sektorze HTIW

Parametr	BAT-AEL (1)
	mg/Nm ³
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI})	<1
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI} , Sb, Pb, Cr _{III} , Cu, Mn, V, Sn)	<5

⁽¹⁾ Poziomy odnoszą się do sumy metali obecnych w spalinach zarówno w stanie stałym, jak i gazowym.

5.8.6 Lotne związki organiczne z procesów końcowych

70. BAT mają na celu redukcję emisji lotnych związków organicznych z pieca do opalania smaru poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

Technika ⁽¹⁾	Możliwość zastosowania
i. kontrola spalania, w tym monitorowanie powiązanych emisji CO. Technika polega na kontroli parametrów spalania (np. zawartości tlenu w obszarze reakcji, temperatury płomienia) w celu zapewnienia pełnego spalania związków organicznych (tj. glikolu polietylenowego) w gazach odlotowych. Monitorowanie emisji tlenku węgla pozwala kontrolować obecność niespalonych związków organicznych;	Technika ma ogólne zastosowanie.
ii. spalanie gazów odlotowych;	Przydatność tych technik może być ograniczona ze względu na rentowność z uwagi na małą objętość gazów odlotowych i stężenie lotnych związków organicznych.
iii. płuczki wodne;	
⁽¹⁾ Opis przedmiotowych technik przedstawiono w pkt 5.10.6 i 5.10.9.	

Tabela 5.60: Odpowiadające BAT poziomy emisji lotnych związków organicznych z pieca do opalania smaru w sektorze HTIW w przypadku, gdy są one oczyszczane oddzielnie

Parametr	BAT	BAT-AEL
		mg/Nm ³
Lotne składniki organiczne wyrażone jako C	Techniki pierwotne lub wtórne	10 - 20

5.9 Konkluzje dotyczące BAT dla produkcji fryt

O ile nie określono inaczej, konkluzje dotyczące BAT przedstawione w niniejszym punkcie mogą być stosowane w odniesieniu do wszystkich instalacji do wytwarzania fryt szklanych.

5.9.1 Emisje pyłu z pieców do topienia

71. BAT mają na celu redukcję emisji pyłu z gazów odlotowych z pieca do topienia poprzez zastosowanie elektrofiltra lub systemu filtrów workowych.

Technika (1)	Możliwość zastosowania
System filtracji: elektrofiltr lub filtr workowy.	Technika ma ogólne zastosowanie.
(1) Opis przedmiotowej techniki przedstawiono w pkt 5.10.1.	

Tabela 5.61: Odpowiadające BAT poziomy emisji pyłu z pieca do topienia w sektorze produkcji fryt

Parametr	BAT-AEL	
	mg/Nm ³	kg/t wytopionego szkła (1)
Pył	<10 - 20	<0,05 - 0,15
(2) Zastosowano przeliczniki 2×10^{-3} i $2,5 \times 10^{-3}$ celem ustalenia dolnej i górnej wartości zakresu BAT-AEL (zob. tabela 5.2). W zależności od rodzaju spalania konieczne może być jednak zastosowanie indywidualnego przelicznika.		

5.9.2. Tlenki azotu (NO_x) z pieców do topienia

72. BAT mają na celu redukcję emisji NO_x z pieca do topienia poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

Technika (1)	Możliwość zastosowania
i. ograniczenie do minimum stosowania azotanów w zestawie. W produkcji fryt azotany wykorzystuje się przy sporządzaniu zestawu dla wielu produktów w celu uzyskania wymaganych cech;	Zastąpienie azotanów w zestawie może być ograniczone wysokimi kosztami lub większym oddziaływaniem materiałów alternatywnych na środowisko lub wymogami jakościowymi produktu końcowego.
ii. ograniczenie obcego powietrza wchodzącego do pieca. Technika polega na uszczelnieniu bloków palnika, podajnika materiału zestawu i innych otworów pieca do topienia, aby zapobiec przedostawaniu się powietrza do pieca;	Technika ma ogólne zastosowanie.
iii. zmiany w procesie spalania	
(a) zmniejszenie stosunku powietrza do paliwa;	Dotyczy tradycyjnych pieców opalanych mieszanką powietrzno-paliwową. Pełne korzyści można uzyskać po przeprowadzeniu normalnej lub całkowitej przebudowy pieca przy jednoczesnej optymalizacji jego konstrukcji i geometrii.
(b) obniżona temperatura powietrza spalania;	Możliwe do zastosowania wyłącznie w warunkach określonych dla instalacji z uwagi na niższą wydajność pieca i zwiększone zapotrzebowanie na paliwo.
(c) spalanie etapowe: <ul style="list-style-type: none"> o stopniowanie powietrza, o stopniowanie paliwa; 	Stopniowanie paliwa można zastosować w przypadku większości tradycyjnych pieców opalanych mieszanką powietrzno-paliwową. Możliwość stopniowania powietrza jest bardzo ograniczona z uwagi na techniczną złożoność tej metody.
(d) recyrkulacja spalin;	Możliwość zastosowania tej techniki ogranicza się do wykorzystania specjalnych palników z automatyczną recyrkulacją gazu odlotowego.
(e) palniki niskoemisyjne (Low-NO _x);	Technika ma ogólne zastosowanie. Pełne korzyści można uzyskać po przeprowadzeniu normalnej lub całkowitej przebudowy pieca przy jednoczesnej optymalizacji jego konstrukcji i geometrii.
(f) dobór paliwa;	Możliwość zastosowania techniki może być ograniczona względami związanymi z przydatnością poszczególnych rodzajów paliwa, na którą może mieć wpływ polityka energetyczna państwa członkowskiego.

iv. topienie tlenowo-paliwowe.	Maksymalne korzyści dla środowiska można osiągnąć po przeprowadzeniu całkowitej przebudowy pieca.
⁽¹⁾ Opis przedmiotowej techniki przedstawiono w pkt 5.10.2.	

Tabela 5.62: Odpowiadające BAT poziomy emisji NO_x z pieca do topienia w sektorze produkcji fryt

Parametr	BAT	Warunki działania:	BAT-AEL ⁽¹⁾	
			mg/Nm ³	kg/t wytopionego szkła ⁽²⁾
NO _x wyrażone jako NO ₂	Techniki pierwotne	Opalanie tlenowo-paliwowe, bez azotanów ⁽³⁾	Nie dotyczy	<2,5 - 5
		Opalanie tlenowo-paliwowe z użyciem azotanów	Nie dotyczy	5 - 10
		Spalanie mieszanki powietrzno-paliwowej, mieszanki paliwa i powietrza wzbogaconego tlenem, bez azotanów	500 - 1000	2,5 – 7,5
		Spalanie mieszanki powietrzno-paliwowej, mieszanki paliwa i powietrza wzbogaconego tlenem, z użyciem azotanów	<1600	<12

⁽¹⁾ Zakresy uwzględniają kombinację spalin z pieców, w których stosowane są różne techniki topienia i wytwarzane różne rodzaje fryt na bazie zestawów zawierających azotany lub ich niezawierających, które to spaliny można odprowadzać jednym kominem, co wyklucza możliwość opisanie każdej zastosowanej techniki topienia i poszczególnych produktów.

⁽²⁾ Zastosowano przeliczniki 5×10^{-3} i $7,5 \times 10^{-3}$ celem ustalenia dolnej i górnej wartości zakresu. W zależności od rodzaju spalania konieczne może być jednak zastosowanie indywidualnego przelicznika (zob. tabela 5.2).

⁽³⁾ Poziomy możliwe do osiągnięcia zależą od jakości dostępnego gazu ziemnego i tlenu (zawartość azotu).

5.9.3 Tlenki siarki (SO_x) z pieców do topienia

73. BAT mają na celu kontrolowanie emisji SO_x z pieca do topienia poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

Technika ⁽¹⁾	Możliwość zastosowania
i. dobór surowców o niskiej zawartości siarki przy sporządzaniu zestawu;	Technika ma ogólne zastosowanie w zakresie ograniczonym dostępnością surowców.
ii. oczyszczanie suche lub półsuche w połączeniu z systemem filtracji;	Technika ma ogólne zastosowanie.
iii. stosowanie paliw o niskiej zawartości siarki.	Możliwość zastosowania jest zawężana poprzez ograniczenia związane z dostępnością paliw o niskiej zawartości siarki, na którą może mieć wpływ polityka energetyczna państwa członkowskiego.

⁽¹⁾ Opis przedmiotowych technik przedstawiono w pkt 5.10.3.

Tabela 5.63: Odpowiadające BAT poziomy emisji SO_x z pieca do topienia w sektorze produkcji fryt

Parametr	BAT-AEL	
	mg/Nm ³	kg/t wytopionego szkła ⁽¹⁾
SO _x wyrażone jako SO ₂	<50 - 200	<0,25 – 1,5

⁽¹⁾ Zastosowano przeliczniki 5×10^{-3} i $7,5 \times 10^{-3}$; dane wskazane w tabeli mogą jednak być przybliżone. W zależności od rodzaju spalania konieczne może być zastosowanie indywidualnego przelicznika (zob. tabela 5.2).

5.9.4 Chlorowodór (HCl) i fluorowodór (HF) z pieców do topienia

74. BAT mają na celu redukcję emisji HCl i HF z pieca do topienia poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

Technika ⁽¹⁾	Możliwość zastosowania
i. dobór surowców o niskiej zawartości chloru i fluoru przy sporządzaniu zestawu;	Technika ma ogólne zastosowanie w zakresie ograniczonym względami dotyczącymi sporządzania zestawu i dostępnością surowców.
ii. ograniczenie do minimum związków fluoru w zestawie, jeśli są one stosowane w celu zapewnienia jakości produktu końcowego. Związki fluoru są stosowane w celu nadania szczególnych cech frytom (tj. odporności termicznej i chemicznej);	Zmniejszenie do minimum lub zastąpienie związków fluoru materiałami alternatywnymi jest ograniczone wymogami jakościowymi produktu.
iii. oczyszczanie suche lub półsuche w połączeniu z systemem filtracji.	Technika ma ogólne zastosowanie.
⁽¹⁾ Opis przedmiotowych technik przedstawiono w pkt 5.10.4.	

Tabela 5.64: Odpowiadające BAT poziomy emisji HCl i HF z pieca do topienia w sektorze produkcji fryt

Parametr	BAT-AEL	
	mg/Nm ³	kg/t wytopionego szkła ⁽¹⁾
Chlorowodór wyrażony jako HCl	<10	<0,05
Fluorowodór wyrażony jako HF	<5	<0,03
⁽¹⁾ Zastosowano przelicznik 5×10^{-3} z niektórymi przybliżonymi wartościami. W zależności od rodzaju spalania konieczne może być zastosowanie indywidualnego przelicznika (zob. tabela 5.2).		

5.9.5 Metale z pieców do topienia

75. BAT mają na celu redukcję emisji metali z pieca do topienia poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

Technika ⁽¹⁾	Możliwość zastosowania
i. dobór surowców o niskiej zawartości metali przy sporządzaniu zestawu;	Technika ma ogólne zastosowanie w zakresie ograniczonym rodzajem produkowanych fryt i dostępnością surowców.
ii. ograniczenie do minimum stosowania związków metali w zestawie, gdy fryty wymagają barwienia lub nadania im innych specyficznych cech;	Techniki mają ogólne zastosowanie.
iii. oczyszczanie suche lub półsuche w połączeniu z systemem filtracji.	
⁽¹⁾ Opis przedmiotowych technik przedstawiono w pkt 5.10.5.	

Tabela 5.65: Odpowiadające BAT poziomy emisji metali z pieca do topienia w sektorze produkcji fryt

Parametr	BAT-AEL ⁽¹⁾	
	mg/Nm ³	kg/t wytopionego szkła ⁽²⁾
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI})	<1	<7,5 x 10 ⁻³
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI} , Sb, Pb, Cr _{III} , Cu, Mn, V, Sn)	<5	<37 x 10 ⁻³
⁽¹⁾ Poziomy odnoszą się do sumy metali obecnych w spalinach zarówno w stanie stałym, jak i gazowym.		
⁽²⁾ Zastosowano przelicznik $7,5 \times 10^{-3}$. W zależności od rodzaju spalania konieczne może być zastosowanie indywidualnego przelicznika (zob. tabela 5.2).		

5.9.6 Emisje z procesów końcowych

76. W przypadku końcowych procesów pyłących BAT mają na celu redukcję emisji poprzez zastosowanie jednej z następujących technik lub ich kombinacji:

Technika ⁽¹⁾	Możliwość zastosowania
i. stosowanie technik mielenia na mokro. Technika polega na zmieleniu fryty do uzyskania pożądanego rozkładu wielkości ziaren z dostateczną ilością płynu, by utworzyć zawiesinę. Proces jest zasadniczo przeprowadzany w młynach kulowych z kulami z tlenku glinu z udziałem wody;	Techniki mają ogólne zastosowanie.
ii. stosowanie suchego mielenia i suchego pakowania produktów z udziałem efektywnego systemu odprowadzania pyłu w połączeniu z filtrem tkaninowym. W urządzeniu mielącym lub na stanowisku pakowania ciśnienie jest obniżane poniżej atmosferycznego w celu odprowadzenia emisji pyłu do filtra tkaninowego;	
iii. zastosowanie systemu filtracji.	
⁽¹⁾ Opis przedmiotowych technik przedstawiono w pkt 5.10.1.	

Tabela 5.66: Odpowiadające BAT poziomy emisji do powietrza z procesów końcowych w sektorze produkcji fryt w przypadku, gdy są one oczyszczane oddzielnie

Parametr	BAT-AEL
	mg/Nm ³
Pył	5 - 10
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI})	<1 ⁽¹⁾
Σ (As, Co, Ni, Cd, Se, Cr _{VI} , Sb, Pb, Cr _{III} , Cu, Mn, V, Sn)	<5 ⁽¹⁾
⁽¹⁾ Poziomy odnoszą się do sumy metali występujących w gazach odlotowych.	

Słowniczek:

5.10 Opis technik

5.10.1 Emisje pyłu

Technika	Opis
Elektrofiltr	Działanie elektrofiltrów polega na tym, że cząsteczkom nadawany jest ładunek elektryczny, co pozwala oddzielić je pod wpływem pola elektrycznego. Elektrofiltry mogą działać w bardzo różnych warunkach.
Filtr workowy	Filtry workowe są wykonane z porowatej plecionej lub filcowanej tkaniny, przez którą przepuszcza się gazy w celu zatrzymania na niej cząstek. Zastosowanie filtra workowego wiąże się z koniecznością wyboru materiału tkaniny, który będzie odpowiedni dla właściwości gazów odlotowych, i maksymalnej temperatury pracy.
Redukcja emisji składników lotnych dzięki wprowadzeniu zmian w surowcach	Skład zestawu może obejmować bardzo lotne związki (np. związki boru), których ilość można ograniczyć do minimum lub które można zastąpić w celu ograniczenia emisji pyłu wytwarzanego głównie w wyniku ulatniania.
	Technika ta polega na stosowaniu pieca do topienia, w którym energię zapewnia bezpośrednie nagrzewanie rezystancyjne.

Topienie elektryczne	W piecach szybowych typu cold-top (w których elektrody są zazwyczaj umieszczane na dole pieca) warstwa zestawu pokrywa powierzchnię topionej masy, znacznie ograniczając ulatnianie się związków wchodzących w jego skład (tj. związków ołowiu).
----------------------	--

5.10.2 Emisje NO_x

Technika	Opis
Zmiany w procesie spalania	
i. zmniejszenie stosunku powietrza do paliwa;	Technika opiera się głównie na następujących właściwościach: <ul style="list-style-type: none"> • ograniczenie do minimum przenikania powietrza do pieca, • staranna kontrola powietrza wykorzystywanego w procesie spalania, • zmieniona konstrukcja komory spalania pieca.
ii. obniżona temperatura powietrza spalania;	Stosowanie pieców rekuperacyjnych zamiast pieców regeneracyjnych prowadzi do obniżenia temperatury podgrzewania powietrza, a w konsekwencji – do niższej temperatury płomienia. Wiąże się to jednak z niższą sprawnością pieca (niższa wydajność jednostkowa), większym zużyciem paliwa i większym zapotrzebowaniem na nie, co prowadzi do potencjalnie wyższych emisji (kg/tonę szkła).
iii. spalanie etapowe;	<ul style="list-style-type: none"> • Stopniowanie powietrza – wiąże się z substechiometrycznym opalaniem i dodaniem pozostałego powietrza lub tlenu do pieca w celu pełnego spalania. • Stopniowanie paliwa – pierwotny płomień o niskim impulsie powstaje u wylotu palnika (10 % całej energii); wtórny płomień jest wytwarzany u podstawy płomienia pierwotnego, obniżając temperaturę jego środkowej części.
iv. recyrkulacja spalin;	Technika polega na ponownym wprowadzeniu gazów odlotowych z pieca do płomienia w celu zmniejszenia zawartości tlenu, a tym samym temperatury płomienia. Zastosowanie specjalnych palników polega na wewnętrznej recyrkulacji gazów spalinowych, które chłodzą podstawę płomienia i ograniczają zawartość tlenu w najgorętszej części płomienia.
v. palniki niskoemisyjne (Low-NO _x);	Technika opiera się na zasadach polegających na ograniczaniu szczytowych temperatur płomienia, opóźnianiu i zarazem uzupełnianiu spalania oraz zwiększaniu przepływu ciepła (zwiększona zdolność emisyjna płomienia). Może się ona wiązać ze zmienioną konstrukcją komory spalania pieca.
vi. dobór paliwa;	Na ogół piece opalane paliwem olejowym charakteryzują się niższym poziomem emisji NO _x niż piece opalane gazem ze względu na lepszą emisyjność cieplną i niższe temperatury płomienia.
Specjalna konstrukcja pieca	Piec rekuperacyjny posiadający różne cechy umożliwiające stosowanie niższych temperatur płomienia. Jej główne cechy to: <ul style="list-style-type: none"> • palniki specjalnego rodzaju (liczba i rozmieszczenie), • zmieniona geometria pieca (wysokość i wielkość), • dwuetapowe nagrzewanie surowców obejmujące przepuszczanie gazów odlotowych nad surowcami wprowadzanymi do pieca i wykorzystanie wstępnego podgrzewacza zewnętrznej stłuczki umieszczonego za rekuperatorem do wstępnego podgrzewania powietrza spalania.
Topienie elektryczne	Technika ta polega na stosowaniu pieca do topienia, w którym energię zapewnia bezpośrednio nagrzewanie rezystancyjne. Jej główne cechy to: <ul style="list-style-type: none"> • elektrody są zazwyczaj umieszczane na dnie pieca (tzw. cold-top) • często konieczne jest wprowadzanie azotanów do zestawu topionego w elektrycznych piecach typu cold top, aby zapewnić niezbędne warunki utleniające dla uzyskania stabilnego, bezpiecznego i wydajnego procesu produkcji.
Topienie tlenowo-paliwowe	Technika polega na zastąpieniu powietrza spalania tlenem (> 90 % czystości), a następnie wyeliminowaniu/ograniczeniu termicznego powstawania NO _x z azotu wchodzącego do pieca. Pozostała zawartość azotu w piecu zależy od czystości dostarczanego tlenu, jakości paliwa (% N ₂ w gazie ziemnym) i potencjalnego wlotu powietrza.
Chemiczna redukcja przy użyciu paliwa	Technika ta polega na wtryskiwaniu paliwa kopalnego do gazów odlotowych z chemiczną redukcją NO _x do N ₂ w wyniku szeregu reakcji chemicznych. W procesie 3R paliwo (gaz ziemny lub paliwo płynne) wtryskuje się na wlocie

	regeneratora. Technologia jest przeznaczona do stosowania w piecach regeneracyjnych.
Selektywna redukcja katalityczna (SCR)	Technika opiera się na redukcji NO _x do azotu w złożu katalitycznym w wyniku reakcji z amoniakiem (na ogół w wodnym roztworze) w optymalnej temperaturze roboczej około 300–450 °C. Można zastosować jedną lub dwie warstwy katalizatora. Większą redukcję NO _x osiąga się poprzez zastosowanie większej ilości katalizatora (dwie warstwy).
Selektywna redukcja niekatalityczna (SNCR)	Technika polega na redukcji NO _x do azotu w wyniku reakcji z amoniakiem lub mocznikiem w wysokiej temperaturze. Przedział temperatur roboczych musi być utrzymany między 900 a 1050 °C.
Ograniczenie do minimum stosowania azotanów w zestawie	Ograniczanie azotanów do minimum stosuje się w celu zredukowania emisji NO _x pochodzących z rozkładu tych surowców, które są stosowane jako czynnik utleniający w przypadku bardzo wysokiej jakości produktów, wymagających całkowicie bezbarwnego (przejrzystego) szkła, lub w przypadku innych rodzajów szkła w celu uzyskania pożądanych właściwości. Można zastosować następujące opcje: <ul style="list-style-type: none"> • ograniczenie występowania azotanów w zestawie do minimum współmiernego do wymogów pod względem produktu i procesu topienia. • zastąpienie azotanów materiałami alternatywnymi; skutecznymi materiałami alternatywnymi są siarczany, tlenki arsenu oraz tlenek ceru. • zastosowanie modyfikacji procesu (np. specjalne warunki spalania utleniającego).

5.10.3 Emisje SO_x

Technika	Opis
Oczyszczanie suche lub półsuche w połączeniu z systemem filtracji	Suchy proszek lub zawiesina/roztwór odczynnika zasadowego są wprowadzane do strumienia gazów odlotowych i rozprowadzane w nim. Materiał reaguje z odmianami siarki w stanie gazowym, tworząc ciało stałe, które musi zostać usunięte drogą filtracji (na filtrze workowym lub na elektrofiltrze). Na ogół wydajność systemu oczyszczania zwiększa się dzięki zastosowaniu kolumny reakcyjnej.
Ograniczenie do minimum zawartości siarki w zestawie i optymalizacja bilansu siarki	Ograniczenie do minimum zawartości siarki w zestawie ma na celu redukcję emisji SO _x pochodzących z rozkładu surowców zawierających siarkę (na ogół siarczanów) stosowanych jako czynniki klarujące. Skuteczna redukcja emisji SO _x zależy od retencji związków siarki w szkłe, która może się znacznie różnić w zależności od rodzaju szkła oraz optymalizacji bilansu siarki.
Stosowanie paliw o niskiej zawartości siarki	Stosowanie gazu ziemnego lub oleju opałowego o niskiej zawartości siarki ma na celu zredukowanie ilości emisji SO _x pochodzących z utleniania siarki zawartej w paliwie w trakcie spalania.

5.10.4 Emisje HCl, HF

Technika	Opis
Dobór surowców o niskiej zawartości chloru i fluoru przy sporządzaniu zestawu	Technika polega na starannym doborze surowców, które mogą zawierać chlorki i fluorki w charakterze zanieczyszczeń (np. syntetyczna soda amoniakalna, dolomit, zewnętrzna tłuczka, odzyskany pył z filtra), w celu zredukowania u źródła emisji HCl i HF, będących efektem rozkładu tych materiałów w procesie topienia.

Ograniczenie do minimum zawartości związków fluoru/chloru w zestawie i optymalizacja bilansu masy fluoru/chloru	Zredukowanie do minimum emisji fluoru lub chloru z procesu topienia można osiągnąć dzięki zmniejszeniu ilości tych substancji wykorzystywanych w zestawie do minimum współmiernego do jakości końcowego produktu. Związki fluoru (np. fluoryt, kriolit, fluorokrzemian) stosuje się w celu nadania specjalnym rodzajom szkła (np. szkło matowe, szkło optyczne) określonych cech. Związki chloru mogą być stosowane jako czynniki klarujące.
Oczyszczanie suche lub półsuche w połączeniu z systemem filtracji	Suchy proszek lub zawiesina/roztwór odczynnika zasadowego są wprowadzane do strumienia gazów odlotowych i rozprowadzane w nim. Materiał reaguje z chlorkami i fluorkami w postaci gazowej, tworząc ciało stałe, które musi zostać usunięte drogą filtracji (na filtry workowym lub na elektrofiltrze).

5.10.5 Emisje metali

Technika	Opis
Dobór surowców o niskiej zawartości metali przy sporządzaniu zestawu	Technika polega na starannym doborze surowców zestawu, które mogą zawierać metale mające charakter zanieczyszczeń (np. zewnętrzna stłuczka), w celu zredukowania u źródła emisji metali, będących efektem rozkładu tych materiałów w procesie topienia.
Ograniczenie do minimum wykorzystania związków metali w zestawie dzięki odpowiedniemu doborowi surowców w przypadku konieczności barwienia lub odbarwiania szkła, w zależności od wymogów klienta dotyczących jakości szkła	Ograniczenie do minimum emisji metali z procesu topienia można osiągnąć poprzez: ograniczenie do minimum ilości związków metali w zestawie (np. związków żelaza, chromu, kobaltu, miedzi, manganu) w produkcji szkła barwionego, ograniczenie do minimum ilości związków selenu i tlenku ceru używanych jako czynniki odbarwiające w produkcji szkła przezroczystego.
Ograniczenie do minimum wykorzystania związków selenu przy sporządzaniu zestawu dzięki odpowiedniemu doborowi surowców	Ograniczenie do minimum emisji selenu z procesu topienia można osiągnąć poprzez: zmniejszenie/ograniczenie ilości selenu w zestawie do minimum współmiernego do wymogów produktu, dobór surowców zawierających selen o niskiej lotności w celu ograniczenia zjawiska ulatniania się w procesie topienia.
Zastosowanie systemu filtracji	Systemy redukcji emisji pyłu (filtr workowy i elektrofiltr) mogą ograniczyć emisje pyłu i metali, ponieważ emisje metali do powietrza z procesów topienia szkła są w znacznej mierze w postaci cząstek stałych. W przypadku niektórych metali zawierających bardzo lotne związki (np. selen) wydajność usuwania może się jednak znacznie różnić w zależności od temperatury filtracji.
Oczyszczanie suche lub półsuche w połączeniu z systemem filtracji	Emisje metali w stanie gazowym można w znacznym stopniu ograniczyć, stosując techniki oczyszczania suchego lub półsuchego z udziałem odczynnika zasadowego. Odczynnik zasadowy reaguje z gazowymi postaciami, tworząc ciało stałe, które musi zostać usunięte drogą filtracji (na filtry workowym lub na elektrofiltrze).

5.10.6 Łączone emisje gazowe (np. SO_x, HCl, HF, związki boru)

Technika	Opis
Oczyszczanie na mokro	W procesie oczyszczania na mokro związki gazowe rozpuszczają się w odpowiednim płynie (woda lub roztwór zasadowy). Po oczyszczeniu na mokro spaliny są nasycone wodą, a przed ich odprowadzeniem do atmosfery konieczne jest oddzielenie kropelek. Uzyskaną ciecz należy oczyszczać w procesie oczyszczania ścieków, a nierozpuszczalny materiał usuwa się w procesie osadzania lub filtracji.

5.10.7 Łączone emisje (ciało stałe + gaz)

Technika	Opis
Oczyszczanie na mokro	<p>W procesie oczyszczania na mokro (przy użyciu odpowiedniej cieczy: wody lub roztworu zasadowego) można usuwać jednocześnie związki stałe i gazowe. Kryteria projektowania w odniesieniu do procesu usuwania cząstek stałych lub gazu są różne – stąd projekt stanowi często kompromis między dwoma opcjami.</p> <p>Uzyskaną ciecz należy oczyszczać w procesie oczyszczania ścieków, a nierozpuszczalny materiał (emisje stałe i produkty z reakcji chemicznych) usuwa się w procesie osadzania lub filtracji.</p> <p>W sektorze wełny mineralnej i włókna szklanego ciągłego najczęściej stosowane systemy to:</p> <ul style="list-style-type: none"> • płuczki z wypełnieniem zasilane strumieniowo od dołu, • płuczki wieżowe zwężkowe.
Elektrofiltr mokry	Technika polega na zastosowaniu elektrofiltra, w którym nagromadzony materiał spłukuje się z elektrod osadczycy odpowiednim płynem, zazwyczaj wodą. Zazwyczaj instaluje się mechanizm do usuwania kropelek wody przed odprowadzeniem gazów odlotowych do atmosfery (odmgławiacz lub ostatnia sucha sekcja).

5.10.8 Emisje z operacji cięcia, szlifowania, polerowania

Technika	Opis
Prowadzenie operacji powodujących pylenie (np. cięcie, szlifowanie, polerowanie) przy udziale cieczy	Podczas cięcia, szlifowania i polerowania na ogół wykorzystuje się wodę jako czynnik chłodzący i zapobiegający emisjom pyłu. Niezbędny może być system usuwania wyposażony w odmgławiacz.
Zastosowanie systemu filtrów workowych	Zastosowanie filtrów workowych jest odpowiednie dla redukcji emisji pyłu i metali, ponieważ metale z procesów końcowych mają w większości formę cząstek stałych.
Ograniczenie do minimum strat czynnika polerującego dzięki zapewnieniu odpowiedniej szczelności systemu dozowania	Polerowanie kwasem polega na zanurzaniu produktów szklanych w kąpeli kwasu fluorowodorowego i siarkowego. Emisje oparów można zredukować do minimum, odpowiednio projektując i konserwując system nakładania powłok w celu ograniczenia strat do minimum.
Zastosowanie techniki wtórnej, np. oczyszczania na mokro	Oczyszczanie na mokro za pomocą wody stosuje się do oczyszczania gazów odlotowych ze względu na kwaśny charakter emisji i wysoką rozpuszczalność gazowych zanieczyszczeń, które mają być usunięte.

5.10.9 Emisje H₂S, lotnych związków organicznych

Technika	Opis
Spalanie gazów odlotowych	<p>Technika polega na zastosowaniu systemu dopalacza, który utlenia siarkowodór (wytwarzany w wyniku wysokiej redukcji w piecu do topienia) do dwutlenku siarki, a tlenku węgla do dwutlenku węgla.</p> <p>Lotne związki organiczne są spalane, w wyniku czego ulegają utlenieniu do dwutlenku węgla, wody i innych produktów spalania (np. NO_x, SO_x).</p>

5.10.10 Emisje pyłu

Technika	Opis
Elektrofiltr	Działanie elektrofiltrów polega na tym, że cząsteczkom nadawany jest ładunek elektryczny, co pozwala oddzielić je pod wpływem pola elektrycznego. Elektrofiltry mogą działać w bardzo różnych warunkach.
Filtr workowy	Filtry workowe są wykonane z porowatej plecionej lub filcowanej tkaniny, przez którą przepuszcza się gazy w celu zatrzymania na niej cząstek. Zastosowanie filtra workowego wiąże się z koniecznością wyboru materiału tkaniny, który będzie odpowiedni dla właściwości gazów odlotowych, i maksymalnej temperatury pracy.
Redukcja emisji składników lotnych dzięki wprowadzeniu zmian w surowcach	Skład zestawu może obejmować bardzo lotne związki (np. związki boru), których ilość można ograniczyć do minimum lub które można zastąpić w celu ograniczenia emisji pyłu wytwarzanego głównie w wyniku ulatniania.
Topienie elektryczne	Technika ta polega na stosowaniu pieca do topienia, w którym energię zapewnia bezpośrednio nagrzewanie rezystancyjne. W piecach szybowych typu cold-top (w których elektrody są zazwyczaj umieszczane na dole pieca) warstwa zestawu pokrywa powierzchnię topionej masy, znacznie ograniczając ulatnianie się związków wchodzących w jego skład (tj. związków ołowiu).

5.10.11 Emisje NO_x

Technika	Opis
Zmiany w procesie spalania	
(a) zmniejszenie stosunku powietrza do paliwa;	Technika opiera się głównie na następujących właściwościach: <ul style="list-style-type: none"> ograniczenie do minimum przenikania powietrza do pieca, staranna kontrola powietrza wykorzystywanego w procesie spalania, zmieniona konstrukcja komory spalania pieca.
(b) obniżona temperatura powietrza spalania;	Stosowanie pieców rekuperacyjnych zamiast pieców regeneracyjnych prowadzi do obniżenia temperatury podgrzewania powietrza, a w konsekwencji – do niższej temperatury płomienia. Wiąże się to jednak z niższą sprawnością pieca (niższa wydajność jednostkowa), większym zużyciem paliwa i większym zapotrzebowaniem na nie, co prowadzi do potencjalnie wyższych emisji (kg/tonę szkła).
(c) spalanie etapowe,	<ul style="list-style-type: none"> Stopniowanie powietrza – wiąże się z substechiometrycznym opaleniem i dodaniem pozostałego powietrza lub tlenu do pieca w celu pełnego spalania. Stopniowanie paliwa – pierwotny płomień o niskim impulsie powstaje u wylotu palnika (10 % całej energii); wtórny płomień jest wytwarzany u podstawy płomienia pierwotnego, obniżając temperaturę jego środkowej części.
(d) recyrkulacja spalin;	Technika polega na ponownym wprowadzeniu gazów odlotowych z pieca do płomienia w celu zmniejszenia zawartości tlenu, a tym samym temperatury płomienia. Zastosowanie specjalnych palników polega na wewnętrznej recyrkulacji gazów spalinowych, które chłodzą podstawę płomienia i ograniczają zawartość tlenu w najgorętszej części płomienia.
(e) palniki niskoemisyjne (Low-NO _x);	Technika opiera się na zasadach polegających na ograniczaniu szczytowych temperatur płomienia, opóźnianiu i zarazem uzupełnianiu spalania oraz zwiększaniu przepływu ciepła (zwiększona zdolność emisyjna płomienia). Może się ona wiązać ze zmienioną konstrukcją komory spalania pieca.
(f) dobór paliwa;	Na ogół piece opalane paliwem olejowym charakteryzują się niższym poziomem emisji NO _x niż piece opalane gazem ze względu na lepszą emisyjność cieplną i niższe temperatury płomienia.
Specjalna konstrukcja pieca	Piec rekuperacyjny posiadający różne cechy umożliwiające stosowanie niższych temperatur płomienia. Jej główne cechy to: <ul style="list-style-type: none"> palniki specjalnego rodzaju (liczba i rozmieszczenie), zmieniona geometria pieca (wysokość i wielkość), dwuetapowe nagrzewanie surowców obejmujące przepuszczanie gazów odlotowych nad surowcami wprowadzanymi do pieca i wykorzystanie wstępnego podgrzewacza zewnętrznej słuczki umieszczonego za rekuperatorem do wstępnego podgrzewania powietrza spalania.

Topienie elektryczne	Technika ta polega na stosowaniu pieca do topienia, w którym energię zapewnia bezpośrednie nagrzewanie rezystancyjne. Jej główne cechy to: <ul style="list-style-type: none"> • elektrody są zazwyczaj umieszczane na dnie pieca (tzw. cold-top) • często konieczne jest wprowadzanie azotanów do zestawu topionego w elektrycznych piecach typu cold top, aby zapewnić niezbędne warunki utleniające dla uzyskania stabilnego, bezpiecznego i wydajnego procesu produkcji.
Topienie tlenowo-paliwowe	Technika polega na zastąpieniu powietrza spalania tlenem (> 90 % czystości), a następnie wyeliminowaniu/ograniczeniu termicznego powstawania NO _x z azotu wchodzącego do pieca. Pozostała zawartość azotu w piecu zależy od czystości dostarczanego tlenu, jakości paliwa (% N ₂ w gazie ziemnym) i potencjalnego wlotu powietrza.
Chemiczna redukcja przy użyciu paliwa	Technika ta polega na wtryskiwaniu paliwa kopalnego do gazów odlotowych z chemiczną redukcją NO _x do N ₂ w wyniku szeregu reakcji chemicznych. W procesie 3R paliwo (gaz ziemny lub paliwo płynne) wtryskuje się na wlocie regeneratora. Technologia jest przeznaczona do stosowania w piecach regeneracyjnych.
Selektywna redukcja katalityczna (SCR)	Technika opiera się na redukcji NO _x do azotu w złożu katalitycznym w wyniku reakcji z amoniakiem (na ogół w wodnym roztworze) w optymalnej temperaturze roboczej około 300–450 °C. Można zastosować jedną lub dwie warstwy katalizatora. Większą redukcję NO _x osiąga się poprzez zastosowanie większej ilości katalizatora (dwie warstwy).
Selektywna redukcja niekatalityczna (SNCR)	Technika polega na redukcji NO _x do azotu w wyniku reakcji z amoniakiem lub mocznikiem w wysokiej temperaturze. Istotną temperatur roboczych musi być utrzymany między 900 a 1050 °C.
Ograniczenie do minimum stosowania azotanów w zestawie	Ograniczanie azotanów do minimum stosuje się w celu zredukowania emisji NO _x pochodzących z rozkładu tych surowców, które są stosowane jako czynnik utleniający w przypadku bardzo wysokiej jakości produktów, wymagających całkowicie bezbarwnego (przejrzystego) szkła, lub w przypadku innych rodzajów szkła w celu uzyskania pożądanych właściwości. Można zastosować następujące opcje: <ul style="list-style-type: none"> • ograniczenie występowania azotanów w zestawie do minimum wspólnego do wymogów pod względem produktu i procesu topienia. • zastąpienie azotanów materiałami alternatywnymi; skutecznymi materiałami alternatywnymi są siarczany, tlenki arsenu oraz tlenek ceru. • zastosowanie modyfikacji procesu (np. specjalne warunki spalania utleniającego).

5.10.12 Emisje SO_x

Technika	Opis
Oczyszczanie suche lub półsuche w połączeniu z systemem filtracji	Suchy proszek lub zawiesina/roztwór odczynnika zasadowego są wprowadzane do strumienia gazów odlotowych i rozprowadzane w nim. Materiał reaguje z odmianami siarki w stanie gazowym, tworząc ciało stałe, które musi zostać usunięte drogą filtracji (na filtrze workowym lub na elektrofiltrze). Na ogół wydajność systemu oczyszczania zwiększa się dzięki zastosowaniu kolumny reakcyjnej.
Ograniczenie do minimum zawartości siarki w zestawie i optymalizacja bilansu siarki	Ograniczenie do minimum zawartości siarki w zestawie ma na celu redukcję emisji SO _x pochodzących z rozkładu surowców zawierających siarkę (na ogół siarczanów) stosowanych jako czynniki klarujące. Skuteczna redukcja emisji SO _x zależy od retencji związków siarki w szkłe, która może się znacznie różnić w zależności od rodzaju szkła oraz optymalizacji bilansu siarki.
Stosowanie paliw o niskiej zawartości siarki	Stosowanie gazu ziemnego lub oleju opałowego o niskiej zawartości siarki ma na celu zredukowanie ilości emisji SO _x pochodzących z utleniania siarki zawartej w paliwie w trakcie spalania.

5.10.13 Emisje HCl, HF

Technika	Opis
Dobór surowców o niskiej zawartości chloru i fluoru przy sporządzaniu zestawu	Technika polega na starannym doborze surowców, które mogą zawierać chlorki i fluorki w charakterze zanieczyszczeń (np. syntetyczna soda amoniakalna, dolomit, zewnętrzna słuczka, odzyskany pył z filtra), w celu zredukowania u źródła emisji HCl i HF, będących efektem rozkładu tych materiałów w procesie topienia.

Ograniczenie do minimum zawartości związków fluoru/chloru w zestawie i optymalizacja bilansu masy fluoru/chloru	Zredukowanie do minimum emisji fluoru lub chloru z procesu topienia można osiągnąć dzięki zmniejszeniu ilości tych substancji wykorzystywanych w zestawie do minimum współmiernego do jakości końcowego produktu. Związki fluoru (np. fluoryt, kriolit, fluorokrzemian) stosuje się w celu nadania specjalnym rodzajom szkła (np. szkło matowe, szkło optyczne) określonych cech. Związki chloru mogą być stosowane jako czynniki klarujące.
Oczyszczanie suche lub półsuche w połączeniu z systemem filtracji	Suchy proszek lub zawiesina/roztwór odczynnika zasadowego są wprowadzane do strumienia gazów odlotowych i rozprowadzane w nim. Materiał reaguje z chlorkami i fluorkami w postaci gazowej, tworząc ciało stałe, które musi zostać usunięte drogą filtracji (na filtry workowym lub na elektrofiltrze).

5.10.14 Emisje metali

Technika	Opis
Dobór surowców o niskiej zawartości metali przy sporządzaniu zestawu	Technika polega na starannym doborze surowców zestawu, które mogą zawierać metale mające charakter zanieczyszczeń (np. zewnętrzna stłuczka), w celu zredukowania u źródła emisji metali, będących efektem rozkładu tych materiałów w procesie topienia.
Ograniczenie do minimum wykorzystania związków metali w zestawie dzięki odpowiedniemu doborowi surowców w przypadku konieczności barwienia lub odbarwiania szkła, w zależności od wymogów klienta dotyczących jakości szkła	Ograniczenie do minimum emisji metali z procesu topienia można osiągnąć poprzez: ograniczenie do minimum ilości związków metali w zestawie (np. związków żelaza, chromu, kobaltu, miedzi, manganu) w produkcji szkła barwionego, ograniczenie do minimum ilości związków selenu i tlenku ceru używanych jako czynniki odbarwiające w produkcji szkła przezroczystego.
Ograniczenie do minimum wykorzystania związków selenu przy sporządzaniu zestawu dzięki odpowiedniemu doborowi surowców	Ograniczenie do minimum emisji selenu z procesu topienia można osiągnąć poprzez: zmniejszenie/ograniczenie ilości selenu w zestawie do minimum współmiernego do wymogów produktu, dobór surowców zawierających selen o niskiej lotności w celu ograniczenia zjawiska ulatniania się w procesie topienia.
Zastosowanie systemu filtracji	Systemy redukcji emisji pyłu (filtr workowy i elektrofiltr) mogą ograniczyć emisje pyłu i metali, ponieważ emisje metali do powietrza z procesów topienia szkła są w znacznej mierze w postaci cząstek stałych. W przypadku niektórych metali zawierających bardzo lotne związki (np. selen) wydajność usuwania może się jednak znacznie różnić w zależności od temperatury filtracji.
Oczyszczanie suche lub półsuche w połączeniu z systemem filtracji	Emisje metali w stanie gazowym można w znacznym stopniu ograniczyć, stosując techniki oczyszczania suchego lub półsuchego z udziałem odczynnika zasadowego. Odczynnik zasadowy reaguje z gazowymi postaciami, tworząc ciało stałe, które musi zostać usunięte drogą filtracji (na filtry workowym lub na elektrofiltrze).

5.10.15 Łączone emisje gazowe (np. SO_x, HCl, HF, związki boru)

Technika	Opis
Oczyszczanie na mokro	W procesie oczyszczania na mokro związki gazowe rozpuszcza się w odpowiednim płynie (woda lub roztwór zasadowy). Po oczyszczeniu na mokro spaliny są nasycone wodą, a przed ich odprowadzeniem do atmosfery konieczne jest oddzielenie kropelek. Uzyskaną ciecz należy oczyszczać w procesie oczyszczania ścieków, a nierozpuszczalny materiał usuwa się w procesie osadzania lub filtracji.

5.10.16 Łączone emisje (ciało stałe + gaz)

Technika	Opis
Oczyszczanie na mokro	<p>W procesie oczyszczania na mokro (przy użyciu odpowiedniej cieczy: wody lub roztworu zasadowego) można usuwać jednocześnie związki stałe i gazowe. Kryteria projektowania w odniesieniu do procesu usuwania cząstek stałych lub gazu są różne – stąd projekt stanowi często kompromis między dwoma opcjami.</p> <p>Uzyskaną ciecz należy oczyszczać w procesie oczyszczania ścieków, a nierozpuszczalny materiał (emisje stałe i produkty z reakcji chemicznych) usuwa się w procesie osadzania lub filtracji.</p> <p>W sektorze wełny mineralnej i włókna szklanego ciągłego najczęściej stosowane systemy to:</p> <ul style="list-style-type: none"> • płuczki z wypełnieniem zasilane strumieniowo od dołu, • płuczki wieżowe zwężkowe.
Elektrofiltr mokry	Technika polega na zastosowaniu elektrofiltra, w którym nagromadzony materiał spłukuje się z elektrod osadczycy odpowiednim płynem, zazwyczaj wodą. Zazwyczaj instaluje się mechanizm do usuwania kropelek wody przed odprowadzeniem gazów odlotowych do atmosfery (odmgławiacz lub ostatnia sucha sekcja).

5.10.17 Emisje z operacji cięcia, szlifowania, polerowania

Technika	Opis
Prowadzenie operacji powodujących pylenie (np. cięcie, szlifowanie, polerowanie) przy udziale cieczy	Podczas cięcia, szlifowania i polerowania na ogół wykorzystuje się wodę jako czynnik chłodzący i zapobiegający emisjom pyłu. Niezbędny może być system usuwania wyposażony w odmgławiacz.
Zastosowanie systemu filtrów workowych	Zastosowanie filtrów workowych jest odpowiednie dla redukcji emisji pyłu i metali, ponieważ metale z procesów końcowych mają w większości formę cząstek stałych.
Ograniczenie do minimum strat czynnika polerującego dzięki zapewnieniu odpowiedniej szczelności systemu dozowania	Polerowanie kwasem polega na zanurzeniu produktów szklanych w kąpeli kwasu fluorowodorowego i siarkowego. Emisje oparów można zredukować do minimum, odpowiednio projektując i konserwując system nakładania powłok w celu ograniczenia strat do minimum.
Zastosowanie techniki wtórnej, np. oczyszczania na mokro	Oczyszczanie na mokro za pomocą wody stosuje się do oczyszczania gazów odlotowych ze względu na kwaśny charakter emisji i wysoką rozpuszczalność gazowych zanieczyszczeń, które mają być usunięte.

5.10.18 Emisje H₂S, lotnych związków organicznych

Technika	Opis
Spalanie gazów odlotowych	<p>Technika polega na zastosowaniu systemu dopalacza, który utlenia siarkowodór (wytwarzany w wyniku wysokiej redukcji w piecu do topienia) do dwutlenku siarki, a tlenku węgla do dwutlenku węgla.</p> <p>Lotne związki organiczne są spalane, w wyniku czego ulegają utlenieniu do dwutlenku węgla, wody i innych produktów spalania (np. NO_x, SO_x).</p>

6 NOWE TECHNIKI

Ogólnie rzecz biorąc, nowe techniki dla przemysłu szklarskiego koncentrują się na zmniejszeniu wysokich kosztów inwestycji w przypadku pieca do topienia (tj. nowe techniki topienia), a także na oszczędności energii (np. podgrzewacze do całego wsadu i stłuczki szklanej, nowy projekt pieca, innowacyjne palniki) i na zwiększeniu ekologiczności procesu produkcyjnego (np. nowe preparaty produktowe, odzysk odpadów, zmniejszenie emisji i udoskonalone usuwanie głównych zanieczyszczeń).

Niektóre z nowych technik opisane w oryginalnym GLS BREF nie okazały się skuteczne, podczas gdy inne opracowano w pełni i wdrożono w różnych sektorach przemysłu szklarskiego.

Poprawa technik spalania stanowi jeden z głównych celów i ma zmniejszyć zużycie energii oraz równocześnie zminimalizować emisje NO_x poprzez zastosowanie środków podstawowych. Zawsze analizuje się systemy kontroli spalania, różne rodzaje palników i nowe projekty pieców dzięki czemu możliwe są innowacje i zmiany. Nie są one jednak konkretnie opisane w niniejszej sekcji jako nowe techniki.

W szczególności palniki o niskiej emisji NO_x, w połączeniu z systemami kontroli spalania, nadal stale dopracowuje się w celu optymalizacji działania pod względem wydajności energetycznej i obniżenia ilości zanieczyszczeń.

6.1 Glas Flox ® System spalania w wysokiej temperaturze

Opis

Palniki Glas Flox ® zapewniają zaawansowaną technologię topienia szkła. Ich funkcjonowanie opiera się na wewnętrznej recyrkulacji gazów spalinowych, które są zasysane w płomieniach dzięki niskiemu ciśnieniu na wylocie palnika (ze względu na wysokie tempo wtrysku gazu przez palniki). Recyrkulacja gazów ochładza podstawę płomienia i zmniejsza zawartość tlenu w najgorętszych jego częściach. W porównaniu do standardowych palników gazowych, palniki Glas Flox ® działają przy wyższej szybkości spalania i umożliwiają lepsze pokrycie płomieniem wanny do topienia szkła ze względu na intensywność reakcji, jak również poszerzony obszar spalania. Cechy te zapewniają lepszy transfer energii do wanny szklarskiej. Całość procesu spalania ma miejsce w podczerwieni i prowadzony jest on równomiernie bez dużych gradientów temperatury i transferu ciepła.

Palniki Glas Flox ® działają przy obniżonej temperaturze płomienia w pobliżu dysz/wylotów palnika, co powoduje ograniczenie powstawania termicznych NO_x.

Ogólne cechy transferu ciepła w palnikach Glas Flox ® i technologii spalania w piecach szklarskich Flox w porównaniu do tradycyjnych pieców (w szczególności pieców rekuperacyjnych) wymagają dalszych analiz z pomocą pomiarów i modelowania matematycznego.

Osiągnięte korzyści dla środowiska

Zgłaszane korzyści to zmniejszenie o 50% emisji NO_x, niższe zużycie energii i wynikające z tego zmniejszenie emisji CO₂.

Przy najlepszej zgłaszanej wydajności stwierdzono stężenie emisji NO_x 484 mg/Nm³, przy poziomie początkowym 1183 mg/Nm³, gdy zastosowano konwencjonalny system spalania.

Możliwość zastosowania

Palniki można stosować tylko w rekuperacyjnych piecach szklarskich.

Przesłanki do wdrożenia

Zmniejszenie emisji NO_x i mniejsze zużycie energii w porównaniu do standardowych palników to główne powody zastosowania palników Glas Flox ®.

Przykładowe zakłady

Zastosowanie systemu spalania w wysokiej temperaturze Glas Flox ® ma obecnie miejsce (2010) w Niemczech przy produkcji szkła do żarówek.

Literatura przedmiotu

[T17, GWI, VDI-Berichte Nr. 1988 2007]

6.2 Zaawansowane podgrzewacze do stłuczki szklanej i wsadu

Główne przykłady podgrzewaczy do stłuczki szklanej i wsadu używanych w produkcji przemysłu szklarskiego opisano w sekcji 4.8.5 i, w związku z tym, nie traktuje się ich jako nowe technologie. Jednak wprowadzane są obecnie znaczne zmiany, w szczególności w odniesieniu do stosowania podgrzewania stłuczki i wsadu w piecach tlenowo-paliwowych. Ogólnie rzecz biorąc, konwersja tradycyjnych pieców na tlenowo-paliwowe zapewnia większą produktywność i jakość w szklarstwie, niższe emisje NOX i pyłów, niższe zużycie energii oraz niższe koszty odbudowy. Jednak dodatkowy koszt tlenu nadal stanowi istotną barierę ekonomiczną przy stosowaniu spalania tlenowo-paliwowego w wielu piecach szklarskich. Przejście na spalanie tlenowo-paliwowe byłoby dużo bardziej ekonomicznie atrakcyjne, gdyby ilość energii w gazach spalinowych (uwalnianych w bardzo wysokich temperaturach do 1400 °C) mogła zostać odzyskana. Obecne podgrzewacze do stłuczki i wsadu pracują w temperaturach w zakresie 500-600 °C, przez co gazy spalinowe są schładzane powietrzem rozcieńczającym, co z kolei skutkuje wzrostem objętości.

Zaawansowane podgrzewacze do stłuczki i wsadu zaprojektowano w taki sposób, by działały z gazami spalinowymi, które nie są chłodzone lub tylko lekko chłodzone. W zaawansowanym systemie podgrzewaczy do stłuczki i wsadu opracowanym przez Praxair (system BCP), spaliny przedostają się bowiem do podgrzewacza w temperaturze w zakresie od 1200-1400 °C.

Gdy powstawało niniejsze opracowanie (2010 r.), realizowano dwa projekty, opracowywane przez różne zespoły:

- PRECIOUS - projekt opracowywany przez Zippe Industrieanlagen GmbH we współpracy z Uniwersytetem RWTH w Aachen, w ramach programu wsparcia Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU);
- PRAXAIR BCP system opracowywany w Centrum Technologii Praxair.

6.2.1 Projekt PRECIOUS

Celem projektu PRECIOUS jest zmniejszenie emisji CO₂ i NOX poprzez podgrzewanie stłuczki lub wsadu ubytkiem ciepła z pieca tlenowo-paliwowego. Urządzenia do podgrzewania teoretycznie mogą być zainstalowane w każdym piecu przy współczynniku ilości stłuczki wynoszącym więcej niż 50%. Testy podgrzewacza do stłuczki i wsadu przeprowadzane są w piecu tlenowo-paliwowym do produkcji szkła dla żarówki. Oczekuje się wzrostu wydajności energetycznej o 20%. Realizacja projektu pilotażowego i transfer technologii do dużego projektu są nadal w toku [[153, Germany Precious 2007](#)].

6.2.2 Projekt PRAXAIR BCP

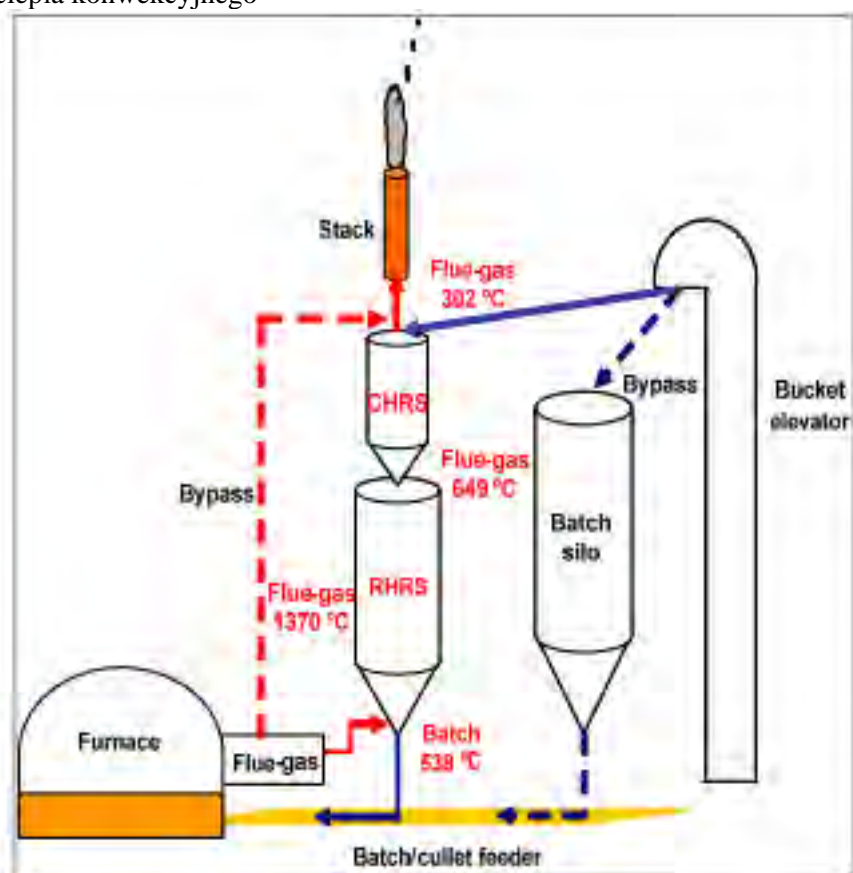
Opis

System z projektu PRAXAIR BCP nadaje się do podgrzewania wsadu i stłuczki i jest przeznaczony do stosowania gazów spalinowych ze wszystkich pieców tlenowo-paliwowych. Główne funkcje zaawansowanego technologicznie podgrzewacza są następujące:

- niebezpośredni transfer ciepła z gazów spalinowych do wsadu i stłuczki w podgrzewaczu;
- wsad + stłuczka (wewnętrzna i zewnętrzna) są podgrzewane do około 480-600 °C;
- spaliny z pieców tlenowo-gazowych lub tlenowo-paliwowych rzadko lub nigdy nie są rozpraszane zimnym powietrzem;

- na pierwszym etapie (sekcja pośredniego transferu ciepła z promieniowania), gazy spalinowe przedostają się do sekcji bez rozproszenia zazwyczaj w temperaturze 1200-1400 °C;
- związki organiczne obecne w zewnętrznej stłuczce są całkowicie usuwane (spaliny ulegają spaleni);
- urządzenie jest systemem modułowym i może być dostosowane do wymaganych rozmiarów;
- wsad i spaliny można ominąć w przypadku konserwacji;
- szczególną uwagę poświęca się uniknięciu przemieszczenia wsadu w piecu, dostosowując ładowarki wsadu;
- nie ma utraty węgla z wsadu przy produkcji szkła oranżowego dzięki specjalnej konstrukcji podgrzewacza.

Schemat zaawansowanego podgrzewacza wsadu i stłuczki szklanej podano na rys. 6.1, na którym pokazana jest pozycja sekcji transferu ciepła z promieniowania (RHRS) i opcjonalna sekcja odzysku ciepła konwekcyjnego



EN	PL
Flue gas	Spaliny
Bypass	Obejście
Batch	Wsad
Batch/cullet feeder	Podajnik do stłuczki/wsadu
Batch silo	Silos do wsadu
Bucket elevator	Podnośnik
Stack	Komin

Rysunek 6.1 Schemat zaawansowanego podgrzewacza wsadu i stłuczki szklanej

Osiągnięte korzyści dla środowiska

Zgłaszane (oczekiwane) korzyści to redukcja emisji o 15-30% (CO₂, NO_x i pyły) w porównaniu do pieca tlenowo-paliwowego bez podgrzewacza. Zmniejszenie zużycia energii szacuje się na około ± 1 GJ / tonę stopionego szkła, w porównaniu do pieca tlenowo-paliwowego bez podgrzewacza.

Możliwość zastosowania

W zasadzie zaawansowana technologia BCP ma zastosowanie przy prawie wszystkich wskaźnikach dotyczących stosunku stłuczki/wsadu.

Ekonomia

Stosowanie technologii BCP ma skutkować potencjalną oszczędnością energii (15-25%), zmniejszonym zużyciem tlenu do spalania i potencjalnym zwiększeniem tempa produkcji (10-20%). Czas zwrotu inwestycji w sprzęt szacuje się na od 1 roku do 3 lat.

Przesłanki do wdrożenia

Odzyskiwanie energii z gazów spalinowych i wynikające z tego zmniejszenie zużycia energii, wykorzystywanej w produkcji stanowi główny powód stosowania zaawansowanego podgrzewacza do stłuczki i wsadu. Znaczne zmniejszenie bezpośrednich i pośrednich emisji będzie dodatkowym powodem wdrożenia technologii.

Przykładowe zakłady

System w skali pilotażowej (15 ton wsadu dziennie) został przetestowany przez Praxair w 2007 roku w miejscowości Tonawanda, NY, USA przy wstępnym podgrzaniu w temperaturach 480-535 °C. Projekt większego systemu do zastosowania w komercyjnych piecach szklarskich to kolejny etap w tym projekcie.

Literatura przedmiotu

[147, Kobayashi i in. 2007] [148, Beerkens 2008]

6.3 Nowe preparaty produktu

Nastąpił szereg ciekawych zmian dotyczących preparatów wsadu i produktu streszczonych poniżej.

Nowy skład włókien ciągłych szklanych

Nowy skład włókien ciągłych szklanych został opracowany przez jednego producenta. Skład ten rozwiązuje problem dwóch głównych składników emisji do powietrza typowych dla topienia szkła niskoemisyjnego, czyli pyłów i fluorków. Preparat wsadu nie zawiera boru ani dodatku fluoru. Eliminacja boru i dodatku fluoru powoduje, że szkło trudniej topnieje (wyższa temperatura topnienia) i tworzy włókna, co może wiązać się z większymi wymogami dotyczącymi zużycia energii. Nowy preparat jest stosowany w instalacjach przemysłowych, a orientacyjne dane emisyjne są dostępne w sekcji 3.5 powyżej i sekcji 4.4.1.1. Preparat został opracowany przez jedno przedsiębiorstwo i jest objęty patentami. Zatem nie jest ogólnie dostępny w sektorze.

Tego rodzaju włókna ciągle szklane są obecnie (2010) produkowane przez dwie firmy w Europie i prawdopodobnie zapewniają one około jednej czwartej lub jednej trzeciej produkcji europejskiej; w związku z tym nie można uznać, że jest to nowa technologia. Jednak technologii tej nie można uznać za „dostępną” z uwagi na to, że patenty obejmują proces produkcji i ze względu na fakt, iż bardzo mało informacji jest obecnie dostępnych.

Nowy preparat spoiwa dla wyrobów z wełny mineralnej

Producenci wełny mineralnej stale poprawiają właściwości swoich produktów w celu zmniejszenia wpływu na środowisko oraz zwiększenia skuteczności produktu.

Niektórzy producenci przeprowadzili istotne działania badawczo-rozwojowe, aby wprowadzić nowe spoiwa, częściowo lub całkowicie zastępujące spoiwa fenolowo-formaldehadowe, które były zazwyczaj wykorzystywane w branży od wielu lat. Opublikowano i/lub dostarczono kilka patentów.

Nowe preparaty oparte są o następujące elementy:

- żywice fenolowo-formaldehydowe o znacznie niższej zawartości formaldehydu lub
- inne rodzaje żywic w oparciu o źródła roślinne i warzywne lub akrylowe, niezawierające fenolo-formaldehydu jako składnika.

Niektóre z tych spoiw zostały wprowadzone i są one dostępne na rynku. W innych przypadkach wpływ nowych rozwiązań musi zostać w pełni zbadany celem potwierdzenia, czy są one odpowiednie z punktu widzenia produkcji, właściwości produktu i ochrony środowiska.

Literatura przedmiotu

[174, EURIMA position 2010] [150, Knauf 2008]

6.4 Wtrysk odpadów w procesie produkcji wełny skalnej

Opis

Ilość odpadów produkowanych przez instalacje produkcji wełny skalnej w UE ocenia się na między 160 000 i 480 000 ton rocznie. Odpady pochodzą głównie z procesu rozwłókniania, gdzie około 10-20% wytopu nie jest całkowicie rozwłóknionego i zostaje on odrzucony. Linia wełny skalnej z roczną produkcją 20 000 ton/rok generuje między 2000 - 4000 ton rocznie odpadów powstających w procesie rozwłókniania.

W czasie pisania publikacji (2010) brykietowanie stanowiło jedyną metodę stosowaną do ponownego wykorzystania odpadów w procesie topnienia. System ten wymaga mielenia odpadów i mieszania z cementem. Stosowanie brykiety jest związane ze wzrostem emisji do atmosfery, gdyż powoduje on powstanie głównie tlenków siarki ze względu na zawartość siarki w cemente (zob. sekcja 3.8.2.1).

Technika wtrysku odpadów polega na umieszczaniu bardzo rozdrobnionego materiału bezpośrednio w strefie topnienia w piecu szybowym do wełny skalnej. Wtryskiwany materiał to suche odpady produkcyjne.

Odpady (wtryski) z procesu rozwłókniania o wielkości 0 - 6 mm transportowane są do zsypu i zbiornika wsadowego pod ciśnieniem. W dolnej części zbiornika mamy obracający się podajnik, który wprowadza małe ilości materiału do trzech pneumatycznych przewodów wsadowych. Aplikatory podłączone są do pieca szybowego blisko dysz umieszczonych na końcu rur. Materiał przechodzi przez aplikator, gdzie tlen jest dodawany do strefy topnienia w żeliwiaku piecu szybowym. Maszyny są narażone na bardzo trudne warunki. Temperatura w strefie topnienia wynosi powyżej 1700 °C; równocześnie materiały wsadowe są twarde i ścierne, co stanowi znaczne obciążenie dla materiałów konstrukcji maszyn.

Osiągnięte korzyści dla środowiska

Dzięki tej technice, możliwy jest recykling odpadów z procesu rozwłókniania do maksymalnie 80-100%; odpowiada to zmniejszeniu surowców mineralnych w składzie wsadu o co najmniej 7%. System jest przeznaczony również do pracy z innymi rodzajami bardzo rozdrobnionych surowców i paliw stałych, takimi jak surowce mineralne i koks.

Stosowanie wtrysku odpadów skutkuje mniejszą ilością odpadów na wysypiskach, zmniejszeniem zużycia koksu w procesie topnienia i w związku z tym mniejszymi emisjami. Emisje tlenków siarki są niższe w porównaniu do proces recyklingu odpadów za pomocą brykiety cementowego, ponieważ nie ma dodatku siarki w preparacie wsadu.

Możliwość zastosowania

Technika wtrysku odpadów ma zastosowanie w przemyśle wytwórczym wełny skalnej, w którym stosowane są żeliwiaki piece szybowe. W czasie pisania publikacji (2010) stosowano ją na dwóch liniach produkcyjnych celem dalszego dopracowania.

Ekonomia

Koszty inwestycji wtrysku odpadów stanowią tylko około 20% kosztów urządzeń do produkcji brykietu, w tym niezbędnych budynków.

Przesłanki do wdrożenia

Minimalizacja strumienia odpadów wraz z obniżeniem emisji SO_x związanych z techniką stosowaną do recyklingu odpadów (brykietowanie cementowe) stanowią główny powód stosowania wtrysku odpadów przy produkcji wełny skalnej.

Przykładowe zakłady

Prototypowy zakład został uruchomiony w Oulu, Finlandii w 2001 roku. Pilotażowy zakład na pełną skalę = działa od 2004 roku w mieście Hässleholm w Szwecji. Oba zakłady są własnością grupy Paroc; projekt opracowania techniki wtrysku odpadów został sfinansowany w ramach szóstego programu działań środowiskowych 2001 - 2010.

Literatura przedmiotu

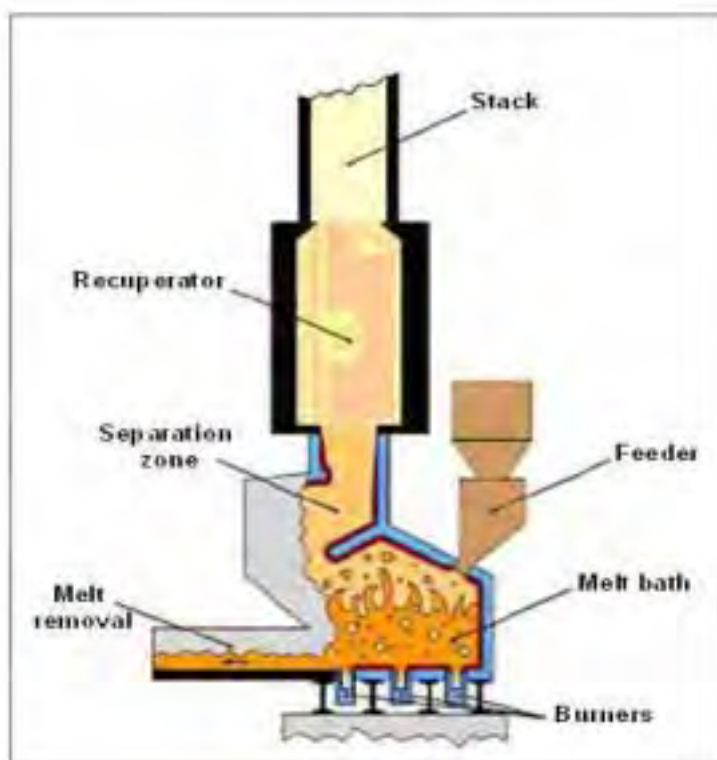
[http://ec.europa.eu/environment/life/project/projekty/indeks H46,](http://ec.europa.eu/environment/life/project/projekty/indeks H46, EURIMA 20071)
EURIMA 20071

6.5 Technologia topienia ze spalaniem pod powierzchnią

Opis

Topnienie ze spalaniem pod powierzchnią (SCM) opiera się na metodzie segmentacyjnego topnienia, w którym zastosowanych jest kilka etapów do optymalizacji topnienia, homogenizacji, odzyskiwania ciepła i rafinacji.

Metoda ta ma zmniejszyć średni czas przebywania (ang. *residence time*) roztopionego szkła o >80% w porównaniu do pieców z pojedynczym dużym zbiornikiem. Jej konsekwencją jest zmniejszenie kosztów energii i emisji. Piec SCM składa się z małego zbiornika, w którym paliwo i utleniacze są opalane bezpośrednio w wannie topionego materiału. Gazy do spalania wrą lub przepływają przez wannę szklarską, powodując wysoki stopień przepływu ciepła i burzliwe mieszanie (przemieszczanie). Znaczne ścinanie z wymuszoną konwekcją zapewnia szybkie rozpuszczanie cząstek (piasek, surowce zawierające tlenek glinu) i jednolitość temperatur. Stopiony materiał przy jednolitym składzie - nadal z wieloma ziarnami i pęcherzykami - odprowadzany jest z kranu w dolnej części wanny.



EN	PL
Stack	Komin
Recuperator	Rekuperator
Separation zone	Strefa separacji
Melt removal	Usuwanie wytopu
Feeder	Podajnik
Melt bath	Wanna do wytopu
Burners	Palniki

Rysunek 6.2 Schemat pieca do topienia ze spalaniem pod powierzchnią.

Obsługa i ładowanie wsadu staje się bardziej elastyczna dzięki piecowi z spalaniem pod powierzchnią niż dzieje się to w przypadku konwencjonalnych pieców. System obsługi może być prosty i tani, gdyż piec jest w stanie przyjąć znacznie szerszy zakres wielkości cząstek - do 1 cm lub więcej, bez konieczności całkowitego wymieszania surowców. Cecha ta pozwala na szerszy wybór surowców i zmniejszenie kosztów pracy związanych z przetwarzaniem wsadu i kosztów kapitałowych.

Osiągnięte korzyści dla środowiska

Szacuje się ogólną oszczędność energii wynoszącą około 5% więcej niż w przypadku pieca tlenowo-gazowego, gdy energia cieplna jest odzyskiwana ze ścian pieca. Odzysk energii wynoszący 20% z ciepła uchodzącego ze ścian pozwoliłby na ogólną oszczędność energii wynoszącą około 7,5%.

Spodziewane jest zmniejszenie emisji NO_x ze względu na gaszenie płomieni w wytopie.

Dane operacyjne

Pięć komercyjnych pieców do topienia ze spalaniem pod powierzchnią (75 ton/dobę) działa na Ukrainie i Białorusi przy produkcji wełny mineralnej. Produkują mniej niż 10% spalin i mniej niż 350 mg/Nm^3 emisji NO_x przy 8% O_2 .

Aby rozszerzyć zastosowanie techniki pieca SCM, należy pokonać pewne ograniczenia, które wymagają kilku ulepszeń w istniejących piecach. Pierwszym krokiem jest przejście na spalanie od tlenu do powietrza w celu zmniejszenia wrzenia w wytopie przy równoczesnej poprawie przepływu ciepła i obniżeniu emisji. Powinno to spowodować 80% redukcję objętości gazu przechodzącego przez wytop.

Możliwość zastosowania

W czasie pisania publikacji (2010) zastosowanie pieca SCM ograniczone było do produkcji wełny mineralnej. Prace rozwojowo-badawcze w toku powinny pozwolić na zastosowanie tej techniki do szerokiej gamy kompozycji i kolorów. Większość prac rozwojowych prowadzonych jest głównie w Stanach Zjednoczonych, przez instytucje Glass Manufacturing Industry Council (GMIC) oraz Gas Technology Institute, Des Plaines, Illinois, Stany Zjednoczone.

Ekonomika

Technika pieca SCM powinna zapewnić minimum 5% oszczędności energii w porównaniu do konwencjonalnego topnienia. Oczekiwane są oszczędności w kosztach kapitałowych i pracy związanej z przetwarzaniem wsadu.

Przesłanki do wdrożenia

Niższe koszty inwestycji, większa elastyczność w doborze surowców, oszczędności energii i obniżenie emisji, w szczególności emisji NO_x to powody do pełnego opracowania i zastosowania techniki SCM.

Przykładowe zakłady

W czasie pisania publikacji (2010) pięć komercyjnych pieców było stosowanych do produkcji wełny mineralnej na Ukrainie i Białorusi.

Został złożony wniosek patentowy. Zespół projektowy prowadzony przez Gas Technology Institute (GTI, Chicago, USA), w tym łącznie sześć firm szklarskich pracuje nad systemami topnienia nowej generacji z zastosowaniem topienia ze spalaniem pod powierzchnią. Do tego celu pilotażowy piec SCM produkujący 1 tonę na godzinę został zbudowany i jest stosowany do topienia różnego rodzaju szkła przemysłowego przy różnych warunkach pracy.

Literatura przedmiotu

[149, Rue et al. 2006]

6.6 Przetwarzanie spalin z udziałem suchego wodorowęglanu sodu i waloryzacji chemicznej pozostałości przetwarzania gazu

Opis

Technika ta ma zastosowanie do metod odsiarczania gazów odlotowych z pieców do topienia szkła. Wodorowęglan sodu posiada wysoką skuteczność przy usuwaniu emisji SO_x (zob. sekcja 4.4.3.3); w konsekwencji jego użycia powstają stałe pozostałości wynikające z reakcji chemicznej między gazami kwasotwórczymi i wodorowęglanem sodu. Stałe pozostałości są najczęściej oddzielane od spalin za pomocą systemów filtracyjnych (ESP lub filtry workowe). Głównymi składnikami pozostałości są siarczan sodu i węglan sodu (nieaktywny odczynnik alkaliczny). W wielu przypadkach stałe pozostałości można ponownie użyć w piecu do topnienia i częściowo zastępują one czynnik rafinacyjny (siarczan sodu) w preparacie wsadu; Jednakże w niektórych przypadkach, pozostałości nie można bezpośrednio zastosować drugi raz w piecu.

Główne ograniczenia ponownego użycia pyłu filtracyjnego są następujące:

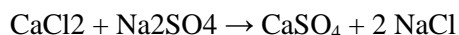
1. pozostałości stałe są bardzo drobne i często łatwo przemieszczają się lub ulatniają (na przykład, NaCl) z pieca. Następuje potem zmiana składu chemicznego stopionego szkła i powstaje wysokie stężenie NaCl wchodzącego do regeneratora;

2. skład chemiczny pozostałości stałych może się znacznie różnić w różnych warunkach pracy pieca, co powoduje, że kontrola składu chemicznego szkła jest trudna i ma on wpływ na jakość końcowego produktu.

Aby zapobiec składowaniu strumieniowi odpadów pyłu na składowiskach, przetwarzanie pozostałości ma miejsce w określonych zakładach, zwykle znajdujących się w pobliżu instalacji produkcji sody amoniakalnej.

Przetwarzanie polega na rozpuszczeniu pozostałości substancji stałych w roztworze, który zawiera chlorek wapnia (CaCl_2) (rozwiązanie to jest dostępne w zakładzie sody amoniakalnej).

Reakcja chemiczna jest następująca:



Powstały szlam jest filtrowany w celu oddzielenia stałego siarczanu wapnia (CaSO_4). Roztwór chlorku sodu (NaCl) jest przetwarzany celem jego oczyszczenia z pozostałości wapnia i innych jonów. Oba produkty reakcji mogą być ponownie użyte.

Siarczan wapnia może być stosowany w procesie produkcji cementu, umożliwiając zastąpienie innych zakupionych materiałów. Roztwór chlorku sodu może być używany jako surowiec w procesie produkcji sody amoniakalnej.

Osiągnięte korzyści dla środowiska

Flukanie na sucho wodorowęglanem sodu umożliwia usuwanie emisji SOX z dużą skutecznością. Możliwość przetwarzania i ponownego użycia stałych pozostałości powstałych w systemie płukania stanowi dobrą alternatywę dla bezpośredniego recyklingu pyłu filtracyjnego do pieca do produkcji szkła, bez pogarszania jakości szkła lub konieczności kontroli procesu produkcji. Ponadto unikamy znacznego strumienia odpadów ze względu na możliwość waloryzacji i ponownego użycia powstałych produktów.

Efekty wzajemnych powiązań pomiędzy różnymi komponentami środowiska (ang. cross-media effects)

Stał pozostałości należy transportować z instalacji do produkcji szkła do oczyszczalni. Proces przetwarzania wymaga zużycia energii i wody.

Możliwość zastosowania

Flukanie na sucho wodorowęglanem sodu do odsiarczania spalin, a następnie przetwarzanie powstałych pozostałości stałych ma zastosowanie do zakładów produkcji szkła, gdzie recykling pyłów filtracyjnych nie jest możliwy ze względu na wymogi jakości szklarskiego produktu końcowego lub trudności w kontrolowaniu procesu produkcji.

Ekonomika

Technika ta jest testowana na etapie przedprodukcyjnym i badania wskazują, że będzie opłacalna.

Przesłanki do wdrożenia

Brak możliwości wewnętrznego recyklingu pozostałości stałych z zakładu odsiarczania spalin powinien stanowić główny powód wdrożenia rozwiązania.

Przykładowe zakłady

Technikę przetestowano we Francji i konkretne oczyszczalnie są badane/zaplanowane. Technika ta funkcjonuje w branży i jest stosowana we Francji oraz Włoszech dla stałych pozostałości generowanych przez spalarnie odpadów komunalnych, gdzie przetwarzanie spalin odbywa się z udziałem kwaśnego węgla sodowego (zob. BREF dotyczący spalania śmieci, sekcje 4.6.11.4 i 4.6.11.5).

Literatura przedmiotu

[154, EC 2006] [145, France contribution 2007].

6.7 Stosowanie ceramicznych i katalityczno-ceramicznych filtrów do usuwania wielu zanieczyszczeń z procesowych gazów odlotowych

Opis

Spaliny z pieców do topienia szkła mają podwyższone temperatury, w zależności od poziomu odzysku ciepła i zawierają mieszaninę stałych i gazowych zanieczyszczeń (głównie NO_x i SO_x). Szereg ugruntowanych technik jest obecnie stosowanych do usuwania tych zanieczyszczeń, albo indywidualnie albo w połączeniu (zob. powiązane sekcje w rozdziale 4).

Stosowanie systemów filtracji w wysokiej temperaturze w przemyśle szklarskim jest rzadkością (zob. sekcja 4.4.1.5). Został opracowany nowy typ filtra ceramicznego, który mógłby działać w wysokiej temperaturze i wyniki są obiecujące.

Wykorzystanie elementów filtrów ceramicznych (o niskiej gęstości) stanowi nową technikę przetwarzania spalin generowanych przez piece do topienia szkła. Filtry ceramiczne są bardzo skuteczne przy oddzielaniu pyłu i działają dobrze w połączeniu z etapem płukania na sucho przy usuwaniu gazów kwasotwórczych. Ponadto ze względu na ogniotrwały charakter medium filtracyjnego i temperaturę sprzyjającą filtracji, katalityczna redukcja emisji NO_x jest możliwa dzięki tej technice poprzez zastosowanie katalitycznych filtrów ceramicznych, w przypadku których katalizator jest włączony do elementów filtrów ceramicznych. W związku z tym główne zanieczyszczenia emitowane przez piec szklarski mogą być przetwarzane jednocześnie w tym samym urządzeniu.

Osiągnięte korzyści dla środowiska

Informacje na temat zaobserwowanego oddziaływania na środowisko katalitycznego filtra ceramicznego w różnych rodzajach instalacji przedstawiono w tabeli 6.1.

Tabela 6.1: Informacje na temat oddziaływania na środowisko dla instalacji katalitycznego filtra ceramicznego

Zastosowanie	Skala	Obszar filtracyjny (m ²)	Temperatura (°C)	Substancja	Wlot	Wylot
Spalanie	Pełna	112	220 - 260	Dioksyiny	1 - 2 ng/Nm ³	<0,01 ng/Nm ³
Spalanie	Pilotaż	56	180	NO _x	450 mg/Nm ³	48 mg/Nm ³
Spalanie	Pilotaż	51	280	Dioksyiny	75 ng/Nm ³	0,55 ng/Nm ³
Szkło	Pilotaż	56	280	NO _x	1200 mg/Nm ³	250 mg/Nm ³

Filtry ceramiczne są uzasadnionym rozwiązaniem dla zmniejszenia emisji pyłów (<10 mg/Nm³). W praktyce zastosowanie filtrów ceramicznych umożliwia osiągnięcie stężeń <2 mg/Nm³, gdy działają one poprawnie.

Zgodnie ze zgłoszonymi informacjami, efektywność usuwania wynosi >90% dla HCl, >80% dla SO_x i około 80% dla NO_x [113, Maguin CerCat process 2008].

Efekty wzajemnych powiązań pomiędzy różnymi komponentami środowiska (ang. cross-media effects)

W porównaniu do materiałowych filtrów workowych, filtry ceramiczne posiadają dodatkowy ciężar, który należy wziąć pod uwagę przy budowie zakładu. Materiały użyte do budowy struktury filtra muszą być odpowiednie do pracy w podwyższonej temperaturze. Jeśli chodzi o inne systemy katalitycznej redukcji emisji NO_x (SCR, SNCR), katalityczny filtr ceramiczny wymaga wtrysku amoniaku lub, jeśli temperatura jest dostatecznie wysoka, mocznika. Magazynowanie i gospodarowanie amoniakiem(-u) oraz mocznikiem(-a) bywa źródłem ulotnych emisji, a zatem może stosować się specjalne ustawodawstwo.\

Możliwość zastosowania

Elementy filtra ceramicznego są na rynku od połowy lat 80-tych i są dostępne w niezmiennej formie od 1991 roku. W tym czasie zastosowano je do szeregu zadań, w których skuteczna filtracja jest wymagana w podwyższonych temperaturach.

Zastosowanie filtrów ceramicznych miało miejsce kilka lat temu na piecu konwencjonalnym do szkła borokrzemianowego w Wielkiej Brytanii, ale instalacja nie jest już aktywna.

Elementy filtra ceramicznego są przystosowane do operacji w temperaturach do 900 °C, podczas gdy katalityczne filtry ceramiczne są przystosowane do operacji w temperaturach do 400 °C, powyżej których skuteczność katalizatora jest mniejsza. W praktyce większość systemów w oparciu o elementy filtra ceramicznego działa w temperaturze maksymalnie do około 450 °C, która jest maksymalną temperaturą dla instalacji ze stali węglowej.

Istnieje kilka kwestii dotyczących skutecznego płukania gazów kwasotwórczych (SO₂, HCl, HF), w tym wybór czynnika absorbującego, stosunek stechiometryczny, temperatura i dostępny czas reakcji.

Wodorowęglan sodu jest preferowanym sorbentem do stosowania z elementami filtrów ceramicznych. Sorbenty na bazie wapna można również stosować, gdy warunki uznaje się za lepsze niż w przypadku wodorowęglanu sodu (na przykład płukanie HF).

Dla zmniejszenia emisji NO_x katalizator włączony do elementów katalitycznego filtra ceramicznego posiada taki skład, by mógł działać albo z reagentem w postaci amoniaku albo z mocznikiem.

Ekonomia

Elementy filtra ceramicznego oferują możliwość stopniowego wdrażania urządzeń redukujących zanieczyszczenia. W pierwszej fazie filtr oparty na standardowych elementach filtracyjnych może być zainstalowany dla redukcji emisji pyłów i usuwania gazów kwasotwórczych (za pomocą adsorbentu), utrzymując temperaturę wystarczającą dla przyszłej kontroli NO_x. W drugim etapie elementy filtracyjne mogą zostać instalowane z elementami katalitycznego filtra ceramicznego dla redukcji NO_x, lub może być zainstalowany system selektywnej redukcji katalitycznej (SCR). Wyboru najlepszej opcji należy dokonać w oparciu o względy ekonomiczne i techniczne. Stopniowe wprowadzenie ma zapobiec zbędnym lub przedwczesnym wydatkom.

Początkowe koszty kapitałowe katalitycznego systemu opartego o filtr ceramiczny mogą być znacznie niższe niż w przypadku tradycyjnej alternatywy. Podczas obliczania rocznych kosztów operacyjnych, należy rozważyć koszty energii, adsorbentu, wymianę wkładów filtracyjnych, pracę i inne czynniki. Obliczenia kosztów sugerują, że całkowity koszt eksploatacji katalitycznego filtra ceramicznego jest korzystny w porównaniu do innych technologii.

Przesłanki do wdrożenia

Możliwość usunięcia mieszaniny zanieczyszczeń dzięki jednemu systemowi może być szczególnie atrakcyjna, gdy dostępna przestrzeń jest ograniczona.

Przykładowe zakłady

Katalityczne filtry ceramiczne zostały zastosowane na małą skalę zarówno w zakładach o pełnej jak i pilotażowej skali. Zastosowania na skalę pilotażową wprowadzono w celu odzwierciedlenia rzeczywistych warunków eksploatacji. Jedną próbę na skalę pilotażową przeprowadzono w europejskiej linii produkcyjnej płaskiego szkła drukowanego. W próbnym zakładzie stosowano elementy filtracyjne 40 Cerafil TK-3000 XS-1 (3 m długości x 150 mm O/D + faktyczna powierzchnia 1,4 m²). Osiągnięta redukcja NO_x wyniosła około 80% przy temperaturze 280 °C i jest to idealna temperatura do zastosowań długoterminowych. Próba sztucznego wietrzenia wykazała stabilną, długoterminową wydajność.

Przeprowadzona została druga próba w europejskiej linii produkcyjnego szkła typu „float”. Wyniki nie są dostępne ze względu na kwestie poufności.

Ogłoszono, że dwa zastosowania przemysłowe mają zostać wdrożone w 2010 roku, w tym jedno w sektorze szklarstwa gospodarczego dla produkcji szkła sodowo-wapniowego. Celem jest ocena tej techniki pod względem merytorycznym i ekonomicznym podczas pełnej kampanii.

Literatura przedmiotu

[151, Madison Filter Ltd. 2008] [13, Maguin CerCat process 2008]

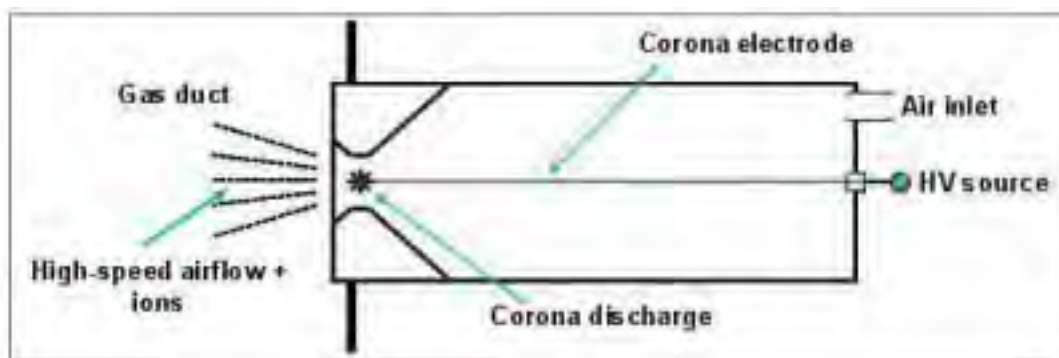
6.8 Filtr elektrostatyczny NASU dla nanocząstek

Opis

W branży produkcji szkła technologiami stosowanymi do usuwania pyłu z gazów odlotowych są, ogólnie rzecz biorąc, filtry elektrostatyczne (ESP) i filtry workowe. Technologie te wykazują wysoką skuteczność przy usuwaniu dużych i drobnych cząstek nawet o średnicy $< \mu\text{m}$. Jednak drobne cząstki ($< 2 \mu\text{m}$), bardzo drobne cząstki ($< 1 \mu\text{m}$) i nanocząstki ($< 0,1 \mu\text{m}$) są trudniejsze do oddzielenia. Aerodynamiczne i elektrostatyczne zachowanie się cząstek o średnicy około $0,01 \mu\text{m}$ jest całkowicie różne od cząstek $2 \mu\text{m}$ i większych. Cząstki mniejsze niż $0,1 \mu\text{m}$ mają dużą mobilność i niższe wartości ładunkowe oraz wymagałyby filtra z gęstego materiału do ich usunięcia, skutkując wysokim spadkiem ciśnienia na linii spalin. Przy tradycyjnych ESP spadek ciśnienia nie byłby problemem, ale urządzenie do zastosowania musiałoby być duże i stosunkowo drogie, ze względu na konieczność stosowania kilku stref ładowania (wiele pól), aby drobne cząstki mogły być skutecznie usunięte (ładowanie polowe).

Filtr elektrostatyczny dla nanocząstek opiera się na innej technice ładowania cząstek (ładowanie dyfuzyjne), która wykazuje większą skuteczność w przypadku drobnych cząstek.

System składa się z 2-stopniowego urządzenia, które wykorzystuje ładowarkę typu „sonic jet charger” wewnątrz której powstają jony i są one wdmuchiwane do przewodów spalin dzięki przepływowi powietrza z prędkością dźwięku. Schemat ładowarki typu „sonic jet charger” znajduje się na rysunku 6.3.



EN	PL
Corona electrode	Elektroda ulotowa
Gas duct	Przewód gazowy
High-speed airflow + ions	Przepływ powietrza o wysokiej prędkości + jony
Corona discharge	Odprowadzanie ulotowe
Air inlet	Wlot powietrza
HV source	Źródło HV

Rysunek 6.3: Schemat ładowarki typu „sonic jet charger”

Osiągnięte korzyści dla środowiska

Typowa efektywność usuwania dla urządzenia NASU ESP, składającego się z jednego filtra modułowego, wynosi 80-90% całkowitego ładunku masy cząstek. Kiedy stosuje się wiele (dwie lub więcej) modułowych jednostek filtracyjnych połączonych szeregowo, można osiągnąć wydajność usuwania teoretyczną do 95%. Odnotowany wzrost efektywności dotyczy usuwania pyłów o przeciętnej wielkości cząstek poniżej 2 µm.

Dane operacyjne

System NASU ESP zainstalowany w instalacji do szkła gospodarczego działa przy średniej prędkości przepływu w kanale 5,5 m/s. Ładowarka typu „sonic jet charger” nie wymaga czyszczenia; cechuje ją stałe napięcie ulotowe i właściwości gazów spalinowych nie wpływają na prąd. Urządzenie jest bardzo małe i tanie.

Możliwość zastosowania

System NASU ESP może być stosowany do filtracji drobnych cząstek w różnych zastosowaniach, w tym piecach do topienia szkła i systemach powlekania szkła.

Ekonomia

Modułowość systemu umożliwia łączne dodawanie szeregu modułów standardowych, aby dopasować natężenie przepływu w różnej wielkości filtrach. Cecha ta sprawia, że system NSU ESP jest bardzo opłacalny. System cechuje niski koszt montażu i niskie koszty operacyjne. Wymaga minimalnej konserwacji.

Przesłanki do wdrożenia

Potrzeba skutecznego usunięcia najdrobniejszych cząstek ze źródeł emisji jest głównym powodem ewentualnego wdrożenia, jak również możliwość zastosowania wielu jednostek modułowych (10-12 lub więcej) w zależności od potrzeb i objętości gazów odlotowych.

Przykładowe zakłady

Jedno z zastosowań przetestowano w Beneq (Helsinki, Finlandia) w przetwarzaniu gazów spalinowych z systemu powlekania szkła.

System został przetestowany w styczniu 2009 roku w fabryce szkła Littala Nuutajarvi na dwóch piecach kociołkowych do produkcji szkła gospodarczego z wykorzystaniem palników LPG. Filtr został zainstalowany na dachu budynku.

Projekt NASU nie jest jeszcze zakończony. Badania nadal są w toku w celu ustalenia, czy system ten jest realnym rozwiązaniem dla celów przemysłowych.

Literatura przedmiotu

[152, Finland contribution 2009]

6.9 Technologia płuczki opartej o naładowaną chmurę

Opis

Technika płuczki opartej o naładowaną chmurę (CCS) opiera się o system, w którym zarówno pyły i zanieczyszczenia gazowe są usuwane przez przepuszczanie gazów odlotowych przez komorę, która zawiera starannie opracowaną „chmurę do płukania” z naładowanymi kroplami wody o dużej gęstości.

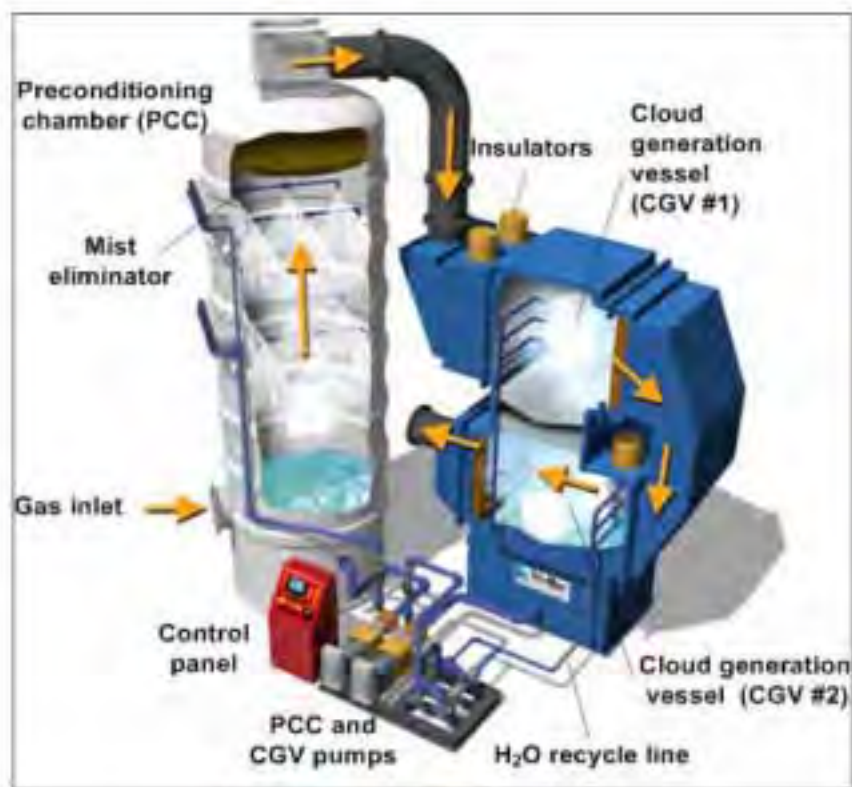
Wewnątrz systemu komory z chmurą, miliardy kropelek szybko wchodzi w interakcję z cząstkami występującymi w procesowych gazach spalinowych. Kiedy cząstka i kropla przechodzą i gdy osiągną one rozmiar 20 mikronów, siły elektryczne powodują wzajemne przyciąganie i cząstka zostaje wciągnięta do kropli.

Przechwycone cząstki gromadzą się w zbiorniku i osadzają na dole komory, skąd są usuwane jako szlam o niskiej objętości. Stosunkowo oczyszczona woda z górnej części zbiornika poddawana jest

recykulacji do sieci ładowania, gdzie jest ponownie ładowana, a następnie ponownie wykorzystana w systemie.

System CCS umożliwia usunięcie rozpuszczalnych zanieczyszczeń gazowych (np. SO_2 , HCl , HF , NH_3) oraz drobnych i bardzo drobnych cząstek.

Rysunek 4.6 przedstawia schemat.



EN	PL
Preconditioning chamber (PCC)	Komora wstępnego przetwarzania
Mist eliminator	Eliminator mgły
Gas inlet	Wlot gazowy
Control panel	Panel sterowania
PCC and CGV pumps	PCC i pompy CGV
H ₂ O recycle line	Linia odzysku H ₂ O
Cloud generation vessel (CGV#2)	Zbiornik generowania chmury (CGV#2)
Cloud generation vessel (CGV#1)	Zbiornik generowania chmury (CGV#1)
Insulator	Izolator

Rysunek 6.4: Schemat systemu płuczki opartej o naładowaną chmurę

Osiągnięte korzyści dla środowiska

Zgłaszane korzyści dla środowiska, zaobserwowane po testach pilotażowych dotyczących gazów odlotowych z tlenowo-paliwowych pieców szklarskich to wysoka skuteczność redukcji emisji pyłów i SO_x (odpowiednio z 410 mg/Nm^3 do 23 mg/Nm^3 i z 770 mg/Nm^3 do 1 mg/Nm^3 ; dane zgodnie z pomiarami). System CGS na pełną skalę stosowany do pieców tlenowo-paliwowych został przetestowany w USA; wyniki nie są jeszcze dostępne.

Dane operacyjne

Szacuje się, że zużycie energii elektrycznej na potrzeby elektrostatycznego ładowania kropelek może być znacząco niższe niż w przypadku systemów filtrów elektrostatycznych.

Spadek ciśnienia w układzie CCS jest bardzo niski i jest on przede wszystkim spowodowany przez eliminatory mgły oraz przewody łączące. Zgodnie z informacjami, na technikę nie wpływa raczej ładowanie cząstek i inne składniki ładujące.

Możliwość zastosowania

System można potencjalnie zastosować do gazów wylotowych ze wszystkich typów pieców szklarskich; jednak musi to zostać potwierdzone.

Ekonomia

W czasie pisania publikacji (2010) nie były dostępne dane o

kosztach. **Przesłanki do wdrożenia**

System CCS potencjalnie znacznie ogranicza wymagania dotyczące dostępnego miejsca, w przypadku których zarówno redukcja emisji drobnego pyłu jak i gazów kwasotwórczych ma znaczenie.

Przykładowe zakłady

W czasie pisania publikacji (2010 r.) pierwsza instalacja na pełną skalę była testowana w USA na piecu tlenowo-paliwowym.

Literatura przedmiotu

[170, N.Harris 2009] [171, Tri-Mer Corporation 2010]

7 KOŃCOWE UWAGI I ZALECENIA W ODNIESIENIU DO PRZYSZŁYCH PRAC

Perspektywa czasowa procesu przeglądu

Prace w przeglądzie dokumentu referencyjnego BAT dotyczącego produkcji szkła (GLS BREF) rozpoczęły się od reaktywacji TWG w lutym 2006 r., po której nastąpiło zaproszenie do składania postulatów w marcu 2006 r. oraz przygotowanie dokumentów programowych przedkładających postulaty członków TWG na piśmie, a także przedstawienie kluczowych kwestii do weryfikacji w dokumencie.

Spotkanie inicjujące proces przeglądu dokumentu referencyjnego BAT zostało zorganizowane w styczniu 2007 r. TWG uzgodniło utrzymanie struktury obecnego dokumentu oraz aktualizację wszystkich części, włączenie dodatkowych informacji, w szczególności nowych danych na temat emisji i poziomu zużycia. Odnotowano potrzebę uzupełnienia dostępnych informacji na temat procesów odwodnych/odpowietrznych, emisji metali ciężkich, wykorzystania stłuczki (dostęp, wymagania jakościowe itd.). Uzgodniono, iż włączone zostaną informacje na tematy nieujęte w już opracowanych dokumentach, w szczególności dotyczących emisji związków boru, emisji rozproszonych i niezorganizowanych.

Podczas spotkania wyrażono obawę w zakresie poufności danych gromadzonych w celu przeglądu dokumentu referencyjnego BAT, ze względu na kwestię konkurencji związaną z procedurą naruszenia w toku, prowadzoną przez Komisję (DD do spraw konkurencji) przeciwko dużym producentom szkła. Po konsultacjach z DG do spraw konkurencji podgrupa TWG zdefiniowała wytyczne w zakresie pozyskiwania danych oraz konieczne ograniczenia, mające na celu uniknięcie wrażliwych kwestii konkurencji. Wymóg ten powoduje pewne trudności w uzyskiwaniu danych na temat emisji i zużycia na poziomie instalacji.

Okres gromadzenia danych i informacji zakończył się w lipcu 2007 r. Informacje zostały poświadczone w ramach wizyt studyjnych, konsultacji z członkami TWG i weryfikację w ramach EIPPCB.

Pierwsza wersja robocza dokumentu referencyjnego BAT obejmująca rozdziały 1-4, została ogłoszona drukiem w lutym 2008 r., jednocześnie z okresem konsultacyjnym dla TWG, który zakończył się w kwietniu 2008 r. W maju 2008 r. praca została przejęta przez nowego autora, który przygotował poprawioną wersję pierwszej wersji roboczej, opublikowaną we wrześniu 2008 r. Spotkanie śródkresowe TWG zostało zorganizowane w październiku 2008 r., mając na celu dyskusję na określone tematy wymagające dodatkowych informacji w celu zakończenia procesu przeglądu.

Druga wersja robocza dokumentu referencyjnego BAT obejmująca rozdział 5 (wstępne wnioski na temat Najlepszych Dostępnych Technik) oraz rozdział 6 (Nowe Technologie) została opublikowana w czerwcu 2009 r. (pełny dokument) z prośbą do dwóch członków TWG o komentarz na temat wersji poprawionej do końca września 2009 r.

Ostatnie spotkanie TWG odbyło się w grudniu 2009 r. Podczas spotkania TWG składało się z 85 członków – przedstawicieli 20 państw członkowskich, organizacji przemysłowych, Komisji Europejskiej i organizacji pozarządowych zajmujących się ochroną środowiska.

Źródła informacji i luki informacyjne

Na wymianę informacji potrzebnych do przeglądu dokumentu referencyjnego BAT wpływ miały ograniczenia wskazane powyżej, powstające głównie za sprawą kwestii konkurencji. Jednak złożona została wysoka liczba przydatnych dokumentów, a ponad 100 nowych źródeł zostało włączonych do poprawionego dokumentu. Jeśli chodzi o dokument wyjściowy to, większa część informacji została dostarczona w celu wsparcia różnorodności ośmiu różnych sektorów szkła oraz aby określić możliwość zastosowania zidentyfikowanych technologii we wszystkich procesach i sektorach.

System informacyjny BAT (BATIS) używany był systematycznie do rejestrowania dokumentów i komentarzy otrzymanych od członków TWG, aby zapewnić skuteczną wymianę informacji oraz wysoki poziom przejrzystości.

Głównymi źródłami informacji były stowarzyszenia przemysłowe reprezentujące cały przemysł szkła (CPIV) oraz pojedyncze sektory (FEVE, Glass for Europe, APFE, Domestic Glass, ESGA, EURIMA, ECFIA, ANFFECC), a także kilka państw członkowskich, w szczególności Austria, Francja, Niemcy, Włochy, Holandia, Portugalia i Hiszpania.

Kilka dokumentów zawierających dane o emisji z instalacji przykładowych oraz ekstensywne informacje dotyczące kosztów i efektów wzajemnych powiązań w większości zostało wykorzystanych do przeglądu rozdziału 4, zwłaszcza raportów HVG (Niemcy), Austrii, TNO (złożone przez CPIV) oraz Entec (złożone przez EURIMA).

Mimo przydatności otrzymanych informacji, zidentyfikowano kilka problematycznych kwestii:

- Dane o emisjach i zużyciu dostarczane były często w formie łącznej.
- Niektóre dane pochodzące z instalacji przykładowych zawierały luki, na przykład rok odniesienia dla kosztów technologicznych, długofalowe emisje przy zastosowaniu pomiarów miejscowych.
- W niektórych sektorach, dane dotyczące zużycia energii zostały dostarczone w formie przedziału (wartości minimalna i maksymalna), przy czym nie zostały dołączone do nich odpowiednie parametry, takie jak typ i wiek pieca oraz procent słuczki.
- Zidentyfikowany został brak danych dotyczących emisji związków selenu pochodzących z produkcji szkła barwionego, opakowaniowego i użytku domowego, wraz z wydajnością systemów oczyszczania usuwających emisje.

Poziom porozumienia osiągniętego w czasie wymiany informacji

Podczas końcowego spotkania technologicznej grupy roboczej, jak i po nim, osiągnięto porozumienie w TWG w sprawie całego dokumentu. Wyrażono przeciwstawne opinie na temat ograniczonej liczby BAT-AEL, z których dwa zostały odnotowane.

Tabela 7.1 przedstawia podzielone poglądy wyrażone przez członków TGW i odnotowane.

Tabela 7.1: poglądy podzielone

Konkluzje dotyczące BAT	Opinia wyrażona przez	Pogląd podzielony
Nr 17	Portugalia, Włochy	Te dwa państwa członkowskie uważają, że górna wartość zakresu BAT-AEL dotycząca zastosowania modyfikacji spalania w celu zredukowania emisji NO _x jest nie do osiągnięcia w przypadku istniejących instalacji, w szczególności wobec poprzeczno płomiennych pieców regeneracyjnych opalanych gazem. Na podstawie danych z instalacji przykładowych (zobacz kolumna 1 w tabeli 4.15, sekcja 4.4.2.1) oraz wartości odnotowanych w „Danych operacyjnych” sekcji 4.4.2.1, BAT-AEL wynoszący 800 mg/Nm ³ (równowartość 1.2 kg/tonę rozpuszczonego szkła) określony jako średnia dzienna lub średnia okresu pobierania próbek, nie jest uznany za typowy dla wszystkich typów konwencjonalnych pieców do topienia. Poziomy emisji w przedziale 700 - 1100 mg/Nm ³ (0.9 - 1.7 kg/tonę stopionego szkła) wskazane są jako osiągalne dla poprzeczno płomiennych pieców regeneracyjnych opalanych gazem. W opinii tych dwóch państw członkowskich zastosowanie drugorzędnych środków, które mogą być uznane za bardziej wydajną alternatywę BAT dla osiągnięcia odpowiadających BAT poziomów emisji (na przykład SCR i SNCR) nigdy nie zostały wdrożone w piecu tego typu z powodu ograniczeń technologicznych i jego niskiego stopnia elastyczności.

Nr 19	Europejska federacja szkła opakowaniowego (FEVE)	Organizacja przemysłowa uważa, że wyższa wartość BAT–AEL zakresu wartości pieców opalanych gazem naturalnym i tych opalanych olejem jest trudna do osiągnięcia zwłaszcza przy zastosowaniu procesu kompletnego recyklingu pyłu z filtrów oraz wysokiej zawartości stłuczki obcej w zestawie szklarskim. Produkcja pewnych rodzajów szkła o stałym stopniu utlenienia i niskim poborze siarki w masie szklanej, który określa kolor szkła oraz inne ważne właściwości, zazwyczaj wiąże się z wyższym poziomem emisji SO _x w porównaniu ze szklami o wyższym poborze siarki. W oparciu o dane przedstawione w sekcji 3.3.2.2, w tabeli 3.15 oraz sekcji 4.4.3.3, wartości w zakresie <500 - 800 mg/Nm ³ (0.75 - 1.2 kg/tonę szkła stopionego) są wartościami przewidywanymi dla pieców opalanych gazem w zakresie <1200 - 1500 mg/Nm ³ (1.8 - 2.3 kg/tonę szkła stopionego) dla pieców opalanych olejem. W opinii przemysłu otrzymane zakresy BAT-AEL spowodowałyby strumień ścieków pyłu z filtra co zagrażałoby procesowi recyklingu szklanych opakowań (stłuczka obca) w Europie.
-------	--	---

Konsultacja z forum, a następnie formalna procedura przyjęcia konkluzji dotyczących BAT.

Z forum wymiany informacji na podstawie art. 13 dyrektywy 2010/75/UE w sprawie emisji przemysłowych (nazywanym zazwyczaj forum ustanowionym na podstawie art. 13 dyrektywy IED) skonsultowano się w zakresie treści niniejszego dokumentu referencyjnego BAT w dniu 24 czerwca 2012 r.; forum to przedstawiło swoją opinię w trakcie swojego posiedzenia, które odbyło się w dniach 12 - 13 września 2011 r.

W opinii forum ustanowionego na podstawie art. 13 dyrektywy IED wyróżniono dwa różne zestawy komentarzy. Po pierwsze w opinii wymieniono te uwagi, co do których forum wyraziło swoją zgodę na uwzględnienia ich w ostatecznym dokumencie referencyjnym BAT. Po drugie w opinii wymieniono uwagi stanowiące poglądy niektórych członków Forum, co do których jednak nie wyrażono zgody, by uwzględnić je w ostatecznym dokumencie referencyjnym BAT.

Pełny tekst opinii Forum jest dostępny pod adresem:

http://circa.europa.eu/Public/irc/env/ied/library?l=/ied_art_13_forum/opinions_article

Następnie Komisja uwzględniła opinię forum ustanowionego na podstawie art. 13 dyrektywy IED przy przygotowywaniu projektu decyzji wykonawczej Komisji ustanawiającej konkluzje dotyczące najlepszych dostępnych technik (BAT) w odniesieniu do produkcji szkła.

Komitet ustanowiony na podstawie art. 75 dyrektywy o emisjach przemysłowych wydał pozytywną opinię o projekcie decyzji wykonawczej w czasie swojego posiedzenia 21 listopada 2011 r. W trakcie tego procesu nie wprowadzono zmian merytorycznych w tym dokumencie.

Zalecenia odnośnie przyszłych prac

Wymiana informacji oraz jakość jej rezultatów ujawniły kilka obszarów, w których w przyszłości należy zebrać dalsze informacje w celu wspomżenia określenia zastosowania pewnych technologii, które należy rozważyć przy określaniu najlepszych dostępnych technik, uściślenia BAT-AEL oraz innych powiązanych poziomów.

Byłoby pomocnym gdyby dalsze prace dostarczyły głębszego zrozumienia kwestii wzajemnych powiązań oraz potencjalnej poprawy wydajności niektórych z pośród zidentyfikowanych BAT. Poniżej omówiono zalecenia wobec obszarów przyszłych prac oraz obszarów, które powinny zostać zrewidowane gdy niniejszy dokument będzie poddawany przeglądowi.

- Więcej danych powinno zostać zebranych na poziomie instalacji do oceny wydajności zidentyfikowanych technologii. Dane emisji związane ze wszystkimi zastosowanymi technikami powinny zostać zebrane.
- Dalsze informacje dotyczące metod pomiarowych (pomiar ciągły i nieciągły), w szczególności wartości granicznej wykrycia oraz niepewności powinny zostać zapewnione wraz z danymi o emisji.

- Dane zużycia energii nie powinny być podawane łącznie, dla lepszego zrozumienia; informacje zbierane na poziomie instalacji powinny być bardziej szczegółowe (na przykład procent stłuczki, wiek pieca, itp.).
- Dane dotyczące kosztów inwestycji i działania poszczególnych zakładów powinny zostać skorelowane z innymi zasadnymi informacjami (rok inwestycji, pozycje włączone do danych o kosztach, itd.).
- Należy zebrać dalsze dane dotyczące emisji CO.
- Należy zebrać dalsze dane dotyczące emisji NH₃ przy zastosowaniu SCR lub SNCR, w szczególności w celu skorelowania możliwego do osiągnięcia poziomu emisji NO_x z potencjalnymi efektami wzajemnych powiązań wycieku amoniaku.
- Należy zebrać dane dotyczące emisji związków boru na poziomie instalacji biorąc pod uwagę definicję konkretnych BAT-AEL dla tych związków. To zalecenie jest szczególnie zasadne w związku z włączeniem dwóch związków boru (kwasu borowego, tetraboran sodu, bezwodny) do listy substancji określonych jako substancje wzbudzające szczególnie duże obawy (SVHC), przy zastosowaniu REACH europejskiej regulacji 2006/1907/WE.
- Należy zebrać dodatkowe informacje w odniesieniu do konkretnych zakładów dotyczące sektorów szkła płaskiego i opakowaniowego, w celu oceny efektów wzajemnych powiązań związanych z wysokimi wydajnościami usuwania emisji SO_x oraz recyklingu pyłu z filtra do składu zestawu. W szczególności należy przeprowadzić dalsze badania opcji składowania pyłu z filtra w kontekście wyższych emisji SO_x.
- Należy zebrać dodatkowe dane na poziomie instalacji, dotyczące wydajności usuwania SO_x oraz efektów wzajemnych powiązań związanych z generowanym strumieniem odpadów stałych w produkcji wełny mineralnej. W szczególności uzupełnione powinny być informacje dotyczące recyklingu odpadów stałych poprzez produkcję brykietów mineralnych, jako alternatywny utylizacji pyłu z filtra. W odniesieniu do produkcji wełny mineralnej, dane dotyczące emisji lotnych substancji organicznych (LZO) z czynności następujących po procesie topienia oraz informacje związane ze źródłami techniki redukcji powinny zostać rozpatrzone bardziej dogłębnie.
- Należy zebrać dane dotyczące emisji NO_x związanej z zastosowaniem soli kwasu azotowego w zestawie szklarskim dla wszystkich sektorów (szkło opakowaniowe, płaskie, gospodarcze oraz specjalne; wełna mineralna, fryty). Potrzebne są zarówno dane dotyczące typowych emisji sektorów jak i wartości na poziomie instalacji.
- W związku z produkcją fryt, należy zebrać dodatkowe dane dotyczące emisji NO_x oraz informacje dotyczące możliwych wariantów technologicznych redukujących te emisje, w celu lepszego oceny sektora.

Sugerowane tematy do przyszłej pracy w zakresie badań i rozwoju

Należy przestudiować potencjalne zastosowanie w pierwszym sektorze niektórych z pośród dostępnych technik, ze szczególnym odniesieniem do środków wtórnych („końca rury”) redukcji emisji NO_x (na przykład SCR, SNCR), w celu określenia technicznych i ekonomicznych ograniczeń tych technik.

Korzystnym dla określenia standardowej metody pobierania próbek oraz dla oceny odpowiednich BAT-AEL było by opracowanie porównawcze dotyczące pomiarów emisji stałych i lotnych związków boru z pieców do topienia szkła zawierającego brom.

Na podstawie wydajności zaobserwowanej w innych sektorach przemysłowych zgłaszano niższe poziomy emisji NO_x jako teoretycznie osiągalne w zastosowaniu SCR w przemyśle szkła.

Należy zbadać możliwość uzyskania niższych poziomów emisji NO_x, zwłaszcza w sektorze szkła płaskiego.

Komisja uruchamia i wspiera, poprzez swoje programy w zakresie badań i rozwoju technologicznego, serię przedsięwzięć dotyczących czystych technologii, pojawiających się technologii oczyszczania ścieków i recyklingu oraz strategii gospodarowania. Przedsięwzięcia te mogą potencjalnie wnieść pozyteczny wkład w przyszłe przeglądy dokumentu BREF. Zachęca się zatem czytelników do informowania europejskiego biura IPPC o wszelkich wynikach badań, które są istotne dla zakresu niniejszego dokumentu (zob. również piąta sekcja Przedmowy do niniejszego dokumentu).

Wszelkie uwagi i sugestie należy kierować do europejskiego biura IPPC w Instytucie Perspektywicznych Studiów Technologicznych na następujący adres:

Komisja Europejska
Instytut Perspektywicznych Studiów Technologicznych
Biuro IPPC na Europę
Edificio Expo
c/ Inca Garcilaso, 3
E-41092 Seville, Hiszpania
Telefon: +34 95 4488 284
Faks: +34 95 4488 426
E-mail: JRC-IPTS-EIPPCB@ec.europa.eu
Internet: <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu>

8 ZAŁĄCZNIKI

8.1 Załącznik I: Metoda szacowania kosztów kontroli zanieczyszczenia powietrza oraz wzajemnych powiązań pomiędzy różnymi komponentami środowiska [94, Beerkens - APC Evaluation 2008]

Dokument referencyjny, na którym oparto większość wniosków na temat danych dotyczących kosztów oraz na podstawie którego opracowano tabele przedstawione w rozdziale 4 w części „Ekonomika”, przedstawił przemysł szklarski. Dane przedstawione w rozdziale 4 oraz w niniejszej części odnoszą się do kosztów oraz wzajemnych powiązań pomiędzy różnymi komponentami środowiska (ang. *cross-media effects*) związanych z różnymi technikami, jakie stosuje się w różnych sektorach przemysłu szklarskiego, a także związanych z różnymi rozmiarami pieców, w odniesieniu do kontroli zanieczyszczenia powietrza.

W niniejszej części opisano metodologię, jaką zastosowano do oszacowania dodatkowych kosztów produkcyjnych związanych z instalacją i działaniem urządzeń kontrolujących zanieczyszczenie powietrza w zakładzie produkcji szkła. W niniejszej części opisano również wyliczenia dodatkowych kosztów związanych z zastosowaniem modyfikacji procesów (zmiany w projekcie, przejście z opalania powietrzem na opalanie tlenem lub topienie elektryczne), przeprowadzanych głównie w celu zmniejszenia poziomów emisji (w odniesieniu do stężeń lub wartości bezwzględnych) pewnych rodzajów czynników zanieczyszczających.

Metodologia na potrzeby tych wyliczeń została opracowana przez Holandię, w celu zestandaryzowania wyliczeń kosztów i skutków działań środowiskowych, niezależnie od wewnętrznych danych dotyczących kosztów stosowanych przez spółkę, która wykorzystuje badaną technikę (NER Nederlandse Emissie Richtlijn Lucht, InfoMil, wrzesień, 2004. ISBN 90-776323-01-1) [155, NER kwiecień 2003].

Metodologia przyjęta do wyliczenia większości danych dotyczących kosztów przedstawionych w rozdziale 4, opisana w następujących częściach, opiera się głównie na podejściu NER.

Jako że w przemyśle szklarskim główne emisje spowodowane są na ogół procesem topienia, w niniejszej części pod uwagę bierze się wyłącznie koszty redukcji emisji cząstek stałych i gazów pochodzących z pieców do topienia szkła.

8.1.1 Koszty uwzględnione w wycenie ekonomicznej

Dodatkowe koszty systemów kontroli zanieczyszczenia powietrza (APC) obejmują koszty inwestycyjne związane z dodatkowymi urządzeniami lub ze zmianami w istniejących instalacjach. Takie koszty rozkładają się na cały okres użytkowania takich urządzeń i oblicza się je jako koszty inwestycyjne dla każdego roku. Koszty takie obejmują amortyzację inwestycji w skali roku oraz roczne koszty odsetek.

Typowe koszty inwestycyjne to, na przykład, koszty:

- filtrów, scrubberów, sprzętu do selektywnej redukcji katalitycznej (SCR), nowych palników, zmian w projekcie pieca,
- orurowania, podłączenia zaworów do istniejących systemów odprowadzania gazów spalinowych, dodatkowych wentylatorów lub zwiększenia wydajności wentylatorów w celu zrównoważenia spadku ciśnienia gazów spalinowych w odniesieniu do urządzeń (filtr, SCR, scrubber),
- przechowywania (silos) i transportu odpadów, na przykład zebranego przez filtr pyłu,
- w przypadku systemów opartych na scrubbingu mokrym: koszty systemów oczyszczania ścieków oraz oczyszczania osadów ściekowych,
- prac inżynierskich oraz budowy/instalacji urządzeń na terenie zakładu,
- transportu nowych urządzeń,
- przygotowań na terenie zakładu: fundamenty, budynki
- dostaw energii elektrycznej, transformatorów,
- zmian w układzie kominów lub wzniesienia dodatkowego komina,
- uzyskania licencji (często wliczone w cenę głównych urządzeń),
- systemu stałego monitorowania składu gazów spalinowych (NO_x , SO_x , O_2 , pył), koniecznego do kontroli działania systemu APC oraz wykrycia błędów (takich jak zatrucie lub zatkanie katalizatora, wadliwe moduły filtrów workowych) w działaniu takiego systemu.

W niniejszym badaniu stopę oprocentowania, która dotyczy takich inwestycji, określa się na poziomie 6% rocznie, a za okres odpisów amortyzacyjnych takich urządzeń przyjmuje się okres 10 lat, przy uwzględnieniu średniego okresu użytkowania urządzeń do kontroli zanieczyszczenia powietrza oraz okresów odpisów amortyzacyjnych dla tego rodzaju instalacji. W przypadku budynków, fundamentów i innych elementów infrastruktury okres amortyzacji rozkłada się równomiernie na 25 lat.

Wzór zastosowany do wyliczenia udziału stopy oprocentowania i okresu odpisów amortyzacyjnych w średnich rocznych kosztach systemu kontroli zanieczyszczenia powietrza, w odniesieniu do wartości z 2007 roku, jest następujący:

Koszty inwestycyjne w EUR/rok = koszty urządzeń $\times \left[\frac{\{(1+I/100)^{\text{ELE}}\}}{\{(1+I/100)^{\text{ELE}}-1\}} \times I/100 + \text{koszty infrastruktury} \times \left[\frac{\{(1+I/100)^{\text{ELI}}\}}{\{(1+I/100)^{\text{ELI}}-1\}} \times I/100 \right] \right]$

Gdzie:

- ELE = okres odpisów amortyzacyjnych dotyczących urządzeń, liczony w latach (wartość domyślna: 10 lat),
- ELI = okres odpisów amortyzacyjnych dotyczących inwestycji w infrastrukturę, liczony w latach (wartość domyślna: 25 lat),
- I = roczna stopa oprocentowania kapitału, w % (wartość domyślna: 6%/rok),
- koszty urządzeń = bieżąca wartość wszystkich zakupionych urządzeń oraz ich instalacji, plus koszty wycofania urządzeń z eksploatacji według ich wartości bieżącej,

- koszty infrastruktury = koszty fundamentów, dostaw energii elektrycznej, budynków, a czasami także kosztów modyfikacji kominów, według ich wartości bieżącej,

Koszty eksploatacyjne urządzeń do kontroli zanieczyszczenia powietrza podano poniżej.

- Dodatkowe zużycie energii: ważnym czynnikiem jest energia elektryczna zużywana do produkcji tlenu, napędzania silników wentylatorów, a także do stosowania sprężonego powietrza (czyszczenie filtrów, wprowadzanie absorbentów do przepływu gazu, aspiracja roztworu amoniaku).
- Substancje chemiczne: roztwór amoniaku (lub mocznik), wapień lub wapno gaszone (do oczyszczania), węglan sodu lub wodorowęglan sodu.
- Dodatkowe materiały opałowe: na przykład w celu zrównoważenia utraty wydajności energetycznej w niektórych przypadkach, lub też na potrzeby wprowadzenia węglowodorów do gazów odlotowych w przypadku zastosowania procesu 3R.
- Tlen: tlen jest dostarczany ciężarówkami w przypadku małego zapotrzebowania (małe piece). W takim przypadku tlen jest droższy w porównaniu z wytwarzaniem dużych ilości tlenu na terenie zakładu poprzez proces destylacji kriogenicznej lub z zastosowaniem sita molekularnego (PSA lub VSA/VPSA). Niektóre przedsiębiorstwa działające w ramach przemysłu szklarskiego mogą pobierać ciekły tlen bezpośrednio z rurociągów zlokalizowanych w pobliżu ich zakładów. Ceny tlenu wahają się od 0,05 EUR do 0,15 EUR za Nm³ (tlen czysty), w zależności od poziomu zużycia (wymagana ilość tlenu), warunków umowy, odległości od zakładu produkcji tlenu oraz lokalnych cen energii elektrycznej.
- Pozwolenia dotyczące emisji CO₂: dodatkowe zużycie energii pochodzącej z paliw kopalnych związane z działaniem systemów kontroli zanieczyszczania powietrza (np. procesem 3R) lub zmiany w zapotrzebowaniu na energię pochodzącą z paliw kopalnych w związku z różnymi rodzajami pieców (opalanych tlenem lub opalanych powietrzem) spowoduje zmiany w ilości emisji CO₂ oraz konieczność uzyskania nowych pozwoleń dotyczących emisji CO₂ (w niniejszym badaniu przyjmuje się, że koszt zezwolenia na emisję 1 tony CO₂ wynosi 20 EUR).
- Unieszkodliwianie pyłu z filtrów: przedsiębiorstwa działające w ramach przemysłu szklarskiego dążą do ponownego wykorzystywania pyłu pochodzącego z filtrów jako surowca w zestawie. W przypadku jednak niedozwolonej akumulacji siarki lub chlorku w systemie, lub też problemów przy przenoszeniu sypkiego pyłu do pieca, część (a czasami całość) pyłu z filtra musi zostać unieszkodliwiona poza zakładem. Koszty takiego unieszkodliwienia oraz koszty transportu mogą sięgać do 400 EUR za tonę pyłu.
- Konserwacja urządzeń i działania wykonywane przez siłę roboczą.
- Regularna kalibracja urządzeń do monitorowania gazów spalinowych.
- Woda stosowana do czyszczenia, scrubbingu półsuchego, scrubbingu mokrego lub na potrzeby przygotowania roztworów amoniaku.
- Naprawy
- Wymiana modułów katalizatora lub modułów filtrów workowych o typowym okresie użytkowania 5 lat.

W celu obliczenia kosztów materiałów eksploatacyjnych i energii zastosowano następujące szczegółowe poziomy cenowe:

- energia elektryczna: 0,091 EUR za kWh (włącznie z podatkami obowiązującymi na poziomie państw UE-27 za rok 2007), oszacowane na podstawie cen energii elektrycznej obowiązujących dużych odbiorców przemysłowych (EuroStat: ceny energii elektrycznej obowiązujące dużych odbiorców przemysłowych oraz ceny gazu ziemnego obowiązujące dużych standardowych odbiorców przemysłowych)
 - gaz ziemny/olej opałowy: 10,43 EUR/GJ (w oparciu o wartość opałową, włącznie z podatkami) lub 9,41 EUR/GJ brutto
 - cena tlenu: 0,06 EUR za m³ dla dużych odbiorców oraz 0,10 EUR za m³ dla małych odbiorców
 - moduły katalizatora dla systemów SCR: 12 000 EUR za m³
 - woda: 2 EUR za m³

- amoniak (NH₃): 400 EUR za tonęwapno gaszone: 175 EUR za tonę (wysokiej jakości)węglan sodu: 160 EUR za tonędwuwęglan sodu: 210 EUR za tonępozwolenie na emisję CO₂: 20 EUR za tonę CO₂siła robocza:40 000 EUR za osobo-rok (1 680 godzin)przetwarzanie odpadów (jeśli wymagane): 400 EUR za tonę odpadów (odpady chemiczne)
(*)Powyższe koszty podano/oszacowano dla przeciętnych warunków w państwach z grupy UE-27 w roku 2007.

8.1.2 Porównanie kosztów różnych technologii

W kilku przypadkach koszty związane z ograniczaniem emisji poszczególnych substancji zanieczyszczających nie mogą być oszacowane bezpośrednio na podstawie kosztów inwestycyjnych związanych z urządzeniami stosowanymi w ramach technologii „końca rury” (takich jak scrubbery, filtry czy SCR) oraz powiązanych kosztów ich działania. Zwłaszcza w przypadku zastosowania środków zasadniczych należy ustalić różnicę w kosztach produkcji przy zastosowaniu procesu tradycyjnego oraz przy zastosowaniu procesu nowego o niższym poziomie emisji, a także należy oszacować różnicę pomiędzy wartością emisji wytworzonych w obydwu przypadkach (przed i po wdrożeniu najlepszych dostępnych technik), w celu otrzymania poszczególnych kosztów redukcji zanieczyszczeń (koszt na kg usuniętych czynników zanieczyszczających).

Poniższy przykład dotyczy zastosowania opalania pieców szklarskich tlenem. Całkowite koszty topienia, obliczone w ciągu typowego okresu użytkowania pieca, obejmują koszty pieca oraz sprzętu pomocniczego, koszty energii i tlenu oraz straty w produkcji podczas napraw lub przeglądów. Całkowite koszty podzielone przez całkowitą produkcją w tym okresie stanowią równowartość kosztów topienia. Opalanie tlenem uznaje się za środek zasadniczy (zapobiegający powstawaniu NO_x) oraz stosuje się go w Europie oraz w Stanach Zjednoczonych głównie w celu zmniejszenia emisji NO_x. Modyfikacja pieca w celu przejścia z opalania powietrzno-paliwowego (metoda tradycyjna) na opalanie tlenem skutkuje innym kosztem topienia na tonę szkła, co następnie przekłada się na redukcję emisji NO_x wyrażoną w EUR na tonę zredukowanego NO_x.

W przypadku topienia elektrycznego, które stanowi rozwiązanie alternatywne dla obniżania emisji za pomocą środków zasadniczych, wynik w odniesieniu do redukcji emisji stanowi różnica pomiędzy kosztami topienia obliczonymi na podstawie odpowiednio długiego okresu (np. 10 lub 15 lat) przy zastosowaniu pieca elektrycznego a kosztami topienia przy zastosowaniu opalania mieszkanką powietrzno-gazową, powietrzno-paliwową lub opalania olejem opałowym. Wyłącznie w przypadkach, w których głównym celem zastosowania techniki nie jest redukcja emisji, różnice w kosztach nie są przypisywane do usuniętych czynników zanieczyszczających.

8.1.3 Dane dotyczące kosztów kontroli zanieczyszczenia powietrzaW niniejszym badaniu koszty inwestycyjne i koszty eksploatacyjne obliczono lub oszacowano na podstawie danych pochodzących z istniejących zakładów działających przed 2007 rokiem, lub też na podstawie aktualnych szacunków od dostawców systemów kontroli zanieczyszczenia powietrza dla przemysłu szklarskiego. Koszty te oparto na wartościach z 2007 roku.

W kilku istotnych przypadkach – pieców do szkła opakowaniowego, pieców do szkła płaskiego, pieców do szkła stołowego, pieców do włókna szklanego ciągłego – koszty różnych rodzajów urządzeń do kontroli zanieczyszczenia powietrza są związane z wydajnością pieca (dopasowaną tak, by możliwe było unieszkodliwianie emitowanych gazów spalinowych) oraz rodzajami czynników zanieczyszczających, jakie należy usunąć.

W przypadku pieca do szkła opakowaniowego produkującego 300 ton masy szklanej dziennie (średnio), wyposażonego w scrubber suchy i filtr workowy, całkowite roczne koszty ustala się z uwzględnieniem odsetek, amortyzacji inwestycji oraz kosztów eksploatacyjnych. Takie koszty można podzielić przez całkowitą ilość rocznej produkcji wytopionego szkła w celu oceny kosztów kontroli

* Koszty unieszkodliwiania w dużej mierze zależą od kraju i mogą sięgać aż 400-600 EUR za tonę odpadów. Szczegółowe koszty mogą, naturalnie, zmieniać się z czasem – niektóre poziomy cen są bardzo zmienne, na przykład koszty materiałów opałowych. Na różnych obszarach Europy można zaobserwować różne koszty energii elektrycznej, siły roboczej, unieszkodliwiania odpadów lub wody.

zanieczyszczenia powietrza na jedną tonę masy szklanej. Koszty takie można również podzielić przez całkowitą ilość zmniejszonych emisji danego czynnika zanieczyszczającego, które otrzymano w skali roku na skutek zastosowania urządzeń do kontroli zanieczyszczenia powietrza.

W związku z powyższym koszty kontroli zanieczyszczenia powietrza przedstawione w rozdziale 4 i części 8.1.7 można wyrazić zgodnie z poniższym opisem.

- koszt na tonę masy szklanej (średni),
- koszt na kg zmniejszonych emisji danego czynnika zanieczyszczającego, którego to redukcję uzyskano dzięki zastosowaniu najlepszych dostępnych praktyk. Czasami jeden zintegrowany system kontroli zanieczyszczenia powietrza prowadzi do zmniejszenia emisji kilku czynników zanieczyszczających. Przykładowo zastosowanie scrubbera i filtra obniży emisje SO_x oraz emisje pyłu. W tym przypadku podział kosztów w odniesieniu do obniżenia emisji różnych czynników zanieczyszczających jest wyraźnie określony, ponieważ redukcji emisji SO_x o 1 kg nie można uznać za równorzędne redukcji emisji pyłu o 1 kg (zob. część 8.1.4),
- całkowite roczne koszty kapitału i eksploatacji,
- roczne koszty kontroli zanieczyszczenia powietrza w porównaniu z obrotem pochodzącym z produkcji szkła,
- roczne koszty kontroli zanieczyszczenia powietrza w porównaniu z wartością rynkową wyprodukowanego szkła,
- roczne koszty kontroli zanieczyszczenia powietrza w porównaniu z całkowitymi kosztami produkcji (topienie, formowanie, energia, surowce, koszty zatrudnienia personelu w całym zakładzie produkcyjnym, podatki)

W niniejszym badaniu obliczono całkowite roczne koszty kontroli zanieczyszczenia powietrza, koszty na jedną tonę masy szklanej (koszty szczegółowe) oraz na 1 kg redukcji emisji, a wyniki przedstawiono w rozdziale 4 i w części 8.1.7 dla istniejących instalacji oraz dla instalacji niedawno zakończonych lub zaplanowanych (2007-2008).

8.1.4 Podział kosztów kontroli zanieczyszczenia powietrza w systemach łączonych, z uwzględnieniem więcej niż jednego czynnika zanieczyszczającego

W ramach metody zaprezentowanej w NER (holenderskie regulacje dotyczące emisji) przedstawiono kryteria obliczania szczegółowych kosztów zastosowania kontroli zanieczyszczenia powietrza dla sytuacji, w których dochodzi do obniżenia emisji wielu czynników zanieczyszczających obecnych z gazach spalinowych. Koszty na jednostkę (tonę) obniżonych emisji oblicza się dla każdego składnika poprzez zastosowanie współczynników ważenia. Współczynniki ważenia są zasadniczo oparte na dopuszczalnych wielkościach emisji z ogólnych regulacji NER (NER Nederlandse Emissie Richtlijn Lucht, InfoMil wrzesień 2004. ISBN 90-7-76323-01-1) [155, NER kwiecień 2003].

Oznacza to, że obniżenie emisji składnika przy dopuszczalnej wielkości emisji $X \text{ mg/Nm}^3$ jest Y/X razy bardziej istotne niż dla innego czynnika zanieczyszczającego o dopuszczalnej wielkości emisji na poziomie $Y \text{ mg/Nm}^3$.

Współczynnik ważenia dla pyłu wynosi 10, podczas gdy współczynnik dla SO_x wynosi 0,5, ponieważ dopuszczalna wielkość emisji pyłu wyrażona w mg/Nm^3 jest 20 razy niższa niż taka wielkość dla SO_x , zgodnie z ogólnymi zasadami holenderskich regulacji NER.

Przykład:

W niniejszym badaniu zastosowano metodę opisaną w regulacji NER, na podstawie współczynnika ważenia dla pyłu (W_d) wynoszącego 10, a w przypadku SO_x (W_s) wynoszącego 0,5.

Szczegółowe koszty redukcji emisji SO_x oblicza się na podstawie całkowitych rocznych kosztów (Q) w EUR (koszty inwestycyjne i eksploatacyjne) dla systemu składającego się ze scrubbera i filtra, zastosowanego w celu obniżenia emisji z pieca szklarskiego, kg obniżonych emisji cząstek stałych na rok (R_d) oraz obniżenia emisji SO_x w kg na rok (R_s).

Szczegółowe koszty redukcji emisji SO_x , w EUR na kg zmniejszonych emisji $SO_x = Q * W_s / (W_s * R_s + W_d * R_d)$

Szczegółowe koszty redukcji emisji pyłu, w EUR na kg zmniejszonych emisji pyłu = $Q \times Wd / (Ws \times Rs + Wd \times Rd)$

Współczynniki ważenia podane w NER są następujące:

- SO_x (wyrażone jako SO_2): 0,5,
- Cząstki stałe: 10,
- NO_x (wyrażone jako NO_2): 0,5.

8.1.5 Efekty wzajemnych powiązań pomiędzy różnymi komponentami środowiska (ang. cross-media effects)

Zużycie energii elektrycznej związane z produkcją tlenu lub takich substancji chemicznych jak węglan sodu, wapno gaszone, wodorowęglan sodu lub inne materiały reaktywne, na przykład amoniak, skutkuje emisjami pośrednimi. Ponadto w przypadku dodatkowego zużycia paliw kopalnych z powodu zastosowania systemów kontroli zanieczyszczania powietrza (np. 3R) również wytwarza się dodatkowe emisje (głównie CO_2).

W tabeli 8.1 przedstawiono typowe emisje wyrażone na 1 kWh energii elektrycznej, z elektrowni w UE na kWh, zestawione na podstawie dokumentu referencyjnego dotyczącego najlepszych dostępnych technik związanych z efektywnością energetyczną (ENE), z czerwca 2008 roku, oraz na podstawie danych dotyczących wytwarzania energii elektrycznej w Europie (UE-27) i emisji z elektrowni z 2005 roku (dane z Europejskiej Agencji Środowiska).

Tabela 8.1 pokazuje emisje pośrednie związane z wytwarzaniem energii elektrycznej, materiałów reaktywnych i substancji chemicznych stosowanych na potrzeby funkcjonowania systemów kontroli zanieczyszczenia powietrza. (Zob. również dokument referencyjny dotyczący ekonomiki i wzajemnych powiązań pomiędzy różnymi komponentami środowiska (ECM) z lipca 2006 roku oraz dokument referencyjny dotyczący najlepszych dostępnych technik związanych z efektywnością energetyczną (ENE) z czerwca 2008 roku) [124, EC 2008] [156, EC 2006]

Tabela 8.1: Emisje pośrednie związane z zużyciem substancji chemicznych i energii elektrycznej

Związek chemiczny / nośnik energii		NO_x	SO_x	CO_2	NH_3
	Jednostka	gram	gram	kg	gram
amoniak	tona	1 000	dn	1 150	1 000
wapno gaszone	tona	150	dn	800	dn
węglan sodu	tona	529	dn	661	551
wodorowęglan sodu	tona	330	dn	438	350
energia elektryczna	kWh	1,715	6,24	0,683	dn
tlen	tona	453	1 650	180	dn

dn = dane niedostępne
 Emisje wyrażono na 1 tonę i 1 kWh.
 Uwzględniono wyłącznie emisje pochodzące z produkcji, z wyłączeniem emisji związanych z transportem.
 Źródła:

- dane dotyczące energii elektrycznej: Europejska Agencja Środowiska (dane z 2003 roku)
- dane dotyczące amoniaku: dokument referencyjny IPPC dotyczący najlepszych dostępnych technik dotyczących wielkotonażowej produkcji związków nieorganicznych – amoniaku, kwasów i nawozów, sierpień 2007
- dane dotyczące węglanu sodu i wodorowęglanu sodu: dokument referencyjny IPPC dotyczący najlepszych dostępnych technik dotyczących wielkotonażowej produkcji związków nieorganicznych – stałych i innych, sierpień 2007
- dane dotyczące wapna gaszonego: szacunki na podstawie kalcynowania wapienia – CO_2 z wapienia plus zużycie energii pochodzącej z paliw kopalnych na potrzeby pieców do kalcynowania (informacje od jednego z producentów wapna gaszonego z Europy)

8.1.6 Przykładowe obliczenie kosztów

Tabela 8.2 zawiera przykładowe koszty obliczone za pomocą opisanej powyżej metodologii, dotyczące systemu kontroli zanieczyszczenia powietrza składającego się z filtra elektrostatycznego ze scrubberem z $\text{Ca}(\text{OH})_2$, zastosowanego w piecu do szkła płaskiego opalanym gazem, o wydajności 700 ton dziennie.

Tabela 8.2: Przykładowe wyliczenia kosztów (ESP plus oczyszczanie za pomocą $\text{Ca}(\text{OH})_2$) dla opalanego gazem pieca do szkła płaskiego, o wydajności 700 ton dziennie

Informacje ogólne				
Piec	poprzeczno płomienny	regeneracyjny		
Typ szkła	szkło płaskie			
Masa szklana	700	ton/dzień		
Przepływ gazów spalinowych, gazy suche	88 000	$\text{Nm}^3/\text{h}/\text{gaz}$ suchy	8% O_2	
Przepływ gazów spalinowych	98 000	$\text{Nm}^3/\text{h}/\text{gaz}$ mokry	8% O_2	
Materiał opałowy	gaz			
System obniżania temperatury	350-400	$^{\circ}\text{C}$		
Koszty inwestycyjne (wartość za rok 2007)				
Koszty inżynierskie	180 000	EUR		
Koszty rozruchu i szkolenia	31 000	EUR	2 osoby/miesiąc	
System schładzania wody	75 000	EUR		
Inwestycje związane z orurowaniem filtra (ESP) i izolacją	2 180 000	EUR		
Inwestycje związane z wentylatorem	400 000	EUR		
Inwestycje związane ze scrubberem	250 000	EUR		
Inwestycje związane z dozownikiem wapienia/ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ /sody		EUR	uwzględnione w koszcie scrubbera	
Inwestycje związane z urządzeniami do usuwania pyłu z filtra	120 000	EUR		
Inwestycje związane z monitorowaniem pyłu z filtra i SO_x	65 000	EUR		
Inwestycje związane ze zmianami w kominach i podłączeniami	515 200	EUR		
Koszty transportu, części urządzeń	125 000	EUR		
Koszty wycofania z eksploatacji (wartość dotycząca roku 2007)	145 800	EUR	6% inwestycji związanych z filtrem + scrubberem	
Koszty inwestycyjne ogółem	4 087 000	EUR		
Dostawy energii elektrycznej w związku z inwestycją	340 000	EUR		
Fundamenty i budynki, przygotowanie terenu	272 500	EUR		
Urządzenia kontrolne		EUR	Koszt uwzględniony w ramach innych pozycji	
Całość robót w zakresie fundamentów/inżynierii lądowej	612 500	EUR		
Koszty inwestycji ogółem	4 699 500	EUR		
Stopa oprocentowania	6	%		
Okres użytkowania instalacji	10	lat		
Koszty inwestycyjne rocznie	603 206	EUR		
Koszty eksploatacyjne				
Materiał absorpcyjny (wapno gaszone)	117 815	EUR/rok	3,31	tony/tonę usuniętego SO_2 (wydajność na poziomie 35%)
Energia elektryczna	239 148	EUR/rok	10,29	kWh/tonę szkła (wentylatory, ESP, urządzenia kontrolne)
Sprężone powietrze (6 bar)	55 448	EUR/rok	400	Nm^3/h powietrza sprężonego, przy ciśnieniu 6 bar
Koszty pracy	30 000	EUR/rok	0,75	osoba/rok
Kalibracja i konserwacja systemu monitorowania	10 000	EUR/rok		

Wymiana tkaniny filtracyjnej	0	EUR/rok		
Unieszkodliwianie odpadów	389 779	EUR/rok	974,45	tony/rok
Woda	67 452	EUR/rok	7,7	m ³ /h
Całkowite koszty eksploatacyjne rocznie	909 641	EUR		
Całkowite koszty rocznie	1 512 848	EUR		
			Koszty szczegółowe	
Całkowita liczba ton wytopionego szkła	255 500	ton wytopionego szkła/rok	5,92	EUR/tonę wytopionego szkła/rok
Całkowity liczba ton szkła netto	229 950	tony szkła netto/rok	6,58	EUR/tonę produktu szklanego
Współczynnik ważenia dla SO ₂	0,5			
Współczynnik ważenia dla pyłu	10			
Początkowa zawartość SO _x	800	mg/Nm ³		
Zawartość SO _x po APC	536	mg/Nm ³		
Początkowa zawartość pyłu	140	mg/Nm ³		
Zawartość pyłu po APC	5	mg/Nm ³		
Objętość przepływu gazów spalinowych przez filtr	88 000	Nm ³ /h, gazy suche, 8% O ₂		
Poziom redukcji SO _x (jako SO ₂)	203,5	ton/rok	0,66	EUR/kg SO₂
Poziom redukcji pyłu	104,1	ton/rok	13,24	EUR/kg pyłu
Emisje związane z zużyciem energii elektrycznej (emisje pośrednie w elektrowni)				
NO _x			5,2	ton/rok
SO _x			19,0	ton/rok
CO ₂			2082	ton/rok
Emisje związane z zastosowaniem Ca(OH)₂				
NO _x			0,1	ton/rok
CO ₂			539	ton/rok
Źródło: [94, Beerkens - APC Evaluation 2008]				

8.1.7 Dane dotyczące kosztów systemów kontroli zanieczyszczenia powietrza stosowanych w odniesieniu do pieców szklarskich

W niniejszej części przedstawiono podsumowanie szacunkowych kosztów związanych z wdrożeniem różnych systemów kontroli zanieczyszczenia powietrza w odniesieniu do pieców szklarskich.

Tabela 8.3 przedstawia szacunkowe koszty dotyczące zastosowania filtra elektrostatycznego w połączeniu z etapem scrubbingu suchego, w odniesieniu do różnych pieców szklarskich. Dane przedstawione w tabeli dotyczą zarówno systemów kontroli zanieczyszczenia powietrza stosowanych przed 2007 rokiem, jak i systemów wdrożonych w 2007 i 2008 roku. Tabela pokazuje całkowite koszty inwestycji (druga kolumna), koszty inwestycji w skali rocznej (amortyzacja i oprocentowanie), koszty eksploatacyjne oraz koszty szczegółowe dotyczące różnych pieców w trzech sektorach przemysłu szklarskiego, przy założeniu recyklingu pyłu z filtra lub bez takiego recyklingu. W tabeli przedstawiono również koszty na kg SO₂ oraz na kg pyłu usuniętego z gazów spalinowych. Koszty takie zależą od wielu czynników oraz, w przypadku takiego samego rodzaju szkła i takiej samej liczby ton szkła wytopionego, koszty scrubbingu i filtrowania mogą się różnić z powodu różnych objętości gazów spalinowych, dodatku wapna gaszonego i sprzętu o wydajności większej niż konieczna (aby system kontroli oczyszczania powietrza mógł funkcjonować również w przypadku najwyższych poziomów produkcji).

Przyjmuje się, że część kosztu całkowitego związana jest z usuwaniem pyłu, zaś pozostała część z redukcją emisji SO_x.

W tabeli 8.4 przedstawiono zestawienie szacunkowych kosztów dotyczących zastosowania systemu kontroli oczyszczania powietrza za pomocą filtra workowego z zastosowaniem etapu scrubbingu (suchego i półsuchego) dla różnych sektorów przemysłu szklarskiego i dla pieców o różnej wydajności.

Tabela 8.5 prezentuje przegląd różnych dostępnych metod stosowanych do usuwania SO_x, HF, HCl lub związków boru oraz związku selenu z gazów spalinowych pochodzących z pieców szklarskich. Tabela ta zawiera podsumowanie wydajności, zalet, wad, warunków granicznych i kosztów związanych z różnymi technikami odsiarczania (DeSO_x). Dane dotyczące kosztów podano na 1 tonę szkła wytapianego oraz odnoszą się one do zastosowań w piecach do szkła płaskiego lub szkła opakowaniowego. Przedstawiono dwa różne warianty, przy założeniu całkowitego recyklingu pyłu z filtra w ramach zestawu oraz przy założeniu unieszkodliwienia takiego pyłu na składowisku poza zakładem. Różnice pomiędzy tymi wartościami wynikają z typowych kosztów unieszkodliwienia pyłu z filtra. Koszty unieszkodliwienia oraz koszty transportu mogą sięgać do 400 EUR na tonę pyłu. Koszty wskazane w tabeli 8.5 dotyczą przeciętnych warunków w państwach UE-27 (rok 2007). Należy pamiętać, że koszty takie różnią się w zależności od państwa członkowskiego, a ponadto zmieniają się w czasie (np. znaczącym zmianom podlega cena energii).

Podsumowanie szczegółowych kosztów dotyczących różnych systemów kontroli oczyszczania powietrza dla łączonej redukcji emisji pyłu i SO_x przedstawiono w tabeli 8.6.

Tabela 8.3: Szacunkowe koszty systemów kontroli zanieczyszczania powietrza z zastosowaniem filtrów elektrostatycznych oraz scrubbingu na sucho, stosowane w odniesieniu do gazów spalinowych pochodzących z pieców szklarskich

Metody i zastosowania APC ⁽¹⁾ ⁽²⁾	Całkowite koszty inwestycji w EUR	Inwestycja/rok w EUR	Koszty eksploatacyjne w EUR/rok	Koszty szczegółowe: EUR/tonę masy szklanej	Δ pyłu w tonach/rok	Δ SO _x w tonach/rok	Koszty szczegółowe: EUR/kg SO ₂	Koszty szczegółowe: EUR/kg pyłu
ESP plus scrubber suchy z Ca(OH)₂								
Piece do szkła płaskiego - 500 TPD z recyklingiem pyłu z filtra	3 904 240	500 000	376 000	4,8	-78	-153	0,51	10,2
Piece do szkła płaskiego – 700 TPD z recyklingiem pyłu z filtra	4 700 000	603 200	488 000	4,27	-104	-203	0,48	9,55
Piece do szkła płaskiego - 900 TPD z recyklingiem pyłu z filtra	5 460 000	700 700	575 000	3,88	-130	-254	0,45	8,93
Piece do szkła płaskiego - 500 TPD z unieszkodliwieniem całego pyłu z filtra	3 904240	500000	688000	6,51	-78	-153	0,69	13,87
Piece do szkła płaskiego - 700 TPD z unieszkodliwieniem całego pyłu z filtra	4 700 000	603 200	896 000	5,87	-104	-203	0,66	13,12
Piece do szkła płaskiego - 900 TPD z unieszkodliwieniem całego pyłu z filtra	5 460 000	700 700	1 080 000	5,44	-130	-254	0,63	12,5
Piece do szkła płaskiego - 700 TPD z unieszkodliwieniem całego pyłu z filtra i 1,5 więcej materiału absorbującego	4 700 000	603 200	1 146 000	6,81	-104	-308	0,73	14,56
Piec do szkła opakowaniowego - 300 TPD z recyklingiem pyłu z filtra (opalanym olejem opałowym)	2 380 000	310 000	185 000	4,52	-25,6	-86,7	0,84	16,5
Piec do szkła opakowaniowego - 450 TPD z recyklingiem pyłu z filtra (opalanym gazem)	3 170 000	415 000	237 000	3,96	-38	-59	0,8	15,43
Piec do szkła opakowaniowego - 600 TPD z recyklingiem pyłu z filtra (opalanym olejem opałowym)	3 400 000	443 250	341 000	3,58	-60	-170	0,58	11,4
Piec do szkła opakowaniowego - 133 TPD z recyklingiem pyłu z filtra (opalanym olejem opałowym), zainstalowany w 2007 r.	3 065 000	404 000	166 000	11,74	-25	-77	0,99	19,9
Piec do szkła opakowaniowego - 435 TPD z recyklingiem pyłu z filtra (opalanym gazem), zainstalowany w 2007 r.	3 850 000	506 000	317 000	5,2	-71	-98	0,54	10,75
Piec do szkła opakowaniowego - 740 TPD z recyklingiem pyłu z filtra (opalanym gazem), zainstalowany w 2007 r.	4 850 000	632 600	440 000	3,96	-98	-135	0,51	10,24
Piec do szkła opakowaniowego - 1275 TPD z recyklingiem pyłu z filtra (opalanym gazem),	7 000 000	933 500	655 000	3,41	-178	-245	0,41	8,28

zainstalowany w 2007 r.								
Piec do szkła opakowaniowego - 200 TPD z unieszkodliwieniem całości pyłu z filtra	2 200 000	288 000	201 000	6,7	-18,7	-40	1,19	23,8
Piec do szkła opakowaniowego - 300 TPD z unieszkodliwieniem całości pyłu z filtra (opalanym olejem opałowym)	2 380 000	311 400	379 000	6,31	-30,8	-86,7	0,98	19,63
Piec do szkła opakowaniowego - 450 TPD z unieszkodliwieniem całości pyłu z filtra	3 170 000	415 000	370 000	4,77	-38	-59	0,95	19,1
Piec do szkła opakowaniowego - 600 TPD z unieszkodliwieniem całości pyłu z filtra (opalanym olejem opałowym)	3 400 000	443 250	673 000	5,1	-60	-170	0,81	16,24
Piec do szkła opakowaniowego - 560 TPD z unieszkodliwieniem całości pyłu z filtra (opalanym gazem), zainstalowany w latach 2007-2008	4 650 000	605 500	580 000	5,8	-59	-103	0,93	18,3
Piec do szkła opakowaniowego - 560 TPD z unieszkodliwieniem całości pyłu z filtra (opalanym olejem opałowym), zainstalowany w latach 2007-2008	4 650 000	605 500	897 000	7,36	-67	-233	0,95	19,1
Piec do szkła opakowaniowego - 133 TPD z unieszkodliwieniem całości pyłu z filtra (opalanym olejem opałowym), zainstalowany w latach 2007-2008	3 065 000	403 000	322 000	14,96	-27	-76	1,16	23,3
Piec do szkła opakowaniowego - 435 TPD z unieszkodliwieniem całości pyłu z filtra (opalanym gazem), zainstalowany w latach 2007-2008	3 850 000	505 000	534 500	6,55	-71	-98	0,68	13,7
Piec do szkła opakowaniowego - 740 TPD z unieszkodliwieniem całości pyłu z filtra (opalanym gazem), zainstalowany w latach 2007-2008	4 850 000	632 600	743 000	5,1	-98	-135	0,66	13,2
Piec do szkła opakowaniowego - 1275 TPD z unieszkodliwieniem całości pyłu z filtra (opalanym gazem), zainstalowany w latach 2007-2008	7 000 000	933 500	1 194 000	4,57	-178	-245	0,56	11,2
Piec do szkła stołowego - 35 TPD z unieszkodliwieniem całości pyłu z filtra	1 190 000	156 500	57 000	16,7	-4,63	-4,8	2,2	43,9
Piec do szkła stołowego - 35 TPD z recyklingiem całości pyłu z filtra	1 119 000	156 000	43 500	15,65	-4,63	-4,8	2,05	41,1
Piec do szkła stołowego - 180 TPD z unieszkodliwieniem całości pyłu z filtra	1 960 000	256 000	247 000	7,66	-22,7	-56,2	0,99	19,73
ESP plus scrubber suchy z NaHCO₃								
Piec do szkła płaskiego - 700 TPD z unieszkodliwieniem całości pyłu z filtra (opalanym olejem opałowym)	4 719 500	605 920	1 370 000	7,75	-104	-414	0,79	15,9

gazem)								
Piec do szkła płaskiego - 700 TPD z recyklingiem całości pyłu z filtra (opalan gazem)	4 719 500	605 920	515 000	4,39	-104	-414	0,49	9,81
Piec do szkła opakowaniowego - 300 TPD z unieszkodliwieniem całości pyłu z filtra, absorpcja SO ₂ na poziomie 67% (opalan olejem opałowym)	2 400 000	312 800	600 000	8,33	-30,8	-232	1,07	21,5
Piec do szkła opakowaniowego - 300 TPD z unieszkodliwieniem całości pyłu z filtra, absorpcja SO ₂ na poziomie 50% (opalan olejem opałowym)	2 400 000	312 800	491 000	7,38	-30,8	-173	1,02	20,36
⁽¹⁾ TPD = ton dziennie ⁽²⁾ Dane dotyczące emisji zastosowane na potrzeby wyliczenia są następujące: • pył: typowe wartości pomiędzy 10-20 mg/Nm ³ , przy zoptymalizowanych wartościach pomiędzy 5-10 mg/Nm ³ • SO ₂ : typowa wydajność usuwania przy zastosowaniu Ca(OH) ₂ pomiędzy 25 a 33%. <i>Źródło: [94, Beerkens - APC Evaluation 2008]</i>								

Tabela 8.4: Szacunkowe koszty systemów kontroli zanieczyszczania powietrza z zastosowaniem filtrów workowych oraz scrubbingu, stosowane w odniesieniu do gazów spalinowych pochodzących z pieców szklarskich

Metody i zastosowania APC ⁽¹⁾ ⁽²⁾ ⁽³⁾	Inwestycja w EUR	Inwestycja/rok w EUR	Eksploatacja w EUR/rok ⁽¹⁾	Koszty szczegółowe: EUR/tonę masy szklanej	Δ pyłu tony/rok	Δ SO _x ton/rok	Koszty szczegółowe: EUR/kg SO ₂	Koszty szczegółowe: EUR/kg pyłu
Filtr workowy plus scrubber suchy								
Piec do szkła płaskiego - 500 TPD z unieszkodliwieniem całości pyłu z filtra	2 670 000	344 300	930 000	6,98	-80	-159	0,72	14,42
Piec do szkła opakowaniowego - 200 TPD z recyklingiem pyłu z filtra	1 211 000	158 600	168 000	4,63	-17,2	-19,9	0,9	17,93
Piec do szkła opakowaniowego - 300 TPD z recyklingiem pyłu z filtra	1 435 500	188 400	234 000	3,86	-20,3	-26,5	0,98	19,57
Piec do szkła opakowaniowego - 450 TPD z recyklingiem pyłu z filtra	1 588 300	208 000	268 000	2,9	-35,3	-43,4	0,64	12,72
Piec do szkła opakowaniowego - 600 TPD z recyklingiem pyłu z filtra	1 895 000	249 000	344 000	2,7	-43,3	-53,3	0,64	12,9
Piec do szkła opakowaniowego - 210 TPD z recyklingiem pyłu z filtra (opalan gazem), zainstalowany w 2007 r.	1 960 000	260 300	191 000	5,89	-25	-29	0,85	17

Piec do szkła opakowaniowego - 210 TPD z recyklingiem pyłu z filtra (opalanym olejem opałowym), zainstalowany w 2007 r.	1 960 000	260 300	227 400	6,36	-28	-87	0,76	15,11
Piec do szkła opakowaniowego - 270 TPD z recyklingiem pyłu z filtra (opalanym olejem opałowym), zainstalowany w 2008 r.	3 036 000	406 500	365 000	7,83	-47	-146	0,71	14,21
Piec do szkła opakowaniowego - 290 TPD z recyklingiem pyłu z filtra (opalanym gazem), zainstalowany w 2005 r.	1 860 000	247 000	235 000	4,55	-28,5	-33	0,8	16
Piec do szkła opakowaniowego - 200 TPD z unieszkodliwieniem całości pyłu z filtra	1 211 000	158 600	220 000	5,2	-16	-19,1	1	20,04
Piec do szkła opakowaniowego - 300 TPD z unieszkodliwieniem całości pyłu z filtra	1 435 500	188 400	298 000	4,44	-20,5	-23,6	1,04	20,78
Piec do szkła opakowaniowego - 450 TPD z unieszkodliwieniem całości pyłu z filtra	1 588 900	208 000	380 000	3,6	-35	-41	0,79	15,74
Piec do szkła opakowaniowego - 600 TPD z unieszkodliwieniem całości pyłu z filtra	1 895 000	249 000	488 000	3,37	-45,5	-52,6	0,77	15,3
Piec do szkła opakowaniowego - 210 TPD z unieszkodliwieniem całości pyłu z filtra, zainstalowany w 2007 r.	1 960 000	260 300	271 000	6,93	-25	-29	1	20,1
Piec do szkła opakowaniowego - 290 TPD z unieszkodliwieniem całości pyłu z filtra, zainstalowany w 2005 r. (opalanym gazem)	1 860 000	247 000	326 000	5,41	-28,5	-33	0,95	19
Piec do szkła opakowaniowego - 290 TPD z unieszkodliwieniem całości pyłu z filtra (opalanym olejem opałowym), zainstalowany w 2005 r.	1 860 000	247 000	526 000	7,3	-32	-99	1,16	23,14
Piec do szkła stołowego - 30 TPD z recyklingiem pyłu z filtra	771 000	99 600	64 500	12,85	-5,32	-3,25	1,49	30
Piec do szkła stołowego - 30 TPD z unieszkodliwieniem całości pyłu z filtra	771 000	99 600	77 200	13,84	-5,32	-3,25	1,61	32,2
Metody i zastosowania APC ⁽¹⁾ ⁽²⁾ ⁽³⁾	Inwestycja w EUR	Inwestycja/rok w EUR	Eksploatacja w EUR/rok(1)	Koszty szczegółowe: EUR/tonę masy szklanej	Δ pyłu ton/rok	Δ SO _x ton/rok	Koszty szczegółowe: EUR/kg SO ₂	Koszty szczegółowe: EUR/kg pyłu
Piec do szkła stołowego - 180 TPD z recyklingiem pyłu z filtra	900 000	115 000	174 000	4,36	-8	-4,3	1,77	35,5

Piec do szkła stołowego - 200 TPD z recyklingiem pyłu z filtra	905 200	120 000	155 000	3,76	-11,4	-6,1	1,17	23,5
Piec do szkła stołowego ze szkłem borokrzemianowym przy zastosowaniu metody podgrzewania elektrycznego – 150 TDP	1 150 000	154 000	141 000	5,4	-68			
Piece do szkła e-glass, opalane tlenem – 100 TPD, z unieszkodliwianiem całości pyłu z filtra (szacunki)	1 224 000	160 000	281 000	11	-34	-39	0,61	12,3
Filtr workowy plus scrubber półsuchy								
Piec do szkła płaskiego - 500 TPD bez unieszkodliwiania pyłu z filtra, emisje wylotowe: 400 mg SO _x /Nm ³ (opalany gazem)	4 500 000	586 000	700 420	7,05	-68,3	-285	0,78	15,58
Piec do szkła płaskiego - 500 TPD bez unieszkodliwiania pyłu z filtra, emisje wylotowe: 750 mg SO _x /Nm ³ (opalany olejem opałowym)	4 500 000	586 000	756 860	7,36	-82,6	-655	0,58	11,65
Piec do szkła płaskiego - 900 TPD bez unieszkodliwiania pyłu z filtra (opalany gazem)	7 345 000	963 270	947 000	5,82	-122	-508	0,65	12,96
Piec do szkła płaskiego - 500 TPD z unieszkodliwianiem całości pyłu z filtra (opalany gazem)	4 500 000	586 000	1 165 000	9,59	-69,4	-290	1,04	20,88
Piec do szkła płaskiego - 500 TPD z unieszkodliwianiem całości pyłu z filtra (opalany olejem opałowym)	4 500 000	586 000	1 793 000	13,03	-83,8	-665	1,02	20,3
Piec do szkła płaskiego - 900 TPD z unieszkodliwianiem całości pyłu z filtra (opalany gazem)	7 345 000	963 270	1 774 000	8,33	-121	-508	0,93	18,58
Piec do szkła opakowaniowego - 350 TPD bez unieszkodliwiania pyłu z filtra (opalany gazem)	2 304 500	300 400	377 000	5,3	-23,2	-100,7	1,2	24,02
Piec do szkła opakowaniowego - 350 TPD z unieszkodliwianiem całości pyłu z filtra (opalany gazem)	2 304 500	300 400	535 000	6,54	-23,2	-100,7	1,48	29,62

(¹) Przyjmuje się, że koszty unieszkodliwienia pyłu z filtra wynoszą 400 EUR/tona.

(2)(²) TPD = ton dziennie

(3)(³) Dane dotyczące emisji zastosowane na potrzeby wyliczenia są następujące:

- pył: typowe wartości pomiędzy 10 a 20 mg/Nm³ dla ESP, przy zoptymalizowanych wartościach pomiędzy 5 a 10 mg/Nm³
- SO₂: typowa wydajność usuwania przy zastosowaniu Ca(OH)₂ pomiędzy 25 a 33%. Źródło: [94, Beerkens - APC Evaluation 2008]

Tabela 8.5: Porównanie metod usuwania SO_x, HCl, HF oraz innych gazowych czynników zanieczyszczających z gazów spalinowych pochodzących z pieców szklarskich

System scrubbingu									
Typ scrubbera	Suchy					Półsuchy			Mokry
Czynnik absorbujący	Ca(OH) ₂	NaHCO ₃	Trona niekalcynowana Na ₃ H(CO ₃) ₂ ·2H ₂ O	Ca(OH) ₂	NaHCO ₃	Ca(OH) ₂ zawiesina	Na ₂ CO ₃ roztwór	Na ₂ CO ₃ roztwór	Ca(OH) ₂ zawiesina
Typ filtra	Filtr workowy	Filtr workowy	ESP (l)	ESP (l)	ESP (l)	Filtr workowy	Filtr workowy	ESP (l)	
Zastosowanie w przemyśle szklarskim	częste	bardzo rzadkie	bardzo rzadkie	bardzo częste	średnie	rzadkie	rzadkie	rzadkie	rzadkie
Typowy zakres temperatury (°C)	140-180	140-180	300-350	300-400	250-350	160-180	180-200	250-400	60
Wydażność usuwania SO ₂ w % przy dozowaniu stechiometrycznym n=1	10 do 25	75	75-90	30-40	>60	dane niedostępne	70-90		>90
Skład pyłu z filtra (2)	CaSO ₃ , CaSO ₄ , CaF ₂ , CaCl ₂ , CaCO ₃ , Ca(OH) ₂ , Na ₂ SO ₄	Na ₂ SO ₄ NaCl	Na ₂ SO ₄ NaCl	CaSO ₄ , CaSO ₃ , CaF ₂ , Ca(OH) ₂	Na ₂ SO ₄ NaCl	CaSO ₄ , CaSO ₃ , CaF ₂ , Ca(OH) ₂	Na ₂ SO ₄ , Na ₂ SO ₃ , Na ₂ CO ₃ , NaCl	Na ₂ SO ₄ , Na ₂ SO ₃ , Na ₂ CO ₃ , NaCl	CaSO ₄ , CaSO ₃ , CaF ₂
Zalety	Prosty proces, wyłącznie chłodzenie gazów spalinowych; filtr workowy zapewnia usuwanie pyłu i reakcję	Prosty proces, wyłącznie chłodzenie gazów spalinowych; filtr workowy zapewnia usuwanie pyłu i reakcję	Prosty proces, wyłącznie chłodzenie gazów spalinowych; filtr workowy zapewnia usuwanie pyłu i reakcję		Wysoka absorpcja HCl i SO _x	Niskie zużycie środka absorbującego, niski koszt substancji chemicznych, niskie koszty inwestycji w porównaniu ze scrubberami mokrymi		Dobra wydajność procesu absorpcji; przy użyciu suchej, sypkiej (zmielonej) sody w proszku; możliwe również osiągnięcie dobrej wydajności	Niskie zużycie środka absorbującego, niski koszt substancji chemicznych

Wady	Wysokie zużycie materiałów reaktywnych tam, gdzie wymagany jest proces usuwania zanieczyszczeń o wysokiej wydajności; generuje duże ilości pyłu w filtrze	Drogie materiały reaktywne	Materiał reaktywny jest trudno dostępny w Europie	Wysokie zużycie materiałów reaktywnych tam, gdzie wymagany jest proces usuwania zanieczyszczeń o wysokiej wydajności; generuje duże ilości pyłu w filtrze	Drogie materiały reaktywne	Suszarka rozpyłowa jest kosztowna; drogie materiały do filtrów workowych; większe nakłady w porównaniu ze scrubberem suchym	Suszarka rozpyłowa jest kosztowna; drogie materiały do filtrów workowych; większe nakłady w porównaniu ze scrubberem suchym	Ten system wymaga więcej prac konserwacyjnych niż scrubbery suche.	Ponowne podgrzewanie gazów spalinowych przed wprowadzeniem ich do kominia; produkcja ścieków i mieszanki gipsowej, zatykanie urządzeń; duże nakłady
System scrubbingu									
Typ scrubbera	Suchy					Półsuchy			Mokry
Czynnik absorbujący	Ca(OH) ₂	NaHCO ₃	Trona niekalcynowana a Na ₃ H(CO ₃) ₂ ·2H ₂ O	Ca(OH) ₂	NaHCO ₃	Ca(OH) ₂ zawiesina	Na ₂ CO ₃ roztwór	Na ₂ CO ₃ roztwór	Ca(OH) ₂ zawiesina
Typ filtra	Filtr workowy	Filtr workowy	ESP⁽¹⁾	ESP⁽¹⁾	ESP⁽¹⁾	Filtr workowy	Filtr workowy	ESP⁽¹⁾	
Ważne parametry	Wydajność poprawia się przy temperaturach bliskich temperatury punktu rosy; dozowanie, granulometria i określanie powierzchni właściwej Ca(OH) ₂	Dozowanie i granulometria wodorowęglanu sodu	Dozowanie i granulometria trony <30 mikronów; preferuje się mieszanie z gazami spalinowymi	preferuje się wysokie temperatury (>350°C); granulometria i określanie powierzchni właściwej Ca(OH) ₂	Dozowanie granulometria węglanu sodu; mieszanie z gazami spalinowymi	Dozowanie wapienia	Dozowanie węglanu sodu	Dozowanie węglanu sodu	Kontakt między temperaturami płynów i gazów; zasadowość zawiesiny
Koszty na tonę szkła wytopionego, przy recyklingu pyłu z filtra (EUR/tona)	2,5 - 3	3,5	3,5	3	4	nieznane	5 - 6	6 - 8 (szacowane)	10 - 16

Koszty na tonę szkła wytopionego, bez recyklingu pyłu z filtra (EUR/tona)	3 - 4	4,5	4,5	3,5	5	nieznane	7 - 10	8 - 11	12 - 20
Możliwe połączenie z DeNO_x	Zastosowanie SCR nie jest możliwe bez ponownego podgrzewania gazów.	Zastosowanie SCR nie jest możliwe bez ponownego podgrzewania gazów.	Temperatura po stronie odpowietrznej ESP powinna wynosić >330°C	Temperatura po stronie odpowietrznej ESP powinna wynosić >330°C	Temperatura po stronie odpowietrznej ESP powinna wynosić >330°C	Zastosowanie SCR nie jest możliwe bez ponownego podgrzewania gazów.	Zastosowanie SCR nie jest możliwe bez ponownego podgrzewania gazów.	Połączenie z SCR możliwe, wyłącznie jeśli ESP działa przy temperaturze powyżej 350-360°C	Zastosowanie SCR nie jest możliwe bez ponownego podgrzewania gazów, od 60 do 350°C.
⁽¹⁾ filtr elektrostatyczny ⁽²⁾ Zależy od rodzaju szkła; przy produkcji flintu może wytwarzać się CaSeO ₃ , CaSeO ₄ , Na ₂ SeO ₃ and Na ₂ SeO ₄ . Źródło: [94, Beerkens - APC Evaluation 2008]									

Tabela 8.6: Przegląd szczegółowych kosztów związanych z różnymi technikami kontroli zanieczyszczenia powietrza (APC) stosowanymi w piecach szklarskich w celu ograniczania emisji pyłu i SO_x

Ograniczanie pyłu + SO _x										
Rodzaj szkła	Produkcja	ESP + scrubber suchy (CaOH) ₂ z recyklingiem pyłu z filtra	ESP + scrubber suchy (CaOH) ₂ z unieszkodliwianiem pyłu z filtra	ESP + scrubber suchy (NaHCO ₃) z recyklingiem pyłu z filtra	ESP + scrubber suchy (NaHCO ₃) z unieszkodliwianiem pyłu z filtra	Filtr workowy + scrubber suchy z recyklingiem pyłu z filtra	Filtr workowy + scrubber suchy z unieszkodliwianiem pyłu z filtra	Filtr workowy + scrubber półsuchy z recyklingiem pyłu z filtra	Filtr workowy + scrubber półsuchy z unieszkodliwianiem pyłu z filtra	Scrubber mokry
	tona wytopionego szkła/dzień	EUR/t szkła	EUR/t szkła	EUR/t szkła	EUR/t szkła	EUR/t szkła	EUR/t szkła	EUR/t szkła	EUR/t szkła	EUR/t szkła
Szkło płaskie	500	4,8	6,51			6		7-7,35	9,6 (gaz)-13 (olej)	
Szkło płaskie	700	4,27	5,87	4,39	7,75		6,98			
Szkło płaskie	900	3,88	5,44					5,82	8,33	
Szkło opakowaniowe	100-150	11	14							
Szkło opakowaniowe	200					4,63-5,9	4,8-7			
Szkło opakowaniowe (piec opalany olejem opałowym)	200					6,4	9,25			
Szkło opakowaniowe (piec opalany olejem opałowym)	300-350	4,52-6	6,31-7,5		7,38-8,33	3,86-5	4,11-7,3	5,3	6,54	
Szkło opakowaniowe	450	3,96-5,2	4,77-6,5			2,9	3,6			
Szkło opakowaniowe (piec opalany olejem opałowym)	600	3,58	5,1			2,7	3,37			
Szkło opakowaniowe (piec opalany	740	4	5,1							

gazem)									
Szkło opakowaniowe (piec opalany gazem)	1 240	3,4	4,6						
Szkło opakowaniowe (piec opalany olejem opałowym)	1 240	3,7	6,2						
Szkło stołowe	30-35	15,65	16,7			12,85	13,84		
Szkło stołowe	180-200		7,66			3,75-4,35			
Szkło E-glass, piec opalany tlenem	100-120						11		14,4 -21,5(*)
Szkło E-glass, piec opalany powietrzem	100-120								15,7 -20,5(*)
(*) Wyższa wartość przy unieszkodliwianiu pyłu z filtra, na poziomie 400 EUR za tonę pyłu. Źródło: [94, Beerkens - APC Evaluation 2008]									

Porównanie danych dotyczących kosztów związanych z dostępnymi technikami ograniczania emisji NO_x przedstawiono w poniższych tabelach, w których podano kilka przykładów instalacji do szkła płaskiego, szkła opakowaniowego i szkła gospodarczego, z czego wszystkie spośród nich wytwarzają szkło sodowo-wapniowe. Podano także szacunkowe dane dotyczące pieca do włókna szklanego ciągłego oraz instalacji do specjalnego szkła.

W tabeli 8.7 przedstawiono przykłady kosztów (inwestycyjnych i eksploatacyjnych) wraz z szacunkowymi kwotami bezpośrednich (wewnętrznych) i pośrednich (zewnętrznych) emisji związanych z zastosowaniem różnych środków zasadniczych mających na celu ograniczenie emisji NO_x. Ocenie poddano w szczególności przykłady podane poniżej.

- Zastosowanie środków podstawowych mających na celu redukcję NO_x, polegających na zastosowaniu dostosowalnych palników, o niskiej prędkości wprowadzania, lub też podziału dyszy od materiału opałowego na osobne dysze, umożliwiające ustawienie palników pod różnym kątem, hermetyczne zamknięcie pomiędzy palnikiem a blokadą palnika, a także kontroli zawartości tlenu w gazach wylotowych w celu zapobiegania niepotrzebnym nadwyżkom powietrza. Dane dotyczące kosztów odnoszą się do zastosowania środków mających na celu redukcję NO_x, bez wprowadzania żadnych zmian w projekcie pieca.
- Zastosowanie ponadpodstawowych środków mających na celu redukcję NO_x, polegających na wprowadzeniu dostosowalnych palników oraz adaptacji projektu pieca, zwłaszcza zwiększeniu wysokości komory spalania, powiększeniu otworów płomieniowych, zmianie nachylenia otworów płomieniowych oraz pozycji palników.
- Zastosowanie techniki topienia przy opalaniu mieszanką tlenowo-paliwową. Szacunkowe dane dotyczące kosztów podano w ramach porównania tradycyjnych pieców regeneracyjnych (do szkła płaskiego i szkła opakowaniowego) lub pieców rekuperacyjnych (do szkła stołowego, włókna ciągłego szklanego oraz szkła specjalnego). Porównanie kosztów topienia zależy w dużej mierze od cen tlenu, na które wpływ ma wiele czynników, między innymi dostęp do rurociągu z tlenem, zapotrzebowanie na tlen (ceny tlenu rosną, gdy spada na niego zapotrzebowanie), lokalne ceny energii elektrycznej oraz umowa zawarta pomiędzy dostawcą tlenu a przedsiębiorstwem szklarskim. Dane dotyczące kosztów mają charakter orientacyjny i ma na nie wpływ wiele (lokalnych) warunków w przypadku porównania pieców opalanych mieszanką tlenowo-paliwową i pieców opalanych mieszanką powietrzno-paliwową.

Podsumowanie szacunkowych kosztów (koszty inwestycyjne i eksploatacyjne) związanych z zastosowaniem dodatkowych środków ograniczania emisji NO_x przedstawiono w tabeli 8.8. Dane dotyczące kosztów dotyczące zastosowania technik SCR, SNCR i 3R podano dla różnych sektorów szklarskich i możliwości pieców.

Tabela 8.7: Szacunkowe przykładowe koszty i powiązane bezpośrednie i pośrednie emisje związane z zastosowaniem zasadniczych środków ograniczania emisji NO_x

Zasadnicze środki ograniczania emisji NO _x	Koszty ⁽¹⁾						Emisje wewnętrzne	Emisje zewnętrzne (pośrednie)	
	Inwestycja	Inwestycja	Eksploatacja	Koszty szczegółowe	Δ NO _x	Koszt szczegółowy	Δ CO ₂	Δ NO _x	Δ CO ₂
Techniki/zastosowania APC	EUR	EUR/rok	EUR/rok	EUR/tona szkła wytopionego	ton/rok	EUR/kg NO _x	ton/rok	ton/rok	ton/rok
Podstawowe środki ograniczania emisji NO_x									
Szkło płaskie - 500 TPD, piec opalany gazem, do 1050 mg/Nm ³ NO _x	660 000	89 600	64 000	0,84	-337	0,45			
Szkło płaskie - 500 TPD, piec opalany olejem opałowym, do 900 mg/Nm ³ NO _x	1 010 000	137 000	79 000	1,14	-337	0,64			
Szkło płaskie - 900 TPD, piec opalany gazem, do 1050 mg/Nm ³ NO _x	810 000	110 100	81 000	0,58	-555	0,35			
Szkło opakowaniowe - 200 TPD, piec opalany gazem, opalanie końcowym otworem	230 000	31 250	24 000	0,59	-60,3	1,07			
Szkło opakowaniowe - 300 TPD, piec opalany gazem, opalanie końcowym otworem	285 000	38 700	26 000	0,59	-60,3	1,07			
Szkło opakowaniowe - 450 TPD, piec opalany gazem, do 1050-1100 mg/Nm ³ NO _x , opalanie końcowym otworem	330 000	44 850	31 500	0,47	-90,5	0,84			
Szkło opakowaniowe - 450 TPD, piec opalany gazem, opalanie poprzecznopłomienne	700 000	95 000	72 500	1,02	-130	1,3			
Szkło stołowe - 186 TPD, plus podstawowe środki	123 000	16 712	30 711	0,7	-82,3	0,58			
Ponadpodstawowe środki ograniczania emisji NO_x									
Szkło płaskie - 700 TPD	2 660 000	361 000	64 000	2,33	-551	0,77			
Szkło płaskie - 900 TPD, piec opalany gazem, do 900 mg/Nm ³ NO _x	3 810 000	517 660	81 000	1,82	-906	0,66			
Szkło opakowaniowe - 200 TPD, do 750 mg/Nm ³ NO _x	700 000	95108	24 000	1,63	-82	1,45			
Szkło opakowaniowe - 300 TPD	885 000	120240	26 000	1,34	-112	1,31			
Szkło opakowaniowe - 450 TPD	1 080 000	147000	31 500	1,09	-168	1,06			
Szkło stołowe - 150 TPD, w tym dodatkowa energia elektryczna na potrzeby podgrzewania elektrycznego	1 000 000	135 900	163 500	8	-711	0,42			

Dodatkowe koszty/oszczędności z tytułu opalania mieszanką tlenowo-paliwową w porównaniu z piecami regeneracyjnymi⁽²⁾										
Szkło płaskie - 500 TPD, sklepienie z krzemionki	-7 500 000	-1 290 000	2 540 000	6,83	-410	3,03	-6 683	48	16 900	
Szkło płaskie - 500 TPD, sklepienie pieca szybowego ogniotrwała	-3 250 000	-714 000	2 785 000	11,35	-410	5,04	-6 683	48	16 900	
Zasadnicze środki ograniczania emisji NO_x	Koszty⁽¹⁾							Emisje wewnętrzne	Emisje zewnętrzne (pośrednie)	
	Koszty inwestycji	Koszty inwestycyjne	Eksploatacja	Koszty szczegółowe	Δ NO_x	Koszt szczegółowy	Δ CO₂	Δ NO_x	Δ CO₂	
Techniki/zastosowania APC	EUR	EUR/rok	EUR/rok	EUR/tona szkła wytopionego	ton/rok	EUR/kg NO_x	ton/rok	ton/rok	ton/rok	
Szkło opakowaniowe - 150 TPD, 0,06 EUR/Nm ³ O ₂ , sklepienie z wysokosprawnej krzemionki	-2 051 100	-276 633	444 700	3,07	-49,3	3,41	-1 227	7,6	3 027	
Szkło opakowaniowe - 225 TPD, 0,06 EUR/Nm ³ O ₂ , sklepienie z wysokosprawnej krzemionki	-2 740 000	-369 000	637 990	3,27	-73,9	3,64	-1 942	11,1	4 444	
Szkło opakowaniowe - 450 TPD, 0,06 EUR/Nm ³ O ₂ , sklepienie z wysokosprawnej krzemionki	-4 743 000	-639 400	149 0000	5,18	-147	5,76	-2 097	21	8 380	
Dodatkowe koszty/oszczędności z tytułu opalania mieszanką tlenowo-paliwową w porównaniu z piecami rekuperacyjnymi⁽²⁾										
Szkło stołowe - 30 TPD, 0,06 EUR /Nm ³ O ₂	500 000	56 406	-245 400	-17,26	-19,2	-9,86	-2 600	1,8	716	
Szkło stołowe - 30 TPD, 0,08 EUR /Nm ³ O ₂	500 000	56 406	-175 000	-10,79	-19,2	-6,16	-2 600	1,8	716	
Szkło stołowe - 30 TPD, 0,10 EUR /Nm ³ O ₂	500 000	56 406	-103 660	-4,32	-19,2	-2,47	-2 600	1,8	716	
Szkło stołowe - 30 TPD, 0,12 EUR /Nm ³ O ₂	500 000	56 406	-32 754	2,16	-19,2	1,23	-2 600	1,8	716	

Szkło stołowe - 30 TPD, 0,14 EUR /Nm ³ O ₂	500 000	56 406	38 152	8,63	-19,2	4,93	-2 600	1,8	716
Szkło stołowe - 70 TPD, 0,10 EUR /Nm ³ O ₂	-2 254 000	-265 972	582 590	12,76	-40	7,97	-2 449	5,2	2 064
Piec do szkła E-glass- 100 - 120 TPD, 0,08 EUR /Nm ³ O ₂	1 500 000	117 340	-248 400	6,19	-80,3	3,1	-5 387	8,86	3 530

⁽¹⁾ O ile nie wskazano inaczej, osiągalne poziomy emisji zastosowane na potrzeby wyliczenia danych dotyczących kosztów są następujące:

- 1100-1400 mg/Nm³ NO_x dla zasadniczych środków ograniczania emisji NO_x (środki podstawowe, brak zmian w projekcie); 900-110 mg/Nm³ NO_x dla zasadniczych środków ograniczania emisji NO_x obejmujących zmiany w projekcie pieców do szkła płaskiego oraz 750 mg/Nm³ NO_x w przypadku pieców do produkcji szkła opakowaniowego
- 0,5-0,9 kg/t szkła NO_x w przypadku pieców do produkcji szkła opakowaniowego opalanych mieszkanką tlenowo-paliwową; 1,5-2 kg/t szkła NO_x dla pieców do produkcji szkła płaskiego opalanych tlenem; 1-1,5 kg/t szkła NO_x w przypadku specjalnego szkła bez azotanów.

(2) Różnice w kosztach pieców opalanych mieszkanką tlenowo-paliwową oraz tradycyjnych pieców opalanych mieszkanką powietrzno-paliwową obejmują różnice w ekonomice wynikające z przerw w produkcji z powodu przeglądów lub budowy pieca.

Źródło: [94, Beerkens - APC Evaluation 2008]

Tabela 8.8: Przykładowe szacunkowe koszty dotyczące zastosowania dodatkowych środków mających na celu ograniczenie emisji NO_x

Dodatkowe środki ograniczania emisji NO_x	Inwestycja	Inwestycja	Eksploatacja	Koszty szczegółowe	Δ NO_x	Koszty szczegółowe
Techniki/zastosowania APC	EUR	EUR/rok	EUR/rok	EUR/tona szkła	ton/rok	EUR/kg NO_x
Proces SCR						
Szkło płaskie - 500 TPD	2 065 000	270 000	331 500	3,29	-804	0,75
Szkło płaskie - 650 TPD, piec opalany olejem opałowym	2 303 000	301 400	332 000	2,67	-692	0,91
Szkło płaskie - 650 TPD, piec opalany gazem	2 303 000	301 400	370 000	2,82	-946	0,71
Szkło płaskie - 700 TPD	1 880 000	248 000	283 000	2,07	-708	0,75
Szkło płaskie - 900 TPD	3 112 000	391 000	450 000	2,57	-1 255	0,67
Szkło opakowaniowe - 200 TPD	840 000	110 000	77 500	2,56	-110	1,7
Szkło opakowaniowe - 300 TPD	1 036 000	134 700	98 800	2,13	-159	1,47
Szkło opakowaniowe - 450 TPD	1 270 000	166 300	135 500	1,84	-228	1,32
Piec do produkcji szkła stołowego – 35 TPD (przypadek hipotetyczny)	490 000	64 200	38 500	8,03	-23,6	4,34
Piec do produkcji szkła stołowego - 100 TPD, regeneracyjny: od 1500 do 450 mg/Nm ³ NO _x (przypadek hipotetyczny)	758 000	98 300	80 800	4,9	-130	1,38
proces 3R						
Szkło płaskie - 500 TPD, piec opalany olejem opałowym	307 400	41 800	1 057 000	6,02	-598	1,84
Szkło płaskie - 500 TPD, piec opalany gazem	307 400	41 800	1 085 000	6,17	-769	1,47
Szkło płaskie - 650 TPD, piec opalany olejem opałowym	360 400	49 000	1 224 338	5,37	-726	1,75
Szkło płaskie - 650 TPD, piec opalany gazem	360 400	49 000	1 309 662	5,52	-985	1,38
Szkło opakowaniowe - 200 TPD	185 500	25 200	303 200	4,5	-127	2,6
Szkło opakowaniowe - 300 TPD	238 500	32 400	405 350	4	-169	2,6
Szkło opakowaniowe - 600 TPD	281 000	46 800	779 000	3,73	-330	2,48
Proces SNCR						
Szkło opakowaniowe - 200 TPD, piec rekuperacyjny	684 000	93 000	73 850	2,28	-65	2,56
Szkło opakowaniowe - 350 TPD, piec rekuperacyjny	900 000	122 000	97 000	1,88	-101	2,16
Szkło specjalne (dane szacunkowe) – 5 pieców opalanych tlenem (całkowita wydajność 250 ton/dzień)	785 000	107 000	199 000	3,34	-290	1,06

Włókna e-glass, 100 TPD (przypadek fikcyjny)	615 000	83 500	66 930	4,12	-55,2	2,73
<p>Uwaga: O ile nie wskazano inaczej, osiągalne poziomy emisji zastosowane na potrzeby wyliczenia danych dotyczących kosztów są następujące: 400-500 mg/Nm³ NO_x dla SCR; 450-500 mg/Nm³ NO_x dla SNCR oraz <500 mg/Nm³ NO_x dla 3R</p> <p>Źródło: [94, Beerkens - APC Evaluation 2008]</p>						

W tabeli 8.9 podano podsumowanie dodatkowych kosztów, wyrażonych w EUR na 1 tonę szkła wytopionego, związanych z zastosowaniem techniki DeNO_x poddanej ocenie w ramach badania porównawczego.

Tabela 8.9: Dodatkowe koszty związane z zastosowaniem technik DeNO_x (w EUR/tonę szkła wytopionego)

Rodzaj pieca	Produkcja	SCR	3R	SNCR ⁽¹⁾	Podstawowe środki ograniczania emisji NO _x ⁽²⁾	Ponadpodstawowe środki ograniczania emisji NO _x ⁽³⁾	Opalanie tlenem przy sklepieniu z krzemionki ⁽⁴⁾	Opalanie tlenem przy sklepieniu żeliwnym ⁽⁴⁾
	ton/dzień	EUR/tona wytopionego szkła						
Szkło płaskie	500	3,3	6 - 6,25		0,85 - 1,1		6,83 (0,06)	11,35 (0,06)
Szkło płaskie	700	2,6 - 2,9	5,25 - 5,6			2,33		
Szkło płaskie	900	2,6			0,58	1,82		
Szkło opakowaniowe	150						3,07 (0,06)	5,28 (0,06)
Szkło opakowaniowe	200 - 225	2,56	4,5	2,28	0,76	1,63	3,27 (0,06)	5,39 (0,06)
Szkło opakowaniowe	300	2,13	4	1,88	0,59	1,34		
Szkło opakowaniowe	450	1,84			0,47	1,09	5,18 (0,06)	7,16 (0,06)
Szkło opakowaniowe (piec poprzeczno płomienny)	450		3,73		1,02	1,5 (dane szacunkowe)		
Szkło stołowe (piec rekuperacyjny)	30 - 35	8					-4,32 (0,10)	
Szkło stołowe (piec regeneracyjny)	70						12,76 (0,10)	
Szkło stołowe (piec regeneracyjny)	100	4,9						
Szkło stołowe (piec regeneracyjny)	150					8 (dodatkowe podgrzewanie elektryczne wymagające dużego zużycia energii elektrycznej)		
Szkło stołowe (piec regeneracyjny)	190				0,7			
Szkło specjalne (piec opalany tlenem)	250			3,34				
Szkło specjalne (piec regeneracyjny)	700			2,8				
Szkło typu e-glass	100			4,1			6,20 (0,08)	

(1) SNCR wyłącznie dla pieców rekuperacyjnych i opalanych tlenem oraz w specjalnych przypadkach dla pieców regeneracyjnych.
(2) Podstawowe środki ograniczania emisji NO_x: dostosowywalne palniki, czujniki tlenu, kontrola zużycia mieszanki powietrzno-paliwowej.
(3) Ponadpodstawowe środki ograniczania emisji NO_x: podstawowe środki plus modyfikacje otworów płomieniowych oraz komory spalania.
(4) Koszt tlenu podano w nawiasach (EUR/m³). Źródło: [94, Beerkens - APC Evaluation 2008]

W tabeli 8.10 przedstawiono szacunki dotyczące szczegółowych emisji pośrednich, wyliczone dla różnych technik kontroli zanieczyszczenia powietrza (techniki usuwania pyłu, DeSO_x i DeNO_x), odnoszące się do różnych możliwości produkcyjnych oraz różnych rodzajów szkła. Emisje pośrednie są zazwyczaj związane z zużyciem energii elektrycznej, scrubbingiem, materiałami reaktywnymi (amoniak) i produkcją odpadów stałych. Podane wartości wyrażono w gramach lub kilogramach na tonę szkła wytopionego.

Tabela 8.10: Szacunkowe szczegółowe pośrednie emisje na tonę szkła wytopionego dla pieców do różnych rodzajów szkła oraz różnych technik kontroli zanieczyszczenia powietrza (APC)

Produkcja	System APC	Instalacja i rodzaj materiału opalowego	Ilość NO _x ograniczona na DeNO _x na skutek	pośrednie emisje NO _x ⁽¹⁾	Skutek netto ograniczenia NO _x	Ilość pyłu ograniczona dzięki APC	Ilość SO _x ograniczona dzięki DeSO _x	Pośrednie emisje SO _x ⁽¹⁾	Dodatkowe uwolnienie CO ₂ (bezpośrednie + pośrednie) ⁽²⁾⁽³⁾	Unieszkodliwianie odpadów	Powiązane zużycie materiałów reaktywnych i energii elektrycznej				
											NH ₃	Ca(OH) ₂	NaHCO ₃	Na ₂ CO ₃	Energia elektryczna
ton wytopionego szkła/rok			g/t	g/t	g/t	g/t	g/t	g/t	kg/t	kg/t	kg/t	kg/t	kg/t	kg/t	kWh/t
255 500	ESP + scrubber suchy Ca(OH) ₂	Piec do szkła płaskiego, 700 TPD, opalany gazem	0	21	-21	407	795	74	10	3,82		2,64			11,94
109 500	ESP + scrubber suchy Ca(OH) ₂	Piec do szkła opakowaniowego, 300 TPD, opalany gazem	0	18	-18	237	795	64	8	3,79		2,75			9,95
10 950	ESP + scrubber suchy Ca(OH) ₂	piec do szkła stołowego 30 TDP, opalany gazem	0	38	-38	423	440	137	17	2,89		2,04			22,28
255 500	ESP + scrubber suchy NaHCO ₃	Piec do szkła płaskiego, 700 TPD, opalany gazem	0	27	-27	407	1 620	90	16	6,09			6,33		14,40
182 500	Filtr workowy + scrubber suchy Ca(OH) ₂	Piec do szkła płaskiego, 500 TPD, opalany gazem	0	35	-35	438	871	125	16	4,00		3,05			20,02
109 500	Filtr workowy + scrubber suchy Ca(OH) ₂	Piec do szkła opakowaniowego, 300 TPD, opalany gazem	0	24	-24	192	216	89	10	1,40		1,00			13,68
182 500	Filtr workowy + scrubber półsuchy	Piec do szkła płaskiego, 500 TPD, opalany gazem	0	45	-45	380	1 584	165	22	4,97				3,29	26,52
182 500	Filtr workowy + scrubber półsuchy	Piec do szkła płaskiego, 500 TPD, opalany olejem opalowym o <1% siarki	0	45	-45	459	3 644	164	26	11,01				7,54	26,28
40 150	Scrubber mokry	100-120 TPD, piec do szkła typu E-glass, opalany mieszanką paliwowo-powietrzną	0	42	-42	927	548	152	20	20,55		5-6 wapno niegaszone			24,21
40 150	Scrubber mokry	100-120 TPD, piec do szkła typu E-glass, opalany tlenem	0	36	-36	655	448	127	17	20,55		4-5 wapno niegaszone			20,42

328 500	SCR	Piec do szkła płaskiego, 900 TPD, opalany gazem	3 820	8	3 814			25	4			1,41			3,99
109 500	SCR	Piec do szkła opakowaniowego, 300 TPD, opalany gazem	1 461	7	1 452			23	3			0,57			3,20
10 950	SCR	Piec do szkła stołowego 30 TDP, opalany gazem	2 160	18	2 146			62	8			0,84			8,04
36 500	SCR	Piec do szkła stołowego 100 TDP, opalany gazem	3 562	20	3 534				9			1,40			10,68
237 250	3R	Piec do szkła płaskiego, 650 TPD, opalany gazem	3 987	0	3 987				28						
109 500	3R	Piec do szkła opakowaniowego, 300 TPD, opalany gazem	1 534	0	1 534				18						
116 800	SNCR	Piec do szkła opakowaniowego, 320 TPD, opalany gazem	868	3	865		9		2			0,48			
36 500	SNCR	Piec do szkła typu e-glass, 100 TPD	1 512	6	1 507		20		3			0,84			
328 500	Podstawowe środki ograniczania emisji NO _x	Piec do szkła płaskiego, 900 TPD, opalany gazem	1 689	0	1 689				0						
182 500	Podstawowe środki ograniczania emisji NO _x	Piec do szkła płaskiego, 500 TPD, opalany olejem opalowym	1 847		1 847				0						
109 500	Podstawowe środki ograniczania emisji NO _x	Piec do szkła opakowaniowego, 300 TPD, opalany gazem							0						
255 500	Ponadpodstawowe środki ograniczania emisji NO _x	Piec do szkła płaskiego, 700 TPD, opalany gazem	1 319		1 319										
328 500	Ponadpodstawowe środki ograniczania emisji NO _x	Piec do szkła płaskiego, 900 TPD, opalany olejem opalowym	2 761		2 761				0						
109 500	Ponadpodstawowe środki ograniczania emisji NO _x	Piec do szkła opakowaniowego, 300 TPD, opalany gazem	1 023		1 023				0						
65 700	Ponadpodstawowe środki ograniczania emisji NO _x , plus energia elektryczna	Szkoło stołowe 180 TPD – szkło borowokrzemianowe	10 822		10 822				171						25,01

182 500	Mieszanka tlenowo-paliwowa	Piec do szkła płaskiego, 500 TPD, opalany gazem	2 247	232	2 016		844	56						135,56
82 125	Mieszanka tlenowo-paliwowa	Piec do szkła opakowaniowego, 225 TPD, opalany gazem	901	21	879			30						79,22
10 950	Mieszanka tlenowo-paliwowa	Piec do szkła stołowego 30 TPD, opalany gazem	1 735	164	1 553			-172						95,71
36 500	Mieszanka tlenowo-paliwowa	Piec do szkła E-glass, 1002 TPD, opalany gazem	2 200	244	1 956		885	-51						110,41
14 600	Elektryczny piec do topienia	Piec do kryształu ołowiowego, 40 TPD	2 438	1 295	1 144			-15						747,95
10 950	Elektryczny piec do topienia	Piec do kryształu ołowiowego, 30 TPD	2 466	1 032	1 425			-59						600,00
7 300	Elektryczny piec do topienia	Piec do kryształu ołowiowego, 20 TPD	1 918	1 918	0			168						1 056,16
127 750	Podgrzewacz zestawu	Piec do szkła opakowaniowego, 350 TPD	225	12	214	407	43	-35+5 ⁽³⁾						6,86

(1) Zewnętrzne emisje wynikają z wytwarzania energii elektrycznej (średnia wartość dla UE), produkcji amoniaku, sody i wodorowęglanu sodu, produkcji wapna gaszonego, tlenu.

(2) Dodatkowe uwalnianie CO₂ nie obejmuje ilości z procesu produkcji Ca(OH)₂.

(3) Dodatkowe uwalnianie CO₂ stanowi równowartość -30kg/ton wytopionego szkła. Wartość tę uzyskano przy założeniu 5 kg/t z zużycia energii elektrycznej na potrzeby wentylatora do gazów spalinowych oraz 35 kg/t ograniczenia emisji CO₂ z racji oszczędności materiału opałowego w trakcie procesu topienia dzięki podgrzewaniu zestawu. Źródło: [94, Beerkens - APC Evaluation 2008]

8.2 Załącznik II: Przykładowe bilanse siarki dla przemysłowych pieców szklarskich

W rozdziale 4 i 5 zawarto odniesienia do zastosowania bilansów siarki w celu określenia warunków specyficznych dla instalacji, lub jako podstawy dla porównań pomiędzy różnymi wariantami procesowymi. W niniejszym załączniku przedstawiono dwa przykłady bilansów siarki dla szkła sodowo-wapniowego, wraz z uproszczonym przykładem dotyczącym wełny mineralnej, oraz wyjaśniono kwestie powiązane z tymi przykładami.

Produkcja szkła sodowo-wapniowego

Przykłady wybrane dla szkła sodowo-wapniowego dotyczą jednego pieca do wytopu szkła płaskiego i jednego do wytopu szkła opakowaniowego z funkcją recyklingu całości lub części pyłu z urządzenia filtrującego polegającego na scrubbingu gazem kwaśnym. Podane dane są jedynie przykładami i w szczególności poziomy emisji podane w przykładach nie powinny być traktowane jako wskaźnik najlepszych dostępnych praktyk.

Recykling całości pyłu z filtra zależy od rodzaju szkła, jego stopnia utlenienia, jego zdolności do absorbowania SO_3 oraz ogólnie od warunków działania pieca (zwłaszcza zawartości siarki w materiale opałowym). Najlepszym sposobem na zilustrowanie tych aspektów jest zbadanie całkowitego bilansu siarki, zgodnie z danymi podanymi poniżej. W danym przypadku przepływ może zostać wyrażony w kg/h spójnej jednostki (SO_2 , SO_3 lub S) lub jako $mg/Nm^3 SO_2$, ponieważ dla konkretnego pieca można łatwo uzyskać przelicznik stężenia na przepływ masowy.

W przypadku bilansu siarki dla pieca, materiały wejściowe są następujące:

- siarka obecna w zestawie,
- siarka obecna w stłuczce (własnej + obcej),
- siarka obecna w materiale opałowym,
- siarka obecna w poddanym recyklingowi pyłe z filtra.

Produkty wyjściowe są następujące:

- siarka obecna w masie szkła,
- siarka obecna w gazach spalinowych (SO_2+SO_3),
- siarka obecna w pyłe,
- siarka obecna w pyłe osadzającym się w regeneracjach i przewodach kominowych (szacuje się, że jest to od 1 do 5%).

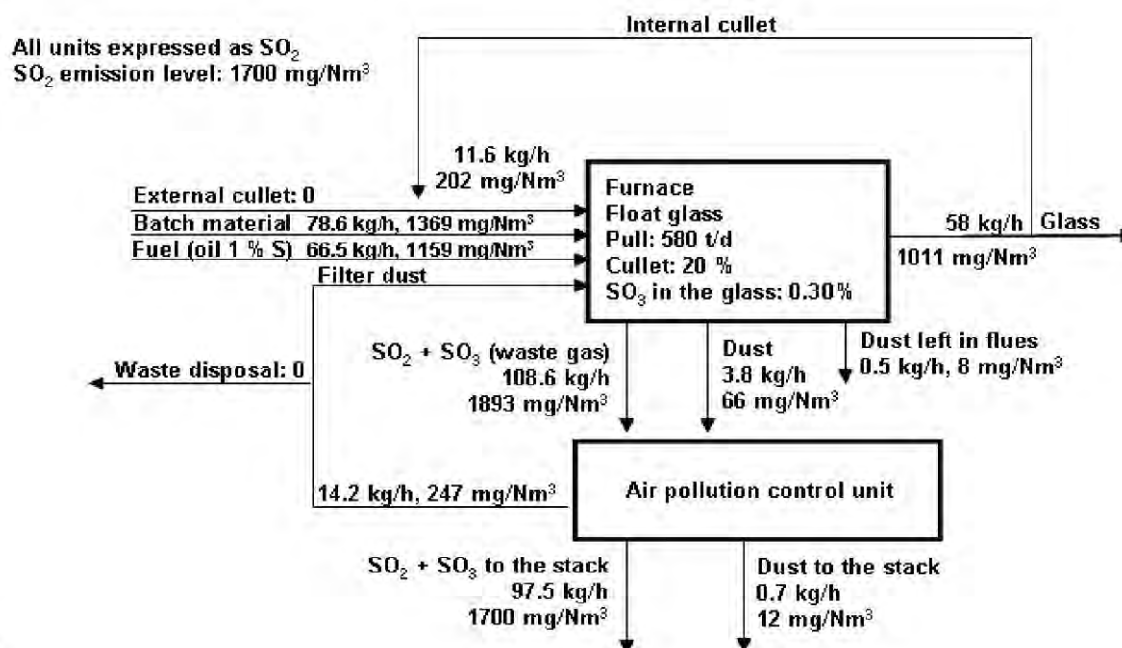
Całkowity bilans siarki musi uwzględniać bilans siarki z urządzeń do kontroli zanieczyszczeń, tj. materiały wyjściowe na wylotach kominów i pył zebrany przez filtry. Jeżeli jednak ilość pyłu zebranego przez filtry nie jest kompatybilna z rodzajem wytapianego szkła, przynajmniej część pyłu musi zostać unieszkodliwiona poza zakładem (zwykle na składowisku). Inną możliwością jest zmniejszenie ilości składowanych odpadów poprzez zredukowanie zawartości siarki w paliwie. To rozwiązanie jest wyraźnie preferowane ze względu na ochronę środowiska oraz korzyści ekonomiczne.

Recykling pyłu z filtra oznacza konieczność zastąpienia siarczanu sodu lub siarczanu wapnia w zestawie. Ilość pyłu, która może zostać poddana recyklingowi zależy od zapotrzebowania na siarczany podczas klarowania szkła oraz od możliwości ich zastąpienia pyłem z filtra. Właściwości pyłów oraz możliwość ich recyklingu będą też zależeć od warunków pracy pieca i rodzaju zastosowanego absorbentu (materiału zastosowanego do scrubbingu).

Zastosowanie stłuczki obcej oraz jej skład będą miały również wpływ na ilości wprowadzanego SO_3 . Jeśli piec jest opalany olejem, ilość wprowadzanego SO_2 może wynosić nawet $1200 mg/Nm^3$ na każdy 1% siarki obecnej w oleju. Ilość siarki, która może zostać zaabsorbowana przez szkło jest różna – może wynosić prawie zero dla niektórych zredukowanych rodzajów szkła, natomiast dla szkieł utlenionych typu „flint” może wynieść $500-700 mg/Nm^3$. Rysunki przedstawione poniżej mają charakter jedynie orientacyjny.

Na rys. 8.1 przedstawiono bilans siarki dla pieca do wytopu szkła płaskiego, w którym cały pył z filtra jest poddawany recyklingowi w ramach zestawu do pieca.

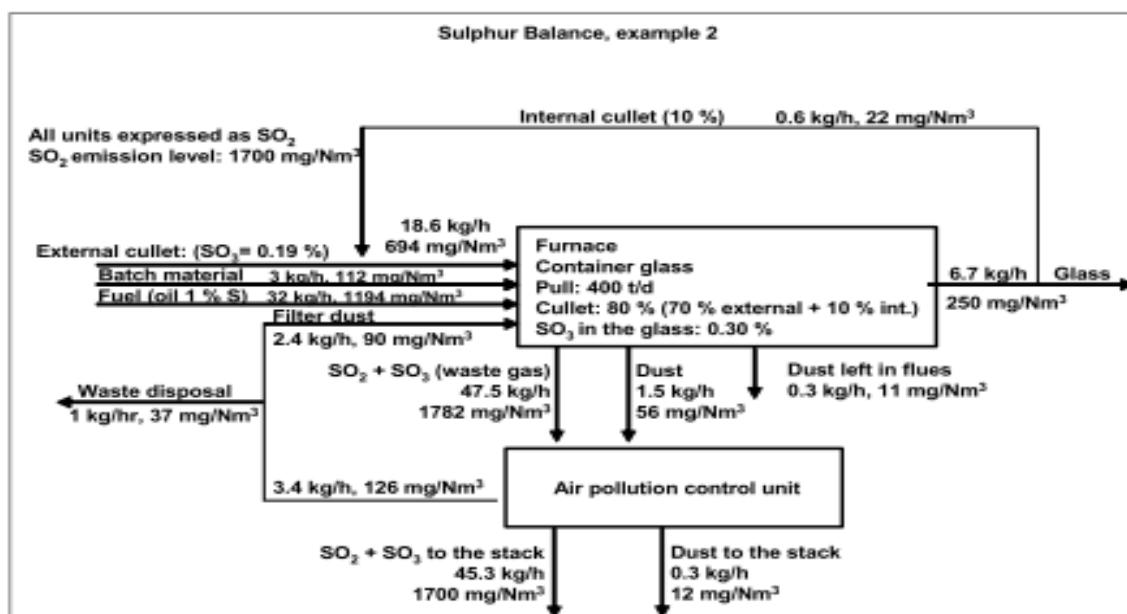
Sulphur Balance, example 1



Sulphur balance, example 1	Bilans siarki, przykład nr 1
All units expressed as SO ₂	Wszystkie emisje wyrażone jako SO ₂
SO ₂ emission level: 1700 mg/Nm ³	poziom emisji SO ₂ : 1 700 mg/Nm ³
Internal cullet	Słuczka własna
11.6 kg/h	11,6 kg/h
External cullet:0	Słuczka obca: 0
Batch material 78.6 kg/h, 1369 mg/Nm ³	Zestaw 78,6 kg/h, 1 369 mg/Nm ³
Fuel (oil 1% S) 66.5 kg/h, 1159 mg/Nm ³	Paliwo (olej 1% S) 66,5 kg/h, 1 159 mg/Nm ³
Filter dust	Pył z filtra
Furnace	Piec
Float glass	Szkoło płaskie
Pull: 580 t/d	Wydajność: 580 t/dzień
Cullet: 20 %	Słuczka: 20%
SO ₃ in the glass: 0.30 %	SO ₃ w szkło: 0,30%
58 kg/h I Glass	58 kg/h Szkoło
1011 mg/Nm ³	1 011 mg/Nm ³
Waste disposal: 0	Unieszkodliwianie odpadów: 0
SO ₂ + SO ₃ (waste gas)	SO ₂ + SO ₃ (gaz odlotowy)
108.6 kg/h	108,6 kg/h
Dust	Pył
3.8 kg/h	3,8 kg/h
Dust left in flues	Pył pozostały w przewodach
0.5 kg/h, 8 mg/Nm ³	0,5 kg/h, 8 mg/Nm ³
14.2 kg/h, 247 mg/Nm ³	14,2 kg/h, 247 mg/Nm ³
Air pollution control unit	Urządzenie do kontroli zanieczyszczenia powietrza
SO ₂ + SO ₃ to the stack	SO ₂ + SO ₃ do komina
97.5 kg/h	97,5 kg/h
Dust to the stack	Pył do komina
0.7 kg/h	0,7 kg/h

Rysunek 8.1: Bilans siarki dla pieca do wytopu szkła płaskiego z recyklingiem całego pyłu z filtra

Na rys. 8.2 przedstawiono bilans siarki dla pieca do wytopu szkła opakowaniowego, w którym jedynie część pyłu z filtra jest poddawana recyklingowi w ramach zestawu.



Sulphur balance, example 2	Bilans siarki, przykład nr 2
All units expressed as SO ₂	Wszystkie emisje wyrażone jako SO ₂
SO ₂ emission level: 1700 mg/Nm ³	poziom emisji SO ₂ : 1 700 mg/Nm ³
Internal cullet (10%) 0.6 kg/h, 22mg/Nm ³	Stłuczka własna (10%) 0,6 kg/h, 22 mg/Nm ³
18.6 kg/h	18,6 kg/h
External cullet: (SO ₃ = 0.19%)	Stłuczka obca: (SO ₃ = 0,19%)
Batch material 3 kg/h, 112 mg/Nm ³	Zestaw 3 kg/h, 112 mg/Nm ³
Fuel (oil 1% S) 32 kg/h, 1194 mg/Nm ³	Paliwo (olej 1% S) 32 kg/h, 1 194 mg/Nm ³
Filter dust	Pył z filtra
Furnace	Piec
Container glass	Szkoło opakowaniowe
Pull: 400 t/d	Wydajność: 400 t/dzień
Cullet: 80% (70% external + 10% int.)	Stłuczka: 80% (70% obca + 10% własna)
SO ₃ in the glass: 0.30%	SO ₃ w szkłe: 0,30%
6.7 kg/h I Glass	6,7 kg/h Szkło
Waste disposal: 0	Unieszkodliwianie odpadów: 0
SO ₂ + SO ₃ (waste gas)	SO ₂ + SO ₃ (gaz odlotowy)
47.5 kg/h	47,5 kg/h
Dust	Pył
1.5 kg/h	1,5 kg/h
Dust left in flues	Pył pozostały w przewodach
0.3 kg/h, 11 mg/Nm ³	0,3 kg/h, 11 mg/Nm ³
3.4 kg/h, 126 mg/Nm ³	3,4 kg/h, 126 mg/Nm ³
Air pollution control unit	Urządzenie do kontroli zanieczyszczenia powietrza
SO ₂ + SO ₃ to the stack	SO ₂ + SO ₃ do komina
45.3 kg/h	45,3 kg/h
Dust to the stack	Pył do komina
0.3 kg/h	0,3 kg/h

Rysunek 8.2: Bilans siarki dla pieca do wytopu szkła opakowaniowego z recyklingiem części pyłu z filtra

Produkcja wełny mineralnej

Produkcja wełny mineralnej często obejmuje recykling pyłu z filtra oraz, w szczególności w przypadku wełny szklanej, zastosowanie zmiennych ilości stłuczki pochodzącej z recyklingu.

Surowce zastosowane w tym procesie są w zasadzie czyste i żaden z nich nie zawiera pokazywanych ilości siarki. Dane dotyczące typowej zawartości siarki przedstawiono w tabeli 8.11.

Tabela 8.11: Surowce i typowa zawartość siarki w procesie produkcji wełny mineralnej

Surowiec	Skład chemiczny	Typowa zawartość siarki (% jako SO ₃)	Maksymalne wartości (dane od dostawców, rok 2007)
Piasek	SiO ₂	<0,01	
Soda amoniakalna	Na ₂ CO ₃	0,015	0,020
Wapień	CaCO ₃	<0,01	
Dolomit	MgCO ₃ .CaCO ₃	0,04	0,05
Kamień	Minerał opartych na glinokrzemianach	<0,01	
Boran	uwodniony	0,01	0,011
Źródło: [136, EURIMA 2008]			

Przykładowy zakład wykorzystany w badaniu bilansu siarki w produkcji wełny mineralnej jest opalany mieszanką tlenowo-gazową.

Gaz ziemny dostarczany do przykładowego zakładu ma bardzo niską zawartość siarki – jest to ilość, którą można uznać za praktycznie nieistotną.

Proces produkcyjny zazwyczaj generuje 3-10% stłuczki własnej, którą bezpośrednio poddaje się recyklingowi w ramach tego samego procesu. Stłuczka obca stosowana w zakładzie pochodzi ze szkła opakowaniowego (butelki i słoiki) lub szkła płaskiego (szyby). Dane dotyczące typowej zawartości siarki w powszechnie stosowanych rodzajach stłuczki przedstawiono w tabeli 8.12.

Tabela 8.12: Typowa zawartość SO₃ w powszechnie stosowanych rodzajach stłuczki

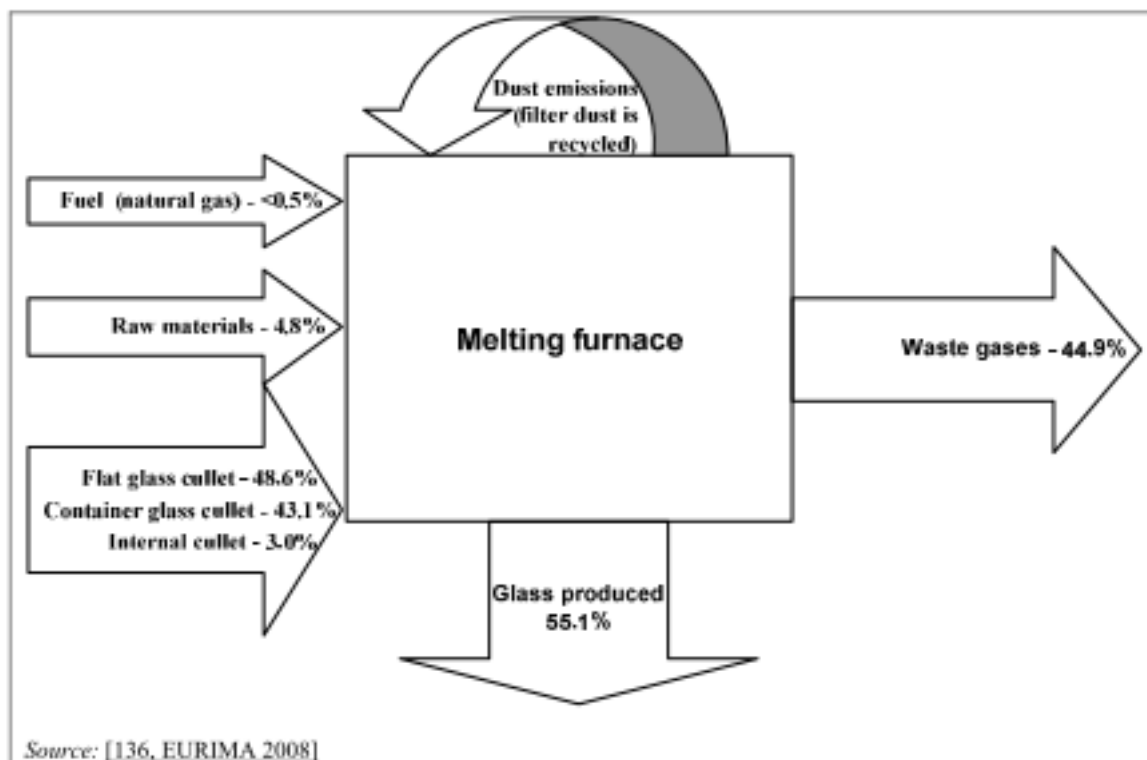
Rodzaj stłuczki		Typowa zawartość SO ₃ (%)
Szkło opakowaniowe	Białe	0,18
	Zielone	0,14
	Brązowe	0,05
Szkło płaskie	Białe	0,22
Stłuczka własna		0,044

Zawartość siarki w wełnie szklanej wyprodukowanej w przykładowym zakładzie wynosi 0,044% SO₃ (w przypadku stłuczki własnej). W przypadku produkcji szkła opakowaniowego, ilość siarki, jaka może zostać zabsorbowana przez szkło, zależy od reakcji redoksu w wytopionym szkłe. Wpływ na taką zawartość siarki ma w szczególności współczynnik jonów Fe²⁺/Fe³⁺ w szkłe.

Pył usunięty z gazów odlotowych ma zmienną zawartość siarki, ale za typową uważa się wartość 7% SO₃.

Bilans siarki, obliczony na podstawie ilości SO₃ wprowadzanego do pieca wraz z surowcami oraz stłuczka szklaną, oraz na podstawie materiału wyjściowego w postaci wełny szklanej, pyłu z filtra i

emisji gazowych SO_x, pokazuje, że za znaczną większość siarki wprowadzanej do procesu topienia odpowiada stłuczka. Względne proporcje siarki wprowadzanej do procesu i siarki w materiałach wyjściowych pokazano na rys. 8.3.



Dust emissions (filter dust is recycled)	Emisje pyłu (recykling pyłu z filtra)
Fuel (natural gas) - <0.5%	Materiał opałowy (gaz ziemny) - <0,5%
Raw materials – 4.8%	Surowce – 4,8%
Melting furnace	Piec do wytopu szkła
Waste gases – 44.9%	Gazy odlotowe – 44,9%
Flat glass cullet – 48.6%	Stłuczka ze szkła płaskiego – 48,6%
Container glass cullet – 43.1%	Stłuczka ze szkła opakowaniowego– 43,1%
Internal cullet – 3.0%	Stłuczka własna – 3,0%
Glass produced 55.1%	Wyprodukowane szkło 55,1%
Source: [136, EURIMA 2008]	Źródło: [136, EURIMA 2008]

Rysunek 8.3: Schemat bilansu siarki dla pieca opalanego mieszkanką tlenowo-paliwową z recyklingiem pyłu z filtra

Typowe wartości dotyczące emisji SO_x mierzonych w zakładzie pokazują stężenia od 69 do 143 mg/Nm³ SO₂. Bilans masy przeprowadzony na podstawie danych z zakładu produkcyjnego przewiduje wartość 77 mg/Nm³.

8.3 Załącznik III: Monitorowanie emisji

Ogólne zalecenia dotyczące pomiaru emisji przedstawiono w „Dokumencie referencyjnym w sprawie ogólnych zasad monitorowania” (MON), lipiec 2003 [T22. EC 2003].

Niniejszy załącznik przedstawia ogólne zalecenia dotyczące pomiarów emisji pochodzących z procesu produkcji szkła, do których należy się stosować w celu uzyskania reprezentatywnych i porównywalnych wyników. Do pomiaru emisji można zastosować wiele metod i procedur zarówno krajowych, jak i międzynarodowych, ale prowadzi to do znacznych różnic w uzyskiwanych

wynikach, spowodowanych niewłaściwym zastosowaniem ogólnych metod pomiarowych w tak szczególnym przypadku, jakim jest proces wytwarzania szkła.

8.3.1 Główne czynniki zanieczyszczające

Głównym źródłem zanieczyszczeń emitowanych przez przemysł szklarski są emisje do powietrza pochodzące z procesu topienia. W niektórych sektorach przemysłu szklarskiego znaczące emisje mogą jednak powodować także działania na dalszych etapach procesu produkcyjnego. W tabeli 8.13 przedstawiono zestawienie głównych czynników zanieczyszczających według sektorów przemysłu szklarskiego.

Tabela 8.13: Główne czynniki zanieczyszczające, jakie należy uwzględnić w pomiarach emisji w przemyśle szklarskim

Sektor/działania	Czynniki zanieczyszczające
Szkło opakowaniowe	
Transport i przeładunek materiałów	Pył, krystaliczna krzemionka
Proces topienia	Pył, CO, NO _x , SO _x , HF, HCl, metale ciężkie
Pokrywanie szklivem na gorąco lub obróbka termiczna	Pył, organiczne i nieorganiczne związki cyny, HCl, SO _x
Szkło płaskie	
Transport i przeładunek materiałów	Pył, krystaliczna krzemionka
Proces topienia	Pył, CO, NO _x , SO _x , HF, HCl, metale ciężkie (dla szkła kolorowego)
Obróbka powierzchni	SO _x
Włókno szklane ciągłe	
Transport i przeładunek materiałów	Pył, krystaliczna krzemionka
Proces topienia	Pył, CO, NO _x , SO _x , HF, HCl, związki boru
Działania na dalszych etapach procesu	Pył, lotne związki organiczne, formaldehyd, amoniak, ścieki
Szkło gospodarcze	
Transport i przeładunek materiałów	Pył, krystaliczna krzemionka, metale ciężkie
Proces topienia	Pył, CO, NO _x , SO _x , HF, HCl, metale ciężkie, związki boru
Działania na dalszych etapach procesu	HF, Pb, ścieki (z polerowania i szlifowania)
Szkło specjalne	
Transport i przeładunek materiałów	Pył, krystaliczna krzemionka, metale ciężkie
Proces topienia	Pył, CO, NO _x , SO _x , HF, HCl, metale ciężkie, związki boru
Działania na dalszych etapach procesu	Pył, Pb, ścieki (z polerowania i szlifowania)
Wetna mineralna	
Transport i przeładunek materiałów	Pył, krystaliczna krzemionka
Proces topienia	Pył, CO, NO _x , SO _x , HF, HCl, związki boru, H ₂ S
Procesy na dalszych etapach procesu produkcyjnego	Pył, lotne związki organiczne, fenole, aminy, amoniak, formaldehyd, NO _x (utwardzanie), ścieki
Wetny do izolacji wysokotemperaturowej	
Transport i przeładunek materiałów	Pył, krystaliczna krzemionka
Proces topienia	Pył, CO, NO _x , SO _x , HF, HCl
Działania na dalszych etapach procesu	Pył, włókna, ścieki
Fryty	
Transport i przeładunek materiałów	Pył, krystaliczna krzemionka, metale ciężkie
Proces topienia	Pył, CO, NO _x , SO _x , HF, HCl, metale ciężkie, związki boru

Działania na dalszych etapach procesu	Pył, ścieki
---------------------------------------	-------------

8.3.2 Monitorowanie emisji

Monitorowanie emisji stosuje się powszechnie do zapewnienia zgodności poziomu emitowanych zanieczyszczeń z wartościami granicznymi określonymi w pozwoleniach. Rodzaj oraz częstotliwość monitorowania powinny zależeć od zakresu danego rodzaju emisji oraz od stosowanej technologii kontroli. Najczęściej stosowanymi metodami monitorowania są:

- monitorowanie działania technik ograniczających emisje (np. spadek ciśnienia na filtrze workowym);
- ciągle monitorowanie czynników zanieczyszczających;
- nieciągły pomiar czynników zanieczyszczających;
- wyliczanie bilansu masowego.

Monitorowanie działania technik ograniczających emisje

Jest to na ogół minimalny wymóg narzucone w kontekście monitorowania emisji. W pewnych przypadkach (np. gdy emisje utrzymywane są na stałym, odpowiednim poziomie) ocena działania zastosowanych technik ograniczania emisji może wystarczać do stwierdzenia zgodności z wymogami ustalonymi w pozwoleniu. W wielu przypadkach korzysta się z automatycznych technik, które mogą wykryć nieprawidłowe działanie czy awarię instalacji ograniczających emisję (np. pomiar spadku ciśnienia, temperatury, pH itp.).

Ciągły lub nieciągły pomiar czynników zanieczyszczających

Monitorowanie emisji wymaga określenia wszystkich istotnych czynników mających wpływ na pomiar różnych czynników zanieczyszczających oraz interpretacji otrzymywanych wyników i sporządzenia sprawozdań przedstawiających takie wyniki. Oprócz substancji normowanych (pyły, NO_x, SO_x, CO, HCl, HF itp.) konieczne jest określenie charakterystycznych dla danego źródła parametrów, np.:

- prędkości i masowego natężenia przepływu gazów spalinowych,
- temperatury,
- wilgotności,
- stężenia tlenu,
- stężenia dwutlenku węgla.

Pomiar emisji może zależeć od wielu istotnych czynników, spośród których niektóre z nich mogą być szczególnie istotne w przypadku procesów topienia szkła. W większości przypadku takie krytyczne parametry są następujące:

- temperatura gazów odlotowych,
- rozkład wielkości cząstek w pyłach,
- prędkość przepływu gazów odlotowych,
- wilgotność gazów odlotowych,
- czynniki zanieczyszczające w formie gazowej lub stałej,
- czas próbkowania,
- warunki odniesienia.

Temperatura gazów odlotowych

Temperatura gazów spalinowych opuszczających piec może się znacznie różnić (zazwyczaj od 100 do 850 °C w kominie) w zależności od zastosowanego systemu odzysku ciepła (rekuperatora, regeneratora lub chłodnic gazowych) oraz stosowanych technik ograniczania emisji. Wyższe temperatury występują zazwyczaj w przypadku pieców z rekuperatorem lub opalanych paliwem o zwiększonej zawartości tlenu w mieszance. Temperatury niższe są charakterystyczne dla rozcieńczonych gazów odlotowych (piece o działaniu nieciągłym, wszelkie topienie elektryczne, niektóre piece wyposażone w urządzenia do ograniczania emisji itp.). Ewentualne błędy pomiarowe dotyczące temperatury gazów odlotowych mogą być zminimalizowane poprzez:

- zastosowanie właściwych filtrów i próbników do pomiaru ilości pyłu (filtry kwarcowe lub filtry z włókna szklanego bez organicznych spoiw, odporne termicznie uszczelki itp.),
- właściwe przygotowanie filtrów przed ich użyciem w wysokiej temperaturze. W celu uniknięcia ubytku masy filtra podczas pomiaru zaleca się wcześniejsze ogrzanie i stabilizację w temperaturze 400-600°C,
- zastosowanie ogrzanych filtrów i próbników w przypadku gazów odlotowych o niskiej temperaturze, szczególnie w przypadku wysokiej wilgotności, w celu uniknięcia kondensacji pary wodnej czy kwasu.

Rozkład wielkości cząstek w pyłach

Średnica cząstek stałych w pyłach powstałych podczas procesu topienia jest zazwyczaj bardzo mała (mniejsza niż 1 μm, przeciętnie 0,02-0,5 μm). Podczas pobierania próbek cząstki łatwo ulegają aglomeracji, a jeżeli w filtrze znajduje się alkaliczny materiał, cząstki stałe często reagują z obecnymi w gazach odlotowych kwaśnymi substancjami lotnymi. Z tego względu do pobierania próbek powinny być stosowane filtry chemicznie obojętne. Kiedy poziom emisji pyłów mierzony jest w sposób ciągły, drobne cząstki mogą być trudne do usunięcia z optycznych części urządzeń pomiarowych, co prowadzi do błędów w oznaczeniu stężenia pyłów. Należy stosować odpowiedni system oczyszczania.

Prędkość przepływu gazów odlotowych

Chociaż pyły emitowane w procesie topienia szkła zawierają bardzo drobne cząstki stałe, pomiar powinien odbywać się w warunkach izokinetycznych. W celu dokonania prawidłowego pomiaru prędkości przepływu gazów odlotowych należy dobrać odpowiednią geometrię rur dla każdej instalacji oraz odpowiednio zlokalizowane punkty pomiarowe.

Wilgotność gazów odlotowych

Obecność dużej ilości wody w gazach odlotowych jest cechą charakterystyczną pieców opalanych mieszkankami paliwowymi o zwiększonej zawartości tlenu oraz pieców gazowo-powietrznych, w których woda stosowana jest jako środek chłodzący, zanim zastosowane zostaną techniki ograniczania emisji zanieczyszczeń. W celu uniknięcia kondensacji pary wodnej podczas pobierania próbki należy wcześniej określić tzw. punkt rosy. Pomiarów gazowych czynników zanieczyszczających powinno się dokonywać za pomocą ogrzanych wstępnie próbników za każdym razem, gdy występuje ryzyko kondensacji, a zwłaszcza w przypadku gazów o dużej zawartości SO₃. Podobne problemy mogą wystąpić w tych procesach obróbki, w których używane są mokre skrubery, na przykład w procesie produkcji włókna szklanego ciągłego, włókna szklanego itp. Tam, gdzie występuje kondensacja pary wodnej, należy zbadać powstający płyn, aby oznaczyć możliwą absorpcję gazowych czynników zanieczyszczających, np. tlenków siarki.

Czynniki zanieczyszczające w formie gazowej lub stałej

Niektóre czynniki zanieczyszczające mogą być emitowane do powietrza zarówno w formie stałej, jak i gazowej. Ma to miejsce w przypadku pewnych substancji powstających w procesie topienia, takich jak związki boru (w szczególności kwas borowy), selen, arsen, rtęć (jeżeli w procesie topienia zastosowano stłuczkę szkła oświetleniowego), a także chlorek cyny w przypadku szkła opakowaniowego pokrywanego na gorąco. W tych przypadkach, w celu uniknięcia błędów pomiarowych, układ próbkujący powinien być wyposażony w połączony system równoczesnego oznaczania stałych i gazowych składników.

W przypadku produkcji szkła borowokrzemianowego konieczny może być pomiar emisji boru zarówno pod postacią gazową, jak i stałą, w celu określenia skuteczności usuwania obydwu tych czynników zanieczyszczających z gazów spalinowych (zob. część 4.4.1). W szczególności w przypadku produkcji szkła borowokrzemianowego o niskiej zawartości metali alkalicznych kwas borowy jest zazwyczaj uwalniany do powietrza w formie gazowej, ze względu na jego wysoką prężność pary oraz niską temperaturę kondensacji (poniżej 160°C).

Szczegółowy pomiar całkowitych emisji boru pozwala na rozróżnienie między borem zawartym w gazach odlotowych w formie stałej a lotnymi związkami boru, które mogą ulatniać się pomimo zastosowanej dla danego pieca techniki ograniczania emisji (np. filtr plus system ze scrubbingiem).

Pomiarów całkowitych emisji boru można dokonać poprzez pobranie próbek z porcji gazów spalinowych za pomocą próbnika kwarcowego połączonego z systemem absorbującym składającym się z butelek absorpcyjnych wypełnionych wodą. Próbnik, rurki łączące oraz butelki należy następnie przepłukać dokładnie wodą w celu odzyskania ewentualnego skondensowanego materiału zawierającego bor. Roztwór absorpcyjny z butelek oraz materiał wymyty z układu próbkującego można następnie poddać analizie w celu ustalenia zawartości boru.

Różnica pomiędzy stężeniem całkowitych emisji boru a borem wskazanym w emisjach cząstek stałych, mierzona za pomocą standardowych metod (np. próbkowanie izokinetyczne na kwarcowej membranie filtra), wskazuje lotne związki boru w punkcie pomiaru.

Pomiar emisji selenu wymaga zastosowania specyficznej metody próbkowania, która powinna zostać opracowana w taki sposób, by zapewnić absorpcję zarówno selenu w formie stałej, jak i w formie gazowej obecnej w gazach odlotowych. Selen, stosowany do barwienia lub odbarwiania szkła, może być emitowany w dużej ilości w postaci gazowej w wyniku utworzenia bardzo lotnych związków o nadzwyczaj niskiej temperaturze kondensacji, wynoszącej od 60 do 100°C.

Zalecaną metodę pobierania próbek emisji selenu opracowała Międzynarodowa Komisja ws. Szkła, Komitet Techniczny nr 13 (opublikowano ją w *Glass Technology: European Journal of Glass Science and Technology*, część A, t. 47, nr 2, kwiecień 2006) [ri62. ICG-TC 13 20061](#).

Czas próbkowania

W przypadku pieców regeneracyjnych, oprócz zastosowania standardowych procedur, które wymagają odpowiedniego czasu próbkowania w celu pobrania reprezentatywnej próbki, dobrą praktyką powinno być wzięcie pod uwagę cykli pracy regeneratorów. W rzeczywistości emisje z procesu topienia mogą różnić się znacznie w zależności od temperatury cyklu komór, która rośnie w miarę przebiegu cyklu. Aby zapewnić porównywalne wyniki, czas próbkowania powinien za każdym razem obejmować taką samą liczbę cykli opalania. Może to być również istotne w przypadku cykli czyszczenia urządzeń do ograniczania emisji.

Warunki odniesienia

Zazwyczaj dopuszczalne wielkości emisji odnoszą się do temperatury 0°C i ciśnienia 101,3 kPa oraz innych szczególnych warunków, jak np.:0

- dla pieców o działaniu ciągłym: 8% objętościowych tlenu, bez wilgoci,
- dla pieców o działaniu nieciągłym: 13% objętościowych tlenu, bez wilgoci,
- dla innych źródeł emisji: nie koryguje się ze względu na zawartość tlenu.

Zazwyczaj stężenie czynników zanieczyszczających służy do stwierdzenia zgodności z dopuszczalnymi wartościami emisji. Dzieje się tak, ponieważ może być ono obliczane bezpośrednio i nie wymaga uzyskania dodatkowych informacji na temat danego procesu produkcji, które są zazwyczaj niezbędne do określenia czynników emisji czy szczególnych emisji (np. emisja danego zanieczyszczenia wyrażona w kg na tonę topionego szkła). Często jednak dopuszczalne wielkości emisji podaje się zarówno jako stężenie (mg/Nm³), jak i wielkości związane z czynnikami, które do tej emisji prowadzą (kg/tonę szkła, kg/h, g/h). Dotyczy to zwłaszcza silnie rozcieńczonych gazów odlotowych (np. z pieców elektrycznych) oraz ogólnie gazów o dużej zawartości tlenu (z pieców opalanych mieszankami tlenowo-paliwowymi i mieszankami powietrzno-paliwowymi o zwiększonej zawartości tlenu). Zmiana ilości tlenu na 8 lub 13% daje wyniki nieporównywalne z wyniki osiąganymi w przypadku pieców, do opalania których podczas procesu topienia zamiast tlenu używa się paliw kopalnych oraz powietrza. Dzieje się tak w przypadku sektora produkcji fryt szklanych, gdzie gazy spalinowe z pieców opalanych mieszankami tlenowo-paliwowymi i mieszankami powietrzno-paliwowymi o zwiększonej zawartości tlenu oraz nadwyżki powietrza łączą się w ramach jednego zakładu, co skutkuje wysokim stężeniem tlenu (>15%). W takim przypadku bardziej odpowiednim działaniem będzie zastosowanie współczynników emisji lub udziału tlenu bliższego faktycznym warunkom pomiaru (15% O₂).

Monitorowanie ciągłe

Wykorzystanie ciągłego monitorowania ogranicza się zazwyczaj do kontroli emisji pochodzących z pieców do topienia, które to emisje stanowią najbardziej istotny strumień masy oraz których wielkość

jest mniej więcej stała w czasie. Ciągłe monitorowanie emisji można przeprowadzać *in situ* lub poprzez wyekstrahowanie danego zanieczyszczenia za pomocą specjalnych urządzeń pomiarowych. Kontrola *in situ* polega na bezpośrednim odczycie temperatury i wilgotności gazów spalinowych w punkcie pobierania próbki znajdującym się w kominie. Urządzenia „ekstrahujące” są oparte na pobraniu próbki gazów spalinowych i następnym określeniu stężenia czynnika zanieczyszczającego w gazie suchym. Oba przedstawione systemy wymagają uważnej konserwacji i okresowej kalibracji odpowiednimi metodami nieciągłymi. W szczególności na pomiary przeprowadzane aparatami *in situ* mogą mieć wpływ kolor i zróżnicowanie wielkości cząstek w pyłe, które różnią się w zależności od rodzaju szkła wytwarzanego w piecu (zielone, brązowe, białe) oraz od typu materiału opałowego zastosowanego do spalania.

Parametry, które mogą być monitorowane w sposób ciągły oraz sugerowane metody pomiarowe przedstawiono w tabeli 8.14 poniżej.

Tabela 8.14: Techniki monitorowania ciągłego

Parametr	Metoda
tlen	Paramagnetyczna komórka z tlenku cyrkonu
pył	Metody oparte na rozpraszaniu światła
Tlenek azotu (NO)	Fotometria UV i w podczerwieni, chemiluminescencja
Tlenki azotu (NO + NO ₂)	Fotometria UV i w podczerwieni, chemiluminescencja z konwersją (NO ₂ do NO)
Ditlenek siarki	Fotometria UV i w podczerwieni
Tlenek węgla	Fotometria w podczerwieni
Węglowodory ogółem	Detektor płomieniowo-jonizacyjny (FID)

Inne czynniki zanieczyszczające mogą być mierzone w sposób ciągły, na przykład HF i HCl w drodze odpowiednio potencjometrii oraz fotometrii w podczerwieni lub za pomocą metody potencjometrycznej. Wykonanie takich pomiarów nie jest jednak łatwe i wymaga częstej kalibracji analizatorów. Ciągłe monitorowanie takich czynników zanieczyszczających może być wskazane w przypadku poszczególnych procesów związanych z produkcją szkła, które wymagają zastosowania związków chloru i fluoru w zestawie, co skutkuje emisjami po zastosowaniu systemu ograniczania emisji.

W niektórych państwach członkowskich przepisy krajowe nakładają wymóg ciągłego monitorowania emisji w przypadku przepływów masowych wyższych niż wartości progowe przedstawione w tabeli 8.15.

W innych państwach członkowskich stosuje się inne metody. W Holandii, na przykład, wymóg ciągłego monitorowania (obowiązek monitorowania) opiera się na wielkości emisji niepoddawanych oczyszczaniu oraz zastosowanej technologii kontroli. Współczynnik „nieoczyszczonych emisji” oraz wartości kontrolnej przepływu masowego określa system monitorowania instalacji (5 różnych kategorii) oraz wynikający z niego wymagany rodzaj monitorowania (np. częstotliwość monitorowania, pomiar ciągły lub pomiary okresowe) dla danej kategorii [72, NeR, kwiecień 2003].

Tabela 8.15: Progowe wartości przepływu masowego dla ciągłego monitorowania emisji

Substancja	Progowa wartość przepływu masowego (kg/h)		
	Niemcy	Francja	Austria
pył	3	>2,5 <50 ⁽¹⁾ >50 ⁽²⁾	3
Ditlenek siarki	30	20	15
Tlenki azotu, jako NO ₂	30	20	5
Tlenek węgla, w celu oceny skuteczności spalania	5		
Tlenek węgla, dla wszystkich innych przypadków	100		
Związki fluoru, jako HF	0,3	1	
Związki chloru, jako HCl	1,5	20	
Amoniak		10	
⁽¹⁾ Wymagane ciągle monitorowanie pyłu za pomocą przynajmniej przyrządu optycznego (np. dymomierza). ⁽²⁾ Wymagane ciągle monitorowanie pyłu na podstawie metody grawimetrycznej.			

Nieciągłe pomiary

W konkretnych przypadkach pomiar emisji zanieczyszczeń może być wykonywany w oparciu o filtry lub roztwory pochłaniające daną substancję (dotyczy to głównie pyłów, SO_x, HCl, HF, metali), albo poprzez zastosowanie aparatów ekstrahujących o działaniu ciągłym (np. metod fotometrycznych w podczerwieni czy UV dla NO_x, SO₂, itp.). Liczba wymaganych pomiarów zależy od zmienności emisji i czasu jej występowania. W niektórych przypadkach konkretne działanie przeprowadza się w krótkim czasie (np. transport i przeładunek surowców), co pozawala tylko na jednokrotny pomiar powiązanych emisji. W większości przypadków jednak dla emisji stałych o jednakowym poziomie stosowane są co najmniej trzy osobne pomiary, a w przypadku zróżnicowanych poziomów emisji stosowane jest zwykle pięć pomiarów. W wyjątkowych przypadkach konieczne może być przeprowadzenie 8-10 pomiarów.

W tabeli 8.16 poniżej przedstawiono najbardziej powszechne metody nieciągłego monitorowania emisji.

Tabela 8.16: Techniki monitorowania nieciągłego

Czynnik zanieczyszczający/parametr	Metoda
pył	Filtracja i metoda grawimetryczna
Tlenki azotu (NO + NO ₂)	Fotometria UV i w podczerwieni, chemiluminescencja Absorpcja w odpowiednich roztworach i oznaczanie chemiczne (kolorymetria, chromatografia jonowa, itp.)
Ditlenek siarki (SO ₂)	Fotometria UV i w podczerwieni
Tlenki siarki (SO ₂ + SO ₃)	Absorpcja w odpowiednich roztworach i oznaczanie chemiczne (miareczkowanie, chromatografia jonowa, ICP)
Tlenek siarki (SO ₃)	Absorpcja w odpowiednich roztworach i oznaczanie chemiczne (miareczkowanie, chromatografia jonowa)
Metale (As, Pb, Cd, Se, Cr, Cu, V, Mn, Ni, Co, Sb itp.)	Filtracja lub absorpcja w odpowiednich roztworach. Oznaczenie poprzez absorpcyjną spektrometrię atomową (AAS), ICP
Selen jako Se (forma stała i gazowa)	Absorpcja w odpowiednich roztworach i oznaczanie chemiczne (np. metoda generowania wodorków w absorpcyjnej spektrometrii atomowej (HGAAS), ICP itp.) T162, ICG-TC 13 20061
Związki boru (forma stała i gazowa)	Absorpcja w wodzie i oznaczanie chemiczne (ICP, miareczkowanie, kolorymetria)
Chlorki jako HCl	Filtracja i absorpcja w odpowiednich roztworach. Oznaczenie poprzez chromatografię jonową, miareczkowanie

Fluorki, jako HF	Filtracja lub absorpcja w odpowiednich roztworach. Oznaczenie poprzez odpowiednie elektrody, chromatografię jonową.
Siarkowódór	Filtracja i absorpcja w odpowiednich roztworach. Chromatografia jonowa, oznaczenie kolorymetryczne lub odmiareczkowanie nadmiaru.
Formaldehyd	Absorpcja w odpowiednich roztworach. Oznaczenie kolorymetryczne lub za pomocą wysokosprawnej chromatografii cieczowej (HPLC)
Fenol	Absorpcja w odpowiednich roztworach. Chromatografia gazowa (cieczowa), oznaczenie kolorymetryczne.
Amoniak	Absorpcja w odpowiednich roztworach. Chromatografia jonowa, oznaczenie kolorymetryczne lub za pomocą odpowiednich elektrod.
Aminy	Absorpcja w odpowiednich roztworach lub za pomocą żelu krzemionkowego. Oznaczenie za pomocą chromatografii gazowej, wysokosprawnej chromatografii cieczowej (HPLC) lub chromatografii gazowej ze spektrometrią masową (GC-MS)
Lotne związki organiczne	Detektor płomieniowo-jonizacyjny (FID)
Tlen	Paramagnetyczna komórka z tlenku cyrkonu
Tlenek węgla	Fotometria w podczerwieni
Dwutlenek węgla	Fotometria w podczerwieni
Uwaga: Techniki wymienione w powyższej tabeli stanowią jedynie przykłady i nie są jedynymi metodami pomiarowymi, za pomocą których można określić obecność różnych czynników zanieczyszczających w przemyśle szklarskim.	

Do oznaczania większości istotnych parametrów emisji dostępne są krajowe i międzynarodowe zestandaryzowane metody (np. ISO, CEN, VDI, EPA). Dla wielu emitowanych substancji nie istnieją jednak takie znormalizowane metody. Dotyczy to większości substancji organicznych (fenolu, formaldehydu, amin itp.) oraz wielu związków nieorganicznych, które mogą być emitowane do powietrza w formie stałej lub gazowej (np. związki boru). Jak już wspomniano, w takich przypadkach powinno się stosować jednocześnie różne sposoby pobierania próbek (filtrację i absorpcję) w celu dokładnego ilościowego oznaczenia emitowanej substancji.

Wylizanie bilansu masowego

W niektórych przypadkach i dla pewnych rodzajów czynników zanieczyszczających wylizanie bilansu masowego może dostarczyć istotnych informacji na temat emisji. Gdy dysponujemy już danymi na temat wejściowej i wyjściowej ilości danej substancji w procesie (np. topienia), a także znany jest dostatecznie mechanizm przemian fizycznych lub chemicznych, którym podlega ta substancja, taki bilans masowy można zastosować do ilościowego wyznaczenia wartości emisji. Na przykład, bilans taki można wykonać dla SO₂ powstałego w procesie topienia, dla HF z produkcji szkła opalizujących, oraz dla selenu z produkcji szkła barwnych i szkła „flint” (zob. część 8.2 w celu uzyskania informacji na temat bilansów siarki). Bilans masowy służy zwykle do porównawczej oceny poszczególnych poziomów emisji.

Interpretacja wyników oraz sporządzanie raportów z przeprowadzonych pomiarów

Aby przedstawiane w sprawozdaniach wyniki pomiarów emisji spełniały uzasadnione standardy, należy podać co najmniej następujące informacje:

- zastosowaną metodę monitorowania,
- dokładność zastosowanej metody,
- istotne warunki działania (dane dotyczące procesu),
- warunki odniesienia (wilgotność, temperaturę w punkcie pomiaru itp.),
- wyniki wszystkich przeprowadzonych pomiarów lub, w przypadku stosowania ciągłego monitorowania, należy podać rozkład częstości dla wszystkich średnich stężeń z okresów półgodzinnych, godzinnych i dziennych.

Należy podkreślić, że każda metoda zastosowana w celu monitorowania emisji cząstek stałych lub gazów ma inną granicę wykrywalności, a niepewność pomiaru różni się w zależności od zakresu mierzonego stężenia.

W przypadku pomiarów emisji niepewność powinna określać przedział w wynikach pomiaru, w ramach którego można z dużą pewnością stwierdzić, że znajduje się w nim wartość substancji mierzonej. W tym celu zamiast złożonej niepewności standardowej stosuje się zazwyczaj względną rozszerzoną niepewność pomiaru.

W znaczącej liczbie przypadków standardowe metody stosowane na potrzeby pomiaru emisji do powietrza uwzględniają niepewność, która może być tej samej skali co stężenie poddawane pomiarowi.

W innych przypadkach stężenie poddawane pomiarowi jest zbliżone do wartości granicy wykrywalności zastosowanej metody pomiarowej.

Wszystkie takie aspekty należy uważnie rozważyć podczas interpretowania wyników pomiarów emisji.

W ramach standardowych metod można uzyskać wartości granic wykrywalności oraz niepewności obliczone dla konkretnego zakresu stężenia. Niemniej jednak w większości przypadków wartości takie powinno określić/wyliczyć laboratorium, w którym stosuje się dane metody pomiarowe, na podstawie określonego układu próbkującego i sprzętu wykorzystanego do pomiaru.

Dla przykładu w tabelach 8.17 i 8.18 przedstawiono niepewności oraz wartości granic wykrywalności zaobserwowane w dwóch specjalistycznych laboratoriach akredytowanych zgodnie z normą europejską ISO/IEC 17025 17025.

Tabela 8.17 przedstawia wartości granic wykrywalności związane z pomiarami emisji wykonywanymi głównie w odniesieniu do nieoczyszczanych gazów spalinowych.

Tabela 8.17: Przykładowe wartości granic wykrywalności dla pomiaru emisji pochodzących z produkcji szkła

Parametr	Wartość granicy wykrywalności ⁽¹⁾	
pył	4,8 ⁽²⁾	mg/Nm ³
Tlenki azotu (NO _x)	2 - 4	ppm
Tlenki siarki (SO ₂)	0,16	mg/Nm ³
Tlenek węgla (CO)	2 - 4	ppm
Chlorki (wyrażone jako HCl)	1	mg/Nm ³
Fluorki (wyrażone jako HF)	0,05	mg/Nm ³
LZO (wyrażone jako C)	0,2 (zakres 0 - 20)	mg/Nm ³
Pb	0,032	mg/Nm ³
Cr	0,011	mg/Nm ³
Cu	0,010	mg/Nm ³
Ni	0,032	mg/Nm ³
As	0,002	mg/Nm ³
Cd	0,003	mg/Nm ³
Hg	0,001	mg/Nm ³
⁽¹⁾ Podane wartości stanowią typowe dane zaobserwowane dla pomiarów emisji cząstek stałych i gazów z pieców do wytopu szkła. ⁽²⁾ Wartość granicy wykrywalności odnosi się do pomiaru pyłu w nieoczyszczonych gazach spalinowych. <i>Źródło:</i> [118, CTCV Data for BREF zm. 2007] [175, CTCV 2010]		

W tabeli 8.18 przedstawiono wartości granic wykrywalności oraz rozszerzone niepewności określone dla wskazanych metod, które stosuje certyfikowane laboratorium na potrzeby pomiarów emisji wykonywanych głównie w odniesieniu do oczyszczonych gazów spalinowych.

Tabela 8.18: Przykładowe wartości granic wykrywalności dla rozszerzonych niepewności pomiaru emisji pochodzących z przemysłu szklarskiego

Parametr	Metoda	Granica wykrywalności	Rozszerzona niepewność
HF	ISO 15713: 2006 Potencjometria	0,1 mg/Nm ³	Szacunki: 1 mg/Nm ³
HCl	UNI EN 1911-1/2/3: 1998 Miareczkowanie z AgNO ₃	0,1 mg/Nm ³	Szacunki: 1 mg/Nm ³
SO _x	UNI EN 14791: 2005 chromatografia jonowa, miareczkowanie	1 mg/Nm ³	0,126 C* + 8,5 mg/Nm ³
NO _x	UNI EN 10878: 2000 NDIR, NDU, chemiluminescencja	1 mg/Nm ³	4% mierzonej wartości
NO _x	UNI EN 14792 Chemiluminescencja	1mg/Nm ³	0,041 C*+ 2,8 mg/Nm ³
pył	UNI EN 13284-1: 2001 metoda grawimetryczna	0,3 mg/m ³ dla gazów suchych oraz 2 mg/m ³ dla gazów nasyconych parą wodną	4 mg/Nm ³
O ₂	EN 14789: 2006 Metoda paramagnetyczna	0,2% pełnej wartości (0,05% O ₂)	0,041 C**+ 0,1% O ₂ vol.
Uwaga: - C* = stężenie mierzone w mg/Nm ³ - C** = stężenie mierzone w % O ₂ . Źródło: [173, SSV-Stazione Sperimentale del Vetro 2010]			

Wnioski

Niniejszy załącznik nie ma na celu określenia standardowych metod monitorowania emisji w przemyśle szklarskim. W przemyśle tym dostępnych jest wiele skutecznych metod, które powinny być oceniane w odniesieniu do poszczególnych zastosowań. Celem tego załącznika było natomiast podanie ogólnych informacji oraz wskazania potencjalnych źródeł błędnych ocen poziomów emisji, które mogą powstawać przy stosowaniu różnych najlepszych dostępnych technik BAT.

8.4 Załącznik IV: Obliczanie przeliczników na potrzeby przeliczania stężeń na emisje masowe

Podejście zastosowane w GLS BREF na potrzeby przedstawienia poziomów emisji pochodzących z procesu topienia oraz w poziomach emisji odpowiadających BAT na potrzeby zidentyfikowanych technik obejmuje zarówno stężenia emisji (mg/Nm³), jak i jednostkowe emisje masowe (kg/tonę wytopionego szkła), nazywane również „czynnikami emisji”.

Wyrażenie poziomów emisji odpowiadających BAT jako specyficznych emisji masowych uznaje się za istotne w celu odpowiedniego uwzględnienia wszystkich potencjalnych wariantów topienia stosowanych w przemyśle szklarskim (mieszanka tlenowo-paliwowa, mieszanka wzbogacona tlenem, mieszanka powietrzno-paliwowa itp.).

Procedura przeliczenia stężenia na czynniki emisji została już podana w rozdziale 5 (Ogólne kwestie) i opiera się na objętości gazów odlotowych (Nm³/h) oraz wydajności pieca (liczba ton wytopionego szkła na godzinę).

Objętość gazów odlotowych zależy głównie od zużycia energii, rodzaju materiału opałowego oraz środka utleniającego (powietrze, powietrze wzbogacone tlenem oraz tlen o czystości zależnej od procesu produkcyjnego).

Zużycie energii jest funkcją zspoloną (głównie) typu pieca, typu szkła i procentowego udziału stłuczki.

Na stosunek stężenia i jednostkowego przepływu masowego może jednak oddziaływać szereg czynników, w tym:

- typ pieca (temperatura wstępnego podgrzewania powietrza, technika topienia);
- rodzaj wytwarzanego szkła (zapotrzebowanie energetyczne na topienie);
- koszyk energetyczny (paliwo kopalne/dodatkowe podgrzewanie elektryczne);
- rodzaj paliwa kopalnego (olej, gaz);
- rodzaj środka utleniającego (tlen, powietrze, powietrze wzbogacone tlenem);
- procentowy udział słuczki;
- skład zestawu;
- rok produkcji pieca;
- wielkość pieca.

emisja masowa (kg/tonę wytopionego szkła) = przelicznik \times stężenie emisji (mg/Nm³)

Gdzie: przelicznik = $(Q/P) \times 10^{-6}$

i Q = objętość gazów odlotowych w Nm³/h

P = wydajność pieca w tonach szkła na godzinę

W tym celu przeliczniki dla różnych sektorów przemysłu szklarskiego oszacowano na podstawie danych dotyczących konkretnego zużycia energii dla pieców opalanych mieszkanką paliwowo-powietrzną.

Dla uproszczenia szacunki nie obejmują objętości gazów odlotowych wygenerowanych na skutek rozkładu minerałów podczas procesu topienia (np. CO₂, SO₂).

Na podstawie danych dotyczących konkretnego zużycia energii można obliczyć teoretyczną, stechiometryczną objętość gazów odlotowych oraz można określić współczynnik tak, jak podano w poniższych przykładach, dotyczących sektora produkcji szkła opakowaniowego. Dane zastosowane do obliczenia są oparte na jednostkowych wartościach dotyczących energii podanych w tabeli 3.13.

Przykład 1 – Szkło opakowaniowe

Rodzaj pieca: opalany końcowo, regeneracyjny

Wydajność pieca: 250 ton na dzień, co stanowi ekwiwalent 10,42 ton/h (**P**)

Materiał opałowy: gaz ziemny o wartości opałowej równej 8 500 kcal/Nm³ (**NCV**)

Konkretne poziomy zużycia energii (piec): 4,8 GJ/tona wytopionego szkła (**SEC**)

Przelicznik GJ na kcal: $238,85 \times 10^3$ (**K**)

Stechiometryczna objętość gazów odlotowych (gaz mokry, 0% tlenu) dla 1 Nm³ gazu ziemnego: 10,6

Nm³ (**SWG**) Przelicznik = $[(SEC \times P \times K)/NCV \times SWG]/P =$

$[(4,8 \text{ GJ/t} \times 10,42 \text{ t/h} \times 238,85 \times 10^3)/8 500 \text{ kcal/Nm}^3 \times 10,6 \text{ Nm}^3/\text{h}]/10,42 \text{ t/h} = \mathbf{1,43 \times 10^{-3}}$

Przykład 2 – Szkło opakowaniowe

Rodzaj pieca: rekuperacyjny

Wydajność pieca: 250 ton na dzień, co stanowi ekwiwalent 10,42 ton/h (**P**)

Materiał opałowy: gaz ziemny o wartości opałowej równej 8 500 kcal/Nm³ (**NCV**)

Konkretne poziomy zużycia energii (piec): 5,8 GJ/tona wytopionego szkła (**SEC**)

Przelicznik GJ na kcal: $238,85 \times 10^3$ (**K**)

Stechiometryczna objętość gazów odlotowych (gaz mokry, 0% tlenu) dla 1 Nm³ gazu ziemnego: 10,6

Nm³ (**SWG**) Przelicznik = $[(SEC \times P \times K)/NCV \times SWG]/P =$

$[(5,8 \text{ GJ/t} \times 10,42 \text{ t/h} \times 238,85 \times 10^3)/8 500 \text{ kcal/Nm}^3 \times 10,6 \text{ Nm}^3/\text{h}]/10,42 \text{ t/h} = \mathbf{1,73 \times 10^{-3}}$

Przykład 3 – Szkło opakowaniowe

Rodzaj pieca: opalany końcowo, regeneracyjny

Wydajność pieca: 400 ton na dzień, co stanowi ekwiwalent 16,67 ton/h (**P**)

Materiał opałowy: gaz ziemny o wartości opałowej równej 8 500 kcal/Nm³ (**NCV**)

Konkretne poziomy zużycia energii (piec): 4,8 GJ/tona wytopionego szkła (**SEC**)

Przelicznik GJ na kcal: $238,85 \times 10^3$ (**K**)

Stechiometryczna objętość gazów odlotowych (gaz mokry, 0% tlenu) dla 1 Nm^3 gazu ziemnego: 10,6

$$\text{Nm}^3 \text{ (SWG) Przelicznik} = \frac{(\text{SEC} \times \text{P} \times \text{K})}{\text{NCV} \times \text{SWG}} / \text{P} =$$
$$\frac{[(4,3 \text{ GJ/t} \times 16,67 \text{ t/h} \times 238,85 \times 10^3)]}{8 \text{ 500 kcal/Nm}^3 \times 10,6 \text{ Nm}^3/\text{h}} / 16,67 \text{ t/h} = \mathbf{1,28 \times 10^{-3}}$$

Przykład 4 – Szkło opakowaniowe

Rodzaj pieca: opalany końcowo, regeneracyjny

Wydajność pieca: 100 ton na dzień, co stanowi ekwiwalent 4,17 ton/h (**P**)

Materiał opałow: gaz ziemny o wartości opałowej równej 8 500 kcal/Nm³ (**NCV**)

Konkretne poziomy zużycia energii (piec): 6,9 GJ/tona wytopionego szkła (**SEC**)

Przelicznik GJ na kcal: $238,85 \times 10^3$ (**K**)

Stechiometryczna objętość gazów odlotowych (gaz mokry, 0% tlenu) dla 1 Nm^3 gazu ziemnego: 10,6

$$\text{Nm}^3 \text{ (SWG) Przelicznik} = \frac{(\text{SEC} \times \text{P} \times \text{K})}{\text{NCV} \times \text{SWG}} / \text{P} =$$
$$\frac{[(6,9 \text{ GJ/t} \times 4,17 \text{ t/h} \times 238,85 \times 10^3)]}{8 \text{ 500 kcal/Nm}^3 \times 10,6 \text{ Nm}^3/\text{h}} / 4,17 \text{ t/h} = \mathbf{2,06 \times 10^{-3}}$$

Średnia wartość dla podanych wyliczonych przeliczników wynosi $1,63 \times 10^{-3}$.

SŁOWNIK

Niniejszy słownik ma na celu ułatwienie zrozumienia informacji zawartych w dokumencie. Definicje terminów w niniejszym glosariuszu nie są obowiązującymi w prawie definicjami (nawet jeśli niektóre z nich pokrywają się z definicjami podanymi w prawodawstwie europejskim) – ich przeznaczeniem jest pomóc czytelnikowi w zrozumieniu niektórych kluczowych terminów w kontekście ich stosowania w konkretnej branży, której dotyczy niniejszy dokument.

Słownik podzielony jest na następujące części:

- I. Jednostki monetarne
- II. Kody ISO państw
- III. Prefiksy jednostek
- IV. Jednostki
- V. Pierwiastki chemiczne
- VI. Wzory chemiczne często stosowane w dokumencie
- VII. Skrót i definicje techniczne

I. Jednostki monetarne

Kod ⁽¹⁾	Państwo/terytorium	Waluta
Waluty państw członkowskich		
EUR	Strefa euro ⁽²⁾	euro

⁽¹⁾ Kody ISO 4217.
⁽²⁾ Obejmuje Austrię, Belgię, Cypr, Estonię, Finlandię, Francję, Grecję, Hiszpanię, Holandię, Irlandię, Luksemburg, Maltę, Niemcy, Portugalię, Słowację, Słowenię i Włochy.

II. Kody ISO państw

Kod ISO	Kraj
Państwa członkowskie (*)	
UK	Zjednoczone Królestwo
Państwa niebędące członkami	
US	Stany Zjednoczone Ameryki

III. Prefiksy jednostek

Symbol	Prefiks	Mnożnik	Liczba
Y	jotta	10 ²⁴	1 000 000 000 000 000 000 000 000
Z	zetta	10 ²¹	1 000 000 000 000 000 000 000
E	eksa	10 ¹⁸	1 000 000 000 000 000 000
P	peta	10 ¹⁵	1 000 000 000 000 000
T	tera	10 ¹²	1 000 000 000 000
G	giga	10 ⁹	1 000 000 000
M	mega	10 ⁶	1 000 000
k	kilo	10 ³	1000
h	hekto	10 ²	100
da	deka	10 ¹	10
		1 jednostka	1
d	decy	10 ⁻¹	0,1
c	centy	10 ⁻²	0,01
m	mili	10 ⁻³	0,001
]	mikro	10 ⁻⁶	0,000 001

n	nano	10^{-9}	0,000 000 001
p	piko	10^{-12}	0,000 000 000 001
f	femto	10^{-15}	0,000 000 000 000 001
a	atto	10^{-18}	0,000 000 000 000 000 001
z	zepto	10^{-21}	0,000 000 000 000 000 000 001
y	jokto	10^{-24}	0,000 000 000 000 000 000 000 001

IV. Jednostki

Termin	Znaczenie
bar	bar (1 013 bar = 100 kPa lub 1 atm)
°C	stopień Celsjusza
cm	centymetr
d	dzień
g	gram
GJ	gigadzul
g·mol·s ⁻¹	gram mol na sekundę
h	godzina
J	dzul
K	kelwin (0 °C = 273,15 K)
kcal	kilokaloria (1 kcal = 4,19 kJ)
kg	kilogram (1 kg = 1000 g)
kJ	kilodzul (1 kJ = 0,24 kcal)
kPa	kilopaskal
kV	kilowolt
kWh	kilowatogodzina (1 kWh = 3600 kJ = 3,6 MJ)
l	litr
m	metr
m ²	metr kwadratowy
m ³	metr sześcienny
mg	miligram (1 mg = 10 ⁻³ g)
MJ	megadzul (1 MJ = 1000 kJ = 10 ⁶ J)
mm	milimetr (1 mm = 10 ⁻³ m)
MWh	megawatogodzina
ng	nanogram (1 ng = 10 ⁻⁹ g)
Nm ³	metr sześcienny normalny (w 101,325 kPa, 273,15 K)
ouE	europejska jednostka zapachowa
Pa	paskal (1 Pa = 1 N/m ²)
Pa·s	paskalosekunda
ppm	części na milion (1 ppm = 10 ⁻⁶)
s	sekunda
t	tona metryczna (1000 kg lub 10 ⁶ g)
t/d	tony dziennie
t/rok	tony rocznie
rok	rok
~	około, mniej więcej
ΔT	różnica temperatur
μm	mikrometr (1 μm = 10 ⁻⁶ m)

V. Pierwiastki chemiczne

Symbol	Nazwa	Symbol	Nazwa
Ag	srebro	Mg	magnez
Al	glin	Mn	mangan
Ar	argon	Mo	molibden
As	arsen	N	azot
B	bor	Na	sód
Ba	bar	Nd	neodym

Be	beryl	Ni	nikiel
Bi	bismut	O	tlen
C	węgiel	P	fosfor
Ca	wapń	Pb	ołów
Cd	kadm	Pd	pallad
Ce	cer	Pt	platyna
Cl	chlor	S	siarka
Co	kobalt	Sb	antymon
Cr	chrom	Se	selen
Cs	cez	Si	krzem
Cu	miedź	Sn	cyna
F	fluor	Sr	stront
Fe	żelazo	Ta	tantal
Gd	gadolin	Ti	tytan
Ge	german	V	wanad
H	wodór	W	wolfram
Hg	rtęć	Y	itr
K	potas	Zn	cynk
La	lantan	Zr	cyrkon
Li	lit		

VI. Wzory chemiczne często stosowane w dokumencie

Wzór chemiczny	Nazwa
Al ₂ O ₃	Tlenek glinu, korund
B ₂ O ₃	Trójtlenek boru
CaCO ₃	Węglan wapnia, wapień
CaF ₂	Fluorek wapnia, fluoryt
CaO	Tlenek wapnia, wapno
Ca(OH) ₂	Wodorotlenek wapnia, wapno gaszone
CaSO ₄	Siarczan wapnia
CO	Tlenek węgla
CO ₂	Dwutlenek węgla
Fe ₂ O ₃	Tlenek żelaza
HBO ₂	Kwas metaborowy
H ₃ BO ₃	Kwas borowy
HCl	Chlorowodór
HF	Fluorowodór
H ₂ S	Siarkowodór
H ₂ SiF ₆	Kwas heksafluorokrzemowy
H ₂ SO ₄	Kwas siarkowy
K ₂ CO ₃	Węglan potasu, potaż
K ₂ O	Tlenek potasu
Mg ₂ CO ₃	Węglan magnezu
MgO	Tlenek magnezu, magnezja
N ₂	Azot cząsteczkowy
Na ₂ CO ₃	Węglan sodu, soda amoniakalna, soda kalcynowana
Na ₂ O	Tlenek sodu
NaOH	Wodorotlenek sodu, zwany również sodą kaustyczną
NaNO ₃	Azotan sodu
Na ₂ SO ₄	Siarczan sodu
NH ₃	Amoniak
N ₂ O	Tlenek azotu(I), podtlenek azotu
NO	Tlenek azotu(II)
NO ₂	Dwutlenek azotu
NO _x	Suma tlenku azotu(II) (NO) i dwutlenku azotu (NO ₂) wyrażona jako NO ₂

PbO	Tlenek ołowiu, glejta ołowiowa
Pb3O4	Tlenek ołowiu, czerwony tlenek ołowiu, minia ołowiana, tetratlenek ołowiu
SiO ₂	Tlenek krzemu
SO ₂	Dwutlenek siarki
SO ₃	Trójtlenek siarki
SO _x	Suma dwutlenku siarki (SO ₂) i trójtlenku siarki (SO ₃) wyrażona jako SO ₂

VII. Skróty i definicje

Skrót	Definicja
pol.kw.	polerowanie kwasem/wypolerowane kwasem
AES	wełna szklana alkaliczno-krzemianowa
ACGIH	American Conference of Industrial Hygienists (Amerykańska konferencja higieny pracy w przemyśle)
APC	system kontroli zanieczyszczenia powietrza (Air Pollution Control)
ASW	wełna glinokrzemianowa (Aluminium Silicate Wool)
AZS	spiek tlenków glinu, cyrkonu i krzemu (Alumina-zirconia-silica)
BAS	stopniowe wdmuchiwanie powietrza (Blowing Air Staging)
BAT	najlepsze dostępne techniki (Best Available Techniques)
BZT	biochemiczne zapotrzebowanie na tlen
ChZT	chemiczne zapotrzebowanie na tlen
CPIV	Comité Permanent des Industries du Verre
CRF	chemiczna redukcja paliwem (Chemical Reduction by Fuel)
CRT	lampa elektronopromieniowa (Cathode Ray Tube)
CVD	osadzanie chemiczne z fazy gazowej (Chemical Vapour Deposition)
KE	Komisja Europejska
ECFIA	European Association representing the High Temperature Insulation Wool (europejskie stowarzyszenie producentów wełny do izolacji wysokotemperaturowej)
ESP	filtr elektrostatyczny
ETS	unijny system handlu uprawnieniami do emisji
EU	Unia Europejska
EURIMA	Europejskie Stowarzyszenie Producentów Materiałów Izolacyjnych (European Insulation Manufacturers Association)
FLOX	utlenianie bezpłomieniowe
GRP	tworzywo wzmocnione szkłem (Glass-reinforced Plastic)
HT	wysokie napięcie (High Tension)
HTIW	wysokotemperaturowe wełny izolacyjne (High Temperature Insulation Wools)
IBC	pojemnik do ładunków masowych, średniej wielkości (Intermediate Bulk Container)
I-TEQ	międzynarodowy równoważnik toksyczności (International Toxic Equivalent)
IPPC	Zintegrowane zapobieganie zanieczyszczeniom i ich kontrola
IS	automat rządowy (IS) lub sekcyjny (Individual Section)
LCD	wyświetlacz ciekłokrystaliczny
MAK	Maximale Arbeitsplatzkonzentration (niem. maksymalne stężenie w miejscu pracy)
NEPSI	European Network for Silica (europejska sieć krzemowa)
OEAS	okresowe wzbogacanie powietrza (Oxygen-enriched Air Staging)
OEL	dopuszczalne stężenie w środowisku pracy
OSHA	Agencja Bezpieczeństwa i Zdrowia w Pracy
PCW	wełna polikrystaliczna
PET	poli(tereftalan etylenu)
PSA	absorpcja ciśnieniowa (Pressure Swing Absorption)
RCF	włókno ceramiczne ogniotrwałe (Refractory Ceramic Fibre)

SCR	selektywna redukcja katalityczna (Selective Catalytic Reduction)
SNCR	selektywna redukcja niekatalityczna (Selective Non Catalytic Reduction)
Tpd/TPD	tony dziennie
LZO	lotne związki organiczne (Volatile Organic Compounds, VOC)
VSA/VPSA	absorpcja próżniowa (Vacuum Pressure Swing Absorption)
WESP	filtr elektrostatyczny mokry

BIBLIOGRAFIA

- [2] UKDoE, Pollution Control at Large Glass Works, Environmental Resources Limited, 1991.
- [4] EPA, Alternative Control Techniques Document – Nox Emissions from Glass Manufacturing, Agencja Ochrony Środowiska Stanów Zjednoczonych, 1994.
- [6] EEO, Energy Efficiency Environmental Control in the Glass Industry, Good Practice Guide 127, Energy Efficiency Office UK, 1995.
- [7] Ind.duVerre, Reduction des Emissions d'Oxydes d'Azote dans l'Industrie du Verre, Comité de Suivi du Verre, Arrêté du 14mai 1993, 1996.
- [9] IPC Guidance S2 3.03, IPC Guidance notę S2 3.03, Manufacture of glass fibres, other non-asbestos mineral fibres, glass frit, enamel frit and associated processes, 1996.
- [15] ETSU, Energy technology in the Glass Industry Sector (Thermie), AEA Environment and Energy, 1992.
- [18] Ercole, „Oxycombustion: The problems and Perspectives for Development of its Use in Glass Containers Production”, US Ceramic Society congress on glass, 1998, San Francisco.
- [19] CPIV, CPIV BAT Reference Document for the European Glass Industry, Comité Permanent des Industries du Verre, 1998.
- [20] Ehrig et al., Five years of operational experience with the SORG LoNOx Melter, Glastech. Ber. Glass Sci. technol. 68, 1995.
- [22] Schott, Schott Guide to Glass second Edition, Ed HG Pfaender, Chapman & Hall, 1996.
- [25] FENIX, Saint-Gobain Vitrage Reduit les rejets de NOx du Float D'Aniche á prés de 500 mg/Nm³ par des mesures Primaires, L'Industie Ceramic & Verriere, 1998.
- [26] Special Glass, Reference Document of the European Special Glass Industry for the implementation of Directive 96/61/EC, Comité Permanenet des Industries du Verre, 1998.
- [27] EURIMA, EURIMA BAT Reference notę on insulation wool production, European Insulation Manufacturers Association, 1998.
- [28] Domestic, Reference Document of the European Tableware and Domestic Glass Industry for the implementation of Directive 96/61/EC, Comité Permanent des industries du Verre, 1998.
- [30] Infomil, Dutch Notes on BAT for the Glass and Mineral Wool Industry, Infomil dla holenderskiego Ministerstwa Środowiska (dyrekcja ds. powietrza i energii), 1998.
- [31] CPIV, An examination of the low environmental impact of dust emitted by soda-lime glass furnaces, 1998.
- [33] Beerkens, Abatement of glass furnace emissions techniques, performance, costs and possible combinations of abatement techniques, 1999.
- [38] FENIX, method and Device for Reducing NOx Emission in a Glass Furnace, 1998.
- [40] Shulver et al., 3R Technology: An Update, Pilkington, 1997.
- [41] ECFIA, Information Report on Environmental Performances of RCF Manufacturing Plants in Europe, ECFIA, 1998.
- [42] VDI, Verein Deutscher Ingenieure Guidelines (VDI 2578) Emission Control Glassworks (DRAFT), VDI, 1997.
- [46] Illy et al., „Processes for heat recovery and energy savings in oxy-fired glass furnaces: a technology survey”, International Glass Journal, Vol. No 96, 1998.
- [47] ANFFECC, Reference Document of the Spanish Frits Industry for the Implementation of the Directiva IPPC 96/61/EC, 1999.
- [49] ADEME, Les techniques de désulfuration des procédés industriels, 1999.
- [59] SORG, SORG Brochure on Flex Melter – „Discontinuous Production Constant Ouality”, GmbH & Co

- KG, 1999.
- [60] SORG, SORG Brochure on LoNO_x Melter, GmbH & Co KG, 1999.
 - [62] CPIV Update for Glass BREF, „Breakdown between glass sectors”, komunikacja własna, 2007.
 - [63] CPIV Annual report, Statistical annual report 2006-2007, 2007.
 - [64] FEVE, „First contribution of data to the Glass BREF revision of Container glass sector
 - [65] GEPVP-Proposals for GLS revision, „Proposal from GEPVP (European Flat Glass Manufacturer Association) for the revision of the Glass BREF”, komunikacja własna, 2007.
 - [66] APFE UPDATE IPPC Glass BREF, UPDATE IPPC Glass BREF by Continuous Filament Glass Fibre data (APFE), 2007.
 - [67] APFE Plant survey, „APFE Plant survey CFG 2005”, komunikacja własna, 2007.
 - [68] Domestic Glass Data update, Data update for BREF review related to domestic glass, 2007.
 - [69] EURIMA data collection, „Tables with data from 2005 submitted by EURIMA (Mineral Wool Sector) for GLS BREF review”, komunikacja własna, 2007.
 - [70] VDI 3469-1, Emission control: Production and processing of fibrous materials – Fibrous dusts – Fundamentals, Overview (Verein Deutscher Ingenieure) March 2007, 2007.
 - [71] VDI 3469-5, Emission control: Production and processing of fibrous materials – High temperature insulation wool (Verein Deutscher Ingenieure) March 2007, 2007.
 - [73] Special Glass Proposal, Proposal of review for the Glass BREF from Special glass sector, 2007.
 - [74] Special Glass breakdown, Special glass sector breakdown table, 2007.
 - [75] Germany-HVG Glass Industry report, Final report: BAT in the German Glass industry, HVG Hüttentechnisch Vereinigung Der Deutschen Glasindustrie E.V., 2007.
 - [76] TNO SO₂, Inventory of SO₂ emissions and emission reduction potential in the Netherlands glass industry., 2007.
 - [78] DUTCH Oxy-firing furnaces, NO_x-emissions container glass melting oxy-fuel furnaces in the Netherlands, 2007.
 - [79] TNO Oxy-firing 2005, ATIV Final, OXYGEN-FIRED GLASS FURNACES: EXPECTATIONS AND EXPERIENCES IN THE GLASS INDUSTRY IN THE LAST 15 YEARS, 2005.
 - [84] Italy Report, „Italian contribution to Glass BREF Review-2. GLASS INDUSTRY Data”, komunikacja własna, 2007.
 - [85] Spanish BAT Glass Guide, projekt dokumentu :„Guia de mejores tecnicas disponibles en Espana” w sektorze produkcji szkła – lipiec 07, 2007.
 - [86] Austrian container glass plants, austriacki wkład do BREF w zakresie obiektów produkcji szkła opakowaniowego, 2007.
 - [88] FEVE Proposal Ch.4-NO_x, Proposed modified texts of Chapter 4 for NO_x reduction -FEVE (Glass container), 2007.
 - [89] EURIMA Suggestions, sugestie zmian w tekście IPPC BREF Note, 2007, 2007.
 - [92] ITC - C071603, ITC - C071603 on the „Current situation of NO_x emission values in ceramic frit manufacture. Evaluation of primary measures and abatement techniques”, 2007.
 - [93] EURIMA data tables 80%, EIIPPCB Data tables submitted 18_July 07_1, 2007.
 - [94] Beerkens – APC Evaluation, Evaluation of costs associated with air pollution control for glass melting furnaces, 2008.
 - [96] TNO-TPD Energy efficiency benchmarking, Energy efficiency benchmarking of glass furnaces., 2003, s. 11.
 - [98] ANFFECC Position of the Frit Sector, Position of the Ceramic Frit Sector in the forthcoming review of the Glass BREF *Specific analysis of NO_x emissions*, 2005, s. 78.
 - [99] ITC-C080186, *Positioning of the frits sector related to NO_x emissions in regard to the revision of the GLS BREF*, 2008, s. 7.

- [100] ICF BREF revision, *ICF answer on the use of Lead for Crystal Industry*, ICF (International Crystal Federation), 2007.
- [101] Bruno D. BATwater, *Use of water and wastewater in domestic glass manufacturing*, Université du littoral Côte d'Opale, 2007, s. 27.
- [109] Schep, *A decade of oxy-fuel*, „A decade of oxy-fuel glass melting in The Netherlands” 2003, s. 6.
- [110] Austria, *Domestic glass plants, Plant visit reports: Austrian domestic glass plants*, Umweltbundesamt, 2007.
- [111] Austria, *Special glass plant, Plant visit report Austrian special glass plant*, Umweltbundesamt, 2006.
- [112] Austria, *Glass wool plant, Plant visit report: Austrian glass wool plant*, Umweltbundesamt, 2006.
- [113] Maguin CerCat process, *CerCat (Ceramic and Catalytic) FLUE GAS TREATMENT PROCESS*, 2008, s. 3.
- [115] EURIMA-ENTEC *Costs evaluation, Evaluation of costs associated with air pollution control for the mineral wool sector*, 2008, s. 58.
- [116] ECFIA, „New text Proposal for Section 1.9 of BREF page 29/30 comment N° 7”, komunikacja własna, 2008.
- [117] GWI, *VDI-Berichte Nr. 1988, Anwendung der flammenlosen Oxidation für Glasschmelzwannen mit rekuperativer Luftvorwärmung – Glas-FLOX®*, 2007.
- [118] CTCV *Data for BREF revision, Data provided from CTCV for Glass BREF revision.*, CTCV (Technological Centre for Ceramic and Glass industry from Portugal), 2007.
- [120] CTCV, *ESP Installation*, CTCV, 2009, s. 4.
- [121] KE, *Dokument referencyjny na temat najlepszych dostępnych technik w zakresie emisji powstających przy magazynowaniu (EFS)*, 2006.
- [122] KE, *BREF on General Principles of Monitoring (MON) (dokument referencyjny na temat najlepszych dostępnych technik w zakresie ogólnych zasad monitoringu)*, EIPPCB, 2003, p. 123.
- [124] KE, *Dokument referencyjny na temat najlepszych dostępnych technik w zakresie efektywności energetycznej (ENE)*, 2009.
- [125] FEVE, *Correction to Chapter 1*, 2009.
- [126] FEVE, *Corrections to Chapter 3*, 2009.
- [127] Glass for Europe, *Proposed corrections to Section 1.4*, 2008.
- [128] ECORYS, *FWC Sector Competitiveness Studies - Competitiveness of the Glass Sector*, 2008.
- [129] EN 1094-1, *European Standard - Insulating refractory products: Terminology, classification and methods of test for high temperature insulation wool products (Izolacyjne wyroby ogniotrwałe – Część 1: Terminologia, klasyfikacja i metody badań wysokotemperaturowych izolacyjnych wyrobów z wełny)*, 2008.
- [130] CPIV, „Number and type of furnaces”, komunikacja własna, 2008.
- [131] APFE, „Composition of E glass”, komunikacja własna, 2008.
- [132] Special, *Glass compositions*, 2008.
- [133] EURIMA *Contributions November, „Contribution after Interim Meeting”*, komunikacja własna, 2008.
- [134] ANFFECC, *Contribution to the meeting ANFFECC-IPTS, lipiec 2008*, 2008.
- [135] NEPSI, *Good practice guide on workers health protection through the good handling and use of crystalline silica and products containing it*, European Network on Silica, 2006.
- [136] EURIMA, „Information after Interim Meeting”, komunikacja własna, 2008.
- [137] Domestic glass, „Energy consumption – Examples”, komunikacja własna, 2008.
- [138] KE, *Dokument referencyjny na temat najlepszych dostępnych technik dla produkcji Przemysł*

- chemikaliów nieorganicznych produkowanych w dużych ilościach – substancji stałych i innych (LVIC-S), 2007.
- [139] Komisja Europejska, BREF „Obróbka powierzchniowa z użyciem rozpuszczalników organicznych (STS)”, 2007.
- [140] Domestic Glass, 'Comments to Section 3.6.5', komunikacja własna, 2008.
- [141] Special glass, „Contribution for Chapter 3”, komunikacja własna, 2008.
- [142] EURIMA August, August 2008 New Tables, 2008.
- [143] ECFIA November, „Contribution for chapters 1 and 3”, komunikacja własna, 2008.
- [144] ITC November, Report C082655 on diffuse/fugitive emissions, 2008.
- [145] France contribution, Glass furnace flue gas treatment with dry sodium bicarbonate and treatment of residues, 2007.
- [146] EURIMA, Waste injection into stone wool melting furnace, 2007.
- [147] Kobayashi et al., „Development of an advanced batch/cullet preheater for oxy-fuel fired glass furnace”, 68th Conference on Glass Problems, 2007, Columbus, OH, USA.
- [148] Beerkens, „Energy saving options for glass furnaces & recovery of heat from their flue gases”, 69th Conference on Glass Problems, 2008, Columbus, OH, USA.
- [149] Rue et al., „Recent developments in submerged combustion melting”, 67th Conference on Glass Problems, 2006, Ohio, USA.
- [150] Knauf, „ECOSE Technology”, komunikacja własna, 2008.
- [151] Madison Filter Ltd., Low density ceramic filter elements, 2008.
- [152] Finland contribution, NASU electrostatic precipitator, 2009.
- [153] Germany Precious, Precious cullet preheater, 2007.
- [154] EC, BREF on Waste Incineration (WI), 2006.
- [155] NER April, Description of the cost effectiveness methodology, INFOMIL, 2003.
- [156] KE, Dokument referencyjny na temat: Gospodarka i skutki przenoszenia zanieczyszczeń pomiędzy komponentami środowiska (podejście kompleksowe) (ECM), 2006.
- [157] Komisja Europejska – Green Paper – Towards a European strategy for the security of energy supply, 2000.
- [158] EEA – NEC report, NEC Directive status report 2008, Europejska Agencja Środowiska, 2008.
- [159] Glass for Europe, Low-E Insulating Glass for Energy Efficient Building, 2009.
- [160] Glass for Europe, Solar Control Glass for Greater Energy Efficiency, 2008.
- [161] Special glass, „Investment costs for special glass installations”, komunikacja własna, 2008.
- [162] ICG-TC 13, „Selenium emissions from glass melting furnaces: formation, sampling and analysis”, Glass Technology: European Journal of Glass Science and Technology, Vol. Part A, Volume 47, 2006, ss. 29-38.
- [163] Glass for Europe, „Variation of dust emissions behind an ESP”, komunikacja własna, 2009.
- [164] France – Example installation, Euroglas Hombourg, France – Gerard Genuit, Gilles Guilloteau, 2001.
- [165] France, „French contribution to final draft”, komunikacja własna, 2010.
- [166] ITC- C100244, Additional information to the Conclusions of the Final TWG Meeting for the review of the GLS BREF, Instituto de Tecnologia Ceramica, 2010.
- [167] Hans van Limpt (TNO), Modeling of Evaporation Processes in Glass Melting Furnaces, 2007.
- [168] CPIV – Health Risk Assessment, Evaluation of Health Risk Assessment from the dust emissions of a Glass Container Factory, 2009.
- [169] NEPSI-Good Practice Guide, Good Practice Guide on Workers Health Protection through the Good Handling and Use of Crystalline Silica and Products Containing it, NEPSI, 2006.

- [170] N.Harris, „Cloud Chamber Scrubber”, komunikacja własna, 2009.
- [171] Tri-Mer Corporation, Cloud Chamber Scrubber, 2010.
- [172] NeR, April, Monitoring Emissions, 2003, p. 9.
- [173] SSV-Stazione Sperimentale del Vetro, „Limiti di rivelabilita' e incertezza estesa dei metodi per la misura delle emissioni”, komunikacja własna, 2010.
- [174] EURIMA position, „Eurima position on new product formulations”, komunikacja własna, 2010.
- [175] CTCV, „Detection limit values”, komunikacja własna, 2010.
- [176] TRGS 619, Substitute materials for aluminium silicate wool products, Committee on hazardous Substances – AGS management – Federal Institute for Occupational Safety and Health, 2007.
- [177] VDI 3677 Part 1, draft edition, Filtering separators, 2009.
- [178] Glass International September, „Particle size range in the waste gas of flat glass furnaces”, Glass International, 2009.
- [179] ISO, ISO 14001: 2004 http://www.iso.org/iso/iso_14000_essentials.htm, 2004.
- [180] DG Environment, What is Emas? http://ec.europa.eu/environment/emas/index_en.htm, 2010.
- [181] Reg. 1221/, Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1221/2009 z dnia 25 listopada 2009 r. w sprawie dobrowolnego udziału organizacji w systemie ek zarzadzania i audytu we Wspólnocie (EMAS), uchylające rozporządzenie (WE) nr 761/2001 oraz decyzje Komisji 2001/681/WE i 2006/193/WE, 2009.
- [182] IAF, strona internetowa International Accreditation Forum <http://www.iaf.nu>, 2010.

Komisja Europejska

EUR 25786 – Wspólne Centrum Badawcze – Instytut Perspektywicznych Studiów Technologicznych

Tytuł: Dokument referencyjny dotyczący najlepszych dostępnych technik (BAT) w zakresie produkcji szkła

Autorzy: SCALET Bianca Maria, GARCIA MUÑOZ Marcos, SISSA Aivi Querol, ROUDIER Serge, DELGADO SANCHO Luis

Luksemburg: Urząd Publikacji Unii Europejskiej

2013 - 480 str. - 21,0 x 29,7 cm

EUR - Scientific and Technical Research series - ISSN 1831-9424 (online), ISSN 1018-5593 (druk),

ISBN 978-92-79-28284-3 (pdf)

ISBN 978-92-79-28285-0 (druk)

doi:10.2791/69502

Streszczenie

Niniejszy dokument referencyjny BAT „Produkcja szkła” stanowi część serii dokumentów odzwierciedlających wyniki wymiany informacji pomiędzy państwami członkowskimi Unii Europejskiej, zainteresowanymi branżami, organizacjami pozarządowymi promującymi ochronę środowiska oraz Komisją, opracowania, dokonania przeglądu oraz, w razie potrzeby, aktualizacji dokumentów referencyjnych BAT, jak przewidziano w art. 13 ust. 1 dyrektywy. Niniejszy dokument został opublikowany przez Komisję Europejską zgodnie z art. 13 ust. 6 dyrektywy. Niniejszy dokument referencyjny BAT w zakresie produkcji szkła obejmuje następujące rodzaje działalności wymienionych w załączniku I do dyrektywy 2010/75/UE:

- działanie 3.3: wytwarzanie szkła, łącznie z włóknem szklanym, z wydajnością przetopu przekraczającą 20 ton dziennie
- działanie 3.4: wytop substancji mineralnych, łącznie z produkcją włókien mineralnych, o wydajności przekraczającej 20 ton dziennie.

Niniejszy dokument obejmuje również działania niezwiązane z wytopem i procesy na dolnych szczeblach łańcucha dostaw, które mogą być bezpośrednio związane z tymi działaniami i prowadzone w tym samym miejscu.

Ważnymi kwestiami dotyczącymi wdrażania dyrektywy 2010/75/UE w odniesieniu do produkcji szkła są: ograniczenie emisji do powietrza, efektywne wykorzystanie energii i surowców, minimalizacja ilości pozostałości z procesu, ich odzyskiwanie i ponowne wykorzystanie, jak również skuteczne wdrożenie systemów zarządzania środowiskiem i energią. Niniejszy dokument referencyjny BAT zawiera osiem rozdziałów. W rozdziałach 1 i 2 znajdują się ogólne informacje na temat przemysłu szklarskiego oraz procesów przemysłowych i technik stosowanych w tym sektorze. Rozdział 3 zawiera dane i informacje dotyczące efektywności środowiskowej czynnych w czasie sporządzania niniejszego dokumentu instalacji z tego sektora w zakresie bieżących emisji, zużycia i charakteru surowców, zużycia wody, wykorzystania energii i wytwarzania odpadów. W rozdziale 4 bardziej szczegółowo opisano techniki mające na celu zapobieganie oddziaływaniu na środowisko instalacji z tego sektora lub ograniczenie tego oddziaływania. W rozdziale 5 przedstawiono wnioski dotyczące BAT zdefiniowane w art. 3 ust. 12 dyrektywy dla ośmiu sektorów przemysłu szklarskiego: produkcji szkła opakowaniowego, szkła płaskiego, włókna szklanego ciągłego, szkła gospodarczego, szkła specjalnego, wełny mineralnej, wysokotemperaturowej wełny izolacyjnej, fryt.

Misją Wspólnego Centrum Badawczego, wewnętrznej służby Komisji zajmującej się nauką, jest dostarczanie niezależnego, opartego na dowodach wsparcia naukowego i technicznego w realizacji strategii politycznych UE podczas całego cyklu tych strategii.

Wspólne Centrum Badawcze, działając w ścisłej współpracy z dyrekcjami generalnymi ds. strategii politycznych, zajmuje się wyzwaniami kluczowymi dla społeczeństwa przy jednoczesnym stymulowaniu innowacji poprzez opracowywanie nowych standardów, metod i narzędzi oraz dzielenie się wiedzą i jej przekazywanie do państw członkowskich i społeczności międzynarodowej.

Kluczowe obszary polityki obejmują: środowisko i zmianę klimatu, energię i transport, rolnictwo i bezpieczeństwo żywności, ochronę zdrowia i konsumentów, społeczeństwo informacyjne i agendę cyfrową, ochronę i bezpieczeństwo, w tym bezpieczeństwo jądrowe – wszystkie te obszary wspierane są poprzez przekrojowe, multidyscyplinarne podejście.