



Komisja
Europejska

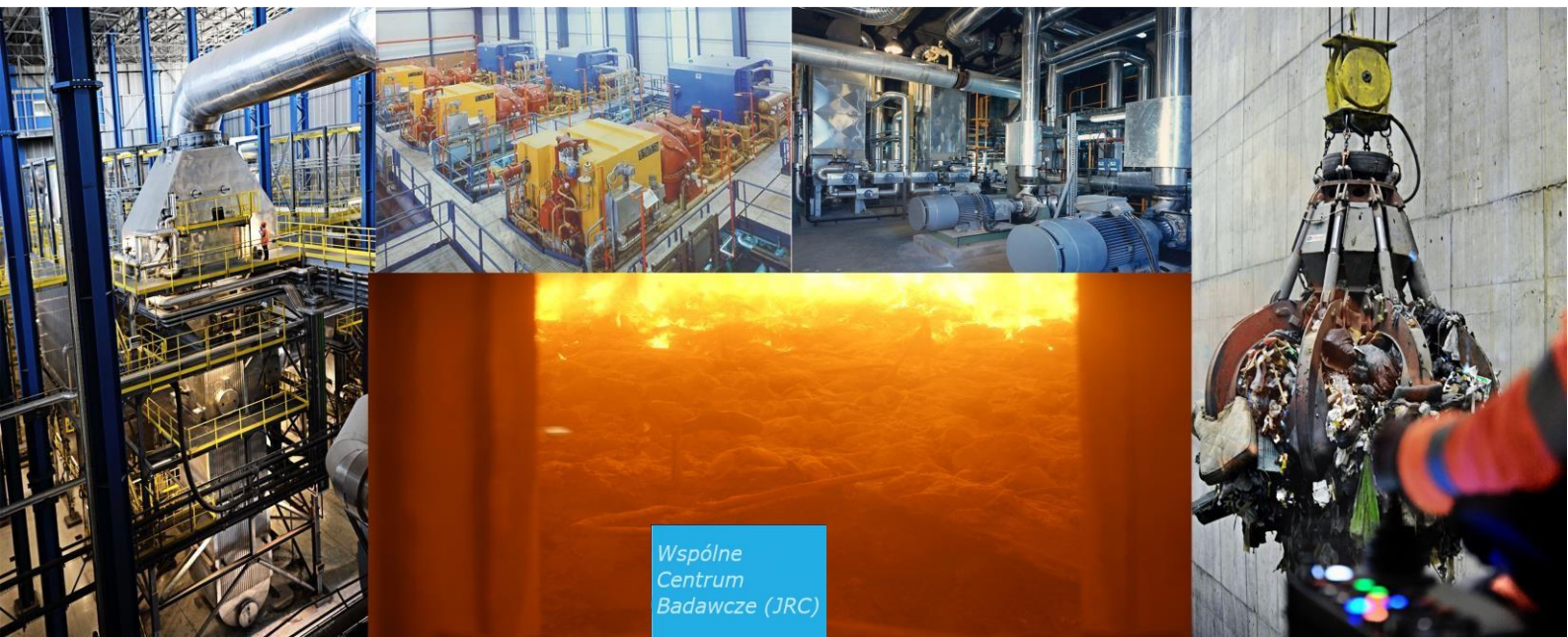
SPRAWOZDANIE JRC "NAUKA DLA POLITYKI"

Dokument referencyjny dotyczący najlepszych dostępnych technik (BAT) w zakresie spalania odpadów

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

Frederik Neuwahl, Gianluca Cusano,
Jorge Gómez Benavides, Simon Holbrook,
Serge Roudier

2019



Dokument referencyjny dotyczący najlepszych dostępnych technik (BAT) w zakresie spalania odpadów

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

Autorzy:

Frederik NEUWAHL
Gianluca CUSANO
Jorge GÓMEZ BENAVIDES
Simon HOLBROOK
Serge ROUDIER

2019

EUR 29971 EN

Niniejsza publikacja jest sprawozdaniem "Nauka dla polityki" sporządzonym przez Wspólne Centrum Badawcze (JRC), służbę Komisji Europejskiej odpowiedzialną za naukę i wiedzę. Jej celem jest zapewnienie opartego na dowodach naukowych wsparcia dla procesu kształtowania polityki europejskiej. Wyrażony dorobek naukowy nie oznacza stanowiska politycznego Komisji Europejskiej. Ani Komisja Europejska, ani żadna osoba działająca w imieniu Komisji nie ponosi odpowiedzialności za sposób wykorzystania niniejszej publikacji.

Informacje kontaktowe

Nazwa: European IPPC Bureau

Adres: Joint Research Centre, Edificio Expo c/ Inca Garcilaso 3, E-41902 Seville, Spain

E-mail: JRC-B5-EIPPCB@ec.europa.eu

Tel.: + 34 95 4488 284

JRC Science Hub

<https://ec.europa.eu/jrc>

Nota prawna

Zgodnie z decyzją Komisji z dnia 12 grudnia 2011 r. w sprawie ponownego wykorzystywania dokumentów Komisji (2011/833/UE) niniejszy dokument BREF podlega bezpłatnemu ponownemu wykorzystaniu, z wyjątkiem części objętych prawami osób trzecich, które mogą być obecne w dokumencie (takich jak ilustracje, tabele, dane, materiały pisemne, lub podobne, do których prawa muszą zostać nabyte od ich odpowiednich posiadaczy oddzielnie, celem dalszego wykorzystania. Komisja Europejska nie ponosi odpowiedzialności za jakiegokolwiek konsekwencje wynikające z ponownego wykorzystania niniejszej publikacji. Każde powtórne wykorzystanie uzależnione jest od uznania źródła i nie zniekształcenia jego oryginalnego znaczenia lub zawartej w nim wiadomości.

JRC118637

EUR 29971 EN

PDF ISBN 978-92-76-12993-6 ISSN 1831-9424 doi:10.2760/761437

Luksemburg: Urząd Publikacji Unii Europejskiej, 2019

© Unia Europejska, 2018

Tytuł raportu: Frederik Neuwahl, Gianluca Cusano, Jorge Gómez Benavides, Simon Holbrook, Serge Roudier; *Dokument referencyjny dotyczący najlepszych dostępnych technik (BAT) w zakresie spalania odpadów*; EUR 29971 EN; doi:10.2760/761437

Wszystkie obrazy © Unia Europejska 2019 z wyjątkiem zdjęć z okładki począwszy od lewej do prawej: 1. zewnętrznego ekonomizera i suchego systemu oczyszczania spalin, Torino Termovalorizzatore © TRM - Trattamento Rifiuti Metropolitan; 2. zespołu turbogeneratorów w zakładzie odzysku energii (W-t-E) w Brukseli © Archiwum CNIM - Laurent Photo; 3. wymienników płytowych oraz pompy zasilającej sieć ciepłowniczą w zakładzie W-t-E Lyon-Południe © Archiwum CNIM Grand Lyon, CNIM - Studio 36; 4. chwytaka i obsługującego go ramienia, Torino Termovalorizzatore © TRM - Trattamento Rifiuti Metropolitan; 5. spalania w piecu, zakład W-t-E Sysav © CEWEP.

Tytuł: Dokument referencyjny dotyczący najlepszych dostępnych technik (BAT) w zakresie spalania odpadów.

Streszczenie

Dokument referencyjny dotyczący najlepszych dostępnych technik (BAT) w zakresie spalania odpadów jest częścią serii dokumentów przedstawiających wyniki wymiany informacji pomiędzy państwami członkowskimi UE, zainteresowanymi branżami, organizacjami pozarządowymi promującymi ochronę środowiska oraz Komisją celem sporządzenia, przeglądu oraz, w razie potrzeby, aktualizacji dokumentów referencyjnych BAT zgodnie z wymogami art. 13(1) dyrektywy 2010/75/UE w sprawie emisji przemysłowych (zwanej dalej "Dyrektywą"). Niniejszy dokument publikowany jest przez Komisję Europejską zgodnie z art. 13(6) Dyrektywy.

Dokument BREF dotyczący spalania odpadów obejmuje unieszkodliwianie lub odzyskiwanie odpadów w spalarniach i współspalarniach odpadów oraz przetwarzanie żużli i/lub popiołów paleniskowych pochodzących ze spalania odpadów.

Kwestie istotne dla wdrożenia dyrektywy 2010/75/UE w sektorze spalania odpadów (WI) obejmują emisje do powietrza, emisje do wody oraz efektywność odzysku energii i materiałów z odpadów. W rozdziale 1 przedstawiono ogólne informacje na temat sektora "WI". Rozdział 2 zawiera informacje na temat procesów oraz ogólnych technik powszechnie stosowanych w całym sektorze SO w odniesieniu do: przetwarzania wstępnego, magazynowania oraz postępowania z różnego rodzaju odpadami; przetwarzania termicznego; odzysku energii; oczyszczania spalin; oczyszczania ścieków i pozostałości stałych. W rozdziale 3 przedstawiono aktualne poziomy emisji i konsumpcji zgłaszane przez sektor WI. Techniki, które należy uwzględnić przy ustalaniu BAT (tj. techniki powszechnie stosowane w sektorze WI), przedstawiono w rozdziale 4. W rozdziale 5 przedstawiono konkluzje dotyczące BAT, zgodnie z art. 3(12) Dyrektywy. W rozdziale 6 przedstawiono informacje na temat "nowych technik" zgodnie z definicją z art. 3(14) Dyrektywy. Rozdział 7 zawiera uwagi końcowe oraz zalecenia dotyczące przyszłych prac.

Podziękowania

Raport ten został opracowany przez Europejskie Centrum Zintegrowanego Zapobiegania i Kontroli Zanieczyszczeń (EIPPCB) przy Wspólnym Centrum Badawczym Komisji Europejskiej - Dyrekcja B „Wzrost i Innowacje”, pod nadzorem Serge'a Roudiera (dyrektora EIPPCB) i Luisa Delgado Sancho (kierownika działu ds. gospodarki o obiegu zamkniętym i wiodącej pozycji w przemyśle).

Autorami niniejszego dokumentu referencyjnego dotyczącego najlepszych dostępnych technik (BREF) są: Frederik Neuwahl, Gianluca Cusano, Jorge Gómez Benavides oraz Simon Holbrook.

Niniejsze sprawozdanie zostało sporządzone w ramach wdrażania dyrektywy w sprawie emisji przemysłowych (2010/75/UE) i jest wynikiem wymiany informacji przewidzianej w art. 13 Dyrektywy.

Głównymi dostawcami informacji byli:

- spośród państw członkowskich UE: Austria, Belgia, Czechy, Dania, Finlandia, Francja, Niemcy, Włochy oraz Holandia;
- spośród krajów EOG: Norwegia
- spośród organizacji przemysłowych: CEWEP (Confederation of European Waste-to-Energy Plants – Konfederacja Europejskich Spalarni Odpadów z Odzyskiem Energii), ESWET (European Suppliers of Waste to Energy Technology – Europejscy Dostawcy Technologii do Termicznego Odzysku Energii), FEAD (European Federation for Waste Management and Environmental Services – Europejska Federacja Gospodarki Odpadami), HWE (Hazardous Waste Europe), Eurits (European Union for Responsible Incineration and Treatment of Special Waste), CEFIC (European Chemical Industry Council);
- spośród organizacji pozarządowych działających na rzecz ochrony środowiska: EEB (Europejskie Biuro Ochrony Środowiska).

Pozostali uczestnicy w procesie przygotowania niniejszego przeglądu to: Węgry, Irlandia, Malta, Portugalia, Rumunia, Cembureau (the European Cement Association), CEPI (Confederation of European Paper Industries), ESPP (European Sustainable Phosphorus Platform), Eurelectric (the Union of the Electricity Industry), Eurometaux (European Non-ferrous Metals Association), Euroheat & Power, FIR (Fédération Internationale du Recyclage), IMA Europe (the European Industrial Minerals Association), Orgalim (Europe's Technology Industries)

Cały zespół EIPPCB przyczynił się do opracowania oraz recenzji niniejszego dokumentu.

Dokument został przygotowany przez Annę Atkinson oraz sformatowany przez Ricka Nowfera.

Niniejszy dokument jest jednym z serii przewidywanych do opracowania sprawozdań wymienionych poniżej (w momencie jego tworzenia jeszcze nie wszystkie zostały przygotowane):

Dokument referencyjny dotyczący najlepszych dostępnych technik (BREF)	Kod
Przemysł ceramiczny	CER
Wspólne systemy oczyszczania/zagospodarowywania ścieków i gazów odlotowych w sektorze chemicznym	CWW
Oczyszczanie gazów odlotowych w sektorze chemicznym	WGC
Emisje pochodzące z magazynowania	EFS
Efektywność energetyczna	ENE
Przemysł przetwórstwa metali żelaznych	FMP
Przemysł spożywczy, mleczarski i produkcji napojów	FDM
Przemysłowe systemy chłodzenia	ICS
Intensywny chów i hodowla drobiu lub świń	IRPP
Produkcja żelaza i stali	IS
Duże obiekty energetycznego spalania	LCP
Wielkotonażowa produkcja związków nieorganicznych - amoniak, kwasy i nawozy	LVICAAF
Wielkotonażowa produkcja związków nieorganicznych - przemysł substancji stałych i innych	LVIC-S
Wielkotonażowa produkcja związków organicznych	LVOC
Zarządzanie osadami i odpadami w działalności górniczej	MTWR
Przemysł szklarski	GLS
Produkcja związków organicznych głęboko przetworzonych	OFC
Przemysł metali nieżelaznych	NFM
Produkcja cementu, wapna i tlenku magnezu	CLM
Przemysł chloro-alkaliczny	CAK
Produkcja polimerów	POL
Przemysł celulozowo-papierniczy	PP
Produkcja płyt drewnopochodnych	WBP
Rafinacja ropy naftowej i gazu ziemnego	REF
Rzeźnie i zwierzęce produkty uboczne	SA
Kuźnie i odlewnie	SF
Obróbka powierzchniowa metali i materiałów z tworzyw sztucznych	STM
Obróbka powierzchni z wykorzystaniem rozpuszczalników organicznych (w tym konserwacja środkami chemicznymi do drewna oraz produktów z drewna)	STS
Garbarstwo	TAN
Przemysł tekstylny	TXT
<i>Spalanie odpadów</i>	<i>WI</i>
Przetwarzanie odpadów	WT
Dokument referencyjny (REF)	
Aspekty ekonomiczne i skutki przenoszenia zanieczyszczeń pomiędzy komponentami środowiska	ECM
Ogólne zasady monitoringu	ROM

Wersje elektroniczne projektów oraz dokumentów końcowych są dostępne publicznie i można je pobrać ze strony <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu> .

PRZEDMOWA

1. Status dokumentu

O ile nie określono inaczej, odniesienie do słowa "dyrektywa" w niniejszym dokumencie odnosi się do dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/75/UE w sprawie emisji przemysłowych (zintegrowane zapobieganie zanieczyszczeniom i ich kontrola) (wersja przekształcona).

Pierwotny dokument referencyjny dotyczący najlepszych dostępnych technik (BAT) w zakresie spalania odpadów (BREF) został przyjęty przez Komisję Europejską w 2006 r. Niniejszy raport jest wynikiem przeglądu tego dokumentu, który rozpoczął się w maju 2014 r.

Niniejszy dokument referencyjny BAT dotyczący spalania odpadów stanowi część serii przedstawiającej wyniki wymiany informacji pomiędzy państwami członkowskimi UE, zainteresowanymi branżami, organizacjami pozarządowymi działającymi na rzecz ochrony środowiska oraz Komisją w celu sporządzenia, przeglądu, a w razie potrzeby aktualizacji dokumentów referencyjnych BAT zgodnie z wymogami art. 13(1) Dyrektywy. Niniejszy dokument został opublikowany przez Komisję Europejską zgodnie z art. 13(6) Dyrektywy.

Jak określono w art. 13(5) Dyrektywy, decyzja wykonawcza Komisji (UE) 2019/2010/UE w sprawie konkluzji dotyczących BAT zawartych w rozdziale 5 została przyjęta 12 listopada 2019 r. oraz opublikowana 3 grudnia 2019 r.¹

2. Uczestnicy wymiany informacji

Zgodnie z wymogami art. 13(3) Dyrektywy Komisja ustanowiła forum wymiany informacji, w skład którego wchodzi przedstawiciele państw członkowskich, zainteresowanych branż oraz organizacji pozarządowych promujących ochronę środowiska (decyzja Komisji z dnia 16 maja 2011 r. ustanawiająca forum wymiany informacji zgodnie z art. 13 dyrektywy 2010/75/UE w sprawie emisji przemysłowych (2011/C 146/03, Dz.U. C 146 z 17.5.2011, s. 3)).

Członkowie Forum nominowali ekspertów tworzących techniczną grupę roboczą (TWG), która była głównym źródłem informacji przy opracowywaniu niniejszego dokumentu. Prace technicznej grupy roboczej były prowadzone przez Europejskie Biuro IPPC (w ramach Wspólnego Centrum Badawczego Komisji).

3. Struktura oraz zawartość niniejszego dokumentu

W rozdziałach 1 i 2 przedstawiono ogólne informacje na temat danego sektora przemysłowego oraz procesów w nim stosowanych.

Rozdział 3 zawiera dane oraz informacje dotyczące efektywności środowiskowej instalacji stosowanych w ramach sektora oraz działających w czasie sporządzania sprawozdania, w zakresie bieżących emisji, charakteru i zużycia surowców, wykorzystania wody, zużycia energii oraz wytwarzanych odpadów.

W rozdziale 4 opisano bardziej szczegółowo techniki zapobiegania oddziaływaniu na środowisko instalacji danego sektora, uwzględnionych przy ustalaniu BAT lub, w przypadku gdy nie było to możliwe, techniki ograniczania takiego oddziaływania. Informacje te obejmują poziomy efektywności środowiskowej (np. poziomy emisji i zużycia), które można osiągnąć przy użyciu danych technik, związane z nimi monitorowanie oraz koszty wzajemnych powiązań pomiędzy różnymi komponentami środowiska związane z tymi technikami.

¹ Dz. U. L 312, 03.12.2019, s. 55.

W rozdziale 5 przedstawiono konkluzje dotyczące BAT, zgodnie z definicją zawartą w art. 3(12) Dyrektywy.

Rozdział 6 przedstawia informacje na temat "nowych technik", zgodnie z definicją zawartą w art. 3(14) Dyrektywy.

Końcowe uwagi oraz zalecenia dotyczące przyszłych prac przedstawiono w rozdziale 7.

4. Źródła informacji oraz ustalanie BAT

Niniejszy dokument opiera się na informacjach zebranych z wielu źródeł, w szczególności za pośrednictwem technicznej grupy roboczej, która została ustanowiona na mocy art. 13 Dyrektywy specjalnie z myślą o wymianie informacji. Informacje te zostały zebrane i ocenione przez Europejskie Biuro IPPC (Wspólnego Centrum Badawczego Komisji), które kierowało pracami nad określeniem BAT, opierając się na zasadach wiedzy technicznej, przejrzystości i neutralności. Praca technicznej grupy roboczej oraz wszystkich pozostałych uczestników jest godna uznania.

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

- określenie kwestii środowiskowych kluczowych dla sektora spalania odpadów;
- znalezienie najbardziej odpowiednich Technik rozwiązujących te kwestie;
- określenie najlepszych poziomów efektywności środowiskowej, na podstawie danych dostępnych w Unii Europejskiej i na świecie;
- zbadanie warunków, w których osiągnięto wspomniane wyżej poziomy efektywności środowiskowej, takich jak koszty, wzajemne powiązania pomiędzy różnymi komponentami środowiska oraz główne siły napędowe zaangażowane we wdrażanie technik;
- wybór najlepszych dostępnych technik (BAT), powiązanych z nimi poziomów emisji (oraz innych poziomów efektywności środowiskowej) a także związane z tym monitorowanie dla danego sektora zgodnie z art. 3(10) Dyrektywy i załącznikiem III do niej.

Ekspertyza europejskiego biura IPPC oraz technicznej grupy roboczej odegrała kluczową rolę w każdym z tych etapów oraz w sposobie przedstawienia niniejszej informacji.

Tam, gdzie to możliwe, podano dane ekonomiczne wraz z opisami technik przedstawionych w wyżej wymienionych sekcjach. Dane te w przybliżeniu wskazują wielkość kosztów oraz korzyści. Jednak rzeczywiste koszty i korzyści wynikające z zastosowania danej techniki mogą w dużym stopniu zależeć od konkretnej sytuacji danego zakładu, której nie można w pełni ocenić w niniejszym dokumencie. Wobec braku danych dotyczących kosztów, konkluzje dotyczące ekonomicznej żywotności techniki wyciągane są z obserwacji istniejących zakładów.

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

BAT to koncepcja dynamiczna, dlatego przegląd dokumentów BREF jest procesem ciągłym. Na przykład, mogą pojawić się nowe środki i techniki, nauka i technologie stale się rozwijają, a nowe lub powstające procesy są z powodzeniem wprowadzane do przemysłu. W celu odzwierciedlenia takich zmian i ich konsekwencji dla BAT, niniejszy dokument będzie okresowo poddawany przeglądowi a w razie potrzeby odpowiednio aktualizowany.

6. Dane kontaktowe

Wszelkie uwagi i sugestie należy kierować do Europejskiego Biura IPPC Wspólnego Centrum Badawczego pod następującym adresem:

European Commission
Joint Research Centre (JRC)
Directorate B – Growth and Innovation
Circular Economy and Industrial Leadership Unit
European IPPC Bureau Edificio Expo c/ Inca Garcilaso, 3 E-41092 Seville, Spain
Telefon: +34 95 4488 284
Fax: +34 95 4488 426
E-mail: JRC-B5-EIPPCB@ec.europa.eu
Internet: <http://eippcb.jrc.ec.europa.eu>

Dokument referencyjny dotyczący najlepszych dostępnych technik (BAT) w zakresie spalania odpadów

Spis treści

PRZEDMOWA	i
ZAKRES	xxxii
1. OGÓLNE INFORMACJE O SPALANIU ODPADÓW	1
1.1 Cel spalania oraz podstawowe koncepcje.	1
1.2 Przegląd stosowanych w Europie technologii spalania odpadów	3
1.3 Wielkość zakładów.....	7
1.4 Skład odpadów oraz projektowanie procesu	8
1.5 Kluczowe kwestie środowiskowe.....	10
1.5.1 Emisje do powietrza i wody	10
1.5.2 Wytwarzanie pozostałości oraz materiałów do odzysku	11
1.5.3 Hałas	12
1.5.4 Produkcja oraz konsumpcja energii.....	12
1.5.5 Zużycie surowców i energii.....	14
1.6 Informacje ekonomiczne	15
2. STOSOWANE PROCESY ORAZ TECHNIKI	20
2.1 Przegląd i wprowadzenie.....	20
2.2 Techniki przetwarzania wstępnego, magazynowania oraz postępowania z odpadami	21
2.2.1 Stałe odpady komunalne (MSW) i im podobne	21
2.2.1.1 Zbiórka oraz przetwarzanie wstępne poza spalarnią MSW	21
2.2.1.2 Przetwarzanie wstępne stałych odpadów komunalnych na terenie spalarni	22
2.2.1.3 Dostarczanie oraz magazynowanie odpadów	23
2.2.1.3.1 Kontrola przychodzących odpadów	23
2.2.1.3.2 Bunkier.....	23
2.2.2 Odpady niebezpieczne.....	24
2.2.2.1 Przyjmowanie odpadów	25
2.2.2.2 Magazynowanie..... Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.	
2.2.2.2.1 Magazynowanie stałych odpadów niebezpiecznych.....	27
2.2.2.2.2 Magazynowanie pompowalnych odpadów niebezpiecznych	27
2.2.2.2.3 Magazynowanie kontenerów oraz kontenerów-cystern.....	27
2.2.2.3 Wsad i przetwarzanie wstępne	28
2.2.3 Osady ściekowe	29
2.2.3.1 Skład osadów ściekowych	29
2.2.3.2 Przetwarzanie wstępne osadów ściekowych	29
2.2.3.2.1 Mechaniczne odwadnianie	30
2.2.3.2.2 Suszenie	30
2.2.3.2.3 Degradacja (rozkład, fermentacja) osadów	31
2.2.4 Odpady medyczne	31
2.2.4.1 Charakterystyka oraz skład odpadów medycznych.....	31
2.2.4.2 Postępowanie, przetwarzanie wstępne oraz magazynowanie odpadów medycznych	32
2.3 Etap przetwarzania termicznego.....	33
2.3.1 Spalarnie rusztowe.....	35
2.3.1.1 Wprowadzanie odpadów	36
2.3.1.1.1 Dodawanie osadów ściekowych do spalarni odpadów komunalnych	36
2.3.1.1.2 Dodawanie odpadów medycznych do spalarni odpadów komunalnych..	37
2.3.1.2 Ruszt paleniskowy (spopielania)	39
2.3.1.2.1 Ruszty kołysane (<i>rocking grate</i>)	40
2.3.1.2.2 Ruszty posuwisto-zwrotne/tłokowe (<i>reciprocating grates</i>).....	40
2.3.1.2.3 Ruszty jezdne/taśmowe (<i>travelling grates</i>).....	40

2.3.1.2.4	Ruszty rolkowe (<i>roller grates</i>).....	40
2.3.1.3	Odprowadzanie popiołów paleniskowych.....	41
2.3.1.4	Komora spalania oraz kocioł.....	42
2.3.1.5	Podawanie powietrza do spalania.....	44
2.3.1.6	Temperatura spalania, czas przebywania i zawartość tlenu	45
2.3.1.7	Palniki dodatkowe	45
2.3.2	Piece obrotowe	45
2.3.3	Złoża fluidalne.....	49
2.3.3.1	Spalanie osadów ściekowych w stałym (lub pęcherzykowym) złożu fluidalnym 51	
2.3.3.2	Cyrkulacyjne złożo fluidalne (CFB) do osadów ściekowych.....	53
2.3.3.3	Piec z rusztem rozdzielającym	54
2.3.3.4	Rotacyjne (obrotowe) złożo fluidalne.....	54
2.3.4	Systemy pirolizy i zgazowania.....	55
2.3.4.1	Wprowadzenie do pirolizy oraz zgazowania.....	55
2.3.4.2	Zgazowanie.....	55
2.3.4.3	Piroliza.....	57
2.3.4.3.1	Przykłady procesów pirolizy.....	58
2.3.4.4	Kombinacje procesów	59
2.3.4.4.1	Piroliza - spalanie.....	59
2.3.4.4.2	Piroliza - zgazowanie.....	62
2.3.4.4.3	Zgazowanie - spalanie.....	63
2.3.5	Inne techniki	66
2.3.5.1	Komory spalania odpadów płynnych i gazowych.....	66
2.3.5.2	Spalanie odpadów płynnych i gazowych zawierających chlor z odzyskiem HCl	67
2.3.5.3	Spalanie odpadów ciekłych zawierających chlor z recyklingiem chloru	69
2.3.5.4	Spalanie ścieków	70
2.3.5.5	Procesy plazmowe	72
2.4	Etap odzysku energii	75
2.4.1	Wprowadzenie oraz zasady ogólne	75
2.4.2	Czynniki zewnętrzne wpływające na efektywność energetyczną	76
2.4.2.1	Rodzaj i charakter odpadów	76
2.4.2.2	Wpływ lokalizacji zakładu na odzysk energii	77
2.4.2.3	Czynniki brane pod uwagę przy wyborze projektu cyklu energetycznego .	77
2.4.3	Efektywność energetyczna spalarni odpadów.....	78
2.4.3.1	Zewnętrzna energia elektryczna dostarczana do spalarni odpadów	79
2.4.3.2	Energia wyprodukowana w spalarniach odpadów	79
2.4.4	Procesy stosowane celem usprawnienia odzysku energii.....	80
2.4.4.1	Wstępne przetwarzanie wsadu odpadów	80
2.4.4.2	Kotły oraz transfer (przesyłanie ciepła).....	80
2.4.4.2.1	Korozja w kotłach.....	83
2.4.4.3	Wstępne podgrzanie powietrza spalającego	84
2.4.4.4	Rusztzy chłodzone wodą.....	85
2.4.4.5	Kondensacja spalin	85
2.4.4.6	Pompy ciepła	85
2.4.4.6.1	Sprężarkowe pompy ciepła	86
2.4.4.6.2	Absorpcyjne pompy ciepła	86
2.4.4.6.3	Otwarte pompy ciepła.....	86
2.4.4.6.4	Przykładowe dane różnych typów pomp ciepła.....	86
2.4.4.7	Recyrkulacja spalin	87
2.4.4.8	Odzysk ciepła wykorzystywanego do ponownego ogrzania spalin do temperatury pracy urządzeń FGC	87
2.4.4.9	Usprawnienie cyklu para-woda - wpływ na wydajność oraz inne aspekty .	87
2.5	Stosowane systemy oczyszczania i kontroli spalin	89

2.5.1	Podsumowanie stosowanych technik FGC.....	89
2.5.2	Przegląd kombinowanych systemów FGC.....	91
2.5.3	Techniki redukcji emisji pyłów	91
2.5.3.1	Filtry elektrostatyczne (elektrofiltry, ESP).....	92
2.5.3.2	Filtry elektrostatyczne mokre	92
2.5.3.3	Filtry elektrostatyczne kondensacyjne.....	92
2.5.3.4	Jonizacyjna płuczka gazowa mokra	93
2.5.3.5	Filtry workowe	94
2.5.3.6	Cyklony i multicyklony	96
2.5.3.7	Płuczki Venturiego (płuczki gazowe zwężkowe).....	97
2.5.4	Techniki redukcji gazowej postaci kwasów (np. HCl, HF czy SO _x)	97
2.5.4.1	Procesy mokre	97
2.5.4.2	Procesy półmokre	99
2.5.4.3	Procesy suche	100
2.5.4.4	Bezpośrednie odsiarczanie	101
2.5.4.5	Wybór alkalicznego (zasadowego) odczynnika	102
2.5.5	Techniki redukcji emisji tlenków azotu (NO _x)	104
2.5.5.1	Podstawowe techniki redukcji NO _x	105
2.5.5.1.1	Zasilanie w powietrze, mieszanie gazów oraz kontrola temperatury.....	105
2.5.5.1.2	Recyrkulacja spalin.....	106
2.5.5.1.3	Wtrysk tlenu.....	106
2.5.5.1.4	Spalanie etapowe	106
2.5.5.1.5	Wtrysk gazu ziemnego (stopniowane podawanie paliwa).....	106
2.5.5.1.6	Wtrysk wody do pieca/płomienia	106
2.5.5.2	Dodatkowe techniki redukcji NO _x	106
2.5.5.2.1	Proces selektywnej redukcji niekatalitycznej (SNCR)	107
2.5.5.2.2	Proces selektywnej redukcji katalitycznej (SCR)	110
2.5.6	Techniki redukcji emisji rtęci.....	111
2.5.6.1	Techniki podstawowe.....	111
2.5.6.2	Techniki dodatkowe	111
2.5.7	Techniki redukcji emisji innych metali	113
2.5.8	Techniki redukcji emisji organicznych związków węgla.....	113
2.5.8.1	Adsorpcja na odczynnika z węglem aktywnym w napowietrznych systemach przepływowych.....	113
2.5.8.2	Systemy SCR.....	114
2.5.8.3	Katalityczne filtry workowe	114
2.5.8.4	Dopalanie (ponowne spalanie) adsorbentów węglowych.....	114
2.5.8.5	Zastosowanie do adsorpcji PCDD/F tworzyw sztucznych impregnowanych węglem	114
2.5.8.6	Stałe lub ruchome złoża filtracyjne	115
2.5.8.7	Szybkie schładzanie (hartowanie) spalin.....	116
2.5.9	Redukcja gazów cieplarnianych (CO ₂ , N ₂ O).....	116
2.5.9.1	Zapobieganie emisji podtlenku azotu (N ₂ O)	116
2.6	Techniki przetwarzania ścieków	117
2.6.1	Zasady projektowania w dziedzinie kontroli ścieków.....	117
2.6.2	Wpływ systemów oczyszczania spalin na ścieki.....	117
2.6.3	Przetwarzanie ścieków pochodzących z systemów oczyszczania spalin na mokro	118
2.6.3.1	Przetwarzanie fizyczno-chemiczne	118
2.6.3.2	Stosowanie siarczków	120
2.6.3.3	Zastosowanie technologii membranowej	120
2.6.3.4	Usuwanie amoniaku	120
2.6.3.5	Oddzielne przetwarzanie ścieków pochodzących z pierwszego oraz ostatniego etapu systemu płukania.....	120
2.6.3.6	Biologiczne przetwarzanie beztlenowe (konwersja siarczanów na siarkę elementarną).....	121

2.6.3.7	Systemy odparowywania ścieków procesowych.....	121
2.6.3.7.1	Odparowanie w ramach procesu	121
2.6.3.7.2	Oddzielne odparowanie	122
2.6.3.8	Usuwanie lub odparowywanie kwasu solnego.....	123
2.6.4	Przetwarzanie ścieków w spalarniach odpadów niebezpiecznych	124
2.7	Techniki przetwarzania stałych pozostałości	127
2.7.1	Rodzaje stałych pozostałości.....	127
2.7.1.1	Pozostałości bezpośrednio powstające w procesie spalania.....	127
2.7.1.2	Pozostałości powstałe w procesie FGC.....	128
2.7.2	Obróbka oraz recykling stałych pozostałości pochodzących bezpośrednio z procesu spalania	129
2.7.3	Przetwarzanie pozostałości po oczyszczeniu spalin.....	130
2.8	Środki oraz urządzenia zabezpieczające.....	132
3.	BIEŻĄCE POZIOMY EMISJI ORAZ ZUŻYCIA	134
3.1	Wprowadzenie.....	135
3.1.1	Przegląd substancji w strumieniach wylotowych ze spalarni odpadów	136
3.1.2	Przykłady bilansu dioksyn dla MSWI.....	138
3.1.3	Skład nieprzetworzonych spalin w spalarniach odpadów	139
3.2	Emisje do powietrza (atmosfery).....	141
3.2.1	Substancje emitowane do powietrza	141
3.2.2	Emisje do powietrza z zakładu spalania odpadów (spalarni).....	146
3.2.2.1	Emisje do powietrza pochodzące ze spalania stałych odpadów komunalnych oraz odpadów innych niż niebezpieczne	151
3.2.2.2	Emisje do powietrza pochodzące ze spalania osadów ściekowych.....	180
3.2.2.3	Emisje do powietrza pochodzące ze spalania odpadów niebezpiecznych.....	195
3.2.2.4	Emisje do powietrza pochodzące ze spalania odpadów medycznych.....	212
3.2.3	Emisje do wody	213
3.2.3.1	Objętości ścieków pochodzących z oczyszczania spalin.....	213
3.2.3.2	Inne potencjalne źródła ścieków pochodzące z spalarni odpadów.....	214
3.2.3.3	Zakłady nie uwalniające wody procesowej.....	216
3.2.3.4	Zakłady odprowadzające ścieki.....	216
3.3	Stałe pozostałości	236
3.3.1	Masowe strumienie stałych pozostałości.....	236
3.3.2	Skład i wymywalność stałych pozostałości.....	236
3.3.3	Spalanie popiołu paleniskowego/przetwarzanie żużla	247
3.3.3.1	Strumienie masowe	Błąd! Nie zdefiniowano zakładki.
3.3.3.2	Emisje do powietrza	251
3.3.3.3	Emisje do wody	251
3.3.3.4	Zużycie energii	253
3.4	Zużycie oraz produkcja (wytwarzanie) energii	258
3.4.1	Obliczanie efektywności energetycznej spalarni odpadów	259
3.4.2	Dane dotyczące odzysku energii z odpadów.....	261
3.4.2.1	Dane dotyczące odzysku energii elektrycznej.....	263
3.4.2.2	Dane dotyczące odzysku energii (cieplnej lub ciepłej i elektrycznej).....	264
3.4.2.3	Dane dotyczące efektywności kotła	265
3.4.3	Dane dotyczące zużycia energii przez proces	265
3.5	Hałas.....	273
3.6	Inne wykorzystywane zasoby.....	274
3.6.1	Woda	274
3.6.2	Inne zużywane materiały oraz paliwa	274
3.6.2.1	Neutralizery	275
3.6.2.2	Odczynniki usuwające NO _x	275
3.6.2.3	Olej opałowy i gaz ziemny	276
3.6.2.4	Dane z badania ankietowego komercyjnych spalarni odpadów niebezpiecznych.....	276

4.	TECHNIKI DO ROZWAŻENIA PRZY OKREŚLANIU BAT	277
4.1	Technologie organizacyjne sprzyjające ochronie środowiska.....	278
4.1.1	System zarządzania środowiskowego (EMS).....	278
4.1.2	Zapewnienie ciągłości pracy instalacji WI.....	281
4.2	Techniki operacyjne mające na celu poprawę efektów działalności środowiskowej	283
4.2.1	Kontrola jakości przychodzących odpadów	283
4.2.1.1	Ustanowienie ograniczeń dotyczących wsadu odpadów oraz identyfikacja kluczowego ryzyka	283
4.2.1.2	Komunikacja z dostawcami celem poprawy kontroli jakości odpadów przychodzących.....	285
4.2.1.3	Kontrola jakości wsadu odpadów na terenie spalarni.....	286
4.2.1.4	Kontrola, pobieranie próbek oraz testowanie przywożonych odpadów	287
4.2.1.5	Detektory substancji radioaktywnych	289
4.2.2	Magazynowanie odpadów	290
4.2.2.1	Powierzchnie nieprzepuszczalne (izolujące), kontrolowane odprowadzanie wody oraz odporność na warunki atmosferyczne	291
4.2.2.2	Wystarczająca pojemność magazynowa	292
4.2.2.3	Usuwanie powietrza z magazynów celem kontroli odorów, pyłów i emisji rozproszonych	293
4.2.2.4	Segregacja według rodzaju odpadów dla ich bezpiecznego przetwarzania	295
4.2.2.5	Korzystanie z systemów wykrywania (detekcji) i gaszenia pożarów.....	297
4.2.3	Przetwarzanie wstępne przychodzących odpadów, transfer oraz załadunek.....	298
4.2.3.1	Przetwarzanie wstępne, mieszanie oraz łączenie odpadów	298
4.2.3.2	Bezpośredni wtrysk odpadów płynnych i gazowych.....	301
4.3	Obróbka termiczna	302
4.3.1	Stosowanie modelowania przepływu	306
4.3.2	Konstrukcja zwiększająca turbulencje w obszarze spalania wtórnego.....	307
4.3.3	Wybór oraz stosowanie odpowiednich systemów i parametrów kontroli spalania	308
4.3.4	Optymalizacja dopływu i dystrybucji powietrza pierwotnego i wtórnego	313
4.3.5	Wstępne podgrzewanie powietrza pierwotnego i wtórnego	314
4.3.6	Zastąpienie części powietrza wtórnego spalinami z recyrkulacji.....	316
4.3.7	Stosowanie powietrza wzbogaconego w tlen	317
4.3.8	Spalanie w wyższych temperaturach (żużlowanie)	320
4.3.9	Zwiększanie wypalenia odpadów	322
4.3.10	Zmniejszanie przesiewu przez ruszt	324
4.3.11	Zastosowanie niskich prędkości gazu w piecu oraz włączenie pustych przejść przed sekcją konwekcyjną kotła.....	325
4.3.12	Określenie wartości opałowej odpadów i jej wykorzystanie jako parametru kontrolnego spalania	326
4.4	Techniki mające na celu zwiększenie odzysku energii	327
4.4.1	Optymalizacja ogólnej efektywności energetycznej oraz odzysku energii	327
4.4.2	Redukcja objętości spalin	333
4.4.3	Redukcja ogólnego zużycia energii procesowej.....	334
4.4.4	Wybór turbiny	336
4.4.5	Podwyższenie parametrów pary oraz zastosowanie specjalnych materiałów celem zmniejszenia korozji w kotłach	338
4.4.6	Redukcja ciśnienia w chłodnicy (tj. zwiększenie podciśnienia).....	340
4.4.7	Optymalizacja konstrukcji kotła	343
4.4.8	Stosowanie kotła zintegrowanego z piecem	344
4.4.9	Stosowanie przegrzewacza płytowego	345
4.4.10	Niskotemperaturowe spalinowe wymienniki ciepła	347
4.4.11	Stosowanie płuczek kondensacyjnych spalin	349
4.4.12	Stosowanie pomp ciepła do zwiększenia odzysku ciepła.....	352
4.4.13	Specjalne konfiguracje cyklu wodno-parowego z zewnętrznymi elektrowniami	353
4.4.14	Skuteczne czyszczenie wiązek konwekcyjnych	355

4.5	Techniki oczyszczania spalin oraz zapobieganie emisjom do powietrza	357
4.5.1	Czynniki, które należy uwzględnić przy wyborze systemów oczyszczania spalin.....	357
4.5.1.1	Czynniki podstawowe	357
4.5.1.2	Optymalizacja energetyczna.....	357
4.5.1.3	Ogólna optymalizacja oraz podejście "systemowe"	358
4.5.1.4	Wybór techniki dla nowych lub istniejących instalacji	358
4.5.2	Techniki ograniczające emisje pyłu	358
4.5.2.1	Etap wstępnego odpylania przed przystąpieniem do przetwarzania spalin.....	359
4.5.2.2	Dodatkowe odpylanie.....	362
4.5.3	Techniki redukcji emisji gazów kwaśnych.....	365
4.5.3.1	Systemy płukania na mokro	365
4.5.3.2	Systemy płukania półmokrego	369
4.5.3.3	Suche systemy FGC	373
4.5.3.4	Dodanie płukania na mokro jako systemu "polerowania" spalin po zastosowaniu innych technik FGC.....	376
4.5.3.5	Recyrkulacja pozostałości z systemu FGC.....	377
4.5.3.6	Bezpośrednie dodawanie do odpadów odczynników alkalicznych (bezpośrednie odsiarczanie).....	380
4.5.3.7	Wtrysk odczynników alkalicznych do kotła (wtrysk wysokotemperaturowy).....	381
4.5.3.8	Kombinacja absorbera półmokrego oraz systemu wtrysku suchego	382
4.5.3.9	Wykorzystanie monitoringu gazów kwaśnych do optymalizacji procesów FGC	383
4.5.4	Techniki zmniejszania emisji tlenków azotu (NO _x).....	384
4.5.4.1	Palniki o niskiej emisji NO _x do odpadów płynnych	384
4.5.4.2	Zastąpienie powietrza wtórnego spalinami z recyrkulacji.....	385
4.5.4.3	Selektywna redukcja niekatalityczna (SNCR).....	385
4.5.4.4	Selektywna redukcja katalityczna (SCR)	389
4.5.4.5	SCR w katalitycznym filtrze workowym	394
4.5.5	Techniki redukcji związków organicznych, w tym polichlorowanych dibenzo-p-dioksyn i furanów (PCDD/F), oraz emisja polichlorowanych bifenyli (PCB)	395
4.5.5.1	Podstawowe techniki zapobiegania lub redukcji emisji związków organicznych, w tym PCDD/F oraz PCB.....	395
4.5.5.2	Unikanie reformingu PCDD/F w systemie FGC	396
4.5.5.3	Niszczenie PCDD/F za pomocą SCR.....	397
4.5.5.4	Niszczenie PCDD/F przy użyciu katalitycznych filtrów workowych	399
4.5.5.5	Adsorpcja PCDD/F poprzez wtrysk węgla aktywnego lub innych adsorbentów	400
4.5.5.6	Adsorpcja PCDD/F z użyciem złoża stałego (fixed-bed).....	401
4.5.5.7	Zastosowanie materiałów impregnowanych węglem do adsorpcji PCDD/F w płuczkach gazowych mokrych	404
4.5.5.8	Stosowanie zawiesin węglowych w płuczkach gazowych mokrych	405
4.5.6	Techniki redukcji emisji rtęci.....	406
4.5.6.1	Płukanie na mokro o niskim pH z wtryskiem dodatków	406
4.5.6.2	Adsorpcja rtęci poprzez wtrysk węgla aktywnego	407
4.5.6.3	Zastosowanie do "polerowania" spalin kondensatora (skraplacza).....	410
4.5.6.4	Wstrzyknięcie chlorynu celem kontroli rtęci elementarnej	411
4.5.6.5	Dodawanie do płuczek gazowych mokrych nadtlenu wodoru	412
4.5.6.6	Dodanie bromku do kotła	413
4.5.6.7	Adsorpcja rtęci na złożu stałym.....	415
4.5.6.8	Systemy z stałym sorbentowym katalizatorem polimerowym (SPC)	415
4.5.7	Techniki ograniczania emisji innych substancji.....	417
4.5.7.1	Stosowanie specjalnych odczynników do redukcji jodu oraz bromu	417
4.6	Przetwarzanie i kontrola ścieków	419
4.6.1	Stosowanie technik oczyszczania spalin bez odprowadzania ścieków	419
4.6.2	Postępowanie z suchym popiołem paleniskowym	420

4.6.3	Wykorzystanie wody z kotła	422
4.6.4	Recykulacja ścieków zamiast ich odprowadzania	424
4.6.5	Segregacja strumieni ścieków i ich oddzielne przetwarzanie, w zależności od zawartości zanieczyszczeń	425
4.6.6	Stosowanie przetwarzania fizyczno-chemicznego do ścieków z układu oczyszczania mokrych spalin i innych zanieczyszczonych strumieni	426
4.6.7	Usuwanie amoniaku z ścieków pochodzących z płuczek gazowych mokrych ..	427
4.6.8	Separacja rtęci drogą wymiany jonowej.....	428
4.6.9	Oddzielne przetwarzanie ścieków pochodzących z różnych etapów płukania na mokro ..	429
4.6.10	Odzysk kwasu solnego ze ścieków pochodzących z płuczek gazowych mokrych	430
4.6.11	Odzysk gipsu ze ścieków pochodzących z płuczek gazowych mokrych	431
4.6.12	Krystalizacja	432
4.7	Techniki przetwarzania pozostałości stałych	435
4.7.1	Segregacja popiołu paleniskowego pochodzącego z pozostałości po oczyszczeniu spalin.	436
4.7.2	Przesiewanie/odsiewanie oraz kruszenie popiołu paleniskowego.....	437
4.7.3	Oddzielanie metali od popiołu paleniskowego.....	438
4.7.4	Przetwarzanie popiołu paleniskowego z wykorzystaniem sezonowania.....	440
4.7.5	Przetwarzanie popiołu paleniskowego przy użyciu systemów suchych.....	442
4.7.6	Przetwarzanie popiołu paleniskowego przy użyciu systemów mokrych	444
4.7.7	Techniki zmniejszania emisji do powietrza pochodzących z przetwarzania żużli i popiołów paleniskowych.....	449
4.7.8	Przetwarzanie ścieków	450
4.8	Hałas.....	451
5.	KONKLUZJE DOTYCZĄCE NAJLEPSZYCH DOSTĘPNYCH TECHNIK (BAT) W ODNIESIENIU DO SPALANIA ODPADÓW	452
	Zakres	452
	Definicje	453
	Akronimy	454
	Uwagi Ogólne	455
5.1	Konkluzje dotyczące BAT	458
5.1.1	Systemy zarządzania środowiskowego (EMS).....	458
5.1.2	Monitorowanie	459
5.1.3	Ogólna efektywność środowiskowa oraz efektywność spalania	463
5.1.4	Efektywność energetyczna	468
5.1.5	Emisje do powietrza	471
5.1.5.1	Emisje rozproszone	471
5.1.5.2	Emisje zorganizowane.....	472
5.1.5.2.1	Emisja pyłu, metali i metaloidów	472
5.1.5.2.2	Emisje HCl, HF oraz SO ₂	474
5.1.5.2.3	Emisje NO _x , N ₂ O, CO oraz NH ₃	475
5.1.5.2.4	Emisje związków organicznych.....	476
5.1.5.2.5	Emisje rtęci	477
5.1.6	Emisje do wody	478
5.1.7	Efektywność wykorzystania materiałów	481
5.1.8	Hałas.....	482
5.2	Opisy technik.....	483
5.2.1	Techniki ogólne	483
5.2.2	Techniki redukcji emisji do powietrza	483
5.2.3	Techniki redukcji emisji do wody	485
5.2.4	Techniki zarządzania	486
6.	NOWE TECHNIKI.....	487
6.1	Podgrzewanie pary z turbiny	487

6.2	Płuczka olejowa redukująca wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne i poliaromatyczne (PAH, WWA) w spalinach pochodzących ze spalarni.	488
6.3	Bezpłomieniowe spalanie tlenowe pod ciśnieniem	489
6.4	Odzyskiwanie fosforu z popiołów pochodzących ze spalania osadów ściekowych .	492
7.	UWAGI KOŃCOWE ORAZ ZALECENIA DOTYCZĄCE PRZYSZŁYCH PRAC	494
8.	ZAŁĄCZNIKI.....	498
8.1	Koszty niektórych systemów monitorowania emisji do powietrza	498
8.2	Przykłady obliczeń efektywności (sprawności) energetycznej	499
8.2.1	Efektywność (sprawność) elektryczna brutto.....	499
8.2.2	Efektywność (sprawność) energetyczna brutto	501
8.2.3	Przypadki pośrednie: efektywność elektryczna brutto i efektywność energetyczna brutto ustalane wspólnie.....	504
8.3	Przykładowe metody stosowane przy wyborze systemu FGC.....	507
8.4	Lista europejskich spalarni odpadów uczestniczących w gromadzeniu danych w roku 2016.	509
8.5	Wykaz europejskich zakładów przetwarzania popiołu paleniskowego, które uczestniczyły w gromadzeniu danych w roku 2016.....	531
8.6	Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji osiągnęte przez spalarnie odpadów zgłaszające, w ramach gromadzenia danych za rok 2016, monitoring ciągły - wykresy szczegółowe	534
8.7	Półgodzinne oraz miesięczne średnie poziomy emisji osiągnęte przez spalarnie odpadów zgłaszające, w ramach gromadzenia danych za rok 2016, monitoring ciągły - wykresy szczegółowe.....	584
8.8	Poziomy emisji osiągnęte przez spalarnie odpadów zgłaszające, w ramach gromadzenia danych za rok 2016, monitoring okresowy - wykresy szczegółowe	638
8.9	Porównanie poziomów emisji PCDD/F mierzonych metodą krótko- i długoterminowego pobierania próbek dla 142 linii referencyjnych spalania odpadów w Belgii oraz Francji.....	681
	SŁOWNIK TERMINÓW.....	684
I.	Krajowe kody ISO	685
II.	Jednostki monetarne	686
III.	Prefiksy, separatory numeryczne oraz adnotacje	687
IV.	Jednostki pomiarowe	688
V.	Pierwiastki chemiczne	689
VI.	Związki chemiczne powszechnie stosowane w niniejszym dokumencie.....	690
VII.	Akronimy.....	691
VIII.	Definicje	694
	BIBLIOGRAFIA.....	698

SPIS ILUSTRACJI

Ilustracja 1.1 Zdolność spalania odpadów komunalnych w przeliczeniu na mieszkańca (per capita) w roku 2014.....	6
Ilustracja 1.2 Produkcja energii w europejskich spalarniach odpadów komunalnych w 1999 r.....	13
Ilustracja 2.1 Przykładowy układ spalarni stałych odpadów komunalnych z mokrym systemem FGC 20	
Ilustracja 2.2 Przykłady systemów wstępnego przetwarzania odpadów niebezpiecznych stosowane w niektórych komercyjnych HWI.....	28
Ilustracja 2.3 Przykładowa spalarnia odpadów komunalnych z kotłem do odzysku ciepła.....	35
Ilustracja 2.4 Przykład etapów systemu podawania odpadów medycznych stosowanego w spalarni odpadów komunalnych.....	38
Ilustracja 2.5 Różne rodzaje rusztów.....	39
Ilustracja 2.6 Przykład instalacji do odprowadzania popiołu paleniskowego typu popychającego używanej w spalarni rusztowej.....	41
Ilustracja 2.7 Przykładowa komora spalania.....	42
Ilustracja 2.8 Różne konstrukcje pieców w zależności od kierunku przepływu spalin i odpadów.....	43
Ilustracja 2.9 Schemat system spalania z piecem obrotowym.....	46
Ilustracja 2.10 Piec obrotowy (bębnowy) z komorą dopalania.....	47
Ilustracja 2.11 Przykładowy zakład spalania odpadów niebezpiecznych z piecem rotacyjnym (bębnowym).....	48
Ilustracja 2.12 Schemat pokazujący przetwarzanie wstępne MSW przed ich spalaniem w złożu fluidalnym.....	50
Ilustracja 2.13 Główne elementy stałego/pęcherzykowego złoża fluidalnego.....	52
Ilustracja 2.14 Główne komponenty cyrkulującego złoża fluidalnego.....	54
Ilustracja 2.15 Schematy zgazowarki ze szczelnym złożem oraz przepływowej.....	56
Ilustracja 2.16 Schemat zakładu stosującego pirolizę do przetwarzania odpadów komunalnych.....	57
Ilustracja 2.17 Schemat procesowy zakładu pirolizy firmy ATM.....	59
Ilustracja 2.18 Piroliza na ruszcie bezpośrednio połączona z procesem spalania w wysokiej temperaturze.....	60
Ilustracja 2.19 Przykład instalacji do pirolizy odpadów medycznych, ZAVIN, Holandia.....	61
Ilustracja 2.20 Schemat pirolizera pchającego (pokazany na przykładzie zakładu obsługiwanego przez Thermostelect S.A.).....	63
Ilustracja 2.21 Połączenie zgazowania z użyciem złoża fluidalnego oraz procesu spalania w wysokiej temperaturze.....	64
Ilustracja 2.22 Piec szybowy do zintegrowanego zgazowania odpadów oraz topienia popiołu.....	65
Ilustracja 2.23 Typowa konstrukcja komory spalania odpadów płynnych i gazowych.....	67
Ilustracja 2.24 Schemat instalacji do ekstrakcji HCl z gazów resztkowych i odpadów ciekłych zawierających chlor.....	68

Ilustracja 2.25 Schemat technologiczny zakładu recyklingu chloru prowadzonego przez firmę AkzoNobel	70
Ilustracja 2.26 Przykładowa spalarnia ścieków z jednostką ich odparowania (koncentracji)	71
Ilustracja 2.27 Schemat technologiczny instalacji przetwarzania ścieków żrących eksploatowanej przez AVR	72
Ilustracja 2.28 Wykres przedstawiający zarejestrowane zmiany w ilości odpadów LHV w spalarniach MSWI na przestrzeni 4 lat	77
Ilustracja 2.29 Przedstawienie poszczególnych ogrzewalnych powierzchni w wytwornicy pary	81
Ilustracja 2.30 Podstawowe systemy przepływu w kotle	82
Ilustracja 2.31 Przegląd różnych układów kotłów: horyzontalnego, kombinowanego oraz wertykalnego	83
Ilustracja 2.32 Przegląd potencjalnych kombinacji systemów FGC	91
Ilustracja 2.33 Zasada działania filtra elektrostatycznego (elektrofiltra)	92
Ilustracja 2.34 Filtr elektrostatyczny kondensacyjny	93
Ilustracja 2.35 Przykład filtra workowego	95
Ilustracja 2.36 Schemat dwustopniowej płuczki gazowej mokrej z wstępnym odpylaniem	98
Ilustracja 2.37 Zasada działania płuczki natryskowej	100
Ilustracja 2.38 Suchy proces FGC z wtryskiem odczynnika do kanału FG oraz późniejszą filtracją workową	101
Ilustracja 2.39 Zależność od temperatury różnych mechanizmów powstawania NO _x w procesie spalania odpadów	105
Ilustracja 2.40 Zasada działania SNCR	107
Ilustracja 2.41 Zależność pomiędzy redukcją NO _x , wytwarzaniem NO _x , ucieczką amoniaku oraz temperaturą reakcji dla procesu SNCR	108
Ilustracja 2.42 Zasada działania SCR	111
Ilustracja 2.43 Związek pomiędzy frakcją rtęci obecnej w postaci pierwiastkowej a zawartością chloru w nieprzetworzonym gazie w spalarni odpadów niebezpiecznych	112
Ilustracja 2.44 Schemat procesu fizyczno-chemicznego oczyszczania ścieków pochodzących z układu oczyszczania spalin na mokro	119
Ilustracja 2.45 Odparowanie, w ramach procesu, ścieków z płukania gazowego na mokro	122
Ilustracja 2.46 Oddzielne odparowanie ścieków pochodzących z płuczki gazowej mokrej	123
Ilustracja 2.47 Przegląd stosowanych systemów oczyszczania ścieków w komercyjnych zakładach HWI	125
Ilustracja 2.48 Przykład oczyszczalni ścieków w sektorze komercyjnym HWI	126
Ilustracja 3.1 Ciągły monitoring emisji HCl do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW	152
Ilustracja 3.2 Ciągły monitoring emisji HCl do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie ONHW	152

Ilustracja 3.3 Okresowy monitoring emisji HF do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW	154
Ilustracja 3.4 Ciągły monitoring emisji HF do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW	154
Ilustracja 3.5 Okresowy monitoring emisji HF do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie ONHW	155
Ilustracja 3.6 Ciągły monitoring emisji HF do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie ONHW	155
Ilustracja 3.7 Ciągły monitoring emisji SO ₂ do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW	157
Ilustracja 3.8 Ciągły monitoring emisji SO ₂ do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie ONHW	157
Ilustracja 3.9 Ciągły monitoring emisji pyłów do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW	159
Ilustracja 3.10 Ciągły monitoring emisji pyłu do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie ONHW	159
Ilustracja 3.11 Ciągły monitoring emisji NO _x do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW	161
Ilustracja 3.12 Ciągły monitoring emisji NO _x do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie ONHW	161
Ilustracja 3.13 Okresowy monitoring emisji NH ₃ do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW.....	163
Ilustracja 3.14 Ciągły monitoring emisji NH ₃ do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW	163
Ilustracja 3.15 Okresowy monitoring emisji NH ₃ do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie ONHW.....	164
Ilustracja 3.16 Ciągły monitoring emisji NH ₃ do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie ONHW	164
Ilustracja 3.17 Ciągły monitoring emisji TVOC do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW.....	166
Ilustracja 3.18 Ciągły monitoring emisji TVOC do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie ONHW.....	166
Ilustracja 3.19 Ciągły monitoring emisji CO do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW	168
Ilustracja 3.20 Ciągły monitoring emisji CO do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie ONHW	168
Ilustracja 3.21 Okresowy monitoring emisji PCDD/F do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW.....	170
Ilustracja 3.22 Okresowy monitoring emisji PCDD/F do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie ONHW.....	170
Ilustracja 3.23 Okresowy monitoring emisji Hg do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW.....	173

Ilustracja 3.24 Stały monitoring emisji Hg do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW - dobowe oraz roczne poziomy emisji	173
Ilustracja 3.25 Ciągły monitoring emisji Hg do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW - półgodzinne poziomy emisji.....	174
Ilustracja 3.26 Ciągły monitoring emisji Hg do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW - miesięczne poziomy emisji.....	174
Ilustracja 3.27 Okresowy monitoring emisji Hg do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie ONHW.....	175
Ilustracja 3.28 Ciągły monitoring emisji Hg do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie ONHW – dobowe oraz roczne poziomy emisji.....	175
Ilustracja 3.29 Ciągły monitoring emisji Hg do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie ONHW - półgodzinne poziomy emisji.....	176
Ilustracja 3.30 Ciągły monitoring emisji Hg do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie ONHW - miesięczne poziomy emisji.....	176
Ilustracja 3.31 Okresowy monitoring emisji Sb+As+Cr+Co+Cu+Pb+Mn+Ni+V do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW	178
Ilustracja 3.32 Okresowy monitoring emisji Sb+As+Cr+Co+Cu+Pb+Mn+Ni+V do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie ONHW	178
Ilustracja 3.33 Okresowy monitoring emisji Cd+Tl do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW.....	179
Ilustracja 3.34 Okresowy monitoring emisji Cd+Tl do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie ONHW.....	180
Ilustracja 3.35 Ciągły monitoring emisji HCl do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie SS	181
Ilustracja 3.36 Okresowy monitoring emisji HF do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie SS.....	182
Ilustracja 3.37 Ciągły monitoring emisji HF do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie SS	182
Ilustracja 3.38 Ciągły monitoring emisji SO ₂ do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie SS	183
Ilustracja 3.39 Ciągły monitoring emisji pyłu do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie SS	184
Ilustracja 3.40 Ciągły monitoring emisji NO _x do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie SS	185
Ilustracja 3.41 Ciągły monitoring emisji NH ₃ do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie SS	186
Ilustracja 3.42 Ciągły monitoring emisji TVOC do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie SS.....	188
Ilustracja 3.43 Ciągły monitoring emisji CO do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie SS	189
Ilustracja 3.44 Okresowy monitoring emisji PCDD/F do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie SS.....	190

Ilustracja 3.45 Okresowy monitoring emisji Hg do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie SS.....	192
Ilustracja 3.46 Ciągły monitoring emisji Hg do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie SS - dobowe oraz roczne poziomy emisji	192
Ilustracja 3.47 Ciągły monitoring emisji rtęci do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie SS - półgodzinne poziomy emisji.....	193
Ilustracja 3.48 Ciągły monitoring emisji Hg do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie SS - miesięczne poziomy emisji.....	193
Ilustracja 3.49 Okresowy monitoring emisji Sb+As+Cr+Co+Cu+Pb+Mn+Ni+V do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie SS	194
Ilustracja 3.50 Okresowy monitoring emisji Cd+Tl do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie SS.....	195
Ilustracja 3.51 Ciągły monitoring emisji HCl do powietrza z linii referencyjnych.....	196
Ilustracja 3.52 Okresowy monitoring emisji HF do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie HW	197
Ilustracja 3.53 Ciągły monitoring emisji HF do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie HW	198
Ilustracja 3.54 Ciągły monitoring emisji SO ₂ do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie HW	199
Ilustracja 3.55 Ciągły monitoring emisji pyłu do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie HW	200
Ilustracja 3.56 Ciągły monitoring emisji NO _x do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie HW	201
Ilustracja 3.57 Okresowy monitoring emisji NH ₃ do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie HW	202
Ilustracja 3.58 Ciągły monitoring emisji NH ₃ do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie HW	203
Ilustracja 3.59 Ciągły monitoring emisji TVOC do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie HW	204
Ilustracja 3.60 Ciągły monitoring emisji CO do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie HW	205
Ilustracja 3.61 Okresowy monitoring emisji PCDD/F do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie HW	206
Ilustracja 3.62 Okresowy monitoring emisji Hg do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie HW	208
Ilustracja 3.63 Ciągły monitoring emisji Hg do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie HW - dobowe oraz roczne poziomy emisji	209
Ilustracja 3.64 Ciągły monitoring emisji Hg do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie HW - półgodzinne poziomy emisji.....	209
Ilustracja 3.65 Ciągły monitoring emisji Hg do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie HW - miesięczne poziomy emisji.....	210

Ilustracja 3.66 Okresowy monitoring emisji Sb+As+Cr+Co+Cu+Pb+Mn+Ni+V do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie HW	211
Ilustracja 3.67 Okresowy monitoring emisji Cd+Tl do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie HW	212
Ilustracja 3.68 Emisja zawiesiny ogólnej (TSS) do wody i zastosowane techniki jej ograniczania ..	222
Ilustracja 3.69 Emisja rtęci do wody i zastosowane techniki jej ograniczania.....	223
Ilustracja 3.70 Emisja antymonu (Sb) do wody i zastosowane techniki jej ograniczania	224
Ilustracja 3.71 Emisja arsenu (As) do wody i zastosowane techniki jej ograniczania	225
Ilustracja 3.72 Emisja kadmu (Cd) do wody i zastosowane techniki jej ograniczania.....	226
Ilustracja 3.73 Emisja chromu (Cr) do wody i zastosowane techniki jej ograniczania.....	227
Ilustracja 3.74 Emisja miedzi (Cu) do wody i zastosowane techniki jej ograniczania.....	228
Ilustracja 3.75 Emisja ołowiu (Pb) do wody i zastosowane techniki jej ograniczania.....	229
Ilustracja 3.76 Emisja molibdenu (Mo) do wody i zastosowane techniki jej ograniczania.....	230
Ilustracja 3.77 Emisja niklu (Ni) do wody i zastosowane techniki jej ograniczania.....	231
Ilustracja 3.78 Emisja talu (Tl) do wody i zastosowane techniki jej ograniczania.....	232
Ilustracja 3.79 Emisja cynku (Zn) do wody i zastosowane techniki jej ograniczania.....	233
Ilustracja 3.80 Emisja ogólnego węgla organicznego (TOC, OWO) do wody i zastosowane techniki jej ograniczania.....	234
Ilustracja 3.81 Emisja polichlorowanych dibenzo-p-dioksyn i furanów (PCDD/F) do wody i zastosowane techniki jej ograniczania.....	235
Ilustracja 3.82 Zawartość TOC w nieprzetworzonych żużłach oraz popiołach paleniskowych (1/2).	254
Ilustracja 3.83 Zawartość TOC w nieprzetworzonych żużłach oraz popiołach paleniskowych (2/2).	255
Ilustracja 3.84 LOI - nieprzetworzone żużle oraz popioły paleniskowe (1/2)	256
Ilustracja 3.85 LOI - nieprzetworzone żużle oraz popioły paleniskowe (1/2)	257
Ilustracja 3.86 Granica systemu stosowana przy obliczaniu efektywności energetycznej.....	260
Ilustracja 3.87 Efektywność elektryczna brutto zakładów spalających głównie stałe odpady komunalne, odpady inne niż niebezpieczne oraz niebezpieczne odpady drzewne (1/3).....	267
Ilustracja 3.88 Efektywność elektryczna brutto zakładów spalających głównie stałe odpady komunalne, odpady inne niż niebezpieczne oraz niebezpieczne odpady drzewne (2/3).....	268
Ilustracja 3.89 Efektywność elektryczna brutto zakładów spalających głównie stałe odpady komunalne, odpady inne niż niebezpieczne oraz niebezpieczne odpady drzewne (3/3).....	269
Ilustracja 3.90 Efektywność energetyczna brutto spalarni odpadów.....	270
Ilustracja 3.91 Efektywność kotłów w zakładach spalających głównie odpady niebezpieczne.....	271
Ilustracja 3.92 Efektywność kotłów w zakładach spalających głównie ścieki.....	272
Ilustracja 4.1 Ciągłe doskonalenie modelu EMS	278
Ilustracja 4.2 Przykładowe elementy układu sterowania piecem	309
Ilustracja 4.3 Przykładowe parametry wejściowe, sterujące i wyjściowe układu sterowania pieca....	310
Ilustracja 4.4 Schemat przegrzewacza typu płytowego.....	346

Ilustracja 4.5 Kontrola zanieczyszczeń oraz dodatkowy odzysk ciepła poprzez kondensację pary wodnej z spalin w zakładzie CHP spalającym odpady, w Högdalen	351
Ilustracja 4.6 Typowa konstrukcja półmokrego systemu FGC	370
Ilustracja 4.7 Schemat systemu SCR za niemokrym systemem FGC przedstawiający typowe profile wymiany ciepła oraz temperatury.	392
Ilustracja 4.8 Schemat systemu SCR za mokrym systemem FGC przedstawiający dodatkową wymianę ciepła oraz profile temperaturowe	392
Ilustracja 4.9 Schemat systemu odprowadzania suchego popiołu paleniskowego	421
Ilustracja 4.10 Schemat przepływu w procesie krystalizacji stosowanym w trzech spalarniach odpadów w Danii	433
Ilustracja 4.11 Schemat blokowy przykładowego procesu przetwarzania popiołu paleniskowego z mechanicznymi etapami separacji.....	435
Ilustracja 4.12 Wpływ sezonowania na wymywalność wybranych metali: (po lewej) wpływ na pH; (po prawej) wmywanie w funkcji pH	442
Ilustracja 4.13 Schemat blokowy systemu przetwarzania popiołu paleniskowego "na mokro"	445
Ilustracja 6.1 Przykład systemu ponownego podgrzewania pary	487
Ilustracja 6.2 Schemat spalarni odpadów z płuczką olejową do wytrącania dioksyn	489
Ilustracja 8.1 Schemat wirtualnego rozdzielenia systemu parowego spalarni odpadów na dwie części	504
Ilustracja 8.2 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji HCl do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (1/3).	534
Ilustracja 8.3 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji HCl do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (2/3).	535
Ilustracja 8.4 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji HCl do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (3/3).	536
Ilustracja 8.5 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji HCl do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie odpady inne niż niebezpieczne (ONHW).	537
Ilustracja 8.6 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji HF do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW.	538
Ilustracja 8.7 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji HF do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie ONHW.	539
Ilustracja 8.8 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji SO ₂ do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (1/3).	540
Ilustracja 8.9 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji SO ₂ do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (2/3).	541
Ilustracja 8.10 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji SO ₂ do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (3/3).....	542
Ilustracja 8.11 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji SO ₂ do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie ONHW.	543

Ilustracja 8.12 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji pyłu do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (1/3).....	544
Ilustracja 8.13 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji pyłu do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (2/3).....	545
Ilustracja 8.14 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji pyłu do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (3/3).....	546
Ilustracja 8.15 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji pyłu do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie ONHW.	547
Ilustracja 8.16 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji NO _x do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (1/3).....	548
Ilustracja 8.17 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji NO _x do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (2/3).....	549
Ilustracja 8.18 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji NO _x do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (3/3).....	550
Ilustracja 8.19 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji NO _x do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie ONHW.	551
Ilustracja 8.20 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji NH ₃ do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (1/3).....	552
Ilustracja 8.21 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji NH ₃ do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (2/3).....	553
Ilustracja 8.22 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji NH ₃ do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (3/3).....	554
Ilustracja 8.23 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji NH ₃ do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie ONHW.	555
Ilustracja 8.24 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji TVOC do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (1/3).....	556
Ilustracja 8.25 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji TVOC do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (2/3).....	557
Ilustracja 8.26 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji TVOC do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (3/3).....	558
Ilustracja 8.27 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji TVOC do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie ONHW.	559
Ilustracja 8.28 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji CO do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (1/3).	560
Ilustracja 8.29 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji CO do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (2/3).	561
Ilustracja 8.30 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji CO do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (3/3).	562
Ilustracja 8.31 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji CO do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie ONHW.	563
Ilustracja 8.32 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji Hg do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW.	564

Ilustracja 8.33 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji Hg do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie ONHW.	565
Ilustracja 8.34 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji HCl do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie osady ściekowe (SS).	566
Ilustracja 8.35 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji HF do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie SS.	567
Ilustracja 8.36 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji SO ₂ do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie SS.	568
Ilustracja 8.37 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji pyłu do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie SS.	569
Ilustracja 8.38 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji NO _x do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie SS.	570
Ilustracja 8.39 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji NH ₃ do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie SS.	571
Ilustracja 8.40 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji TVOC do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie SS.	572
Ilustracja 8.41 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji CO do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie SS.	573
Ilustracja 8.42 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji Hg do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie SS.	574
Ilustracja 8.43 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji HCl do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie odpady niebezpieczne (HW). ...	575
Ilustracja 8.44 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji HF do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie HW.	576
Ilustracja 8.45 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji SO ₂ do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie HW.	577
Ilustracja 8.46 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji pyłu do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie HW.	578
Ilustracja 8.47 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji NO _x do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie HW.	579
Ilustracja 8.48 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji NH ₃ do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie HW.	580
Ilustracja 8.49 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji TVOC do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie HW.	581
Ilustracja 8.50 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji CO do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie HW.	582
Ilustracja 8.51 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji Hg do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie HW.	583
Ilustracja 8.52 Półgodzinne średnie poziomy emisji HCl do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie stałe odpady komunalne MSW (1/3).	584
Ilustracja 8.53 Półgodzinne średnie poziomy emisji HCl do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (2/3).	585

Ilustracja 8.54 Półgodzinne średnie poziomy emisji HCl do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (3/3).	586
Ilustracja 8.55 Półgodzinne średnie poziomy emisji HCl do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie odpady inne niż niebezpieczne ONHW. .	587
Ilustracja 8.56 Półgodzinne średnie poziomy emisji HF do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW.	588
Ilustracja 8.57 Półgodzinne średnie poziomy emisji HF do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie ONHW.	589
Ilustracja 8.58 Półgodzinne średnie poziomy emisji SO ₂ do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (1/3).	590
Ilustracja 8.59 Półgodzinne średnie poziomy emisji SO ₂ do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (2/3).	591
Ilustracja 8.60 Półgodzinne średnie poziomy emisji SO ₂ do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (3/3).	592
Ilustracja 8.61 Półgodzinne średnie poziomy emisji SO ₂ do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie ONHW.	593
Ilustracja 8.62 Półgodzinne średnie poziomy emisji pyłu do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (1/3).	594
Ilustracja 8.63 Półgodzinne średnie poziomy emisji pyłu do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (2/3).	595
Ilustracja 8.64 Półgodzinne średnie poziomy emisji pyłu do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (3/3).	596
Ilustracja 8.65 Półgodzinne średnie poziomy emisji pyłu do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie ONHW.	597
Ilustracja 8.66 Półgodzinne średnie poziomy emisji NO _x do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (1/3).	598
Ilustracja 8.67 Półgodzinne średnie poziomy emisji NO _x do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (2/3).	599
Ilustracja 8.68 Półgodzinne średnie poziomy emisji NO _x do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (3/3).	600
Ilustracja 8.69 Półgodzinne średnie poziomy emisji NO _x do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie ONHW.	601
Ilustracja 8.70 Półgodzinne średnie poziomy emisji NH ₃ do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (1/3).	602
Ilustracja 8.71 Półgodzinne średnie poziomy emisji NH ₃ do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (2/3).	603
Ilustracja 8.72 Półgodzinne średnie poziomy emisji NH ₃ do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (3/3).	604
Ilustracja 8.73 Półgodzinne średnie poziomy emisji NH ₃ do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie ONHW.	605
Ilustracja 8.74 Półgodzinne średnie poziomy emisji TVOC do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (1/3).	606

Ilustracja 8.75 Półgodzinne średnie poziomy emisji TVOC do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (2/3).	607
Ilustracja 8.76 Półgodzinne średnie poziomy emisji TVOC do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (3/3).	608
Ilustracja 8.77 Półgodzinne średnie poziomy emisji TVOC do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie ONHW.	609
Ilustracja 8.78 Półgodzinne średnie poziomy emisji CO do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (1/3).	610
Ilustracja 8.79 Półgodzinne średnie poziomy emisji CO do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (2/3).	611
Ilustracja 8.80 Półgodzinne średnie poziomy emisji CO do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (3/3).	612
Ilustracja 8.81 Półgodzinne średnie poziomy emisji CO do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie ONHW.	613
Ilustracja 8.82 Półgodzinne średnie poziomy emisji Hg do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW.	614
Ilustracja 8.83 Półgodzinne średnie poziomy emisji Hg do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie ONHW.	615
Ilustracja 8.84 Miesięczne średnie poziomy emisji Hg do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW.	616
Ilustracja 8.85 Miesięczne średnie poziomy emisji Hg do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie ONHW.	617
Ilustracja 8.86 Półgodzinne średnie poziomy emisji HCl do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie osady ściekowe (SS).	618
Ilustracja 8.87 Półgodzinne średnie poziomy emisji HF do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie SS.	619
Ilustracja 8.88 Półgodzinne średnie poziomy emisji SO ₂ do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie SS.	620
Ilustracja 8.89 Półgodzinne średnie poziomy emisji pyłu do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie SS.	621
Ilustracja 8.90 Półgodzinne średnie poziomy emisji NO _x do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie SS.	622
Ilustracja 8.91 Półgodzinne średnie poziomy emisji NH ₃ do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie SS.	623
Ilustracja 8.92 Półgodzinne średnie poziomy emisji TVOC do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie SS.	624
Ilustracja 8.93 Półgodzinne średnie poziomy emisji CO do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie SS.	625
Ilustracja 8.94 Półgodzinne średnie poziomy emisji Hg do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie SS.	626
Ilustracja 8.95 Miesięczne średnie poziomy emisji Hg do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie SS.	627

Ilustracja 8.96 Półgodzinne średnie poziomy emisji HCl do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie odpady niebezpieczne (HW).....	628
Ilustracja 8.97 Półgodzinne średnie poziomy emisji HF do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie HW.....	629
Ilustracja 8.98 Półgodzinne średnie poziomy emisji SO ₂ do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie HW.....	630
Ilustracja 8.99 Półgodzinne średnie poziomy emisji pyłu do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie HW.....	631
Ilustracja 8.100 Półgodzinne średnie poziomy emisji NO _x do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie HW.....	632
Ilustracja 8.101 Półgodzinne średnie poziomy emisji NH ₃ do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie HW.....	633
Ilustracja 8.102 Półgodzinne średnie poziomy emisji TVOC do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie HW.....	634
Ilustracja 8.103 Półgodzinne średnie poziomy emisji CO do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie HW.....	635
Ilustracja 8.104 Półgodzinne średnie poziomy emisji Hg do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie HW.....	636
Ilustracja 8.105 Miesięczne średnie poziomy emisji Hg do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie HW.....	637
Ilustracja 8.106 Okresowy monitoring emisji HF do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie stałe odpady komunalne MSW (1/2).....	638
Ilustracja 8.107 Okresowy monitoring emisji HF do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW (2/2).....	639
Ilustracja 8.108 Okresowy monitoring emisji HF do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie odpady inne niż niebezpieczne (ONHW).....	640
Ilustracja 8.109 Okresowy monitoring emisji NH ₃ do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW (1/2).....	641
Ilustracja 8.110 Okresowy monitoring emisji NH ₃ do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW (2/2).....	642
Ilustracja 8.111 Okresowy monitoring emisji NH ₃ do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie ONHW.....	643
Ilustracja 8.112 Okresowy monitoring emisji PCDD/F do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW (1/3).....	644
Ilustracja 8.113 Okresowy monitoring emisji PCDD/F do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW (2/3).....	645
Ilustracja 8.114 Okresowy monitoring emisji PCDD/F do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW (3/3).....	646
Ilustracja 8.115 Okresowy monitoring emisji PCDD/F do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie ONHW.....	647
Ilustracja 8.116 Okresowy monitoring emisji dioksynopodobnych PCB do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW.....	648

Ilustracja 8.117 Okresowy monitoring emisji dioksynopodobnych PCB do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie ONHW.	649
Ilustracja 8.118 Porównanie poziomów emisji do powietrza PCDD/F i dioksynopodobnych PCB zmierzonych w tej samej próbce	650
Ilustracja 8.119 Okresowy monitoring emisji PAH do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW.....	651
Ilustracja 8.120 Okresowy monitoring emisji PAH do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie ONHW.....	652
Ilustracja 8.121 Okresowy monitoring emisji BaP do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW.....	653
Ilustracja 8.122 Okresowy monitoring emisji BaP do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie ONHW.....	654
Ilustracja 8.123 Okresowy monitoring emisji Hg do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW (1/3).....	655
Ilustracja 8.124 Okresowy monitoring emisji Hg do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW (2/3).....	656
Ilustracja 8.125 Okresowy monitoring emisji Hg do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW (3/3).....	657
Ilustracja 8.126 Okresowy monitoring emisji Hg do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie ONHW.....	658
Ilustracja 8.127 Okresowy monitoring emisji Sb+As+Cr+Co+Cu+Pb+Mn+Ni+V do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW (1/3).	659
Ilustracja 8.128 Okresowy monitoring emisji Sb+As+Cr+Co+Cu+Pb+Mn+Ni+V do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW (2/3).	660
Ilustracja 8.129 Okresowy monitoring emisji Sb+As+Cr+Co+Cu+Pb+Mn+Ni+V do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW (3/3).	661
Ilustracja 8.130 Okresowy monitoring emisji Sb+As+Cr+Co+Cu+Pb+Mn+Ni+V do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie ONHW.	662
Ilustracja 8.131 Okresowy monitoring emisji Cd+Tl do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW (1/3).....	663
Ilustracja 8.132 Okresowy monitoring emisji Cd+Tl do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW (2/3).....	664
Ilustracja 8.133 Okresowy monitoring emisji Cd+Tl do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW (3/3).....	665
Ilustracja 8.134 Okresowy monitoring emisji Cd+Tl do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie ONHW.....	666
Ilustracja 8.135 Okresowy monitoring emisji HF do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie osady ściekowe (SS).....	667
Ilustracja 8.136 Okresowy monitoring emisji PCDD/F do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie SS.....	668
Ilustracja 8.137 Okresowy monitoring emisji Hg do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie SS.....	669

Ilustracja 8.138 Okresowy monitoring emisji Sb+As+Cr+Co+Cu+Pb+Mn+Ni+V do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie SS.	670
Ilustracja 8.139 Okresowy monitoring emisji Cd+Tl do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie SS.	671
Ilustracja 8.140 Okresowy monitoring emisji HF do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie odpady niebezpieczne (HF).	672
Ilustracja 8.141 Okresowy monitoring emisji NH ₃ do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie HF.	673
Ilustracja 8.142 Okresowy monitoring emisji PCDD/F do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie HF.	674
Ilustracja 8.143 Okresowy monitoring emisji dioksynopodobnych PCB do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie HF.	675
Ilustracja 8.144 Okresowy monitoring emisji PAH do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie HF.	676
Ilustracja 8.145 Okresowy monitoring emisji BaP do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie HF.	677
Ilustracja 8.146 Okresowy monitoring emisji Hg do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie HF.	678
Ilustracja 8.147 Okresowy monitoring emisji Sb+As+Cr+Co+Cu+Pb+Mn+Ni+V do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie HF.	679
Ilustracja 8.148 Okresowy monitoring emisji Cd+Tl do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie HF.	680
Ilustracja 8.149 Rozkład pomiarów PCDD/F w różnych zakresach koncentracji, uzyskanych przez zakłady belgijskie, FNADE/SVDU i HWE, w oparciu o krótko- i długoterminowe pobieranie próbek.	681
Ilustracja 8.150 Procent pomiarów mieszczących się poniżej określonych progów koncentracji, dla wszystkich zakładów biorących udział w badaniu (Belgia, FNADE/SVDU, HWE), w przypadku pobierania próbek krótko- i długoterminowych.	682

SPIS TABEL

Tabela 1.1: Cele różnych elementów składowych spalarni odpadów	2
Tabela 1.2 Ilość stałych odpadów komunalnych (MSW), odpadów niebezpiecznych (HW) oraz osadów ściekowych (SS) w państwach członkowskich UE i ich przetwarzanie.....	4
Tabela 1.3 Rozmieszczenie geograficzne spalarni odpadów komunalnych, niebezpiecznych i osadów ściekowych	5
Tabela 1.4 Średnia zdolność produkcyjna (wydajność) spalarni stałych odpadów komunalnych (MSW) w poszczególnych krajach.....	7
Tabela 1.5 Typowe zakresy stosowania technologii przetwarzania termicznego	7
Tabela 1.6 Typowy skład odpadów w Niemczech.....	9
Tabela 1.7 "Opłaty za przyjęcie odpadów do spalania" w europejskich spalarniach MSW oraz HW. 16	
Tabela 1.8 Porównanie kosztów spalania stałych odpadów komunalnych (MSW) w różnych państwach członkowskich	17
Tabela 1.9 Specyficzne koszty inwestycji dotyczące nowo wybudowanej instalacji MSWI związane z jej roczną zdolnością produkcyjną oraz niektórymi typami zakładów FGC w Niemczech	18
Tabela 1.10 Przykład porównawczy poszczególnych elementów kosztów w przypadku spalarni MSW i HW.	18
Tabela 2.1 Typowe warunki reakcji oraz produkty procesów spalania, pirolizy i zgazowania.	21
Tabela 2.2 Główny wpływ segregacji oraz przetwarzania wstępnego na pozostałe odpady	22
Tabela 2.3 Podsumowanie różnic pomiędzy operatorami na rynku HWI.....	24
Tabela 2.4 Przeciętny skład komunalnych i przemysłowych osadów ściekowych po odwodnieniu	29
Tabela 2.5 Podsumowanie aktualnego wykorzystania procesów przetwarzania termicznego stosowanych do różnych rodzajów odpadów	34
Tabela 2.6 Porównanie cech różnych konstrukcji komór spalania	44
Tabela 2.7 Właściwości różnych frakcji paliwa odpadowego RDF przetwarzanego w złożach fluidalnych.....	50
Tabela 2.8 Główne kryteria operacyjne dla stałych złożów fluidalnych.....	53
Tabela 2.9 Typowe warunki reakcji oraz produkty z procesów spalania, pirolizy i gazyfikacji.....	55
Tabela 2.10 Zakresy oraz typowe wartości opałowe dla niektórych wsadów odpadów w spalarniach. 76	
Tabela 2.11 Czynniki brane pod uwagę przy wyborze projektu cyklu energetycznego dla spalarni odpadów	78
Tabela 2.12 Przykładowe dane przedstawiające różnice w produkcji ciepła i energii elektrycznej w trzech różnych zakładach w Szwecji przy zastosowaniu różnych typów pomp ciepła.....	87
Tabela 2.13 Poprawa cyklu para-woda - wpływ na wydajność oraz inne aspekty.....	88
Tabela 2.14 Podsumowanie głównych systemów FGC stosowanych w instalacjach WI, uczestniczących w gromadzeniu danych w 2016 r.....	90
Tabela 2.15 Dane eksploatacyjne różnych materiałów używanych w filtrach workowych.....	96
Tabela 2.16 Porównanie właściwości różnych odczynników alkalicznych	103

Tabela 2.17 Zalety i wady stosowania amoniaku oraz mocznika w SNCR	109
Tabela 3.1 Rozkład różnych substancji w strumieniach wyjściowych z przykładowej instalacji MSWI (w % masy).....	137
Tabela 3.2 Procentowy udział (w %) metali w strumieniach wylotowych z procesu spalania odpadów niebezpiecznych	137
Tabela 3.3 Średnie warunki pracy, podczas testów procentowego udziału, w instalacji HWI	138
Tabela 3.4 Bilans PCDD/F dla spalarni odpadów komunalnych w Niemczech	138
Tabela 3.5 Przykładowe dane dotyczące obciążenia PCDD/F dla zakładu MSWI we Francji.....	139
Tabela 3.6 Stężenia/koncentracje spalin za kotłem (nieprzetworzone spaliny) w różnych spalarniach odpadów (wartość referencyjna O ₂ - 11%).....	139
Tabela 3.7 Ciągły monitoring emisji z linii referencyjnych spalających głównie odpady medyczne. 212	
Tabela 3.8 Okresowy monitoring emisji z linii referencyjnych spalających głównie odpady medyczne (1 z 2)	213
Tabela 3.9 Okresowy monitoring emisji z linii referencyjnych spalających głównie odpady medyczne (2 z 2)	213
Tabela 3.10 Typowe ilości wody płuczkowej powstającej w procesie FGC w spalarniach odpadów przetwarzających odpady o niskiej zawartości chloru	214
Tabela 3.11 Inne możliwe źródła ścieków pochodzące ze spalarni odpadów oraz ich przybliżone ilości.	215
Tabela 3.12 Typowe zanieczyszczenia ścieków, w spalarniach odpadów, pochodzących z mokrego FGC przed ich oczyszczeniem	216
Tabela 3.13 Typowe dane dotyczące ilości pozostałości pochodzących ze spalarni odpadów.....	236
Tabela 3.14 Koncentracja związków organicznych w stałych pozostałościach pochodzących z systemu oczyszczania spalin.	237
Tabela 3.15 Koncentracja związków organicznych w popiele/żużlu paleniskowym.....	238
Tabela 3.16 Koncentracja związków organicznych w stałych pozostałościach pochodzących z oczyszczalni ścieków	239
Tabela 3.17 Główne komponenty nieprzetworzonego popiołu paleniskowego	239
Tabela 3.18 Skład chemiczny popiołu paleniskowego pochodzącego ze spalania MSW.....	240
Tabela 3.19 Właściwości wymywania nieprzetworzonego popiołu paleniskowego.....	240
Tabela 3.20 Stosowane metody, oraz mierzone przez spalarnie parametry, zapewniające skuteczne niszczenie niebezpiecznych związków występujących w HW	241
Tabela 3.21 Typowe wartości wymywania popiołu paleniskowego pochodzącego ze spalania w spalarniach HW	243
Tabela 3.22 Zawartość fosforu, PAH (WWA), PCB i PCDD/F w stałych pozostałościach pochodzących ze spalania osadów ściekowych	244
Tabela 3.23 Wartości wymywanego popiołu paleniskowego z pieców z złożem fluidalnym	246
Tabela 3.24 Charakterystyka instalacji do spalania popiołu paleniskowego	247

Tabela 3.25 Zakłady przetwarzające żużel/popioły paleniskowe (według europejskiego kodu odpadów 19 01 12). Ilości przetworzone w 2014 r. oraz procent odzyskanych metali żelaznych i nieżelaznych	248
Tabela 3.26 Zakłady przetwarzające żużel/popioły paleniskowe w 2014 r. według europejskiego kodu odpadów 19 01 11*r. Ilości poddane przetworzeniu oraz wartości procentowe odzyskanych metali żelaznych i nieżelaznych.	249
Tabela 3.27 Wartości wejściowe i wyjściowe europejskich spalarni popiołu paleniskowego w 2014 r.	249
Tabela 3.28 Wartości wymyte z popiołu paleniskowego po przetworzeniu.	250
Tabela 3.29 Emisje pyłu do powietrza powstające w wyniku spalania popiołów paleniskowych - pomiary okresowe	251
Tabela 3.30 Zgłoszone emisje do wody pochodzące z oczyszczania żużla i popiołu paleniskowego wraz z zastosowanymi technikami oraz punktami uwolnienia (zrzutu).....	252
Tabela 3.31 Zużycie energii i wody zgłoszone przez spalarnie popiołu paleniskowego w 2014 roku.	253
Tabela 3.32 Czynniki wpływające na opeje odzysku energii.....	258
Tabela 3.33 Parametry pary w zakładach spalających głównie odpady niebezpieczne	263
Tabela 3.34 Parametry pary w zakładach spalających głównie osady ściekowe	263
Tabela 3.35 Efektywność elektryczna brutto zakładów spalających głównie odpady niebezpieczne	264
Tabela 3.36 Efektywność elektryczna brutto instalacji spalających głównie osady ściekowe	264
Tabela 3.37 Dane dotyczące zapotrzebowania na energię elektryczną i ciepłą na tonę przetworzonych odpadów	266
Tabela 3.38 Źródła hałasu w spalarniach odpadów.....	273
Tabela 3.39 Stechiometryczne obliczanie ilości różnych odczynników używanych do absorpcji podczas oczyszczania spalin (odczynniki wyrażone w 100% stężenia i stopnia czystości).	275
Tabela 3.40 Ilość dodatków stosowanych w procesach komercyjnego spalania odpadów niebezpiecznych	276
Tabela 4.1 Informacje zawarte w opisie każdej z technik podanych w niniejszym rozdziale	277
Tabela 4.2 Techniki stosowane do kontroli oraz pobierania próbek różnych rodzajów odpadów.....	288
Tabela 4.3 Kilka przykładów stosowanych technik magazynowania różnych rodzajów odpadów	291
Tabela 4.4 Główne techniki ograniczania emisji rozproszonych oraz GHG do powietrza a także uwalniania odoru	294
Tabela 4.5 Niektóre techniki segregacji stosowane do różnych rodzajów odpadów	296
Tabela 4.6 Porównanie technologii spalania i przetwarzania termicznego oraz czynników wpływających na ich zastosowanie i przydatność operacyjną	303
Tabela 4.7 Pomiary nieprzetworzonych spalin w instalacji testowej w warunkach pracy normalnej, z kamerą na podczerwień i kondycjonowaniem O ₂	312
Tabela 4.8 Jakość pozostałości przy zastosowaniu do spalania powietrza wzbogaconego (zawartość O ₂ 25-27 %).....	319

Tabela 4.9 Zależność pomiędzy dodatkową efektywnością energetyczną a temperaturą powrotu czynnika chłodzącego (ciepłownictwo komunalne).....	350
Tabela 4.10 Porównanie uzyskanej efektywności energetycznej z zewnętrznym przegrzewaczem w zakładzie w Laanila	354
Tabela 4.11 Dane operacyjne związane z wykorzystaniem systemów wstępnego odpylania.....	360
Tabela 4.12 Porównanie systemów usuwania pyłu.....	361
Tabela 4.13 Wymagania energetyczne związane z wykorzystaniem różnych odpylaczy wstępnych.	361
Tabela 4.14 Poziomy emisji związane ze stosowaniem systemów filtrów workowych "polerujących"	363
Tabela 4.15 Dane operacyjne związane z zastosowaniem "polerowania" spalin.....	364
Tabela 4.16 Oddziaływanie na procesy i środowisko związane z dodatkowym "polerowaniem" spalin	364
Tabela 4.17 Poziomy emisji związane z zastosowaniem płuczek gazowych mokrych.....	366
Tabela 4.18 Dane operacyjne związane z zastosowaniem mokrych FGC	367
Tabela 4.19 Oddziaływanie na procesy i środowisko związane z zastosowaniem płuczki gazowej mokrej FGC.....	368
Tabela 4.20 Szacunkowe koszty inwestycyjne wybranych elementów mokrych systemów FGC	369
Tabela 4.21 Poziomy emisji związane ze stosowaniem płuczek półmokrych	371
Tabela 4.22 Dane operacyjne związane z zastosowaniem półmokrego FGC.	371
Tabela 4.23 Oddziaływanie na procesy i środowisko związane z zastosowaniem półmokrego przetwarzania gazu kwaśnego	372
Tabela 4.24 Szacunkowe koszty inwestycyjne wybranych komponentów typowych półmokrych systemów FGC	373
Tabela 4.25 Poziomy emisji związane z zastosowaniem wapna hydratyzowanego w suchych procesach FGC	374
Tabela 4.26 Poziomy emisji związane z zastosowaniem wodorowęglanu sodu w suchych procesach FGC	374
Tabela 4.27 Dane operacyjne związane z użytkowaniem suchych FGC.	374
Tabela 4.28 Oddziaływanie na procesy i środowisko związane z działaniem suchego FGC	375
Tabela 4.29 Dane operacyjne związane z zastosowaniem recykulacji pozostałości.....	378
Tabela 4.30 Poziomy emisji związane z korzystaniem z systemów pośrednich.....	379
Tabela 4.31 Poziomy emisji związane ze stosowaniem SNCR.....	386
Tabela 4.32 Dane operacyjne związane z wykorzystaniem SNCR.....	386
Tabela 4.33 Poziomy zużycia związane z zastosowaniem SNCR	387
Tabela 4.34 Poziomy emisji związane z zastosowaniem SCR.....	389
Tabela 4.35 Dane operacyjne związane z zastosowaniem SCR.....	390
Tabela 4.36 Efekty oddziaływania związane z zastosowaniem SCR.....	393
Tabela 4.37 Poziomy emisji związane ze stosowaniem SCR w katalitycznych filtrach workowych .	394

Tabela 4.38 Dane dotyczące efektywności niszczenia dla katalitycznych filtrów workowych w ciągu 21 miesięcy eksploatacji.....	399
Tabela 4.39 Dane operacyjne związane z zastosowaniem filtrów z koksowym stałym złożem adsorpcyjnym	402
Tabela 4.40 Oddziaływanie na procesy i środowisko związane z wykorzystaniem filtrów z stałym złożem adsorpcyjnym.....	402
Tabela 4.41 Dane dotyczące aspektów operacyjnych związanych z zastosowaniem w płuczkach gazowych mokrych materiałów impregnowanych węglem	404
Tabela 4.42 Ocena możliwości zastosowania płuczek kondensacyjnych do usuwania rtęci	411
Tabela 4.43 Emisje rtęci do wody z zakładów stosujących wymianę jonową	428
Tabela 4.44 Ilość odzyskanego HCl (30 %) na tonę odpadów.....	430
Tabela 4.45 Ilość odzyskanego gipsu na tonę przetworzonych odpadów	431
Tabela 4.46 Wyniki badań przeprowadzonych celem usunięcia Mo i Sb w spalarni Esbjerg w Danii	433
Tabela 4.47 Dane dotyczące wyjściowych koncentracji substancji w popiele paleniskowym zgłaszane przez przykładowy zakład przetwarzania popiołu.....	443
Tabela 4.48 Dane dotyczące eluatu wyjściowego popiołu paleniskowego podawane dla przykładowego systemu przetwarzania	443
Tabela 4.49 Względny uzysk różnych frakcji wyjściowych z przetwarzania popiołu paleniskowego "na mokro"	446
Tabela 4.50 Przykładowe wyniki wmywania wytworzonych granulatów	446
Tabela 4.51 Dane dotyczące wyjściowych koncentracji substancji w popiele paleniskowym zgłaszane przez przykładowy zakład przetwarzania popiołu.....	446
Tabela 4.52 Dane dotyczące eluatu wyjściowego popiołu paleniskowego podawane dla przykładowego systemu przetwarzania	447
Tabela 5.1 Związane z BAT poziomy efektywności środowiskowej dla niespalonych substancji w żużlach i popiołach paleniskowych pochodzących ze spalania odpadów.	467
Tabela 5.2 Związane z BAT poziomy efektywności energetycznej (BAT-AEELs) dla spalania odpadów	470
Tabela 5.3 Poziomy emisji powiązane z najlepszymi dostępnymi technikami (BAT-AEL) w odniesieniu do zorganizowanych emisji do powietrza pyłu, metali i metaloidów ze spalania odpadów	473
Tabela 5.4 Poziomy emisji powiązane z BAT (BAT-AEL) w odniesieniu do zorganizowanych emisji pyłu do powietrza z zamkniętej obróbki żużli i popiołów paleniskowych przy użyciu systemu wyciągu powietrza	473
Tabela 5.5 Poziomy emisji powiązane z BAT (BAT-AEL) w odniesieniu do emisji zorganizowanych HCl, HF i SO ₂ do powietrza ze spalania odpadów	474
Tabela 5.6 Poziomy emisji powiązane z BAT (BAT-AEL) w odniesieniu do zorganizowanych emisji NO _x i CO do powietrza ze spalania odpadów oraz w odniesieniu do zorganizowanych emisji NH ₃ do powietrza ze stosowania SNCR lub SCR.....	475

Tabela 5.7 Poziomy emisji powiązane z najlepszymi dostępnymi technikami (BAT-AEL) w odniesieniu do zorganizowanych emisji do powietrza całkowitego LZO, PCD/F oraz dioksynopodobnych PCB ze spalania odpadów	477
Tabela 5.8 Poziomy emisji powiązane z BAT (BAT-AEL) w odniesieniu do emisji zorganizowanych rtęci do powietrza ze spalania odpadów	478
Tabela 5.9 Poziomy emisji powiązane z BAT (BAT-AEL) w odniesieniu do emisji bezpośrednich do odbiornika wodnego	480
Tabela 5.10 Poziomy emisji powiązane z najlepszymi dostępnymi technikami w odniesieniu do emisji pośrednich do odbiornika wodnego.....	480
Tabela 6.1 Emisje do powietrza w procesie bezpłomieniowego, ciśnieniowego spalania tlenowego z wykorzystaniem trzech różnych rodzajów odpadów.....	490
Tabela 6.2 Próba wymywania żużla wytworzonego w procesie bezpłomieniowego, ciśnieniowego spalania tlenowego z wykorzystaniem trzech różnych rodzajów odpadów	491
Tabela 7.1 Kamienie milowe procesu przeglądu dokumentu BREF WI.....	494
Tabela 7.2 Omówienie "zdań odrębnych"	495
Tabela 8.1 Podsumowanie informacji z badania eksploatacyjnego instalacji wytwarzającej tylko energię elektryczną.....	499
Tabela 8.2 Podsumowanie informacji z badania eksploatacyjnego zakładu CHP zorientowanego na produkcję energii elektrycznej	500
Tabela 8.3 Podsumowanie informacji z badania eksploatacyjnego instalacji wytwarzającej wyłącznie ciepło	502
Tabela 8.4 Podsumowanie informacji z badania eksploatacyjnego zakładu CHP zorientowanego na produkcję energii ciepła	503
Tabela 8.5 Podsumowanie informacji z badania wydajności zakładu o konfiguracji hybrydowej	505
Tabela 8.6 Sumaryczne obliczenie sprawności energetycznej brutto części zakładu opisanej jako wirtualna CHP zorientowana na produkcję ciepła	505
Tabela 8.7 Sumaryczne obliczenie efektywności elektrycznej brutto części instalacji opisanej jako wirtualna instalacja elektryczna.	506
Tabela 8.8 Przykład metody wyboru systemu FGC z uwzględnieniem wielu kryteriów	507
Tabela 8.9 Przykład oceny kosztów (z uwzględnieniem wielu kryteriów) wykorzystanej do porównania opcji systemu FGC	508

ZAKRES

Niniejszy dokument BREF dotyczący spalania odpadów obejmuje następujące rodzaje działalności określone w Załączniku I do Dyrektywy 2010/75/UE:

- 5.2 Unieszkodliwianie lub odzysk odpadów w spalarniach odpadów:
- (a) dla odpadów innych niż niebezpieczne o wydajności przekraczającej 3 tony/godzinę;
 - (b) dla odpadów niebezpiecznych o wydajności przekraczającej 10 ton na dobę.
- 5.2 Unieszkodliwianie lub odzysk odpadów we współspalarniach odpadów:
- (a) dla odpadów innych niż niebezpieczne o wydajności przekraczającej 3 tony/godzinę;
 - (b) dla odpadów niebezpiecznych o wydajności przekraczającej 10 ton na dobę.

których głównym celem nie jest wytwarzanie produktów materialnych i w przypadku których spełniony jest co najmniej jeden z poniższych warunków:

- spalane są tylko odpady inne niż odpady zdefiniowane w art. 3(31)(b) Dyrektywy 2010/75/UE;
- ponad 40 % wytworzonego ciepła pochodzi z odpadów niebezpiecznych;
- spalane są zmieszane odpady komunalne.

5.3 (a) Unieszkodliwianie odpadów innych niż niebezpieczne o wydajności przekraczającej 50 ton na dobę, obejmujące przetwarzanie żużli i/lub popiołów paleniskowych pochodzących ze spalania odpadów.

5.3 (b) Odzysk lub kombinacja odzysku i unieszkodliwiania odpadów innych niż niebezpieczne o wydajności przekraczającej 75 ton na dobę, obejmująca przetwarzanie żużli i/lub popiołów paleniskowych pochodzących ze spalania odpadów.

5.1 Unieszkodliwianie lub odzysk odpadów niebezpiecznych o wydajności przekraczającej 10 ton na dobę, obejmujące przetwarzanie żużli i/lub popiołów paleniskowych pochodzących ze spalania odpadów.

Niniejszy dokument BREF nie uwzględnia następujących kwestii:

- Obróbka wstępna odpadów przed ich spaleniem. Może to być objęte dokumentem BREF dotyczącym przetwarzania odpadów (BREF WT).
- Obróbka popiołów lotnych pochodzących ze spalania oraz innych pozostałości po oczyszczaniu spalin (FGC). Może to być objęte dokumentem BREF dotyczącym przetwarzania odpadów (WT).
- Spalanie lub współspalanie wyłącznie odpadów gazowych innych niż powstałe w wyniku termicznego przetwarzania odpadów.
- Przetwarzanie odpadów w zakładach podlegających przepisom art. 42(2) Dyrektywy 2010/75/UE.

Inne dokumenty referencyjne, które mogą być istotne dla działań objętych niniejszym dokumentem BREF, to:

- Przetwarzanie odpadów (WT);
- Ekonomia oraz oddziaływanie na procesy i środowisko (ECM);
- Emisje z magazynowania (EFS);
- Efektywność energetyczna (ENE);
- Przemysłowe systemy chłodzenia (ICS);
- Monitorowanie emisji do powietrza i wody z instalacji IED (ROM);

Zakres

- Duże obiekty energetycznego spalania (LCP);
- Wspólne systemy oczyszczania/zagospodarowywania ścieków i gazów odlotowych w sektorze chemicznym (CWW).

Zakres niniejszego dokumentu BREF nie obejmuje kwestii, które dotyczą wyłącznie bezpieczeństwa w miejscu pracy lub bezpieczeństwa produktów, ponieważ kwestie te nie są objęte Dyrektywą. Będą one omawiane jedynie w przypadku, gdy dotyczą kwestii objętych zakresem Dyrektywy.

1. OGÓLNE INFORMACJE O SPALANIU ODPADÓW

1.1 Cel spalania oraz podstawowe koncepcje.

[1. UBA 2001], [64. TWG 2003]

Spalanie wykorzystywane jest do przetwarzania bardzo szerokiej gamy odpadów. Sam proces spalania stanowi zazwyczaj tylko część złożonego systemu przetwarzania odpadów, który w sumie zapewnia ogólne zarządzanie szeroką gamą odpadów wytwarzanych przez społeczeństwo.

W ciągu ostatnich 25 lat w sektorze spalania odpadów nastąpił szybki rozwój technologiczny. Duża część tych zmian była spowodowana prawodawstwem specyficznym dla tego sektora, co w szczególności przyczyniło się do zmniejszenia emisji do powietrza i wody. Trwa ciągły rozwój procesów, a sektor opracowuje obecnie techniki ograniczające ponoszone koszty, przy jednoczesnym utrzymaniu lub poprawie wyników w zakresie ochrony środowiska.

Pierwszym celem spalania odpadów jest ich przetwarzanie celem zmniejszenia ich objętości oraz stwarzanego zagrożenia, przy jednoczesnym wychwytywaniu (a tym samym koncentracji) lub niszczeniu potencjalnie szkodliwych substancji, które są lub mogą być uwalniane w trakcie procesu. Spalanie może również stanowić środek umożliwiający odzyskiwanie energii, minerałów i/lub substancji chemicznych z odpadów. Odzyskiwanie energii z odpadów komunalnych i podobnych stało się drugim ważnym celem ich spalania (koncepcja "odzysku energii" lub "energii z odpadów").

Zasadniczo spalanie odpadów polega na utlenianiu zawartych w nich materiałów palnych. Odpady są na ogół materiałem wysoce niejednorodnym, składającym się głównie z substancji organicznych, minerałów, metali oraz wody. Podczas spalania powstają gazy spalinowe, które zawierają w postaci ciepła większość dostępnej energii paliwa.

Znajdujące się w odpadach organiczne substancje palne ulegają spalaniu, gdy osiągną niezbędną temperaturę zapłonu oraz wejdą w kontakt z tlenem. Faktyczny proces spalania odbywa się w fazie gazowej w ułamkach sekund i jednocześnie uwalnia energię tam, gdzie wartość opałowa odpadów i dopływ tlenu są wystarczające; może to prowadzić do termicznej reakcji łańcuchowej i samopodtrzymującego się spalania, tzn. nie ma potrzeby dodawania innych paliw.

Głównymi etapami procesu spalania są:

1. **Suszenie oraz odgazowywanie** - w tym przypadku zawartość substancji lotnych (np. węglowodorów i wody) ewoluuje w temperaturach zwykle od 100 °C do 300 °C. Procesy suszenia i odgazowywania nie wymagają żadnych środków utleniających i są zależne jedynie od dostarczonego ciepła.
2. **Piroliza oraz zgazowanie** - piroliza to dalszy etap dekompozycji (rozkładu) substancji organicznych przy braku środka utleniającego, zachodząca w temperaturze około 250-700 °C. Zgazowanie pozostałości węglowych jest ich reakcją z parą wodną i CO₂ w temperaturach zwykle od 500 °C do 1 000 °C, ale może również zachodzić w temperaturach do 1 600 °C. W ten sposób stała substancja organiczna jest wprowadzana w fazę gazową. Oprócz temperatury tą reakcję wspomagają woda, para wodna oraz tlen.
3. **Utlenianie** - gazy palne powstające w poprzednich etapach są utleniane, w zależności od wybranej metody spalania, w temperaturze na ogół od 800 °C do 1 450 °C.

Wspomniane wyżej etapy zasadniczo nakładają się na siebie, co oznacza, że przestrzenna i czasowa ich separacja podczas spalania odpadów może być możliwa jedynie w ograniczonym zakresie. W rzeczywistości procesy te zachodzą częściowo równolegle oraz wzajemnie na siebie wpływają. Niemniej jednak możliwe jest, przy zastosowaniu w piecu odpowiednich środków technicznych, oddziaływanie na te procesy celem zmniejszenia emisji zanieczyszczeń. Środki takie obejmują projektowanie pieców, dystrybucję powietrza oraz techniki regulacji czy też kontroli.

W spalaniu całkowicie tlenowym głównymi składnikami spalin są: para wodna, azot, dwutlenek węgla oraz tlen. W zależności od składu spalanego materiału oraz warunków operacyjnych, powstają lub pozostają również mniejsze ilości m.in. CO, HCl, HF, HBr, HI, NOX, NH₃, SO₂, LZO, PCDD/F, PCB czy związków metali ciężkich. W zależności od temperatury spalania w czasie jego głównych etapów, lotne metale ciężkie oraz związki nieorganiczne (np. sole) zostają całkowicie lub częściowo odparowane. Substancje te są przenoszone z odpadów dostarczonych do przetworzenia zarówno do spalin, jak i do zawartego w nich popiołu lotnego. W rezultacie z pozostałości mineralnych powstaje popiół lotny (pył) oraz cięższy popiół stały (popiół paleniskowy). W spalarniach odpadów komunalnych udział popiołu paleniskowego wynosi około 10% obj. i około 20-30 wt-% odpadów dostarczonych do przetworzenia. Ilość popiołu lotnego jest znacznie mniejsza, na ogół tylko kilka procent wsadu. Proporcje pozostałości substancji stałych różnią się znacznie w zależności od rodzaju odpadów oraz szczegółów przebiegu procesu.

Dla skutecznego spalania tlenowego niezbędne jest wystarczające zaopatrzenie w tlen. Stosunek ilości dostarczonego powietrza do wymaganego chemicznie (lub stechiometrycznie) powietrza potrzebnego do spalania wynosi zazwyczaj od 1.2 do 2.5, w zależności od budowy pieca oraz tego, czy paliwo jest gazem, cieczą czy też substancją stałą.

Spalenie jest tylko jednym z etapów całego procesu spalania odpadów. Spalarnie składają się zazwyczaj ze złożonego zestawu współdziałających ze sobą elementów technicznych które, rozpatrywane łącznie, wpływają na całość procesu przetwarzania odpadów. Każdy z tych komponentów ma nieco inny cel główny tak, jak to przedstawiono w tabeli 1.1.

Tabela 1.1: Cele różnych elementów składowych spalarni odpadów

Cel	Element odpowiedzialny
<ul style="list-style-type: none">• Destrukcja substancji organicznych• Odparowanie wody• Odparowanie lotnych metali ciężkich oraz soli nieorganicznych• Wytwarzanie potencjalnie użytecznego żużla• Redukcja objętościowa pozostałości	Piec
<ul style="list-style-type: none">• Odzysk energii użytecznej	System odzysku energii
<ul style="list-style-type: none">• Usuwanie i koncentracja lotnych metali ciężkich oraz substancji nieorganicznych do postaci stałej, np. pozostałości z oczyszczania gazów spalinowych, osady z oczyszczania ścieków• Minimalizacja emisji	Oczyszczanie spalin
Źródło: [1. UBA 2001], [64. TWG 2003]	

1.2. Przegląd stosowanych w Europie technologii spalania odpadów

Skala wykorzystania spalania jako metody gospodarki odpadami różni się w zależności od lokalizacji. Na przykład w europejskich państwach członkowskich udział spalania w przetwarzaniu odpadów komunalnych waha się od zera do 55%.

W tabeli 1.2 przedstawiono szacunkowe dane dotyczące przetwarzania odpadów powstających w każdym państwie członkowskim w odniesieniu do stałych odpadów komunalnych, odpadów niebezpiecznych oraz osadów ściekowych. Uwzględniono również odpady składowane, ponieważ znaczna ich część może w przyszłości zostać skierowana do przetworzenia, w tym do spalania.

Uwaga. Ponieważ definicje oraz kategorie odpadów różnią się w poszczególnych krajach, niektóre z podanych wartości mogą nie być bezpośrednio porównywalne.

Tabela 1.2 Ilość stałych odpadów komunalnych (MSW), odpadów niebezpiecznych (HW) oraz osadów ściekowych (SS) w państwach członkowskich UE i ich przetwarzanie

Kraj	Stale odpady komunalne (MSW)				Odpady niebezpieczne (HW)				Osady ściekowe (SS)			
	Wytworzona ogółem ilość odpadów (w 10 ⁶ ton)	Rok z którego pochodzą dane	Ilość odpadów składowanych (w % i/lub w 10 ⁶ ton)	Ilość odpadów spalonych (w % i/lub w 10 ⁶ ton)	Wytworzona ogółem ilość odpadów (w 10 ⁶ ton)	Rok z którego pochodzą dane	Ilość odpadów składowanych (w % i/lub w 10 ⁶ ton)	Ilość odpadów spalonych (w % i/lub w 10 ⁶ ton)	Wytworzona ogółem ilość odpadów (w 10 ⁶ ton – substancji stałej)	Rok z którego pochodzą dane	Ilość odpadów składowanych (w % i/lub w 10 ⁶ ton)	Ilość odpadów spalonych (w % i/lub w 10 ⁶ ton)
Belgia (1)	4.65	2015	0.04	2.05	3.81	2016	1.22	0.42	0.16	2012	0	0.089
Bułgaria (1)	3.01	2015	1.99	0.08	13.3	2016	13.1	0.006	0.06	2015	0.0085	0
Czechy (1)	3.34	2015	1.75 (szacunki)	0.59 (szacunki)	1.09	2016	0.033	0.107	0.21	2015	0.021	0.008
Dania	11 (2) 4.48 (1)	2015	4% 0.05	27% 2.36	0.55	2016	0.17	0.12	0.13	2016	0.001	0.035
Niemcy	51.1	2014	0	32%	25.3	2014	4.6 (1)	4.5	1.8	2014	0	1 (1)
Estonia (1)	0.47	2015	0.035	0.24	9.68	2016	9.23	0.013	0.02	2013	0.002	NI
Irlandia	2.62	2014	0.54	0.89	0.48 (1)	2014	0.04 (1)	0.045 (1)	0.06 (1)	2015	0.0001 (1)	0 (1)
Grecja (1)	5.27	2015	4.43	0.018	0.22	2014	0.02	0.006	0.12	2014	0.039	0.039
Hiszpania	21.2	2015	57.3%	12.7%	3.18	2016	0.6	0.22	1.13	2012	0.08	0.075
Francja	34.1	2016	22.4%	35.9%	11	2016	2.3	2.6	1.2	2016	NI	NI
Chorwacja (1)	1.65	2015	1.32	0	0.174	2016	0.006	0.0014	0.018	2015	0.016	NI
Włochy	29.52	2015	26.5%	18.9%	9.1	2015	1.3	0.39	3.1	2015	0.4	0.01
Cypr (1)	0.54 (szacunki)	2015	0.43	0	0.159	2016	0.129	0.0002	0.007	2015	0	0
Łotwa (1)	0.80	2015	0.49	0	0.066	2016	0.002	0.003	0.008	2012	0.0002	0
Litwa (1)	1.30	2015	0.70	0.15	0.176	2016	0.01	0.005	0.043	2015	0	0
Luksemburg (1)	0.35	2015	0.06	0.12	0.427	2016	0.007	0.042	0.009	2015	NI	0.001
Węgry (1)	3.71	2015	1.99	0.52	0.174	2016	0.069	0.1	0.157	2015	0.005	0.024
Malta (1)	0.27	2015	0.24	0.001	0.174	2016	0	0.0005	0.008	2015	0.008	0
Holandia	8.86 (1)	2015	0.13 (1)	4.15 (1)	5.13 (1)	2016	1 (1)	0.716 (1)	0.53	2015	0	0.321 (1)
Austria (1)	4.84	2015	0.14	1.83	1.26	2016	0.066	NI	0.239	2014	0.003	0.139
Polska (1)	10.8 (szacunki)	2015	5.90 (szacunki)	1.44 (szacunki)	1.91	2016	0.30	0.161	0.568	2015	0.04	0.057
Portugalia	4.71	2014	2.31	0.97	0.83 (1)	2016	0.24 (1)	0.046 (1)	0.339 (1)	2012	0.011	0
Rumunia (1)	4.9	2015	3.56	0.13	0.619	2016	0.12	0.147	0.210	2015	0.104	0
Słowenia (1)	0.93	2015	0.21	0.16 (szacunki)	0.124	2016	0.01	0.015	0.029	2015	0.0002	0.013
Słowacja (1)	1.78	2015	1.23	0.19	0.496	2016	0.08	0.019	0.056	2015	0.005	0.003
Finlandia	2.7	2016	3%	55%	2.0	2016	86%	8%	0.8 (stan wilgotny)	2016	2%	0
Szwecja	4.55	2017	0.4% (0.02)	53% (2.4)	2.0	2016	0.63	0.32	0.2	2014	0.003	0.002
Wlk. Brytania (1)	31.46	2015	7.12	9.90	6.11	2016	0.84	0.33	1.14	2012	0.005	0.229
UE-28 razem (1)	244.82	2015	26%	27%	94.73	2014	37.3	10.2	9.1	2012	0.67	2.3

Uwagi: ; N - brak danych; NA - nie dotyczy. Ponieważ definicje i kategorie odpadów różnią się w poszczególnych Państwach Członkowskich, niektóre z podanych wartości mogą nie być bezpośrednio porównywalne; balans do 100 % dla metod przetwarzania wynika, poza składowaniem i spalaniem, z innych metod, np. odzysku czy recyklingu.
(1) Dane Eurostat (env_wasmun, env_wasrt, env_ww_spd z dnia 20/11/2018). We wszystkich pozostałych przypadkach dane zostały dostarczone bezpośrednio przez państwo członkowskie.
(2) Obejmuje wszystkie wytworzone odpady, inne niż niebezpieczne, z wyłączeniem osadów ściekowych oraz zanieczyszczonej gleby
Źródło: [7. TWG 2017], [14. Eurostat 2018]

W tabeli 1.3 przedstawiono liczbę oraz całkowitą moc istniejących spalarni (bez uwzględnienia obiektów planowanych) dla różnych rodzajów odpadów.

Tabela 1.3 Rozmieszczenie geograficzne spalarni odpadów komunalnych, niebezpiecznych i osadów ściekowych

Państwo (rok bazowy)	Ogólna liczba spalarni MSW	Wydajność (Mt/rok)	Ogólna liczba spalarni HW	Wydajność (Mt/rok)	Ogólna liczba spalarni osadów ściekowych	Wydajność (Mt/rok – substancji stałej)
Austria	12	2.5	2	0.1	1	NI
Belgia	16	2.7	3	0.3	1	0.02
Czechy	3	0.65	NI	NI	NI	NI
Dania	29 (1)	4.8 (1)	3	0.26	3	0.1
Estonia	NI	0.25	NI	NI	NI	NI
Finlandia	9	1.7	1	0.2	3	0.039
Francja	127	14.4	48 (2)	2.03 (3)	27	NI
Niemcy	89	22.8	31 (4)	1.5	19	2.2
Węgry	1	0.38	NI	NI	NI	NI
Irlandia	1	0.22	11	NI	NI	NI
Włochy	44	7.3	NI	NI	NI	NI
Litwa	NI	0.23	NI	NI	NI	NI
Luksemburg	1	0.15	0	0	NI	NI
Holandia	13	7.6	1	0.1	2	0.19
Norwegia	15	1.6	NI	NI	NI	NI
Polska	NI	0.04	NI	NI	NI	NI
Portugalia	3	1.2	5	NI	NI	NI
Słowacja	2	0.17	NI	NI	NI	NI
Słowenia	NI	0.004	NI	NI	NI	NI
Hiszpania	10	2.64	1	0.038	2	0.032
Szwecja (5)	34	6.6	1	0.1 (6)	0	0
Szwajcaria	29	3.29	11	2	14	0.1
Wlk. Brytania	NI	6.18	3	0.12	11	0.42
UE28 - Razem	470	NI	NI	NI	NI	NI

NI - Nie dostarczono danych.

(1) Obejmuje wszystkie spalarnie i współspalarnie przetwarzające głównie odpady stałe inne niż niebezpieczne. Szacunki według [16. Wilts i in. 2017] dla samych MSW wynoszą 3.3 Mt/rok.

(2) Obejmuje 28 dedykowanych obiektów komercyjnych i 20 zakładów wewnętrznych (dane z 2015 r.).

(3) 1.51 dla obiektów komercyjnych i 0.52 dla zakładów wewnętrznych (dane z 2015 r.).

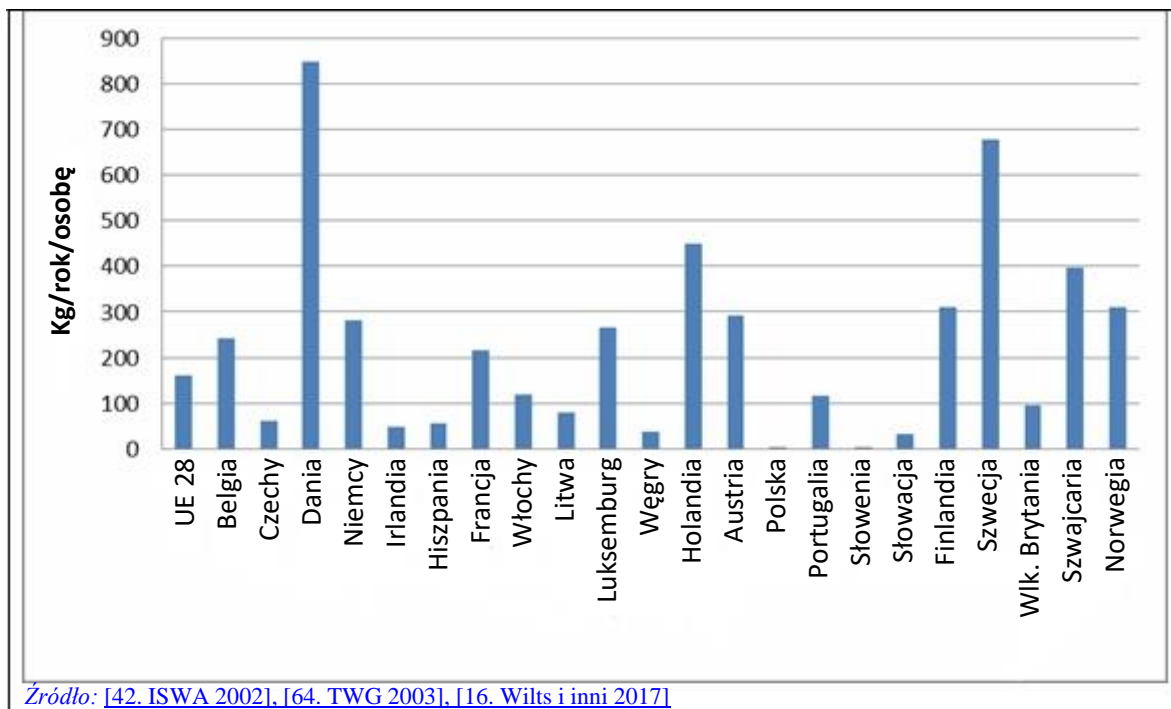
(4) Dane obejmują instalacje stosowane w przemyśle chemicznym.

(5) W sumie w 34 instalacjach pracuje 54 instalacji WI (kotły). 14 z 34 instalacji certyfikowanych jest również do spalania HW.

(6) Dodatkowo dopuszcza się spalanie 0.56 Mt/rok w 14 zakładach MSWI o których mowa w przypisie (5).

Źródło: [1. UBA 2001], [64. TWG 2003], [47. TWG 2018], [16. Wilts i in. 2017], [34. ISWA 2012]

Ilustracja 1.1 pokazuje zróżnicowanie w poszczególnych państwach członkowskich w zakresie wydajności spalania odpadów komunalnych w przeliczeniu na mieszkańca. Nie przedstawiono państw członkowskich, w których w 2014 r. nie funkcjonowały żadne spalarnie.



Ilustracja 1.1 Zdolność spalania odpadów komunalnych w przeliczeniu na mieszkańca (per capita) w roku 2014

1.3. Wielkość zakładów

Wielkość instalacji w całej Europie jest bardzo zróżnicowana. Różnice te można zaobserwować w obrębie oraz pomiędzy poszczególnymi stosowanymi technologiami czy też rodzajami odpadów. Największy zakład przetwarzania stałych odpadów komunalnych w Europie ma wydajność przekraczającą 1 mln ton rocznie.

W tabeli 1.4 przedstawiono różnice w średniej wydajności zakładów MSW w poszczególnych krajach.

Tabela 1.4 Średnia zdolność produkcyjna (wydajność) spalarni stałych odpadów komunalnych (MSW) w poszczególnych krajach

Państwo	Średnia wydajność spalarni MSW (kilotony/rok)
Austria	178
Belgia	141
Dania	114
Finlandia	180
Francja	113
Niemcy	256
Włochy	161
Holandia	488
Portugalia	390
Hiszpania	264
Szwecja	136
Wlk. Brytania	246
Norwegia	60
Szwajcaria	110
ŚREDNIO	193

Źródło: [11. Assure 2001], [64. TWG 2003], [47. TWG 2018].

Tabela 1.5 przedstawia typowy zakres zastosowań podstawowych technologii spalania.

Tabela 1.5 Typowe zakresy stosowania technologii przetwarzania termicznego

Technologia	Typowy zakres stosowania (tony/dzień)
Ruchomy ruszt (spalanie masowe)	120–720
Złoże fluidalne	36–200
Piec obrotowy	10–350
Piroliza	10–100
Zgazowanie	250–500

Uwagi. Wartości dotyczą typowo stosowanych zakresów - każda technologia może być stosowana również poza przedstawionym zakresem.
Źródło: [10. Juniper 1997], [64. TWG 2003]

1.4. Skład odpadów oraz projektowanie procesu

Dokładny projekt spalarni odpadów będzie zależał od rodzaju odpadów, które mają być przetwarzane. Kluczowymi czynnikami są następujące parametry oraz ich zmienność:

- skład chemiczny odpadów;
- skład fizyczny odpadów np. wielkość cząsteczek;
- charakterystyka termiczna odpadów np. wartość kaloryczna, poziom zawilgocenia.

Procesy zaprojektowane dla wąskiego zakresu specyficznych wsadów mogą być zazwyczaj bardziej zoptymalizowane niż te, które obsługują odpady o większej zmienności. To z kolei może pozwolić na poprawę stabilności procesu oraz jego efektywności środowiskowej, a także uprościć dalsze działania, takie jak oczyszczanie spalin. Ponieważ oczyszczanie spalin ma często znaczny udział w ogólnych kosztach spalania (około 15-35% całkowitych kosztów kapitałowych), prowadzi to finalnie do zmniejszenia kosztów przetwarzania w spalarni. Koszty zewnętrzne (tj. występujące zasadniczo poza granicami instalacji zgodnych z IED) związane z przetwarzaniem wstępnym lub selektywną zbiórką niektórych odpadów mogą jednak znacznie zwiększać ogólne koszty zarządzania nimi a także emisje z całego systemu przetwarzania odpadów. Często decyzje dotyczące szeroko rozumianej gospodarki odpadami (tzn. sposobu ich powstawania, zbiórki, transportu, przetwarzania, unieszkodliwiania, składowania itp.) uwzględniają bardzo dużą liczbę czynników. Wybór procesu spalania może więc stanowić część szerszego procesu.

Używane systemy zbiórki oraz przetwarzania wstępnego mogą mieć duży wpływ na rodzaj oraz charakter odpadów, które ostatecznie trafią do spalarni (np. zmieszane odpady komunalne lub paliwo odpadowe RDF), a tym samym na rodzaj spalarni, która najlepiej będzie się do nich nadawać. Przepisy dotyczące selektywnej zbiórki z gospodarstw domowych różnych frakcji odpadów mogą mieć duży wpływ na ich średni skład odbierany przez zakład MSWI. Na przykład, oddzielna zbiórka niektórych baterii czy amalgamatu dentystycznego może znacznie zmniejszyć ilość wprowadzanej do spalarni rtęci. [\[64. TWG 2003\]](#)

Koszty technologii stosowanych do zarządzania pozostałościami powstającymi w spalarni oraz do dystrybucji i wykorzystania odzyskanej energii odgrywają również pewną rolę podczas wyboru procesu.

W wielu przypadkach spalarnie odpadów mogą mieć możliwość jedynie ograniczonej kontroli nad dokładną zawartością odpadów, które otrzymują. Powoduje to konieczność zaprojektowania niektórych instalacji w taki sposób, aby były one wystarczająco elastyczne, by poradzić sobie z szerokim zakresem wprowadzanych do nich odpadów. Dotyczy to zarówno etapu spalania, jak i kolejnych etapów oczyszczania spalin.

Głównymi rodzajami odpadów, do których stosuje się spalanie jako proces przetwarzania są:

- odpady komunalne (odpady reszkowe - nie przetworzone wstępnie);
- wstępnie przetworzone odpady komunalne (np. wybrane frakcje lub paliwo odpadowe RDF);
- odpady przemysłowe inne niż niebezpieczne oraz opakowania;
- odpady niebezpieczne;
- osady ściekowe;
- odpady medyczne.

Wiele spalarni przyjmuje kilka z wymienionych rodzajów odpadów. Same odpady są powszechnie klasyfikowane na wiele różnych sposobów:

- ze względu na pochodzenie np. pochodzące z gospodarstw domowych, handlowe lub przemysłowe;
- ze względu na ich charakter np. gnilne lub niebezpieczne;
- ze względu na charakter zarządzania nimi np. zbierane selektywnie, materiały odzyskane.

Różne klasy nakładają się na siebie. Na przykład, odpady różnego pochodzenia mogą zawierać

frakcje gnilne lub niebezpieczne. [64. TWG 2003]

Tabela 1.6 przedstawia dane dotyczące składu odpadów wytwarzanych w Niemczech. Osady ściekowe obejmują osady z oczyszczania ścieków komunalnych oraz przemysłowych.

Tabela 1.6 Typowy skład odpadów w Niemczech

Parametr	Odpady komunalne	Odpady niebezpieczne	Osady ściekowe
Wartość kaloryczna (górną) (MJ/kg)	7–15	1–42	2–14
Woda (%)	15–40	0–100	3–97
Popiół	20–35	0–100	1–60
Węgiel (% DS)	18–40	5–99	30–35
Wodór (% DS)	1–5	1–20	2–5
Azot (% DS)	0.2–1.5	0–15	1–4
Tlen (% DS)	15–22	NI	10–25
Siarka (% DS)	0.1–0.5	NI	0.2–1.5
Fluor (% DS)	0.01–0.035	0–50	0.1–1
Chlor (% DS)	0.1–1	0–80	0.05–4
Brom (% DS)	NI	0–80	NI
Jod (% DS)	NI	0–50	NI
Ołów (mg/kg DS)	100–2 000	0–200 000	4–1 000
Kadm (mg/kg DS)	1–15	0–10 000	0.1–50
Miedź (mg/kg DS)	200–700	NI	10–1 800
Cynk (mg/kg DS)	400–1 400	NI	10–5 700
Rtęć (mg/kg DS)	1–5	0–40 000	0.05–10
Tal (mg/kg DS)	< 0.1	NI	0.1–5
Mangan (mg/kg DS)	250	NI	300–1 800
Wanad (mg/kg DS)	4–11	NI	10–150
Nikiel (mg/kg DS)	30–50	NI	3–500
Kobalt (mg/kg DS)	3–10	NI	8–35
Arsen (mg/kg DS)	2–5	NI	1–35
Chrom (mg/kg DS)	40–200	NI	1–800
Selen (mg/kg DS)	0.21–15	NI	0.1–8
PCB (mg/kg DS)	0.2–0.4	Do 60 %	0.01–0.13
PCDD/F (ng I-TEQ/kg)	50–250	10–10 000	8.5–73
Uwagi: NI - nie dostarczono danych. % DS = odsetek suchej masy Wartość opałowa osadu ściekowego odnosi się do osadu surowego > 97 % DS. Sub-frakcja (odjęcie) odpadów niebezpiecznych może powodować odchylenia poza podane zakresy. Źródło: [1. UBA 2001], [64. TWG 2003]			

Zakres możliwości projektowania instalacji jest prawie tak szeroki, jak spektrum składu odpadów.

Nowe zakłady mają tę zaletę, że można zaprojektować konkretne rozwiązanie technologiczne, które będzie dostosowane do specyfiki odpadów planowanych w tym zakładzie do przetworzenia. Korzystają one również z rozwoju przemysłu oraz wieloletniej wiedzy na temat praktycznego zastosowania technik, a zatem mogą być projektowane z myślą o wysokich standardach ochrony środowiska, przy jednoczesnym ograniczaniu kosztów.

Przy wyborze opcji modernizacji istniejące zakłady mają znacznie mniejszą elastyczność. Ich konstrukcja może być wynikiem 10 - 20 lat ewolucji procesu. Często w Europie motywowane to jest wymogami ograniczenia emisji do powietrza i/lub zwiększeniem efektywności energetycznej. Kolejny etap rozwoju procesu będzie wtedy często, i w dużym stopniu (lub nawet całkowicie), zależny od istniejącej konstrukcji. W sektorze można zaobserwować wiele specyficznych dla danego miejsca rozwiązań lokalnych. Wiele z nich zostałyby prawdopodobnie skonstruowanych w inny sposób, w przypadku całkowitej przebudowy. [6. EGTEI 2002]

1.5. Kluczowe kwestie środowiskowe

Same odpady oraz ich zagospodarowanie stanowią istotny problem środowiskowy. Dlatego też przetwarzanie termiczne odpadów może być postrzegane jako odpowiedź na zagrożenie dla środowiska, jakie stwarzają źle zarządzane lub w ogóle niezarządzane strumienie odpadów.

Celem przetwarzania termicznego (patrz również Sekcja 1.1) jest zapewnienie ogólnego zmniejszenia wpływu odpadów na środowisko, który w przeciwnym razie mógłby powstać. Jednakże w trakcie eksploatacji instalacji spalania powstają emisje i zużycie, na których istnienie lub wielkość ma wpływ projekt oraz funkcjonowanie zakładu. W związku z tym w niniejszej sekcji podsumowano w skrócie główne kwestie środowiskowe, które wynikają bezpośrednio ze spalania odpadów (tj. nie uwzględniono w niej szerszego oddziaływania lub korzyści wynikających ze spalania odpadów). Zasadniczo te bezpośrednie oddziaływania dzielą się na następujące główne kategorie:

- emisje do powietrza oraz wody;
- wytwarzanie pozostałości;
- hałas;
- produkcja oraz konsumpcja energii;
- zużycie surowców (odczynników);
- emisje ulotne (niezorganizowane) i odór - głównie z magazynowaniem odpadów;
- ograniczenie ryzyka związanego z magazynowaniem/postępowaniem/obróbką odpadów niebezpiecznych.

Inne oddziaływania, jakkolwiek wykraczające poza zakres niniejszego dokumentu (mogące jednak znacząco wpłynąć na ogólne oddziaływanie całego projektu na środowisko), wynikają z następujących operacji:

- transport odpadów dostarczanych oraz wytwarzanych pozostałości;
- rozległa obróbka wstępna odpadów na miejscu lub poza nim (np. przygotowanie paliw pochodzących z odpadów i związane z tym przetwarzanie odpadów).

1.5.1. Emisje do powietrza i wody

Emisje do powietrza od dawna znajdują się w centrum uwagi każdej spalarni odpadów. Znaczący postęp w dziedzinie technologii oczyszczania, w szczególności spalin, doprowadził do znacznego ograniczenia tych emisji.

Kontrola emisji do powietrza pozostaje jednak ważną kwestią dla omawianego sektora. Ponieważ cały proces spalania odbywa się zazwyczaj pod niewielkim podciśnieniem atmosferycznym (ze względu na powszechne stosowanie wentylatora wyciągowego indukowanego ciągiem powietrza), emisje do powietrza odbywają się na ogół wyłącznie poprzez komin. [2. [InfoMil 2002](#)]

Poniżej przedstawiono w punktach podsumowanie głównych emisji do powietrza pochodzących z komina (zostały one opisane bardziej szczegółowo w sekcji 3.2.1):

- pył, - w tym pył zawieszony o różnej wielkości cząstek;
- kwasy + inne gazy, - w tym HCl, HF, HBr, HI, SO₂, NO_x i NH₃;
- metale ciężkie, - w tym Hg, Cd, Tl, As, Ni i Pb;
- dwutlenek węgla, - nieobjęty dyrektywą IED lub niniejszym BREF
- inne związki węgla, - w tym CO, LZO, PCDD/F oraz PCB

Uwolnienia do powietrza z innych źródeł mogą obejmować:

- odór - z postępowania i magazynowania nieprzetworzonych odpadów;
- gazy cieplarniane (GHG) - z rozkładu magazynowanych odpadów, np. metan, CO₂;

- pył, - z postępowania z suchymi odczynnikami oraz miejsc magazynowania odpadów.

Podstawowe potencjalne źródła uwolnień do wody (zależnie od procesu) to:

- | | |
|---|---|
| • ścieki z urządzeń kontrolujących zanieczyszczenie powietrza, | np. sole, metale |
| • końcowe zrzuty ścieków z oczyszczalni ścieków, | np. sole, metale |
| • woda kotłowa – odpowietrzanie, | np. sole |
| • woda chłodząca - z systemów chłodniczych, | np. sole, produkty biobójcze |
| • drenaż dróg i innych nawierzchni, | np. odcieki z odpadów rozpuszczonych |
| • magazynowanie dostarczonych odpadów, postępowanie z nimi oraz obszary transferu | np. odpady rozpuszczone |
| • miejsca magazynowania surowców, | np. chemikalia używane do przetwarzania |
| • miejsca postępowania, przetwarzania i magazynowania pozostałości, | np. sole, metale, związki organiczne. |

Ścieki produkowane w instalacji, w zależności od ich rzeczywistego źródła, mogą zawierać wiele potencjalnie zanieczyszczających substancji. Rzeczywiste uwolnienie będzie w dużym stopniu zależało od zastosowanych systemów przetwarzania oraz kontroli.

1.5.2 Wytwarzanie pozostałości oraz materiałów do odzysku

Charakter oraz ilość wytwarzanych pozostałości / materiałów wyjściowych jest kluczową kwestią dla sektora. Dzieje się tak ponieważ obie te kwestie: (1) stanowią miarę kompletności procesu spalania oraz (2) stanowią na ogół największe potencjalne źródło odpadów powstających w instalacji.

Chociaż rodzaje i ilości wytwarzanych pozostałości różnią się znacznie w zależności od projektu instalacji, jej działania oraz wielkości wsadu odpadów, podczas procesu spalania powszechnie wytwarzane są następujące główne strumienie odpadów: [\[64. TWG 2003\]](#), [\[1. UBA 2001\]](#)

- popiół paleniskowy i/lub żużel;
- popiół kotłowy;
- popiół lotny;
- inne pozostałości z oczyszczania spalin (np. chlorki wapnia lub sodu);
- szlam z przetwarzania ścieków.

W niektórych przypadkach strumienie tych odpadów są segregowane, podczas gdy w innych przypadkach łączone, w ramach procesu lub poza nim.

Substancje, które mogą zostać uzyskane po przetworzeniu popiołów paleniskowych to:

- materiały budowlane;
- metale żelazne;
- metale nieżelazne.

Ponadto, niektóre zakłady stosujące mokre procesy FGC oraz wyposażone w dodatkowy specjalistyczny sprzęt są w stanie odzyskać:

- siarczan wapnia (gips);
- kwas solny;
- węglan sodu;
- chlorek sodu;
- cynk, ołów, miedź oraz kadm.

Spośród tych produktów, chociaż zależy to bardzo od rodzaju odpadów, popioły paleniskowe wytwarzane są zazwyczaj w największych ilościach. W wielu miejscach, często w zależności od lokalnego ustawodawstwa i praktyki, popiół paleniskowy przetwarzany jest celem recyklingu jako substytut kruszywa. Raczej wysokie wskaźniki ponownego wykorzystania popiołu paleniskowego wynikają z następujących przykładowych danych zgłoszonych przez niektóre państwa członkowskie UE [47. TWG 2018]:

- we Francji, 87% poddanych recyklingowi i 13% składowanych;
- we Włoszech, 83% poddanych recyklingowi i 17% składowanych;
- w Finlandii 100% poddanych recyklingowi;
- w Szwecji, 100% ponownie wykorzystane jako materiał pokrywający składowiska odpadów;
- W Danii 100 % popiołów paleniskowych pochodzących ze spalania odpadów innych niż niebezpieczne poddawane jest recyklingowi, natomiast popioły paleniskowe ze spalania odpadów niebezpiecznych są składowane.

Pozostałości z oczyszczania spalin są ważnym źródłem powstawania odpadów. Ich ilość oraz charakter różnią się, głównie ze względu na rodzaj spalanych odpadów oraz zastosowaną technologię.

1.5.3 Hałas

Aspekt hałasu towarzyszący spalaniu odpadów można porównać z innymi gałęziami przemysłu oraz elektrowniami. Powszechną praktyką jest instalowanie, w miarę możliwości, nowych spalarni odpadów komunalnych w całkowicie zamkniętych budynkach. Zazwyczaj obejmuje to rozładunek odpadów, mechaniczną obróbkę wstępną, przetwarzanie spalin oraz pozostałości. Zazwyczaj tylko niektóre części systemów oczyszczania spalin (rury, przewody, SCR, wymienniki ciepła itp.), urządzenia chłodzące oraz długoterminowe magazyny popiołu paleniskowego znajdują się bezpośrednio na wolnym powietrzu. [2. InfoMil 2002]

Najważniejszymi źródłami hałasu są:

- pojazdy używane do transportu odpadów, chemikaliów i pozostałości;
- mechaniczna obróbka wstępna odpadów, np. rozdrabnianie, belowanie;
- wentylatory wyciągowe, odprowadzające spaliny z procesu spalania i powodujące hałas na wylocie z komina;
- system chłodzenia (chłodzenie ewaporacyjne, szczególnie skraplacze schładzające powietrze);
- turbo-generatory (wysoki poziom hałasu, więc zwykle umieszczone są w specjalnych dźwiękoszczelnych budynkach);
- awaryjne przedmuchi ciśnienia w kotle (wymagają bezpośredniego uwolnienia do atmosfery ze względu na bezpieczeństwo kotła);
- sprężarki na sprężone powietrze;
- transport oraz obróbka popiołu paleniskowego (jeżeli znajduje się w tym samym zakładzie).

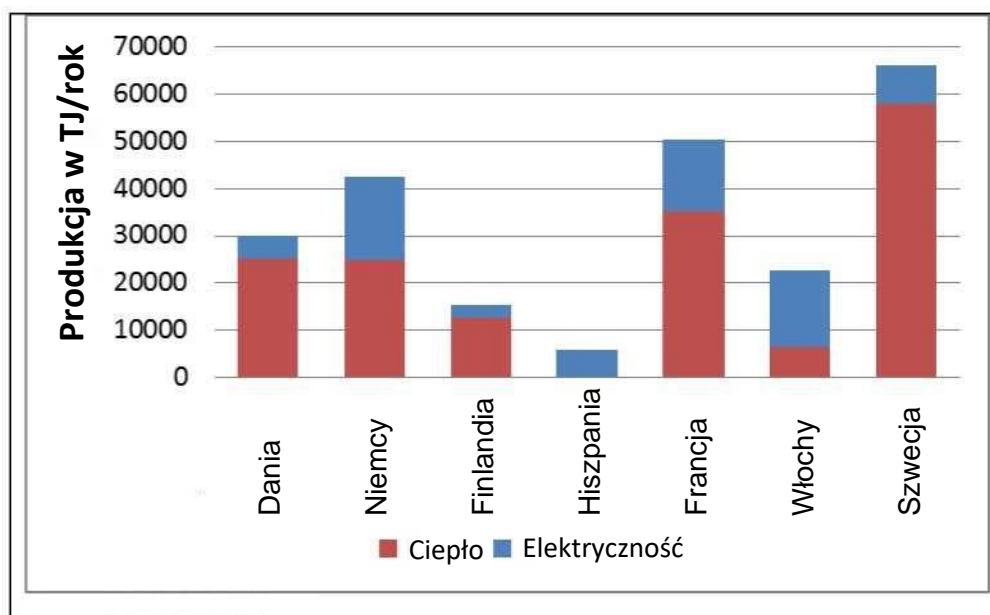
Systemy SCR oraz kanały odprowadzania spalin są mało hałaśliwe i często nie znajdują się wewnątrz budynków. Inne części instalacji zazwyczaj nie mają znaczenia jeśli chodzi o wytwarzanie hałasu, ale mogą dokładać się do ogólnej wartości hałasu wydostającego się na zewnątrz z budynków zakładu.

1.5.4 Produkcja oraz konsumpcja energii

Spalarnie odpadów zarówno produkują, jak i zużywają energię. Jednak w zdecydowanej większości przypadków wartość energetyczna odpadów przewyższa wymagania procesu, co przekłada się na eksport energii netto. Ma to często miejsce zwłaszcza w przypadku spalarni odpadów komunalnych.

Biorąc pod uwagę całkowitą ilość powstających odpadów oraz ich wzrost na przestrzeni wielu lat, można stwierdzić, że spalanie odpadów stanowi potencjalnie duże źródło energii. W niektórych państwach członkowskich to źródło energii jest już dobrze wykorzystywane, szczególnie w przypadku zastosowania kogeneracji. Kwestie energetyczne omówiono bardziej szczegółowo w dalszej części niniejszego dokumentu (zob. sekcje 3.5 i 4.4). [64. TWG 2003]

Ilustracja 1.2. przedstawia produkcję ciepła i energii elektrycznej w spalarniach odpadów komunalnych niektórych państw członkowskich UE. Ogólnie rzecz biorąc, całkowitą ilość energii uzyskanej w zakładach odzysku energii krajów UE-28 oszacowano w 2013 r. na 275 000 TJ odzyskanego ciepła i 110 000 TJ odzyskanej energii elektrycznej. Należy zwrócić uwagę na ogólną różnicę pomiędzy krajami północy UE, w których elektrownie przemysłowe są często projektowane z myślą o eksporcie energii elektrycznej poprzez sieci ciepłownicze, a południa UE, w których cieplejszy klimat powoduje, że zapotrzebowanie na ciepło ma charakter wysoce sezonowy, sieci ciepłownicze są mniej powszechne, a elektrownie przemysłowe są często projektowane z myślą o eksporcie wyłącznie energii elektrycznej.



Ilustracja 1.2 Produkcja energii w europejskich spalarniach odpadów komunalnych w 1999 r.

Większość odpadów komunalnych i przemysłowych, w tym paliwo odpadowe RDF, zawiera znaczną zawartość biogenów (sięgającą w niektórych przypadkach 60 % i więcej). W przypadku spalarni osadów ściekowych przetwarzających osady pochodzące z biologicznego przetwarzania ścieków a także wyspecjalizowanych spalarni odpadów drzewnych udział ten może zwykle wynosić nawet powyżej 95 %. Energię pochodzącą z frakcji biomasy można uznać za zastępującą paliwa kopalne, a zatem odzysk energii z tej frakcji można uznać za przyczyniający się do zmniejszania ogólnej emisji dwutlenku węgla związanej z produkcją energii. W niektórych krajach zachęca się do tego poprzez dotacje oraz obniżki podatków. [64. TWG 2003]

Wkłady energii do procesu spalania mogą obejmować:

- odpady;
- paliwo wspomagające proces (np. olej napędowy, gaz ziemny):
 - do rozruchu lub wyłączenia;
 - do utrzymania wymaganej temperatury w przypadku odpadów o niskiej wartości kalorycznej;
 - do wtórnego podgrzania spalin przed przetworzeniem lub uwolnieniem;
- dostarczoną (importowaną) energię;

- gdy turbina (turbiny) lub wszystkie linie są zatrzymane, oraz w przypadku zakładów niewytwarzających energii elektrycznej.

(Uwaga: niektóre z powyższych nakładów energii przyczyniają się do produkcji pary/ciepła w przypadku, gdy wykorzystywane są kotły, a zatem energia zostanie częściowo odzyskana w procesie).

Produkcja energii, zużycie własne oraz eksport energii obejmuje:

- energię elektryczną;
- ciepło (w postaci pary lub gorącej wody);
- syngaz (gaz syntezowy; dla instalacji do pirolizy i gazyfikacji, które nie spalają syngazu na miejscu).

Efektywne odzyskiwanie energii z odpadów jest generalnie uważane za kluczową kwestię w tej branży. [\[74. TWG 2004\]](#)

1.5.5 Zużycie surowców i energii

Spalarnie odpadów mogą zużywać:

- energię elektryczną;
- ciepło (w konkretnym celu);
- paliwa, paliwa wspomagające (np. gaz, lekkie oleje, węgiel i jego pochodne);
- wodę, do przetwarzania spalin, chłodzenia oraz do kotła;
- odczynniki do oczyszczania spalin, np. sodę kaustyczną, wapno, wapno palone, wapno gaszone, wodorowęglan sodu, siarczyn sodu, nadtlenuk wodoru, węgiel aktywny, amoniak oraz mocznik;
- odczynniki do uzdatniania wody, np. kwasy, zasady, trimerkaptotriazynę, siarczyn sodu;
- powietrze pod wysokim ciśnieniem.

[\[74. TWG 2004\]](#)

1.6 Informacje ekonomiczne

Aspekty ekonomiczne spalania odpadów różnią się znacznie w zależności od regionu i kraju, nie tylko ze względu na kwestie techniczne, ale także w zależności od polityki zarządzania odpadami. [\[43. Eunomia 2001\]](#), [\[64. TWG 2003\]](#)

Na koszty spalania wpływają na ogół następujące czynniki:

- Koszty nabycia gruntów.
- Skala działania (często mogą występować istotne niedogodności w przypadku pracy na małą skalę).
- Stopień wykorzystania zakładu.
- Aktualne wymagania dotyczące przetwarzania spalin / uwolnień, np. narzucone dopuszczalne wartości emisji mogą decydować o wyborze konkretnych technologii, które w niektórych okolicznościach nakładają znaczne dodatkowe koszty kapitałowe i operacyjne, w tym koszty paliw, energii elektrycznej, odczynników oraz innych materiałów eksploatacyjnych.
- Przetwarzanie i usuwanie/odzyskiwanie pozostałości popiołu, np. popiół paleniskowy może być często wykorzystywany do celów budowlanych, w którym to przypadku unika się kosztów składowania. Koszty przetwarzania popiołu lotnego znacznie się różnią, ze względu na różne podejścia i przepisy stosowane w odniesieniu do potrzeby przetwarzania przed odzyskaniem lub unieszkodliwieniem, a także ze względu na specyfikę zakładów unieszkodliwiania.
- Efektywność odzysku energii oraz dochody uzyskane za przekazaną energię. Cena jednostkowa dostarczonej energii oraz to, czy przychody uzyskiwane są tylko z tytułu ciepła lub energii elektrycznej, czy też z obu tych źródeł razem są ważnymi wyznacznikami kosztów netto.
- Odzyskiwanie metali i uzyskane z tego tytułu dochody.
- Podatki lub dotacje otrzymane z tytułu spalania i/lub nałożone na emisje - bezpośrednie i pośrednie dotacje mogą mieć znaczący wpływ na opłatę za przyjęcie odpadów do spalania (w zakresie 10-75 %).
- Wymagania architektoniczne.
- Zagospodarowanie otaczającego terenu na potrzeby dostaw oraz inna infrastruktura.
- Wymagania w zakresie dostępności, np. dostępność może zostać zwiększona poprzez instalację nadmiarowego wyposażenia, ale wiąże się to z dodatkowymi kosztami kapitałowymi.
- Koszty planowania i budowy/okresy amortyzacji, podatki oraz dotacje, koszt inwestycji.
- Koszty ubezpieczenia.
- Koszty administracyjne, personelu, pensje.

Właścicielami i operatorami spalarni mogą być zarówno organy miejskie, jak i firmy prywatne. Powszechne są również publiczno-prywatne partnerstwa. Koszty finansowania inwestycji kapitałowych mogą się różnić w zależności od typu własności.

Spalarnie odpadów otrzymują wynagrodzenie za przetwarzanie odpadów. Mogą one również produkować i sprzedawać energię elektryczną, parę wodną i ciepło oraz odzyskiwać inne produkty, takie jak popiół paleniskowy do wykorzystania jako materiał budowlany, złom żelazny i nieżelazny do wykorzystania w przemyśle metalurgicznym, HCl, sole lub gips. Ceny tych towarów oraz inwestycje niezbędne do ich produkcji mają znaczący wpływ na koszty operacyjne instalacji. Mogą one również pełnić decydującą rolę przy rozważaniu konkretnych inwestycji technicznych czy projektów procesów (np. czy ciepło może być sprzedawane po cenie uzasadniającej inwestycję niezbędną do jego dostarczenia). Ceny wymienionych towarów różnią się w poszczególnych państwach członkowskich lub wręcz w poszczególnych ich częściach.

Ponadto występują znaczne różnice wynikające z różnorodności wymagań w zakresie emisji, kosztów wynagrodzeń, okresów amortyzacji itp. Z tych powodów "opłaty za przyjęcie odpadów do spalarni" (tzw. *gate fees*) podane w tabeli 1.7 są porównywalne tylko w ograniczonym zakresie:

Tabela 1.7 "Opłaty za przyjęcie odpadów do spalarni" w europejskich spalarniach MSW oraz HW.

Państwo członkowskie	Opłaty za przyjęcie odpadów do spalarni w EUR/tonę	
	Odpady komunalne	Odpady niebezpieczne
Belgia	57	100–1 500
Dania	40–70	100–1 500
Finlandia	50–100	NI
Francja	50–120	50–1 500
Niemcy	100–350	50–1 500
Włochy	70–120	100–1 000
Holandia	90–180	50–5 000
Szwecja	38–67 (średnio 49)	50–2 500
Wlk. Brytania	20–40	NI
Uwagi: NI: nie dostarczono danych. Źródło: [1. UBA 2001], [47. TWG 2018].		

Ważne jest, aby nie mylić rzeczywistego kosztu opłaty za przyjęcie odpadów do spalarni, "niezbędnej" do spłacenia inwestycji i pokrycia kosztów eksploatacji, z ceną rynkową, która jest przyjęta celem sprostania konkurencji. Konkurencja z alternatywnymi metodami gospodarowania odpadami (np. składowiskami odpadów, produkcją paliwa), jak również koszty inwestycji i koszty operacyjne mają wpływ na ostateczną wysokość opłaty za przyjęcie odpadów do spalarni. Konkurencyjne ceny różnią się znacznie w zależności od państwa członkowskiego a nawet konkretnej lokalizacji.

W tabeli 1.8 przedstawiono (o ile nie stwierdzono inaczej) różnice w kosztach spalania odpadów komunalnych w poszczególnych państwach członkowskich. Należy zauważyć, że koszty przedstawione w tabeli 1.8 różnią się od tych przedstawionych w powyższej tabeli 1.7 (w której przedstawiono dane dotyczące "opłat za przyjęcie odpadów do spalarni").

Tabela 1.8 Porównanie kosztów spalania stałych odpadów komunalnych (MSW) w różnych państwach członkowskich

Kraj	Koszty przed opodatkowaniem ⁽¹⁾ - koszty netto przychodów w EUR na tonę wsadu odpadów	Podatek (dla zakładu z odzyskiem energii)	Przychody z tytułu dostaw energii (w EUR za kWh)	Koszty przetwarzania popiołu (w EUR na tonę popiołu, o ile nie określono inaczej)
AT	326 @ 60 kt/rok 159 @ 150 kt/rok 97 @ 300 kt/rok		E. elektryczna: 0.036 Ciepło: 0.018	Popiół paleniskowy: 63 Pozostałości ze spalin: 363
BE	72 (średnia)	EUR 12.7/t (Flandria)	E. elektryczna: 0.025	Brak danych
DK	30 – 45	EUR 44/t	E. elektryczna: 0.05	Popiół paleniskowy: 34 Pozostałości z przetwarzania spalin: 80
FI	Brak		Dla zgazowania, E. elektryczna: 0.034 Ciepło: 0.017	
FR	86–101 @ 37.5 kt/rok 80–90 @ 75 kt/rok 67–80 @ 150 kt/rok		E. elektryczna: 0.033–0.046 Ciepło: 0.0076–0.023	Popiół paleniskowy: EUR 13–18 na tonę wsadu odpadów
DE	250 (50 kt/rok i mniej) ⁽²⁾ 105 (200 kt/rok) ⁽²⁾ 65 @ 600 kt/rok ⁽²⁾		E. elektryczna 0.015–0.025	Popiół paleniskowy: 25–30 Popiół lotny / pozostałości z kontroli zanieczyszczeń do powietrza: 100–250
EL	Brak		Nieznane	Nieznane
IE	Brak		Nieznane	Nieznane
IT	41.3–93 (350 kt, zależnie od przychodów z tytułu odzysku energii i opakowań)		E. elektryczna: 0.14 (stara) 0.04 (na rynek) 0.05 (certyfikat środowiskowy)	Popiół paleniskowy: 75 Popiół lotny oraz pozostałości z kontroli zanieczyszczeń do powietrza: 29
LU	97 (120 kt)		E. elektryczna: 0.025 (wartość szacunkowa)	Popiół paleniskowy: EUR 16 / tonę wsadu odpadów Pozostałości ze spalin: EUR 8 na tonę wsadu odpadów
NL	71–110 ¹ 70–134 ¹		E. elektryczna: 0.027–0.04 (wartość szacunkowa)	
PT	46–76 (wartość szacunkowa)			Brak danych
ES	34–56		E. elektryczna: 0.036	
SE	21–53		E. elektryczna: 0.03 Ciepło: 0.02	
UK	69 @ 100kt/rok 47 @ 200kt/rok		E. elektryczna: 0.032	Popiół paleniskowy poddany recyklingowi (koszt netto operatora) Popiół lotny: ~ 90

(1) Koszt przed opodatkowaniem odnosi się do kosztów brutto bez podatku.
(2) Podane wartości to "opłaty za przyjęcie odpadów do spalarni", a nie koszty.
Źródło: [43. Eunomia 2001] [64. TWG 2003]

Poniższa tabela ilustruje, jak koszty kapitałowe całkowicie nowej instalacji MSWI mogą się różnić w zależności od zastosowanych procesów przetwarzania spalin oraz pozostałości.

Tabela 1.9 Specyficzne koszty inwestycji dotyczące nowo wybudowanej instalacji MSWI związane z jej roczną zdolnością produkcyjną oraz niektórymi typami zakładów FGC w Niemczech

Metoda oczyszczania spalin	Specyficzne koszty inwestycji (EUR/tonę wsadu odpadów/rok)			
	100 kt/rok	200 kt/rok	300 kt/rok	600 kt/rok
Sucha	670	532	442	347
Sucha + mokra	745	596	501	394
Sucha + mokra z obróbką pozostałości	902	701	587	457

Źródło: [1. UBA 2001], [64. TWG 2003]

W tabeli 1.10 przedstawiono kilka przykładów średnich jednostkowych kosztów spalania (za rok 1999) dla spalarni odpadów komunalnych i odpadów niebezpiecznych (wszystkie to nowo wybudowane zakłady). Dane wskazują, że specyficzne koszty spalania odpadów są w dużym stopniu zależne od kosztów kapitałowych, a tym samym od kosztów inwestycyjnych oraz wydajności zakładu. W zależności od konfiguracji mogą wystąpić znaczne różnice w kosztach, okresie amortyzacji, kosztach odsetek od zaciągniętego kredytu itp. Wykorzystanie instalacji może mieć również istotny wpływ na koszty spalania.

Tabela 1.10 Przykład porównawczy poszczególnych elementów kosztów w przypadku spalarni MSW i HW.

Struktura kosztów	Spalarnia	
	odpadów komunalnych o wydajności 250 tys. ton/rok w 10 ⁶ EUR	odpadów niebezpiecznych o wydajności 70 tys. ton/rok w 10 ⁶ EUR
Planowanie/zatwierdzenie	3.5	6
Maszyny	70	32
Inne komponenty	28	28
Prace elektryczne	18	20
Prace związane z infrastrukturą	14	13
Czas budowy	7	7
Koszty inwestycyjne razem	140	105
Koszty uzyskania kapitału	14	10
Personel	4	6
Konserwacja	3	8
Administrowanie	0.5	0.5
Środki operacyjne/energia	3	2.5
Usuwanie odpadów	3.5	1.5
Inne	1	0.5
Koszty operacyjne razem	29	12.5
Specyficzne koszty spalania (bez przychodów)	Ok. 115 EUR/tonę	Ok. 350 EUR/tonę

Uwagi. Dane te stanowią przykład ilustrujący uśrednioną różnicę pomiędzy MSWI i HWI. Indywidualne zakłady różnią się zarówno pod względem kosztów jak i czasu trwania budowy.
Źródło: [1. UBA 2001], [64. TWG 2003]

Ceny energii

[43. Eunomia 2001] Przychody uzyskiwane są z tytułu sprzedaży energii. Poziom wsparcia na kWh wytworzonej energii elektrycznej i/lub ciepłej jest bardzo zróżnicowany. Na przykład w Szwecji i Danii opłaty tzw. opłaty za przyjęcie odpadów do spalarni (tzw. "gate fee") są niższe, przynajmniej częściowo ze względu na przychody uzyskiwane ze sprzedaży energii cieplnej i elektrycznej. W rzeczywistości wytwarzanie energii elektrycznej w Szwecji często nie jest prowadzone ze względu na znaczne dochody z tytułu odzysku ciepła.

W niektórych krajach wsparcie dla produkcji energii elektrycznej zachęciło do jej odzyskiwania w miejsce odzysku ciepła. Wielka Brytania, Włochy i Hiszpania, między innymi, wspierały na pewnym etapie spalanie poprzez podnoszenie cen energii elektrycznej wytwarzanej w spalarniach.

W innych państwach członkowskich struktura dostępnych zachęt wspierających produkcję energii odnawialnej może wpływać również na względne ceny alternatywnych metod przetwarzania odpadów, a tym samym na konkurencyjność cen.

Potencjalne przychody ze sprzedaży energii w spalarniach odpadów stanowią zachętę dla wszystkich zainteresowanych stron do uwzględnienia jej zbycia już w fazie planowania spalarni. [\[64. TWG 2003\]](#)

Przychody uzyskiwane z tytułu odzysku materiałów opakowaniowych

[\[43. Eunomia 2001\]](#) Mają one również wpływ na ceny względne. Na przykład we Włoszech, Francji i Wielkiej Brytanii spalarnie uzyskiwały dodatkowe przychody związane z odzyskiwaniem materiałów opakowaniowych.

Należy zauważyć, że przepisy legislacyjne dotyczące odzyskiwania i unieszkodliwiania mogą mieć wpływ na to, czy spalarnie mogą zgodnie z prawem czerpać korzyści z takich przychodów. [\[64. TWG 2003\]](#)

Podatki od spalania

[\[43. Eunomia 2001\]](#) W Danii podatek od spalania jest szczególnie wysoki. W związku z tym, chociaż koszty bazowe są zazwyczaj niskie (przede wszystkim ze względu na skalę oraz ceny uzyskiwane za energię), koszty razem z podatkiem są tego samego rzędu, co w kilku innych krajach, w których podatek nie istnieje. Podatek ten, wraz z podatkiem od składowania odpadów, został przyjęty w Danii w celu promowania przetwarzania odpadów zgodnie z hierarchią postępowania z nimi. Doprowadziło to do dużego przesunięcia ze składowisk odpadów na korzyść recyklingu, ale odsetek odpadów poddawanych spalaniu pozostaje stały. [\[64. TWG 2003\]](#)

2. STOSOWANE PROCESY ORAZ TECHNIKI

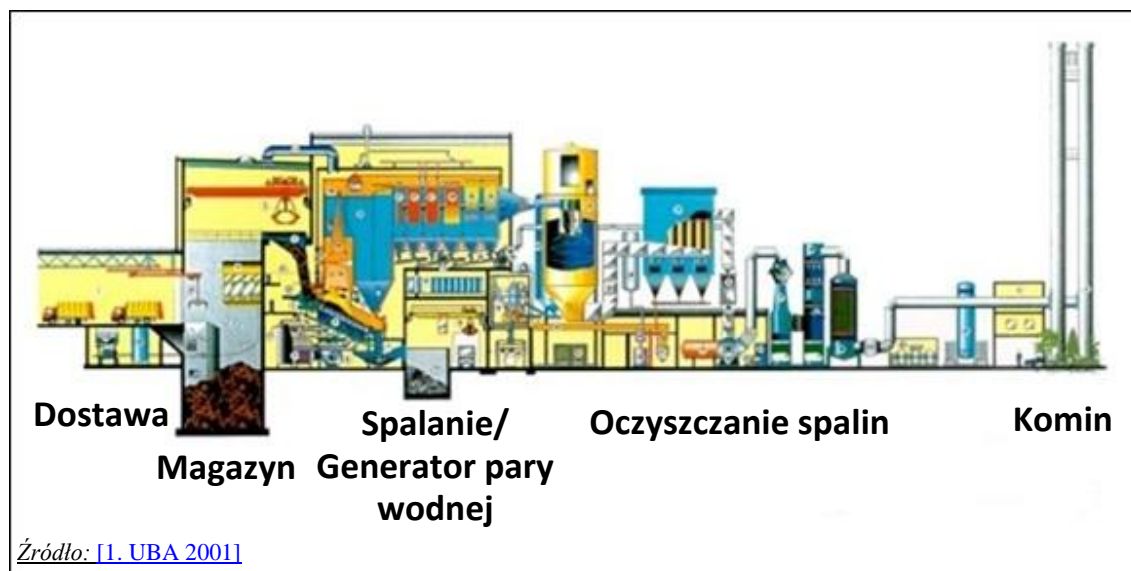
2.1 Przegląd i wprowadzenie

Typowa spalarnia odpadów prowadzi następujące działania:

- przyjmowanie odpadów;
- magazynowanie odpadów i surowców;
- wstępne przetwarzanie odpadów (w razie potrzeby, na terenie zakładu lub poza nim);
- wprowadzanie odpadów do procesu;
- przetwarzanie termiczne odpadów;
- odzysk energii (np. z kotła) i jej konwersja;
- oczyszczanie spalin (FGC);
- zarządzanie pozostałościami z oczyszczania spalin;
- odprowadzanie spalin;
- monitorowanie oraz kontrola emisji;
- kontrola i przetwarzanie ścieków (np. z odwadniania zakładu, oczyszczania spalin, magazynowania);
- zagospodarowanie i obróbka popiołu, w tym paleniskowego (powstającego na etapie spalania);
- odprowadzanie/unieszkodliwianie pozostałości stałych.

Każdy etap jest projektowany dla konkretnego rodzaju (rodzajów) przetwarzanych w instalacji odpadów. Informacje opisujące te etapy znajdują się w dalszej części niniejszego rozdziału.

Wiele instalacji pracuje w sposób ciągły, 24 godziny na dobę i prawie 365 dni w roku. Systemy sterowania oraz programy konserwacji odgrywają ważną rolę w zapewnianiu niezawodności takich instalacji. [74. TWG 2004]



Ilustracja 2.1 Przykładowy układ spalarni stałych odpadów komunalnych z mokrym systemem FGC

Stosuje się trzy podstawowe rodzaje termicznego przetwarzania odpadów:

- **spalanie** - spalanie całkowicie tlenowe (zdecydowanie najczęściej stosowany proces);
- **piroliza** - termiczna degradacja materiału organicznego przy braku tlenu;
- **zgazowanie** - częściowe utlenianie.

Warunki zachodzenia reakcji oraz produkty przetwarzania termicznego przedstawiono w tabeli 2.1.

Tabela 2.1 Typowe warunki reakcji oraz produkty procesów spalania, pirolizy i zgazowania.

	Spalanie	Piroliza	Zgazowanie
Temperatura reakcji (°C)	800 - 1450	250 - 700	500 - 1600
Ciśnienie (w barach)	1	1	1 - 45
Atmosfera	Powietrze	Obojętna/azotowa	Środek gazyfikujący: O ₂ , H ₂ O
Współczynnik stechiometryczny	> 1	1	< 1
Produkty z procesu:			
• w fazie gazowej	CO ₂ , H ₂ O, O ₂ , N ₂	H ₂ , CO, węglowodory, H ₂ O, N ₂	H ₂ , CO, CO ₂ , CH ₄ , H ₂ O, N ₂
• w fazie stałej	popiół, żużel	popiół, koks	popiół, żużel
• w fazie ciekłej		paliwo z pirolizy oraz woda	

Źródło: Zaadaptowane z [9. VDI 2002]

- instalacje pirolizy i zgazowania mają podobną podstawową strukturę jak spalarnie odpadów, ale istnieją pewne istotne różnice: **przetwarzanie wstępne** może być bardziej rozbudowane, aby zapewnić materiał wsadowy o wąskim profilu, a do postępowania, przetwarzania i magazynowania odrzuconego materiału potrzebny jest dodatkowy sprzęt;
- **ładowanie**, większą uwagę należy zwrócić na szczelność procesu;
- **reaktor termiczny**, zastępujący (lub uzupełniający) etap spalania;
- **postępowanie z produktami**, produkty w postaci gazowej oraz stałej wymagają postępowania, magazynowania i ewentualnego dalszego przetwarzania;
- **spalanie produktów**, może być odrębnym etapem i obejmować odzyskiwanie energii przez spalanie produktów, a następnie przetwarzanie oraz gospodarowanie powstałymi substancjami gazowymi/ciekłymi/stałymi.

2.2 Techniki przetwarzania wstępnego, magazynowania oraz postępowania z odpadami

Różne rodzaje odpadów, które są spalane, mogą wymagać różnych rodzajów operacji przetwarzania wstępnego, magazynowania i postępowania z nimi. W niniejszej sekcji opisano najważniejsze z nich, dla następujących rodzajów odpadów:

- stałe odpady komunalne i im podobne;
- odpady niebezpieczne;
- osady ściekowe;
- odpady medyczne.

2.2.1 Stałe odpady komunalne (MSW) i im podobne

2.2.1.1 Zbiórka oraz przetwarzanie wstępne poza spalarnią MSW

Chociaż wykracza to poza bezpośredni zakres niniejszego dokumentu, należy uznać, że lokalna zbiórka oraz przetwarzanie wstępne stosowane w przypadku stałych odpadów komunalnych będzie miało silny wpływ na charakter materiału odbieranego przez spalarnię. Dlatego też przetwarzanie wstępne oraz inne operacje przeprowadzane w spalarni powinny być spójne z istniejącym systemem zbiórki.

Programy recyklingu mogą prowadzić do tego, że niektóre frakcje zostaną usunięte. Efekt tych działań będzie wyglądał w przybliżeniu następująco.

Tabela 2.2 Główny wpływ segregacji oraz przetwarzania wstępnego na pozostałe odpady

Frakcja usunięta	Główny wpływ na pozostałe odpady
Szkło oraz metale	<ul style="list-style-type: none"> • Zwiększenie wartości opałowej • Zmniejszenie ilości metali do odzyskania z żużla
Papier, karton i plastyki	<ul style="list-style-type: none"> • Zmniejszenie wartości opałowej • Możliwa zmniejszenie zawartości chloru, jeśli występuje PVC
Odpady organiczne np. żywność, odpady gnijące (z ogrodów, parków)	<ul style="list-style-type: none"> • Redukcja wilgoci (szczególnie przy mocno zawilgoconych odpadach) • Zwiększenie wartości opałowej
Odpady wielkogabarytowe	<ul style="list-style-type: none"> • Zmniejszenie zapotrzebowania na usunięcie/rozdrabnianie
Odpady niebezpieczne	<ul style="list-style-type: none"> • Zmniejszenie zawartości metali niebezpiecznych np. Hg • Zmniejszenie w materiale wsadowym zawartości niektórych innych substancji np. Cl, Br
Źródło: [74. TWG 2004]	

W jednym z badań oceniających wpływ selektywnej zbiórki na pozostające odpady pochodzące z gospodarstw domowych (tzw. "odpady reszkowe") przedstawiono następujące wnioski:

- Zbiórka szkła zmniejszyła ilość (-13 %) ale zarazem zwiększyła wartość opałową (+15 % LHV) pozostałych "odpadów reszkowych".
- Zbiórka opakowań i papieru zmniejszyła ilość (-21 %) oraz LHV (-16 %) pozostałych "odpadów szarych".
- Ogólnie rzecz biorąc, ilość oraz wartość LHV "odpadów reszkowych" zmniejszyły się, gdy wzrosła skuteczność zbiórki selektywnej. Maksymalny wpływ zbiórki selektywnej wyniósł - 42 % dla ilości i -3 % dla LHV "odpadów reszkowych".
- Selektywna zbiórka wpłynęła na jakość odpadów szarych - znacznie zwiększyła zawartość frakcji drobnej, która może być szczególnie bogata w metale ciężkie (frakcja drobna wzrosła z 16 % do 33 %).
- Wskaźnik popiołu paleniskowego zmniejszył się w wyniku selektywnej zbiórki (-3 %). [74. TWG 2004]

Stopień, w jakim systemy selektywnej zbiórki i podobne systemy wpływają na odpady końcowe dostarczane do instalacji, zależy od skuteczności zastosowanych systemów segregacji oraz przetwarzania wstępnego. Są one bardzo zróżnicowane. Zawsze istnieje prawdopodobieństwo, że resztki niektórych frakcji pozostaną w dostarczanych odpadach.

Część dostarczanych odpadów mogą również stanowić odrzuty pochodzące z zakładów recyklingu, jednolite (mono) strumienie odpadów, odpady handlowe i przemysłowe oraz niektóre odpady niebezpieczne.

2.2.1.2 Przetwarzanie wstępne stałych odpadów komunalnych na terenie spalarni

Łączenie w bunkrze jest powszechnie stosowane do mieszania MSW. Zazwyczaj polega to na wykorzystaniu do odpadów tego samego chwybaka, który jest używany do załadunku zasobnika. Najczęściej przetwarzanie wstępne MSW ogranicza się do rozdrabniania sprasowanych bel, odpadów wielkogabarytowych itp., choć czasami stosuje się bardziej zaawansowane metody rozdrabniania. Wykorzystywane są następujące urządzenia:

- szczęki kruszące (wyburzeniowe);
- rozdrabniacze;
- młyny;
- nożyce/noże obrotowe.

Ze względów ppoż. można stosować następujące rozwiązania:

- oddzielenie obszarów zrzutu od miejsca magazynowania w bunkrze;
- oddzielenie instalacji hydraulicznych (np. instalacje zasilające w olej, pompy i urządzenia zasilające) od narzędzi tnących;
- zapewnienie instalacji do zbierania wyciekającego oleju/paliwa;
- uwolnienia celem dekompresji obudowy aby zredukować szkody powodowane wybuchem.

Odpady wielkogabarytowe są zazwyczaj wstępnie przetwarzane poprzez kruszenie, gdy są większe niż podajnik, który podaje je do pieca. Przetwarzanie wstępne drogą kruszenia, rozdrabniania i/lub mieszania przeprowadza się również w celu ujednorodnienia odpadów, tak aby miały one bardziej jednolite właściwości spalania (np. w przypadku niektórych odpadów o wysokim poziomie LHV). Dodatkowe przetwarzanie wstępne stosuje się w przypadku zakładów z paleniskami rusztowymi, ale może być ono również niezbędne w przypadku innej konstrukcji pieców.

2.2.1.3 Dostarczanie oraz magazynowanie odpadów

Ogólne zasady magazynowania zostały opisane w dokumencie BREF dotyczącym emisji z magazynowania (EFS BREF), opublikowanego w lipcu 2006 roku. W dokumencie BREF dotyczącym przetwarzania odpadów (BREF WT) uwzględniono również kwestie związane z ich dostarczaniem, magazynowaniem i postępowaniem z nimi. Niniejsza sekcja służy do nakreślenia pewnych kwestii, które są specyficzne dla MSW.

2.2.1.3.1 Kontrola dostarczanych odpadów

Obszar dostawy odpadów to miejsce, gdzie samochody dostawcze, pociągi lub kontenery przyjeżdżają celem wyładunku odpadów do bunkra, zwykle po kontroli wzrokowej i ważeniu. Wyładunek odbywa się poprzez otwory pomiędzy obszarem dostawy a bunkrem. Aby ułatwić przenoszenie odpadów do bunkra, można zastosować systemy przechylne lub przesuwne. Otwory mogą być zamykane, aby zapobiec wydostaniu się nieprzyjemnych zapachów, działać jako przerywacz ognia oraz zmniejszać ryzyko wypadków samochodowych. Zabudowanie obszaru dostawy może być skuteczne w ograniczaniu problemów związanych z nieprzyjemnymi odorami, hałasem czy problemami związanymi z emisją zanieczyszczeń.

2.2.1.3.2 Bunkier

Tzw. bunkier to zazwyczaj wodoszczelna, betonowa komora/zbiornik. Odpady są w nim spiętrzane i mieszane za pomocą dźwigów wyposażonych w chwytaki. Mieszanie odpadów pomaga osiągnąć zrównoważoną wartość cieplną, wielkość, strukturę, skład itp. materiału wrzucanego do zasobników zaopatrujących piec.

W obszarze bunkra i systemu podajników stosowane są następujące urządzenia ppoż.:

- ognioodporne okablowanie dźwigów;
- specjalnie zaprojektowane kabiny operatorów dźwigów;
- wykrywacze pożaru;
- automatyczne systemy zraszania wodą, z pianą gaśniczą lub bez;

Kabiny dźwigów zaprojektowane są tak, aby zapewnić dźwigowemu dobry widok na cały bunkier. Kabina taka posiada własny system wentylacyjny, niezależny od bunkra.

Powietrze do pieców jest często pobierane z obszaru bunkra celem usunięcia pyłu i zapachów oraz metanu powstającego w wyniku fermentacji odpadów. Wartość opałowa odpadów, jak również układ i koncepcja obiektu decydują o tym, czy powietrze z bunkra jest wykorzystywane jako powietrze pierwotne, wtórne czy też na oba sposoby. [74. TWG 2004]

Bunkier ma zazwyczaj pojemność magazynową od 3 do 5 dni przepustowości operacyjnej zakładu. Jest to bardzo zależne od czynników lokalnych oraz specyfiki przyjmowanych odpadów.

Można stosować dodatkowe urządzenia zabezpieczające, takie jak: pionowa rura osuszająca na poziomie leja wyspowego, dysza do piany gaśniczej nad lejem wyspowym, wykrywacze pożaru dla hydrauliki, ściany ognioodporne pomiędzy bunkrem a halą pieca, ściany ognioodporne pomiędzy halą pieca a dyspozytornią, kurtyny wodne na oknie pomiędzy dyspozytornią a piecem, odprowadzanie dymu i ognia (na 5-10 % powierzchni dachu). [74. TWG 2004]

2.2.2 Odpady niebezpieczne

Sektor spalania odpadów niebezpiecznych obejmuje dwa główne podsektory:

- komercyjne spalarnie odpadów;
- dedykowane spalarnie odpadów.

Główne różnice pomiędzy tymi podsektorami zostały podsumowane w poniższej tabeli.

Tabela 2.3 Podsumowanie różnic pomiędzy operatorami na rynku HWI

Kryteria	Zakłady/instalacje komercyjne	Instalacje/zakłady dedykowane
Własność	Przedsiębiorstwa prywatne, komunalne lub partnerstwo	Najczęściej kompanie prywatne (używane do przetwarzania odpadów własnych przedsiębiorstwa)
Charakterystyka przetwarzanych odpadów	<ul style="list-style-type: none"> • Szeroki zakres odpadów • Wiedza na temat konkretnego składu odpadów może być w niektórych przypadkach ograniczona 	<ul style="list-style-type: none"> • Szeroki zakres odpadów, chociaż głównie w postaci płynnej lub gazowej • Często odpady pochodzą tylko z danego przedsiębiorstwa lub nawet konkretnego procesu • Generalnie większa wiedza na temat składu odpadów
Stosowane technologie spalania	<ul style="list-style-type: none"> • Przeważnie piece obrotowe • Specjalistyczne technologie dla odpadów specjalnych lub o ograniczonej specyfikacji 	<ul style="list-style-type: none"> • Głównie paleniska statyczne • Specjalistyczne technologie dla odpadów specjalnych lub o ograniczonej specyfikacji
Względy operacyjne oraz projektowe	<ul style="list-style-type: none"> • Do zapewnienia dobrej kontroli procesu wymagana jest elastyczność oraz szeroki zakres wydajności 	<ul style="list-style-type: none"> • W niektórych przypadkach, dla węższej grupy odpadów, proces może być zaprojektowany w sposób bardziej specyficzny
Oczyszczanie spalin	<ul style="list-style-type: none"> • Celem zapewnienia elastyczności działania często stosuje się płukanie na mokro • Szereg technik FGC (często stosowanych w połączeniu z płukaniem na mokro) 	<ul style="list-style-type: none"> • Celem zapewnienia elastyczności działania często stosuje się płukanie na mokro • Szereg technik FGC (często stosowanych w połączeniu z płukaniem na mokro)
Względy kosztowe/rynkowe	<ul style="list-style-type: none"> • Operatorzy zazwyczaj konkurują na otwartym (globalnym) rynku biznesowym • Niektóre zakłady korzystają z krajowej/regionalnej polityki dotyczącej przeznaczenia odpadów powstających w tym państwie/regionie • Przesyłanie odpadów niebezpiecznych w UE podlega przepisom dotyczącym Transgranicznego Rozporządzenia w Sprawie Przemieszczania, które ograniczają zasięg otwartego rynku światowego 	<ul style="list-style-type: none"> • Konkurencja bardziej ograniczona lub w niektórych przypadkach nieistniejąca • Wyższe koszty unieszkodliwiania tolerowane w niektórych przypadkach przez użytkowników ze względu na politykę producentów odpadów dotyczącą ich unieszkodliwiania we własnym zakresie

Źródło: Dyskusja z Techniczną Grupą Roboczą (TWG)

[41. EURITS 2002] Poszczególne moce przerobowe pieców obrotowych wykorzystywanych w sektorze komercyjnym wynoszą od 25 000 do 140 000 ton rocznie. Wydajność masowa dla poszczególnych projektów różni się znacznie w zależności od średniej wartości opałowej odpadów, przy czym głównym czynnikiem jest pojemność cieplna.

Poniższe sekcje odnoszą się głównie do dostawy, magazynowania oraz przetwarzania wstępnego odpadów niebezpiecznych w przypadku sektora komercyjnego.

2.2.2.1 Przyjmowanie odpadów

Ze względu na różnorodność występujących odpadów, ich dużą potencjalną szkodliwość oraz wysoką niepewność co do dokładnej wiedzy na temat ich składu, konieczny jest znaczny wysiłek, aby ocenić, scharakteryzować czy też prześledzić dostarczane w trakcie całego procesu odpady. Przyjęte systemy muszą zapewniać jasną ścieżkę audytu, umożliwiającą śledzenie wszelkich incydentów aż do ich źródła. Pozwala to następnie na dostosowanie procedur celem zapobieżenia dalszym takim incydentom.

Dokładne procedury wymagane do przyjęcia oraz magazynowania odpadów zależą od ich właściwości chemicznych i fizycznych.

Identyfikacja oraz analiza odpadów

[1. UBA 2001] Dla każdego rodzaju odpadów niebezpiecznych składa się deklarację ich pochodzenia i właściwości, sporządzoną przez wytwórcę odpadów, tak aby podmiot gospodarujący odpadami mógł podjąć decyzję o odpowiednim ichmagazynowaniu i przetwarzaniu. Taka deklaracja może zawierać:

- dane dotyczące wytwórcy odpadów oraz osób odpowiedzialnych;
- kod odpadów lub inne ich oznaczenie;
- dane dotyczące pochodzenia odpadów;
- analityczne dane dotyczące poszczególnych materiałów toksycznych w nich zawartych;
- właściwości ogólne, w tym parametry spalania, takie jak zawartość Cl, S, wartość opałowa, zawartość wody;
- inne informacje dotyczące właściwości środowiskowych/bezpieczeństwa obsługi odpadów;
- prawnie wiążący podpis osoby odpowiedzialnej za odpady;
- dodatkowe dane na żądanie zakładu przyjmującego odpady.

Niektóre rodzaje odpadów wymagają dodatkowych działań. Jednorodne, specyficzne dla danej produkcji odpady mogą być wystarczająco dobrze opisane w sposób wyłącznie ogólny. Dodatkowe informacje/działania są zazwyczaj wymagane w przypadku odpadów o mniej znanym składzie (np. odpady ze składowisk lub ze zbiórki odpadów niebezpiecznych pochodzących z gospodarstw domowych), włączywszy w to nawet kontrolę każdego pojedynczego pojemnika z odpadami.

W przypadku, gdy nie można szczegółowo opisać składu odpadów (np. małe ilości pestycydów lub chemikaliów laboratoryjnych), firma zajmująca się gospodarką odpadami może uzgodnić z ich wytwórcą konkretne wymagania dotyczące opakowań, upewniając się, że odpady nie zareagują podczas transportu, w pojemnikach lub po przyjęciu do spalania. Na przykład, pojawić się mogą zagrożenia wynikające z obecności w odpadach:

- fosforków;
- izocyjanianów;
- metali alkalicznych (lub innych metali reaktywnych);
- cyjanku oraz kwasów;
- rtęci. [74. TWG 2004]

Dostarczone odpady są zazwyczaj poddawane szczegółowym kontrolom akceptacyjnym, które mogą obejmować dokładne analizy laboratoryjne w zależności od ilości i charakteru odpadów. Kontrole wizualne i analityczne są porównywane z danymi zawartymi w deklaracji otrzymanej od wytwórcy odpadów. Odpady są albo akceptowane i przydzielane do odpowiedniego miejsca magazynowania, albo odrzucane w przypadku znacznych rozbieżności.

2.2.2.2 Magazynowanie

Ogólne zasady magazynowania zostały opisane w dokumencie BREF dotyczącym emisji z magazynowania (EFS BREF), opublikowanym w lipcu 2006 roku. Kwestie związane z dostawą, magazynowaniem i postępowaniem z odpadami uwzględniono również w dokumencie BREF dotyczącym przetwarzania odpadów (BREF WT). Niniejsza sekcja służy jednak nakreśleniu pewnych kwestii, które są specyficzne w przypadku spalania odpadów niebezpiecznych.

Ogólnie rzecz biorąc, magazynowanie odpadów wymaga dodatkowo uwzględnienia ich nieznanego charakteru i składu, ponieważ powoduje to dodatkowe zagrożenia i niepewność. W wielu przypadkach niepewność ta oznacza, że w odniesieniu do odpadów stosuje się systemy magazynowania o wyższych wymaganiach niż w przypadku dobrze scharakteryzowanych surowców.

Powszechną praktyką jest zapewnienie, w miarę możliwości, że odpady niebezpieczne będą magazynowane w tych samych pojemnikach (beczkach), które są wykorzystywane do ich transportu, co pozwala uniknąć konieczności dodatkowego postępowania i transferu. Dobra współpraca pomiędzy producentem a podmiotem gospodarującym odpadami pomaga w dopilnowaniu, aby były one magazynowane, przenoszone itp. w taki sposób, aby zapewnić właściwe zarządzanie ryzykiem podczas całego procesu. Ważne jest również, aby tylko dobrze scharakteryzowane i kompatybilne odpady były magazynowane w zbiornikach lub bunkrach.

Ustalenia dotyczące magazynowania odpadów niebezpiecznych mogą wymagać zgodności z Dyrektywą Seveso III² w sprawie kontroli niebezpieczeństwa poważnych awarii, jak również z najlepszymi dostępnymi technikami (BAT) opisanymi w dokumencie BREF EFS lub BREF WT. Mogą zaistnieć okoliczności, w których środki zapobiegawcze/zmniejszające ryzyko poważnych wypadków będą miały pierwszeństwo.

[\[41. EURITS 2002\]](#) Właściwa ocena odpadów jest istotnym elementem przy wyborze opcji magazynowania i ładowania do pieca. Poniżej przedstawiono kilka kwestii, które należy wziąć pod uwagę:

- Celem magazynowania stałych odpadów niebezpiecznych wiele spalarni zostało wyposażonych w bunkier (500-2 000 m³), z którego odpady są wprowadzane do instalacji za pomocą dźwigów lub zasobników.
- W przypadku **ciekłych odpadów niebezpiecznych oraz osadów** (które zazwyczaj magazynowane są w zbiornikach) niektóre zbiorniki przechowują je w atmosferze obojętnej (np. N₂). Odpady w stanie ciekłym pompowane są rurociągami do palników i wprowadzane do pieca obrotowego i/lub komory dopalającej (PCC). Osady mogą być podawane do pieców obrotowych za pomocą specjalnych pomp do obsługi "substancji kleistej/lepkiej".
- Niektóre spalarnie są w stanie wprowadzać niektóre substancje, takie jak toksyczne, wydzielające odór, reaktywne i żrące ciecze, za pomocą urządzenia do wtrysku, bezpośredniego, prosto z pojemnika transportowego do pieca lub PCC.
- Prawie połowa spalarni komercyjnych w Europie wyposażona jest w przenośniki i windy do transportu i wprowadzania beczek i/lub małych opakowań (np. opakowań laboratoryjnych) bezpośrednio do pieca obrotowego. Mogą one być wyposażone w

² DYREKTYWA PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO I RADY 2012/18/UE z dnia 4 lipca 2012 r. w sprawie kontroli zagrożeń poważnymi awariami związanymi z substancjami niebezpiecznymi, zmieniająca, a następnie uchylająca dyrektywę Rady 96/82/WE.

systemy śluz powietrznych i mogą wykorzystywać systemy napełniania gazem obojętnym.

2.2.2.2.1 Magazynowanie stałych odpadów niebezpiecznych

[1. UBA 2001] Stałe i niepompowalne o półpłynnej konsystencji odpady niebezpieczne, które nie zostały odgazowane i nie wydzielają zapachu, są tymczasowo magazynowane w bunkrach. Miejsca magazynowania i mieszania mogą być w bunkrze rozdzielone. Można to osiągnąć dzięki konstrukcji segmentowej. Dźwigi podają zarówno stałe jak i półpłynne produkty odpadowe. Bunkier musi być tak skonstruowany, aby zapobiec wyciekom do gruntu.

Bunkier czy też magazyn kontenerowy powinny być zamknięte, chyba że istnieją względy bezpieczeństwa i higieny pracy uzasadniające ich otwarcie (np. zagrożenie wybuchem czy pożarem). Powietrze do spalania w spalarni jest zazwyczaj pobierane z miejsca magazynowania odpadów, aby zapobiec emisji pyłów i zapachów. Miejsca magazynowania odpadów powinny być stale monitorowane celem zapewnienia wczesnego wykrycia wszelkich pożarów. Monitoring wizualny prowadzony przez operatora dyspozytorni i/lub operatora dźwigu może być wspomagany przez użycie kamer termowizyjnych.

2.2.2.2.2 Magazynowanie pompowalnych odpadów niebezpiecznych

[1. UBA 2001] Większe ilości płynnych oraz pompowalnych odpadów półpłynnych są czasowo magazynowane w zbiornikach. Musi być dostępna wystarczająca liczba i wielkość zbiorników, aby umożliwić oddzielne magazynowanie niezgodnych z sobą rodzajów odpadów (np. utleniacze powinny być magazynowane oddzielnie od materiałów łatwopalnych, aby zapobiec pożarom/wybuchom, a kwasy magazynowane oddzielnie od siarczków, aby zapobiec wytwarzaniu siarkowodoru).

Zbiorniki, rurociągi, zawory i uszczelnienia muszą być dostosowane pod względem konstrukcji, doboru materiału i projektu do charakterystyki odpadów. Muszą być też wystarczająco odporne na korozję oraz oferować możliwość czyszczenia i pobierania próbek. Zbiorniki płaskodenne są zazwyczaj stosowane tylko w przypadku dużych ilości, magazynowanych w jednym miejscu odpadów.

Może zaistnieć konieczność homogenizacji zawartości zbiornika za pomocą mieszadeł mechanicznych lub hydraulicznych. W zależności od właściwości odpadów, zbiorniki muszą być pośrednio ogrzewane lub izolowane. Zbiorniki ustawiane są w basenach wychwytyjących, które muszą być zaprojektowane dla magazynowanego materiału. Baseny wychwytyjące muszą być tak dobrane, aby mogły pomieścić odpady płynne w przypadku całkowitego wycieku ze zbiornika.

2.2.2.2.3 Magazynowanie kontenerów oraz kontenerów-cystern

[1. UBA 2001] Ze względów bezpieczeństwa odpady niebezpieczne są najczęściej gromadzone w specjalnych pojemnikach. Pojemniki te są następnie dostarczane do spalarni. Przyjmuje się również dostawy płynów luzem.

Dostarczone pojemniki mogą być magazynowane lub ich zawartość może zostać przekazana. W niektórych przypadkach, zgodnie z oceną ryzyka, odpady mogą być bezpośrednio włączane do pieca oddzielnym rurociągiem. Podgrzewane linie przesyłowe mogą być stosowane w przypadku odpadów, które w wyższych temperaturach stają się jedynie cieczą.

Miejsca magazynowania kontenerów i zbiorników znajdują się zazwyczaj na zewnątrz, pod zadaszeniem lub bez. Odprowadzanie wycieków z tych obszarów jest najczęściej kontrolowane, ponieważ może dojść do zanieczyszczenia.

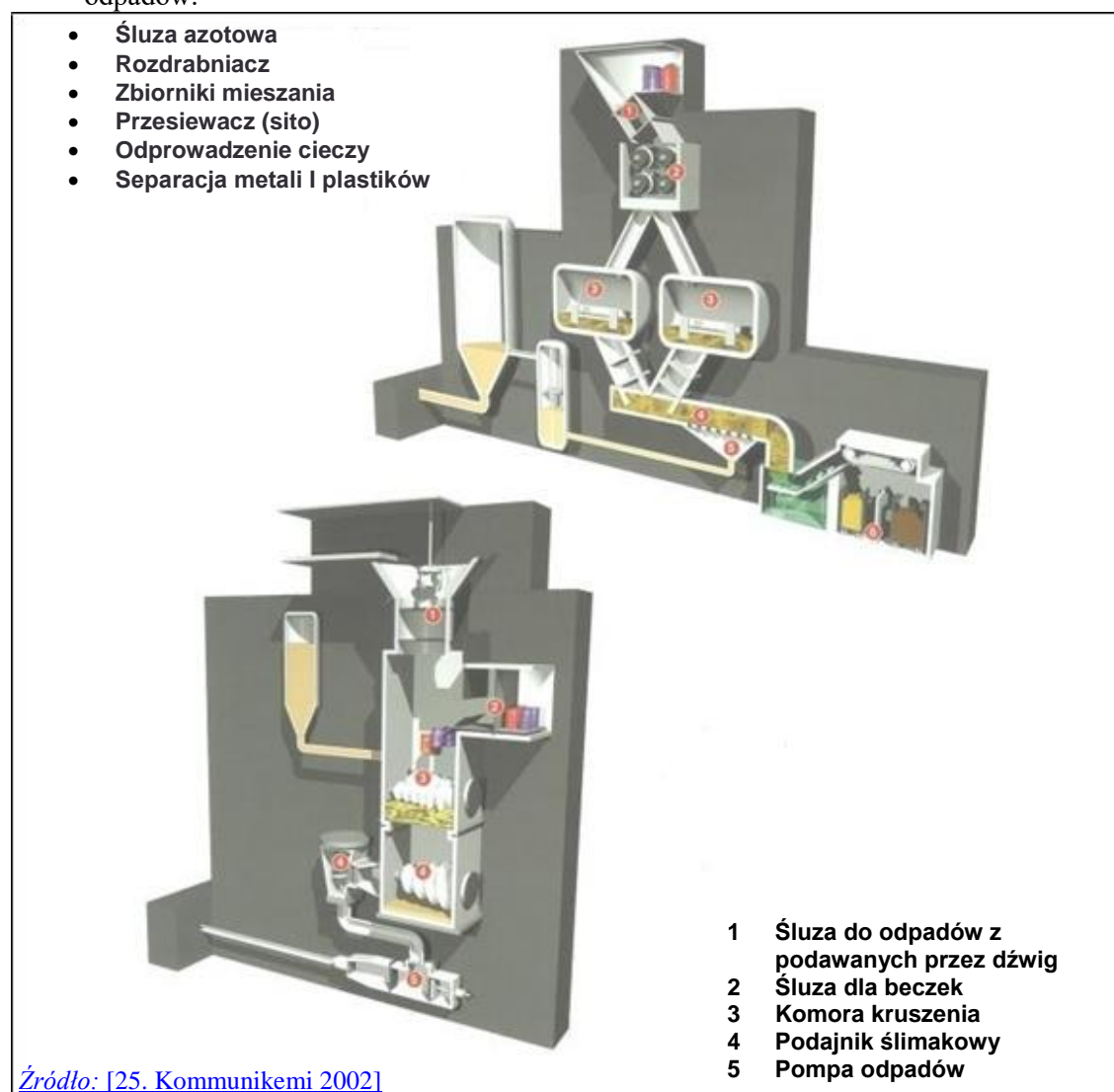
2.2.2.3 Wsad i przetwarzanie wstępne

Szeroki zakres właściwości chemicznych i fizycznych niektórych odpadów niebezpiecznych może powodować trudności w procesie spalania. Celem uzyskania bardziej spójnego materiału wsadowego przeprowadza się często mieszanie odpadów lub przetwarzanie wstępne. [2. InfoMil 2002]

Każda instalacja określa kryteria akceptacji definiujące dopuszczalne zakresy dla kluczowych właściwości chemicznych oraz parametrów spalania dostarczanych odpadów. Zastosowanie tych kryteriów gwarantuje, że proces działa stabilnie i przewidywalnie tak, aby spełnić wymagania operacyjne i środowiskowe (np. warunki uzyskanego pozwolenia).

Czynniki, które wyznaczają takie zakresy obejmują:

- wydajność systemu oczyszczania spalin dla poszczególnych zanieczyszczeń (np. natężenie przepływu w płucce);
- obecność lub brak konkretnej techniki oczyszczania spalin;
- wydajność cieplną pieca;
- projekt mechanizmu podawania odpadów oraz fizyczną przydatność przyjmowanych odpadów.



Ilustracja 2.2 Przykłady systemów wstępnego przetwarzania odpadów niebezpiecznych stosowane w niektórych komercyjnych HWI.

2.2.3 Osady ściekowe

2.2.3.1 Skład osadów ściekowych

Skład osadów ściekowych różni się w zależności od wielu czynników, m.in.:

- połączeń z systemem, np. wsady przemysłowe mogą zwiększać obciążenie metalami ciężkimi;
- przybrzeżnej lokalizacji, np. zawartość wody słonej;
- rodzaju obróbki prowadzonej w zakładach przetwarzania, np. tylko zwykłe przesiewanie, degradacja beztlenowa lub tlenowa osadów, dodawanie chemikaliów przetwarzających;
- pogody/pory roku, np. deszcz może rozwodzić osad;

Skład osadów ściekowych jest bardzo zróżnicowany. Typowe zakresy składu odwodnionych komunalnych i przemysłowych osadów ściekowych podano poniżej.

Tabela 2.4 Przeciętny skład komunalnych i przemysłowych osadów ściekowych po odwodnieniu

Komponent	Komunalne osady ściekowe	Przemysłowe osady ściekowe
Substancja stała (%)	10–45	
Frakcje organiczne (% subst. stałej)	45–85	
Metale (mg/kg – subst. stałej):		
Cr	20–77	170
Cu	200–600	1 800
Pb	100–700	40
Ni	15–50	170
Sb	1–5	< 10
Zn	500–1 500	280
As	5–70	< 10
Hg	0.5–4.6	1
Cd	1–5	< 1
Mo	4–20	
Źródło: [2. InfoMil 2002], [64. TWG 2003], Komentarze FEAD w [7. TWG 2017]		

Osady ściekowe zawierają również fosfor, z reguły w zakresie 1-2.5 % substancji stałej, w zależności od przetwarzania wstępnego oraz tego, czy oczyszczalnie ścieków obsługują usuwanie fosforu, czy też nie. Istnieje zatem możliwość odzysku fosforu albo przed spaleniem osadów ściekowych, albo z popiołów już po spaleniu. [138. Bezak-Mazur i inni 2014]

Ważne czynniki, które należy wziąć pod uwagę przy spalaniu osadów ściekowych to:

- zawartość substancji stałej (zazwyczaj waha się ona od 10 % do 45 % - ma to poważne konsekwencje dla procesu spalania);
- czy osad jest sfermentowany, czy nie;
- zawartości wapna palonego, wapienia i innych składników kondycjonujących osady;
- kompozycji osadu jako pierwotnego, wtórnego, bio-osadu itp;
- problemów z odorem, zwłaszcza podczas doprowadzania osadów do miejsc magazynowania. [64. TWG 2003] [74. TWG 2004]

2.2.3.2 Przetwarzanie wstępne osadów ściekowych

Do osadów ściekowych stosuje się różne rodzaje przetwarzania wstępnego. Niektóre z nich są ściśle związane z właściwościami spalanego materiału (w szczególności procesy redukcji zawartości wody w osadach), podczas gdy inne mogą mieć różne cele, włączywszy w to odzysk surowców zawartych w nieprzetworzonym osadzie (np. biogaz, fosfor), i mogą mieć mniej lub bardziej wyraźny wpływ na dalszy proces spalania [143. Healy i in. 2015]. Poniższe podrozdziały opisują niektóre, powszechnie stosowane procesy przetwarzania wstępnego osadów ściekowych.

2.2.3.2.1 Mechaniczne odwadnianie

[1. UBA 2001], [64. TWG 2003]

Mechaniczne odwadnianie przed spaleniem zmniejsza objętość mieszanki osadu i zwiększa jego wartość cieplną. Pozwala to na niezależne i ekonomiczne spalanie. Powodzenie mechanicznego odwadniania (drenażu) zależy od doboru maszyn, przeprowadzonego procesu kondycjonowania oraz rodzaju i składu osadu.

Poprzez mechaniczne odwadnianie osadów ściekowych w dekanterach, wirówkach, taśmowych prasach filtracyjnych czy komorowych prasach filtracyjnych można osiągnąć poziom substancji stałej (DS) pomiędzy 10% a 45%. Często osady ściekowe są kondycjonowane przed odwadnianiem mechanicznym celem jego poprawy. Osiąga się to za pomocą dodatków, które zawierają materiały tworzące floc. Konieczne jest rozróżnienie pomiędzy nieorganicznymi substancjami tworzącymi floc (sole żelaza i aluminium, wapno, węgiel itp.) a organicznymi substancjami tworzącymi floc (polimery organiczne). Substancje nieorganiczne działają nie tylko jako substancje flokotwórcze, ale są również substancjami budulcowymi, tzn. znacznie zwiększają zawartość substancji nieorganicznych, a tym samym zwiększają ilość wytwarzanego popiołu. Zazwyczaj preferowane są organiczne substancje kondycjonujące, ponieważ są one rozkładane w spalarni i nie zwiększają ilości produkowanego popiołu.

2.2.3.2.2 Suszenie

[1. UBA 2001], [64. TWG 2003]

Często substancja, która została wysuszona przez mechaniczne odwadnianie, jest jeszcze zbyt mokra, aby mogła być samoczynnie spalana termicznie. Do zwiększenia wartości cieplnej i zmniejszenia objętości osadu przed spaleniem w piecu może być również wykorzystywana instalacja do suszenia termicznego.

Suszenie osadów ściekowych odbywa się w oddzielnych lub połączonych ze sobą suszarniach. Wykorzystuje się tutaj:

- suszarki dyskowe;
- suszarki bębnowe;
- suszarki ze złożem fluidalnym;
- suszarki taśmowe;
- suszarki cienkowarstwowe/dyskowe;
- suszarki na zimne powietrze;
- suszarki cienkowarstwowe;
- suszarki odśrodkowe (wirówka);
- suszarki solarne (słoneczne);
- kombinacje różnych typów suszarek.

Procesy suszenia mogą być podzielone na dwie grupy:

- suszenie częściowe, do około 60-80% substancji stałej;
- suszenie kompletne, do około 80-90% substancji stałej. [74. TWG 2004]

Alternatywą dla suszenia na zewnątrz zakładu jest suszenie osadu na miejscu (*in-situ*) poprzez spalanie wraz z odpadami o wyższej wartości opałowej. W takich przypadkach woda z odwodnionego osadu pomaga zapobiegać powstawaniu szczytów temperatury, które mogłyby wystąpić w przypadku samodzielnego spalania odpadów wysokokalorycznych.

W przypadku samoczynnego (autotermicznego) spalania w mono-spalarniach osadów ściekowych zasadniczo wystarczające jest odwodnienie ścieków pierwotnych do 35% substancji stałej. Można to osiągnąć poprzez mechaniczne odwadnianie, bez konieczności suszenia termicznego.

Ilość substancji stałej wymaganej do samoczynnego spalania w danej instalacji będzie zależała od składu osadu (zawartość energii w substancji stałej, w dużej mierze związana z zawartością materiału organicznego). Wpływ na to ma charakter osadu i wszelkich zastosowanych obróbek wstępnych, np. jego fermentacji lub zastosowania organicznych czy też nieorganicznych kondycjonerów.

W zależności od poziomu wilgotności i ogólnego udziału osadu, który jest współpalany, może być wymagane jego suszenie, aby umożliwić jednoczesne z innymi strumieniami odpadów spalanie osadu ściekowego w spalarniach odpadów komunalnych. Typowe warunki pracy dla wsadu MSWI to około 10 % odwodnionych osadów ściekowych z 20-30 % substancji stałej. [74. TWG 2004]

Ciepło potrzebne do procesu suszenia jest zazwyczaj pobierane z procesu spalania. W procesach bezpośredniego suszenia osad ściekowy wchodzi w bezpośredni kontakt z nośnikiem ciepła (np. w suszarniach konwekcyjnych, taśmowych, dwupoziomowych i ze złożem fluidalnym). W procesie suszenia powstaje mieszanina pary wodnej, powietrza i gazów uwalnianych z osadu, które z reguły wprowadzane są do pieca.

W systemach suszenia pośredniego (np. ślimakowych, tarczowych, cienkowarstwowych) ciepło jest wprowadzane za pomocą wytwornic pary lub instalacji oleju termicznego, a ciecz grzewcza nie ma kontaktu z osadem. Wymiana ciepła następuje pomiędzy ścianą (np. zbiornika) a osadem.

Suszarki kontaktowe osiągają zazwyczaj poziom stanu suchego 35-40%. Odparowana woda powstająca w procesie suszenia jest zanieczyszczona tylko wyciekającym powietrzem oraz niewielkimi ilościami gazów lotnych. Para wodna może być prawie całkowicie skondensowana, a pozostałe gazy obojętne, aby zapobiec emisji odorów, mogą być wykorzystane jako powietrze zasilające spalarnię. Przetwarzanie kondensatu może być skomplikowane ze względu na obecność NH_4OH , TOC, itp.

2.2.3.2.3 Fermentacja osadów

W procesie fermentacji osadów zmniejsza się w nich zawartość substancji organicznych, a w procesie fermentacji beztlenowej powstaje również biogaz. Przefermentowane osady ściekowe można z reguły łatwiej odwodnić niż osady nieprzefermentowane, dzięki czemu uzyskuje się nieco wyższą zawartość substancji stałej. [64. TWG 2003]

2.2.4 Odpady medyczne

2.2.4.1 Charakterystyka oraz skład odpadów medycznych

Przy postępowaniu z odpadami medycznymi należy zwrócić szczególną uwagę na specyficzne zagrożenia (np. zakażenie chorobami zakaźnymi, igły), standardy etyczno-estetyczne (np. pozostałości po operacjach itp.) oraz ich zachowanie podczas spalania (bardzo zmienna wartość opałowa i zawartość wilgoci).

Konkretne odpady medyczne często zawierają materiały o bardzo wysokiej LHV (tworzywa sztuczne, itp.), ale także pozostałości o bardzo wysokiej zawartości wody (np. krew). Dlatego też odpady medyczne wymagają zazwyczaj długiego czasu spalania, aby zapewnić ich dokładne spopielenie oraz dopuszczalną jakość pozostałości.

Podobnie jak w przypadku odpadów niebezpiecznych, skład odpadów medycznych jest bardzo zróżnicowany i może obejmować:

- czynniki zakaźne;
- skażone tkaniny/chusteczki czy waciki;
- substancje farmaceutyczne;
- materiały ostre np. igły do zastrzyków;
- odpady weterynaryjne;

- części ciała;
- zużyty sprzęt medyczny;
- materiały opakowaniowe;
- odpady laboratoryjne;
- materiały skażone radioaktywnie.

W niektórych przypadkach dokonuje się rozróżnienia pomiędzy drogą spalania odpadów patologicznych (potencjalnie zakaźnych) i niepatologicznych. Przetwarzanie odpadów patologicznych jest czasami ograniczone do wyspecjalizowanych spalarni, podczas gdy odpady niepatologiczne są w niektórych przypadkach spalane wraz z innymi odpadami w spalarniach nie wyspecjalizowanych, np. MSWI.

2.2.4.2 Postępowanie, przetwarzanie wstępne oraz magazynowanie odpadów medycznych

Ryzyko związane z postępowaniem z odpadami medycznymi można zmniejszyć poprzez ograniczenie kontaktu z nimi oraz poprzez zapewnienie dobrych warunków magazynowania, dzięki zastosowaniu:

- dedykowanych pojemników oraz zapewnieniu środków do mycia i dezynfekcji;
- szczelnych i wytrzymałych na działanie ognia pojemników np. na ostre oraz biologicznie niebezpieczne materiały;
- automatycznych systemów załadunku pieca, np. dedykowanych podnośników pojemników;
- wydzielonych obszarów magazynowania i transferu (szczególnie tam, gdzie ma miejsce współspalanie z innymi odpadami);
- magazynowania w razie potrzeby w lodówce lub zamrażalniku.

Przetwarzanie wstępne może być przeprowadzone przy użyciu:

- dezynfekcji parą np. w autoklawie przy podwyższonej temperaturze i ciśnieniu;
- wrzącej wody.

Każdy z tych warunków może pozwolić na wystarczającą sterylizację odpadów tak, aby umożliwić dalsze postępowanie w podobny sposób, jak w przypadku odpadów komunalnych. Miejsca obsługi i magazynowania są zazwyczaj zaprojektowane w sposób ułatwiający dezynfekcję.

Do czyszczenia pojemników zwrotnych instalowane są zazwyczaj odpowiednie urządzenia czyszczące i dezynfekujące. Odpady stałe z dezynfekcji są zbierane celem unieszkodliwienia. Ścieki z dezynfekcji są zbierane, a następnie poddawane recyklingowi w procesie spalania (np. w procesie FGC lub wraz z wsadem odpadów) lub oczyszczane i odprowadzane. [\[74. TWG 2004\]](#)

Przetwarzanie wstępne może być stosowane w celu poprawy homogeniczności odpadów, np. rozdrabnianie lub maceracja, chociaż aspekty bezpieczeństwa wymagają starannego rozważenia tych działań w przypadku niektórych odpadów medycznych.

Odpady medyczne są również spalane, razem z innymi rodzajami odpadów, w spalarniach odpadów niebezpiecznych czy innych spalarniach. Jeżeli spalanie nie odbywa się natychmiast, odpady te wymagają tymczasowego magazynowania. W niektórych przypadkach, gdy konieczne jest magazynowanie odpadów medycznych przez okres dłuższy niż 48 godzin, odpady te przechowuje się w schładzanych pomieszczeniach magazynowych o określonej temperaturze maksymalnej (np. +10 °C).

2.3 Etap przetwarzania termicznego

Do różnych odpadów stosuje się różne rodzaje przetwarzania termicznego. Niniejszy rozdział oraz Tabela 2.5 zawierają przegląd koncepcji i zastosowań najpopularniejszych technologii, a w szczególności:

- piece rusztowe;
- piece obrotowe;
- złoża fluidalne;
- systemy pirolizy i zgazowania.

Opisano również niektóre inne, bardziej specyficzne technologie. [\[6. EGTEI 2002\]](#)

Stale odpady komunalne mogą być spalane w rusztach taśmowych, piecach obrotowych i w piecach ze złożem fluidalnym. Technologia złoża fluidalnego wymaga, aby MSW miały określony zakres wielkości cząstek, co zazwyczaj nakłada obowiązek określonego stopnia przetwarzania wstępnego, nawet jeśli odpady są gromadzone oddzielnie.

Osady ściekowe mogą być spalane w piecach obrotowych, piecach wielopaleniskowych lub ze złożem fluidalnym. Stosowane jest również współspalanie w systemach palenisk rusztowych, instalacjach spalania węgla i procesach przemysłowych. Osady ściekowe często mają wysoką zawartość wody i dlatego wymagają zazwyczaj suszenia lub zastosowania dodatkowych paliw w celu zapewnienia stabilnego i wydajnego spalania.

Odpady niebezpieczne oraz medyczne są zazwyczaj spalane w piecach obrotowych. Jednak czasem, w przypadku odpadów stałych, stosuje się spalarnie rusztowe (w tym współspalanie z innymi odpadami). Natomiast w przypadku niektórych materiałów wstępnie przetworzonych można zastosować spalarnie ze złożem fluidalnym. Na terenie zakładów chemicznych powszechnie stosuje się również piece statyczne.

Wdrożono również **inne procesy** oparte na rozdzieleniu faz, które mają miejsce w spalarni: suszenie, ulatnianie, piroliza, koksowanie oraz utlenianie odpadów. Zgazowanie odbywa się przy użyciu takich czynników zgazowujących jak: para wodna, powietrze, tlenki węgla lub tlen. Procesy te mają na celu zmniejszenie ilości spalin i związanych z tym kosztów ich przetwarzania. Niektóre z tych procesów napotykały na problemy techniczne i ekonomiczne, gdy były skalowane do rozmiarów komercyjnych, przemysłowych, w związku z czym ich rozwój został zarzucony. Niektóre z nich są stosowane na zasadach komercyjnych (np. w Japonii), a inne są testowane w zakładach demonstracyjnych w całej Europie, ale nadal, w porównaniu ze spalaniem, mają niewielki udział w ogólnej zdolności przetwarzania.

Tabela 2.5 Podsumowanie aktualnego wykorzystania procesów przetwarzania termicznego stosowanych do różnych rodzajów odpadów

Technika	Stale odpady komunalne	Odpady inne niż komunalne i niebezpieczne	Odpady niebezpieczne	Osady ściekowe	Odpady medyczne
Ruszt - przerywany / przesuwający	56 %	43 %	0 %	0 %	0 %
Ruszt - wibrujący	0 %	0 %	11 %	0 %	0 %
Ruszt - ruchomy	24 %	27 %	0 %	0 %	0 %
Ruszt - rolkowy	12 %	10 %	0 %	0 %	0 %
Ruszt – chłodzony wodą	22 %	48 %	17 %	0 %	0 %
Ruszt + piec obrotowy	0.5 %	0 %	2 %	0 %	0 %
Piec obrotowy	2 %	0 %	70 %	0 %	0 %
Palenisko statyczne	0 %	0 %	0 %	0 %	67 %
Piec statyczny	0 %	0 %	16 %	0 %	0 %
Złoże fluidalne – pęcherzykowe (BFB)	2 %	13 %	0 %	90 %	0 %
Złoże fluidalne – cyrkulacyjne (CFB)	3 %	8 %	0 %	10 %	0 %
Piroliza	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %
Zgazowanie	0.5 %	0 %	0 %	0 %	33 %

Uwaga: W tabeli tej przedstawiono technologie stosowane w zakładach uczestniczących w gromadzeniu danych, na potrzeby przeglądu dokumentu BREF WI, za 2016 r. i sklasyfikowane według dominującego rodzaju spalanych w 2014 r. odpadów.
 Źródło: [81. TWG 2016]

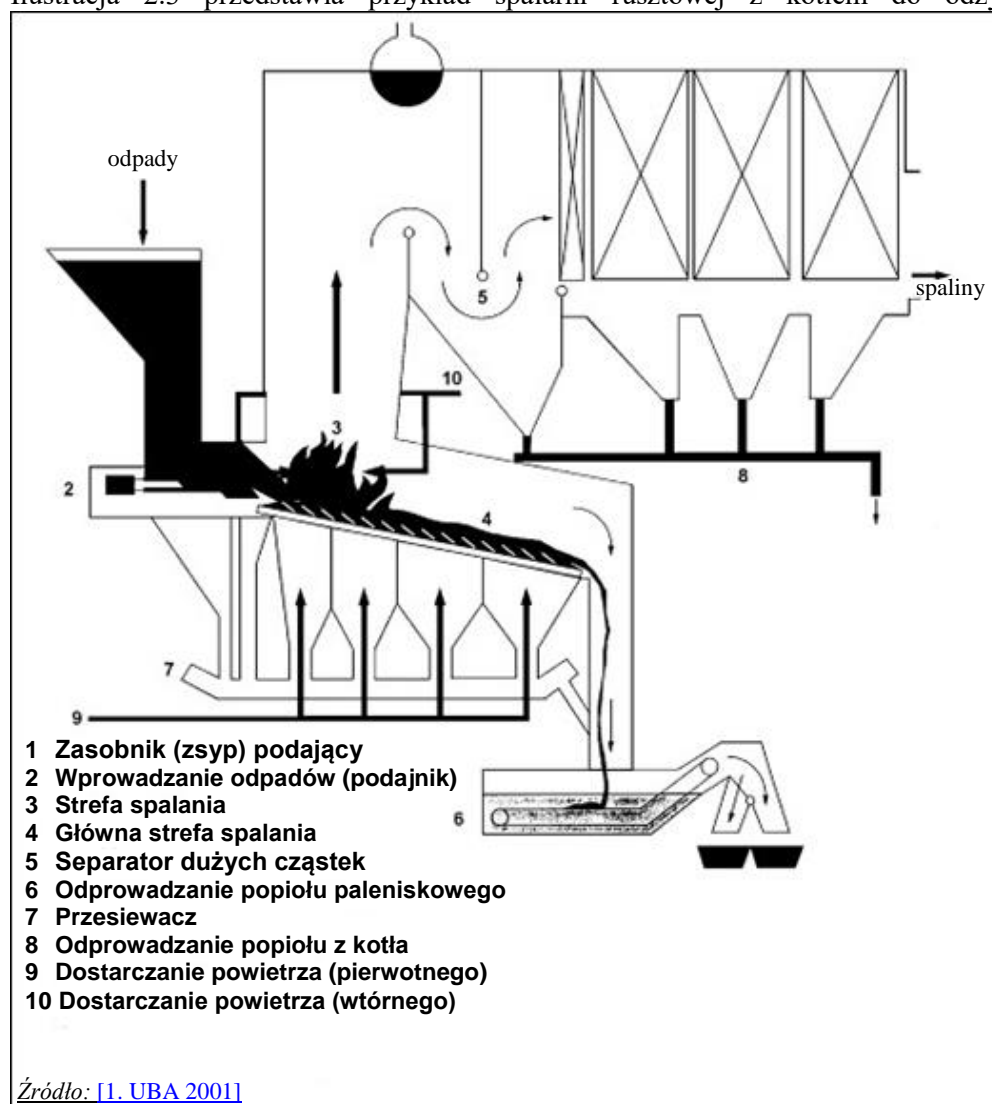
2.3.1 Spalarnie rusztowe

Spalarnie rusztowe są szeroko stosowane do spalania mieszanych odpadów komunalnych. W Europie około 90 % instalacji przetwarzających MSW wykorzystuje piece rusztowe. Inne odpady powszechnie przetwarzane w spalarniach rusztowych, często jako dodatki do MSW, obejmują komercyjne oraz przemysłowe odpady inne niż niebezpieczne, osady ściekowe oraz niektóre odpady medyczne.

Spalarnie rusztowe składają się zazwyczaj z następujących elementów:

- podajnik odpadów;
- ruszt paleniskowy (spopielania);
- układ odprowadzania (zrzutu) popiołów paleniskowych;
- układ doprowadzania powietrza do spalarki;
- komora spalania;
- palniki pomocnicze.

Ilustracja 2.3 przedstawia przykład spalarni rusztowej z kotłem do odzysku ciepła.



Ilustracja 2.3 Przykładowa spalarnia odpadów komunalnych z kotłem do odzysku ciepła

2.3.1.1 Podajnik odpadów

Odpady są odprowadzane z bunkra do zasobnika (zsypu) podającego za pomocą suwnicy, a następnie wprowadzane do systemu rusztowego za pomocą ramy hydraulicznej lub innego systemu transportowego. Ruszt przemieszcza odpady ruchem wahadłowym przez różne strefy komory spalania.

Zasobnik podający wykorzystywany jest do ciągłego dostarczania odpadów. Jest on napełniany partiami odpadów za pomocą suwnicy. Ponieważ powierzchnia zasobnika podającego narażona jest na duże obciążenia, do jego konstrukcji wybiera się materiały o dużej odporności na tarcie (np. płyty kotłowe lub żeliwo odporne na ścieranie). Materiał musi być także w stanie przetrwać bez uszkodzeń sporadyczne pożary zasobnika podającego.

Zasobnik podający może być czasami zasilany przez przenośnik taśmowy. W takim przypadku suwnica zrzuca odpady do pośredniego zasobnika podającego, który zasila przenośnik taśmowy. [\[74. TWG 2004\]](#)

Jeżeli dostarczone odpady nie zostały wstępnie przetworzone, są one zazwyczaj bardzo niejednorodne, zarówno pod względem wielkości, jak i charakteru. Zasobnik podający musi więc być tak zaprojektowany, aby można było uniknąć zatorów, blokujących zasobnik. Należy im zapobiegać, ponieważ mogą powodować nierównomierne podawanie materiału do pieca oraz niekontrolowane przedostawanie się do pieca powietrza.

Ściany zasobnika podającego mogą być chronione przed działaniem wysokiej temperatury poprzez:

- konstrukcję dwuścienną chłodzoną wodą;
- konstrukcję z wykorzystaniem ścian membranowych;
- zawory odcinające chłodzone wodą;
- okładzinę z cegły ognioodpornej.

Jeśli zasobnik podający jest pusty, można zastosować zawory odcinające (np. uszczelnienia drzwi), aby uniknąć cofania się płomienia oraz aby zapobiec niekontrolowanemu przenikaniu powietrza do pieca. W celu zapewnienia równomiernej eksploatacji pieca zaleca się stosowanie jednolitych ilości odpadów w zasobniku (zsypie) podającym.

Połączenie dolnego końca zasobnika podającego z piecem składa się z mechanizmu dozującego. Mechanizm dozujący może być napędzany mechanicznie lub hydraulicznie. Jego prędkość dozowania jest generalnie regulowana. Dla różnych systemów dozowania opracowano różne rozwiązania konstrukcyjne, np.:

- ruszty łańcuchowe/przenośniki płytkowe;
- ruszty podające;
- zsypy stożkowe (lejkowe) o zmiennym przekroju;
- podajniki popychające (RAM);
- ramy hydrauliczne;
- podajniki ślimakowe. [\[74. TWG 2004\]](#)

2.3.1.1.1 Dodawanie osadów ściekowych do spalarni odpadów komunalnych

Osady ściekowe są czasami spalane wraz z innymi odpadami w komunalnych spalarniach rusztowych (informacje na temat zastosowania złoża fluidalnego oraz innych technologii znajdują się w sekcji 2.3.3).

Zastosowanie technik dodających wsad osadów ściekowych do MSWI, może stanowić znaczną część dodatkowych kosztów inwestycyjnych.

Stosowane są trzy technologie podawania (wsadu):

- Osuszone osady ściekowe (~ 90% substancji stałych) są wdmuchiwane do pieca jako pył.

- Odwodnione osady ściekowe (~ 20-30 % substancji stałej) dostarczane są oddzielnie przez zraszacze do komory spalania i rozprowadzane na ruszcie. Osad jest integrowany z materiałem złoża poprzez obracanie odpadów na ruszcie. Niektóre doświadczenia operacyjne wykazały, że przy użyciu tej techniki można spalić do 20 % masy osadu (przy zawartości substancji stałej 25%). Inne doświadczenia wykazały, że zbyt wysoka proporcja dodawanego osadu (np. > 10%) może powodować wysoką ilość popiołu lotnego lub niespalonego materiału w popiele paleniskowym.
- Odwodniony, osuszony całkowicie lub częściowo osad (~ 50-60 % substancji stałej) dodawany jest do odpadów komunalnych i razem wprowadzany do komory spalania. Mieszanie może odbywać się w bunkrze na odpady poprzez celowe dozowanie przez operatora dźwigu, lub może być sterowane w zasobniku podającym poprzez pompowanie odwodnionego osadu do zasobnika lub do bunkra przez systemy rozsypujące. [74. TWG 2004]

2.3.1.1.2 Dodawanie odpadów medycznych do spalarni odpadów komunalnych

[49. Dania 2002] Odpady medyczne są czasami spalane wraz z innymi odpadami w spalarniach odpadów komunalnych (np. razem z odpadami MSW).

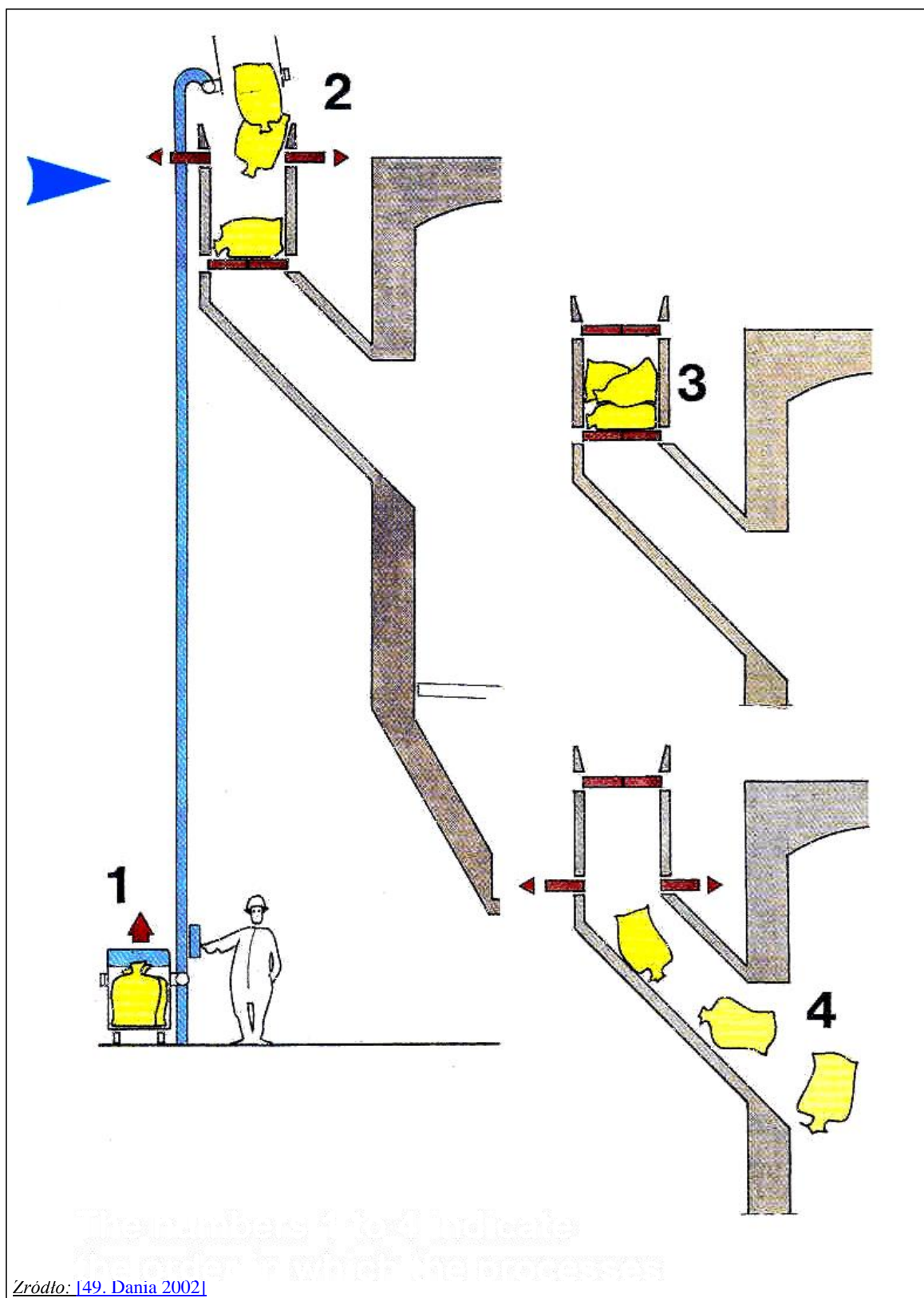
Zakaźne odpady medyczne są umieszczane bezpośrednio w piecu, bez uprzedniego mieszania z innymi kategoriami odpadów i bez bezpośredniego postępowania z nimi. Stosowany jest oddzielny system załadunku ze śluzami powietrznymi. Śluza powietrzna pomaga zapobiegać niekontrolowanemu przedostawaniu się powietrza do spalania oraz możliwości wystąpienia emisji ulotnych (niezorganizowanych) w strefie załadunku.

Łączone spalanie odpadów medycznych z stałymi odpadami komunalnymi MSW może odbywać się bez oddzielnego systemu podawania. Na przykład, automatyczne systemy załadunku mogą być stosowane do umieszczania odpadów medycznych razem z MSW bezpośrednio w zasobniku (zsywie) podającym.

Przepisy krajowe ograniczają niekiedy ilość odpadów medycznych, które mogą być przetwarzane w procesie łączonego spalania (np. we Francji < 10 % obciążenia termicznego).

Spaliny z różnych odpadów są następnie przetwarzane we wspólnych systemach FGC.

Ilustracja 2.4 przedstawia kolejność etapów dla oddzielnych systemów podawania.



Ilustracja 2.4 Przykład etapów systemu podawania odpadów medycznych stosowanego w spalarni odpadów komunalnych

2.3.1.2 Ruszt paleniskowy (spopielania)

Ruszt paleniskowy (spopielania) spełnia następujące funkcje:

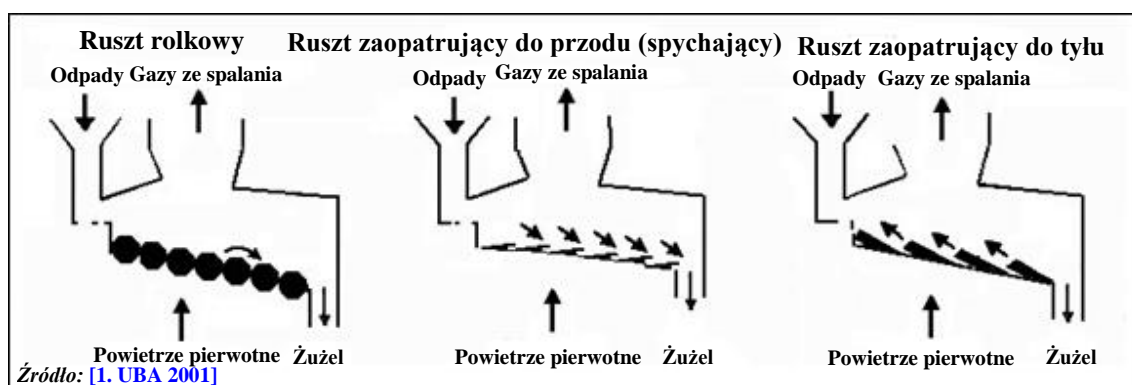
- transport materiałów przeznaczonych do spalania przez piec;
- gromadzenie i odpowiednie rozprowadzanie materiałów przeznaczonych do spalania;
- umiejscowienie głównej strefy spalania w komorze spalania, ewentualnie w połączeniu ze środkami kontroli wydajności pieca.

Celem rusztu spopielania jest dobre rozprowadzenie powietrza w piecu, zgodnie z wymogami spalania. Dmuchawa powietrza pierwotnego wtłacza powietrze do spalania przez małe otwory w warstwie rusztowej prosto do warstwy paliwa. Więcej powietrza jest zazwyczaj dodawane nad złożem odpadów, aby proces spalania był kompletny.

Często zdarza się, że jakiś drobny materiał (zwany czasem przesiewką lub odsiewem) wpada przez otwory rusztu. Materiał ten jest odzyskiwany w systemie odprowadzania popiołu paleniskowego lub w oddzielnym systemie. Następnie może zostać poddany recyklingowi poprzez ponowne spalanie na ruszcie lub usunięty celem unieszkodliwiania. Podczas recyrkulacji przesiewki w podajniku, należy uważać, aby nie doprowadzić do zapalenia się w nim odpadów. [74. TWG 2004]

Czas przebywania odpadów na ruszcie wynosi zazwyczaj nie więcej niż 60 minut. [74. TWG 2004]

Ogólnie rzecz biorąc, można stosować podział na podajniki ciągłe (ruszty rolkowe i łańcuchowe) oraz nieciągłe (ruszty pchające). Ilustracja 2.5 pokazuje niektóre typy rusztów.



Ilustracja 2.5 Różne rodzaje rusztów

Chłodzenie rusztu przeprowadza się celem kontroli temperatury metalu i tym samym zwiększenia żywotności rusztu. Czynnikiem chłodzącym może być powietrze lub woda (mogą być również stosowane inne ciecze, takie jak oleje lub ciecze przewodzące ciepło). Przepływ płynnego czynnika chłodzącego odbywa się od stref chłodniejszych do coraz cieplejszych celem zmaksymalizowania wymiany ciepła. Ciepło absorbowane przez płynny czynnik chłodniczy może być wykorzystane w procesie spalania lub dostarczone do procesu zewnętrznego.

Stosowanie rusztów chłodzonych powietrzem jest bardzo powszechne w Europie. Około 90% spalanych MSW jest przetwarzane w zakładach stosujących właśnie ten typ. Powietrze dostarczane jest pod rusztem i przechodzi przez jego rozstępy. Główną funkcją wprowadzanego powietrza jest dostarczenie tlenu niezbędnego do utleniania, a natężenie przepływu jest zaprojektowane zgodnie z tym wymogiem. Jednocześnie powietrze to chłodzi ruszty. W przypadku wprowadzenia większej ilości powietrza, dostarczane jest dodatkowe chłodzenie, ale wytwarzana jest także większa ilość spalin.

Chłodzenie wodą jest najczęściej stosowane tam, gdzie wartość opałowa odpadów jest wyższa, np. > 12-15 MJ/kg w przypadku MSW. Konstrukcja instalacji chłodzonej wodą jest bardziej złożona niż chłodzonej powietrzem.

Dodanie chłodzenia wodą może pozwolić na kontrolę temperatury rusztu oraz lokalnej temperatury spalania z większą dokładnością niż w przypadku chłodzenia przy pomocy tylko pierwotnego powietrza (zwykle pomiędzy prętami rusztu). Pozwala to również zoptymalizować temperaturę i dopływ powietrza (tlenu) do spalania, a tym samym zwiększyć jego wydajność. Temperatura cieczy może być wykorzystywana do monitorowania reakcji (niektóre są endotermiczne, niektóre egzotermiczne oraz przeprowadzane w różnych temperaturach) występujących w złożu odpadów ponad rusztem. Reakcje te mogą być następnie kontrolowane drogą różnicowania ilości powietrza dostarczanego do odpadów znajdujących się powyżej danej części rusztu. Takie rozdzielenie funkcji chłodzenia i dostarczania powietrza zwiększa kontrolę nad procesem. Większa kontrola temperatury rusztu pozwala również spalać odpady o wyższej wartości opałowej bez zwiększonych problemów eksploatacyjnych czy konserwacyjnych.

Systemy rusztów można rozróżnić według sposobu transportu odpadów przez różne strefy komory spalania. Każdy z nich musi spełniać wymagania dotyczące podawania powietrza pierwotnego, prędkości transportu oraz zgarniania, jak również mieszania odpadów. Inne cechy mogą obejmować dodatkowe sterowanie lub solidniejszą konstrukcję odporną na trudne warunki panujące w komorze spalania.

2.3.1.2.1 Ruszty kołysane (*rocking grate*)

[4. IAWG 1997] Odcinki rusztu umieszczone są na całej szerokości pieca. Naprzemienne rzędy są mechanicznie wychylane lub kołysane, aby uzyskać ruch w górę i do przodu, posuwając i mieszając w ten sposób odpady.

2.3.1.2.2 Ruszty posuwisto-zwrotne/tłokowe (*reciprocating grates*)

Konstrukcja ta składa się z sekcji, które rozpościerają się na szerokość pieca, ale są ułożone jedna nad drugą. Naprzemienne sekcje rusztu przesuwają się w przód i w tył, podczas gdy sekcje przylegające do siebie pozostają stałe. Odpady spadają z części stałej i są wzburzane i mieszane podczas przesuwania się wzdłuż rusztu. Istnieje wiele wariantów tego typu rusztów, niektóre z naprzemiennymi sekcjami stałymi i ruchomymi, inne z kombinacją kilku sekcji ruchomych dla każdej sekcji stałej. W tym drugim przypadku sekcje mogą poruszać się razem lub w cyklu o różnych okresach.

Istnieją zasadniczo dwie główne odmiany rusztów posuwisto-zwrotnych:

1. Odwrotny ruszt posuwisto-zwrotny

Pręty rusztu oscylują tam i z powrotem w odwrotnym kierunku do przepływu odpadów. Ruszt jest nachylony począwszy od końca strony podawczej na miejscu odprowadzania popiołu skończywszy i składa się ze stałych oraz ruchomych stopni.

2. Ruszt pchający do przodu (spychający)

Pręty rusztu tworzą szereg stopni (schody), które oscylują poziomo i popychają odpady w kierunku miejsca odprowadzania popiołu.

2.3.1.2.3 Ruszty jezdne/taśmowe (*travelling grates*)

Ten typ rusztu składa się z ciągłego metalowego przenośnika taśmowego lub zazębających się ogniw, które poruszają się na całej długości pieca. Zmniejszone możliwości mieszania odpadów (są one mieszane tylko przy przejściu z jednej taśmy na drugą) sprawiają, że są w nowoczesnych obiektach rzadko stosowane. [4. IAWG 1997]

2.3.1.2.4 Ruszty rolkowe (*roller grates*)

Konstrukcja ta składa się z perforowanej rolki, która przesuwa się po szerokości powierzchni rusztu.

Kilka rolek instaluje się szeregowo, a w miejscu, w którym materiał zsuwa się z rolek, następuje mieszanie. [4. IAWG 1997]

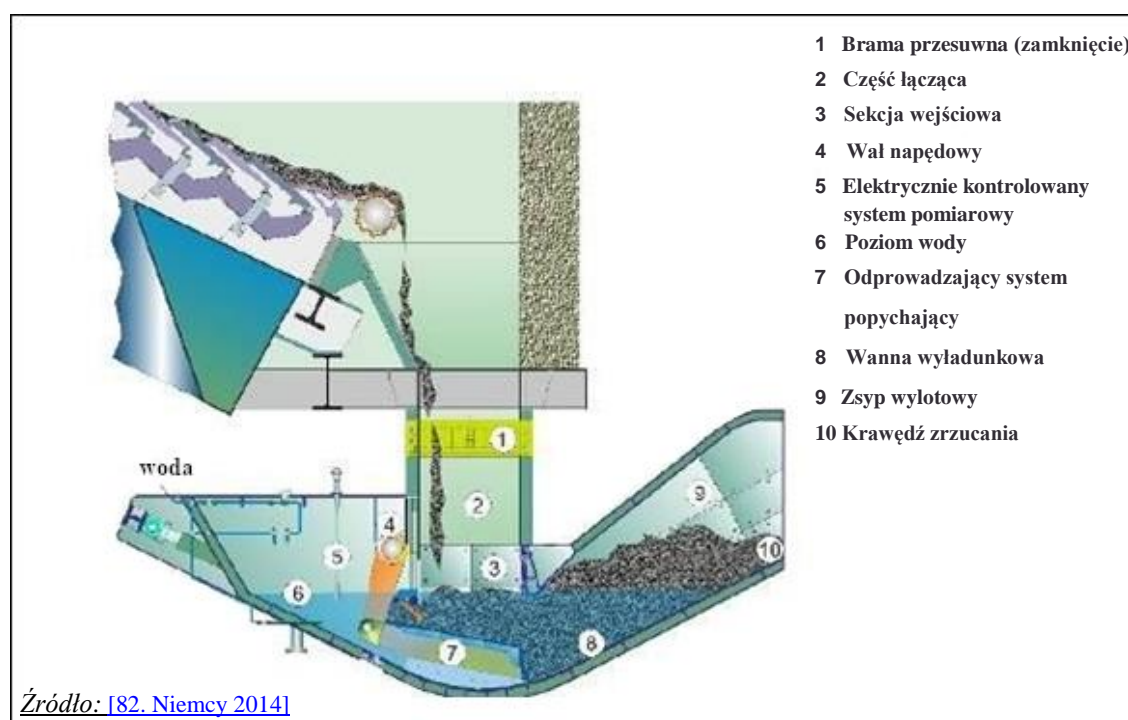
2.3.1.3 Odprowadzanie popiołów paleniskowych

System odprowadzania popiołów paleniskowych służy do chłodzenia i odprowadzania stałych pozostałości (popiołu paleniskowego), które gromadzą się na końcu rusztu. Służy on również jako uszczelnienie powietrzne pieca, zapobiegając emisji spalin oraz niekontrolowanemu przedostawaniu się powietrza do pieca.

Wypełnione wodą konstrukcje typu popychającego oraz przenośniki taśmowe są powszechnie stosowane do usuwania popiołu paleniskowego, jak również wszelkich nieporęcznych przedmiotów.

Woda używana do chłodzenia jest oddzielana od popiołu paleniskowego na wyjściu i może być ponownie wprowadzana do systemu odprowadzania popiołu. W celu utrzymania odpowiedniego poziomu wody w odprowadzaczach wymagany jest zwykle dopływ wody uzupełniającej. Uzupełnia ona wodę utraconą razem z popiołem paleniskowym oraz na skutek strat spowodowanych parowaniem. Ponadto, aby zapobiec gromadzeniu się soli, może być potrzebny drenaż wody - takie systemy odprowadzania mogą pomóc w zmniejszeniu zawartości soli w pozostałościach, jeśli natężenie przepływu zostanie specjalnie dostosowane do tego celu. Szyb do usuwania popiołu paleniskowego jest zazwyczaj ognioodporny i skonstruowany w taki sposób, aby uniknąć zjawiska zbrzania.

Popiół paleniskowy może być usuwany na sucho za pomocą systemu typu popychającego bez użycia wody. W tym przypadku uszczelnienie powietrzne pieca uzyskuje się poprzez spiętrzenie popiołu paleniskowego w części wlotowej. Popiół paleniskowy jest schładzany przez powietrze bez zwiększania temperatury powierzchni wylotu. [82. Germany 2014]



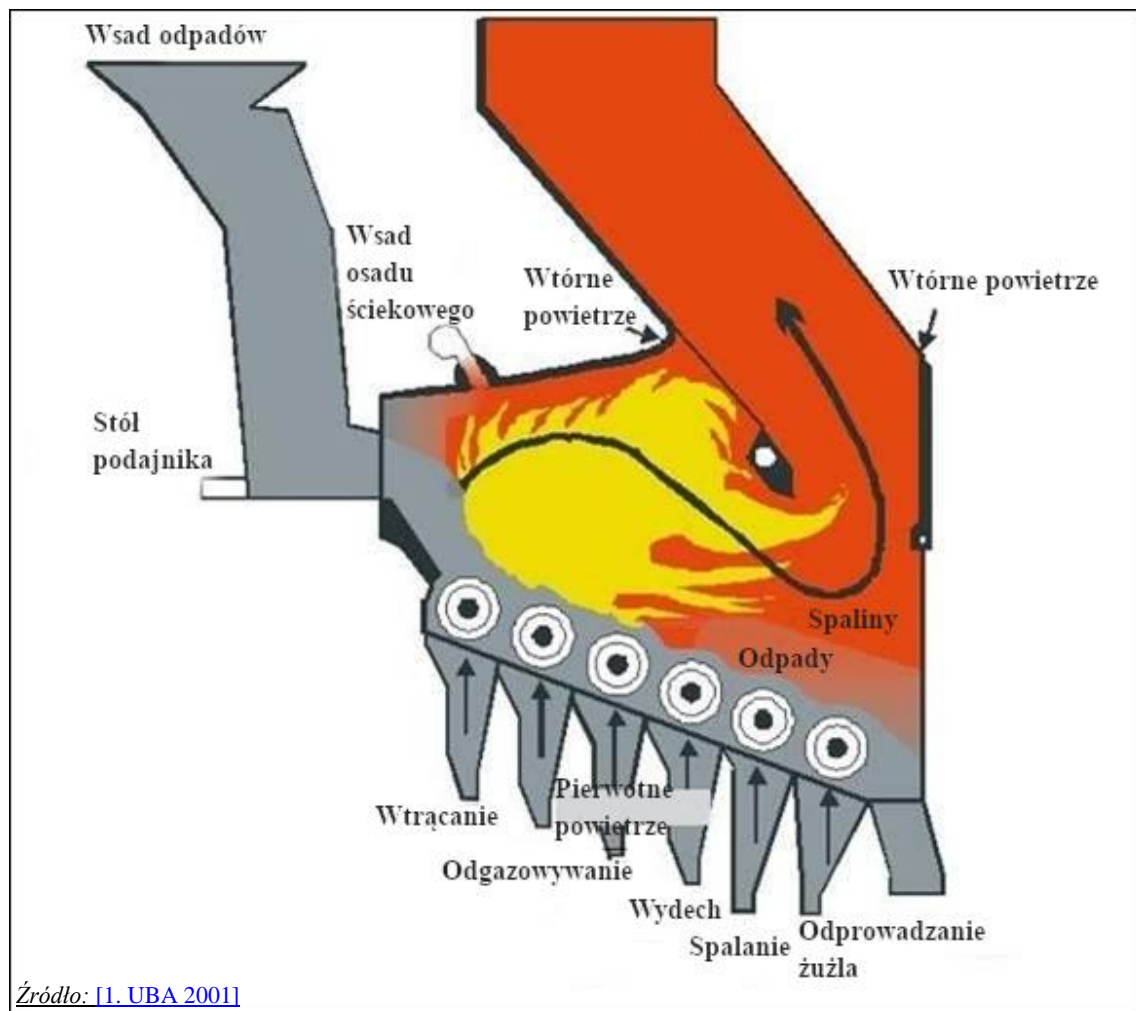
Ilustracja 2.6 Przykład instalacji do odprowadzania popiołu paleniskowego typu popychającego używanej w spalarni rusztowej

2.3.1.4 Komora spalania oraz kocioł

Komora spalania (zob. ilustracja 2.7) składa się zazwyczaj z rusztu umieszczonego na dole, ścian chłodzonych i niechłodzonych po bokach paleniska oraz grzałki sufitu lub całej powierzchni kotła u góry. Odpady komunalne mają na ogół dużą zawartość substancji lotnych, dlatego też gazy lotne są odpychane i spalane ponad rusztem, a jedynie niewielka część rzeczywistego spalania odbywa się na ruszcie lub w jego pobliżu.

Następujące wymagania mają wpływ na projekt komory spalania:

- kształt oraz wielkość rusztu paleniskowego - wielkość rusztu określa wielkość przekroju komory spalania; mieszanie poprzez wirowanie oraz jednorodność przepływu spalin - całkowite wymieszanie spalin jest niezbędne dla prawidłowego ich spalania;
- wystarczający czas przebywania spalin w gorącym piecu - potrzebny jest wystarczający czas reakcji w wysokiej temperaturze, aby zapewnić całkowite spalanie;
- częściowe chłodzenie spalin poprzez wtrysk wtórnego powietrza - w celu uniknięcia stopienia w kotle gorącego popiołu lotnego, temperatura spalin na wyjściu z komory spalania nie może przekraczać górnej granicy.



Ilustracja 2.7 Przykładowa komora spalania

Szczegółowa konstrukcja komory spalania jest zazwyczaj powiązana z typem rusztu. Jej dokładne wykonanie wymaga pewnych kompromisów, ponieważ wymagania procesowe zmieniają się wraz z charakterystyką paliwa.

Nieodpowiednia konstrukcja prowadzi do słabego zatrzymywania gazów palnych w strefie, słabego spalania fazy gazowej oraz wyższych emisji.

Można wyróżnić trzy różne konstrukcje. Nazewnictwo pochodzi z kierunku przepływu spalin w odniesieniu do kierunku przepływu strumienia odpadów: przepływ jednokierunkowy, przepływ przeciwbieżny oraz centralny (patrz rysunek 2.8).

Piec z przepływem jednokierunkowym, współbieżnym lub równoległym

W układzie współbieżnego spalania powietrze pierwotne oraz odpady kierowane są współbieżnie przez komorę spalania. W związku z tym wylot spalin znajduje się na końcu rusztu. Tylko stosunkowo niewielka ilość energii jest wymieniana pomiędzy gazami spalinowymi a odpadami znajdującymi się na ruszcie.

Zaletą koncepcji przepływu jednokierunkowego jest to, że spaliny najdłużej przebywają w obszarze zapłonu oraz że przechodzą przez strefę temperatury maksymalnej. Aby ułatwić zapłon, powietrze pierwotne jest wstępnie podgrzewane.

Piec z przepływem przeciwbieżnym

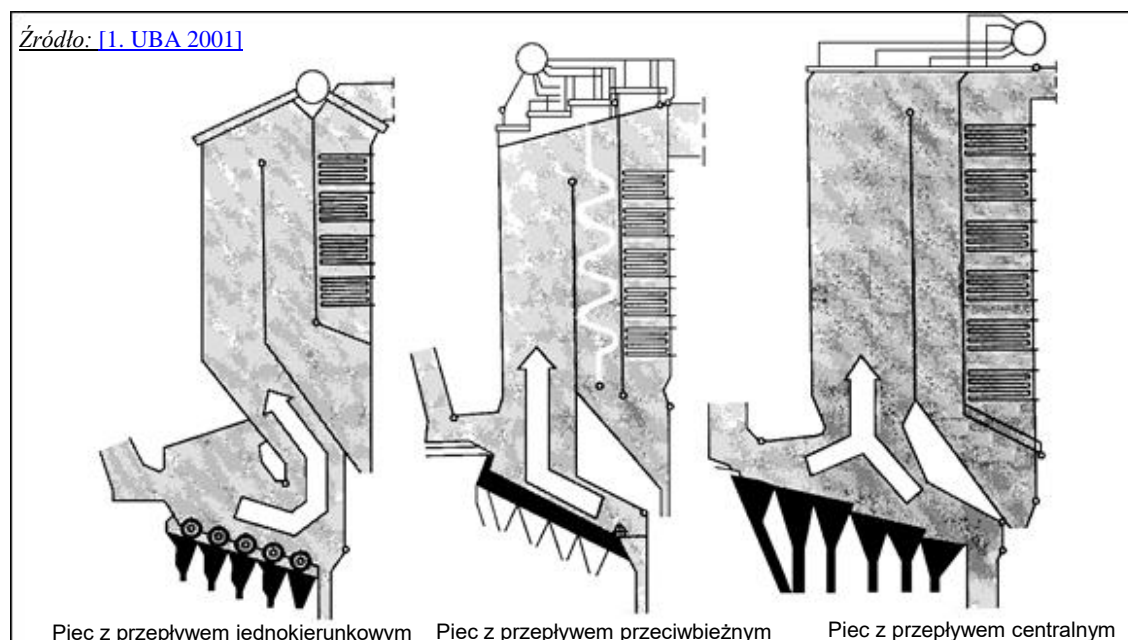
W tym przypadku pierwotne powietrze do spalania oraz odpady są prowadzone przez komorę spalania w przeciwbieżnym układzie przepływu, a wylot spalin znajduje się w przedniej części rusztu.

Gorące spaliny ułatwiają suszenie oraz zapłon odpadów.

Szczególną uwagę należy zwrócić na unikanie przepływu niespalonych strumieni gazu. Z reguły koncepcje przeciwbieżnego przepływu wymagają zwiększonego dopływu powietrza wtórnego lub wprowadzanego od góry.

Piec z przepływem centralnym

Skład stałych odpadów komunalnych jest bardzo zróżnicowany, a koncepcja przepływu centralnego stanowi dobry kompromis w przypadku szerokiego spektrum wsadów. Dobre zmieszanie wszystkich częściowych strumieni spalin brane jest pod uwagę drogą odpowiedniego ukształtowania komory sprzyjającego mieszanii i/lub wtrysk powietrza wtórnego. W tym przypadku wylot spalin znajduje się na środku rusztu.



Ilustracja 2.8 Różne konstrukcje pieców w zależności od kierunku przepływu spalin i odpadów.

W tabeli 2.6 porównano różne typy konstrukcji komór spalania pod względem ich charakterystyki geometrycznej, przydatności do spalania różnych rodzajów odpadów a także dodatkowe rozważania dotyczące np. szczególnych wymagań w zakresie zasilania powietrzem.

Tabela 2.6 Porównanie cech różnych konstrukcji komór spalania

Typ	Cechy konstrukcyjne	Komentarze
Piec z przepływem jednokierunkowym, współbieżnym lub równoległym	<ul style="list-style-type: none"> Wyjście do komory spalania na końcu pieca Przepływ gazu w tym samym kierunku co odpadów 	<ul style="list-style-type: none"> Nadaje się do odpadów o wysokiej zawartości LHV Wszystkie wyemitowane gazy muszą przechodzić przez strefę maksymalnej temperatury i mają długi czas retencji. Wymagane podgrzanie powietrza pierwotnego w strefie zapłonu
Piec z przepływem przeciwbieżnym	<ul style="list-style-type: none"> Wyjście do komory spalania na początku pieca Przepływ gazu przeciwny do kierunku przemieszczania się odpadów 	<ul style="list-style-type: none"> Nadaje się do odpadów o niskim LHV / wysokiej wilgotności / wysokiej zawartości popiołu (ponieważ gorące gazy ze strefy ulatniania przechodzą przez strefę suszenia) Wyższe wymagania dotyczące dopływu powietrza wtórnego celem zapewnienia spalania gazu
Piec z przepływem centralnym	<ul style="list-style-type: none"> Wyjście do komory spalania w środku pieca 	<ul style="list-style-type: none"> Kompromis wyżej wymienionych typów dla szerokiego spektrum odpadów Konfiguracja pieca oraz powietrze wtórne ważnym elementem zapewniającym dokładne spalanie gazu
Piec z przepływem dzielonym	<ul style="list-style-type: none"> Wyjście do komory spalania w środkowym położeniu, ale przedzielone sekcją centralną 	<ul style="list-style-type: none"> Sekcja centralna wspomaga zatrzymywanie gazów oraz umożliwia wtryskiwanie powietrza wtórnego z dodatkowych lokalizacji Stosowane głównie w bardzo dużych piecach
Źródło: [1. UBA 2001], [2. InfoMil 2002], [4. IAWG 1997], [15. Segers 2002]		

Systemy z dzielonym przepływem stosuje się głównie w większych piecach, ponieważ dzięki dodatkowemu mieszanemu powietrza wtórnego pozwalają one na umieszczenie ich w centralnych punktach pieca. W mniejszych piecach odpowiednie mieszanie uzyskuje się dzięki bocznemu wtryskowi powietrza wtórnego.

Zrównoważona konstrukcja komory spalania zapewnia, że gazy wydzielające się z odpadów są dobrze wymieszane i zatrzymywane w komorze spalania w odpowiedniej temperaturze, umożliwiającej pełne zakończenie procesu spalania. Zasada ta ma zastosowanie do wszystkich procesów spalania.

2.3.1.5 Podawanie powietrza do spalania

Powietrze używane do spalania spełnia następujące cele:

- dostarcza utleniacz;
- schładza
- przeciwdziała tworzeniu się żużla w piecu;
- powoduje mieszanie spalin.

Powietrze jest dodawane w różnych miejscach w komorze spalania. Zazwyczaj opisuje się je jako powietrze pierwotne lub wtórne, choć stosuje się również powietrze trzeciorzędowe oraz spaliny z recyrkulacji.

Zasadniczo powietrze pierwotne pobierane jest ze zbiornika na odpady. W ten sposób utrzymuje się niewielkie podciśnienie w hali bunkra oraz eliminuje większość emisji odorów i pyłów z niego pochodzących. Powietrze pierwotne wdmuchiwane jest przez wentylatory do obszarów pod rusztem, gdzie jego dystrybucja może być ściśle kontrolowana za pomocą wielu skrzynek powietrznych oraz zaworów dystrybucyjnych.

Powietrze może być wstępnie podgrzane celem wysuszenia odpadów, gdy ich wartość opałowa jest niska. Powietrze pierwotne jest wdmuchiwane przez warstwę rusztową do złoża paliwowego. Schładza ono pręt rusztu oraz transportuje tlen do złoża spalania.

Powietrze wtórne jest wdmuchiwane do komory spalania z dużą prędkością przez np. lance iniekcyjne lub z wewnętrznych struktur. Ma ono za cel zapewnienie całkowitego spalania i jest

odpowiedzialne za intensywne mieszanie spalin oraz zapobieganie swobodnemu przepływowi niespalonych strumieni gazów.

2.3.1.6 Temperatura spalania, czas przebywania i zawartość tlenu

Spalarnie są projektowane i eksploatowane celem osiągnięcia jak najlepszego spalania spalin poprzez utrzymanie minimalnie wymaganej temperatury oraz określonego czasu przebywania przy minimalnej zawartości tlenu. Typowe wartości to: temperatury od 850 °C do 1 100 °C (wyższe temperatury są zwykle związane z niektórymi odpadami niebezpiecznymi), czas co najmniej 2 sekundy, poziom tlenu co najmniej 6%.

Zawartość tlenu w spalinach jest kluczowym wskaźnikiem jakości spalania.

2.3.1.7 Palniki dodatkowe

Podczas rozruchu, palniki dodatkowe (pomocnicze) używane są do podgrzania pieca do określonej temperatury, przed dodaniem jakichkolwiek odpadów. Podczas pracy palniki są włączane automatycznie, jeśli temperatura spadnie poniżej określonej wartości. Podczas wyłączenia, celem utrzymania temperatury na żądanym poziomie, palniki są używane do momentu, gdy w piecu nie ma już niespalonych odpadów. [\[74. TWG 2004\]](#)

2.3.2 Piece obrotowe

Piece obrotowe są bardzo wytrzymałe i można w nich spalać prawie wszystkie odpady, niezależnie od ich rodzaju i składu. Są one w szczególności bardzo szeroko stosowane do spalania odpadów niebezpiecznych (większość niebezpiecznych odpadów medycznych spalana jest w wysokotemperaturowych piecach obrotowych). [\[64. TWG 2003\]](#)

Temperatury pracy pieców obrotowych wahają się od około 500 °C (w przypadku zgazowania) do 1 450 °C (w przypadku wysokotemperaturowego pieca do topienia popiołu). Wyższe temperatury też są czasami spotykane, ale zazwyczaj w zastosowaniach nie związanych ze spalaniem odpadów. W przypadku zastosowania konwencjonalnego spalania tlenowego temperatura pieca wynosi z reguły powyżej 850 °C. Temperatury w zakresie 900-1 200 °C są typowe dla spalania odpadów niebezpiecznych.

Im wyższa jest temperatura robocza, tym większe jest ryzyko zanieczyszczenia i uszkodzenia ognioodpornej wykładziny pieca na skutek zwiększonych naprężeń termicznych. Niektóre piece posiadają płaszcz chłodzący (wykorzystujący powietrze lub wodę), który pomaga wydłużyć żywotność materiałów ogniotrwałych, a tym samym czas pomiędzy przestojami konserwacyjnymi.

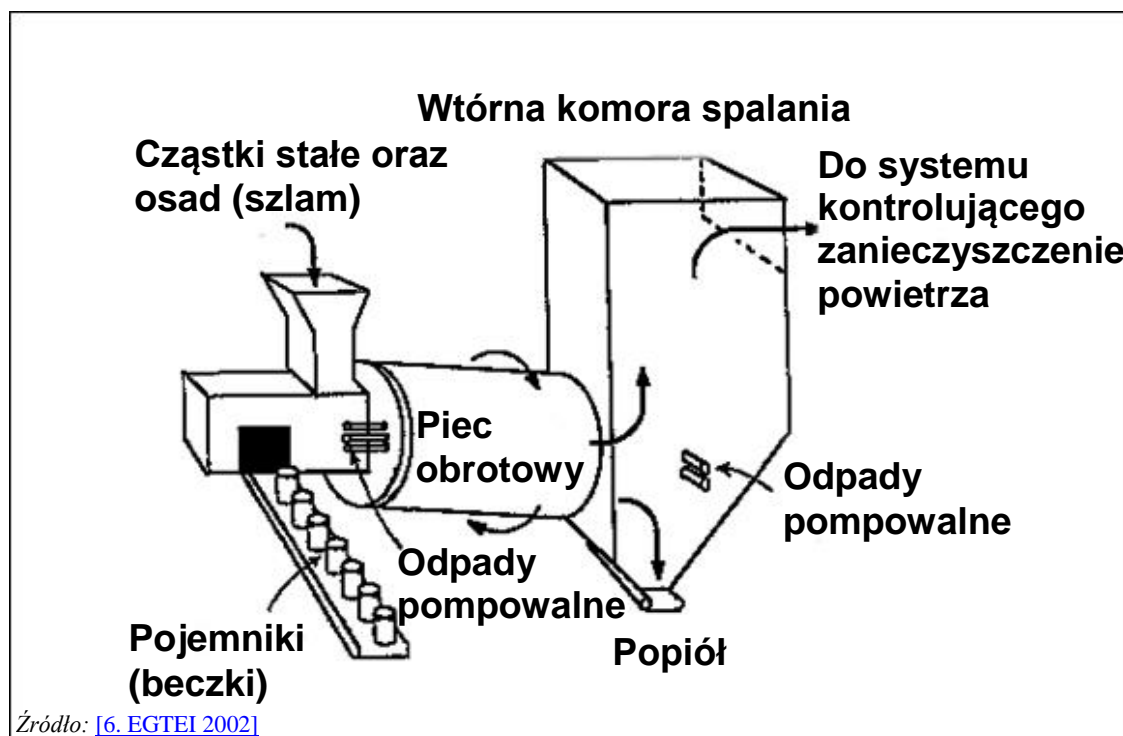
Chłodzenie wodą zazwyczaj stosowane jest w połączeniu z wyższymi temperaturami w piecu. System chłodzenia wodą w piecu obrotowym składa się z dwóch obiegów chłodzących. Pierwotny obieg wody chłodzącej dostarcza pierwotną wodę chłodzącą na górze pieca obrotowego i rozprowadza ją równomiernie, aby zapewnić stały efekt chłodzenia na całej powierzchni pieca. Woda jest następnie gromadzona w zbiornikach umieszczonych pod piecem, skąd spływa do zbiornika poboru wody. Następnie poddaje się ją recyrkulacji poprzez filtr oraz wymiennik ciepła z pompą obiegową. Odparowywanie kompensowane jest dodatkową wodą uzupełniającą, która jest automatycznie buforowana z NaOH celem uniknięcia korozji.

Obieg wtórny usuwa, poprzez wymienniki, energię cieplną z obiegu pierwotnego i przekazuje ją do wykorzystania.

System dostarcza wodę chłodzącą przez setki dysz rozpylających umieszczonych na całym płaszczu pieca, utrzymując temperaturę płaszcza na poziomie 80-100 °C. W przypadku chłodzenia powietrzem temperatura płaszcza stalowego jest zazwyczaj o kilkaset stopni wyższa. Chłodzenie pieca obrotowego zwiększa przekazywanie ciepła przez materiał ogniotrwały na tyle, aby ograniczyć do minimum tempo erozji chemicznej.

Przekazywanie ciepła do wody chłodzącej przez piec waha się od 0.5 do 3.0 MW, w zależności od wielkości pieca obrotowego oraz grubości materiału ogniotrwałego. Grubość materiału ogniotrwałego obejmuje pozostałą okładzinę ceglana oraz zestaloną dolną warstwę popiołu.

Na ilustracji przedstawiono schemat systemu spalania w piecu obrotowym.



Ilustracja 2.9 Schemat system spalania z piecem obrotowym

Piec obrotowy składa się z cylindrycznego naczynia, lekko nachylonego w stosunku do osi poziomej. Zbiornik jest zwykle umieszczony na rolkach, co pozwala piecowi obracać się lub oscylować wokół swojej osi (ruch posuwisto-zwrotny). Odpady są przenoszone przez piec w trakcie obracania się, za pomocą grawitacji. Bezpośredni wtrysk stosowany jest szczególnie w przypadku odpadów płynnych, półpłynnych (pompowalnych) lub gazowych, szczególnie tam, gdzie stanowią one zagrożenie dla bezpieczeństwa i wymagają szczególnej uwagi celem zmniejszenia narażenia operatora.

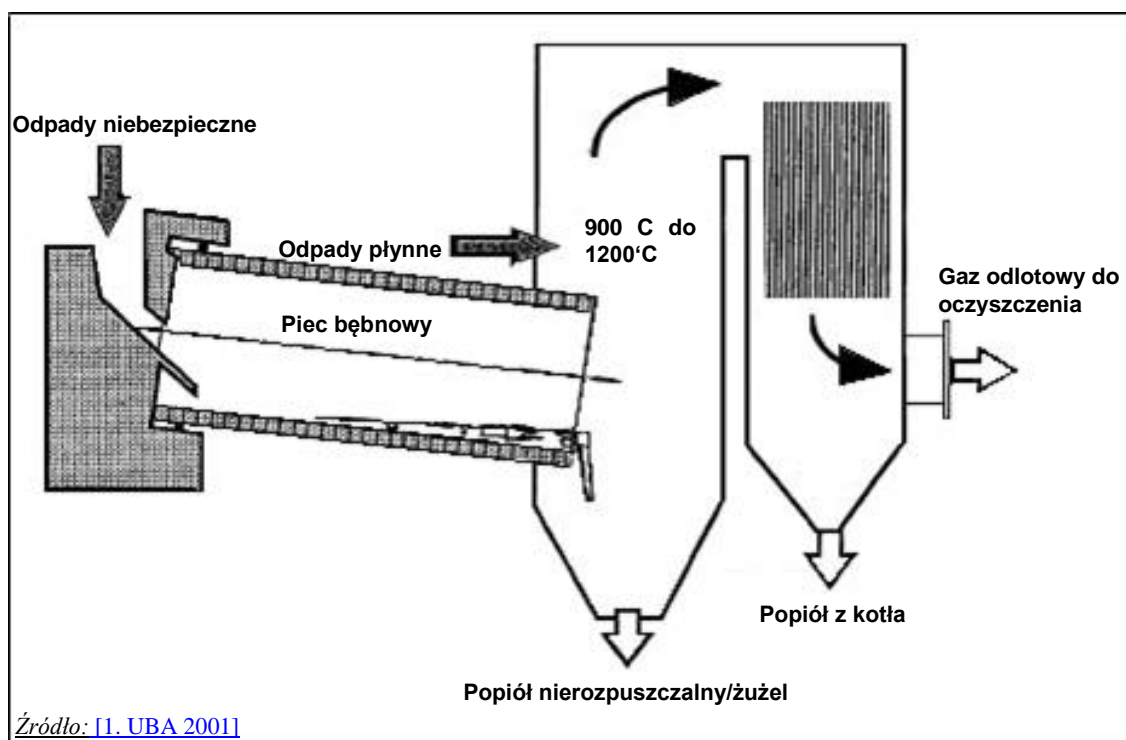
Czas przebywania materiału stałego w piecu określane jest na podstawie kąta nachylenia zbiornika oraz prędkości obrotowej. Celem dobrego wypalenia odpadów zazwyczaj wystarcza od 30 do 90 minut.

W piecach obrotowych można spalać odpady stałe, płynne, gazowe oraz osady (szlasy). Materiały stałe zazwyczaj podawane są przez nieobrotowy lej wysypowy. Odpady płynne mogą być wtryskiwane do pieca przez dysze palnika. Odpady i szlasy pompowalne mogą być wtryskiwane do pieca przez rurę chłodzoną wodą.

W celu zwiększenia stopnia zniszczenia związków toksycznych stosuje się zazwyczaj komorę dopalania. Dodatkowe spalanie z wykorzystaniem odpadów płynnych lub paliwa pomocniczego może być przeprowadzane aby utrzymać temperatury wymagane do zapewnienia całkowitego zniszczenia związków w spalinach.

2.3.2.1 Piec obrotowy z komorą dopalania - do spalania odpadów niebezpiecznych

W przypadku spalania odpadów niebezpiecznych skuteczną okazała się kombinacja pieców obrotowych i komór dopalania, ponieważ kombinacja ta może przetwarzać odpady stałe, półpłynne, ciekłe i gazowe w jednakowy sposób (zob. ilustracja 2.10).



Ilustracja 2.10 Piec obrotowy (bębnowy) z komorą dopalania

Do spalania odpadów niebezpiecznych wykorzystuje się zazwyczaj piece obrotowe o długości od 10 do 15 metrów i stosunku długości do średnicy w zakresie od 3 do 6, a także o średnicy wewnętrznej od 1 do 5 metrów.

Niektóre piece obrotowe mają przepustowość do 140 000 ton/rok. Tam, gdzie odbywa się odzysk ciepła, wytwarzanie pary jest bezpośrednio skorelowane ze średnią wartością cieplną odpadów. Piece obrotowe są bardzo elastyczne, jeśli chodzi o wsad odpadów, a ich typowe zakresy działania to:

- odpady stałe 10-70%;
- odpady płynne 25-70%
- odpady półpłynne 5-30%;
- beczki – do 15%.

Temperatura pracy pieca wynosi zazwyczaj od 850 °C do 1 300 °C. Temperatura ta może być utrzymywana przez spalanie wysokokalorycznych (np. płynnych) odpadów, olejów odpadowych, oleju opałowego lub gazu. Piece o wyższej temperaturze mogą być wyposażone w wodne systemy chłodzenia. Eksploatacja w wyższych temperaturach może powodować powstanie stopionego (zszklonego) popiołu paleniskowego (żużla), podczas gdy w niższych temperaturach popioły paleniskowe są spiekane.

W celu ochrony pieców obrotowych przed temperaturą do 1 200 °C są one wykładane cegłami ogniotrwałymi o wysokiej zawartości Al_2O_3 i SiO_2 . Decyzja o wyborze cegieł odpowiednich do każdego zastosowania jest uzależniona od składu odpadów. Cegły mogą być atakowane przez alkaliczne związki metali (tworzenie nisko-topliwych stopów eutektycznych), jak również przez HF (tworzenie SiF_4). W celu ochrony cegieł ogniotrwałych przed atakiem chemicznym i mechanicznym uszkodzeniem przez spadające beczki, na początku działania pieca zwykle tworzy się utwardzoną warstwę żużla poprzez podawanie odpadów o dobrych właściwościach żużlujących lub mieszanek szkła i/lub piasku. W okresie późniejszym wspomnianą warstwę żużla utrzymuje się drogą kontroli temperatury, zawartości minerałów w odpadach, a czasami przy użyciu dodatków, takich jak piasek. [74. TWG 2004]

Przeprowadzono testy z innymi rodzajami powierzchni, ale ani wtryskiwane, ani włączane masy ogniotrwałe nie okazały się skuteczne. Napawanie pieców obrotowych specjalną stałą stopową okazało się skuteczne tylko w niektórych, specjalnych zastosowaniach. Trwałość powierzchni ognioodpornej pozostaje zależna od ilości odpadów. Żywotność od 4 000 do 16 000 godzin jest tutaj normą.

Piece obrotowe są przechylone w kierunku komory dopalania. To, wraz z powolną rotacją (około 3-40 obrotów na godzinę), ułatwia transport w kierunku komory dopalania zarówno stałych odpadów niebezpiecznych, które są podawane do górnej części, jak i popiołu paleniskowego powstającego podczas spalania. Następnie wszystko jest usuwane razem z popiołem z komory dopalania za pomocą mokrego odprowadzania popiołów paleniskowych. Czas przebywania odpadów stałych jest zazwyczaj dłuższy niż 30 minut.

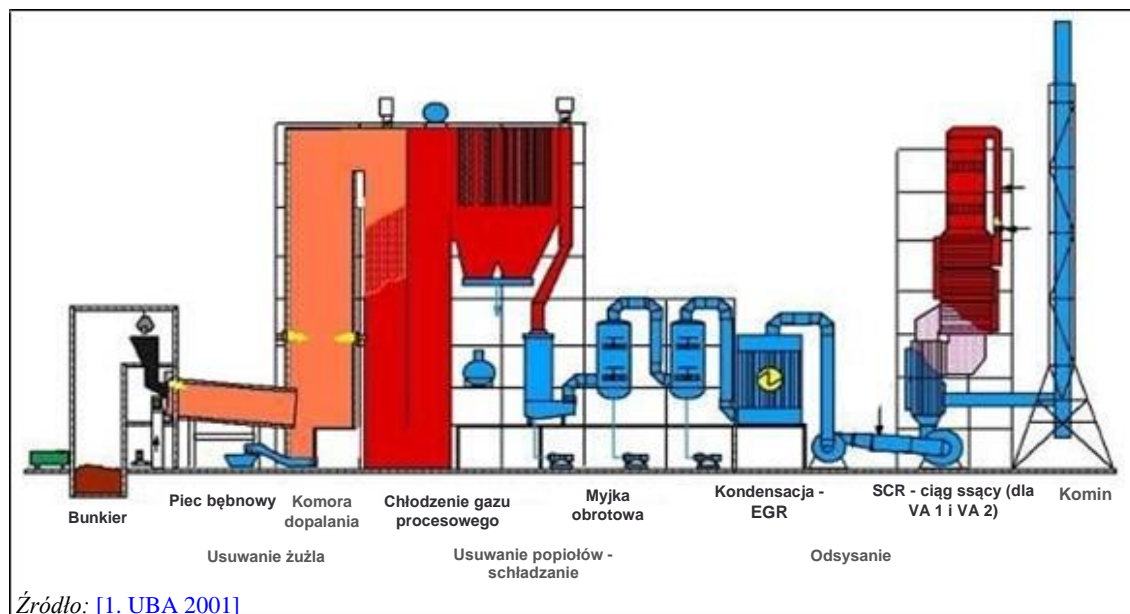
Komora dopalania zapewnia niezbędny, do spalenia wytworzonych w piecu spalin jak również bezpośrednio włączanych odpadów płynnych i gazowych, czas przebywania w piecu. Wielkość komory dopalania i przepływ gazów określają rzeczywisty czas przebywania w piecu. Skrócenie tego czasu może zwiększyć ryzyko niepełnego wypalenia gazu.

Temperatury w komorze dopalania wahają się zazwyczaj od 900 °C do 1 200 °C, w zależności od instalacji i dopływu odpadów. Większość instalacji ma możliwość wprowadzania powietrza wtórnego do komory dopalania. Ze względu na wysokie temperatury i wprowadzanie powietrza wtórnego, spalanie spalin jest dokańczane, a związki organiczne (np. węglowodory o niskiej masie cząsteczkowej, WWA, PCB oraz dioksyny) są niszczone.

Spalarnię z piecem obrotowym o zdolności spalania 45 000 ton/rok przedstawiono na ilustracji 2.11. Instalacja jest podzielona na trzy główne obszary:

- piec obrotowy z komorą dopalania;
- kocioł na ciepło odpadowe do wytwarzania pary;
- wielostopniowe oczyszczanie spalin.

Ponadto istnieje infrastruktura do magazynowania odpadów i paliwa, system podawania, magazynowania, przetwarzania i usuwania odpadów i ścieków (z płukania na mokro gazów) powstających podczas spalania.



Ilustracja 2.11 Przykładowy zakład spalania odpadów niebezpiecznych z piecem rotacyjnym (bębnowym)

2.3.3 Złoże fluidalne

Spalarnie wykorzystujące złoże fluidalne są szeroko stosowane do spalania bardzo rozdrobnionych odpadów, np. RDF i osadów ściekowych. Od dziesięcioleci były wykorzystywane do spalania paliw jednorodnych, takich jak węgiel kamienny, węgiel brunatny, osady ściekowe czy biomasa.

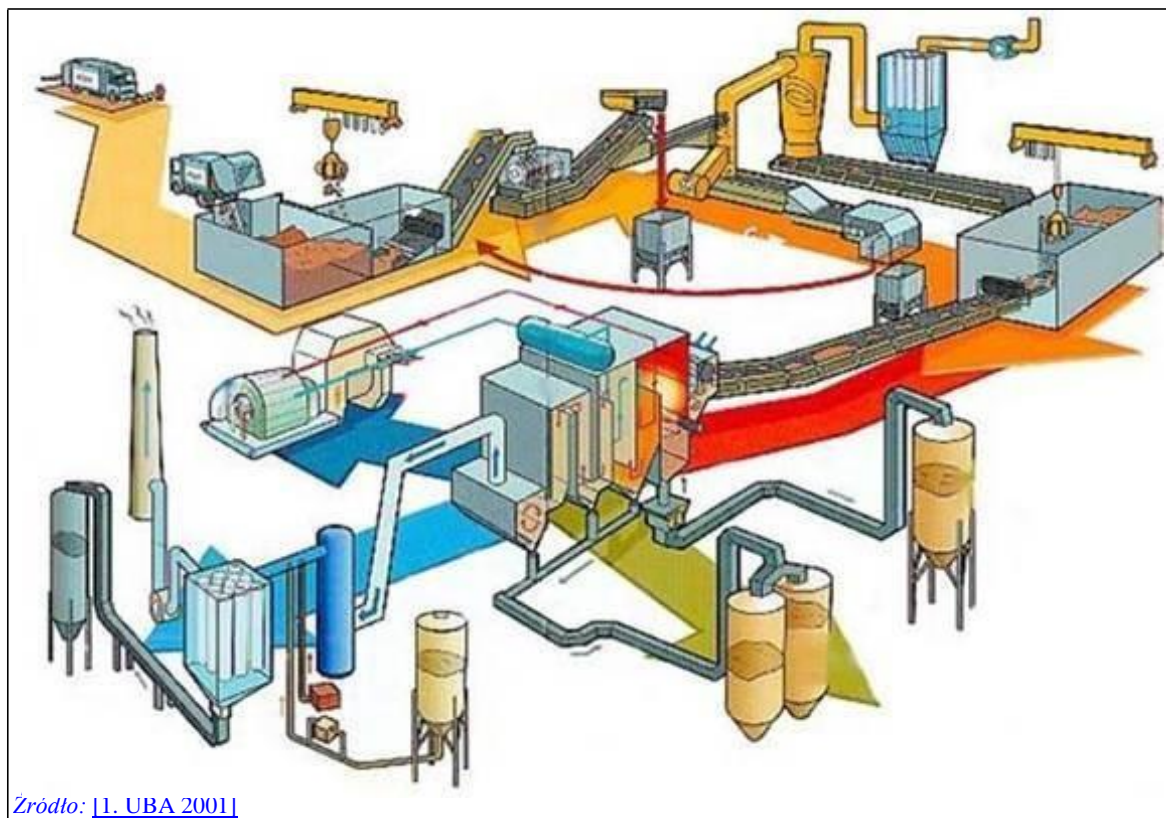
Złoże fluidalne jest wysięlaną komorą spalania, zwykle w formie pionowego walca. W dolnej części, złoże z materiału obojętnego (np. piasku lub popiołu) na ruszcie lub płycie rozdzielczej jest poddawane fluidyzacji z użyciem wstępnie podgrzanego powietrza do spalania. Odpady przeznaczone do spalania są w sposób ciągły wprowadzane do fluidalnego złoża z piaskiem/popiołem od góry lub z boku za pomocą pompy, podajnika gwiazdowego, przenośnika ślimakowo-rurowego, przenośnika fartuchowego lub taśmy wagowej. [\[66. Ullmans Encyclopaedia 2001\]](#), [\[7. TWG 2017\]](#)

W złożu fluidalnym odbywa się suszenie, ulatnianie, zapłon oraz spalanie. Temperatura w wolnej przestrzeni nad złożem wynosi zazwyczaj 850 - 950 °C. Wolna przestrzeń znajdująca się ponad materiałem złoża fluidalnego jest zaprojektowana w taki sposób, by zapewnić wystarczający czas przebywania gazów w strefie spalania. W samym złożu temperatura jest niższa i może wynosić około 650 °C.

Ze względu na dobre mieszanie w reaktorze, systemy spalania wykorzystujące złoże fluidalne mają zazwyczaj jednakową temperaturę i stężenie tlenu w całym obszarze, co zapewnia stabilną pracę. W przypadku odpadów niejednorodnych spalanie w złożu fluidalnym wymaga selekcji oraz przetwarzania wstępnego odpadów tak, by spełniały wymagania dotyczące wielkości cząstek. [\[64. TWG 2003\]](#) [\[74. TWG 2004\]](#)

Przetwarzanie wstępne polega zazwyczaj na sortowaniu oraz miazdzeniu większych cząstek obojętnych, a także ich rozdrabnianiu. Może być również wymagane usunięcie materiałów żelaznych i nieżelaznych. Cząsteczki odpadów muszą być małe, często o maksymalnej średnicy 50 mm. Mimo to istnieją dane mówiące, że średnie dopuszczalne średnice dla obrotowych złoży fluidalnych wynoszą 200-300 mm. [\[74. TWG 2004\]](#)

Poniższy schemat przedstawia instalację w której zmieszane MSW poddawane są przetwarzaniu wstępnemu celem ich spalania w spalarni wykorzystującej złoże fluidalne. Przedstawiono szereg etapów przetwarzania wstępnego, w tym mechaniczne proskowanie i separację pneumatyczną, wraz z końcowym etapem spalania, FGC oraz składowaniem pozostałości.



Ilustracja 2.12 Schemat pokazujący przetwarzanie wstępne MSW przed ich spalaniem w złożu fluidalnym

Podczas spalania w złożu fluidalnym znajdują się niespalone odpady oraz wytworzony popiół. Nadmiar popiołu jest zazwyczaj z dna pieca usuwany. [1. UBA 2001] [33. Finland 2002]

Wytworzone ciepło może być odzyskiwane przez urządzenia zintegrowane ze złożem fluidalnym lub na wylocie gazów spalinowych. Możliwe jest też rozwiązanie pośrednie.

Stosunkowo wysokie koszty procesów przetwarzania wstępnego wymagane w przypadku niektórych kategorii odpadów ograniczyły komercyjne wykorzystanie tych systemów w projektach o większej skali. W niektórych przypadkach udało się to przezwyciężyć dzięki selektywnej zbiórce niektórych odpadów (segregacji) oraz opracowaniu norm jakościowych dla paliw odpadowych RDF. Połączenie przygotowanych odpadów o kontrolowanej jakości ze spalaniem w złożu fluidalnym pozwala na usprawnienie kontroli procesu spalania oraz możliwość uproszczenia, a tym samym obniżenia kosztów etapu oczyszczania spalin.

Poniższa tabela przedstawia właściwości różnych frakcji odpadów, które są przetwarzane w złożach fluidalnych.

Tabela 2.7 Właściwości różnych frakcji paliwa odpadowego RDF przetwarzanego w złożach fluidalnych

Parametr	Jednostka	Odpady przemysłowe	Wstępnie przetworzone odpady budowlane	Posortowane i wstępnie przetworzone odpady z gospodarstw domowych
Wartość opałowa netto	MJ/kg MWh/t	16–20 4.4–5.6	14–15 3.8–4.2	13–16 3.6–4.4
Wilgotność	wt-%	10–20	15–25	25–35
Zawartość popiołu	wt-%	5–7	1–5	5–10
Siarka	wt-%	< 0.1	< 0.1	0.1–0.2
Chlor	wt-%	< 0.1–0.2	< 0.1	0.3–1.0
Właściwości magazynowe	wt-%	Dobre	Dobre	Dobre - jako pellet

Źródło: [33. Finlandia 2002]

W zależności od prędkości przepływu gazu oraz konstrukcji płyty z dyszami można wyróżnić następujące technologie spalania z użyciem złoża fluidalnego:

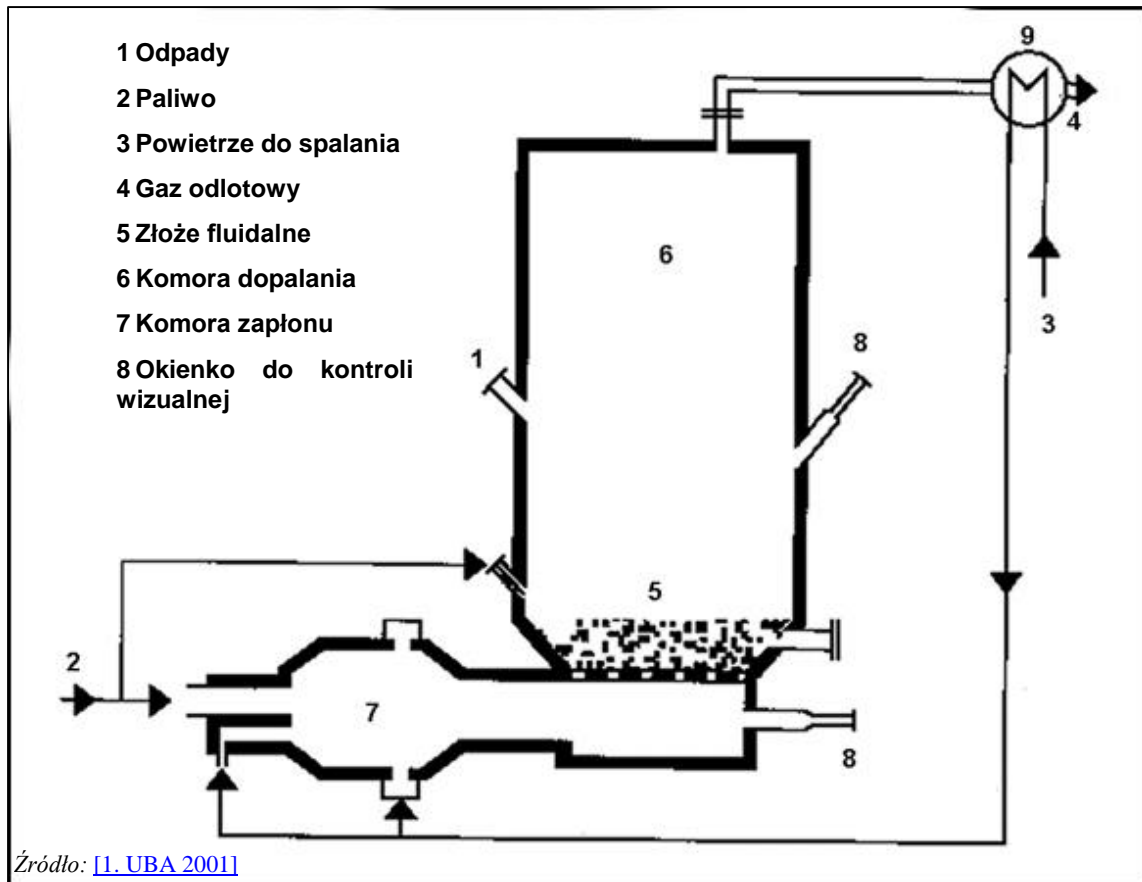
- **Stale (lub pęcherzykowe) złożo fluidalne** (atmosferyczne i ciśnieniowe): materiał obojętny jest mieszany, a wynikający z tego ruch cząstek stałych w górę nie jest znaczący (zob. ilustracja 2.13).
- **Obrotowe złożo fluidalne**, które jest odmianą pęcherzykowego złoża fluidalnego. W tym przypadku złożo fluidalne obraca się co powoduje dłuższy czas przebywania odpadów w komorze spalania. Spalarnie z obrotowym złożem fluidalnym stosuje się do spalania mieszanych odpadów komunalnych począwszy od lat 90-tych.
- **Cyrkulacyjne złożo fluidalne**. Materiał złoża jest re-cyrkulowany za pomocą gorącego cyklonu. Wyższe prędkości gazu w komorze spalania są odpowiedzialne za częściowe usunięcie paliwa i materiału złoża, który jest wprowadzany z powrotem do komory spalania przez pętlę recykulacyjną (zob. ilustracja 2.14).

W celu rozpoczęcia procesu spalania, złożo fluidalne musi być ogrzane co najmniej do minimalnej temperatury zapłonu wsadu odpadów (lub wyższej gdy wymagane to jest przepisami). Można to osiągnąć poprzez wstępne podgrzanie powietrza za pomocą palników olejowych lub gazowych, które działają aż do momentu, w którym spalanie może odbywać się niezależnie. Odpady opadają na złożo fluidalne, gdzie są kruszone przez ścieranie oraz spalanie. Zazwyczaj większość popiołu jest transportowana wraz z przepływem spalin i wymaga oddzielenia w urządzeniach FGC, chociaż rzeczywista proporcja popiołu paleniskowego (usuniętego z dna złoża) i popiołu lotnego zależy od technologicznych właściwości złoża fluidalnego jak i samych odpadów. [\[1. UBA 2001\]](#)

Problemy z zanieczyszczeniami, powszechnymi w kotłach do spalania odpadów, mogą być rozwiązane poprzez kontrolę jakości odpadów (głównie utrzymanie niskiej zawartości chloru, potasu, sodu i aluminium) oraz poprzez konstrukcję kotła i pieca. Ze względu na bardziej stabilne temperatury oraz obecność materiału złoża, piece ze złożem fluidalnym umożliwiają zastosowanie niektórych konstrukcji kotłów, które nie mają zastosowania w przypadku pieców rusztowych.

2.3.3.1 Spalanie osadów ściekowych w stałym (lub pęcherzykowym) złożu fluidalnym

Stale lub pęcherzykowe złożo fluidalne (BFB) jest powszechnie stosowane w przypadku osadów ściekowych czy innych osadów przemysłowych, np. osadów z przemysłu petrochemicznego i chemicznego. Składa się ono z cylindrycznej lub prostokątnej komory spalania, złoża z dyszami i palnika rozruchowego umieszczonego poniżej (zob. ilustracja 2.13).



Ilustracja 2.13 Główne elementy stałego/pęcherzykowego złoża fluidalnego

Wstępnie podgrzane powietrze przepływa przez płytę rozdzielczą i fluidyzuje materiał złoża. W zależności od zastosowania można wykorzystywać różne materiały złoża (piasek kwarcowy, bazalt, mulit, itp.) i wielkości cząstek (ok. 0.5-3 mm). [2. InfoMil 2002], [64. TWG 2003]

Odpady mogą być ładowane przez głowicę, wyposażoną po bokach w pasy transmisyjne lub bezpośrednio wtryskiwane do złoża fluidalnego. W złożu odpady są kruszone, mieszane z gorącym materiałem złoża, suszone i częściowo spalane. Pozostałe frakcje (lotne oraz drobny pył) są spalane ponad złożem fluidalnym w wolnej przestrzeni. Pozostały popiół usuwany jest za pomocą gazów spalinowych na górze pieca.

Podczas przetwarzania wstępnego można stosować etapy odwadniania i suszenia, tak aby odpady spaliły się bez konieczności użycia dodatkowego paliwa. Ciepło odzyskane z procesu spalania może być wykorzystane do zapewnienia energii niezbędnej do suszenia odpadów.

Podczas rozruchu lub gdy jakość osadu jest niska (np. w przypadku osadu starego lub dużego udziału osadu wtórnego), aby osiągnąć wymaganą temperaturę pieca (zazwyczaj 850 °C), można zastosować dodatkowe paliwo (olej, gaz i/lub paliwo odpadowe). Celem kontroli temperatury do pieca można wtryskiwać wodę.

Przed rozpoczęciem podawania odpadów piec należy wstępnie podgrzać do temperatury roboczej. W tym celu podłożem z dyszami może znajdować się komora zapłonu (zob. ilustracja 2.13). Jest to o tyle lepsze rozwiązanie od stosowania palników, że ciepło wprowadzane jest bezpośrednio do złoża fluidalnego. Dodatkowe ogrzewanie wstępne może być zapewnione przez lance paliwowe wystające ponad złożo z dyszami do złoża z piaskiem.

Wielkość pieca w dużej mierze zależy od wymaganego poziomu odparowania (przekrój poprzeczny pieca), zwrotu ciepła w piecu (objętość pieca) oraz wymaganej ilości powietrza.

Przykładowe parametry eksploatacyjne dla spalarni osadów ściekowych ze złożem fluidalnym przedstawiono w tabeli 2.8.

Tabela 2.8 Główne kryteria operacyjne dla stałych złóż fluidalnych

Parametr	Jednostka	Wartość
Ilość pary	kg/m ² h	300–600
Ilość dostarczanego powietrza	Nm ³ /m ² h	1 000–1 600
Zwrot ciepła	GJ/m ³ h	3–5
Końcowa temperatura spalania	°C	850–950
Czas przebywania, wolna przestrzeń oraz strefa dopalania	s	min. 2
Wstępne podgrzewanie powietrza atmosferycznego	°C	400–600
Źródło: [1. UBA 2001]		

Potrzeba wstępnego podgrzewania powietrza może zostać całkowicie wyeliminowana dzięki zastosowaniu paliw o wyższej wartości opałowej (np. osuszonych osadów ściekowych, drewna, produktów ubocznych pochodzenia zwierzęcego). Ciepło może być usuwane za pomocą ścianek membranowych i/lub wbudowanych systemów wymiany ciepła.

W niektórych procesach pierwszym etapem jest suszenie. Para wykorzystywana do suszenia może być produkowana przez kocioł, a następnie wykorzystywana jako czynnik grzewczy nie wchodzący w bezpośredni kontakt z osadem. Opary osadu mogą być odciągane z suszarni i kondensowane. Skondensowana woda ma zazwyczaj wysoki współczynnik ChZT (około 2 000 mg/l) i zawartość N (około 600 - 2 000 mg/l) oraz może zawierać inne zanieczyszczenia (np. metale ciężkie) z osadów ściekowych, a zatem często wymaga oczyszczenia przed ostatecznym odprowadzeniem. Pozostałe nieskondensowane substancje mogą zostać spalane. Po spalaniu spaliny mogą być schładzane w wymienniku ciepła celem wstępnego podgrzania powietrza do temperatury ok. 300 °C, a w niektórych przypadkach nawet powyżej 500 °C. Pozostałe ciepło w kotle parowym można odzyskać i wykorzystać do produkcji pary nasyconej (poziom ciśnienia około 10 barów), która z kolei może zostać wykorzystana do częściowego wstępnego suszenia osadu. [64, TWG 2003]

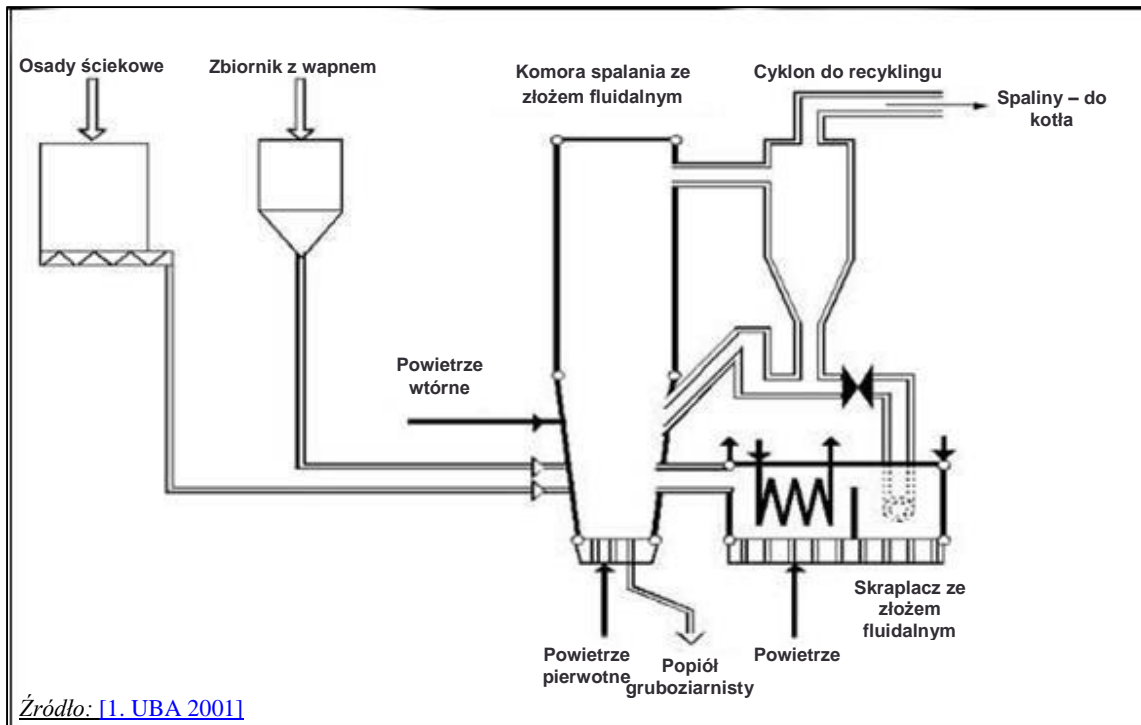
Oprócz osadów ściekowych często spala się także inne odpady pochodzące z procesu oczyszczania ścieków, np. szumowiny z mycia lub kąpieli, przesiewy czy wyekstrahowane tłuszcze.

Zakłady otrzymujące częściowo osuszone osady ściekowe wymagają mniejszej ilości dodatkowych paliw niż zakłady otrzymujące osady nieprzetworzone. Wartości cieplne osadów ściekowych przeznaczonych do samoczynnego spalania wynoszą od 3,5 MJ/kg do 6,5 MJ/kg. Wartości pomiędzy 2,2 MJ/kg a 4,8 MJ/kg występują tam, gdzie oczyszczane są ścieki surowe. Wartość ok. 3,5 MJ/kg uważana jest za wartość graniczną dla samoczynnego spalania termicznego. Zapotrzebowanie na dodatkowe paliwo można zmniejszyć poprzez zastosowanie efektywnych wewnętrznych systemów odzyskiwania energii, np. odzyskiwanie ciepła z spalin celem podgrzania powietrza do spalania i/lub wykorzystanie ciepła do suszenia osadów.

Oleje opałowe oraz gaz ziemny są najczęściej stosowanymi paliwami dodatkowymi w dedykowanych spalarniach osadów ściekowych. Stosowane są również wyselekcjonowane odpady płynne i stałe, a także biogaz, gdy w pobliżu prowadzona jest fermentacja beztlenowa.

2.3.3.2 Cyrkulacyjne złożo fluidalne (CFB) do osadów ściekowych

Cyrkulacyjne (obiegowe) złożo fluidalne (CFB, zob. ilustracja 2.14) jest szczególnie odpowiednie do spalania wysuszonych osadów ściekowych o wysokiej wartości opałowej oraz wstępnie przetworzonych stałych odpadów komunalnych. Do pracy wykorzystuje się drobny materiał złoża i dużą prędkość gazu, który usuwa z komory złoża fluidalnego większość cząstek materiału stałego wraz ze spalinami. Cząstki te są następnie oddzielane w cyklonie i zawracane do komory spalania.



Ilustracja 2.14 Główne komponenty cyrkulującego złoża fluidalnego

Zaletą tego procesu jest wysoka stopa zwrotu ciepła i bardziej jednolita temperatura na całej wysokości pieca przy niskiej objętości reakcji. Wielkość instalacji jest na ogół większa niż w przypadku BFB i możliwe jest przetwarzanie większej ilości odpadów. Odpady są wstrzykiwane do komory z boku i spalane w temperaturze 850-950 °C. Nadmiar ciepła usuwany jest przez membrany w ścianach oraz wymienniki ciepła umieszczone pomiędzy cyklonami do recyklingu a CFB, których zadaniem jest schładzanie powracającego popiołu.

2.3.3.3 Piec z rusztem rozdzielającym

System ten można uznać za układ pośredni pomiędzy spalaniem wykorzystującym ruszt a spalaniem w złożu fluidalnym.

Odpady (np. RDF, szlam) są wdmuchiwane do pieca pneumatycznie na wysokości kilku metrów. Drobne cząsteczki bezpośrednio uczestniczą w procesie spalania, podczas gdy większe spadają na ruchomy (jezdny) ruszt, który porusza się w kierunku przeciwnym do wtrysku odpadów. Ponieważ największe cząstki są najbardziej rozrzucone, aby prawidłowo dokończyć proces spalania, spędzają najdłuższy czas na ruszcie. Celem odpowiedniego zmieszania spalin w strefie spalania, wtryskiwane jest powietrze wtórne.

Ze względu na relatywnie mniejsze obciążenie termiczne i mechaniczne, w porównaniu ze spalaniem rusztowym, konstrukcja rusztu w tym systemie jest mniej skomplikowana. Natomiast w porównaniu do systemów ze złożem fluidalnym, jednorodność wielkości cząstek jest mniej istotna oraz mniejsze jest ryzyko zatkania. [64. TWG 2003]

2.3.3.4 Rotacyjne (obrotowe) złożo fluidalne

System ten stanowi rozwinięcie złoża pęcherzykowego. Nachylone płyty dysz, szerokie zsypy (leje) do odprowadzania popiołu oraz duże podajniki i ślimaki odsysające to specyficzne cechy, które zapewniają niezawodne postępowanie z odpadami stałymi. Kontrola temperatury w ogniotrwałej komorze spalania (złożo + wolna przestrzeń) odbywa się za pomocą recyrkulacji spalin. Pozwala to na spalanie paliw o różnych wartościach opałowych, np. współspalanie osadów z wstępnie przetworzonymi odpadami. [74. TWG 2004]

2.3.4 Systemy pirolizy i zgazowania

2.3.4.1 Wprowadzenie do pirolizy oraz zgazowania

[9. VDI 2002]

Alternatywne, dla termicznego przetwarzania odpadów, technologie stosowane są w odniesieniu do wybranych strumieni odpadów i na znacznie mniejszą skalę.

Technologie te polegają na próbie rozdzielenia składników reakcji, biorących udział w konwencjonalnych spalarniach odpadów, poprzez kontrolę temperatury i ciśnienia w specjalnie zaprojektowanych reaktorach (zob. tabela 2.9).

Tabela 2.9 Typowe warunki reakcji oraz produkty z procesów spalania, pirolizy i gazyfikacji

	Spalanie	Piroliza	Zgazowanie
Temp. reakcji (°C)	800 - 1450	250 - 700	500 - 1600
Ciśnienie (w barach)	1	1	1 - 45
Współczynnik stechiometryczny	> 1	0	< 1
Produkty procesu:			
• faza gazowa	CO ₂ , H ₂ O, O ₂ , N ₂	H ₂ , CO, węglowodory, H ₂ O, N ₂	H ₂ , CO, CO ₂ , CH ₄ , H ₂ O, N ₂
• faza stała	Popiół, żużel	Popiół, koks	Żużel, popiół
• faza ciekła		Olej popirolityczny i woda	

Podobnie jak specjalnie opracowane technologie, w warunkach pirolizy lub zgazowania mogą zostać zastosowane konwencjonalne technologie spalania (ruszty, złoża fluidalne, piece obrotowe itp.) dostosowane do pracy w zmienionych warunkach tych reakcji tj. przy zmniejszonym poziomie tlenu (sub-stechiometria) lub w niższych temperaturach. Pirolizie i zgazowaniu często towarzyszy spalanie wytworzonego gazu syntezowego (zob. sekcja 2.3.4.4 dotycząca procesów złożonych).

Poza ogólnymi celami spalania odpadów (tj. efektywnym przetwarzaniem odpadów), dodatkowymi celami procesów zgazowania i pirolizy są:

- przekształcenie niektórych frakcji odpadów w gaz syntezowy (tzw. syngaz);
- zmniejszenie wymagań dotyczących oczyszczania gazów poprzez redukcję ilości spalin.

Zarówno piroliza jak i zgazowanie różnią się od spalania tym, że mogą być wykorzystywane do odzyskania chemicznej (a nie tylko energetycznej) wartości odpadów. Pozyskane produkty chemiczne mogą być w niektórych przypadkach wykorzystane jako materiał wsadowy do innych procesów. Jednak w przypadku odpadów najczęstszą sytuacją jest połączenie pirolizy, zgazowania i procesu opartego na spalaniu w jednym, zintegrowanym procesie, często nawet w obrębie jednego zakładu. W takim przypadku instalacja odzyskuje wartość energetyczną, a nie chemiczną odpadów, tak samo jak to ma miejsce w przypadku spalarni konwencjonalnej.

W niektórych okolicznościach stałe pozostałości powstałe w wyniku takich procesów zawierają zanieczyszczenia, które w systemie spalania zostałyby przeniesione do fazy gazowej, a następnie, przy efektywnym oczyszczaniu spalin, usunięte z pozostałości FGC. [64. TWG 2003]

2.3.4.2 Zgazowanie

Zgazowanie to częściowe spalanie substancji organicznych celem wytworzenia gazów, które mogą być wykorzystywane jako materiał wsadowy (poprzez niektóre procesy przekształcania), lub jako paliwo. [64. TWG 2003]

Istnieje kilka różnych procesów zgazowania dostępnych lub opracowywanych, które zasadniczo nadają się do przetwarzania odpadów komunalnych, niektórych odpadów niebezpiecznych oraz

osuszonych osadów ściekowych. [1. UBA 2001]

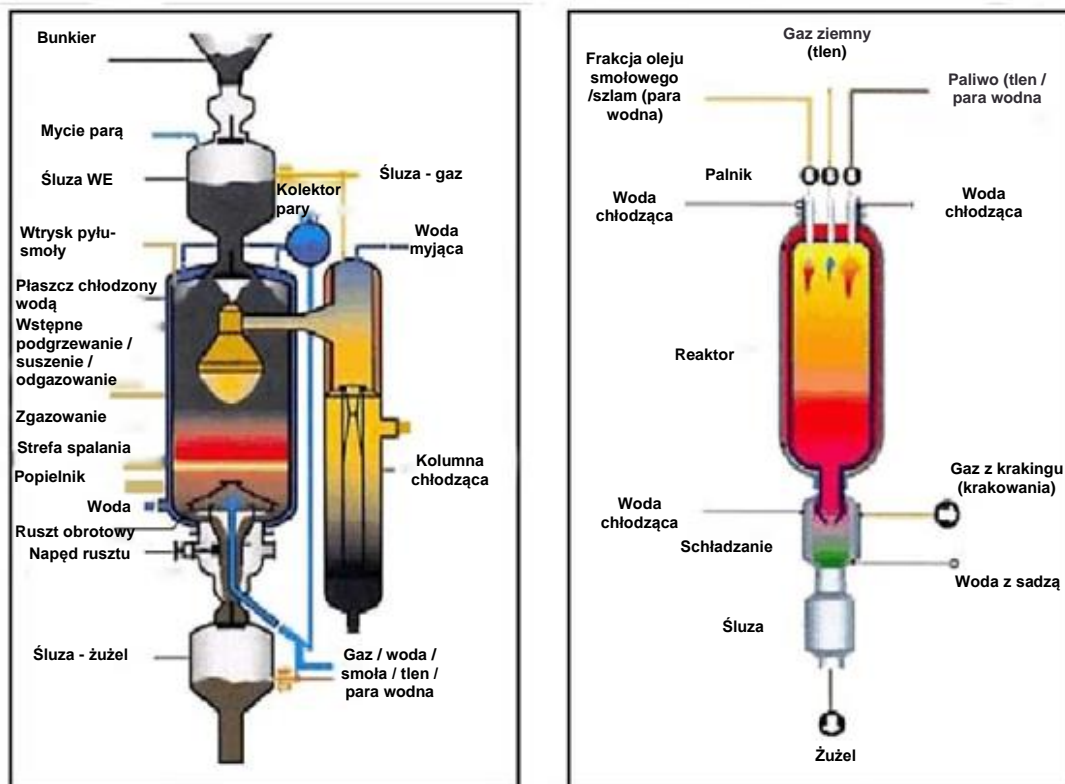
Ważne jest, aby właściwości odpadów były utrzymywane w określonych, z góry ustalonych granicach. Wymaga to często zastosowania wstępnego przetwarzania odpadów komunalnych.

Cechami szczególnymi procesu zgazowania są:

- mniejsza objętość gazów w porównaniu z objętością spalin powstałych w procesie spalania (nawet 10 razy przy użyciu czystego tlenu);
- dominujące powstawanie CO w stosunku do CO₂;
- wysokie ciśnienie operacyjne (w niektórych procesach);
- nagromadzenie stałych pozostałości w postaci żużla (w wysokotemperaturowych zgazownikach żużlowych);
- niewielka i kompaktowa agregacja (szczególnie w przypadku zgazowania pod ciśnieniem);
- materialna i energetyczna utylizacja gazu syntezowego;
- mniejsze przepływy ścieków z oczyszczania gazów syntezowych.

Stosowane są następujące reaktory zgazowujące:

- zgazowarka (inne nazwy to: czadnica, gazogenerator) ze złożem fluidalnym;
- zgazowarka przepływowa;
- zgazowarka cyklonowa;
- zgazowarka ze szczelnym złożem.



Źródło: [1. UBA 2001]

Ilustracja 2.15 Schematy zgazowarki ze szczelnym złożem oraz przepływowej

Aby nadawać się do wykorzystania w zgazowarkach przepływowych, ze złożem fluidalnym lub cyklonowych, materiał wsadowy musi być drobno granulowany. Dlatego też konieczne jest poddanie materiału wsadowego wstępnemu przetwarzaniu, szczególnie w przypadku odpadów komunalnych. Z drugiej strony, odpady niebezpieczne mogą być zgazowane bezpośrednio, jeżeli są płynne, mają konsystencję półpłynną lub są drobno granulowane.

2.3.4.3 Piroliza

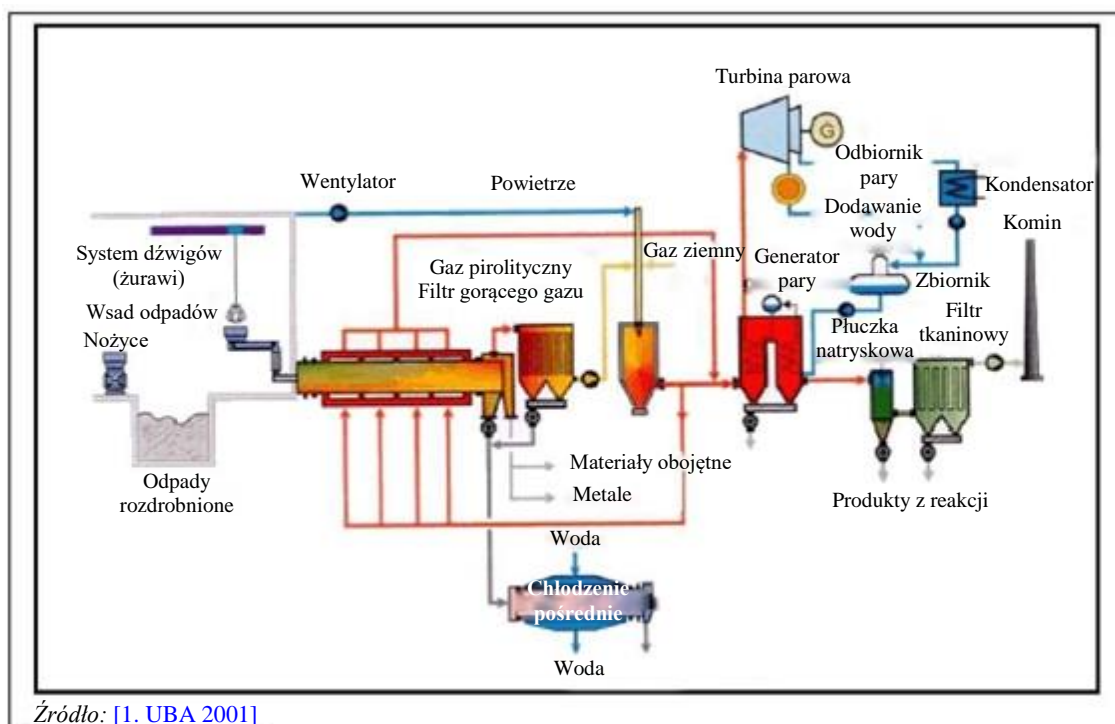
[1. UBA 2001]

Piroliza to proces beztlenowego odgazowania odpadów, podczas którego powstaje gaz pirolityczny oraz koks. Wartości cieplne gazu pochodzącego z pirolizy (pirolitycznego) wynoszą zazwyczaj od 5 MJ/m³ do 15 MJ/m³ w przypadku odpadów komunalnych oraz od 15 MJ/m³ do 30 MJ/m³ w przypadku RDF. W szerszym znaczeniu "piroliza" jest terminem ogólnym obejmującym szereg różnych kombinacji technologicznych, na które składają się zasadniczo następujące etapy:

- **Proces tlenia się (tlenie)** - tworzenie gazu z lotnych cząstek odpadów w temperaturze pomiędzy 400 °C a 600 °C.
- **Piroliza** - dysocjacja termiczna (termoliza) cząsteczek organicznych znajdujących się w odpadach w temperaturze od 500 °C do 800 °C, w wyniku której powstaje gaz oraz frakcja stała.
- **Zgazowanie** - przekształcenie, w temperaturze od 800 °C do 1 000 °C, węgla zawartego w koksie powstałym w wyniku pirolizy, za pomocą substancji zgazowującej (np. powietrza lub pary), w gaz procesowy (CO, H₂).
- **Spalanie** - w zależności od kombinacji technologicznej, gaz i koks z pirolizy spalane są w komorze spalania.

Instalacje przetwarzające odpady drogą pirolizy zazwyczaj stosują następujące etapy procesu:

1. **Przygotowanie i rozdrabnianie** - rozdrabniarka (młyn) poprawia i standaryzuje wielkość odpadów poddawanych obróbce, a tym samym usprawnia przekazywanie ciepła.
2. **Suszenie** (w zależności od procesu) - oddzielny etap suszenia poprawia LHV surowych gazów procesowych i zwiększa wydajność reakcji gazowo-stałych w piecu obrotowym.
3. **Piroliza odpadów**, gdzie oprócz gazu pirolitycznego gromadzi się stała pozostałość zawierająca węgiel oraz cząstki mineralne i metaliczne.
4. **Wtórne przetwarzanie gazu oraz koksu pirolitycznego**, poprzez kondensację gazów celem wydobycia mieszanek olejów użytecznych energetycznie i/lub spalanie gazu i koksu celem zniszczenia składników organicznych i jednoczesnego wykorzystania energii.



Ilustracja 2.16 Schemat zakładu stosującego pirolizę do przetwarzania odpadów komunalnych

Na ogół temperatura etapu pirolizy mieści się w przedziale od 400 °C do 700 °C. W niższych temperaturach (około 250 °C), mogą zajść w pewnym stopniu inne reakcje. Proces ten czasami nazywany jest konwersją (np. konwersja osadów ściekowych).

Oprócz przetwarzania termicznego niektórych odpadów komunalnych i osadów ściekowych pirolizę można również stosować do:

- odkażania (dekontaminacji) gleby;
- przetwarzania odpadów syntetycznych oraz zużytych opon;
- przetwarzania końcówek kabli a także metalowych i plastikowych elementów celem odzysku substancji.

Do potencjalnych korzyści z procesu pirolizy zalicza się:

- możliwość odzyskania materialnej wartości frakcji organicznej, np. w postaci metanolu;
- możliwość zwiększenia ilości wygenerowanej energii elektrycznej z wykorzystaniem silników lub turbin gazowych (w miejsce kotłów parowych);
- redukcję ilości spalin po spaleniu, co może w pewnym stopniu obniżyć koszty kapitałowe FGC;
- możliwość sprostania (poprzez płukanie) specyfikacjom dotyczącym zewnętrznego wykorzystania wyprodukowanego koksu (np. zawartość chloru).

[64. TWG 2003], [74. TWG 2004]

2.3.4.3.1 Przykłady procesów pirolizy

[2. InfoMil 2002]

W tej sekcji omówione zostanie przetwarzanie stałych osadów przemysłowych oraz rozdrobnionych odpadów farbiarskich / opakowań chemicznych.

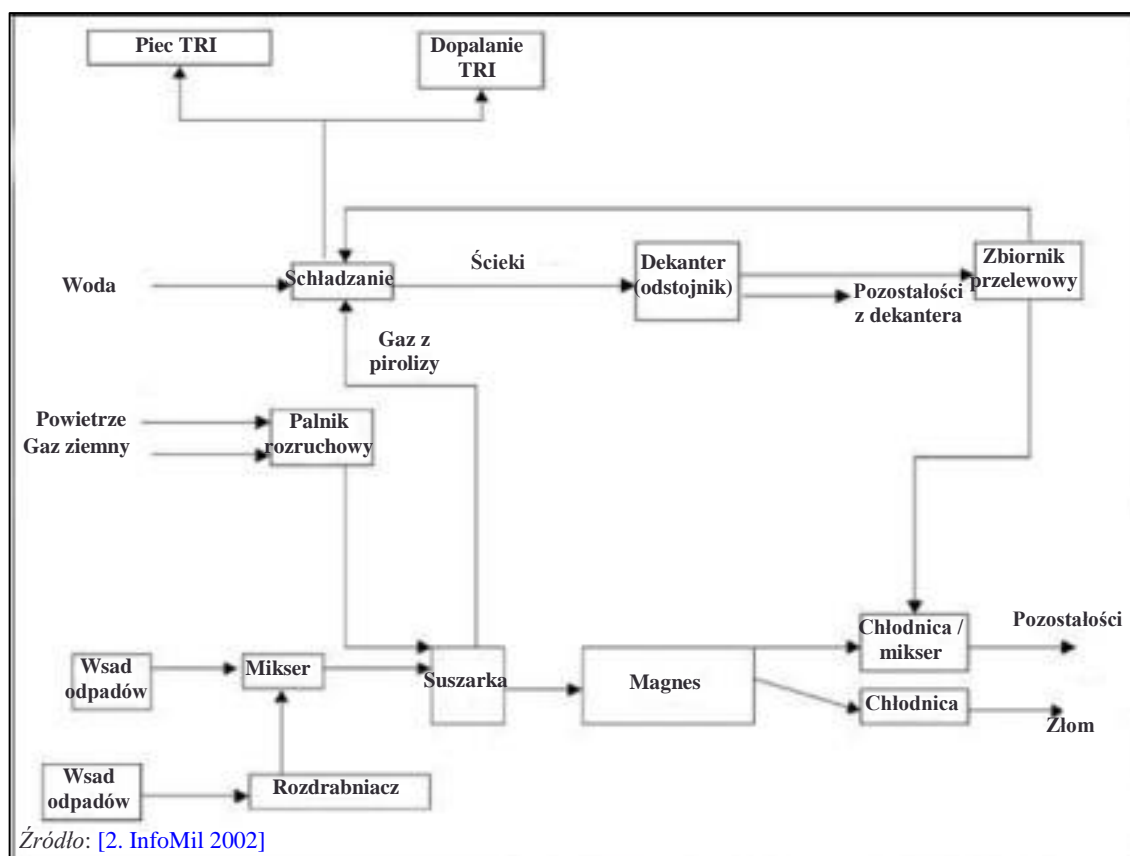
Instalacja do pirolizy została połączona z instalacją do termicznego przetwarzania zanieczyszczonej gleby, w której jako paliwo wykorzystywany jest gaz syntezowy z instalacji do pirolizy. Instalacja do pirolizy składa się z dwóch równoległych reaktorów. Oba zostały wyposażone w ślimaki, które transportują materiał wsadowy przez reaktory. Materiał wsadowy tworzą m.in. osady i szlamy z innych oczyszczalni ścieków na terenie zakładu oraz odpady malarskie. Średnia zawartość materiałów organicznych waha się między 25% a 85%, a średnia zawartość wody wynosi około 25%.

Podczas rozruchu reaktory są podgrzewane gazem ziemnym do temperatury ok. 500 °C. Następnie rozpoczyna się podawanie materiału i zaprzestaje się używania gazu ziemnego. Ilość powietrza utrzymywana jest poniżej zapotrzebowania stechiometrycznego, co skutkuje procesem zgazowania. Temperatura zgazowania wynosi ok. 900-1 200 °C. Wydajność każdego reaktora to około 4 tony/godzinę.

Gaz syntezowy (syngaz) jest schładzany w kondensatorze. Pozostały syngaz (LHV ok. 7 MJ/Nm³) wykorzystywany jest jako paliwo w innej jednostce do termicznego przetwarzania zanieczyszczonej gleby. Spalanie i przetwarzanie spalin odbywa się zgodnie z holenderskimi normami emisji. Skroplona woda z chłodzenia oczyszczana jest w dekanterze celem oddzielenia węgla. Frakcja wodna wykorzystywana jest do nawilżania pozostałości z reaktora.

Pozostałości z reaktora (poziom temperatury około 500 °C) przechodzą przez magnetyczny system separacji usuwający żelazo z odpadów farby i frakcji opakowaniowej. Pozostała frakcja jest schładzana i nawilżana skondensowaną wodą a następnie odprowadzana na składowisko.

Ogólny schemat procesu, w tym główne przepływy masy, przedstawiono na ilustracji 2.17.



Ilustracja 2.17 Schemat procesowy zakładu pirolizy firmy ATM

Główną zaletą pokazanej na ilustracji jednostki do pirolizy jest to, że nadwyżka LHV obecna w oczyszczonych szlamach, osadach i odpadach malarskich może być wykorzystana bezpośrednio w urządzeniu do termicznego przetwarzania zanieczyszczonej gleby. Efektywność energetyczna jest więc co najmniej porównywalna ze spalaniem odpadów. Ponadto frakcja złomu żelaznego (15 %) jest odprowadzana do recyklingu, a objętość przetworzonych odpadów zmniejsza się o około 50%. Pozostałe resztki mogą być częściowo przetwarzane we własnych obiektach firmy ATM. Koszty ogólne ulegają zmniejszeniu ze względu na fakt, że w procesie wykorzystuje się spalarnię i przetwarzanie spalin z mocno zanieczyszczonej gleby oraz zakład przetwarzania odpadów.

2.3.4.4 Kombinacje procesów

Termin ten jest używany dla procesów składających się z kombinacji różnych procesów termicznych (piroliza, zgazowanie, spalanie).

2.3.4.4.1 Piroliza - spalanie

[1. UBA 2001]

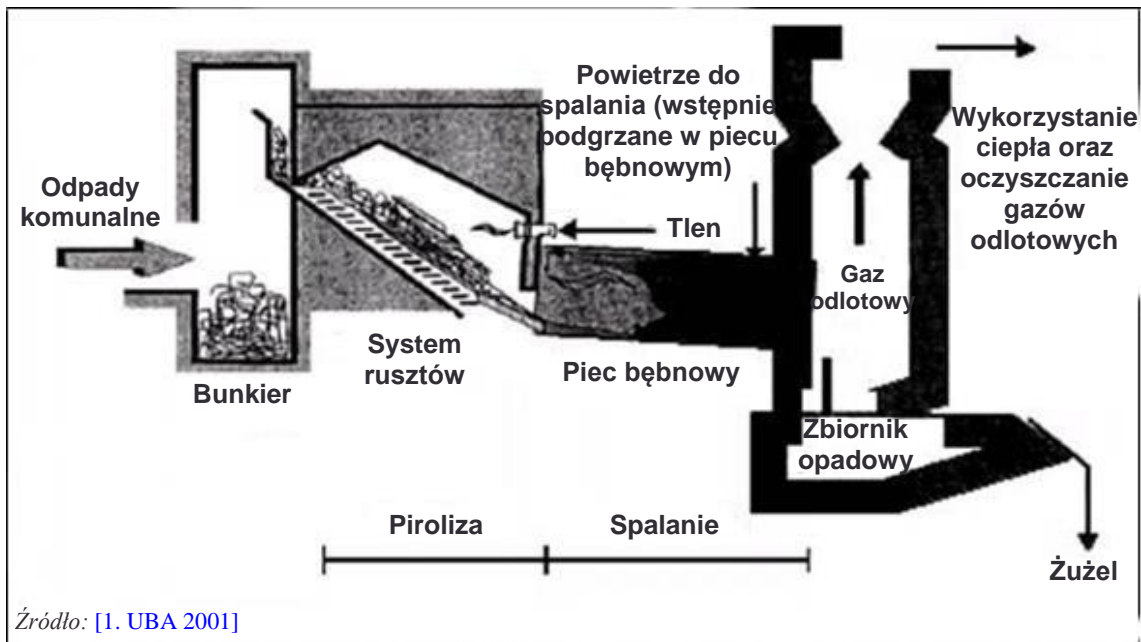
Poniższe techniki znajdują się na różnych etapach rozwoju:

1. Piroliza w piecu obrotowym z późniejszym wysokotemperaturowym spalaniem gazu i koksu pirolitycznego. W Niemczech jeszcze nie zakończono pełnego uruchomienia instalacji tego typu.
2. Piroliza w piecu obrotowym, po której następuje kondensacja smoły gazowej i olejów, a następnie wysokotemperaturowe spalanie pirolitycznego gazu, oleju i koksu.
3. Piroliza na ruszcie bezpośrednio połączona ze spalaniem wysokotemperaturowym.

Stałe pozostałości z tych procesów mają postać granulatu, co jest korzystne w przypadku ich późniejszego ponownego wykorzystania lub unieszkodliwienia. Osady ściekowe (odwodnione lub wysuszone) mogą być współprzetwarzane z frakcjami odpadów komunalnych.

Proces 2 przedstawiony powyżej jest zasadniczo podobny do procesu 1, ale różni się w dwóch głównych aspektach:

- gazy pirolityczne są schładzane po opuszczeniu pieca obrotowego, celem wyodrębnienia (osadzenia) oleju, pyłu i wody;
- Następnie przeprowadza się w specjalnym piecu agregacyjnym przetwarzanie utleniające w wysokiej temperaturze, podczas którego spalane zostają produkty z pirolizy, mieszanina woda - olej - pył, pirolityczny koks oraz gaz, a pozostałości stałe przekształcone zostają w płynny roztwór.



Ilustracja 2.18 Piroliza na ruszcie bezpośrednio połączona z procesem spalania w wysokiej temperaturze.

Piroliza na ruszcie bezpośrednio połączona z procesem spalania w wysokiej temperaturze (zob. ilustracja 2.18) została opracowana jako modyfikacja konwencjonalnego spalania na ruszcie, ale z zamiarem uzyskania ciekłego stopu. Odpady są najpierw poddawane na ruszcie pirolizie, drogą bezpośredniego ogrzewania. Ciepło procesowe pochodzi z częściowego spalania gazów powstałych w wyniku pirolizy z udziałem czystego tlenu. W drugim etapie produkty, gaz pochodzący z pirolizy, koks oraz substancje obojętne ulegają odpowiednio spalaniu lub stopieniu w wysokiej temperaturze w bezpośrednio podłączonym piecu obrotowym. Gromadzące się resztki stopu zawierają szkło, kamienie, metale i inne materiały obojętne i różnią się od odpowiadającego im produktu uzyskiwanego z procesu 1.

Techniki oczyszczania spalin stosowane w wymienionych powyżej trzech procesach pirolizy kombinowanej w zasadzie nie różnią się od systemów stosowanych w spalarniach odpadów komunalnych. Następuje gromadzenie się tych samych pozostałości oraz produktów reakcji. Ich rodzaj i skład zależy głównie od wybranego systemu oczyszczania spalin. Jednak w odróżnieniu od spalania odpadów komunalnych, pyły filtracyjne mogą być poddawane recyklingowi do komory topienia.

Przykładowe instalacje kombinowane pirolizy – spalania odpadów medycznych stosowane w Holandii
[2. InfoMil 2002]

Niespecyficzne odpady medyczne są regularnie odbierane ze szpitali oraz innych instytucji opieki zdrowotnej, od lekarzy, dentystów i weterynarzy. Odpady odbierane są w specjalnych 30- lub 60-litrowych pojemnikach, które zostały napełnione w instytucjach i nie wymagają ponownego otwierania. Następnie są spalane, łącznie z pojemnikami działającymi również jako paliwo pomocnicze.

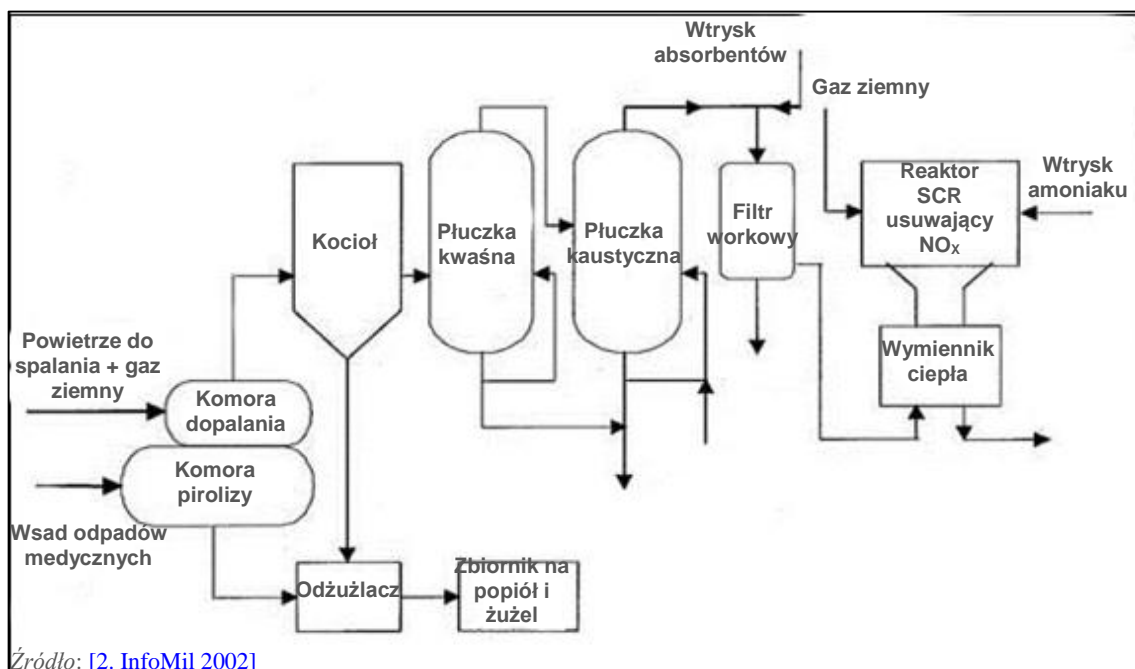
Odpady niemedyczne ze szpitali i zakładów opieki zdrowotnej są odbierane i traktowane jako zwykłe odpady komunalne.

Zebrane odpady są składowane na terenie zakładu w zamkniętych pojemnikach transportowych. Pojemniki są pobierane i półautomatycznie transportowane do spalarni, która znajduje się w zamkniętym budynku. Spalarnia jest zasilana przez służbę powietrzną, aby zapobiec wprowadzaniu do spalania "fałszywego" powietrza.

Spalanie odbywa się w procesie dwuetapowym (zob. ilustracja 2.19). W niższej komorze spalania zachodzi kontrolowana piroliza po której, w miarę przemieszczania się odpadów przez komorę, następuje spalanie z użyciem powietrza pierwotnego. Na koniec odpady trafiają do napełnionej wodą zsypu na popiół, z którego usuwany jest on za pomocą przenośnika łańcuchowego.

Spaliny ulegają spalaniu przy użyciu powietrza wtórnego oraz, w razie potrzeby, paliwa pomocniczego, w temperaturze około 1 000 °C. Następnie są schładzane w nasyconym parą kotle (temperatura pary 225 °C, ciśnienie 10 barów), wymienniku ciepła oraz skruberze (płuczce). Para zostaje dostarczona do przyległej spalarni odpadów komunalnych, która wykorzystuje ją zwracając wodę zasilającą kocioł.

Skruber (płuczka) to dwuetapowy system do usuwania związków kwasów. Oczyszczone spaliny podgrzewane są (w wymienniku ciepła oraz w parowo-spalinowym wymienniku ciepła) przed przejściem przez filtr workowy z wtryskiem adsorbentu (węgiel aktywny i wapno gaszone) usuwającym dioksyny, oraz jednostkę wykorzystującą SCR do usuwania NO_x. Stężenia emisji spalin są zgodne z normami holenderskimi. Emisja do atmosfery następuje przez komin o wysokości 55 metrów.



Ilustracja 2.19 Przykład instalacji do pirolizy odpadów medycznych, ZAVIN, Holandia.

2.3.4.4.2 Piroliza - zgazowanie

[1. UBA 2001]

Można wyróżnić dwa różne rodzaje kombinowanego procesu pirolizy-zgazowania:

- rozłączny (piroliza z późniejszym zgazowaniem = proces konwersji); oraz
- bezpośrednio połączone procesy.

Proces konwersji

W procesie konwersji metale i, w razie potrzeby, materiał obojętny mogą zostać usunięte po etapie pirolizy. Ponieważ gaz i koks z pirolizy wymagają ponownego podgrzania w procesie zgazowania, wymagania techniczne i energetyczne są tu wyższe niż w przypadku procesów połączonych. Skondensowana para wodna jest traktowana jako ścieki i odprowadzana.

W procesie konwersji odpady muszą być rozdrobnione i wysuszone, zanim mogą zostać wykorzystane w pierwszym etapie termicznym. Etap ten odpowiada mniej więcej procesowi "tlenia". Kolejne etapy to:

- piroliza w piecu;
- usuwanie stałych pozostałości;
- oddzielenie drobnej frakcji wzbogaconej węglem;
- sortowanie metali oraz frakcji obojętnych.

Gaz pirolityczny jest schładzany celem skroplenia oparów spalin i oleju pirolitycznego. Następnie jest dostarczany wraz z olejem pirolitycznym oraz frakcją drobnocząsteczkową do drugiego etapu termicznego, czyli przepływowego reaktora zgazowującego. Podczas przepływu olej i frakcja drobnocząsteczkowa są zgazowywane pod wysokim ciśnieniem i w temperaturze 1 300 °C. Otrzymany w ten sposób syngaz jest oczyszczany, a następnie spalany celem odzysku energii. Pozostałości stałe są pobierane w postaci stopionego granulatu przez kąpiel wodną. Odpowiadają one pod względem rodzaju i ilości tym z procesu tlenia (*smoulder-burn*).

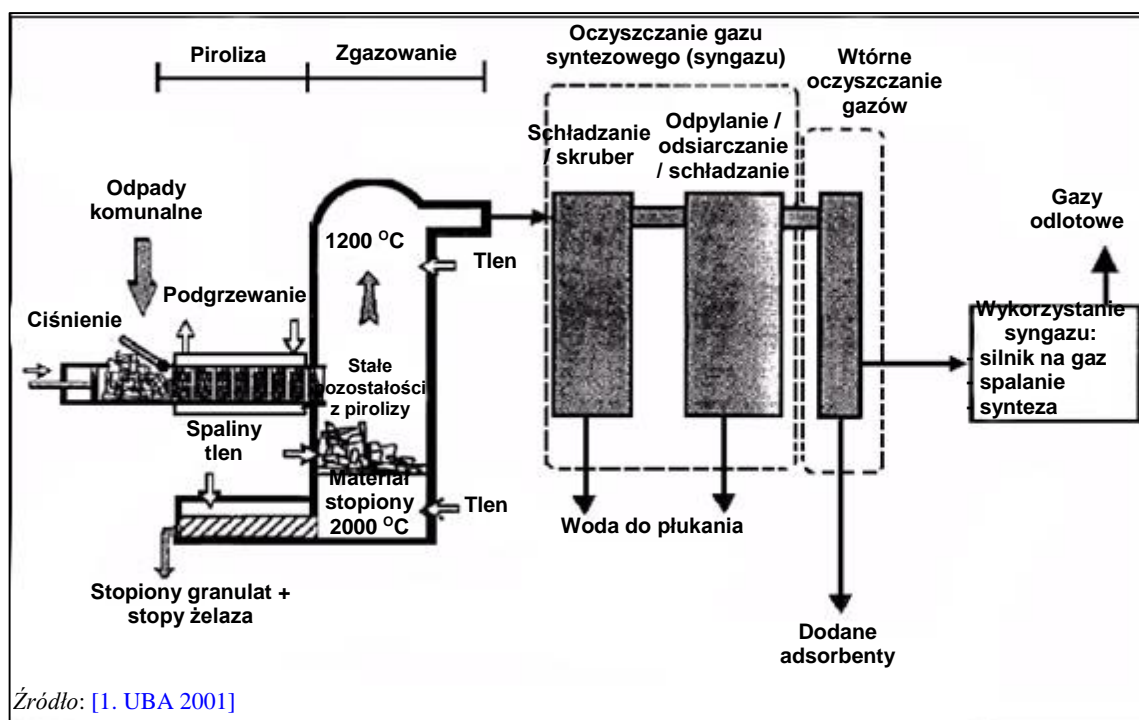
Dzięki bezpośredniemu połączeniu można poprawić wskaźniki generowania energii elektrycznej, ale metale i materiał obojętny trafiają do stopu, dla którego do tej pory nie znaleziono żadnego zastosowania.

Kombinowany proces pirolizy – zgazowania plus stopienie

W takich procesach (zob. ilustracja 2.20) nierozdrobnione odpady są suszone w piecu pchającym a następnie poddawane częściowej pirolizie. Z pieca przenosi się je bezpośrednio i bez straty czasu do zgazowarki (czadnicy) ze złożem, gdzie ulegają zgazowaniu (w niższej części) w temperaturze do 2 000 °C i z dodatkiem tlenu. Czysty tlen dodawany jest również do górnej części reaktora zgazowującego celem zniszczenia pozostałych składników organicznych znajdujących się w wygenerowanym syngazie (poprzez reakcje utleniania, zgazowania oraz krakowania).

Mimo iż proces ten jest w stanie przetwarzać szerszy zakres odpadów, stosowany jest głównie w odniesieniu do komunalnych i innych niż niebezpieczne odpadów przemysłowych. W ramach procesu można przetwarzać odpady o LHV 6-18 MJ/kg i zawartości wilgoci do 60 %. Motoryzacyjne pozostałości pochodzące z rozdrabniania o zawartości chloru do 3,5 % są przetwarzane razem z odpadami MSW przy mniej więcej tych samych proporcjach [69. Thermoselect 2003].

Syngaz poddawany jest procesowi oczyszczania, a następnie spalany celem wykorzystania jego wartości energetycznej. Stałe pozostałości opuszczają reaktor w stanie stopionym. Podczas operacji testowych powstało ok. 220 kg popiołu paleniskowego oraz ok. 30 kg metali na tonę wprowadzanych odpadów.



Ilustracja 2.20 Schemat pirolizera pchającego (pokazany na przykładzie zakładu obsługiwane przez Thermoselect S.A.)

W Japonii od 2003 r. funkcjonują dwa zakłady tego typu. Również w Europie powstały dwie takie instalacje, ale po kilku latach przestały działać [47. TWG 2018].

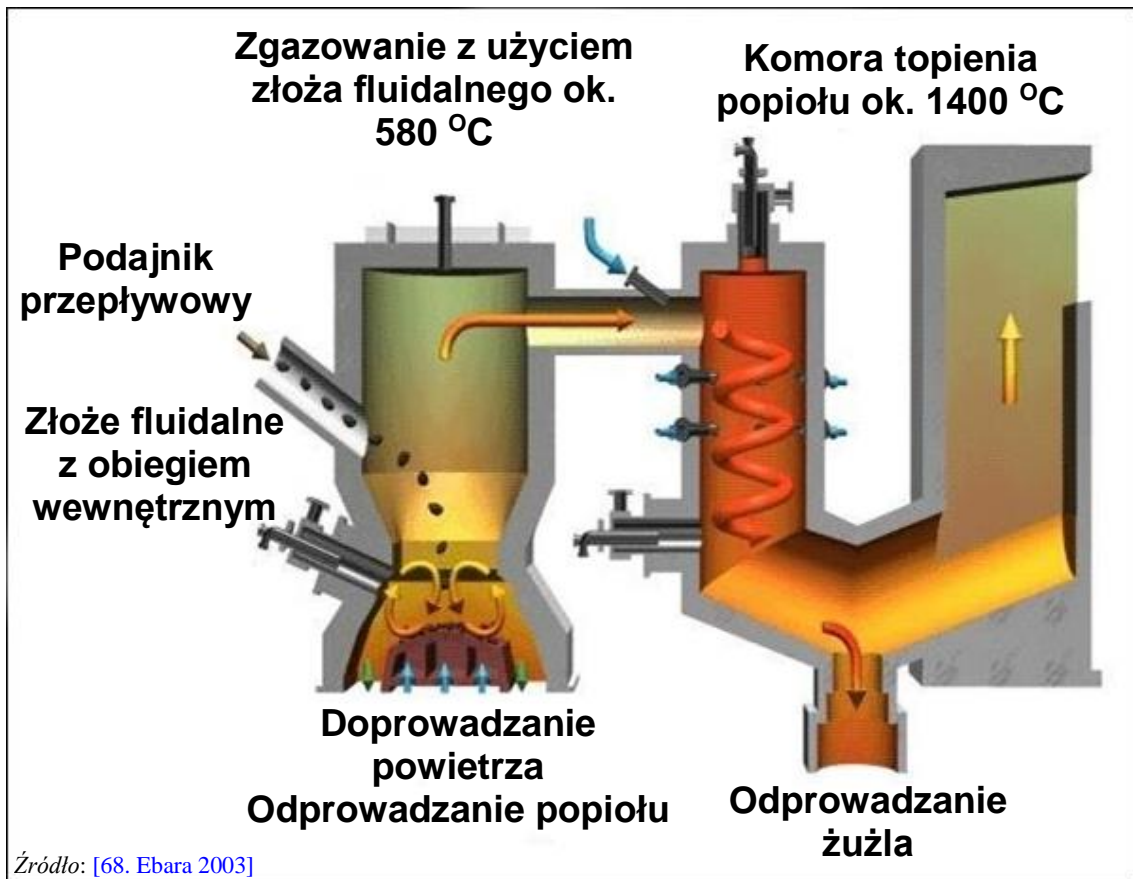
2.3.4.4.3 Zgazowanie - spalanie

Można wyróżnić dwa różne rodzaje kombinowanego procesu zgazowania-spalania:

- zgazowanie z zastosowaniem złoża fluidalnego + piec do stapiania popiołu (dwa oddzielne etapy);
- piec szybowy (pojedynczy zintegrowany etap).

Zgazowarka (czadnik) ze złożem fluidalnym i piec do topienia popiołu

Przykład kombinacji czadnika ze złożem fluidalnym i pieca do topienia popiołu przedstawiono na ilustracji 2.21.



Źródło: [68. Ebara 2003]

Ilustracja 2.21 Połączenie zgazowania z użyciem złoża fluidalnego oraz procesu spalania w wysokiej temperaturze.

W tym typie instalacji pozostałości po rozdrobnieniu, odpady z tworzyw sztucznych lub rozdrobnione MSW są zgazowywane w pęcherzykowym złożu fluidalnym o obiegu zamkniętym, które jest eksploatowane w temperaturze około 580 °C. Większe cząstki obojętne i metale odprowadzane są na dno i oddzielane od materiału złoża. Materiał złoża jest zawracany do zgazowarki. Drobny popiół, koks drobnocząsteczkowy oraz gaz palny przekazywane są do cyklonowej komory topienia popiołu, gdzie dzięki dodaniu powietrza uzyskuje się pożądaną temperaturę topnienia (zwykle 1 350-1 450 °C).

Komora topienia popiołu jest integralną częścią kotła parowego, służącego do odzysku energii.

Produkty tego procesu - oprócz energii elektrycznej lub pary wodnej - to fragmenty metalu, zeszlony żużel (stabilny i o niskiej przesączalności) oraz koncentraty metali pochodzące z popiołu wtórnego.

W przeciwieństwie do innych procesów zgazowania, proces ten jest prowadzony pod ciśnieniem atmosferycznym i z wykorzystaniem powietrza, a nie tlenu. Wstępne przetwarzanie MSW przez rozdrabnianie jest konieczne celem zmniejszenia wielkości cząstek do średnicy 300 mm. Odpady spełniające to wymaganie mogą być przetwarzane bez rozdrabniania. W eksploatowanych zakładach oprócz MSW przetwarzane są również inne odpady, takie jak osady ściekowe, mączka kostna, odpady medyczne oraz żużel i osady przemysłowe. [68. Ebara 2003]

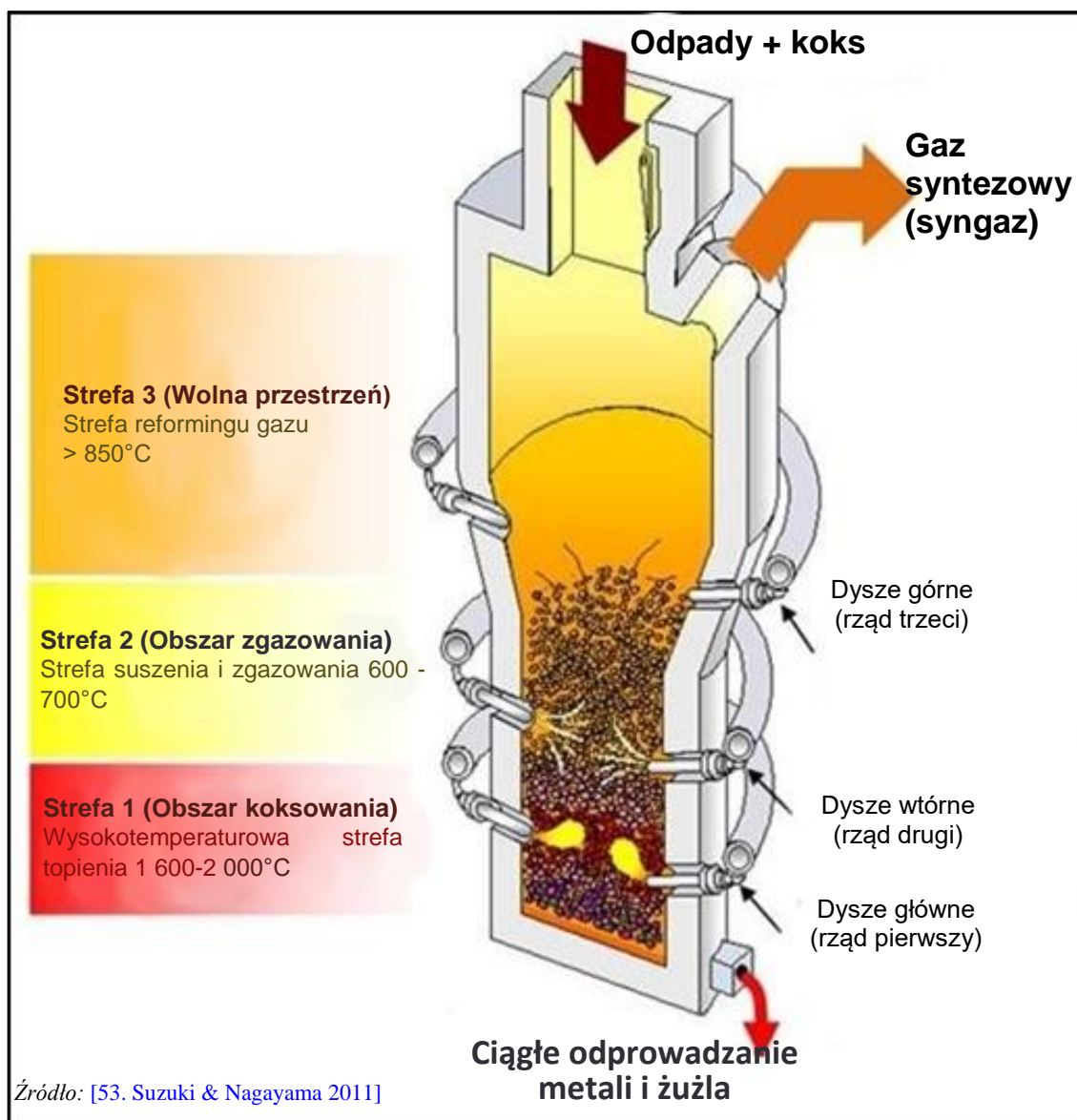
Piec szybowy

W porównaniu z procesem zgazowania i topienia opisanym przez ilustrację 2.21, struktura tego procesu (zob. ilustracja 2.22) jest prostsza, ponieważ zgazowanie i topienie odbywa się w jednym piecu.

Fracje palne z nierozdrobnionych MSW zostają zgazowane przez wysoką temperaturę pieca i przekształcone w gaz syntezowy do wykorzystania w produkcji energii elektrycznej. Fracje

niepalne (metal i składniki mineralne) zostają stopione w strefie topnienia na dnie pieca i przetworzone na metal oraz zeszlony żużel.

Wstępne rozdrabnianie MSW nie jest konieczne, o ile rozmiar toreb plastikowych zawierających MSW wynosi 600 x 600 x 600 mm lub mniej.



Ilustracja 2.22 Piec szybowy do zintegrowanego zgazowania odpadów oraz topienia popiołu

Odpady są wprowadzane do pieca wraz z koksem (około 5% masy i 15% energii odpadów) i wapieniem (około 3% masy odpadów) od góry pieca. Ponieważ piec pracuje przy zredukowanej atmosferze, metale są odparowywane do fazy gazowej, a stopiony popiół jest przekształcany w zeszlony żużel. Stopiony popiół z dna pieca jest hartowany w wodnym przenośniku granulacyjnym, gdzie jest przekształcany w zeszlony żużel i metale.

Piec może być podzielony na 3 strefy:

- Strefa 1 wypełniona jest koksem. Koks i węgiel z odpadów są spalane za pomocą powietrza wzbogaconego tlenem (około 35% O_2) podawanego przez dysze główne do dolnej części pieca. Powietrze wprowadzane jest do pieca przez umieszczone wzdłuż ścian główne, wtórne oraz górne dysze. Temperatura w strefie 1 przekracza 2 000 °C. W tak wysokiej temperaturze topią się niepalne składniki odpadów, które następnie są w sposób ciągły odprowadzane przez ujście żużla w dolnej części pieca, przy czym ich temperatura jest cały

czas utrzymywana na poziomie ok. 1 600 °C. Wytworzony CO₂ jest redukowany do CO w tzw. reakcji utraty roztworu (reakcja Boudourda) przy udziale koksu. Tak wytworzony CO przepływa, w temperaturze ok. 1 000 °C, do strefy (2).

- W strefie 2 gaz wyprodukowany w dolnej strefie jest częściowo spalany oraz utrzymywany, przy pomocy powietrza doprowadzanego przez dysze wtórne, w temperaturze około 700 °C przy jednoczesnym zachowaniu w stanie ciekłym odpadów, koksu i wapienia, które są ładowane od góry pieca. W tej strefie odpady są wstępnie podgrzewane oraz rozkładane termicznie.
- W strefie 3 część wyprodukowanego gazu jest spalana w zredukowanej atmosferze i w temperaturze powyżej 850 °C (z użyciem powietrza wprowadzanego przez dysze górne. Czas przebywania trwający dwie sekundy lub dłużej wzmacnia pirolizę smoły oraz zapobiega tworzeniu się dioksyn. Proces ten przyczynia się do poprawy jakości wytwarzanego gazu syntezowego (syngazu).

Syngaz wychodzący z paleniska jest wprowadzany do wtórnej komory spalania przed kotłem, gdzie następuje jego całkowite spalanie.

Pierwszy zakład przetwarzający MSW w tej technologii rozpoczął działalność komercyjną w 2003 roku. W Japonii działa 11 zakładów tego rodzaju. [\[53. Suzuki & Nagayama 2011\]](#)

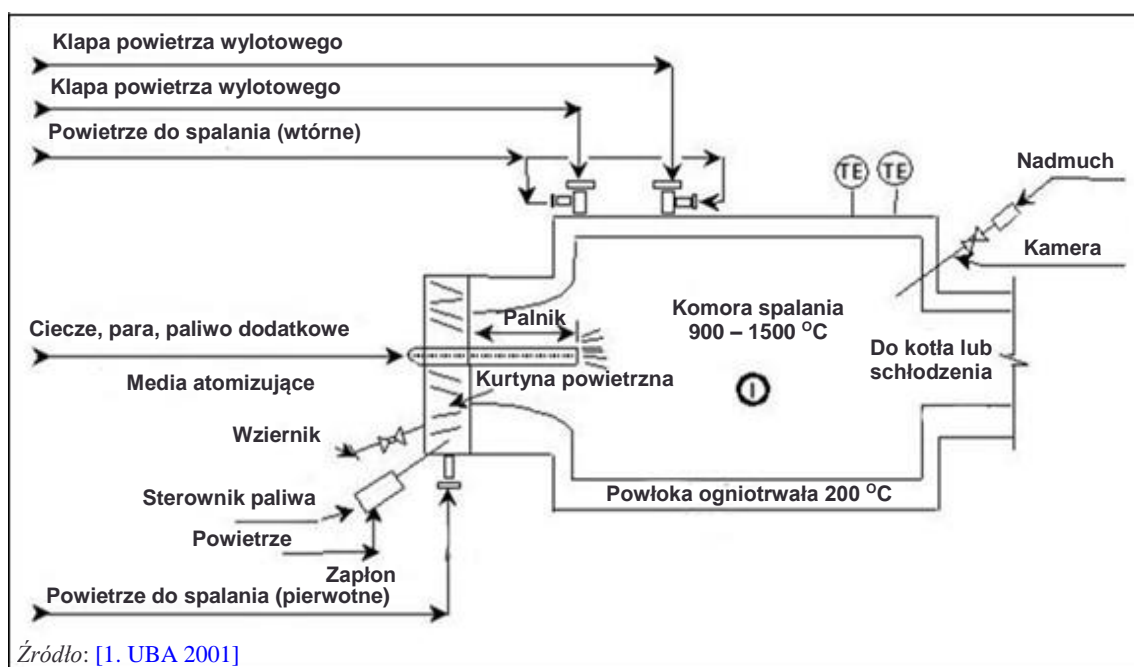
2.3.5 Inne techniki

2.3.5.1 Komory spalania odpadów płynnych i gazowych

Dla odpadów płynnych i gazowych, jak również ciał stałych rozproszonych w cieczach projektuje się specjalne komory spalania (zob. ilustracja 2.23). Komory te znajdują powszechne zastosowanie w przemyśle chemicznym, do spalania odpadów płynnych i procesowych innych niż gaz. W przypadku odpadów zawierających chlorki, HCl może być odzyskiwany do powtórnego użytku.

Wszystkie komory dopalania w spalarniach odpadów niebezpiecznych są zasadniczo komorami spalania. W jednej instalacji (Rawenna, Włochy) komora dopalania jest tak duża, że może w niej zachodzić cały proces termiczny.

Temperatury robocze są zazwyczaj ustalane tak, aby zapewnić dobre zniszczenie odpadów podawanych do komory. W niektórych przypadkach dla określonych strumieni odpadów stosuje się systemy katalityczne działające w obniżonej temperaturze 400-600 °C. Ogólnie rzecz biorąc, do komór niekatalitycznych stosuje się temperatury przekraczające 850 °C. Celem utrzymania stałych warunków spalania często stosuje się paliwa pomocnicze. Odzyskiwane ciepło można wykorzystać, za pomocą systemu kotłowego, do zasilania gorącą wodą/ parą.



Ilustracja 2.23 Typowa konstrukcja komory spalania odpadów płynnych i gazowych

2.3.5.2 Spalanie odpadów płynnych i gazowych zawierających chlor z odzyskiem HCl

[1. UBA 2001]

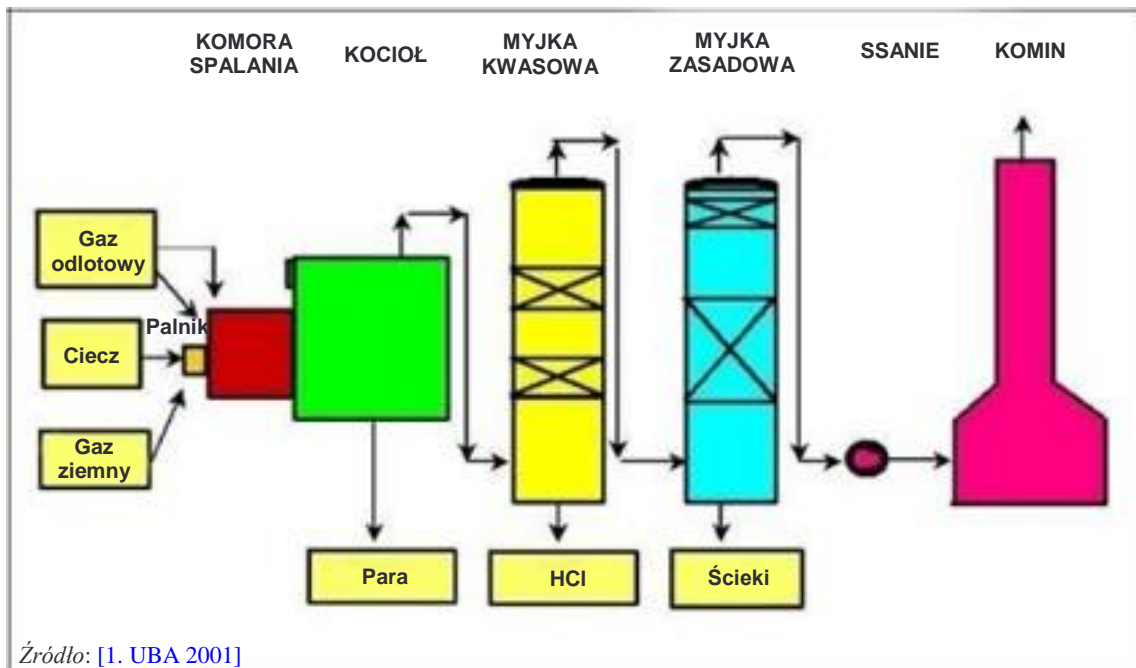
Linia procesowa zawiera:

- komorę spalania;
- generator pary;
- sekcję oczyszczania spalin w połączeniu z odzyskiem kwasu solnego; oraz
- komin do odprowadzania spalin (zob. ilustracja 2.24)

Zakład przetwarza odpady ciekłe i gazowe zawierające chlor z wykorzystaniem ciepła odpadowego oraz produkuje kwas solny.

W wytwornicy pary (212 °C, 20 barów) ciepło zamieniane jest na parę i przekazywane do dystrybucji. Frakcja cząstek stałych w spalinach powstających podczas spalania jest oddzielana w celu uzyskania w instalacji oczyszczania spalin najwyższego możliwego stężenia kwasu solnego. Usuwanie i utylizacja kwasu solnego odbywa się najczęściej na terenie zakładu.

Substancje resztkowe o postaci gazu (spaliny) dostarczane są rurociągami przesyłowymi do instalacji odzysku. Każdy przepływ spalin przed spaleniem prowadzony jest przez oddzielny zbiornik osadowy. W zbiorniku tym następuje oddzielenie cząstek ciekłych od przepływających spalin. Linie zasilające wyposażone są w odpowiednie osłony zabezpieczające przed cofnięciem się płomienia, zgodnie z klasyfikacją spalin. Liczba używanych linii zasilających zależy od mechanizmów sterujących. Przepływ objętościowy kontrolowany jest przez mierniki przepływu z kompensacją ciśnienia i temperatury. Spaliny doprowadzane są do komory spalania za pomocą regulatora ustawiającego maksymalną dopuszczalną wartość ciśnienia. Ponadto wszystkie linie przesyłające spaliny do komory spalania wyposażone są w automatyczne awaryjne zawory odcinające.



Ilustracja 2.24 Schemat instalacji do ekstrakcji HCl z gazów resztkowych i odpadów ciekłych zawierających chlor

Rurociągi przesyłowe dla odpadów płynnych wyposażone są w automatyczne awaryjne zawory odcinające. Wszystkie odpady płynne odprowadzone zostają do wielomateriałowego paleniska znajdującego się w przedniej części komory spalania. Odparowanie płynów odbywa się za pomocą sprężonego powietrza i/lub pary wodnej, która zostaje wprowadzona do paleniska w ramach osobnego układu kontroli ilości gazu. Ponadto, za pomocą lanc, do paleniska dostarcza się różne strumienie spalin. Pojedyncza lanca składa się z systemu koncentrycznych rur. W ten sposób do komory spalania może być oddzielnie doprowadzanych kilka strumieni spalin. W celu chłodzenia i uniknięcia korozji lance są stale natryskiwane powietrzem przez szczelinę pierścieniową.

Do rozruchu instalacji i utrzymania w komorze spalania pożądanej temperatury potrzebna jest energia pierwotna (gaz ziemny). Gaz ziemny jest również doprowadzany do wielomateriałowego paleniska za pomocą oddzielnej dyszy. W zależności od temperatury panującej w komorze spalania przepływ gazu ziemnego jest regulowany (przy pomocy komputerowo sterowanego systemu kontroli jego ilości) i dostarczany do paleniska poprzez regulator ciśnienia. Gaz ziemny jest również potrzebny do zapłonu startującego wielomateriałowe palenisko. W przewodzie gazu ziemnego do paleniska oraz płomienia inicjującego znajdują się dwa automatyczne zawory awaryjne z spustem.

Do monitorowania płomienia palnika zainstalowano dwa niezależne alarmy płomieniowe (UV i IR). Dodatkowo płomień palnika można obserwować przez okienko kontrolne (wziernik) oraz za pomocą kamery telewizyjnej zainstalowanej na tylnej ścianie kotła na ciepło odpadowe. Ilość powietrza rejestrowana jest za pomocą odpowiednich manometrów, jak również za pomocą ciśnienia wytwarzanego przez dmuchawę.

Cylindryczna komora spalania skonstruowana jest w sposób zapewniający wystarczający czas przebywania w niej odpadów, gwarantując całkowite ich spalanie, w warunkach normalnej eksploatacji i przy temperaturze roboczej wyższej niż 1 100 °C. Komora spalania została zaprojektowana dla temperatury 1 600 °C. Temperatura eksploatacyjna monitorowana jest w sposób ciągły. Aby wytrzymać tę wysoką temperaturę, cała komora spalania, aż po wejście do kotła parowego, została wyłożona cegłami ogniotrwałymi. Płaszcz komory spalania wykonany został z płyty kotłowej. Oczyszczanie spalin na mokro odbywa się w dwóch wieżach płuczących z jednoczesnym odzyskiwaniem technicznie użytecznego kwasu solnego o najwyższym możliwym stężeniu. Spalanie odpadów zawierających chlor pozwala na odzyskanie około 5-20%

kwasu solnego.

2.3.5.3 Spalanie odpadów ciekłych zawierających chlor z recyklingiem chloru [\[2. InfoMil 2002\]](#)

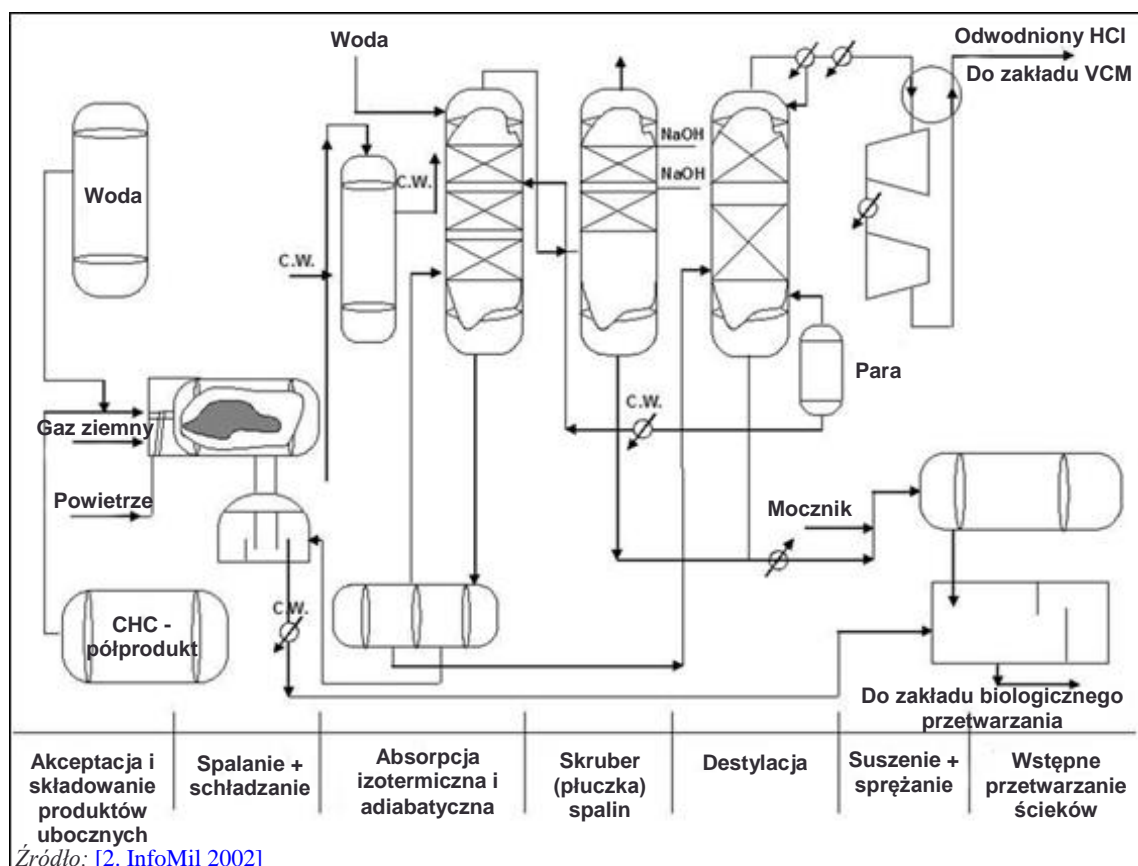
Omawiana jednostka spalania płynnych odpadów z dużą zawartością chloru (węglowodory chlorowane - CHC) zlokalizowana jest na terenie zakładu przemysłowego, a jej całkowita wydajność wynosi około 36 000 ton rocznie. Poddawane przetworzeniu odpady pochodzą zarówno z tego zakładu, jak i od zewnętrznych klientów. Na odpady nałożone jest ograniczenie zawartości cząstek stałych (<10 g/kg) fluoru, siarki oraz metali ciężkich. Przetwarzaniu poddawane są także PCB.

Spalanie odbywa się w dwóch piecach przy temperaturze na poziomie 1 450 – 1 550 °C (czas przebywania gazu 0.2 – 0.3 s). Taka temperatura może być zwykle utrzymana bez udziału dodatkowych paliw. Woda jest wstrzykiwana aby ograniczyć formowanie się Cl₂. Po opuszczeniu pieca, spaliny przechodzą przez sekcję schładzającą, gdzie ich temperatura obniżana jest do około 100 °C. W sekcji tej następuje również usuwanie, z krążącego w zbiorniku schładzającym płynu, substancji nierozpuszczalnych w wodzie oraz metali ciężkich. Następnie spaliny przedostają się przez absorbery, izotermiczny oraz adiabatyczny. Odzyskany kwas solny jest destylowany pod wysokim ciśnieniem, po czym następuje schłodzenie go do temperatury 15 °C, co redukuje zawartość wody w zasadzie do zera. Odzyskany odwodniony HCl jest wykorzystywany w zakładzie produkującym monomeryczny chlorek winylu (VCM).

Spaliny przechodzą przez skrubier alkaliczny (zasadowy) oraz filtr z węglem aktywnym (przeznaczonym do absorpcji dioksyn). TOC, HCl, NO_x, O₂, CO oraz pyły poddawane są stałej analizie. Zawartość dioksyn oraz PCB w emisjach znajduje się na poziomie poniżej 0.1 ng TEQ/Nm³.

Ścieki z dogaszania oraz skrubera przetwarzane są zarówno w jednostce fizycznej/chemicznej, jak i w instalacji biologicznego przetwarzania ścieków. Zawartość dioksyn pozostaje na poziomie < 0,006 ng TEQ/l, a zawartość PCB pozostaje poniżej poziomu oznaczalności (<10 ng/l).

Schemat procesu przedstawiono na ilustracji 2.32



Ilustracja 2.25 Schemat technologiczny zakładu recyklingu chloru prowadzonego przez firmę AkzoNobel

Główną zaletą pokazanej spalarni specjalnego przeznaczenia jest możliwość odzyskiwania chloru. Całkowite koszty operacyjne są niższe, ze względu na umieszczenie instalacji wewnątrz większego zakładu chemicznego.

2.3.5.4 Spalanie ścieków

[1. UBA 2001]

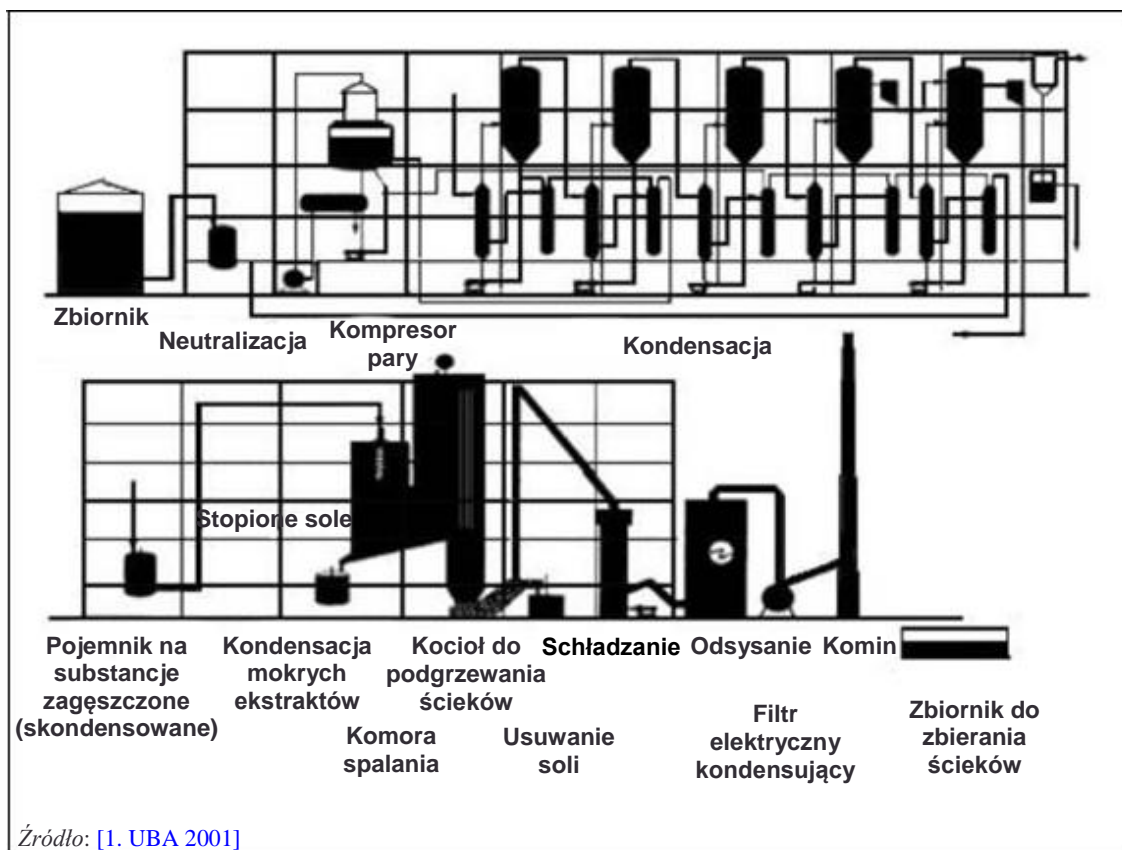
Ścieki mogą być przetwarzane poprzez spalanie zawartych w nich składników organicznych. Jest to specjalna technologia przetwarzania ścieków przemysłowych podczas której organiczne, a czasem także nieorganiczne składniki mogą zostać chemicznie utlenione w wysokiej temperaturze i przy udziale atmosferycznego tlenu, a podczas trwania procesu odparowana zostaje woda. Pojęcie "utleniania fazy gazowej" stosowane jest dla odróżnienia spalania tego typu od innych technologii, takich jak utlenianie na mokro. Proces utleniania fazy gazowej jest stosowany, jeśli substancje organiczne w wodzie nie mogą zostać ponownie wykorzystane lub gdy ich odzyskanie nie jest z ekonomicznego punktu widzenia opłacalne, a także gdy nie mogą zostać zastosowane inne techniki.

Niezależne spalanie może zachodzić jedynie wtedy, gdy wsad organiczny jest wystarczający do niezależnego odparowania zawartości wody oraz doprowadzenia do jej przegrzania. Wartość opałowa wody jest w przypadku niezależnego spalania zazwyczaj zbyt niska, i dlatego koniecznym jest współspalanie lub zastosowanie paliwa pomocniczego. Zapotrzebowanie na dodatkową energię można ograniczyć dzięki zredukowaniu zawartości wody, co może zostać osiągnięte poprzez zastosowanie uprzednio podłączonej lub wielostopniowej instalacji kondensacyjnej. Ponadto, zainstalować można urządzenie odzyskujące parę (kocioł) do kondensacji wytworzonego w piecu ciepła.

W zależności od konkretnej zawartości w ściekach materiałów organicznych i nieorganicznych, a także różnych uwarunkowań lokalnych, konstruowane są różne typy zakładów.

Ścieki oraz paliwo wstrzykiwane są przez palniki lub lance w kilku miejscach wewnątrz komory spalania. Tlen atmosferyczny jest także dostarczany w kilku punktach (powietrze pierwotne = tlen atmosferyczny zmieszany z paliwem, powietrze wtórne = mieszanka powietrza).

Poniższa ilustracja przedstawia spalarnię ścieków z jednostką ich odparowania (koncentracji). [74. TWG 2004]



Źródło: [1. UBA 2001]

Ilustracja 2.26 Przykładowa spalarnia ścieków z jednostką ich odparowania (koncentracji)

Przykład instalacji do spalania ścieków żrących
[2. InfoMil 2002]

Woda żrąca (kaustyczna) to specyficzny strumień ścieków z zakładów produkujących tlenek mono styrenu i propylenu (*mono styrene propylene oxide - MSPO*). Woda ta jest wytwarzana podczas kilkuetapowego procesu mycia. Zawiera około 10-20 % składników organicznych i ma wysoki udział sodu (głównie NaCl).

Zarówno wysoka frakcja organiczna jak i sól utrudniają lub wręcz uniemożliwiają biologiczne przetwarzanie wody. Również wartość opałowa tej wody jest zbyt niska, w przypadku spalania bez wsparcia, dlatego konieczne jest współspalanie lub zastosowanie paliwa pomocniczego. Wysoka zawartość sodu w połączeniu z dużą ilością wody może powodować problemy przy współspalaniu w spalarniach odpadów komunalnych.

Stosowane technologie przetwarzania to utlenianie na mokro oraz spalanie. W pokazanym przykładzie wykorzystuje się w tym celu cztery statyczne pionowe piece do spalania (całkowita wydajność ok. 350-400 kt/rok) działające od 1999/2000 roku.

Odpady o niskiej wartości opałowej (woda żrąca o 10-20 % zawartości substancji organicznych) mogą być przepuszczane przez cienkowarstwową wyparkę opadową. Parownik ten pracuje na nadmiarze pary niskociśnieniowej, która pochodzi z chłodzenia ścianek pieca, dzięki czemu zużywa się w piecu mniej paliwa.

Pozostała ciecz oraz wytworzone pary spala się za pomocą statycznych pionowych spalarni typu "top-down" z wykorzystaniem gazu ziemnego i/lub ciekłego paliwa o wysokiej wartości opałowej (odpady lub olej opałowy). Powstające w procesie spaliny są częściowo schładzane przez ścianę membranową, wytwarzając parę o ciśnieniu 27 barów. Następnie spaliny są schładzane celem oczyszczenia gazów z soli sodowych oraz innych, rozpuszczalnych w wodzie, zanieczyszczeń.

W sekcji odzysku ciepła woda recyrkulacyjna rozpylana jest nad spalinami. Woda ta wybuchła w komorze zapłonowej, generując około 30 t/godz. pary na jednostkę.

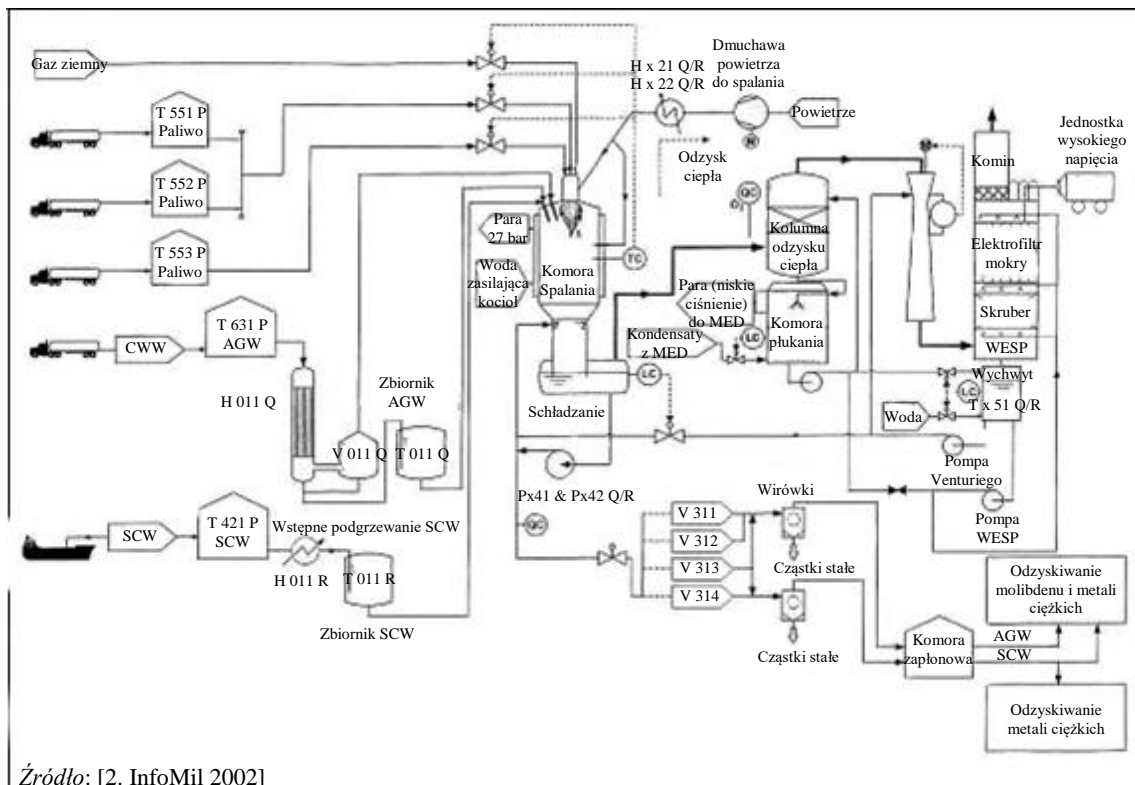
Po odzyskaniu ciepła, spaliny przechodzą przez płuczkę Venturiego (płuczkę gazową zwężkową) oraz elektrofiltr mokry, w którym usuwane są aerozole i pyły.

Spalarnie pracują w temperaturze 930-950 °C, z niewielkim nadmiarem powietrza (3-4% O₂). W zależności od stężenia substancji organicznych, przepustowość wody żrącej wynosi 10-15 t/godz. na jednostkę.

Woda z chłodzenia zostaje przetworzona w złożach jonowymiennych celem usunięcia metali ciężkich. Specjalne złoża jonowymiennie koncentrują molibden (katalizator w procesie MSPO) do poziomu wielokrotnego użytku.

Główną zaletą tych spalarni jest ich zdolność do spalania dużych ilości niskokalorycznych odpadów o wysokim stężeniu soli.

Poniższa ilustracja przedstawia przykładową instalację dla tego procesu.



Źródło: [2. InfoMil 2002]

Ilustracja 2.27 Schemat technologiczny instalacji przetwarzania ścieków żrących eksploatowanej przez AVR

2.3.5.5 Procesy plazmowe

Plazma to mieszanka elektronów, jonów i cząstek neutralnych (atomów i molekuł). Ten rodzaj gorącego, zjonizowanego gazu przewodzącego może być wytwarzany dzięki przepuszczeniu gazu przez pole elektryczne lub magnetyczne. Plazma stanowi źródło substancji reaktywnych, natomiast wysoka temperatura wspiera szybkie zachodzenie reakcji chemicznych.

Procesy plazmowe wykorzystują do produkcji plazmy wysoką temperaturę (5000 – 15000 °C) pochodzącą z konwersji energii elektrycznej na ciepło. W procesach tych silny prąd elektryczny przepuszczany jest przez strumień gazu obojętnego.

W takich warunkach, dzięki wstrzykiwaniu do plazmy, struktura niebezpiecznych zanieczyszczeń, takich jak PCB, dioksyny, furany, pestycydy etc. rozbijana jest na atomy. Proces ten wykorzystuje się do przetwarzania substancji organicznych, metali, PCB (dotyczy to także instalacji działających na małą skalę) oraz HCB. W wielu przypadkach może być wymagane wstępne przetworzenie odpadów.

Konstrukcja systemu oczyszczania gazów odlotowych zależy od wymaganej metody przetwarzania odpadów, natomiast pozostałości składają się z zeszkłonych cząstek stałych lub popiołu. Efektywność procesu niszczenia dla tej technologii jest dość wysoka, i wynosi > 99,99%. Plazma jest ugruntowaną już technologią komercyjną, choć proces ten może być bardzo złożony, kosztowny i wymagać dużej uwagi.

Plazmy termiczne mogą być generowane przez przepuszczanie między elektrodami prądu elektrycznego stałego lub zmiennego przez gaz, przez zastosowanie pola magnetycznego o częstotliwości radiowej (RF) bez elektrod lub przez zastosowanie mikrofal. Poniżej przedstawiono różne rodzaje technologii plazmowych.

1. Argonowy łuk plazmowy

Jest to "lotny" proces plazmowy, co oznacza, że odpady mieszane są bezpośrednio ze strumieniem plazmy argonowej. Jako gaz plazmowy stosuje się argon, ponieważ pozostaje obojętny i nie reaguje z elementami palnika.

Dane mówią o wysokiej skuteczności niszczenia i usuwania (DRE) przekraczającej 99,9998% w przypadku substancji zubażających warstwę ozonową (ODS), przy wydajności 120 kg/godz. oraz 150 kW zasilania.

Przewagą tej technologii nad innymi systemami plazmowymi jest jej udowodniona w ciągu wielu lat wysoka skuteczność niszczenia w skali komercyjnej zarówno CFC jak i halonów. Wykazuje ona także niski poziom emisji PCDD/F. Masowe emisje zanieczyszczeń również pozostają na niskim poziomie, ze względu na relatywnie małą ilość spalin wytwarzanych w tym procesie. Ponadto, bardzo wysoka gęstość energii powoduje, że proces jest bardzo kompaktowy i może być łatwo transportowany z miejsca na miejsce.

2. Indukcyjnie sprzężona plazma o częstotliwości radiowej (ICRF)

W zastosowaniach ICRF stosuje się palniki plazmowe sprzężone indukcyjnie, a sprzężenie energii z plazmą odbywa się poprzez pole elektromagnetyczne wygenerowane przez cewkę indukcyjną. Brak elektrod pozwala na pracę z szerokim zakresem gazów, w tym obojętnymi, redukującymi lub utleniającymi, oraz lepszą niezawodność niż w przypadku procesów zachodzących w łuku plazmowym.

Dane mówią o wysokiej skuteczności niszczenia i usuwania (DRE) przekraczającej 99,99% dla CFC przy wydajności 50 – 80 kg/godz.

Udowodniono na skalę komercyjną wysoki stopień niszczenia CFC w tym procesie, a także niską emisję zanieczyszczeń. Plazma ICRF nie wymaga stosowania argonu, zatem może być tańsza w użyciu niż inne podobne systemy. Ponadto, niewielka ilość wytwarzanych gazów skutkuje niską emisją zanieczyszczeń.

3. Plazma AC (zmiennoprądowa)

Plazma AC wytworzona zostaje dzięki zastosowaniu wysokiego napięcia o częstotliwości 60Hz, a poza tym jest zbliżona do ICRF. Proces ten, zarówno pod względem elektrycznym, jak i mechanicznym, nie jest skomplikowany i dlatego uznaje się go za wysoce niezawodny. Nie wymaga użycia argonu i może tolerować, jako gazy wytwarzające plazmę, wiele różnych gazów roboczych, w tym powietrze lub parę wodną. Twierdzi się również, że nadaje się do unieszkodliwiania zanieczyszczeń olejowych w ODS.

4. Łuk plazmowy CO₂

W tym procesie gorąca plazma wytwarzana jest dzięki przesłaniu potężnego impulsu elektrycznego do obojętnego gazu atmosferycznego, takiego jak argon. Po uformowaniu, pole plazmowe podtrzymywane jest dzięki sprężonemu powietrzu lub niektórym gazom atmosferycznym, w zależności od oczekiwanych rezultatów procesu.

Temperatura plazmy w momencie wytworzenia znacznie przekracza 5 000 °C. I przy takiej temperaturze plazmy odpady płynne lub gazowe są do niej bezpośrednio wstrzykiwane. Temperatura w górnym reaktorze osiąga poziom około 3 500 °C i stopniowo spada w strefie reakcji, aż do precyzyjnie kontrolowanej temperatury około 1 300 °C.

Cechą szczególną tego procesu jest wykorzystanie uformowanego w trakcie reakcji utleniania dwutlenku węgla (CO₂), jako gazu podtrzymującego działanie plazmy.

Proces wykazał wysoki stopień skuteczności niszczenia i usuwania (DRE) materiałów ogniotrwałych. Emisje zanieczyszczeń są na bardzo niskim poziomie, przede wszystkim ze względu na niewielką ilość spalin wytwarzanych podczas procesu.

5. Plazma mikrofalowa

Podczas tego procesu dostarcza się energię mikrofalową (2.45 GHz) do specjalnie zaprojektowanej koncentrycznej jamy, celem wygenerowania plazmy termicznej pod ciśnieniem atmosferycznym. Do zainicjowania tworzenia się plazmy wykorzystywany jest argon. Poza tym etapem reszta procesu nie wymaga już gazu do podtrzymywania plazmy.

DRE dla plazmy mikrofalowej przekracza, według posiadanych danych, 99,99%, podczas gdy niszczenie CFC-12 osiąga wydajność 2 kg/godz.

Dane mówią o wysokiej skuteczności niszczenia w tym procesie oraz o jego zdolności do uzyskania w bardzo krótkim czasie wysokich temperatur pracy, co skutkuje elastycznością procesu oraz skróceniem czasu przestojów.

W procesie nie jest konieczne stosowanie gazu obojętnego, co poprawia efektywność energetyczną, obniża koszty działania, a także zmniejsza ilość wytwarzanych spalin. Ponadto, proces jest bardzo kompaktowy.

6. Łuk plazmowy azotowy

W tym procesie wykorzystuje się palnik plazmowy na prąd stały, który pracuje z elektrodami chłodzonymi wodą i wykorzystuje azot jako gaz roboczy do wytwarzania plazmy termicznej.

W procesie tym uzyskuje się DRE (podczas niszczenia CFC, HCFC oraz HFC z wydajnością 10 kg/godz.) na poziomie 99.99%.

Kluczową zaletą tej technologii jest kompaktowość urządzeń. System wymaga powierzchni o wymiarach zaledwie 9 x 4.25 m dla instalacji, w czym zawiera się już przestrzeń przeznaczona do przygotowania i odwodnienia produktów ubocznych (CaCl₂ oraz CaCO₃). Zatem instalacja może być przewożona do miejsc generowania odpadów, dzięki czemu mogą być one przetwarzane na miejscu.

2.4 Etap odzysku energii

2.4.1 Wprowadzenie oraz zasady ogólne

[28. FEAD i inmi 2002]

Spalanie jest procesem egzotermicznym (generującym ciepło). Większość produkowanej podczas spalania energii transferowana jest do spalin. Chłodzenie spalin umożliwia:

- odzysk energii z gorących spalin; oraz
- oczyszczanie spalin przed ich uwolnieniem do atmosfery.

W zakładach nieposiadających systemu odzysku energii, gazy są zwykle schładzane drogą wtryskiwania wody, powietrza lub obydwu czynników.

Większość zakładów prowadzi odzysk ciepła wykorzystując kocioł, który łączy w sobie dwie funkcje:

- schładzanie spalin; oraz
- transfer ciepła z spalin do innej cieczy, najczęściej wody, która z reguły przetwarzana jest w kotle na parę.

Właściwości pary (ciśnienie oraz temperatura) lub gorącej wody zależą od lokalnego zapotrzebowania na energię a także ograniczeń operacyjnych.

Konstrukcja kotła zależy przede wszystkim od:

- właściwości pary;
- właściwości spalin (korozja, erozja, zanieczyszczenie).

Właściwości spalin zależą w dużym stopniu od składu odpadów. Na przykład odpady niebezpieczne mają bardzo zróżnicowany skład i, niekiedy, różną zawartość substancji korozyjnych (np. chlorków) w niepoddanym przetworzeniu gazie. Ma to znaczący wpływ na wybór dających się zastosować technik odzysku energii. W szczególności, kocioł może ulec znacznej korozji w wysokich temperaturach, dlatego jest zwykle zaprojektowany do pracy w niższej temperaturze, co powoduje wytwarzanie pary o niższym ciśnieniu.

- Podobnie, cykl termiczny (cykl para-woda) dla każdej instalacji będzie zależał od relatywnego znaczenia produkcji energii elektrycznej, pary i/lub gorącej wody.

Ściany wodne (ściany komory spalania wykonane są z wypełnionych wodą rur wymiany ciepła - zwykle z pewnego rodzaju powłoką ochronną) są szeroko stosowane do chłodzenia spalin w pustych przestrzeniach kotła (tzw. węzłach wymiany ciepła). Pierwszy przepust z reguły musi być pusty, ponieważ gorące gazy są zbyt korozyjne, a pył zbyt lepki, aby można było efektywnie wykorzystać rury wymiany ciepła w tym obszarze.

W zależności od rodzaju spalanych odpadów oraz konstrukcji komory spalania, może zostać wytworzona wystarczająca ilość ciepła, aby proces spalania stał się samowystarczalny (tzn. aby nie były potrzebne paliwa nie będące odpadami).

Podstawowe zastosowanie energii przekazywanej do kotła polega na:

- produkcji i dostarczaniu ciepła (w postaci pary lub gorącej wody);
- produkcji i dostarczaniu energii elektrycznej;
- kombinacji obydwu w/w czynników.

Przekazywana energia może być wykorzystywana na miejscu (zamiast energii dostarczanej z zewnątrz) i/lub poza zakładem. Energia ta może być użyta w wielu różnych procesach. Zwykle ciepło i para wykorzystywane są w przemysłowych lub lokalnych sieciach ciepłowniczych, przemysłowym przetwarzaniu ciepła i pary, a także, czasami, jako paliwo w procesach chłodzenia czy systemach klimatyzacji. Energia elektryczna często dostarczana jest do krajowych sieci dystrybucji i/lub zużywana w ramach wytwarzającej ją instalacji.

2.4.2 Czynniki zewnętrzne wpływające na efektywność energetyczną

2.4.2.1 Rodzaj i charakter odpadów

Właściwości dostarczanych do instalacji odpadów determinują wybór właściwych technik, a także stopień w jakim możliwy będzie efektywny odzysk energii. Podczas wyboru procesu brane są pod uwagę zarówno chemiczne, jak i fizyczne właściwości odpadów.

Na właściwości chemiczne i fizyczne dostarczanych do zakładu lub do pieca odpadów wpływ może mieć wiele czynników, w tym:

- umowy zawarte z dostawcami odpadów (np. odpady przemysłowe dodatkowo do MSW);
- prowadzone na terenie zakładu lub poza nim przetwarzanie odpadów lub wymagania dotyczące ich kolekcji/segregacji;
- czynniki rynkowe, które determinują sposób przetwarzania niektórych strumieni odpadów.

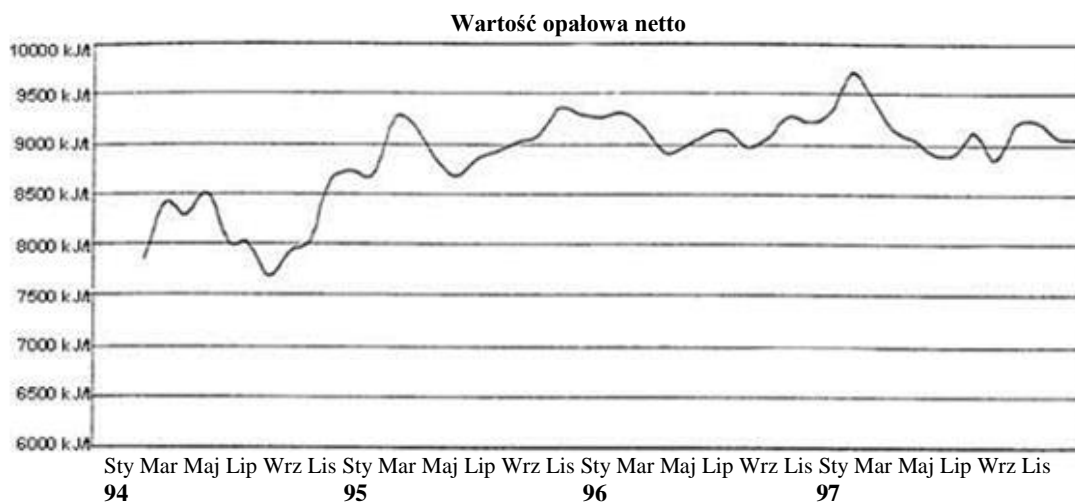
W niektórych przypadkach operator będzie miał ograniczone możliwości oddziaływania na rodzaj dostarczanych odpadów, w innych wpływ ten będzie znaczący.

W tabeli 2.10 podano typowe zakresy wartości opałowej dla niektórych rodzajów odpadów.

Tabela 2.10 Zakresy oraz typowe wartości opałowe dla niektórych wsadów odpadów w spalarniach.

Rodzaj wsadu	Uwagi oraz przykłady	LHV substancji pierwotnej (w tym jej wilgotność)	
		Zakres (GJ/t)	Średnia (GJ/t)
Zmieszane stałe odpady komunalne (MSW)	Zmieszane odpady z gospodarstw domowych	6.3–10.5	9
Odpady wielkogabarytowe	Meble itp. dostarczane do MSWI	10.5–16.8	13
Odpady podobne do MSW	Odpady podobne do generowanych przez gospodarstwa domowe, ale pochodzące ze sklepów, biur itp.	7.6–12.6	11
Resztkowe MSW po procesach recyklingu	Resztkowe frakcje pozostałe po procesach kompostowania i odzysku materiałów	6.3–11.5	10
Odpady komercyjne	Oddzielnie zebrane frakcje pochodzące ze sklepów, biur itp.	10–15	12.5
Odpady opakowaniowe	Oddzielnie zebrane zużyte opakowania	17–25	20
Paliwo odpadowe RDF	Pellet lub flok wyprodukowany z odpadów innych niż niebezpieczne, komunalnych i podobnych	11–26	18
Specyficzne dla danego produktu odpady przemysłowe	np. pozostałości z przemysłu papierniczego lub tworzyw sztucznych	18 – 23	20
Odpady niebezpieczne	Nazywane również odpadami chemicznymi lub specjalnymi	0.5–20	9.75
Osady ściekowe (szlam kanalizacyjny)	Powstające w procesie przetwarzania ścieków	Zobacz niżej	Zobacz niżej
	Nieprzetworzone (odwodnione do 25% zawartości ciał stałych)	1.7–2.5	2.1
	Przefermentowane (odwodnione do 25% zawartości ciał stałych)	0.5–1.2	0.8

Źródło: [31. Energy subgroup 2003]



Ilustracja 2.28 Wykres przedstawiający zarejestrowane zmiany w ilości odpadów LHV w spalarniach MSWI na przestrzeni 4 lat

2.4.2.2 Wpływ lokalizacji zakładu na odzysk energii

Oprócz jakości odpadów oraz aspektów technicznych, na możliwą efektywność procesu spalania odpadów w dużym stopniu wpływ mają opcje odbioru wyprodukowanej energii. Procesy z opcją dostarczania energii elektrycznej, pary lub ciepła będą mogły w większym stopniu korzystać z wygenerowanego podczas spalania ciepła i nie będą musiały przeprowadzać schładzania, co skutkowałoby obniżeniem efektywności.

Najwyższa efektywność pozyskania energii z odpadów zwykle jest osiągana, gdy ciepło pozyskane z procesu spalania może być stale dostarczane jako ogrzewanie komunalne, para technologiczna, lub w połączeniu z wytwarzaniem energii elektrycznej. Jednakże, wdrożenie takich systemów w dużej mierze zależy od lokalizacji zakładu, a w szczególności od dostępności wiarygodnych odbiorców dostarczanej energii.

W przypadku braku zewnętrznego zapotrzebowania na energię, część z niej jest często wykorzystywana na miejscu do zasilania samego procesu spalania, a tym samym do zmniejszenia ilości importowanej energii do bardzo niskich poziomów. W przypadku spalarni odpadów komunalnych takie wewnętrzne wykorzystanie może wynosić około 10% energii spalanych odpadów.

Systemy chłodnicze służą do kondensacji wody kotłowej celem jej powrotu do kotła.

Procesy, które zostały odpowiednio zlokalizowane w zakresie dostępu do energetycznych sieci dystrybucyjnych (lub indywidualnych synergicznych użytkowników energii) zwiększają prawdopodobieństwo, że zakład spalania będzie osiągał wyższą ogólną wydajność.

2.4.2.3 Czynniki brane pod uwagę przy wyborze projektu cyklu energetycznego

Odnotowano, że następujące czynniki brane są pod uwagę podczas określania lokalnych uwarunkowań projektu nowego zakładu spalania odpadów [51. CNIM 2003].

Tabela 2.11 Czynniki brane pod uwagę przy wyborze projektu cyklu energetycznego dla spalarni odpadów

Czynniki do rozważenia	Szczegółowe aspekty do rozważenia
Wsad odpadów	<ul style="list-style-type: none"> Ilość oraz rodzaj Dostępność, regularność, zmienność w dostawach ze względu na porę roku Możliwość zmiany zarówno ilości jak i rodzaju odpadów Efekt segregacji oraz recyklingu odpadów
Możliwość sprzedaży energii	<p>Ciepło</p> <ul style="list-style-type: none"> Lokalne społeczności np. sieć ciepłownicza Przedsiębiorstwa prywatne Wykorzystanie ciepła np. procesowe, ogrzewanie Ograniczenia geograficzne; dostępność sieci przesyłającej ciepło Popyt, czas trwania kontraktów na dostawy Obowiązek dostępności dostaw, czy istnieje inne źródło ciepła, w przypadku zamknięcia spalarni? Parametry pary wodnej/gorącej wody: ciśnienie (normalne/minimalne), temperatura, prędkość przepływu, powrót kondensatu czy też nie? Sezonowa krzywa popytu Subsydia mogące znacząco wpłynąć na warunki ekonomiczne Udziały odbiorców ciepła w finansowaniu instalacji, bezpieczeństwo (trwałość) zawartych umów na dostawy <p>Energia elektryczna</p> <ul style="list-style-type: none"> Sieć krajowa lub przemysłowa (rzadziej), konsumpcja własna zakładu, konsumpcja własna klientów (np. w zakładach przetwarzających osady ściekowe) Cena energii elektrycznej (znaczący wpływ) Dofinansowanie lub nisko oprocentowane pożyczki (znacznie zwiększają możliwość inwestycji) Uwarunkowania techniczne: napięcie, moc, dostępność sieci przesyłowej
Warunki lokalne	<ul style="list-style-type: none"> Wybór czynnika chłodzącego: powietrze, woda Lokalne warunki meteorologiczne: temperatura, wilgotność (min., maks., średnia, krzywe) Akceptowalność "słupów" odparowujących wodę (chłodnie kominowe); Dostępność źródła zimnej wody: rzeka, morze <ul style="list-style-type: none"> - Temperatura oraz jakość wody - Pompowalna ilość przepływającej wody, w zależności od pory roku - Dopuszczalny wzrost temperatury
Skojarzone wytwarzanie ciepła oraz energii elektrycznej	<ul style="list-style-type: none"> Udział obu mediów w zależności od pory roku Ewentualne zmiany tego udziału w przyszłości
Inne	<ul style="list-style-type: none"> Wybór pomiędzy zwiększeniem produkcji energii, zmniejszeniem kosztów inwestycyjnych, kompleksowością działania, wymogami dostępności itp. Akceptowalny poziom hałasu (chłodnice powietrzne) Dostępny obszar (miejsce na budowę) Ograniczenia architektoniczne
Źródło: [51. CNIM 2003]	

2.4.3 Efektywność energetyczna spalarni odpadów

[29. Energy subgroup 2002]

Aby umożliwić porównanie wydajności energetycznej różnych spalarni odpadów, konieczne jest zapewnienie spójnej metody porównawczej. W szczególności niezbędne jest dokonanie standaryzacji:

- zakresu oceny, czyli jakie elementy zostały uwzględnione a jakie nie;
- metod kalkulacji (obliczania);
- sposobu radzenia sobie z różnymi typami zasilania a także pozyskanej energii, np. ciepło, para, paliwa inne niż z odpadów, produkcja energii elektrycznej, wewnętrzne zużycie energii elektrycznej oraz pary itp.

Kolejne sekcje opisują typowe wsady oraz otrzymywane produkty "widoczne" w wielu spalarniach odpadów.

2.4.3.1 Zewnętrzna energia elektryczna dostarczana do spalarni odpadów

[29. Energy subgroup 2002]

Oprócz energii zawartej w odpadach, istnieją inne wsady do spalarni, które muszą być uwzględnione przy rozpatrywaniu efektywności energetycznej zakładu jako całości.

Wsad energii (energia dostarczana z zewnątrz)

Energia elektryczna potrzebna jest do rozruchu (startu) procesu. Źródło może być zewnętrzne lub pochodzić z obiegu zamkniętego (energia wytworzona i zmagazynowana przez sam zakład).

Wsad pary/ciepła/gorącej wody

W procesie wykorzystać można parę wodną (gorącą wodę lub inny nośnik ciepła). Źródło może być zewnętrzne lub pochodzić z obiegu zamkniętego, czyli z samego zakładu.

Paliwa nieodpadowe (inne niż pochodzące z odpadów)

Paliwa te stosowane są do:

- i. wstępnego podgrzania powietrza potrzebnego do operacji spalania;
- ii. zwiększenia temperatury w komorze spalania do poziomu wymaganego w czasie zapłonu (przed podaniem odpadów);
- iii. zapewnienia wymaganej w komorze spalania temperatury w czasie pracy instalacji;
- iv. zapewnienia wymaganej w komorze spalania temperatury w czasie wyłączania instalacji aż do momentu spalania wszystkich pozostających w komorze odpadów;
- v. podgrzania spalin do temperatury wymaganej w urządzeniach je przetwarzających, takich jak SCR czy filtry workowe;
- vi. podgrzania spalin (np. po płuczce gazowej mokrej) celem uniknięcia korozji w filtrze workowym oraz kominie, a także celem zmniejszenia widoczności wydobywającej się z kominu chmury spalin.

Rozważając ogólną efektywność odzysku energii z odpadów, należy zauważyć, że niektóre z zastosowań paliwa nieodpadowego mogą przyczyniać się do wytwarzania pary, podczas gdy inne, takie jak v. i vi. powyżej, mogą nie przyczyniać się, ponieważ dodają ciepło za kotłem. Należy to wziąć pod uwagę przy obliczaniu wskaźników efektywności energetycznej.

W zakładach zgazowania do odpadów można dodawać paliwa nieodpadowe, takie jak węgiel lub koks, celem uzyskania gazu syntezowego o pożądanym składzie chemicznym i wartości opałowej.

2.4.3.2 Energia wyprodukowana w spalarniach odpadów

Energia elektryczna

Produkcja energii elektrycznej daje się łatwo obliczyć. Jej część może być zużywana podczas procesu spalania.

Paliwa

Paliwo (np. gaz syntezowy) produkowane w zakładach zgazowania/pirolizy może być eksportowane lub spalane na miejscu.

Para/gorąca woda

Ciepło uwalniane podczas spalania odpadów jest często odzyskiwane celem osiągnięcia określonych korzyści, np. celem dostarczenia pary wodnej lub gorącej wody użytkownikom przemysłowym lub domowym, a nawet jako siła napędowa dla systemów chłodzenia.

Zakłady kogeneracji (CHP) dostarczają zarówno ciepła jak i energii elektrycznej.

2.4.4 Procesy stosowane celem usprawnienia odzysku energii

2.4.4.1 Wstępne przetwarzanie wsadu odpadów

Występują dwie podstawowe kategorie technik wstępnego przetwarzania, które są istotne z punktu widzenia odzysku energii:

- homogenizacja;
- ekstrakcja/separacja.

Homogenizacja wsadu odpadów polega na mieszaniu, a czasem rozdrabnianiu, odpadów przyjmowanych w zakładzie celem dostarczenia surowca o stałej jakości spalania.

Główne korzyści to lepsza stabilność procesu oraz bardziej stabilna jakość pary, co pozwala zwiększyć produkcję energii elektrycznej. Uważa się, że ogólne korzyści w zakresie efektywności energetycznej są ograniczone, ale mogą pojawić się oszczędności kosztów oraz inne zyski operacyjne.

Ekstrakcja/separacja polega na usunięciu pewnych frakcji z odpadów przed ich wysłaniem do komory spalania.

Techniki sięgają od rozległych procesów fizycznych do produkcji paliw odpadowych RDF poprzez mieszanie odpadów płynnych celem spełnienia określonych kryteriów jakościowych aż po proste wykrywanie i usuwanie przez operatorów dźwigów dużych przedmiotów, które nie nadają się do spalania, takich jak bloki betonowe czy duże obiekty metalowe. Głównie osiągnane korzyści to:

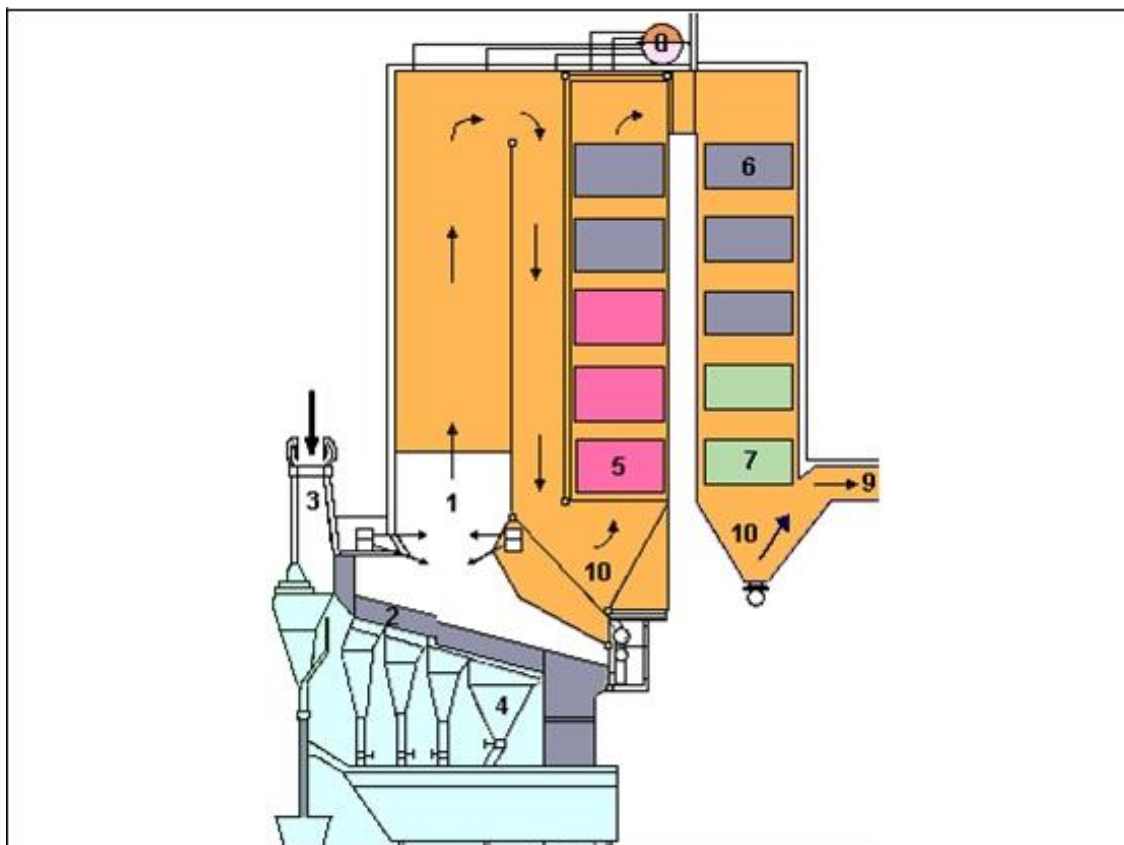
- zwiększona jednorodność, w szczególności w przypadku stosowania bardziej wyszukanych metod przetwarzania wstępnego (zob. poprzednie uwagi dotyczące korzyści związanych z jednorodnością);
- usuwanie przedmiotów wielkogabarytowych - dzięki temu zmniejsza się ryzyko utrudnień i nieplanowanych przestojów;
- ewentualne wykorzystanie złoża fluidalnego lub innych technik mogących poprawić efektywność spalania.

Ekstrakcja, separacja oraz homogenizacja odpadów mogą znacząco poprawić efektywność energetyczną instalacji spalania. Przede wszystkim dlatego, że procesy te mogą znacząco zmienić właściwości odpadów, które ostatecznie zostaną dostarczone do spalania. A to z kolei może sprawić, że proces spalania będzie zaprojektowany tak, aby odpowiadał węższemu zakresowi wsadu odpadów i w związku z tym doprowadzi do optymalizacji działania (przy zmniejszonej elastyczności). Jednakże, z szerszej perspektywy (poza zakresem niniejszego dokumentu), ważne jest, by zauważyć, że techniki wykorzystywane podczas przygotowywania różnych paliw także zużywają energię oraz powodują dodatkowe emisje.

2.4.4.2 Kotły oraz transfer (przesyłanie ciepła)

Do wytwarzania pary i gorącej wody z potencjału energetycznego gorących spalin zazwyczaj wykorzystuje się rurowe kotły wodne. Para lub gorąca woda produkowane są w wiązkach rurek znajdujących się na drodze spalin. Obudowa pieca, wolne przepusty oraz przestrzeń, w której umieszczone są wiązki rur parownika i podgrzewacza, najczęściej wyposaża się w schładzane wodą ściany membranowe.

Przy wytwarzaniu pary najczęściej możliwe jest rozróżnienie pomiędzy trzema obszarami powierzchni cieplnej przedstawionymi na ilustracji 2.29.



Objaśnienia niektórych funkcji wytwornicy pary:

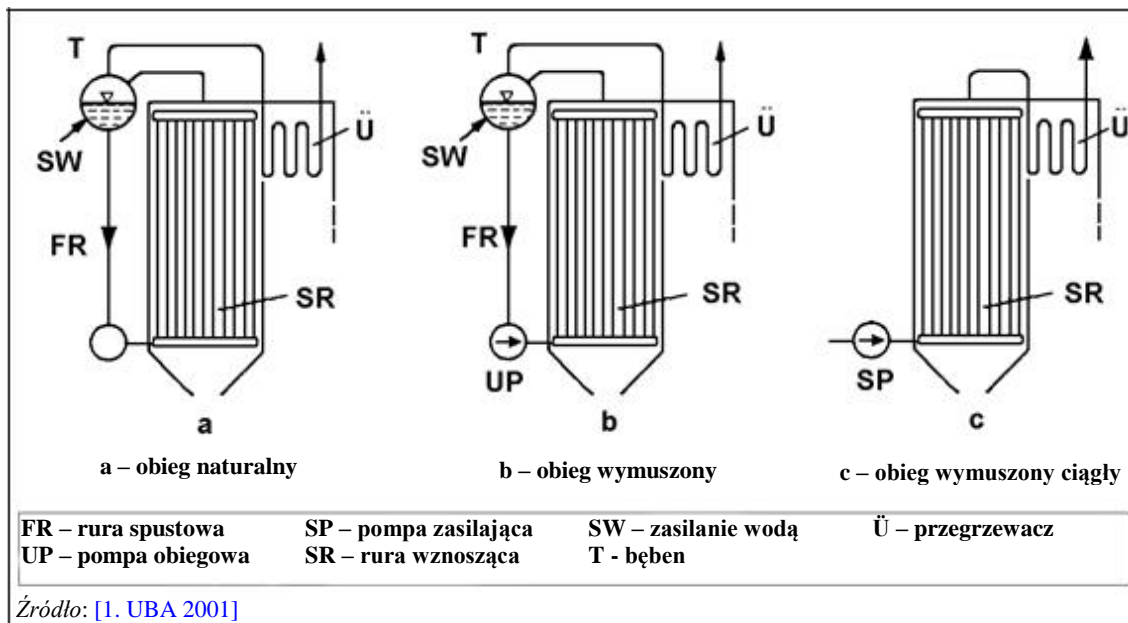
5. Przegrzewacz wytwarzający parę przegrzaną (zazwyczaj wiązka lub grodziowe powierzchnie grzewcze).
6. Parownik, wytwarzający parę nasyconą (wiązka powierzchni grzewczych oplatająca ściany komory spalania).
7. Ekonomizer, wstępne podgrzanie wody zasilającej (wiązka powierzchni grzewczych).

Źródło: [1. UBA 2001]

Ilustracja 2.29 Przedstawienie poszczególnych ogrzewalnych powierzchni w wytwornicy pary

Można wyróżnić następujące tradycyjne systemy odparowywania (zob. ilustracja 2.30):

- **Obieg naturalny.** Przepływ masy wody/pary w parowniku jest utrzymywany dzięki różnej gęstości czynnika w ogrzewanych i nieogrzewanych rurach. Mieszanka wodno-parowa przepływa do bębna - separatora pary, a nasycona para wodna przechodzi następnie przez przegrzewacz.
- **Obieg wymuszony.** Podobny do obiegu naturalnego, ale celem zwiększenia cyrkulacji w parowniku stosuje się dodatkowo pompę obiegową (cyrkulacyjną).
- **Obieg wymuszony ciągły (jednokrotne przejście przez kocioł).** W tym systemie woda zasilająca pompowana jest w sposób ciągły przez ekonomizer, parownik oraz przegrzewacz.



Ilustracja 2.30 Podstawowe systemy przepływu w kotle

Chłodnice natryskowe i powierzchniowe wykorzystywane są w kotłach obiegowych do dokładnego utrzymania wymaganej temperatury. Ich zadaniem jest równoważenie zmian temperatury pary, które są rezultatem zmian właściwości dostarczanego wsadu, jakości odpadów, nadwyżki powietrza, a także zanieczyszczenia powierzchni wymiany ciepła.

Przygotowanie wody zasilającej kocioł oraz wody uzupełniającej ma zasadnicze znaczenie dla efektywnej pracy, zmniejszenia korozji wewnątrz rur a także obniżenia ryzyka uszkodzenia turbiny. Jakość wody kotłowej musi być wyższa w przypadku stosowania podwyższonych parametrów pary.

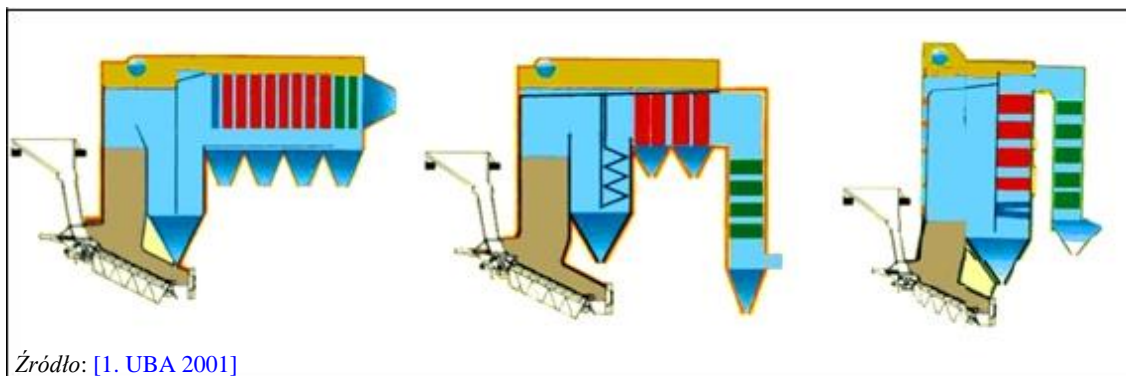
Przy określaniu parametrów pary w kotłach opalanych odpadami wymagany jest kompromis. Dobór wysokich temperatur oraz ciśnienia pary pozwala na lepsze wykorzystanie energii zawartej w odpadach, gdy konstrukcja instalacji jest zorientowana głównie na produkcję energii elektrycznej, ale może prowadzić do znacznie większych problemów z korozją, szczególnie na powierzchniach przegrzewaczy oraz w parowniku. W spalarniach odpadów komunalnych, przy wytwarzaniu energii elektrycznej, powszechnie stosuje się parametry pary: ciśnienie 40 barów i temperatura 400 °C. Stosuje się również wyższe wartości, zwłaszcza w przypadku wstępnie przetworzonych odpadów komunalnych czy też przygotowanego paliwa odpadowego RDF (np. 60 barów i 520 °C w połączeniu ze specjalnymi środkami zapobiegającymi korozji). W przypadku produkcji ciepła może być wytwarzana para o niższych parametrach lub woda przegrzana. Ponieważ parametry pary są stosunkowo niskie w porównaniu z typowymi dla elektrowni opalanej paliwem pierwotnym, w spalarniach stosuje się prawie wyłącznie kotły parowe z obiegiem naturalnym. Pozwala to na uniknięcie ryzyka, w przypadku awarii pompy wody zasilającej, nagłego przerwania transferu ciepła podczas spalania odpadów.

Ważną cechą spalania odpadów jest wysoka zawartość pyłu w spalinach. Separacja grawitacyjna pyłu może być wzmocniona poprzez zaprojektowanie obszarów kotłów o niskich prędkościach przepływu spalin oraz kolankach na drodze ich przepływu.

Wysoka zawartość pyłu w spalinach powoduje jego osadzanie się na powierzchniach wymiany ciepła, co zmniejsza wymianę ciepła oraz ogólną wydajność instalacji. Dlatego też ważną rolę odgrywa oczyszczanie takich powierzchni. Oczyszczanie to może być wykonywane ręcznie lub automatycznie za pomocą lanc (sprężonego powietrza lub strumienia wody), mieszadeł, korzystających z pary dmuchaw do oddzielania sadzy, "gradobicia" pelletem (czasami czyszczenia śrutem), fal dźwiękowych i uderzeniowych, lub za pomocą urządzeń do czyszczenia zbiorników. Powstające resztki stałe są odsysane na dnie kotła jako popiół kotłowy.

W spalarniach odpadów można stosować różne koncepcje budowy kotłów. Pokazano je na ilustracji 2.31. Począwszy od lewej są to:

- horyzontalny układ kotłów;
- kombinacja horyzontalnego i wertykalnego układu kotłów;
- wertykalny układ kotłów.



Źródło: [1. UBA 2001]

Ilustracja 2.31 Przegląd różnych układów kotłów: horyzontalnego, kombinowanego oraz wertykalnego

W układach horyzontalnych oraz wertykalnych, zazwyczaj po kilku pustych przejściach ze ścianami parowymi następuje układ wiązek powierzchni wymiany ciepła, tj. przegrzewacz, parownik i ekonomizer. Wybór realizowanej instalacji zależy od danej koncepcji budowy, wybranych parametrów pary oraz wymagań klienta.

2.4.4.2.1 Korozja w kotłach

[1. UBA 2001]

Korozja powodowana jest przez chemiczny atak spalin oraz cząstek popiołu pochodzących z pieca. Komora spalania, ściany wodne pierwszego pustego przejścia oraz przegrzewacz to elementy kotła najbardziej narażone na korozję.

Erozja, czyli abrazja (ścieranie) materiału powierzchniowego w wyniku zużycia, jest spowodowana przede wszystkim przez cząsteczki popiołu obecne w spalinach. Pojawia się najczęściej w obszarze przekierowania gazów.

Zużycie rur powodowane jest połączeniem korozji oraz ścierania. Korozja pojawia się na czystych powierzchniach metalowych. Jeśli produkty korozji osadzają się jako warstwa na powierzchni rury (warstwa tlenku), działają jako warstwa ochronna i spowalniają korozję. Jeśli ta warstwa ochronna w wyniku erozji zużyje się i ponownie pojawi się powierzchnia metaliczna, cały proces rozpoczyna się od nowa.

Spójne omówienie procesów korozyjnych jest trudne, ponieważ parametry fizyczne, chemiczne, metalurgiczne i krystalograficzne, a także właściwości techniki spalania oddziałują wzajemnie na siebie.

Wyróżnia się różne typy korozji spowodowanej spalinami:

- Korozja wysokotemperaturowa podczas procesu rozpalania.
- Korozja początkowa. Ograniczone czasowo tworzenie się chlorku żelaza przed uformowaniem się pierwszej warstwy utlenionej na "czystej" stali, podczas rozruchu. Reakcja ta zachodzi powtórnie po usunięciu warstwy ochronnej przez erozję;
- Korozja przy niedoborze tlenu. Powodowana przez formowanie się FeCl_2 w odtlenionej atmosferze spalinowej, np. pod cienkimi warstwami utlenionego, skażonego lub ognioodpornego materiału oraz wewnątrz pieca. FeCl_2 jest wystarczająco lotny w temperaturach wykorzystywanych podczas spalania odpadów i dlatego jest aktywny. Wskaźnikiem dla tego typu korozji jest obecność CO (co tłumaczy często stosowany, choć

błędny termin – korozja CO). Sytuacja mikroskopowa na granicy pomiędzy materiałem a pokrywającą go warstwą ma decydujące znaczenie. Korozja jest obserwowana w poszczególnych przypadkach już przy ciśnieniu pary przekraczającym 30 barów, ale najczęściej gdy jest to powyżej 40 barów. Stopień skorodowania wzrasta wraz z temperaturą metalu. Produkty korozji objawiają się w postaci złuszczonej warstwy.

- Wysokotemperaturowa korozja chlorkowa. Korozja spowodowana obecnością chloru, który uwalnia się podczas zasiarczania chlorków alkalicznych, atakując następnie wodorotlenki ołowiu lub żelaza. Taki mechanizm korozyjny obserwowany jest w instalacjach spalania odpadów, gdzie temperatura spalin przekracza 700 °C a temperatura w rurach ściennych jest wyższa niż 400 °C. Produkty korozji można zaobserwować jako czarne mocno zwarte pęcherze zawierające higroskopijną powłokę czerwonego FeCl_3 w grubszych warstwach.
- Korozja stopionych soli. Spaliny zawierają zasady oraz podobne składniki, które mogą tworzyć związki eutektyczne o niższej temperaturze topnienia niż poszczególne ich składniki. Te stopione związki są wysoce reaktywne i mogą powodować poważną korozję stali. Mogą reagować z okładziną ogniotrwałą i prowadzić do wewnętrznego tworzenia się takich związków jak kalsilit, leucyt i sanidyna, które mechanicznie niszczą materiały ogniotrwałe. Mogą również tworzyć stopy o niskiej lepkości na powierzchni składającej się z osadzonego materiału i materiału ogniotrwałego (tzw. korozja elementów ogniotrwałych). [64. TWG 2003], [74. TWG 2004]
- Korozja elektrochemiczna. Opiera się na wyrównywaniu potencjałów elektrycznych różnych materiałów. Przewodnik może mieć formę płynną lub stałą charakteryzującą się wystarczającą przewodnością w obserwowanej temperaturze. Przewodnictwo może występować począwszy od temperatury punktu rosy wody aż po temperaturę punktu rosy kwasu siarkowego lub stopionych soli;
- Korozja przestojowa. Ze względu na dużą zawartość chlorków (zwłaszcza CaCl_2) osady mają właściwości higroskopijne. Wilgoć zawarta w powietrzu rozpuszcza te składniki i powoduje chemiczny rozpad widoczny na materiale.
- Korozja w punkcie rosy. Gdy temperatura spada poniżej punktu rosy kwasu, na zimnych powierzchniach pojawia się mokra korozja chemiczna. Uszkodzeń tych można uniknąć poprzez podniesienie temperatury lub dobranie odpowiednich materiałów.

W rzeczywistości, z punktu widzenia termodynamiki, pewien stopień korozji jest nieunikniony. Środki zaradcze pomagają tylko zmniejszyć, do akceptowalnego poziomu, uszkodzenia spowodowane korozją. Przyczyny korozji wymagają konstrukcyjnych oraz operacyjnych środków zaradczych. Możliwości poprawy można znaleźć przede wszystkim w wytwornicy pary. Niskie parametry pary, długi czas reakcji zanim spaliny wejdą w kontakt z powierzchniami cieplnymi, obniżenie prędkości spalin oraz wyrównanie profilu prędkości mogą być skuteczne. Do zabezpieczenia powierzchni cieplnych można również zastosować powłoki ochronne, oprzyrządowanie, wytłoczki oraz deflektory.

Przy określaniu częstotliwości czyszczenia kotła należy znaleźć kompromis pomiędzy najlepszą możliwą wymianą ciepła (metalowa powierzchnia rury) a optymalną ochroną antykorozyjną.

2.4.4.3 Wstępne podgrzanie powietrza spalającego

Wstępne podgrzanie powietrza spalającego jest korzystne przede wszystkim w przypadku spalania odpadów o dużej zawartości wody. Wstępnie podgrzane powietrze osusza odpady, a tym samym ułatwia ich zapłon. Dostarczane ciepło może być pozyskiwane ze spalania odpadów za pomocą systemów wymiany ciepła.

Wstępne podgrzanie pierwotnego powietrza spalającego może mieć pozytywny wpływ na ogólną efektywność energetyczną, w przypadku produkcji energii elektrycznej.

2.4.4.4 Ruszty chłodzone wodą

Chłodzenie rusztów wodą służy ich ochronie. Woda jest używana, jako czynnik chłodniczy, do wychwytywania ciepła z palącego się złoża odpadów i wykorzystania go w innym miejscu procesu. Często zdarza się, że usunięte ciepło jest odprowadzane z powrotem do procesu celem wstępnego podgrzania powietrza spalającego (pierwotnego i/lub wtórnego) lub podgrzania kondensatu. Inną możliwością jest bezpośrednie włączenie systemu chłodzenia wodą do obwodu kotła celem wykorzystania go jako parownika.

Ruszty stosuje się tam, gdzie wartość opałowa odpadów jest wyższa, zazwyczaj powyżej 10 MJ/kg. Obserwowany w Europie wzrost wartości opałowej odpadów komunalnych zwiększył zastosowanie tej techniki.

Istnieją inne powody stosowania rusztów chłodzonych wodą - zostały omówione w sekcji 2.3.1.2.

2.4.4.5 Kondensacja spalin

[\[5. RVF 2002\]](#)

Na zawartość wody w spalinach składa się odparowana z paliwa woda, woda z reakcji utleniania wodoru, a także para wodna z powietrza do spalania. Przy spalaniu odpadów zawartość wody w spalinach za kotłem i ekonomizerem waha się zazwyczaj od 10% do 20% obj., co odpowiada punktowi rosy wody o temperaturze około 50-60 °C. Podczas czyszczenia kotła parą wodną zawartość wody w spalinach wzrasta do około 25%.

Minimalna możliwa temperatura suchego gazu wynosi 130-140 °C przy zastosowaniu zwykłych materiałów konstrukcyjnych kotła. Temperatura ta wynika głównie z konieczności przekroczenia punktu rosy kwasu, który jest związany z zawartością SO₃ i wody w spalinach.

Niższe temperatury skutkują korozją. Efektywność cieplna kotła (para wodna lub gorąca woda z odpadów), obliczona na podstawie wartości opałowej wsadu odpadów, będzie w tych warunkach wynosić około 85%. Jeśli jednak w spalinach znajdzie się więcej dostępnej energii, powstanie para wodna o utajonej energii właściwej około 2 500 kJ/kg oraz suchy gaz o ciepłe właściwym około 1 kJ/(kg °C).

Woda powrotna z systemu ciepłowniczego o temperaturze 40-70 °C (w zależności od konfiguracji systemu) może zostać wykorzystywana bezpośrednio do chłodzenia i kondensacji pary wodnej w spalinach. System ten jest powszechnie stosowany w instalacjach spalających biopaliwo, które zazwyczaj jest bardzo wilgotne i daje punkt rosy wody w spalinach w temperaturze 60-70 °C.

Kondensacja może być skuteczna tylko wtedy, gdy istnieje stosunkowo duża różnica temperatur pomiędzy punktem rosy wody zawartej w spalinach a wodą chłodzącą (zwykle jest to woda powrotna z systemu ciepłowniczego). Jeśli ten warunek nie jest spełniony, można zainstalować pompy ciepła (zob. sekcja 2.4.4.6).

Należy zauważyć, że w tym przypadku to właśnie powrót schłodzonej wody grzewczej zapewnia energię do kondensacji spalin. Taka sytuacja występuje prawdopodobnie tylko w regionach o niższych temperaturach otoczenia, głównie w Europie Północnej.

2.4.4.6 Pompy ciepła

[\[5. RVF 2002\]](#)

Głównym celem pomp ciepła jest przekształcenie energii z jednego poziomu temperatury na wyższy. Istnieją trzy różne typy pomp ciepła, które pracują w instalacjach spalania. Zostały opisane poniżej wraz z przykładami.

2.4.4.6.1 Sprężarkowe pompy ciepła

Jest to najbardziej znana pompa ciepła, instalowana np. w lodówkach, klimatyzatorach, agregatach chłodniczych, osuszaczach, pompach ciepła wykorzystujących ciepło pochodzące z ziemi lub powietrza. Zazwyczaj pompa ta napędzana jest silnikiem elektrycznym, ale w przypadku dużych instalacji można zastosować sprężarki z turbiną parową.

W obiegu zamkniętym czynnik chłodniczy (np. freon R134a) przepływa przez skraplacz, ekspander, parownik i kompresor. Kompresor spręża substancję, która skrapla się w wyższej temperaturze i dostarcza ciepła do sieci ciepłowniczej. Tam substancja jest zmuszana do rozprężania się celem uzyskania niskiego ciśnienia, co powoduje jej odparowanie i pochłanianie ciepła z wody pochodzącej ze skraplacza spalin, przy niższej temperaturze. W ten sposób energia zawarta w wodzie pochodzącej ze skraplacza spalin (o niskiej temperaturze) zostaje przekształcona w system ciepłowniczy o wyższej temperaturze. W typowych warunkach spalania stosunek ciepła wyjściowego do mocy sprężarki (stosunek ciepła do mocy) może wynosić nawet 5. Sprężarkowa pompa ciepła może wykorzystać bardzo dużą część energii spalin.

2.4.4.6.2 Absorpcyjne pompy ciepła

Podobnie jak w przypadku sprężarkowych pomp ciepła, absorpcyjne pompy ciepła pierwotnie opracowano z myślą o chłodzeniu. Komercyjne pompy ciepła pracują z wodą w obiegu zamkniętym poprzez generator, skraplacz, parownik oraz absorber. Zamiast sprężania, obieg jest utrzymywany przez absorpcję (w absorberze) wody w roztworze soli, zwykle bromku litu. Rozcieńczony roztwór wodny/solny jest następnie pompowany do generatora. Tam woda jest odparowywana za pomocą gorącej wody lub pary niskociśnieniowej, a następnie skrapla się w skraplaczu w wyższej temperaturze. Ciepło przekazywane jest do sieci ciepłowniczej. Stężony roztwór soli jest cyrkulowany z powrotem do absorbera. Proces kontrolowany jest przez ciśnienie w instalacji, w zależności od ciśnienia pary cieczy, wody i bromku litu.

Zużycie energii elektrycznej jest bardzo niskie, ograniczone do małej pompy pomiędzy absorberem a generatorem, a ruchomych części jest niewiele. Stosunek ciepła wyjściowego do mocy absorbera wynosi zazwyczaj około 1.6.

2.4.4.6.3 Otwarte pompy ciepła

Zasada działania otwartej pompy ciepła polega na zmniejszeniu zawartości wody w spalinach za pomocą wymiennika ciepła i wilgoci z powietrza jako medium pośredniego.

Wyższa zawartość wody w spalinach w skraplaczu oznacza wyższy punkt rosy wody oraz większą różnicę pomiędzy punktem rosy wody i punktem rosy wody powracającej z sieci ciepłowniczej.

2.4.4.6.4 Przykładowe dane różnych typów pomp ciepła

Poniższa tabela została zestawiona na podstawie danych z trzech różnych zakładów w Szwecji, z których każdy wykorzystuje inny typ z opisanych powyżej pomp ciepła.

Jak wynika z tabeli, stosowanie pomp ciepła zużywa energię elektryczną, w związku z czym zmniejsza się produkcja energii elektrycznej netto. Zwiększa się za to produkcja ciepła.

Tabela 2.12 Przykładowe dane przedstawiające różnice w produkcji ciepła i energii elektrycznej w trzech różnych zakładach w Szwecji przy zastosowaniu różnych typów pomp ciepła

	Przykład 1	Przykład 2	Przykład 3
Typ pompy ciepła	Sprężarkowa	Absorpcyjna	Otwarta
Produkcja ciepła netto - z pompą ciepła	82	80	81
Produkcja ciepła netto - bez pompy ciepła	60	63	70
Zmiana w produkcji ciepła	+37 %	+28 %	+16 %
Produkcja energii elektrycznej netto - z pompą ciepła	15	15	0
Produkcja energii elektrycznej netto - bez pompy ciepła	20	19	0
Zmiana w produkcji energii elektrycznej	-25 %	-21 %	0
Uwaga. Dane odnoszą się do energii wejściowej (dostarczanej) równej 100, dlatego wszystkie liczby są wartościami procentowymi. W przykładzie 3 nie następuje produkcja energii elektrycznej.			
Źródło: [5. RVF 2002]			

2.4.4.7 Recyrkulacja spalin

Część (ok. 10-20% obj.) (zwykle oczyszczonych) spalin jest recykulowana, zwykle po wstępnym odpyleniu, zastępując dopływ wtórnego powietrza do komory spalania.

Technika ta ma na celu zmniejszenie, za pomocą spalin, strat ciepła oraz zwiększenie efektywności energetycznej procesu o około 0.75-2%. Zgłaszane są również dodatkowe korzyści wynikające z redukcji NO_x.

Izolacja przewodów recyrkulacyjnych jest uważana za skuteczne remedium na problemy związane z korozją w tym obszarze.

2.4.4.8 Odzysk ciepła wykorzystywanego do ponownego ogrzania spalin do temperatury pracy urządzeń FGC

Niektóre urządzenia do kontroli zanieczyszczeń powietrza, aby umożliwić ich skuteczne działanie, wymagają podgrzania spalin. Przykładem mogą być systemy SCR oraz filtry workowe, które na ogół wymagają temperatury w zakresie odpowiednio 200-250 °C i 140-190 °C.

Energia do podgrzania gazów może być uzyskana z:

- zewnętrznych źródeł energii (np. ogrzewania elektrycznego, palników gazowych lub olejowych);
- wykorzystania ciepła lub mocy wytworzonej w procesie (np. wycieki pary z turbiny).

Użycie wymienników ciepła do jego przechwytywania po przejściu przez urządzenia zmniejsza zapotrzebowanie na energię zewnętrzną. Czynności te są wykonywane, gdy następny etap procesu nie wymaga, by temperatura spalin była równie wysoka jak ta emitowana z wcześniejszych urządzeń.

2.4.4.9 Usprawnienie cyklu para-woda - wpływ na wydajność oraz inne aspekty

Wybór cyklu para-woda będzie miał na ogół znacznie większy wpływ na efektywność energetyczną instalacji niż poprawa poszczególnych elementów systemu, a tym samym daje największą szansę na większe wykorzystanie energii z odpadów.

Poniższa tabela zawiera przykłady technik stosowanych celem poprawy odzyskiwania energii w komunalnym zakładzie odzysku energii, wraz z oszacowaniem ich skuteczności, zalet i wad. Podane liczby zostały obliczone dla jednego przykładowego zakładu, który wytwarzał tylko energię elektryczną [50. CNIM 2003].

Tabela 2.13 Poprawa cyklu para-woda - wpływ na wydajność oraz inne aspekty

Technika	Zwiększenie zysku energetycznego netto (dane szacunkowe) i inne korzyści	Wady
Zwiększenie ciśnienia pary	3% dla 60 barów zamiast 40 barów	I. Zwiększenie nakładów inwestycyjnych II. Nieznaczne zwiększenie ryzyka korozji
Zmniejszenie podciśnienia na wylocie z turbiny (np. do poprawy podciśnienia można zastosować hydro-kondensator)	1–2% dla redukcji o 20 mbar	III. Znaczący wzrost kosztów inwestycji (powierzchnia skraplacza powietrza: + 10 % pomiędzy 120 mbar a 110 mbar przy temperaturze powietrza 15 °C) IV. Zwiększenie rozmiarów oraz natężenia hałasu V. Niepewność co do zobowiązań dostawców w zakresie bardzo niskiego ciśnienia
Ogrzewanie powietrza wtórnego	0.7–1.2%	VI. Wzrost kosztów oraz większa złożoność projektu w przypadku stosowania dwóch wentylatorów
2-stopniowa nagrzewnica powietrza (tj. 2 odpowietrzniki na turbinie)	1–1.5%	VII. Wzrost kosztów VIII. wymagane więcej miejsca
Dodanie podgrzewania kondensatu	0.5–1.2 %	IX. Koszt wyposażenia i orurowania X. Niezbyt odpowiednie dla małych instalacji TG XI. Problemy z korozją mogą wystąpić w szczególności podczas faz przejściowych (rozruch, wyłączenie itp.).
Recykling części spalin	0.75–2% dla spadku suchego O ₂ o 1% ----- Spadek poziomu NO _x o około 100 mg/Nm ³	XII. Wzrost kosztów inwestycyjnych XIII. Spadek O ₂ zmniejsza korzyści z recyklingu spalin XIV. Problemy z korozją mogą wystąpić w szczególności podczas faz przejściowych (rozruch, wyłączenie itp.).
Redukcja temp. spalin na wyjściu z kotła	0.4–0.7% dla każdego obniżenia temp. o 10 °C w zakresie pomiędzy 190 °C i 140 °C	XV. Temperatura na wyjściu z kotła określana jest zgodnie z typem systemu FGT
Wykorzystanie SNCR pozbawionego NO _x zamiast SCR	3–6 % w zależności od zastosowanego procesu	XVI. Zobacz opracowania o SCR oraz SNCR pozbawionego NO _x
Optymalizacja wyboru zestawu TG	Natychmiastowo 1 do 2%, ale znacznie większa różnica w długim okresie czasu w przypadku niskiej dostępności	XVII. Niektóre zestawy TG mają wyższą efektywność w warunkach nominalnych, ale mniejszą niezawodność, dostępność i/lub elastyczność przy częściowym obciążeniu.
Redukcja zawartości O ₂ w spalinach o 1% (w zakresie 6 – 10%)	Wzrost 1–2 %	XVIII. Wraz ze zmniejszeniem zawartości O ₂ może wzrastać CO XIX. Mniejsza zawartość tlenu może spowodować wzrost ryzyka korozji

Źródło: [50. CNIM 2003]

2.5 Stosowane systemy oczyszczania i kontroli spalin

2.5.1 Podsumowanie stosowanych technik FGC

Systemy oczyszczania spalin składają się z szeregu pojedynczych procesów technologicznych, które łącznie tworzą całościowy proces ich przetwarzania. Stosowane systemy różnią się od siebie w zależności od strumienia odpadów. W niniejszym rozdziale przedstawiono opis poszczególnych jednostek procesowych, zorganizowanych według substancji, na które oddziałują w pierwszej kolejności.

Niektóre techniki oczyszczania spalin zostały już szczegółowo wyjaśnione w dokumencie referencyjnym dotyczącym najlepszych dostępnych technik w zakresie wspólnych systemów oczyszczania ścieków i gazów odlotowych w sektorze chemicznym (BREF CWW), opublikowanym w lipcu 2016 roku.

W tabeli 2.14 przedstawiono podsumowanie stosowania niektórych systemów w sektorze spalania odpadów w oparciu o zakłady uczestniczące w gromadzeniu danych. [\[81. TWG 2016\]](#)

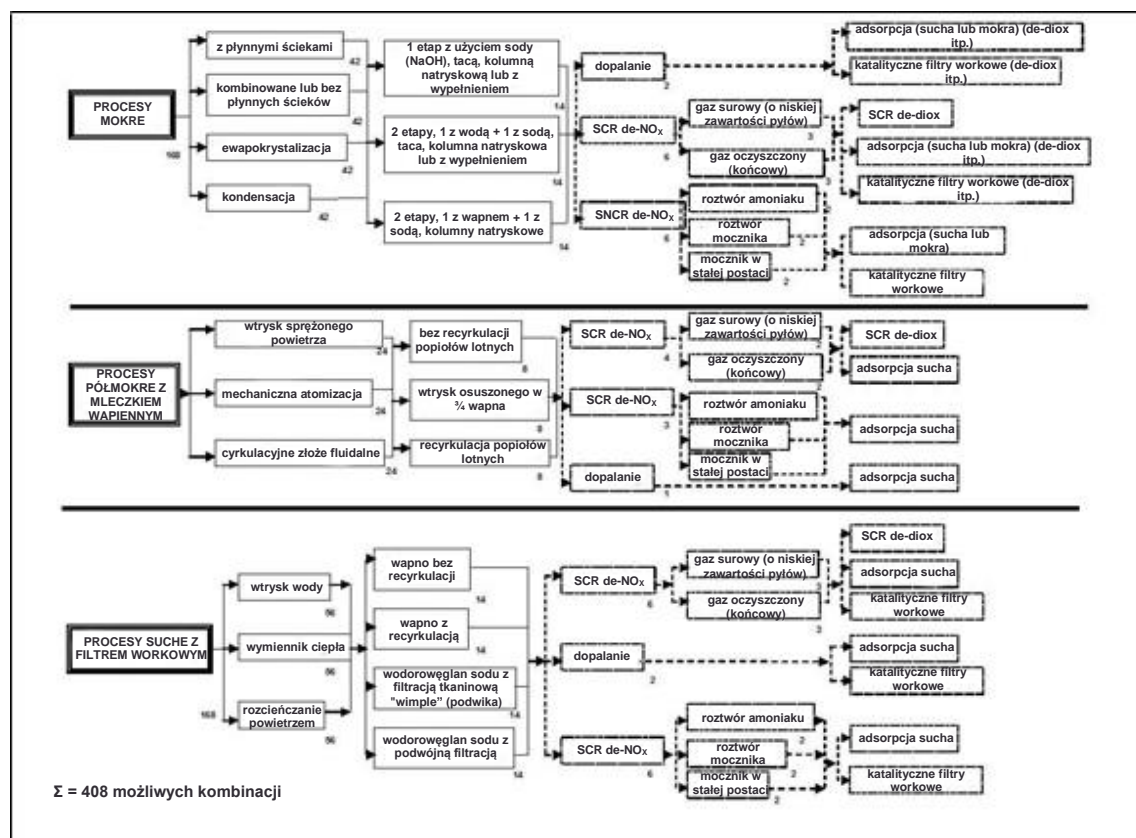
Tabela 2.14 Podsumowanie głównych systemów FGC stosowanych w instalacjach WI, uczestniczących w gromadzeniu danych w 2016 r.

Państwo	Ilość instalacji WI z różnymi systemami oczyszczania spalin											
	Redukcja kwasów						Redukcja pyłów			Redukcja NO _x		
	DSI	Semi-WS	WS	DSI oraz WS	Semi-WS oraz WS	DSI oraz Semi-WS	ESP	ESP oraz BF	BF	SNCR	SNCR oraz SCR	SCR
Austria	1	1	5	7	0	0	4	1	9	0	0	14
Belgia	1	0	4	6	1	4	7	8	2	10	0	8
Czechy	0	0	0	0	0	2	0	0	2	2	0	0
Dania	2	0	1	4	0	0	0	3	3	7	0	0
Finlandia	3	0	0	4	0	1	0	3	5	7	0	1
Francja	30	2	18	8	4	8	19	17	38	33	0	30
Niemcy	22	5	39	32	0	11	39	25	46	43	3	53
Węgry	0	2	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0
Włochy	26	0	2	5	0	0	0	13	20	9	13	11
Holandia	1	0	2	3	0	0	1	3	2	2	0	4
Norwegia	0	0	0	6	0	0	2	1	3	5	0	1
Polska	7	0	1	1	0	0	1	2	4	5	3	0
Portugalia	0	0	0	0	0	7	0	0	7	7	0	0
Hiszpania	4	1	1	0	0	12	1	1	16	8	0	10
Szwecja	1	0	2	4	0	0	2	0	5	5	0	1
Wlk. Brytania	14	2	4	6	0	3	1	4	24	25	0	0
Razem	112	12	79	86	5	49	77	81	188	170	19	133

Uwagi:
DSI = wtrysk suchego sorbentu; Semi-WS = płuczka gazowa półmokra; WS = płuczka gazowa mokra; BF = filtr workowy.
2. Stosowane są inne kombinacje jednostek FGC, ale nie ujęto ich w tabeli.
Źródło: [\[81. TWG 2016\]](#)

2.5.2 Przegląd kombinowanych systemów FGC

Poszczególne elementy systemu FGC łączone są ze sobą, aby zapewnić skuteczny, całościowy układ oczyszczania zanieczyszczeń znajdujących się w spalinach. Istnieje wiele pojedynczych elementów oraz konstrukcji, które mogą być ze sobą łączone na wiele różnych sposobów. Poniższa ilustracja przedstawia przykładowe opcje oraz ich możliwe kombinacje. Widać, że w tej klasyfikacji istnieje w sumie 408 różnych kombinacji systemów.



Ilustracja 2.32 Przegląd potencjalnych kombinacji systemów FGC

2.5.3 Techniki redukcji emisji pyłów

[1. UBA 2001]

Wybór urządzeń do oczyszczania spalin z pyłów zależy przede wszystkim od:

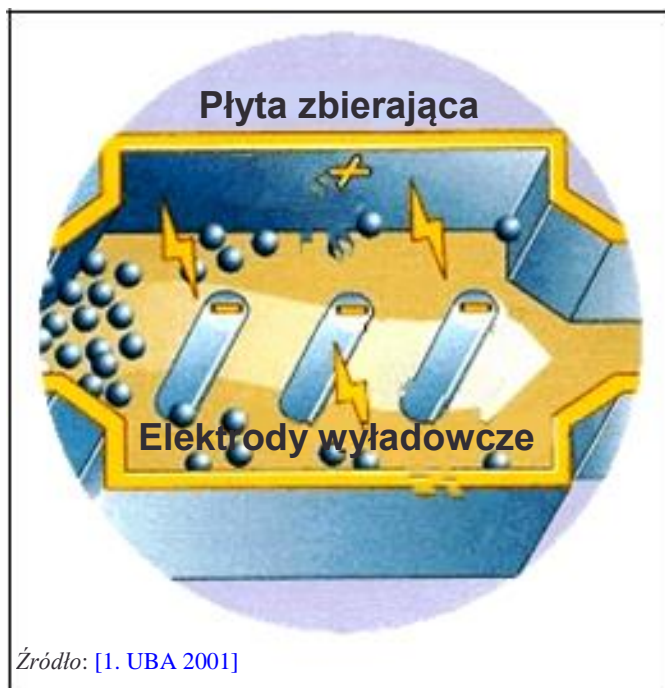
- zawartości pyłu w strumieniu gazu;
- średniej wielkości cząsteczek pyłu;
- rozkładu wielkości cząsteczek pyłu;
- natężenia przepływu gazu;
- temperatury spalin;
- kompatybilności z innymi komponentami systemu FGC (tzn. ogólna optymalizacja);
- wymaganej koncentracji pyłu na wyjściu z systemu.

Niektóre parametry rzadko są dokładnie znane (np. rozkład wielkości cząstek pyłu lub ich średnia wielkość) i z reguły są to dane uzyskane w sposób empiryczny. Dostępne możliwości przetwarzania lub usuwania zgromadzonych substancji mogą również wpływać na wybór systemu FGC, tzn. jeśli istnieje ujęcie do przetwarzania i wykorzystania popiołu lotnego, może on być zbierany oddzielnie, a nie razem z pozostałościami z FGC. [74. TWG 2004]

2.5.3.1 Filtry elektrostatyczne (elektrofiltry, ESP)

[1. UBA 2001]

Skuteczność odpylania elektrofiltrów zależy głównie od oporności elektrycznej pyłu. Jeżeli oporność warstwy pyłu wzrośnie do wartości powyżej ok. 10^{11} - 10^{12} Ωcm , efektywność usuwania pyłu ulega zmniejszeniu. Na rezystywność warstwy pyłu wpływ ma skład odpadów. Dlatego może się ona szybko zmieniać wraz ze zmieniającym się składem odpadów, szczególnie w przypadku spalania odpadów niebezpiecznych. Siarka w odpadach (oraz zawartość wody w temperaturach roboczych poniżej 200 °C [64. TWG 2003]) często obniża oporność warstwy pyłowej poprzez wytwarzanie SO_2 (SO_3) w spalinach, a tym samym ułatwia jej odkładanie się w polu elektrycznym.



Ilustracja 2.33 Zasada działania filtra elektrostatycznego (elektrofiltra)

W przypadku osadzania się drobnego pyłu i aerozoli, instalacje, które podtrzymują działanie pola elektrycznego poprzez tworzenie kropeł w spalinach (wstępnie zainstalowane osadniki kondensacyjne oraz filtry elektrostatyczne mokre, filtry elektrostatyczne kondensacyjne, elektrodynamiczne płuczki Venturiego, jonizowane chłodnice natryskowe) mogą poprawić wydajność usuwania.

Typowe temperatury robocze elektrofiltrów to 160-260 °C. Z reguły unika się pracy w wyższych temperaturach (np. powyżej 250 °C), ponieważ może to zwiększać ryzyko powstania PCDD/F.

2.5.3.2 Filtry elektrostatyczne mokre

Elektrofiltry mokre oparte są na tej samej zasadzie technologicznej co filtry elektrostatyczne. W tej konstrukcji jednak wytrącony na płytach kolektorów pył jest wmywany za pomocą cieczy, najczęściej wody. Może się to odbywać w sposób ciągły lub okresowy. Technika ta działa zadowalająco w przypadkach, gdy do elektrofiltra trafiają wilgotne lub chłodniejsze spaliny. [1. UBA 2001]

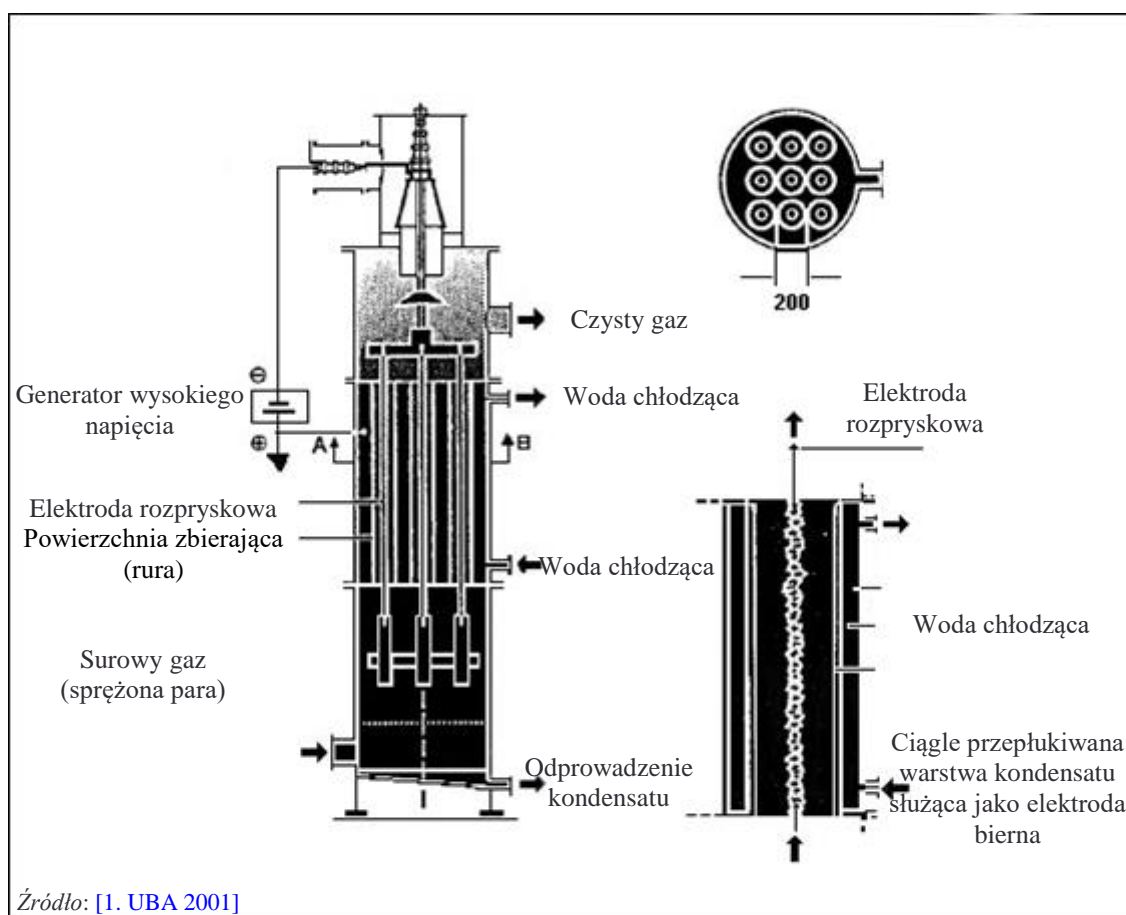
2.5.3.3 Filtry elektrostatyczne kondensacyjne

Elektrofiltr kondensacyjny stosowany jest do gromadzenia bardzo drobnych, stałych, ciekłych lub lepkich cząstek, na przykład istniejących w spalinach ze spalarni odpadów niebezpiecznych.

W przeciwieństwie do konwencjonalnych elektrofiltrów mokrych, powierzchnie gromadzące elektrofiltrów kondensacyjnych składają się z pionowych rurek z tworzywa sztucznego ułożonych w wiązki, które są zewnętrznie schładzane wodą. [1. UBA 2001]

Zawierające pył spaliny są najpierw schładzane do temperatury punktu rosy poprzez bezpośredni wtrysk wody, a następnie nasycają parą wodną. W wyniku kondensacji pary wodnej na wewnętrznej powierzchni rur powstaje cienka, gładka warstwa cieczy, która schładza gazy w rurach odprowadzających. Zostaje ona uziemiona elektrycznie i służy tym samym jako elektroda bierna.

Cząsteczki są osadzane pod wpływem pola elektrycznego pomiędzy elektrodami wyładowczymi zawieszonymi w osiach rurek a ciągle przepływającą warstwą kondensacyjną. Jednocześnie warstwa kondensacyjna powoduje również ciągłe usuwanie zgromadzonych w obszarze osadzania cząstek. Nawet nierozpuszczalny w wodzie pył oraz słabo nasiąkliwa wilgocią sadza zostają wymyte. Stale odnawiane nawilżanie zapobiega powstawaniu suchych plam i przywieraniu mogącemu powodować iskrzenie (wyładowania elektryczne pomiędzy elektrodami). Zapobieganie iskrzeniu pozwala na uzyskanie wyższego napięcia osadzania, co z kolei prowadzi do poprawy i ciągłej wysokiej wydajności osadzania (zob. ilustracja 2.34).



Ilustracja 2.34 Filtr elektrostatyczny kondensacyjny

2.5.3.4 Jonizacyjna płuczka gazowa mokra

Celem jonizacyjnej płuczki gazowej mokrej (IWS) jest usunięcie różnego rodzaju zanieczyszczeń z przepływających spalin [1. UBA 2001]. IWS łączy w sobie następujące zasady:

- elektrostatyczne ładowanie cząstek, przyciąganie oraz osadzanie aerozoli (cząsteczki mniejsze niż $5\ \mu\text{m}$);
- pionowe osadzanie cząstek gruboziarnistych, ciekłych i stałych (cząsteczki większe niż $5\ \mu\text{m}$); oraz

- absorpcja gazów niebezpiecznych, powodujących korozję oraz wydzielających odory.

System IWS jest połączeniem filtra elektrostatycznego i płuczki z wypełnieniem. Wymaga niewielkiej ilości energii i charakteryzuje się wysoką wydajnością osadzania cząstek w zakresie sub-mikronowym i mikronowym.

Strefa wysokiego napięcia instalowana jest przed każdym etapem wieży z wypełnieniem. Funkcją strefy wysokiego napięcia jest jonizacja cząstek (pyłów, aerozoli, cząstek sub-mikronowych) zawartych w spalinach. Ujemnie naładowane cząstki wywołują przeciwstawne ładunki na neutralnej powierzchni zwilżonego materiału wypełniającego oraz opadających kroplach wody. Są one przyciągane do powierzchni cieczy, a następnie wymywane w sekcji wypełniacza. Określane to jest jako obraz/siła przyciągania (ang. *Image/Force attraction, IF attraction*), czyli przyciąganie dzięki przesunięciu elektronów. Gazy niebezpieczne, powodujące korozję oraz wydzielające odory również ulegają wchłonięciu i chemicznemu związaniu przez ciecz płuczki, a następnie są odprowadzane razem z oczyszczonymi przez płuczkę ściekami.

Inny rodzaj jonizacyjnej płuczki gazowej mokrej obejmuje także zwężkę (system Venturiego). Zmiany ciśnienia, które zachodzą w zwężce, pozwalają na rozrost drobnych cząstek oraz ich ładowanie przez elektrodę. Następnie są one zbierane przez gęstą warstwę kropeł wody wyrzucanych przez dyszę, służącą jako elektroda zbierająca. [\[74. TWG 2004\]](#)

2.5.3.5 Filtry workowe

Filtry workowe, zwane również filtrami tkaninowymi, są bardzo szeroko stosowane w spalarniach odpadów. Ich efektywność filtracji jest bardzo wysoka i to w szerokim zakresie rozmiarów cząsteczek. W przypadku cząstek o rozmiarze poniżej 0.1 mikrona efektywność tych filtrów spada, ale procent cząstek o takich parametrach występujący w strumieniu spalin z zakładu WI jest stosunkowo niski. Dzięki technologii filtrów workowych osiągnięto niską emisję pyłów. Filtry mogą być również stosowane po ESP oraz płuczkach gazowych mokrych. [\[74. TWG 2004\]](#)

Kompatybilność medium filtracyjnego z właściwościami spalin i pyłu oraz temperatura procesowa filtra są ważne dla efektywnego działania. Medium filtracyjne powinno posiadać odpowiednie właściwości w zakresie odporności termicznej, fizycznej i chemicznej (np. hydroliza, kwasy, zasady, utlenianie). Prędkość przepływu gazu określa właściwą wielkość powierzchni filtrującej, czyli prędkość filtracji.

Naprężenia mechaniczne i termiczne działające na materiał filtracyjny decydują o żywotności, energii i wymaganiach dotyczących konserwacji.

W trybie pracy ciągłej, na skutek osadzania się cząstek stałych, następuje stopniowa utrata ciśnienia na medium filtracyjnym. W przypadku stosowania suchych systemów sorpcyjnych, tworzenie się placka na nośniku pomaga w usuwaniu kwasów. Ogólnie rzecz biorąc, różnica ciśnień na filtrze wykorzystywana jest do monitorowania potrzeby jego czyszczenia. W przypadku osiągnięcia zalecanego czasu eksploatacji lub w przypadku nieodwracalnych uszkodzeń (np. rosnąca utrata ciśnienia może być spowodowana nieusuwalnym osadem drobnego pyłu na materiale filtracyjnym) wymagana jest okresowa wymiana. Szereg parametrów pomaga kontrolować przydatność użytkową worków np. spadkowa tendencja poziomu ciśnienia, analiza wizualna lub mikroskopowa itp. Potencjalne przecieki na filtrze workowym są również wykrywane poprzez zwiększoną emisję lub niektóre zakłócenia w przebiegu procesu. [\[64. TWG 2003\]](#)

Systemy filtrów workowych składają się zazwyczaj z kilku komór, w których sekcje mogą być izolowane jedna od drugiej celem konserwacji. Powszechną praktyką jest projektowanie systemu tak, aby działał z pełną wydajnością, gdy jedna sekcja jest wyłączona z eksploatacji, co ułatwia konserwację pod obciążeniem oraz skraca czas przestoju. Jednakże nadal mogą istnieć ograniczenia co do tego, jak wiele prac naprawczych można wykonać podczas pracy spalarni, na przykład temperatura na zewnątrz sekcji wyłączonej z eksploatacji może być zbyt wysoka, aby umożliwić bezpieczny dostęp personelu (również ze względu na pracę sąsiednich sekcji).



Źródło: [1. UBA 2001]

Ilustracja 2.35 Przykład filtra workowego

Wybór materiału na filtr workowy

Materiał filtracyjny dobierany jest pod kątem warunków fizycznych i chemicznych, w jakich będzie pracował.

Kluczowe cechy tkanin stosowanych w filtracji gazów to maksymalna temperatura pracy oraz odporność na działanie kwasów, zasad i na zginanie (np. przy czyszczeniu worków). Wilgotność gazu (w związku z hydrolizą) może również wpływać na wytrzymałość i stabilność wymiarową tkanin. W tabeli podsumowano kilka podstawowych właściwości włókien. Niektóre z nich mogą być pokrywane lub impregnowane specjalnymi środkami chemicznymi (siarką). [74. TWG 2004]

Tabela 2.15 Dane eksploatacyjne różnych materiałów używanych w filtrach workowych

Materiał	Temperatura maksymalna (°C)	Odporność na działanie		
		Kwasy	Zasady	Elastyczność fizyczna
Bawełna	80	Słaba	Dobra	Bardzo dobra
Polipropylen	95	Doskonała	Doskonała	Bardzo dobra
Wełna	100	Umiarkowana	Słaba	Bardzo dobra
Poliester	135	Dobra	Dobra	Bardzo dobra
Nylon	205	Słaba do umiarkowanej	Doskonała	Doskonała
PTFE	235	Doskonała	Doskonała	Umiarkowana
Poliimid	260	Dobra	Dobra	Bardzo dobra
Włókno szklane	260	Umiarkowana do dobrej	Umiarkowana do dobrej	Umiarkowana
Uwagi: Nie wszystkie z tych materiałów są powszechnie stosowane w procesie spalania - zobacz dane operacyjne poniżej. Źródło: [2. InfoMil 2002] [67. Inspec 2004]				

Podwyższenie temperatury może prowadzić do stopienia się wszelkich elementów z tworzywa sztucznego, a także wywoływać pożar. Wysoka wilgotność spalin może powodować sklejanie się materiałów filtracyjnych oraz prowadzić do przestojów. [74. TWG 2004] PTFE pokrywające arkusze/folie może być stosowane celem poprawy usuwania z powierzchni filtrów workowych lepkich soli oraz cząstek stałych. Dzięki zastosowaniu PTFE w zakładzie MSWI w Pradze (Republika Czeska) i w Schwandorfie (Niemcy) osiągnięto poprawę operacyjną w systemach półmokrych (zob. sekcja 2.5.4).

Niektóre media filtracyjne, np. bawełna, wełna, polipropylen, nie są powszechnie stosowane w MSWI. Głównymi mediami są tam poliimidy, PPS (rzadko), PTFE i włókno szklane (z lub bez powłoki PTFE). Niektóre materiały mogą być łączone (np. poliimid i PTFE aby uzyskać wyższą trwałość w wysokich temperaturach).

Reakcje chemiczne zachodzące w mediach absorpcyjnych mogą mieć wpływ na temperaturę pracy. Ważna jest również jakość tkaniny np. jakość włókien. [2. InfoMil 2002], [64. TWG 2003]

Filtry workowe specjalnego przeznaczenia mogą zawierać elementy katalityczne służące do redukcji NO_x i/lub niszczenia PCDD/F (zob. sekcje 4.5.4.5 i 4.5.5.4).

2.5.3.6 Cyklony i multicyklony

[64. TWG 2003]

Cyklony i multicyklony wykorzystują siły odśrodkowe do oddzielania pyłu od strumienia gazu. Multicyklony różnią się od pojedynczych cyklonów tym, że składają się z wielu małych jednostek cyklonowych. Strumień gazu wchodzi do separatora stycznie i opuszcza go przez port centralny. Ciała stałe są wypychane na zewnątrz cyklonu i zbierane po bokach celem ich usunięcia.

Cyklony same w sobie nie są w stanie osiągnąć wymaganej redukcji poziomu emisji pyłu. Mogą jednak odegrać ważną rolę, jeśli są stosowane jako odpylacze wstępne, przed innymi etapami oczyszczania spalin, np. zmniejszając obciążenie pyłem, który ma być ostatecznie przetworzony. Wymagania energetyczne są na ogół niskie, ponieważ w całym cyklonie nie ma prawie żadnego spadku ciśnienia.

Główną zaletą cyklonów jest szeroki zakres temperatur pracy oraz solidna konstrukcja. Erozja cyklonów, szczególnie w miejscu uderzenia brudnych spalin, może być problemem tam, gdzie spaliny są bardziej obciążone cząstkami stałymi, a szczególnie tam, gdzie materiał złoża wydostaje się z instalacji stosujących złoża fluidalne. Cyrkulacyjne złoża fluidalne zazwyczaj zawierają cyklon do usuwania i recyrkulacji do pieca materiału złoża.

2.5.3.7 Płuczki Venturiego (płuczki gazowe zwężkowe)

Wlotowy strumień gazu dostaje się do sekcji zbieżnej gdzie wraz ze zmniejszaniem się powierzchni (zwężka) zwiększa się jego prędkość. Ciecz wprowadzana jest albo w gardzieli, albo na wejściu do sekcji zbieżnej. Gaz wlotowy, zmuszony do poruszania się z bardzo dużymi prędkościami w małym przekroju gardzieli, ścina ciecz z jej ścianek, wytwarzając dużą liczbę bardzo małych kropelek.

Cząsteczki oraz gaz usuwane są w gardzieli, gdzie wlotowy strumień gazu miesza się z mgiełką drobnych kropelek cieczy. Następnie strumień wlotowy przechodzi przez sekcję rozbieżną (wzrost powierzchni), gdzie jest zmuszany do zmniejszenia prędkości przepływu.

Chociaż płuczki Venturiego mogą być stosowane do redukcji zarówno cząstek stałych, jak i zanieczyszczeń gazowych, to jednak są one skuteczne głównie przy usuwaniu drobnych cząstek.

Konstrukcja płuczki może opierać się na pojedynczej zwężce dla całości strumienia spalin lub na kilku dyszach zwężkowych. Spadek ciśnienia oraz wydajność mogą być kontrolowane poprzez wstrzyknięcie płynu płuczającego przed zwężką lub do gardzieli i/lub poprzez mechaniczną regulację otworu gardzieli.

Położenie płuczki Venturiego w wieloetapowym systemie płukania na mokro może być na wejściu (*Venturi quench*), w środku (np. za etapem chłodzenia / wypełnienia) lub na końcu jako ostatni etap oczyszczania.

Płuczki Venturiego są zazwyczaj połączone z wstępnym oddzielaniem pyłu na sucho (np. za pomocą ESP) i/lub wtryskiem węgla aktywnego przed płuczką gazową mokrą (celem usunięcia dioksyn oraz rtęci). [\[77. ESWET 2015\]](#)

2.5.4 Techniki redukcji gazowej postaci kwasów (np. HCl, HF czy SO_x)

Gazowe postacie kwasów (gazy kwaśne takie jak dwutlenek siarki czy halogenki w postaci gazowej) usuwa się zazwyczaj ze spalin poprzez wstrzyknięcie odczynników alkalicznych, które wchodzi w kontakt z spalinami. W zależności od zastosowanej techniki, produktami reakcji są albo rozpuszczone, albo suche sole. [\[1. UBA 2001\]](#)

Stosowane są następujące procesy oczyszczania spalin:

- **Procesy mokre:** strumień spalin doprowadzany jest do wody, nadtlenku wodoru i/lub roztworu płuczającego zawierającego cząsteczki odczynnika (np. roztwór wodorotlenku sodu, zmikronizowana zawiesina wapienna). Produkt reakcji jest cieczą.
- **Procesy półmokre:** nazywane również półsuchymi. Czynnikiem sorpcyjnym dodawanym do strumienia spalin jest roztwór wodny lub zawiesina mleczka wapiennego, lub wapno hydratyzowane (gaszone) z oddzielnym wtryskiem wody. Roztwór wodny odparowuje, a produkty reakcji są suche. Pozostałość może być ponownie wprowadzona do obiegu celem poprawy wykorzystania odczynnika.
- **Procesy suche:** do strumienia spalin dodaje się suchy środek sorpcyjny (np. wapno hydratyzowane, wapno hydratyzowane o wysokiej porowatości lub o wysokiej powierzchni właściwej, wodorowęglan sodu). Produkt reakcji również jest suchy.

2.5.4.1 Procesy mokre

W mokrych procesach oczyszczania spalin wykorzystuje się różne typy konstrukcji skruberów, na przykład:

- płuczki natryskowe (*jet scrubbers, spray scrubbers*)
- płuczki wirowe (*rotation scrubbers*);
- płuczki Venturiego (*venturi scrubbers*);
- suche płuczki z wypełnieniem (*dry tower scrubbers*);
- płuczki z wypełnieniem (nazywane czasami wieżą z wypełnieniem - *tower scrubbers*);

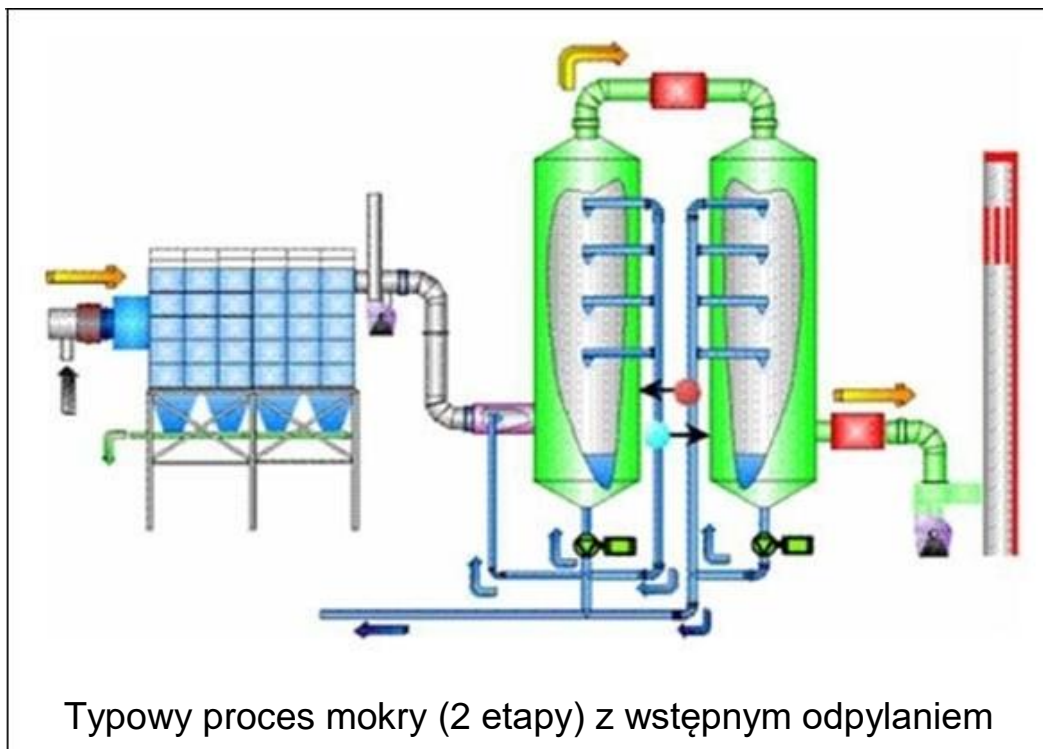
Roztwór płuczki jest (w przypadku wtrysku tylko wody) silnie kwasowy (zazwyczaj pH 0-1) a wynika to z kwasów tworzących się w procesie osadzania. HCl oraz HF usuwane są głównie podczas pierwszego etapu płuczki gazowej mokrej. Ścieki z pierwszego etapu są wielokrotnie recyrkulowane, z niewielkim dodatkiem świeżej wody i odprowadzane z płuczki w celu utrzymania wydajności usuwania kwasów w postaci gazowej. W tym medium kwasowym odkładanie się SO₂ jest słabe, więc do jego usunięcia potrzebny jest drugi etap płukania.

Usuwanie dwutlenku siarki odbywa się na etapie płukania o pH zbliżonym do neutralnego lub zasadowego (zazwyczaj pH 6-7), do którego dodaje się roztwór sody kaustycznej lub mleczko wapienne. Ze względów technicznych usuwanie to odbywa się na oddzielnym etapie płukania, w którym dodatkowo następuje dalsze usuwanie HCl oraz HF.

Jeśli przetworzone odpady zawierają brom i jod, pierwiastki te mogą być wytrącane ze strumienia spalin, o ile odpady zawierające siarkę są równocześnie spalane. Oprócz związków siarki tworzą się rozpuszczalne w wodzie sole bromu i jodu, które mogą osadzać się podczas mokrych procesów oczyszczania spalin z SO₂. Dodatkowo, osadzanie się elementarnego bromu i jodu może zostać usprawnione poprzez zastosowanie specjalnych etapów płukania reduktywnego (roztwór siarczynowy, roztwór wodorosiarczynowy). Ważne jest, aby zawsze wiedzieć, które odpady zawierają jod lub brom.

Jeżeli na etapach oczyszczania mokrych spalin stosuje się jako środek zobojętniający, mleczko wapienne, wapień lub siarczany (np. gips), węglany oraz fluorki gromadzą się jako pozostałości nierozpuszczalne w wodzie. Substancje te mogą być usuwane celem zmniejszenia ilości soli w ściekach, a tym samym zmniejszenia ryzyka inkrustacji w obrębie systemu płukania. Pozostałości z procesu oczyszczania (np. gips) mogą być odzyskiwane. W przypadku stosowania roztworu sody kaustycznej nie ma takiego ryzyka, ponieważ produkty reakcji są rozpuszczalne w wodzie. W przypadku użycia NaOH, może powstać CaCO₃ (w zależności od twardości wody), co ponownie prowadzi do powstania osadów w skruberze (płuczce). Osady te muszą więc być okresowo usuwane poprzez zakwaszenie.

Poniższy schemat przedstawia typowy dwustopniowy system płuczki gazowej mokrej. Liczba etapów płukania waha się zazwyczaj od jednego do czterech, przy czym w każdym zbiorniku zastosowano po kilka etapów.



Ilustracja 2.36 Schemat dwustopniowej płuczki gazowej mokrej z wstępnym odpylaniem.

Płukanie na mokro zwiększa wilgotność spalin, a tym samym ich widzialność, szczególnie przy niższej temperaturze otoczenia i wyższej wilgotności. Podwyższenie temperatury to jeden ze sposobów na zmniejszenie widzialności spalin, jak również poprawę właściwości dyspersyjnych uwolnienia. Powtórne podgrzanie spalin wymaga jednak pewnej ilości energii. W zależności od wilgotności spalin oraz warunków atmosferycznych, widzialność dymu na wylocie z komina powyżej temperatury 140 °C zostaje znacznie zredukowana. Zmniejszenie wilgotności gazów spalinowych poprzez zastosowanie płuczek (skruberów) kondensacyjnych (zob. sekcja 2.4.4.5) również zmniejsza widzialność uwolnień z komina.

Ścieki z płuczek gazowych mokrych

Aby utrzymać wydajność skrubera oraz zapobiec zatykaniu się systemu płukania na mokro, należy usuwać z obiegu, jako ścieki, część płynu z płuczki. Ścieki te muszą zostać poddane specjalnemu przetwarzaniu (neutralizacja, wytrącanie się metali ciężkich), przed ich uwolnieniem lub użyciem wewnętrznym. Szczególną uwagę zwraca się na usuwanie rtęci. Lotne związki rtęci, takie jak HgCl_2 , skraplają się po schłodzeniu spalin oraz rozpuszczają w ściekach z płuczki. Dodanie odczynników celem dokładnego usunięcia rtęci pozwala na jej eliminację z procesu.

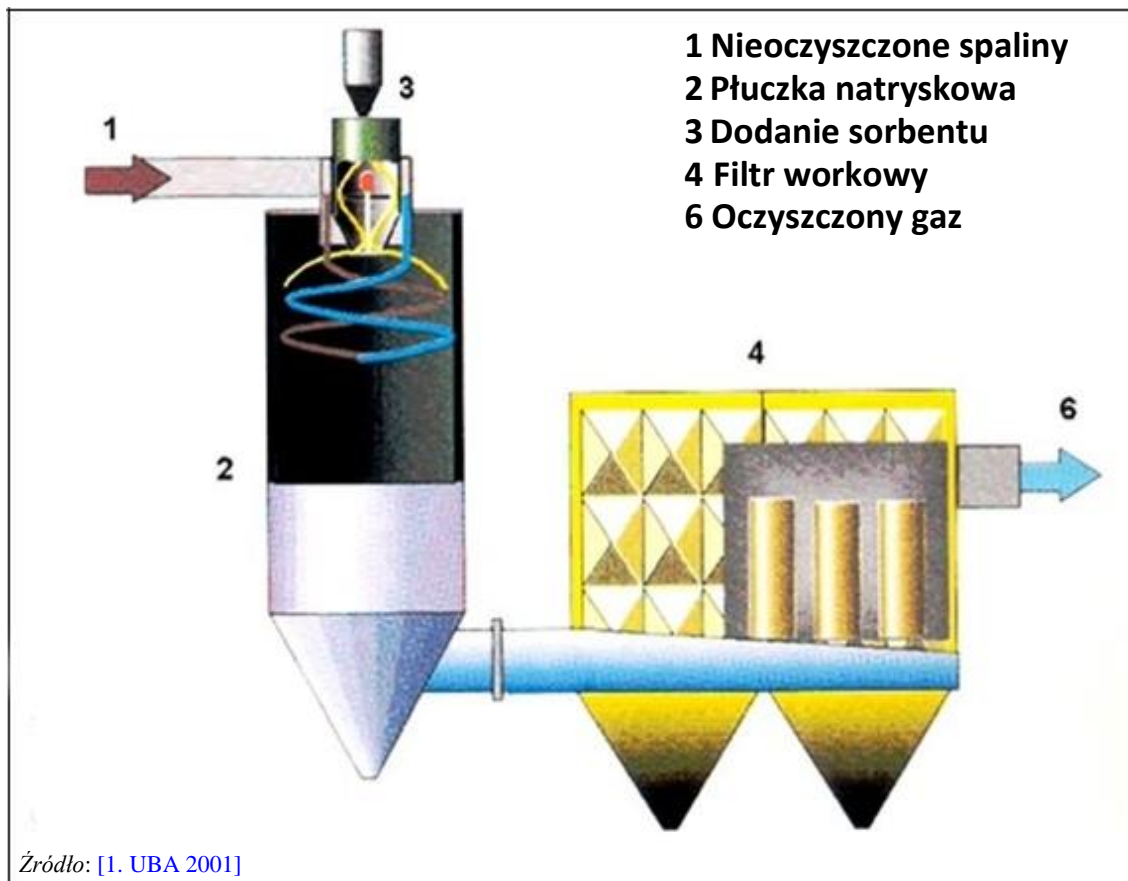
W wielu zakładach wyposażonych w mokre systemy ograniczania emisji powstające ścieki są odparowywane w spalarni poprzez rozpylenie ich z powrotem do spalin jako środek chłodzący w połączeniu z systemem ograniczania emisji pyłów. W ten sposób unika się emisji ścieków z systemu przetwarzania spalin oraz kosztów ich oczyszczania. Inne techniki mające na celu uniknięcie uwolnień wody zostały opisane w sekcji 4.6.1.

2.5.4.2 Procesy półmokre

W wersji tego procesu, często nazywanego półsuchym, woda oraz wapno hydratyzowane (gaszone) wtryskiwane są oddzielnie, zazwyczaj do wieży kondycjonującej i/lub kanału. W wersji z absorpcją natryskową środek absorpcyjny wtryskiwany jest do strumienia gorących gazów spalinowych w reaktorze natryskowym, w postaci zawiesiny lub roztworu (zob. ilustracja 2.37).

Ten rodzaj procesu wykorzystuje ciepło spalin do odparowania rozpuszczalnika (wody). Wytworzone produkty reakcji są ciałami stałymi i muszą zostać usunięte, w postaci pyłu, ze spalin na kolejnym etapie, np. za pomocą filtra workowego. W porównaniu z procesami suchymi, procesy półmokre są zazwyczaj bardziej wydajne i wymagają mniejszego dozowania sorbentu.

Filtr workowy jest ważną częścią omawianego procesu. Technika ta zapewnia również słabą widzialność uwalnianych z komina gazów.



Ilustracja 2.37 Zasada działania płuczki natryskowej

Stosowany jest również proces, który znajduje się gdzieś pomiędzy zwykłym procesem suchym a półmokrym. Czasami jest on znany jako proces półsuchy z reaktorem CFB (cyrkulacyjne złożo fluidalne). W procesie tym następuje ponowne wstrzyknięcie do spalin części substancji stałych zebranych w filtrze workowym. Woda dodawana jest z kontrolowaną prędkością albo bezpośrednio do zebranego popiołu lotnego i odczynnika, albo do reaktora przed filtrem, w taki sposób, aby zapewnić, że substancje stałe pozostaną sypkie i nie będą podatne na lepkość lub osadzanie się kamienia. Konstrukcja reaktora może być reaktorem z cyrkulacyjnym złożem fluidalnym (CFB) lub prostym reaktorem z przepływem tłokowym (kanał). Nie jest wymagana obróbka szlamu (w przeciwieństwie do procesów półmokrych) i nie powstają żadne ścieki (w przeciwieństwie do procesów mokrych).

Recykling odczynnika zmniejsza jego zapotrzebowanie oraz zmniejsza ilość wytwarzanych pozostałości stałych. Może być on również stosowany w procesach suchych i półmokrych.

Inny proces, który nie jest całkowicie suchy, półmokry lub półsuchy, wykorzystuje efekt kondensacji na cząstkach stałych recykulowanych do spalin przed filtrem tkaninowym. Efekt ten można osiągnąć poprzez wtrysk pary wodnej lub schłodzenie cząstek stałych przed ponownym wprowadzeniem ich do procesu. [78. ESWET 2015]

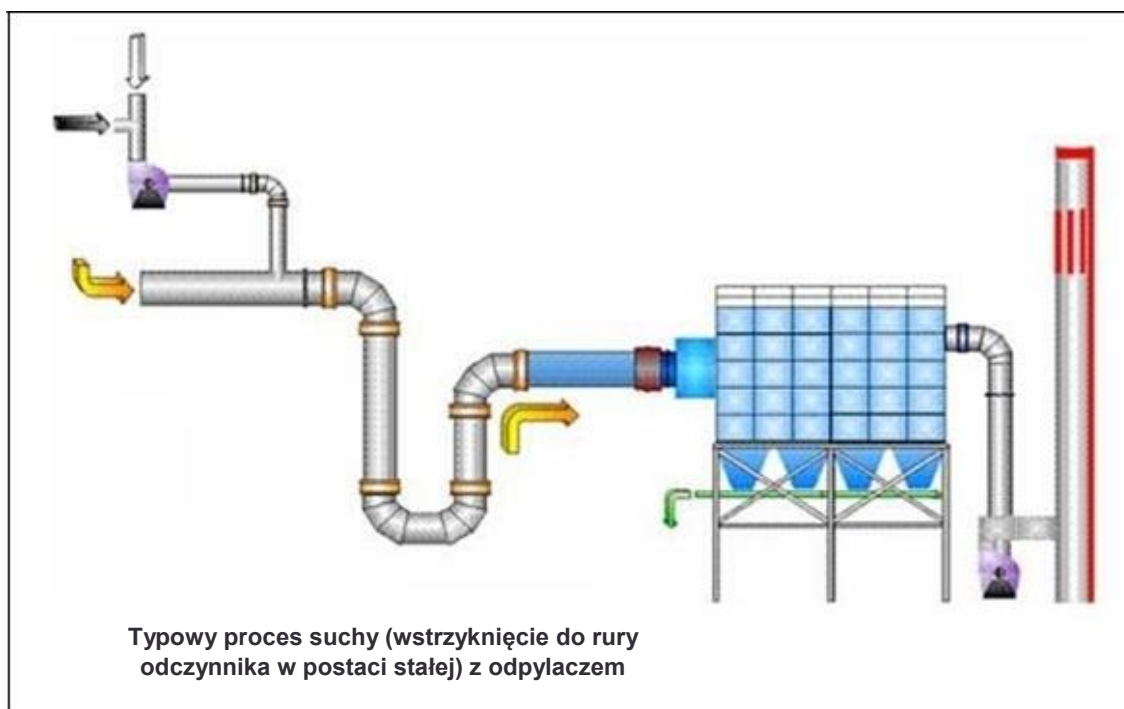
2.5.4.3 Procesy suche

W przypadku sorpcyjnych procesów suchych czynnik absorpcyjny podawany jest do reaktora w postaci suchego proszku. Dawka odczynnika może zależeć od temperatury, stosunku $\text{SO}_2/(\text{HCl}+\text{HF})$, warunków procesu oraz rodzaju odczynnika. Wytworzone produkty reakcji są ciałami stałymi i należy je usunąć z spalin jako pył na kolejnym etapie, zwykle za pomocą filtra workowego.

Przedawkowanie odczynnika prowadzi do zwiększenia ilości pozostałości, chyba że przeprowadzana jest recyrkulacja odczynnika. W ciągu ostatnich 15 lat dokonano znaczących ulepszeń w technikach recyrkulacji nieprzereagowanej frakcji, co pozwoliło na zmniejszenie nadmiaru stechiometrycznego.

Jeżeli nie ma etapu wstępnego odpylania (np. z użyciem filtra elektrostatycznego), cząstki usuwane są wraz ze zużytym odczynnikiem oraz produktami reakcji. Placek odczynnika, który tworzy się na filtrach tkaninowych, zapewnia efektywny kontakt pomiędzy spalinami a absorbentem, działając w ten sposób jako drugi etap reaktora.

Przy tej technice rzadko widać dym z komina.



Ilustracja 2.38 Suchy proces FGC z wtryskiem odczynnika do kanału FG oraz późniejszą filtracją workową

2.5.4.4 Bezpośrednie odsiarczanie

[1. UBA 2001]

Odsiarczanie w procesach z wykorzystaniem złoża fluidalnego może odbywać się poprzez dodanie absorbentów (np. związków wapnia lub wapnia/magnezu) bezpośrednio do komory spalania. Stosowane są dodatki takie jak pył wapienny, wapno hydratyzowane czy pył dolomitowy. System może być stosowany w połączeniu z późniejszym odsiarczaniem spalin.

Rozmieszczenie dysz oraz częstotliwość wtrysku wpływają na rozmieszczenie absorbentów, a tym samym na stopień osadzania się dwutlenku siarki. Część powstających podczas reakcji produktów usuwana jest w instalacjach filtracyjnych znajdujących się za nimi, jednak znaczna ich ilość nadal pozostaje w popiołach paleniskowych. Dlatego bezpośrednie odsiarczanie może mieć wpływ na jakość tych popiołów. [64. TWG 2003]

Idealne warunki do bezpośredniego odsiarczania istnieją w piecu cykloidalnym, ze względu na utrzymywaną stałą temperaturę.

Technika ta sama w sobie nie prowadzi do osiągnięcia wymaganych poziomów emisji SO_2 . Jest ona jednak przydatna jako przetwarzanie wstępne i przyczynia się do osiągnięcia najniższych poziomów emisji, gdy stosowana jest w połączeniu z innymi technikami.

Ilość pozostałości z samego tylko systemu oczyszczania spalin może zostać zredukowana, co prowadzi do niższych kosztów unieszkodliwiania.

Absorpcja (i adsorpcja) zanieczyszczeń może być również przeprowadzana w reaktorze z cyrkulacyjnym złożem fluidalnym, do którego pozostałości oraz odczynniki są recykulowane, z dużą prędkością, w komorze spalania. Recykulacja spalin utrzymuje szybkość przepływu gazu powyżej minimalnego poziomu celem utrzymania fluidyzacji złoża. Materiał złoża oddzielany jest w filtrze workowym. Wtrysk wody znacznie zmniejsza zużycie absorbentów (a tym samym wytwarzanie pozostałości). [\[74. TWG 2004\]](#)

2.5.4.5 Wybór alkalicznego (zasadowego) odczynnika

W systemach FGC spalarni odpadów stosowane są różne odczynniki alkaliczne (oraz ich kombinacje).

Wodorotlenek wapnia stosowany jest we wszystkich rodzajach systemów FGC: mokrych, półmokrych (półsuchych) i suchych. W przypadku systemów (pół-)mokrych mleczko wapienne może być przygotowywane na terenie zakładu, w urządzeniu do szybkiego rozpuszczania wapna lub wapna hydratyzowanego (gaszonego). W procesach (pół-)suchych stosuje się bezpośrednio wapno hydratyzowane lub wapno hydratyzowane o wysokiej powierzchni właściwej (HSS). [\[7. TWG 2017\]](#). Wodorowęglan sodu stosuje się w szeregu, głównie suchych systemów. Wodorotlenek sodu i wapień są zazwyczaj stosowane tylko w mokrych systemach FGC.

Zalety i wady różnych odczynników, na które zazwyczaj duży wpływ ma ogólny dobór technologii, zostały podsumowane w tabeli 2.16.

Tabela 2.16 Porównanie właściwości różnych odczynników alkalicznych

Odczynnik	Zalety	Wady	Komentarz/inne dane
Wodorotlenek sodu	<ul style="list-style-type: none"> Silnie reaguje z kwasami w postaci gazu Niski wskaźnik konsumpcji Niska produkcja odpadów stałych 	<ul style="list-style-type: none"> Wyższy koszt/kg odczynnika Zmienne koszty (kwartalne) Ścieki produkowane w procesie mokrym z użyciem wodorotlenku sodu zawierają rozpuszczalne sole, które wymagają przetworzenia i oczyszczenia. Substancja silnie korozyjna 	<ul style="list-style-type: none"> Używany tylko w systemach mokrych Dobrze nadaje się do zmiennych koncentracji wsadu, np. w zakładach HWI
Wapno palone i hydratyzowane	<ul style="list-style-type: none"> Wysoka reaktywność może zostać osiągnięta przy użyciu wapna HSS Możliwość operowania w wyższych temperaturach przy użyciu wapna HSS Niski koszt/kg odczynnika Niska rozpuszczalność pozostałości Pozwala odzyskiwać gips z płuczek gazowych mokrych 	<ul style="list-style-type: none"> Postępowanie w systemach niezoptymalizowanych może być problematyczne Limitowane opcje recyklingu pozostałości 	<ul style="list-style-type: none"> Recykulacja pozostałości jest możliwa i pozwala zredukować konsumpcję niektórych substancji
Wapień	<ul style="list-style-type: none"> Umiarkowana reaktywność Niski koszt/kg odczynnika Niska rozpuszczalność pozostałości Pozwala odzyskiwać gips z płuczek gazowych mokrych 	<ul style="list-style-type: none"> Procesy z użyciem wilgotnego wapienia generują dym (zawiesinę), który wymaga postępowania i który należy poddać przetworzeniu 	<ul style="list-style-type: none"> Niezbyt powszechnie stosowany w zakładach MSWI Używany głównie w systemach mokrych Czasami używany w systemach ze złożem fluidalnym
Wodorowęglan sodu	<ul style="list-style-type: none"> Wysoka reaktywność z SO₂ oraz HCl Niskie wskaźniki zużycia (współczynnik stechiometryczny 1.05-1.20) Niskie wytwarzanie pozostałości w zależności od współczynnika stechiometrycznego Oczyszczanie oraz ponowne użycie pozostałości możliwe i stosowane Efektywny w instalacjach FGC w szerokim zakresie temperatur (120–300 °C) Wysoki zakres temperatur pracy oraz wysoka wydajność w stosunku do SO₂ może zwiększyć kompatybilność z SCR. Nie wymagany jest wtrysk wody/kontrola wilgotności 	<ul style="list-style-type: none"> Wyższa rozpuszczalność cząstek stałych w pozostałościach Powstające stałe, rozpuszczalne pozostałości mogą być trudne do usunięcia (ale możliwe jest ich wykorzystanie w przemyśle chemicznym). Wyższy koszt/kg odczynnika W zależności od ziarnistości dostarczonej postaci odczynnika może być konieczne zastosowanie urządzenia do mielenia/rozdrabniania, co może mieć wpływ na jego użycie ze względu na ewentualne problemy z zanieczyszczeniem. 	<ul style="list-style-type: none"> Typowe zakresy zużycia odczynników to 6-12 kg/t odpadów spalanych w przypadku MSW i 15-40 kg/t w przypadku HW Pozostałości bez substancji lotnych oraz popiołu kotłowego stanowią średnio 70-75% masy dostarczonego odczynnika.

Źródło: [64. TWG 2003] [74. TWG 2004]

Zakres temperatur, który jest odpowiedni dla suchego procesu z wykorzystaniem wodorowęglanu sodu, związany jest z przemianą wodorowęglanu sodu w węglan sodu. Zjawisko to zwiększa powierzchnię i porowatość odczynnika, a tym samym jego reaktywność. Można je zaobserwować w temperaturach ok. 80-100 °C, w zależności od wielkości cząstek, ale do zapewnienia wymaganej kinetyki reakcji potrzebne są wyższe temperatury. Od temperatury 140°C kinetyka jest na ogół wystarczająco szybka, z perspektywą dalszego wzrostu w temperaturach 160-180°C. Zjawisko jest obserwowalne od temperatury około 80-100°C, w zależności od wielkości cząstek.

W niektórych przypadkach wdrażane są mieszane systemy FGC. Mogą one pracować z wapnem HSS lub wodorowęglanem sodu, co pozwala na lepszą kontrolę kosztów odczynników, pomimo ewentualnej potrzeby kompromisu w zakresie optymalizacji procesu. [\[74. TWG 2004\]](#)

Współwtryskiwanie wapna hydratyzowanego z wodorowęglanem sodu również jest możliwe, a ostatnio zostało zastosowane w zakładach w Niemczech i Holandii, celem zrekompensowania niższej reaktywności wodorowęglanu sodu z HF, a tym samym poprawy kontroli emisji HF. Zgłoszono, że współwtryskiwanie wapna hydratyzowanego może również potencjalnie zmniejszyć ogólne zużycie odczynników i związane z tym koszty operacyjne. [\[99. EuLA 2015\]](#)

Całkowity koszt redukcji zanieczyszczeń określany jest zarówno na podstawie kosztu odczynnika (koszt jednostkowy na kilogram odczynnika i wymagana ilość), jak i na podstawie kosztu przetwarzania/usuwania pozostałości. Skład spalin (który wpływa na stosunek stechiometryczny różnych możliwych odczynników/procesów), cena jednostkowa za kilogram odczynnika, a także dostępność i koszt opcji przetwarzania/unieszkodliwiania pozostałości są ważnymi czynnikami wpływającymi na całkowity koszt redukcji emisji.

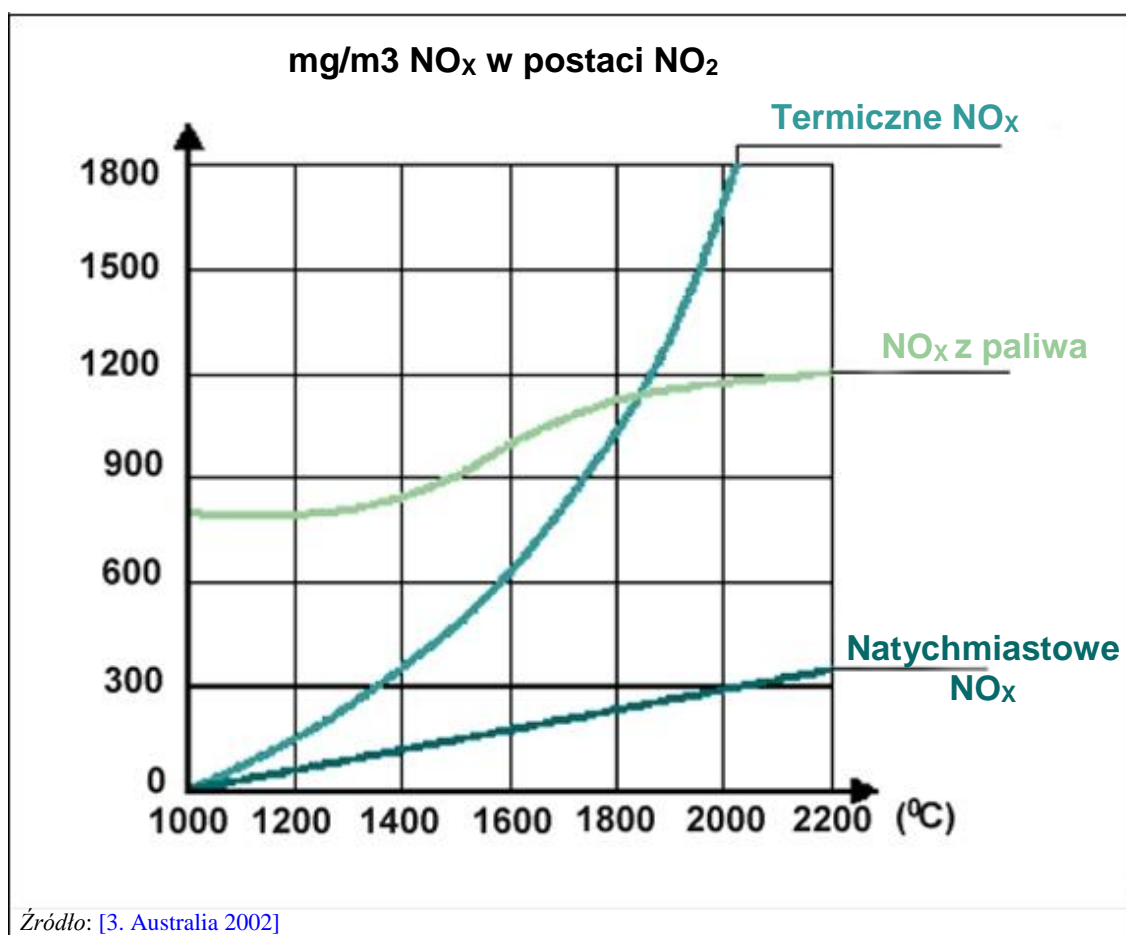
Wapień, wapno palone, wapno hydratyzowane, ulepszone (wysokopowierzchniowe) wapno hydratyzowane, wodorotlenek sodu i wodorowęglan sodu stosowane są w wielu różnych spalarniach w całej Europie oraz poza nią.

2.5.5 Techniki redukcji emisji tlenków azotu (NO_x)

[\[3. Austria 2002\]](#)

Tlenki azotu (NO_x) mogą formować się na trzy sposoby:

- Termiczne NO_x. Podczas spalania część azotu w powietrzu ulega utlenieniu do tlenków azotu. Reakcja ta zachodzi wyraźnie tylko w temperaturach powyżej 1 300 °C. Tempo reakcji zależy wykładniczo od temperatury i jest wprost proporcjonalne do zawartości tlenu.
- NO_x z paliwa. Podczas spalania część azotu zawartego w paliwie (w tym w odpadach) jest utleniana do tlenków azotu.
- Tworzenie się NO_x poprzez reakcję rodnikową (natychmiastowe NO_x). Azot atmosferyczny może być również utleniany poprzez reakcję z rodnikami CH i pośrednie tworzenie się HCN. Ten mechanizm powstawania ma stosunkowo niewielkie znaczenie w spalaniu odpadów.



Ilustracja 2.39 Zależność od temperatury różnych mechanizmów powstawania NO_x w procesie spalania odpadów

2.5.5.1 Podstawowe techniki redukcji NO_x

[1. UBA 2001]

Produkcja NO_x może być zmniejszona za pomocą środków kontroli pracy pieca, które:

- zapobiegają nadmiernemu dostarczaniu powietrza (tzn. uniemożliwiają dopływ dodatkowego azotu);
- zapobiegają stosowaniu w piecach niepotrzebnie wysokich temperatur (w tym lokalnych gorących punktów);
- optymalizują warunki kontroli celem ujednoczenia warunków spalania i uniknięcia ostrych gradientów temperatury.

2.5.5.1.1 Zasilanie w powietrze, mieszanie gazów oraz kontrola temperatury

Zastosowanie dobrze rozprowadzanego zasilania powietrzem pierwotnym i wtórnym celem uniknięcia nierównomiernych gradientów temperatury, które skutkują powstawaniem stref wysokich temperatur, a tym samym zwiększoną produkcją NO_x, jest powszechnie przyjętą i ważną podstawową techniką redukcji wytwarzania NO_x.

Mimo że wystarczająca ilość tlenu jest niezbędna do zagwarantowania, że materiały organiczne zostaną utlenione (dając niską emisję CO i VOC), nadmiar powietrza może prowadzić do dodatkowego utleniania azotu atmosferycznego oraz wytwarzania dodatkowego NO_x.

Osiągnięcie efektywnego mieszania gazów oraz kontrola temperatury są ważnymi elementami.

2.5.5.1.2 Recykulacja spalin

Technika ta polega na zastąpieniu około 10-20% wtórnego powietrza do spalania recykulowanymi spalinami. Redukcję NO_x osiąga się dzięki temu, że dostarczane recykulowane spaliny mają niższe stężenie tlenu, a tym samym niższą temperaturę, co prowadzi do obniżenia zawartości tlenków azotu. [\[74. TWG 2004\]](#)

2.5.5.1.3 Wtrysk tlenu

Wtrysk albo czystego tlenu, albo powietrza wzbogaconego w tlen zapewnia sposób dostarczenia tlenu potrzebnego do spalania, jednocześnie zmniejszając dopływ dodatkowego azotu, który może przyczynić się do dodatkowego wytwarzania NO_x.

2.5.5.1.4 Spalanie etapowe

W niektórych przypadkach stosuje się spalanie etapowe. Wiąże się to ze zmniejszeniem dopływu tlenu w początkowych strefach spalania, a następnie zwiększeniem dopływu powietrza (a tym samym tlenu) w późniejszych strefach spalania, celem utlenienia powstających gazów. Takie techniki wymagają skutecznego mieszania powietrza z gazem w późniejszych strefach aby zapewnić utrzymanie CO (oraz innych produktów niepełnego spalania) na niskim poziomie.

2.5.5.1.5 Wtrysk gazu ziemnego (stopniowane podawanie paliwa)

[\[70. USEPA 1994\]](#)

Wstrzyknięcie gazu ziemnego w rejon nad rusztem pieca może być wykorzystywane do kontroli emisji NO_x z palnika. Dla MSWI opracowano dwa różne procesy oparte na gazie ziemnym:

- **stopniowane podawanie paliwa (stopniowanie paliwa, dopalanie)** - trójstopniowy proces mający na celu konwersję NO_x na N₂ poprzez wtryskiwanie gazu ziemnego do odrębnej strefy dopalania, znajdującej się powyżej pierwotnej strefy spalania;
- pochłanianie NO_x (*de-NO_x*) z pomocą metanu - technika ta polega na wtryskiwaniu gazu ziemnego bezpośrednio do pierwotnej jednostki spalania celem zahamowania powstawania NO_x.

2.5.5.1.6 Wtrysk wody do pieca/płomienia

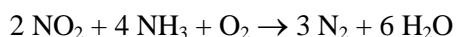
Prawidłowo zaprojektowany i obsługiwany wtrysk wody albo do pieca albo bezpośrednio do płomienia może być wykorzystywany do obniżenia temperatury punktowej w pierwotnej strefie spalania. Spadek temperatury maksymalnej może ograniczyć powstawanie termicznych NO_x. [\[74. TWG 2004\]](#)

2.5.5.2 Dodatkowe techniki redukcji NO_x

[\[1. UBA 2001\]](#)

Celem osiągnięcia zgodności z limitami emisji NO_x powszechnie stosuje się dodatkowe środki. W przypadku większości procesów skuteczne okazało się stosowanie amoniaku lub jego pochodnych (np. mocznika), jako środka redukującego. Tlenki azotu w spalinach składają się zasadniczo z NO i NO₂ i redukowane są przez środek redukcyjny do N₂ oraz pary wodnej.

Równania reakcji:

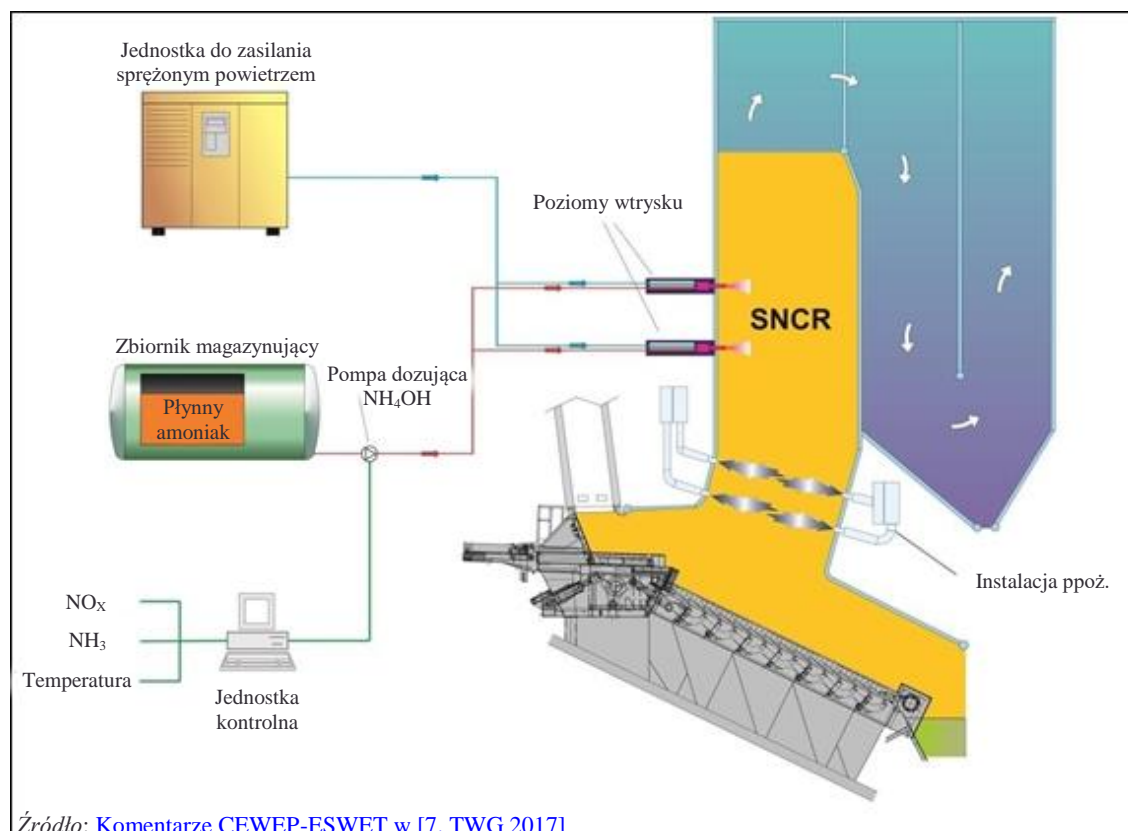


Dla usuwania azotu ze spalin ważne są dwa procesy - selektywna redukcja niekatalityczna (SNCR) oraz selektywna redukcja katalityczna (SCR).

Zarówno NH_3 jak i mocznik stosowane są w postaci roztworów wodnych. Ze względów bezpieczeństwa NH_3 jest zwykle dostarczany jako 25% roztwór. Mocznik może być również stosowany jako czysta, stała konsystencja.

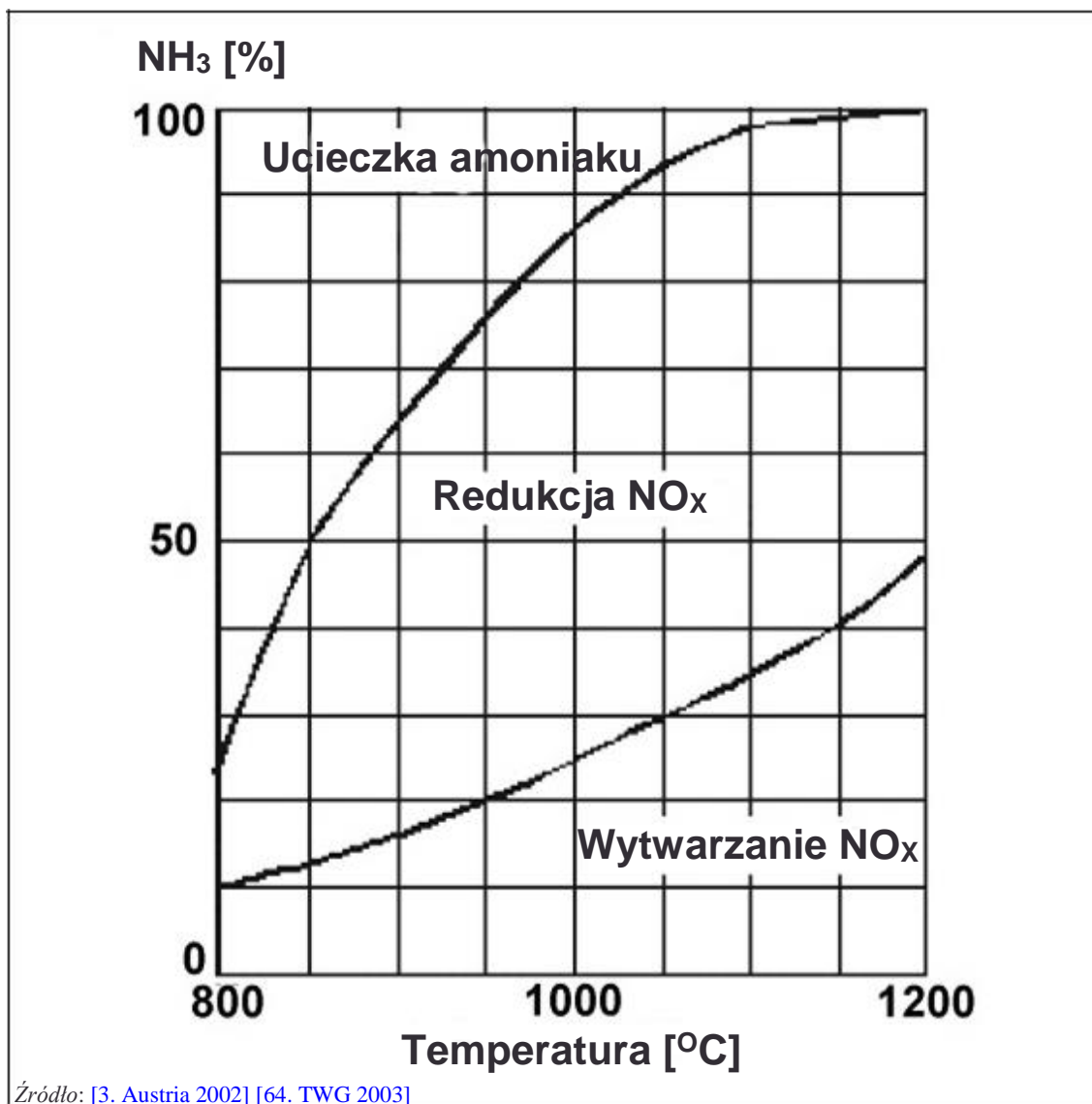
2.5.5.2.1 Proces selektywnej redukcji niekatalitycznej (SNCR)

W procesie selektywnej redukcji niekatalitycznej (SNCR), tlenki azotu ($\text{NO} + \text{NO}_2$) usuwane są poprzez wtrysk do pieca czynnika redukującego (zazwyczaj amoniaku lub mocznika). Reakcje zachodzą w temperaturach pomiędzy $850\text{ }^\circ\text{C}$ a $1\ 000\text{ }^\circ\text{C}$, przy czym w tym zakresie temperatur występują strefy o wyższych i niższych prędkościach reakcji. Zasada działania tej techniki została przedstawiona na ilustracji 2.40.



Ilustracja 2.40 Zasada działania SNCR

Zmniejszenie poziomu NO_x o 60-80 % za pomocą SNCR wymaga większej ilości środka redukującego. Może to prowadzić do emisji amoniaku, znanego również jako ucieczka amoniaku. Zależność pomiędzy redukcją NO_x , ucieczką amoniaku a temperaturą reakcji przedstawiono na ilustracji 2.41.



Ilustracja 2.41 Zależność pomiędzy redukcją NO_x, wytwarzaniem NO_x, ucieczką amoniaku oraz temperaturą reakcji dla procesu SNCR

Ilustracja 2.41 pokazuje, że przy temperaturze reakcji 1 000 °C redukcja NO_x wyniosłaby około 85%, a spadek zawartości amoniaku wyniosłby około 15%. Ponadto, w tej temperaturze miałyby miejsce wytwarzanie NO_x, ze spalania wtryskiwanego NH₃, w ilości około 25%.

Ilustracja 2.41 pokazuje również, że przy wyższych temperaturach (z amoniakiem) procent redukcji NO_x jest wyższy, ucieczka amoniaku niższa, natomiast NO_x wytwarzany z amoniaku wzrasta. W wysokich temperaturach (> 1 200 °C) NH₃ utlenia się samoczynnie tworząc NO_x. W niższych temperaturach roboczych redukcja NO_x jest mniej skuteczna, a ucieczka amoniaku większa.

Zastosowanie w SNCR mocznika zamiast amoniaku prowadzi do relatywnie wyższej emisji N₂O w porównaniu z redukcją amoniakiem. [64. TWG 2003]

Celem zapewnienia optymalnego wykorzystania amoniaku przy zmiennych obciążeniach, powodujących zmiany temperatury w komorze spalania, NH₃ może być wtryskiwany na kilku poziomach.

W przypadku stosowania z systemami płukania gazowego na mokro, nadmiar amoniaku może być usunięty w płuczce. Amoniak może być następnie odzyskany ze ścieków z płuczki za pomocą urządzenia do usuwania amoniaku i przekazany z powrotem do systemu wtrysku do SNCR.

Celem optymalizacji procesu SNCR należy skutecznie mieszać spaliny z odczynnikiem redukującym NO_x , a także zapewnić odpowiedni czas przebywania gazu, niezbędny do umożliwienia wystąpienia pełnej reakcji redukcji NO_x .

W przypadku procesów pirolizy i zgazowania, optymalizacja SNCR osiągana jest dzięki wstrzykiwaniu odczynnika do stref spalania gazu syntezowego (syngazu) przy ściśle kontrolowanej temperaturze, oraz skutecznym mieszananiu gazu.

Wybór odczynnika do SNCR

Odczynniki używane do SNCR to amoniak i mocznik.

Dobre zrozumienie profili temperaturowych komory spalania ma zasadnicze znaczenie dla doboru odczynnika.

Nowe instalacje mogą być projektowane z myślą o osiągnięciu stabilnych i przewidywalnych warunków spalania, co pozwala na optymalne lokalizacje wtrysku odczynnika, a tym samym umożliwia wykorzystanie amoniaku z maksymalną korzyścią dla środowiska (tj. maksymalną redukcją NO_x przy najniższej emisji N_2O). Dotyczy to również istniejących instalacji, które mają w piecu stabilny i dobrze kontrolowany profil spalania oraz temperatury.

Jest mniej prawdopodobne, aby istniejące zakłady, które doświadczają trudności ze stabilizacją warunków spalania (np. z powodów projektowych, kontrolnych lub związanych z rodzajem odpadów), były w stanie zoptymalizować wtrysk odczynnika (lokalizacja, temperatura, mieszanie) i dlatego mogą odnieść korzyści ze stosowania mocznika. Jednakże, jeżeli przewiduje się temperatury powyżej 1 000 °C, tempo wytwarzania N_2O przy zastosowaniu mocznika staje się bardziej znaczące.

W przypadkach, gdy wady i zalety zastosowania dla obu odczynników są dokładnie takie same, zagrożenia związane z magazynowaniem i postępowaniem mogą mieć największy wpływ na ostateczny wybór odczynnika.

Poniżej przedstawiono zalety oraz wady stosowania amoniaku i mocznika. Aby zapewnić dla danej instalacji wybór optymalnego odczynnika, należy wziąć pod uwagę różne czynniki operacyjne, koszty oraz oczekiwaną wydajność procesu.

Tabela 2.17 Zalety i wady stosowania amoniaku oraz mocznika w SNCR

Odczynnik	Zalety	Wady
Amoniak	<ul style="list-style-type: none"> Większy potencjał redukcji NO_x (przy dobrze zoptymalizowanym procesie) Niższe emisje N_2O (10 – 15 mg/Nm^3) 	<ul style="list-style-type: none"> Węższy zakres efektywnych temperatur pracy (850-950 °C), dlatego konieczna jest większa optymalizacja procesu Większe niebezpieczeństwo związane z postępowaniem z nim i magazynowaniem Wyższy koszt na tonę odpadów Przy większej wilgotności powietrza z pozostałości wydobywa się odór
Mocznik	<ul style="list-style-type: none"> Szerszy zakres efektywnych temperatur pracy (750-1 000 °C) sprawia, że kontrola temperatury jest mniej istotna Mniejsze niebezpieczeństwo związane z postępowaniem z nim i magazynowaniem Niższy koszt na tonę odpadów 	<ul style="list-style-type: none"> Mniejszy potencjał redukcji NO_x (w porównaniu z amoniakiem przy dobrze zoptymalizowanym procesie) Większe emisje N_2O (25 – 35 mg/Nm^3) a w związku z tym i GWP

Źródło: [62. Tyselev 2001] [64. TWG 2003]

Reakcja mocznik/ N_2O silnie zależy od temperatury, przy czym aż 18% usuniętych NO_x pojawia się przy 1 000 °C jako N_2O , podczas gdy w 780 °C wartość ta jest nieznaczna.

Uważa się, że amoniak jest nieznacznie droższy w użyciu niż mocznik. Wymagania dotyczące postępowania z amoniakiem w stanie ciekłym, gazowym i w roztworach są na ogół bardziej rygorystyczne i tym samym droższe niż w przypadku mocznika, który może być magazynowany w postaci stałej. Przyczynia się to do różnicy kosztów pomiędzy tymi dwoma odczynnikami.

Magazynowanie amoniaku w stanie gazowym lub skroplonym podlega surowym wymogom bezpieczeństwa, co może powodować dodatkowe koszty. W większości przypadków amoniak stosowany jest jako roztwór, ponieważ w tym przypadku wymogi bezpieczeństwa są już mniej uciążliwe.

Stosowanie mocznika jest tańsze tylko w przypadku stosunkowo małych zakładów. W przypadku większych instalacji, wyższe koszty składowania amoniaku mogą być w pełni zrekompensovane przez niższe koszty chemiczne.

2.5.5.2.2 Proces selektywnej redukcji katalitycznej (SCR)

W procesie selektywnej redukcji katalitycznej (SCR) do spalin dodaje się mieszkankę amoniaku z powietrzem (środek redukujący) a następnie przepuszcza się wszystko przez katalizator, zwykle siatkę (np. platynę, rod, TiO_2 , zeolity). [74. TWG 2004] Podczas przechodzenia przez katalizator, amoniak reaguje z NO_x celem otrzymania azotu oraz pary wodnej.

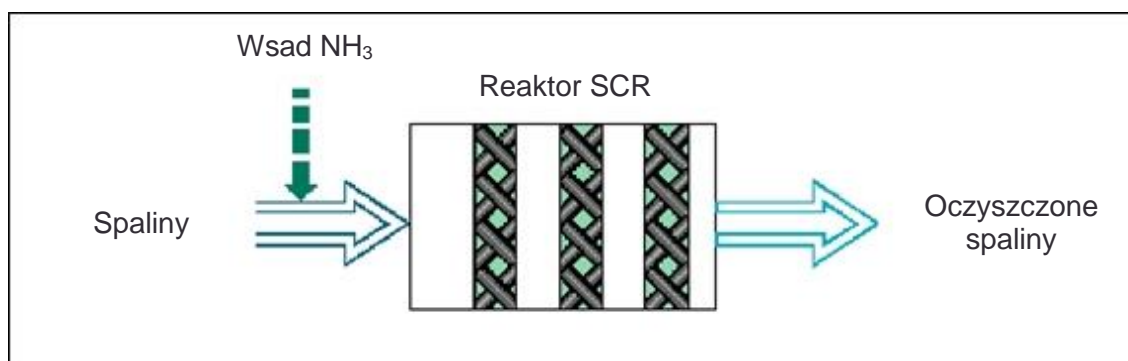
Aby katalizator był skuteczny, wymaga zazwyczaj temperatury pomiędzy 150 °C a 450 °C. Większość systemów stosowanych w spalarniach odpadów działa obecnie w zakresie 180-250 °C tak, aby zminimalizować potrzebę ponownego podgrzewania spalin, nawet jeśli konieczna jest większa powierzchnia katalizatora, oraz istnieje duże ryzyko zanieczyszczenia i zatrucia katalizatora w niższych temperaturach. W niektórych przypadkach stosuje się bypasy regulowane temperaturą katalizatora, aby uniknąć uszkodzenia jednostki SCR. [74. TWG 2004] [7. TWG 2017]

Dzięki SCR uzyskujemy wysoki stopień redukcji NO_x (zwykle ponad 90%) przy niemalże stechiometrycznych dodatkach środka redukującego. W przypadku spalania odpadów SCR stosowany jest głównie w obszarze gazu czystego, tj. po odpyleniu i usunięciu gazów kwaśnych. Z tego powodu spaliny wymagają zazwyczaj ponownego podgrzania do temperatury efektywnej reakcji systemu SCR. Zwiększa to zapotrzebowanie energetyczne instalacji oczyszczania spalin. Jednakże, gdy poziom SO_x w spalinach został już obniżony do bardzo niskiej wartości na wlocie do sekcji SCR, ponowne ogrzewanie może zostać znacznie zredukowane lub nawet pominięte. Wymienniki ciepła stosowane są celem zmniejszenia dodatkowego zapotrzebowania na energię.

Po zastosowaniu mokrego systemu FGC można usunąć krople, aby zapobiec osadzaniu się soli wewnątrz katalizatora. Ze względu na ryzyko zapłonu wynikające z nagromadzenia CO w katalizatorze, ważne są środki bezpieczeństwa, np. bypasy, kontrola CO. [74. TWG 2004]

Niskotemperaturowy SCR wymaga niskich poziomów SO_x (zazwyczaj poniżej 20 mg/Nm^3), aby zminimalizować ryzyko powstawania siarczanu amonu. W przypadku osadzania się siarczanu amonu na warstwach katalizatora, osady te usuwane są przez regenerację termiczną. Regeneracja termiczna powinna być starannie kontrolowana, ponieważ sublimacja soli może prowadzić do powstania "szczytów" w uwolnieniach do powietrza niektórych zanieczyszczeń, np. SO_2 , NO_x , NH_3 , których można uniknąć poprzez recyrkulację spalin pochodzących z regeneracji lub poprzez kontrolę szybkości ogrzewania. [74. TWG 2004]

SCR jest czasami pozycjonowany bezpośrednio po ESP, aby zredukować lub wyeliminować potrzebę ponownego podgrzewania spalin. W przypadku zastosowania tego wariantu należy uwzględnić dodatkowe ryzyko powstawania PCDD/F w ESP (zazwyczaj gdy ESP jest eksploatowany w temperaturach powyżej 220-250 °C). Takie wykorzystywanie prowadzić może do zwiększenia emisji PCDD/F w strumieniu gazu opuszczającym ESP oraz w pozostałościach z ESP. Ponieważ SCR może być jednak stosowany do częściowego niszczenia PCDD/F, emisje PCDD/F za SCR są zasadniczo niskie.



Ilustracja 2.42 Zasada działania SCR

Spaliny odprowadzane z reaktora mogą być kierowane przez gazowo-gazowy wymiennik ciepła w celu wstępnego podgrzania wchodzących gazów, aby utrzymać temperaturę roboczą katalizatora i zaoszczędzić część importowanej energii (zob. schematy w sekcji 4.5.4.1).

2.5.6 Techniki redukcji emisji rtęci

2.5.6.1 Techniki podstawowe

Rtęć jest bardzo lotna i dlatego prawie całkowicie przechodzi do strumienia spalin.

Jedynymi istotnymi technikami zapobiegania emisji rtęci do powietrza są te, które zapobiegają lub kontrolują, w miarę możliwości, zawartość rtęci w odpadach:

- efektywna segregacja odpadów mogących zawierać metale ciężkie, np. ogniwa, baterie, amalgamaty dentystyczne;
- informowanie producentów odpadów o konieczności segregacji rtęci;
- identyfikacja i/lub ograniczenie odbioru odpadów potencjalnie zanieczyszczonych rtęcią:
 - poprzez pobieranie próbek i analizę odpadów, jeśli jest to tylko możliwe;
 - poprzez ukierunkowane kampanie pobierania próbek/testowania;
- w przypadku gdy wiadomo, że takie odpady zostaną dostarczone – kontrolowane dodawanie ich celem uniknięcia nadmiernego obciążenia systemu.

2.5.6.2 Techniki dodatkowe

Rtęć odparowuje całkowicie w temperaturze 357 °C i pozostaje w stanie gazowym po przejściu przez piec i kocioł. Rtęć nieorganiczna (głównie Hg²⁺ jako chlorek oraz, w szczególnych przypadkach, inne związki halogenowe) i rtęć pierwiastkowa są w różny sposób przetwarzane przez systemy FGC i dlatego konieczne jest szczegółowe rozważenie przeznaczenia obu tych substancji. [\[1. UBA 2001\]](#)

Wybór procesu redukcji zależy od zawartości rtęci i chloru w materiale wsadowym. Przy wyższej zawartości chloru, rtęć w nieprzetworzonych spalinach będzie częściej występować w formie jonowej i może zostać wytrącona w płuczce gazowej mokrej. Jest to szczególnie ważne w spalarniach osadów ściekowych, gdzie poziom chloru w gazie nieprzetworzonym może być niski. Jeśli jednak zawartość chloru w (suchych) osadach ściekowych wynosi 0.3% masy lub więcej, tylko 10% rtęci w spalinach [\[74. TWG 2004\]](#) będzie pierwiastkiem. Obecność jednostki SCR w układzie wysokopyłowym może również wspomagać utlenianie rtęci elementarnej i jej późniejsze wychwytywanie w dalszych elementach systemu FGC.

Rtęć elementarna może być usuwana ze strumienia spalin poprzez:

- Przekształcenie jej w jony rtęci drogą dodania utleniaczy, a następnie wytrącenie w płuczce gazowej mokrej - ścieki mogą zostać następnie przekazane do oczyszczalni ścieków z wytrącaniem metali ciężkich, gdzie rtęć może być przekształcona w bardziej stabilną formę (np. HgS), odpowiedniejszą do ostatecznego usunięcia [\[74. TWG 2004\]](#).

- Alternatywną opcją jest bezpośrednie wytrącanie na węglu aktywnym bromowanym lub z domieszką siarki, koksie paleniskowym lub zeolitach. Adsorpcja na węglu aktywnym może odbywać się w absorberze ze stałym złożem lub na węglu aktywnym wtryskiwanym do strumienia gazu. W tym ostatnim przypadku węgiel gromadzi się na filtrach workowych używanych do jego zbierania, gdzie tworzy placek filtracyjny. Czas kontaktu i mieszania się z sorbentem zwiększa się, gdy spaliny przechodzą przez placek filtracyjny, co sprzyja wychwytywaniu rtęci.

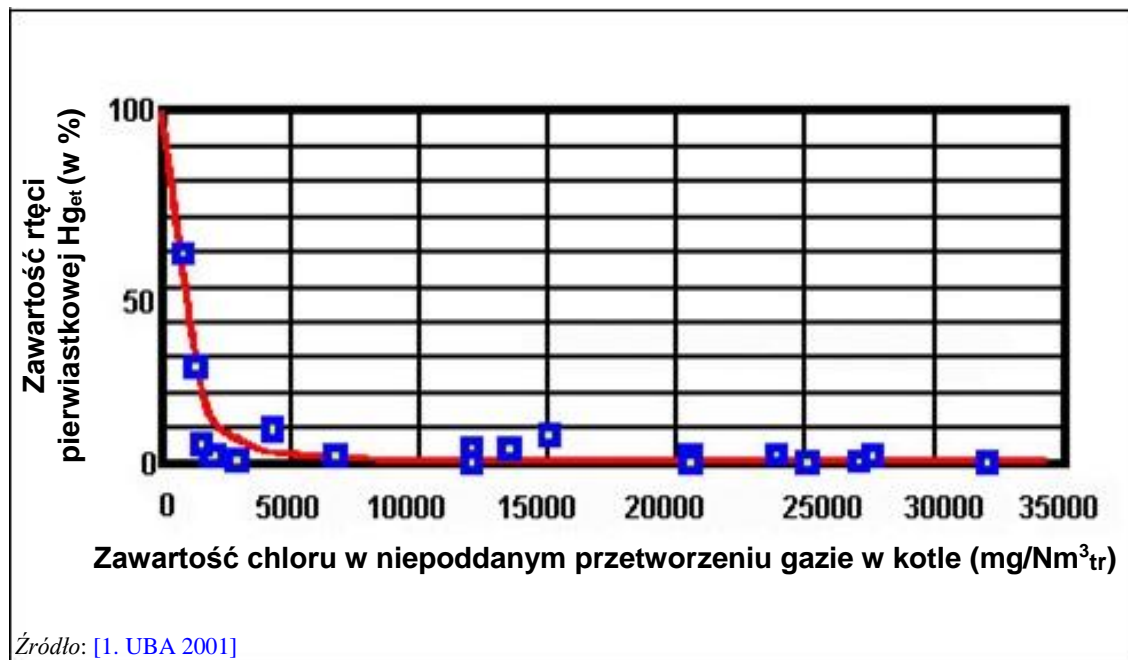
Testy wykazały, że neutralizacja w piecu dwutlenku siarki poprzez dodanie wapienia może zmniejszyć zawartość rtęci metalicznej, czyniąc całkowite usunięcie rtęci ze strumienia gazu bardziej efektywnym.

W spalarniach odpadów komunalnych i niebezpiecznych zawartość chloru w odpadach jest zazwyczaj wystarczająco wysoka, aby zapewnić obecność rtęci głównie w formie jonowej. Jednak konkretne wsady niektórych odpadów mogą zmienić tę sytuację i zaistnieje potrzeba usunięcia rtęci metalicznej przy użyciu określonych technik, jak już wspomniano.

Odpady o wysokiej zawartości rtęci (Hg)

Podczas spalania, w spalarniach odpadów niebezpiecznych, odpadów o wysokiej zawartości Hg, osadzanie się rtęci na poziomie 99.9% może być zapewnione jedynie przy wysokim poziomie nachlorowania odpadów, które są równocześnie spalane w odpowiedniej proporcji do zawartości Hg. Wieloetapowe płuczki gazowe mokre są typowe dla tego rodzaju zakładów. Wysoki udział jonów Hg (np. > 99.9%) w niepoddanych przetworzeniu spalinach w kotle, przed oczyszczaniem gazu, spowodowane jest dołączeniem odpadów o wysokiej zawartości chloru. Wspomaga to całkowite usuwanie Hg ze spalin.

Wysoki całkowity ładunek chloru (około 4 wt-% wkładu) i w związku z tym wysokie tymczasowe stężenie Cl_2 prowadzi do wysokiego poziomu nachlorowania rtęci oraz poziomu odkładania się rtęci bliskiego 100 %. Przy niższych ładunkach chloru odkładanie się rtęci szybko maleje.



Ilustracja 2.43 Związek pomiędzy frakcją rtęci obecną w postaci pierwiastkowej a zawartością chloru w nieprzetworzonym gazie w spalarni odpadów niebezpiecznych

2.5.7 Techniki redukcji emisji innych metali

Inne metale w procesie spalania przekształcane są głównie w nielotne tlenki i odkładane wraz z popiołem lotnym. W związku z tym odpowiednie są te techniki, które mają zastosowanie do usuwania pyłu (zob. sekcja 2.5.3). [\[1. UBA 2001\]](#)

Do redukcji emisji innych metali wykorzystuje się również węgiel aktywny. [\[74. TWG 2004\]](#)

2.5.8 Techniki redukcji emisji organicznych związków węgla

Efektywne spalanie zapewnia najważniejsze środki redukcji emisji do powietrza organicznych związków węgla.

[\[1. UBA 2001\]](#) Spaliny ze spalarni odpadów mogą zawierać śladowe ilości z bardzo szerokiego zakresu substancji organicznych, w tym:

- chlorowcowane węglowodory aromatyczne;
- wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (PAH);
- benzen, toluen i ksylen (BTX);
- polichlorowane dibenzo-p-dioksyny (PCDD) i polichlorowane dibenzofurany (PCDF), czyli PCDD/F.

PCDD/F może powstawać, po zakończeniu procesu w piecu, z prekursorów takich jak polichlorowane bifenyle (PCB), polichlorowane difenylometany (PCDM), chlorobenzeny i chlorohydroksybenzeny. PCDD/F może również tworzyć się w reakcjach katalitycznych węgla lub związków węgla z nieorganicznymi związkami chloru ponad tlenkami metali, np. miedzią. Reakcje te zachodzą szczególnie w przypadku popiołu lotnego lub pyłu z filtrów, w temperaturze od 200 °C do 450 °C.

Uważa się, że następujące mechanizmy prowadzą w procesie spalania odpadów do powstawania PCDD/F:

1. tworzenie się PCDD/F z chlorowanych węglowodorów istniejących już w piecu lub powstałych w nim (takich jak chlorohydrobenzen lub chlorobenzen);
2. synteza *de novo* w zakresie niskich temperatur (zwykle spotykana w kotłach oraz suchych ESP);
3. niepełne zniszczenie PCDD/F dostarczonego wraz z odpadami.

Optymalne spalanie spalin w dużym stopniu niszczy związki prekursorów. Tworzenie się PCDD/F z takich substancji jest zatem ograniczone.

Procesy adsorpcji oraz katalizatory utleniające mogą być wykorzystywane do redukcji emisji PCDD/F. Podaje się, że katalizatory utleniające zmniejszają również emisję NH₃ i CO. [\[74. TWG 2004\]](#)

Emisje organicznych związków węglowodorów mogą być także ograniczane dzięki kolejnym etapom wytrącania pyłu i aerozoli, ponieważ te rodzaje zanieczyszczeń najlepiej adsorbują na drobnej frakcji pyłu, oraz poprzez wymuszone schładzanie spalin (kondensację).

2.5.8.1 Adsorpcja na odczynnikach z węglem aktywnym w napowietrznych systemach przepływowych

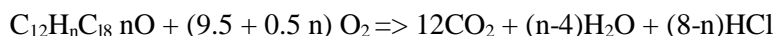
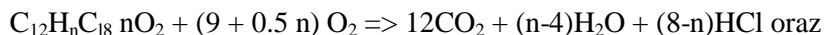
Węgiel aktywny wtryskiwany jest do strumienia gazu. Następnie jest on filtrowany z przepływającego gazu za pomocą filtrów workowych. Węgiel aktywny wykazuje wysoką skuteczność adsorpcji zarówno w przypadku rtęci, jak i PCDD/F.

Różne rodzaje węgla aktywnego mają różną efektywność adsorpcji. Uważa się, że jest to związane ze specyficznym charakterem cząstek węgla, na które z kolei wpływ ma proces produkcyjny.

2.5.8.2 Systemy SCR

Systemy SCR stosowane są do redukcji NO_x (zob. opis w sekcji 2.5.5.2.2). Niszczą również gazową postać PCDD/F (niezwiązane cząsteczki) poprzez utlenianie katalityczne. Jednakże w tym przypadku system SCR musi być odpowiednio zaprojektowany, ponieważ zazwyczaj wymaga się większego, wielowarstwowego systemu SCR niż tylko funkcji de-NO_x. W przypadku PCDD/F skuteczność niszczenia wynosi od 98 – 99.9%.

Główne zachodzące reakcje to [\[74. TWG 2004\]](#):



2.5.8.3 Katalityczne filtry workowe

Tkaniny stosowane w filtrze workowym są albo impregnowane katalizatorem, albo katalizator jest bezpośrednio mieszany z materiałem organicznym w procesie produkcji włókien. Filtry takie stosowane są do redukcji emisji PCDD/F, jak również, w połączeniu z amoniakiem (NH₃), do redukcji NO_x.

Gazowa postać PCDD/F może zostać zniszczona na katalizatorze zamiast adsorbowana na węglu (jak ma to miejsce w przypadku układów z wtryskiem węgla). Związana z cząstkami stałymi frakcja PCDD/F usuwana jest poprzez filtrację. Katalizator nie ma wpływu na rtęć, dlatego też zazwyczaj konieczne jest wdrożenie dodatkowych technik (takich jak węgiel aktywny lub odczynnik siarkowy) celem usunięcia rtęci. [\[74. TWG 2004\]](#)

Temperatura spalin wprowadzanych do filtrów workowych powinna wynosić powyżej 170-190 °C, aby osiągnąć skuteczne zniszczenie PCDD/F oraz zapobiec adsorpcji PCDD/F w mediach (referencyjna temperatura robocza w przypadku de-NO_x wynosi 180-210 °C). [\[74. TWG 2004\]](#)

2.5.8.4 Dopalenie (ponowne spalanie) adsorbentów węglowych

[\[55. EIPPCB 2002\]](#)

Węgiel używany jest w wielu spalarniach odpadów do adsorpcji zarówno PCDD/F jak i rtęci. Emisja netto PCDD/F ze spalarni może zostać zmniejszona poprzez wprowadzenie zużytego węgla do pieca, który ponownie spali adsorbowany PCDD/F. Jednakże technika ta powoduje również recykling rtęci i w związku z tym może być stosowana tylko w przypadku, gdy system FGC posiada inny sposób jej usuwania. Zazwyczaj dodatkowe usuwanie rtęci zapewnia system płuczki gazowej mokrej o niskim współczynniku pH, ale będzie to skuteczne tylko wtedy, gdy zawartość chloru w odpadach jest wystarczająco wysoka, aby zapewnić obecność rtęci w formie głównie jonowej.

Przykłady zastosowania tej techniki obejmują ponowne spalanie:

- w stałym złożu adsorpcyjnym z koksem
- adsorbentów z węglem aktywnym o regulowanym przepływie.

Wypełnienia impregnowane węglem, stosowane do adsorpcji dioksyn w płuczkach gazowych mokrych, zapobiegają emisji PCDD/F, która nagromadziła się w zimnych częściach kotła i układu FGC, zwłaszcza podczas "zimnego rozruchu".

W niektórych państwach członkowskich lokalne przepisy nie zezwalają na ponowne spalanie.

2.5.8.5 Zastosowanie do adsorpcji PCDD/F tworzyw sztucznych impregnowanych węglem

Ze względu na doskonałą odporność na korozję tworzywa sztuczne są szeroko stosowane w budowie urządzeń do oczyszczania spalin. PCDD/F są adsorbowane na tych tworzywach w płuczkach gazowych mokrych, przy typowej temperaturze pracy 60-70 °C. Jeśli temperatura

wzrośnie tylko o kilka stopni Celsjusza lub jeśli stężenie dioksyn w gazie zostanie zmniejszone, zaabsorbowany PCDD/F może być zdesorbowany do fazy gazowej, co prowadzi do zwiększonej emisji do powietrza. PCDD/F o niższej zawartości chloru podlegają największemu wzrostowi stopnia desorpcji w stosunku do wzrostu temperatury. [58. Andersson 2002]

Dodanie w płuczce wypełnienia zawierającego polipropylen wraz z węglem stanowi środek selektywnej adsorpcji PCDD/F (rtęć nie jest adsorbowana w wypełnieniu). Po pewnym czasie materiał ten ulega nasyceniu. Dlatego też nasycony materiał powinien być okresowo usuwany celem unieszkodliwienia lub, jeśli jest to dozwolone, spalany w piecu. [74. TWG 2004]

Technika ta jest stosowana do usuwania i/lub zapobiegania/ograniczania reemisji PCDD/F nagromadzonego w płuczce (tzw. efekt pamięci), występującego zwłaszcza w okresach wyłączenia i rozruchu. [7. TWG 2017]

Technika ta może być również stosowana w bardziej rozbudowanych instalacjach wież z wypełnieniem i/lub w połączeniu z innymi procesami usuwania PCDD/F. [74. TWG 2004]

2.5.8.6 Stałe lub ruchome złoża filtracyjne

Ruchome złoża filtracyjne z koksem aktywnym stosowane są jako dodatkowy proces FGC w spalarniach odpadów komunalnych i niebezpiecznych. Złoża te mogą adsorbować substancje zawarte w spalinach w bardzo niskich stężeniach i z wysoką skutecznością. Koks wyprodukowany z węgla brunatnego lub kamiennego w procesie koksowania w piecu paleniskowym stosowany jest w złożach ruchomych jako absorbent. [1. UBA 2001]

W procesie spalania odpadów wykorzystuje się mokre i suche złoża z koksem. Mokre systemy wyposażone są w przeciwprądowy przepływ wody, która płucze koks. W ten sposób temperatura reaktora jest obniżana, a część nagromadzonych zanieczyszczeń wymywana z filtra. Gdy zamiast koksu/węgla kamiennego zastosujemy aktywny węgiel brunatny, nie jest wymagane wstępne podgrzanie spalin powyżej kwaśnego punktu rosy i technika może być efektywnie stosowana nawet z użyciem "mokrych" lub nasyconych wodą spalin. Z tego powodu filtr z aktywnym węglem brunatnym może być umieszczany bezpośrednio za płuczką gazową moką. [64. TWG 2003]

Spaliny przechodzą przez palenisko wypełnione ziarnistym koksem (HFC - koks drobnoziarnisty o średnicy cząstek od 1.25 mm do 5 mm). Efekt osadzania się na HFC opiera się zasadniczo na mechanizmach adsorpcji i filtracji. HFC jest w stanie usunąć pozostałości prawie wszystkich istotnych dla emisji składników spalin (np. kwasu solnego, kwasu fluorowodorowego, tlenków siarki czy metali ciężkich (rtęć)), niekiedy do poziomu poniżej dolnej granicy oznaczalności.

Istotną cechą systemu z ruchomym złożem jest jego wysoka wydajność, spowodowana dużą zawartością aktywnego koksu, dzięki czemu zmiany wynikające ze spalania i oczyszczania spalin nie powodują negatywnych skutków.

Spaliny są doprowadzane do wypełnienia z aktywnym koksem ponad złożem dystrybucyjnym wyposażonym w szereg dubeltowych tulejek. Gaz przepływa przez nie od dołu w górę, podczas gdy HFC przechodzi przez absorber od góry ku dołowi. Dzięki temu osiągnięty zostaje idealny poziom dystrybucji spalin w całym przekroju absorbera, a także optymalne wykorzystanie możliwości absorbera przy jednoczesnym minimalnym zużyciu aktywnego koksu.

Przy stosowaniu tego typu procesów zalecana jest szczególna troska celem zagwarantowania, że temperatura i CO są dobrze monitorowane i kontrolowane tak, by uniknąć ognia w filtrze koksowym. Aby uniknąć nasycenia, utraty aktywności oraz zapewnić ciągłość pracy, w pewnych odstępach czasu część koksu nasyconego zanieczyszczeniami powinna być usuwana a filtr uzupełniany świeżym koksem.

Alternatywną konstrukcją jest stałe złożo filtracyjne z polimerami impregnowanymi węglem (tworzywo sztuczne), zapewniające selektywną adsorpcję PCDD/F (rtęć nie jest adsorbowana przez taki materiał). Ryzyko pożaru w porównaniu ze stałymi filtrami z węglem aktywnym lub koksem jest bardzo niskie. Po pewnym czasie materiał może ulec nasyceniu i jest okresowo

usuwany (np. poprzez spalanie) oraz zastępowany.

2.5.8.7 Szybkie schładzanie (hartowanie) spalin

Skrócenie czasu przebywania zanieczyszczonych pyłem spalin w strefie temperaturowej 450 °C do 200 °C zmniejsza ryzyko powstawania PCDD/F i tym podobnych związków. Temperatura na wlocie do etapu odpylania powinna być zatem ograniczona do mniej niż 200 °C. Można to osiągnąć za pomocą:

- odpowiedniej konstrukcji kotła, tak aby czas przebywania pyłu w zakresie temperatur 450-200 °C był ograniczony, unikając w ten sposób powyższego problemu na dalszych etapach;
- dodania wieży natryskowej celem obniżenia temperatury na wyjściu z kotła, przed kolejnymi etapami oczyszczania z pyłu, do niższej niż 200 °C;
- bezpośredniego schładzania spalin od temperatury ich spalania do temperatury poniżej 100 °C przy użyciu jedno- lub wielostopniowej płuczki wodnej. Technika ta jest stosowana w niektórych HWI. Płuczka musi być zaprojektowana tak, aby poradzić sobie z dużymi ilościami cząstek stałych (oraz innych zanieczyszczeń), które będą przenoszone na wodę w płuczce oraz zmniejszyć straty wody wyparnej razem z spalinami poprzez schładzanie w czasie kolejnych etapów. W przypadku takiej konstrukcji nie stosuje się kotła, a odzysk energii ogranicza się do przekazywania ciepła z gorącej cieczy w płuczce.

2.5.9 Redukcja gazów cieplarnianych (CO₂, N₂O)

[1. UBA 2001] Zasadniczo istnieją dwa sposoby ograniczenia emisji gazów cieplarnianych:

- zwiększenie efektywności odzysku oraz dostarczania energii (zob. sekcje 2.4 i 4.4);
- kontrola emisji CO₂ za pomocą przetwarzania spalin.

Możliwa jest produkcja węgla sodu na drodze reakcji CO₂, zawartego w spalinach, z NaOH.

2.5.9.1 Zapobieganie emisji podtlenku azotu (N₂O)

Emisje podtlenku azotu (N₂O) podczas spalania odpadów mogą wynikać głównie z:

- stosowania niskich temperatur spalania (znaczący wpływ zazwyczaj poniżej 850 °C);
- wykorzystania SNCR do redukcji NO_x (zwłaszcza gdy odczynnikiem jest mocznik).

[71. JRC(IoE) 2003] Optymalna temperatura do jednoczesnej minimalizacji wytwarzania zarówno NO_x jak i N₂O mieści się w zakresie 850-900 °C. Gdy temperatura w komorze dopalania była wyższa niż 900 °C, emisje N₂O raportowano jako niskie. Emisje N₂O wynikające z zastosowania SCR są również niewielkie. Tak więc pod warunkiem, że temperatura spalania jest wyższa niż 850 °C, SNCR stanowi w spalarniach odpadów jedyne znaczące źródło emisji N₂O.

Brak odpowiedniej kontroli SNCR, szczególnie w przypadku mocznika, może prowadzić do zwiększonej emisji N₂O. Podobnie możliwa jest emisja N₂O z procesów z podstechiometrycznym poziomem dostarczanego tlenu (np. gazyfikacja i piroliza), a także z pieców ze złożem fluidalnym eksploatowanych w określonych warunkach. [74. TWG 2004]

Aby uniknąć emisji N₂O, stosuje się następujące techniki:

- zmniejszenie dawkowanego odczynnika poprzez optymalizację procesu SNCR;
- optymalizację zakresu temperatur wstrzykiwania odczynnika SNCR;
- wykorzystanie w SNCR amoniaku zamiast mocznika;
- stosowanie metody modelowania przepływu do optymalizacji rozmieszczenia dysz wtryskowych;
- zaprojektowanie procesu tak, aby zapewnić skuteczne mieszanie gazu/odczynnika w odpowiednim zakresie temperatur;
- zapewnienie strefy spalania ponadstechiometrycznego celem uzyskania odpowiedniego utlenienia N₂O.

2.6 Techniki przetwarzania ścieków

2.6.1 Zasady projektowania w dziedzinie kontroli ścieków

[2. InfoMil 2002]

Do kontroli ścieków przeznaczonych do spalania stosuje się następujące zasady:

1. Zastosowanie optymalnej technologii spalania

Uruchomienie zoptymalizowanego procesu spalania, ważnego z punktu widzenia jego stabilności, zapewnia skuteczną kontrolę emisji do wód, w przypadku stosowania procesów mokrych. Niekompletne spalanie ma negatywny wpływ na skład spalin i popiołu lotnego poprzez zwiększenie obecności związków organicznych o charakterze zanieczyszczającym i/lub toksycznym. To z kolei może mieć wpływ na zawartość ścieków pochodzących z płuczek.

2. Zmniejszenie zużycia wody oraz odprowadzania ścieków

Środki, które mogą zostać podjęte, obejmują:

- recyrkulację zanieczyszczonych ścieków w mokrych lub półmokrych systemach FGC (np. płuczkach gazowych mokrych), w tym skuteczną kontrolę procesu celem zminimalizowania zrzutów ścieków;
- chłodzenie zanieczyszczonych ścieków pochodzących z mokrych systemów FGC (zob. również płuczki (skrubery) kondensacyjne w sekcji 2.4.4.5), co powoduje mniejsze straty wody w spalinach a tym samym mniejsze zużycie wody; taka konstrukcja może zmniejszać zużycie wody chłodzącej;
- zastosowanie bezściekowej technologii FGC (np. półsuche lub suche systemy sorpcyjne);
- wykorzystanie wody spustowej z kotła jako wody zasilającej płuczkę;
- przetwarzanie w płuczce wody laboratoryjnej;
- stosowanie bezściekowego odpylacza popiołu paleniskowego;
- wykorzystanie odcieków z otwartych magazynów popiołu paleniskowego jako wody stosowanej do odprowadzenia popiołu paleniskowego;
- zastosowanie oddzielnego drenażu umożliwiającego bezpośrednie odprowadzanie deszczówki z dachów oraz innych czystych powierzchni;
- stosowanie zadaszeń celem zmniejszenia narażenia powierzchni wykorzystywanych do magazynowania i postępowania z odpadami.

3. Zgodność z odpowiednimi standardami emisji do wody

Na niektóre opcje procesu istotny wpływ mają czynniki lokalne. Przykładem może być odprowadzanie słonych ścieków z płuczek. Chociaż takie zrzuty mogą być dopuszczalne w środowisku morskim, to w przypadku zrzutów do zbiorników słodkowodnych konieczne jest uwzględnienie współczynników rozcieńczenia itp. Decyzje takie mogą zatem spowodować zasadnicze zmiany w projekcie procesu spalania, w szczególności w systemie FGC czy wyborze systemu przetwarzania ścieków.

4. Optymalne działanie systemów przetwarzania wody

Posiadając wystarczającą do buforowania ścieków pojemność magazynową, operatorzy mogą mieć czas na zareagowanie na zakłócenia w warunkach procesowych oraz zapewnić optymalne działanie systemu oczyszczania ścieków.

2.6.2 Wpływ systemów oczyszczania spalin na ścieki

[2. InfoMil 2002]

Produkcja ścieków zależy od rodzaju zastosowanego systemu FGC. Głównym zadaniem FGC jest:

1. suche oczyszczanie spalin;
2. półmokre oczyszczanie spalin;

3. mokre oczyszczanie spalin (oczyszczanie spalin na mokro)
 - a) z fizycznym/chemicznym oczyszczaniem ścieków pochodzących z płuczek;
 - b) z rzędownym odparowaniem ścieków z płuczki;
 - c) z oddzielnym odparowaniem ścieków z płuczki.

Spśród tych opcji tylko opcja 3(a) posiada strumień ścieków do odprowadzenia. Opcje przetwarzania ścieków pochodzących z płuczki systemu 3(a) omówiono w kolejnych sekcjach, wraz z technikami stosowanymi do odparowania ścieków w wariantach 3(b) i 3(c).

2.6.3 Przetwarzanie ścieków pochodzących z systemów oczyszczania spalin na mokro

Ścieki powstające w wyniku procesu oczyszczania spalin na mokro (system mokrego FGC) zawierają wiele różnych składników zanieczyszczających. Ilość ścieków oraz koncentracja w nich zanieczyszczeń zależy od składu odpadów oraz od projektu systemu oczyszczania spalin na mokro. Recyrkulacja ścieków w systemach mokrego FGC może prowadzić do znacznego zmniejszenia ich objętości, a w konsekwencji do wyższych koncentracji zanieczyszczeń.

Do przetwarzania ścieków w systemach mokrego FGC stosuje się trzy główne metody:

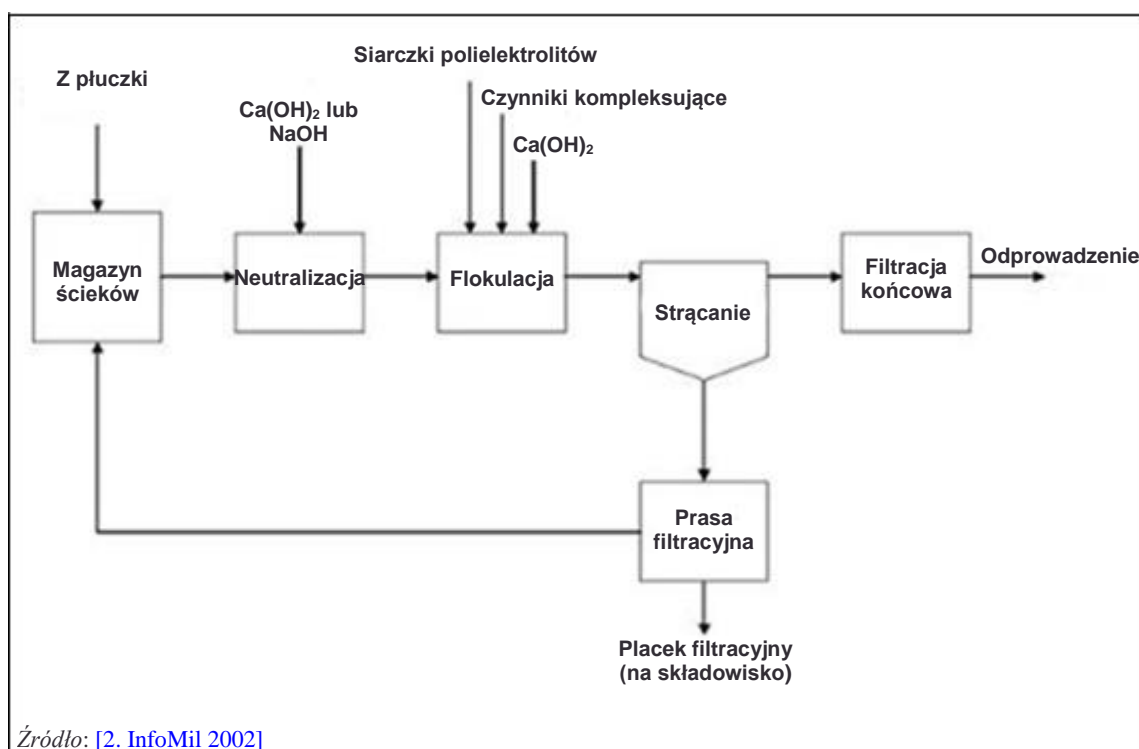
- **Przetwarzanie fizyczno-chemiczne** oparte na korekcji pH oraz sedymentacji (osadzaniu). W systemie tym powstaje oczyszczony strumień ścieków zawierający rozpuszczone sole, który, jeśli nie wyparuje (patrz poniżej), wymaga odprowadzenia.
- **Odparowanie w trakcie procesu spalania odpadów**, za pomocą suszarki rozpyłowej w ramach półmokrego systemu FGC lub innego układu wykorzystującego filtr workowy. W tym przypadku, rozpuszczone sole są włączane do pozostałości z systemu FGC. Nie dochodzi do emisji ścieków. Więcej szczegółów w podano sekcji 2.6.3.7.
- **Oddzielne odparowanie** ścieków. W tym przypadku odparowana woda ulega kondensacji, ale ponieważ jest na ogół bardzo czysta, często może zostać odprowadzona (lub ponownie wykorzystana) bez potrzeby podejmowania specjalnych działań. Więcej szczegółów podano w sekcji 2.6.3.7.

Powyższe metody zostały omówione bardziej szczegółowo w kolejnych sekcjach. Niektóre z nich zostały również opisane w dokumencie BREF CWW opublikowanym w 2016 r.

Jeżeli SNCR jest stosowany do kontroli NO_x za systemem mokrego FGC, ścieki będą zawierać dużo amoniaku (NH_3), co wymaga jego usunięcia. [\[74. TWG 2004\]](#)

2.6.3.1 Przetwarzanie fizyczno-chemiczne

Typową konfigurację fizyczno-chemicznej jednostki oczyszczania ścieków technologicznych przedstawiono na ilustracji 2.44.



Ilustracja 2.44 Schemat procesu fizyczno-chemicznego oczyszczania ścieków pochodzących z układu oczyszczania spalin na mokro

Etapy procesu, które można wykorzystać to:

- kontrola pH (neutralizacja);
- kontrola temperatury;
- strącanie (np. metali ciężkich);
- koagulacja;
- flokulacja zanieczyszczeń;
- osadzanie się uformowanego osadu;
- odwodnienie osadu;
- filtracja ścieków ("polerowanie").

Do neutralizacji często stosuje się wapno hydratyzowane (gaszone), co powoduje wytrącanie siarczynów oraz siarczanów (gips). Tam, gdzie dozwolone jest odprowadzanie siarczynów/siarczanów do wód powierzchniowych (np. w przypadku niektórych środowisk morskich), zamiast wapna hydratyzowanego może być stosowana soda kaustyczna (NaOH), co powoduje znacznie mniejszą produkcję osadów.

Usuwanie związków metali ciężkich opiera się na flokulacji, po której następuje strącanie. Związki metali ciężkich mają w zakresie pH 9-11 bardzo niską rozpuszczalność. Metale ciężkie mogą ponownie rozpuścić się przy wartości pH powyżej 11. Optymalne pH jest różne dla różnych związków metali ciężkich. W szczególności, optymalne pH dla niklu i kadmu różni się od pH dla innych metali ciężkich.

Dwustopniowa (lub o większej ilości etapów) neutralizacja poprawia stabilność oraz kontrolę kwasowości zrzutu (pH). Pierwszym krokiem jest zgrubna neutralizacja, szczególnie w przypadku ścieków pochodzących z pierwszego, kwaśnego etapu systemu płukania. Drugi etap to dokładna neutralizacja. Zapewnienie wystarczającej zdolności magazynowania ścieków pomaga w utrzymaniu stabilnej pracy systemu dzięki zapewnieniu zdolności do buforowania.

Flokulacja wodorotlenków metali ciężkich odbywa się pod wpływem czynników flokulujących (polielektrolitów) oraz FeCl_3 . Dodatkowe usuwanie rtęci i innych metali ciężkich może być osiągnięte w przypadku dodania kompleksowych środków zespajających.

Strącanie fluoroków wymaga pH pomiędzy 8 a 9. [\[74. TWG 2004\]](#)

Strącanie odbywa się zazwyczaj w osadnikach lub separatorach płytowych (lamelowych).

Powstały osad jest najczęściej odwadniany w prasach filtracyjnych. W zależności od zastosowanych środków chemicznych oraz innych warunków można uzyskać odsetek suchej masy na poziomie 40-60%.

W razie potrzeby, do filtrowania powstałych ścieków ("polerowania") można użyć filtrów z piaskiem i/lub z węglem aktywnym. Bezpośrednim efektem działania filtrów z piaskiem jest głównie redukcja zawiesiny ciał stałych, ale powodują one również redukcję stężeń metali ciężkich. Filtracja z użyciem węgla aktywnego jest szczególnie skuteczna w przypadku redukcji PCDD/F, PAH, itp. Węgiel aktywny musi być regularnie wymieniany. Stosowane są również inne systemy filtracji (np. filtry tarczowe).

Fizyczno-chemiczne oczyszczalnie ścieków wymagają szczególnej uwagi w trakcie pracy, ponieważ są to systemy wrażliwe.

2.6.3.2 Stosowanie siarczków

Celem przeprowadzenia flokulacji powszechnie stosowane są czynniki organiczne (np. polielektrolity). Dodatek związków zespalających oraz siarczków (np. Na_2S , trimercapto-s-triazyna - TMT) pozwala na dalszą redukcję emisji rtęci oraz innych metali ciężkich.

Stosowanie siarczków wymaga specjalnych przepisów bezpieczeństwa ze względu na ich toksyczność. Jedną z zalet ich stosowania są niższe koszty w porównaniu z innymi środkami zespalającymi.

2.6.3.3 Zastosowanie technologii membranowej

Jedną z opcji oczyszczania ścieków zanieczyszczonych solami i mikro zanieczyszczeniami jest filtracja membranowa. Technika ta jest szczególnie efektywna w przypadku dużych przepływów wody o stosunkowo niskim stężeniu soli. Przy wyższych stężeniach soli, zużycie energii gwałtownie wzrasta.

Zawartość soli w ściekach pochodzących z procesu spalania odpadów jest wysoka (do 10 wt-%). Dlatego też opcja ta zazwyczaj wymaga znacznego zwiększenia zużycia energii.

Pozostała woda o wysokim stężeniu substancji rozpuszczonej musi zostać usunięta przez odpowiednie odprowadzenie. [\[74. TWG 2004\]](#)

2.6.3.4 Usuwanie amoniaku

Po zastosowaniu de- NO_x w SNCR, ścieki z płuczki gazowej mokrej zawierają związki amoniaku. Rzeczywista koncentracja amoniaku zależy od warunków procesowych urządzenia de- NO_x zawartego w SNCR. W zależności od rzeczywistej koncentracji amoniaku, jego usunięcie ze ścieków może być opcją do realizacji.

Urządzenie do usuwania amoniaku składa się głównie z podgrzewanej kolumny destylacyjnej. Opary ulegają kondensacji, w wyniku czego powstaje roztwór amoniaku. Chociaż stężenie amoniaku jest zazwyczaj niższe od pierwotnego stężenia produktu handlowego, roztwór może być ponownie wykorzystany w procesie SNCR.

Usuwanie amoniaku wymaga podwyższenia pH do 11-12.5 oraz użycia pary wodnej. Nauka donosi o ryzyku zanieczyszczenia w przypadku użycia razem z neutralizacją wapnem.

2.6.3.5 Oddzielne przetwarzanie ścieków pochodzących z pierwszego oraz ostatniego etapu systemu płukania

Pierwszy (pierwsze) etap (etapy) systemów do płukania gazowego mokrego są zazwyczaj obsługiwane przy bardzo niskim poziomie pH. W tych warunkach procesowych ze strumienia spalin usuwany jest szczególnie HCl. Usuwanie SO₂ odbywa się na ostatnim etapie, przy pH neutralnym.

Jeśli te dwa strumienie ścieków będą traktowane oddzielnie, proces przetwarzania może zostać zoptymalizowany dla każdego ze strumieni, a także możliwe jest odzyskanie nadającego się do recyklingu gipsu, ze ścieków pochodzących z płuczki SO₂.

Ścieki z pierwszego etapu płuczki są neutralizowane za pomocą wapna hydratyzowanego lub mleczka wapiennego, a następnie usuwane są, poprzez flokulację i strącanie, związki metali ciężkich. Oczyszczone ścieki, zawierające głównie CaCl₂, mieszane są ze ściekami z ostatniego etapu, zawierającymi głównie Na₂SO_{3/4}. Powoduje to powstawanie gipsu oraz płynnych ścieków oczyszczonych, składających się głównie z NaCl.

W zależności od lokalnych warunków, słone ścieki są odprowadzane lub odparowywane. W wyniku parowania powstaje NaCl.

Ponieważ sól jest oddzielana od innych, zawartych w ściekach, pozostałości z oczyszczania spalin, powoduje to bardzo znaczną redukcję masy tych pozostałości. Strącony osad zawierający związki metali ciężkich jest jedyną pozostającą substancją.

2.6.3.6 Biologiczne przetwarzanie beztlenowe (konwersja siarczanów na siarkę elementarną).

Jednym z problemów przy odprowadzaniu przetworzonych ścieków może być pozostająca w nich zawartość siarczanów. Siarczany mogą wpływać na betonowe systemy kanalizacyjne. W celu rozwiązania tego problemu opracowano system biologicznego przetwarzania beztlenowego ścieków pochodzących ze spalania odpadów.

Siarczany w ściekach mogą zostać zredukowane w reaktorze do siarczków, dzięki aktywności bakterii beztlenowych. Ścieki z takiego reaktora, zawierające dużą ilość siarczków, przetwarzane są w następnym reaktorze. Siarczki są w nim biologicznie utleniane, w atmosferze tlenowej, do siarki elementarnej. Należy dopilnować, aby na etapie tlenowym dostępna była odpowiednia ilość tlenu, w przeciwnym razie zamiast elementarnej siarki powstanie tiosiarczan, co ograniczy możliwość zrzutu (odprowadzenia) ścieków.

Następnie siarka zostaje usunięta ze ścieków w separatorze laminowanym. Zebrany osad jest odwadniany w dekanterze, w wyniku czego powstaje placek siarkowy, który można wykorzystać. Pozostałe ścieki mogą zostać ponownie wykorzystane w płuczce i/lub odprowadzone.

Odnotowano, że technologia ta może być trudna do zastosowania w przypadku ścieków pochodzących ze spalarni odpadów niebezpiecznych. [\[64. TWG 2003\]](#)

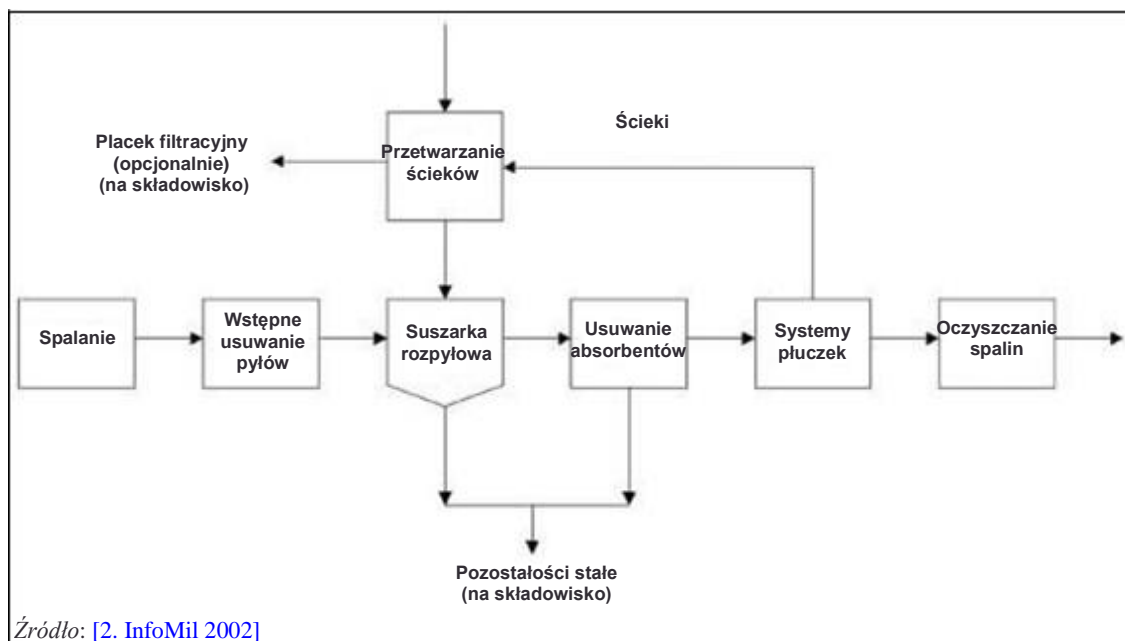
2.6.3.7 Systemy odparowywania ścieków procesowych

Jeżeli odprowadzanie rozpuszczonych soli (chlorków) jest niedopuszczalne, ścieki procesowe muszą zostać odparowane. Do tego celu stosuje się dwie metody:

- odparowanie w ramach procesu;
- oddzielne odparowanie.

2.6.3.7.1 Odparowanie w ramach procesu

W tej konfiguracji ścieki poddawane są recyklingowi, w ramach procesu, za pomocą suszarki rozpyłowej. Na ilustracji 2.45 przedstawiono konfigurację tej metody.



Ilustracja 2.45 Odparowanie, w ramach procesu, ścieków z płukania gazowego na mokro

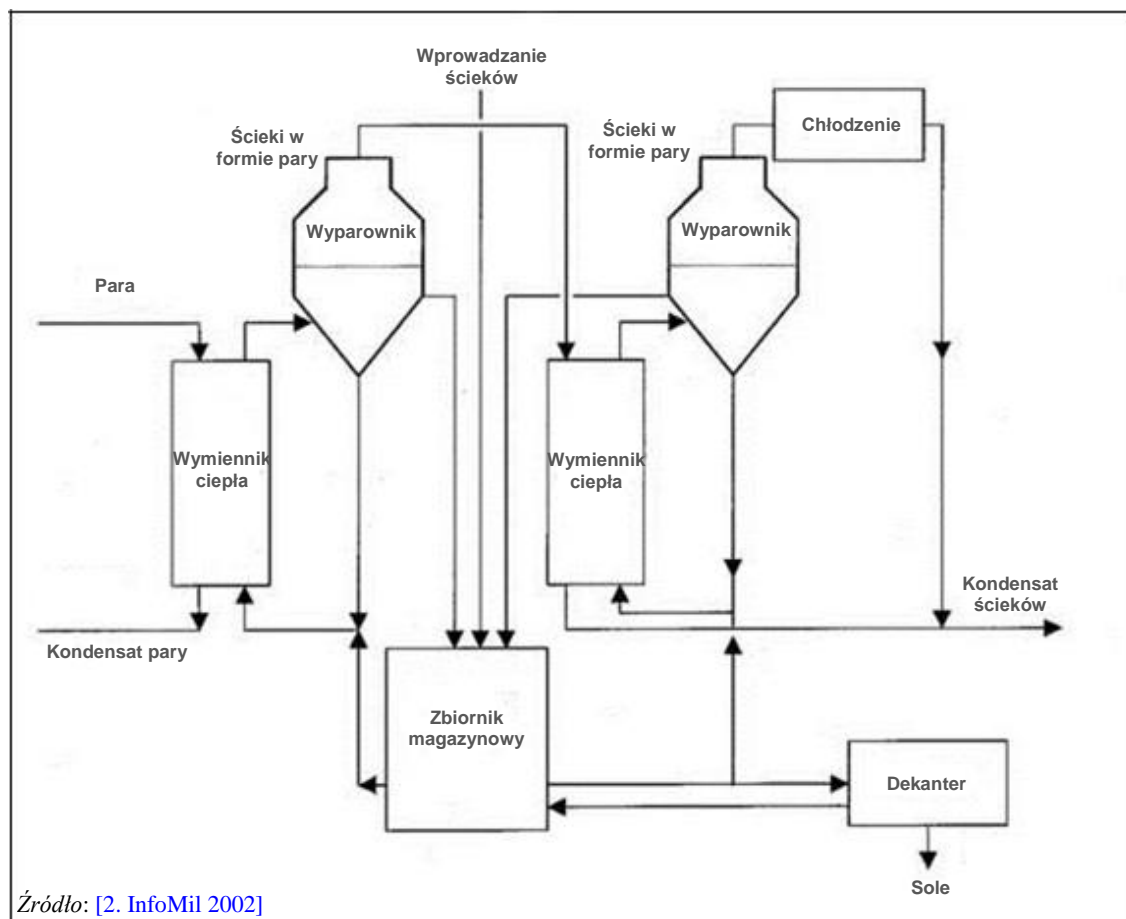
Suszarka rozpyłowa porównywalna jest absorberem rozpyłowym stosowanym w półmokrym systemie FGC. Różnica polega na tym, że w przypadku półmokrą przetwarzania wtryskiwane jest mleczko wapienne, a w przypadku odparowania w ramach procesu, ścieki z płuczki wykorzystywane są do ponownego wtrysku po etapie ich neutralizacji. Etap neutralizacji może być połączony z flokulacją oraz osadzaniem się zanieczyszczeń, w wyniku czego powstaje oddzielna pozostałość (osad). W niektórych zastosowaniach do absorbera rozpyłowego wtryskuje się wapno hydratyzowane celem wstępnej neutralizacji gazu.

Zneutralizowane ścieki, zawierające rozpuszczone sole, wprowadzane są do strumienia spalin. Woda odparowuje, a pozostałe sole oraz inne stałe zanieczyszczenia usuwane są na etapie odpylania (np. ESP lub filtr workowy). Pozostałość po oczyszczaniu spalin składa się z mieszaniny popiołu lotnego, soli i metali ciężkich.

Dzięki zastosowaniu systemu płukania gazowego na mokro, zużycie środków chemicznych jest w przybliżeniu stechiometryczne, a co za tym idzie, wytwarzanie pozostałości jest niższe niż w przypadku półsuchych systemów FGC.

2.6.3.7.2 Oddzielne odparowanie

Metoda oddzielnego odparowania opiera się na ewaporacji w układach parowania ogrzewanych parą wodną. Ilustracja 2.46 przedstawia przykładowy schemat takiego procesu.



Ilustracja 2.46 Oddzielne odparowanie ścieków pochodzących z płuczki gazowej mokrej

Ścieki, zawierające rozpuszczone sole, wprowadzane są do zbiornika magazynującego zawierającego mieszaninę ścieków oraz już częściowo odparowanej cieczy. Następnie woda zostaje częściowo odparowana w reaktorze, w warunkach niskiego ciśnienia. Wymagane ciepło dostarczane jest przez parę pod niskim ciśnieniem i przekazywane do cieczy w wymienniku ciepła. Nadmiar cieczy przepływa z powrotem do zbiornika magazynującego. Para zostaje schłodzona, w wyniku czego powstaje czysty kondensat, który jest następnie odprowadzany.

Ze względu na rosnące stężenie soli w cieczy rozpoczyna się jej krystalizacja. Powstające kryształy soli są oddzielane w dekanterze i gromadzone w pojemniku.

Ilustracja 2.46 przedstawia dwustopniowy proces, w którym zainstalowane są dwa wyparowniki. Wejście ciepła do drugiego wyparownika pochodzi z pierwszego, co zmniejsza zużycie energii. Dodatkowo, jeśli wyparownik ten nie jest wykorzystywany do innych celów (np. do ogrzewania komunalnego), efektywne zużycie energii może zostać dodatkowo zmniejszone, ponieważ stosować można parę niskociśnieniową.

Technika ta wymaga dostarczenia energii i może wiązać się z ryzykiem operacyjnym, takim jak zanieczyszczenia w procesie krystalizacji. [64. TWG 2003]

2.6.3.8 Usuwanie lub odparowywanie kwasu solnego

[1. UBA 2001]

Podczas spalania odpadów zawierających chlor powstaje chlorowódz. Chlorowódz jest absorbowany przez wodę, tworząc kwas solny. Powstały kwas solny jest bezbarwną cieczą, wolną od zanieczyszczeń po przetworzeniu. Jest to roztwór wodny o stężeniu HCl około 19 wt-% i może być stosowany jako surowiec w różnych instalacjach użytkowych, np. do kontroli pH w zakładach produkujących chlor.

Podczas produkcji kwasu solnego, spaliny opuszczające kocioł parowy są najpierw przekazywane do dogaszania oraz schładzania. Powłoka jednostki dogaszającej zawiera dysze, poprzez które kwas solny z dolnej kolumny płuczącej wstrzykiwany jest do spalin. Część kwasu solnego zostaje następnie odparowana, co powoduje schłodzenie spalin.

Kwas solny (chlorowódor) przenoszony jest z układu chłodzenia do kolumny płuczącej wraz z schładzanymi spalinami. W kolumnie płuczącej kwas solny oraz inne gazy kwaśne zawarte w spalinach są absorbowane. Następnie kwas solny przenoszony jest do tymczasowego zbiornika magazynującego. Spaliny, pozbawione teraz chlorowodoru, opuszczają kwaśną kolumnę płuczącą za pomocą parownika zainstalowanego na szczycie kolumny i trafiają do jonizacyjnej płuczki gazowej mokrej.

Kwas solny wytwarzany w kwaśnej kolumnie płuczącej układu oczyszczania spalin zostaje w systemie odparowującym pozbawiony rozpuszczonych soli oraz substancji stałych. Ten etap czyszczenia umożliwia wykorzystanie kwasu solnego jako surowca w różnych zakładach produkcyjnych.

Z tymczasowego zbiornika magazynującego pompa przenosi kwas solny do wyparownika. Tutaj nieprzetworzony kwas zostaje ulepszony w próżni do postaci mieszanki azeotropowej. Nadmiar wody oraz niewielkie ilości chlorku wodoru przechodzą w fazę parową i są kondensowane wraz z wodą w wieży adsorpcyjnej.

Z urządzenia próżniowego ciecz procesowa pompowana jest do oczyszczalni ścieków wraz z nadmiarową wodą. Nieprzetworzony kwas, zmodernizowany do postaci azeotrofu, odparowuje się, a następnie ponownie skrapla. Pozostały kwas zawierający substancje stałe i metale ciężkie jest pobierany z wyparownika i pompowany do mieszalnika celem neutralizacji. [\[64. TWG 2003\]](#)

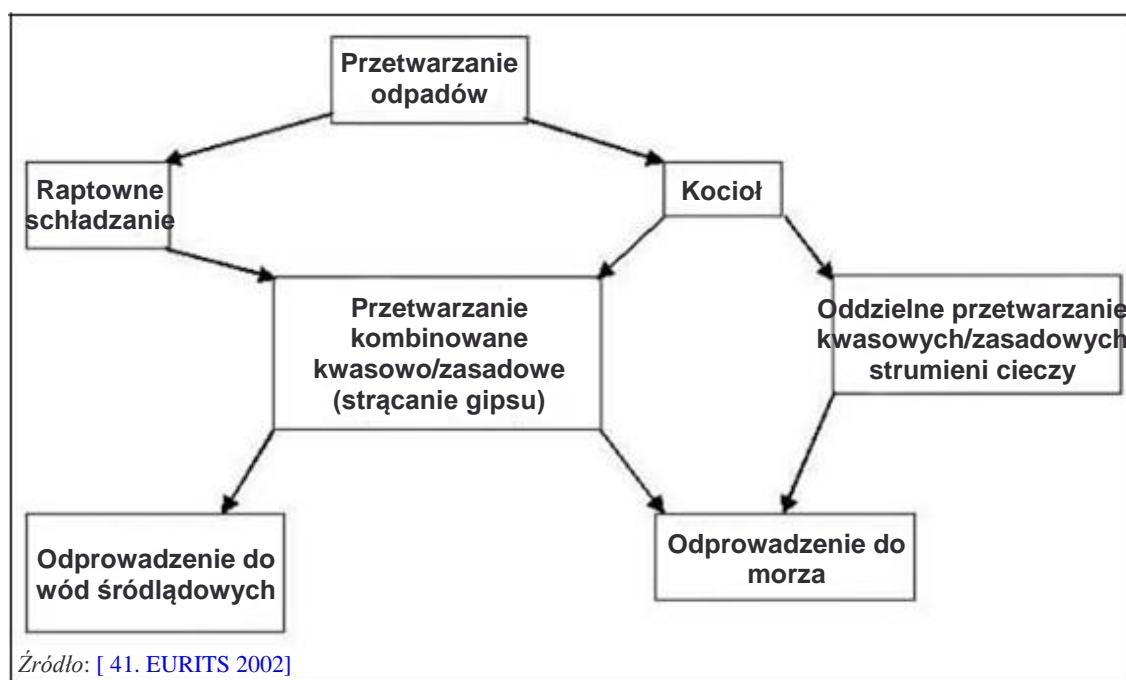
2.6.4 Przetwarzanie ścieków w spalarniach odpadów niebezpiecznych

Spśród europejskich instalacji HWI 55% nie odprowadza ścieków. Stosują one albo systemy, które nie wytwarzają ścieków (np. suche lub półsuche FGC), albo odparowują wodę przez komin, za pomocą suszarek rozpyłowych, lub w oddzielnej instalacji odparowywania, czasami po oczyszczeniu ścieków celem usunięcia rtęci. [\[74. TWG 2004\]](#)

Pozostałe 45% europejskich instalacji HWI posiada oczyszczalnie ścieków, zwykle takie jak opisana na ilustracji 2.47, które można podsumować w poniższy sposób.

Można rozróżnić spalarnie wyposażone w kocioł oraz te wyposażone w system szybkiego schładzania, przy czym ze względów technicznych przepływ odprowadzanych ścieków jest dla tych ostatnich większy. (Uwaga: niektóre instalacje HWI wyposażone zostały zarówno w system szybkiego schładzania jak i w kocioł) [\[74. TWG 2004\]](#). Instalacje wyposażone w kocioł odprowadzają od < 1 ltr/kg do 5 ltr/kg spalanych odpadów. Instalacje wyposażone tylko w układ szybkiego schładzania odprowadzają od 10 ltr/kg do 20 ltr/kg spalonych odpadów, choć mogą ograniczać przepływ wody do 5 ltr/kg poprzez recyrkulację ścieków z oczyszczalni lub recykling w obrębie samej instalacji schładzania.

Zazwyczaj ścieki z kwaśnego etapu oczyszczania gazów na mokro (zawierające NaCl, CaCl₂, Hg, CaF₂ oraz SO₃) mieszane są ze ściekami z etapu alkalicznego (zawierające Na₂SO₄) celem wytrącenia części gipsu (i zmniejszenia zawartości siarczanów w ściekach do mniej niż 2 gr/ltr, co stanowi stężenie rozpuszczalności gipsu) przed dalszym przetwarzaniem. Istnieje jednak jedna instalacja, w której ścieki z płuczek kwaśnych i zasadowych oczyszczane są oddzielnie.



Ilustracja 2.47 Przegląd stosowanych systemów oczyszczania ścieków w komercyjnych zakładach HWI

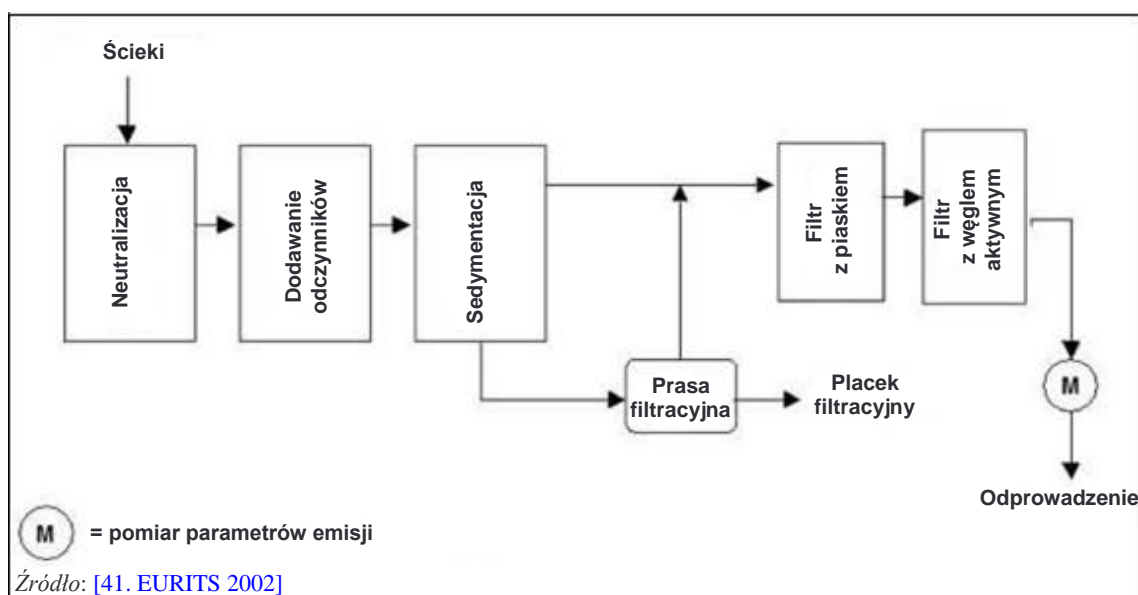
To, czy dana instalacja posiada własną oczyszczalnię ścieków, czy też odprowadza ścieki do oczyszczalni zewnętrznej, zależy od lokalizacji.

Ilustracja 2.48 przedstawia typową konfigurację oczyszczalni do obróbki ścieków z sekcji przetwarzania spalin na mokro spalarni odpadów niebezpiecznych.

Głównymi elementami tych instalacji jest:

- neutralizacja (np. z dodaniem wapna, NaOH/HCl);
- dodawanie odczynników przeznaczonych specjalnie do wytrącania metali w postaci wodorotlenków lub siarczków (np. środki flokulacyjne, trimercapto-s-triazyna, siarczki, polielektrolity);
- usuwanie osadów: albo poprzez sedymentację grawitacyjną i dekantacyjną, albo za pomocą technik mechanicznych, takich jak prasa filtracyjna lub wirówka.

W niektórych zakładach ścieki są oczyszczane przez przepuszczenie ich przez **filtr z piaskiem**, a następnie **filtr z węglem aktywnym**.



Ilustracja 2.48 Przykład oczyszczalni ścieków w sektorze komercyjnym HWI

2.7 Techniki przetwarzania stałych pozostałości

2.7.1 Rodzaje stałych pozostałości

Spalanie odpadów powoduje powstawanie różnego rodzaju stałych pozostałości:

- **popiół paleniskowy** jest stałą pozostałością usuwaną z komory spalania po spalaniu odpadów;
- **popiół ze złoża fluidalnego** jest stałą pozostałością usuwaną ze złoża fluidalnego po spalaniu odpadów;
- **żużel** jest stałą stopioną pozostałością usuwaną z komory spalania po spalaniu odpadów;
- **popiół lotny** składa się z cząstek pochodzących z komory spalania lub uformowanych w strumieniu spalin, i w nich transportowanych;
- **popiół z kotła (popiół kotłowy)** jest tą częścią popiołu lotnego, który jest usuwana z kotła;
- pozostałości z FGC to mieszanina zanieczyszczeń pierwotnie obecnych w gazach spalinowych oraz substancji, które są wykorzystywane do usuwania tych zanieczyszczeń;
- zużyty katalizator jest wykorzystanym oraz zastąpionym katalizatorem;
- osad (szlam) jest stałą pozostałością usuwaną z płuczki gazowej mokrej lub z oczyszczalni ścieków (stacji uzdatniania wody).

2.7.1.1 Pozostałości bezpośrednio powstające w procesie spalania

Pozostałości te mogą się różnić w zależności od rodzaju spalanych odpadów jak i zastosowanego procesu spalania.

Spalanie odpadów komunalnych

- **Popiół paleniskowy.** Jest to ważna pozostałość ze względu na dużą ilość wytwarzanych oraz spalanych odpadów. Większość spalarni odpadów komunalnych wykorzystuje system mokrego odprowadzenia (zrzutu) popiołu paleniskowego, a tylko niektóre korzystają z zrzutu suchego. Następujące potem przetwarzanie popiołu paleniskowego może być również procesem mokrym lub suchym (zob. sekcja 4.7.5 oraz 4.7.6). Popiół paleniskowy określany jest jako popiół świeży po pierwszym usunięciu ze spalarni. Nieprzetworzony popiół paleniskowy to popiół, który oczekuje na proces przetworzenia a sezonowany popiół paleniskowy to popiół po przetworzeniu, a następnie magazynowaniu przez pewien okres czasu. [75. FEAD 2014]
- **Przesiewy (lub przepływy)** to cząstki, które opadły przez ruszt podczas spalania. W niektórych przypadkach są one podawane ponownie do pieca.
- **Popiół lotny.** Ten rodzaj odpadów jest w większości przypadków unieszkodliwiany, często po wstępnym przetworzeniu, ale jest również wykorzystywany w budownictwie cywilnym jako materiał wypełniający do zastosowań związanych z asfaltem, w krajach, w których taka praktyka jest dozwolona [74. TWG 2004]. Dodatkową opcją jest odzysk metali takich jak cynk, ołów, miedź i kadm, który został wdrożony na dużą skalę w Szwajcarii [65. BAFU 2010]. Przetwarzanie oraz unieszkodliwianie zostaną omówione w dalszej części dokumentu.
- **Popiół z kotła** jest często przetwarzany razem z popiołem lotnym. W niektórych krajach (na przykład w Zjednoczonym Królestwie czy Holandii) popiół z kotła może być przetwarzany razem z popiołem paleniskowym. [74. TWG 2004]

Spalanie odpadów niebezpiecznych oraz medycznych

- **Żużel** jest wywożony na składowisko odpadów bez dalszego przetwarzania lub może być poddany recyklingowi, jeżeli jest to lokalnie dozwolone.
- **Popiół lotny** jest podobny do popiołu powstającego w MSWI, ale ponieważ może zawierać wyższe poziomy zanieczyszczeń, więc zazwyczaj jest unieszkodliwiany.

Spalanie osadów ściekowych

- **Popiół lotny** może być stosowany, bez dalszego przetwarzania, jako materiał wypełniający do zastosowań w budownictwie cywilnym, w krajach, w których taka praktyka jest dozwolona. W Niemczech jest on również wykorzystywany do zasypywania kopalń. Niewykorzystany popiół lotny jest składowany na składowiskach odpadów. Popioły lotne ze spalarni przeznaczonych wyłącznie do spalania osadów ściekowych zawierają duże ilości P_2O_5 i zostały wskazane jako potencjalne wtórne źródło fosforu.
- **Popiół ze złoża fluidalnego.** Wyprodukowana ilość jest stosunkowo niewielka i często dodawana do popiołu lotnego lub składowana bez dalszego przetwarzania.

Spalanie paliwa odpadowego RDF

- **Popiół ze złoża fluidalnego.** W zależności od specyfiki materiału, ilości popiołu ze złoża fluidalnego mogą być znacznie większe niż w przypadku spalania osadów ściekowych. Doświadczenie w zakresie jego ponownego wykorzystania jest jak na razie niewielkie.
- **Popiół lotny** powstający przy spalaniu odpadów drzewnych na małą i średnią skalę. Produkowana ilość jest stosunkowo niewielka i nie będzie dalej omawiana.

Niektóre instalacje pracują w szczególnie wysokich temperaturach (np. $> 1\,400\text{ }^\circ\text{C}$), a jednym z ich głównych celów jest topienie popiołu paleniskowego celem wytworzenia żużła, który ma lepsze możliwości wykorzystania ze względu na mniejszą wymywalność itp. Przykładami takich instalacji są piece obrotowe do wytwarzania wysokotemperaturowego żużła oraz kombinowane procesy zgazowania i spalania. Ten ostatni system jest już stosowany w Japonii, gdzie do pozostałości z MSWI stosuje się bardzo rygorystyczne kryteria wymywalności, w szczególności celem zwiększenia ponownego wykorzystania pozostałości oraz ograniczenia konieczności umieszczania ich na składowiskach.

Zarówno w Europie, jak i poza nią, istnieją różnice w polityce i procedurach dotyczących ponownego wykorzystania pozostałości ze spalarni. [\[74. TWG 2004\]](#)

2.7.1.2 Pozostałości powstałe w procesie FGC

Pozostałości z procesu FGC to mieszanina zanieczyszczeń pierwotnie obecnych w spalinach oraz substancji, które wykorzystywane są do usuwania tych zanieczyszczeń. Pozostałości z procesu FGC zawierają stężone ilości substancji zanieczyszczających (np. niebezpiecznych związków czy soli) i dlatego zazwyczaj nie są uważane za odpowiednie do recyklingu. Głównym celem jest zatem znalezienie bezpiecznej dla środowiska opcji ich ostatecznego usunięcia. Można wyróżnić następujące rodzaje pozostałości z oczyszczania spalin:

- **Pozostałości po suchym oraz półmokrym przetwarzaniu spalin** są mieszaniną soli wapnia i/lub sodu, głównie w postaci chlorków i siarczynów/siarczanów. Występują w nich również niektóre fluorki i nieprzereagowane chemikalia odczynnikowe (np. wapno hydratyzowane lub węglan sodu). W skład tej mieszaniny wchodzi również niektóre popioły lotne, które nie zostały usunięte w żadnym z poprzednich etapów usuwania pyłu. W związku z tym mogą zawierać również zanieczyszczające metale ciężkie czy PCDD/F. Standardową metodą usuwania jest składowanie tych pozostałości jako odpady niebezpieczne, często w dużych workach lub, po zacementowaniu, w blokach. Ważnym parametrem przy składowaniu odpadów na składowiskach jest ich wymywalność. Aby ją obniżyć można zastosować różne zabiegi, które zostały opisane w dokumencie BREF WT. Pozostałości z FGC pochodzące z procesu z użyciem suchego wodorowęglanu sodu mogą zostać oczyszczone oraz poddane recyklingowi. [\[74. TWG 2004\]](#)
- **Osady** z fizyczno-chemicznego przetwarzania ścieków pochodzących z oczyszczania spalin na mokro charakteryzują się bardzo wysoką zawartością metali ciężkich, ale mogą zawierać również sole o ograniczonej rozpuszczalności, takie jak gips. Normalną metodą usuwania jest składowanie na składowiskach (jako odpady niebezpieczne). Pozostałości te mogą zawierać wysokie poziomy PCDD/F, dlatego też czasami są one wstępnie przetwarzane przed ich umieszczeniem na składowisku.

- **Gips**, w zależności od parametrów procesu oraz wymagań jakościowych, może być również odzyskiwany, z oczyszczaniem lub bez. Odzysk możliwy jest przy zastosowaniu wapienia lub wapna hydratyzowanego, w dwustopniowej płuczce gazowej mokrej ze skutecznym separatorem kropel. [74. TWG 2004] Odzyskany gips może być w pewnych okolicznościach poddany recyklingowi.
- **Sole** powstające w wyniku odparowania ścieków w ramach procesu. Pozostałość ta jest podobna do pozostałości z (pół-)suchych procesów oczyszczania spalin.
- **Sole** powstałe w wyniku oddzielnie prowadzonego odparowania ścieków. Stosowanie lub usuwanie soli zależy od składu pozostałości. Zazwyczaj jest ona czystsza niż ta, którą uzyskano w wyniku odparowania ścieków w ramach procesu (jednej linii produkcyjnej).
- **Pozostałości po wstrzyknięciu suchego sorbentu**. Opcje użycia zależą od zastosowanego sorbentu (węgiel aktywny, koks, wapno hydratyzowane, wodorowęglan sodu, zeolit). Pozostałości węgla aktywnego z reaktorów ze złożem stałym są czasami spalane w spalarni odpadów, jeżeli spalarnia jest w stanie zniszczyć i/lub zatrzymać zawarte w nich zanieczyszczenia. Pozostałości z systemów złoża wychwytyjącego mogą być również spalane, jeżeli zastosowany adsorbent jest wyłącznie węglem aktywnym lub koksowniczym. Jeżeli stosowana jest mieszanina innych odczynników oraz węgla aktywnego, pozostałość jest zazwyczaj wysyłana do zewnętrznego przetworzenia lub usunięcia, ponieważ może wystąpić ryzyko korozji.

2.7.2 Przetwarzanie oraz recykling stałych pozostałości pochodzących bezpośrednio z procesu spalania

Wysoka zawartość minerałów w pozostałościach po spalaniu może sprawić, że będą one potencjalnie przydatne jako materiał drogowy lub inny materiał budowlany. Możliwość wykorzystania materiału warunkuje spełnienie przez niego szeregu kryteriów środowiskowych i technicznych. Wymaga to optymalizacji jakości popiołu poprzez działania pierwotne lub wtórne. Parametry, które należy uwzględnić obejmują:

- stopień wypalenia;
- reaktywność minerałów;
- stopień wypłukania metali;
- zawartość soli;
- wielkość oraz rozkład wielkości cząsteczek.

Po odpowiednim przetworzeniu, pozostałości z wielu nowoczesnych spalarni odpadów spełniają wymagania środowiskowe i techniczne dotyczące ich parametrów jakościowych. Bariery regulacyjne i polityczne są niekiedy głównymi przeszkodami w wykorzystaniu (w szczególności) popiołów paleniskowych z odpowiednio zaprojektowanych/obsługiwanych instalacji.

Stosowane metody przetwarzania pozostałości mają na ogół na celu optymalizację jednego lub kilku z parametrów celem naśladowania jakości oryginalnych (pierwotnych) materiałów budowlanych. Ze względu na dużą wielkość produkcji, mniejszą szkodliwość i zdolność do wymywania, przetwarzanie odpadów na potrzeby recyklingu stosuje się głównie do popiołów paleniskowych ze stałych odpadów komunalnych. Stosowanie popiołu paleniskowego ze spalania odpadów innych niż niebezpieczne jest promowane w Holandii (> 90%), Danii (90%), Niemczech (80%), Francji (> 8 %), Belgii i Wielkiej Brytanii (21%). Popioły paleniskowe/żuźle powstałe w wyniku spalania odpadów niebezpiecznych są na ogół kierowane na składowiska odpadów niebezpiecznych.

Techniki przetwarzania popiołu paleniskowego zostały opisane w sekcji 4.7. Popiół paleniskowy może być stosowany na powierzchni ziemi jako materiał budowlany. Istnieją duże różnice sezonowe i regionalne w zakresie objętości, które mogą być wykorzystywane do różnych zastosowań budowlanych. Popiół paleniskowy jest również wykorzystywany pod ziemią jako materiał wypełniający, zapewniający bezpieczną, długoterminową podporę w starych wyrobiskach górniczych.

[38. Vehlow 2002], [39. Vrancken 2001], [56. UKEnvAgency 2002], [64. TWG 2003], [74. TWG 2004], [82. Germany 2014].

Przetwarzanie popiołu lotnego i kotłowego odbywa się tylko w kilku instalacjach w Europie. W Holandii popioły lotne z zakładów MSWI i SSI stosuje się jako wypełniacz materiałów do budowy dróg (asfalt) bez wstępnego przetwarzania w spalarni. W ten sposób w Holandii wykorzystuje się około jednej trzeciej całości popiołu lotnego z zakładów MSWI i 80% popiołu lotnego z zakładów SSI (łącznie około 80 000 ton rocznie). [74. TWG 2004]. Techniki przetwarzania popiołów lotnych i kotłowych objęte są dokumentem referencyjnym WT BREF.

Opracowano również specjalne procesy mające na celu synergiczne wykorzystanie pozostałości powstających w mokrych procesach oczyszczania spalin, takie jak kwaśny proces wymywania popiołu z filtrów (proces FLUWA), który jest szeroko stosowany w Szwajcarii. W procesie tym kwas zawarty w wodzie z płuczki mobilizuje i ekstrahuje metale ciężkie zawarte w popiołach lotnych. Na etapie filtracji, popiół z filtra o niskiej zawartości metali zostaje oddzielony od fazy bogatej w metale, która jest następnie poddawana procesowi hydrometalurgicznemu celem oddzielenia i odzyskania zawartych w niej metali. W procesie FLUREC kadm, ołów oraz miedź zostają indukcyjnie oddzielone i wykorzystane jako produkt wtórny w produkcji ołowiu lub miedzi. Cynk, obecny w ekonomicznie opłacalnych stężeniach, odseparowany zostaje od wstępnie oczyszczonego filtratu za pomocą selektywnej ekstrakcji ciecz-ciecz, a następnie wzbogacony i odzyskany elektrolitycznie jako cynk wysokiej czystości. (Bühler i Schlumberger w [65. BAFU 2010])

Podstawowe techniki kontroli emisji pozostałości obejmują optymalizację kontroli procesu spalania celem [38. Vehlow 2002]:

- zagwarantowania pełnego spalania związków węgla;
- wspierania ulatniania się metali ciężkich takich jak rtęć i kadm ze złoża fluidalnego; oraz
- zespolenia elementów litofilnych w popiele paleniskowym, a tym samym ograniczenia ich wymywania.

Dodatkowe systemy przetwarzania obejmują jedno lub więcej spośród poniższych działań:

- redukcję rozmiaru cząstek, aby umożliwić segregację metalu i poprawić jego jakość techniczną;
- segregację metali żelaznych i nieżelaznych, które mogą być poddane recyklingowi w przemyśle metalurgicznym;
- oddzielenie niespalonych elementów celem ich zawrócenia do spalarni;
- płukanie celem usunięcia rozpuszczalnych soli;
- postarzanie (saturacja), aby ustabilizować złożoną strukturę oraz zmniejszyć reaktywność/wymywalność;
- przetwarzanie za pomocą spoiwa hydraulicznego lub węglowodorowego, celem ponownego wykorzystania jako materiał bazowy przy budowie dróg;
- przetwarzanie termiczne celem zubożenia metali zawartych w szklistej matrycy.

Zarówno techniki podstawowe, jak i drugorzędne zostały omówione bardziej szczegółowo w sekcji 4.7.

2.7.3 Przetwarzanie pozostałości po oczyszczeniu spalin

Techniki przetwarzania, które mogą być stosowane do pozostałości z FGC, zostały opisane w dokumencie BREF WT.

Przetwarzanie termiczne pozostałości po spalaniu odbywa się na szeroką skalę w kilku krajach, głównie celem zmniejszenia ich objętości, ale także celem zmniejszenia w nich zawartości substancji organicznych i metali ciężkich oraz poprawy ich właściwości wymywania, przed składowaniem. Czasami pozostałości z FGC oraz popiół paleniskowy mieszane są ze sobą na potrzeby przetwarzania termicznego. [74. TWG 2004]

Trzy kategorie przetwarzania termicznego to zeszklenie, stopienie oraz spiekanie. Różnice pomiędzy tymi procesami związane są przede wszystkim z wymaganą charakterystyką oraz właściwościami produktu końcowego. Spaliny powstające w wyniku przetwarzania termicznego stałych pozostałości mogą zawierać duże ilości zanieczyszczeń, takich jak NO_x, TVOC, SO_x, pył czy metale ciężkie, dlatego też wymagane jest odpowiednie przetwarzanie spalin. Czasami wytworzone spaliny wprowadzane są do systemu FGC spalarni, jeśli znajduje się ona w pobliżu. [\[74. TWG 2004\]](#)

2.8 Środki oraz urządzenia zabezpieczające

[64. TWG 2003]

Niniejsza sekcja dotyczy kwestii bezpieczeństwa w sensie zapobiegania wypadkom mogącym prowadzić do emisji zanieczyszczeń.

Bezpieczeństwo zakładu jest ważnym aspektem przy planowaniu, budowie oraz eksploatacji spalarni odpadów. Aby zapewnić wysoki poziom bezpieczeństwa eksploatacji instalacji, istotne jej części są wyposażane w systemy ochronne. Mają one na celu, w miarę możliwości, zapobieganie oraz ograniczanie skutków awarii lub wypadków, mogących mieć negatywny wpływ na środowisko naturalne w pobliżu obiektu.

Istotne z punktu widzenia bezpieczeństwa elementy spalarni odpadów, a tym samym potencjalne źródła zagrożeń, obejmują w szczególności obszary, na których występują lub mogą powstawać pewne substancje w ilościach wystarczająco wysokich, aby stanowić zagrożenie.

W szczególności są to:

- bunkier na odpady oraz inne obszary przeznaczone do składowania odpadów potencjalnie niebezpiecznych;
- instalacje spalania i oczyszczania spalin; oraz
- obiekty do składowania niezbędnych środków pomocniczych (np. amoniaku, węgla aktywnego).

Systemy ochronne wykorzystywane do kontroli ryzyka obejmują:

- systemy kontroli uwalniania zanieczyszczeń, takie jak systemy retencyjne dla zużytej wody gaśniczej, czy też obwałowanie zabezpieczające zbiorniki przeznaczone na substancje stanowiące zagrożenie dla wody;
- systemy i urządzenia ochrony przeciwpożarowej, takie jak zapory ogniowe, czujki pożarowe, systemy gaśnicze;
- systemy ochrony przeciwwybuchowej, takie jak systemy uwalniania nadmiarowego ciśnienia, obejścia, urządzenia zapobiegające powstawaniu zapłonu, systemy gazów obojętnych, systemy uziemienia;
- systemy ochrony przed sabotażem (np. ochrona budynków, kontrola dostępu czy środki nadzoru);
- ściany ogniotrwałe do oddzielenia transformatorów i urządzeń retencyjnych;
- systemy wykrywania i ochrony przeciwpożarowej w miejscach, gdzie znajdują się rozdzielnice niskiego napięcia;
- wykrywanie zanieczyszczeń (amoniak, gaz itp.) w pobliżu miejsca ich magazynowania, dystrybucji itp.;
- systemy ochrony przed zagrożeniami środowiskowymi (np. powódzie, wichury, uderzenie pioruna oraz ekstremalne gorąco lub zimno).

Inne elementy instalacji wymagające zagwarantowania bezpieczeństwa ich eksploatacji to:

- maszyny i urządzenia zaprojektowane celem ciągłości dostarczania/odprowadzania energii wejściowej i wyjściowej (np. generator awaryjny);
- elementy służące do odprowadzania, usuwania lub zatrzymywania substancji niebezpiecznych lub ich mieszanin, takie jak zbiorniki magazynowe, systemy awaryjnego uwalniania czy opróżniania;
- systemy ostrzegawcze, alarmowe i bezpieczeństwa, które uruchamiają się w przypadku zakłócenia normalnego trybu pracy, zapobiegają zakłóceniom normalnego trybu pracy lub przywracają normalny tryb pracy. Obejmuje to wszystkie systemy sygnalizacji i sterowania zakładem, a w szczególności wszystkie systemy pomiarowe oraz sterujące różnymi parametrami procesowymi, które z jednej strony mają zasadnicze znaczenie dla zapewnienia normalnej eksploatacji, a z drugiej strony, w przypadku zakłóceń doprowadzają dotknięte nimi elementy instalacji do bezpiecznego stanu i informują o tym,

w odpowiednim czasie, personel obsługujący instalację;

Reakcja urządzenia zabezpieczającego na usterkę lub wypadek może spowodować chwilowy wzrost emisji zanieczyszczeń. Celem wszystkich środków bezpieczeństwa musi być ograniczenie tego okresu do minimum oraz przywrócenie warunków bezpiecznej eksploatacji zakładu. [\[64. TWG 2003\]](#)

3. BIEŻĄCE POZIOMY EMISJI ORAZ ZUŻYCIA

W niniejszym rozdziale przedstawiono informacje na temat aktualnych zakresów zużycia oraz poziomów emisji w sektorze WI, obejmujących procesy opisane w rozdziale 2. Informacje podano w sposób jak najbardziej szczegółowy, w zależności od dostępności danych, według głównych rodzajów spalanych odpadów, które zostały uwzględnione. Kwestie środowiskowe, opisane już w rozdziale 2, zostały dodatkowo poparte przedstawionymi w niniejszym rozdziale danymi. Określono również kluczowe kwestie środowiskowe.

Główne kwestie środowiskowe dla omawianego w tym dokumencie sektora to emisje do powietrza oraz odzysk energii. Emisje do wody są mniej istotnym zagadnieniem.

Informacje dotyczące emisji i konsumpcji zawarte w rozdziale pochodzą głównie z ogólnych danych (dołączonych do niniejszego dokumentu) zebranych w wybranych miejscach 15 państw członkowskich oraz Norwegii. Inne źródła danych, zbiorczych oraz dotyczących poszczególnych obiektów, zostały otrzymane zarówno od państw członkowskich jak i organizacji przemysłowych i też są tutaj uwzględnione. Przedstawione dane mają na celu zilustrowanie obecnych poziomów emisji w sektorze, wraz z powiązaniem poziomami zużycia energii i wody, szczegółami dotyczącymi wykorzystania odpadów, jak również wytwarzanych pozostałości.

Celem przedstawienia danych w sposób zrozumiały oraz umożliwienia ich przejrzystej analizy w rozdziale zamieszczono dużą liczbę wykresów oraz tabel, w których przedstawiono poziomy emisji i zużycia osiągnięte przez linie produkcyjne/zakłady spalające odpady, które uczestniczyły w roku 2016 w gromadzeniu danych. Opracowując dane, zakłady lub linie produkcyjne sklasyfikowano na podstawie następujących kryteriów:

Typu stosowanego pieca, w tym:

- piece (paleniska) rusztowe;
- piece obrotowe;
- piece ze złożem fluidalnym;
- piece inne niż wymienione powyżej (np. spalarnie odpadów płynnych);
- zgazowanie (gazyfikacja).

Rodzaju spalanych odpadów, gdzie zakłady zostały sklasyfikowane na podstawie dominującego wagowo rodzaju odpadów spalanych w roku referencyjnym 2014, w tym:

- stałe odpady komunalne (MSW);
- osady ściekowe (szlam kanalizacyjny);
- odpady inne niż niebezpieczne;
- odpady medyczne;
- odpady niebezpieczne (do celów odzysku energii, w tej kategorii odpadów dokonuje się dalszego rozróżnienia pomiędzy niebezpiecznymi odpadami drzewnymi oraz innymi rodzajami odpadów niebezpiecznych).

Wielkości zakładu, w tym:

- małe zakłady – przetwarzające mniej niż 100 000 ton/rok dla odpadów innych niż niebezpieczne lub mniej niż 48 000 ton/rok dla odpadów niebezpiecznych;
- średnie zakłady - od 100 000 do 250 000 ton/rok dla odpadów innych niż niebezpieczne, lub od 48 000 do 80 000 ton/rok dla odpadów niebezpiecznych;
- duże zakłady - ponad 250 000 ton/rok dla odpadów innych niż niebezpieczne lub ponad 80 000 ton/rok dla odpadów niebezpiecznych.

Wiekowi zakładu, w zależności od roku, w którym zakład/instalacja/obiekt po raz pierwszy wszedł do eksploatacji, w tym:

- zakłady stare - uruchomione przed rokiem 2000;

- zakłady średnio stare - które rozpoczęły działalność później niż w 2000 r., ale przed 2006 r. (rok publikacji poprzedniego dokumentu BREF WI); zakwalifikowano tu również zakłady, które zostały zmodernizowane do ich obecnej konfiguracji przed 2006 r.;
- zakłady nowe - niedawno uruchomione zakłady, które rozpoczęły działalność później niż w 2006 r.; zakwalifikowano tu również zakłady, które zostały zmodernizowane do ich obecnej konfiguracji po roku 2006.

3.1 Wprowadzenie

Emisje oraz zużycie w spalarniach odpadów zależą głównie od:

- składu oraz zawartości odpadów;
- danych technicznych pieca (projekt + eksploatacja pieca);
- projektu oraz eksploatacji urządzeń do oczyszczania spalin.

Emisje do powietrza

Emisje HCl, HF, SO₂, NO_x oraz metali zależą głównie od struktury odpadów oraz dokładności oczyszczania spalin. Emisje CO i VOC (LZO) zależą przede wszystkim od parametrów technicznych pieca oraz stopnia niejednorodności odpadów po osiągnięciu przez nie etapu spalania. Konstrukcja i działanie pieca w dużym stopniu wpływa również na emisje NO_x. Emisja pyłów jest bardzo uzależniona od efektywności oczyszczania spalin. Emisje PCDD/F zależą od struktury odpadów, pieca (temperatura + czas przebywania), warunków pracy instalacji (w pewnych warunkach możliwy jest proces regeneracji i syntezy *de novo*) oraz efektywności oczyszczania spalin.

Spalarnie odpadów komunalnych wytwarzają zazwyczaj spaliny w ilości od 4 500 m³ do 6 000 m³ na tonę spalonych odpadów (obliczonej dla 11% tlenu), w zależności od wartości LHV. W przypadku spalarni odpadów niebezpiecznych wartość ta (obliczona dla 11% tlenu) wynosi najczęściej od 6 500 m³ do 10 000 m³ i zależy głównie od średniej wartości LHV odpadów. Zakłady stosujące pirolizę, zgazowanie lub dostarczanie powietrza wzbogaconego tlenem wytwarzają mniejsze ilości spalin na tonę spalonych odpadów.

Poziomy emisji do powietrza podane zostały w tym dokumencie w określonych uśrednionych okresach czasu - zazwyczaj rocznych, dobowych lub półgodzinnych. Niektóre zakłady, w szczególności te, które zajmują się przetwarzaniem wysoce niejednorodnego strumienia odpadów, mogą doświadczać stanów przejściowych, prowadzących do chwilowej zmiany stężeń emisji, wykraczających poza zakresy średnie. [\[64. TWG 2003\]](#)

Emisje do wody

W zależności od rodzaju stosowanego przetwarzania spalin może również wystąpić emisja do wody. Oczyszczanie spalin na mokro jest głównym źródłem ścieków, chociaż w niektórych przypadkach ścieki te są eliminowane drogą odparowania.

Pozostałe strumienie ścieków mogą pochodzić z magazynów, kotłów, itp. i zostały opisane w sekcjach 3.3.1 oraz 3.3.2.

Stałe pozostałości (pozostałości w stanie stałym)

Wytwarzane stałe pozostałości to przede wszystkim:

- popiół paleniskowy lub żużel;
- popiół lotny; pozostałości po oczyszczaniu spalin; pozostałości po oczyszczaniu ścieków.

(Bardziej szczegółowe opisy znajdują się w sekcji 2.7.1.) [\[64. TWG 2003\]](#)

Na wytwarzanie oraz zawartość stałych pozostałości wpływ mają:

- zawartość i skład odpadów, np. różne zawartości popiołu wpływają na ilość powstającego popiołu paleniskowego, a zawartość substancji takich jak chlor czy siarka będzie miała wpływ na pozostałości po oczyszczeniu spalin;

- konstrukcja oraz działanie pieca, np. zakłady pirolizy celowo wytwarzają zwęgliny w miejsce popiołu, a piece o wyższej temperaturze mogą spiekać lub szkliwić popiół oraz powodować ulatnianie się niektórych frakcji;
- konstrukcja i działanie systemów oczyszczania spalin, np. niektóre systemy oddzielają pył od pozostałości chemicznych, a systemy mokre wytwarzają ścieki, z których po przetworzeniu usuwane są substancje stałe.

Odprowadzanie (eksport) energii z instalacji

Największy wpływ na osiągnięte poziomy eksportu energii mają następujące czynniki:

- dostępność odbiorcy energii (w szczególności dla dostaw ciepła/pary);
- projekt instalacji (w szczególności w przypadku produkcji energii elektrycznej, gdzie parametry pary przeznaczonej do wytworzenia energii elektrycznej mają istotny wpływ na wskaźniki jej produkcji).

Na przyjęty system odprowadzania energii duży wpływ często mają przychody uzyskiwane z tytułu jej sprzedaży. Względne oraz bezwzględne ceny ciepła, pary czy energii elektrycznej mają wpływ na ostateczny projekt, a co za tym idzie uzyskaną produkcję energii, oraz osiągnięty poziom efektywności.

Konsumpcja własna energii

Na wielkość konsumpcji własnej wpływają głównie:

- skład odpadów - niektóre odpady wymagają użycia paliwa pomocniczego (odpadowego lub nie), aby zapewnić całkowite ich spalanie, podczas gdy inne są autotermiczne, tj. wytwarzają wystarczającą ilość ciepła do podtrzymania spalania, bez dodatkowego wkładu paliwa pomocniczego;
- Konstrukcja instalacji, np. różne wymagania energetyczne różnych urządzeń do przetwarzania spalin. Ogólnie rzecz biorąc, im mniejsza będzie dozwolona emisja do powietrza, tym większe będzie zużycie energii przez system FGC.

Pozostała konsumpcja

Zużycie odczynników chemicznych związane jest głównie z projektowaniem i eksploatacją urządzeń do oczyszczania spalin - co w dużym stopniu zależy od rodzaju odpadów i pożądanych poziomów emisji do powietrza - mniejsze emisje do powietrza zazwyczaj wymagają większych ilości odczynników.

3.1.1 Przegląd substancji w strumieniach wylotowych ze spalarni odpadów

Ze względu na swoje właściwości chemiczne, różne pierwiastki zawarte w odpadach są różnie rozmieszczone w strumieniach wylotowych z procesu spalania. W tabeli 3.1 podano przykład takiego rozmieszczenia na podstawie badań przeprowadzonych w austriackiej spalarni odpadów Spittelau w Wiedniu. [\[1. UBA 2001\]](#)

Rozkład ten różni się w zależności od zakładu, zastosowanej metody oczyszczania spalin, rodzaju odpadów i innych czynników, ale podane tu liczby stanowią wskazówkę dla rozkładu procentowego różnych substancji w strumieniach wylotowych z MSWI. W omawianej instalacji zastosowano ESP jako odpylacz wstępny, przed FGC na mokro, oraz oczyszczalnię ścieków do uzdatniania pozostałości z płuczki.

Tabela 3.1 Rozkład różnych substancji w strumieniach wyjściowych z przykładowej instalacji MSWI (w % masy)

Substancja	Zrzut oczyszczonych spalin	ESP pyłu	Ścieki	Osad z przetwarzania ścieków	Popiół paleniskowy ⁽¹⁾ ⁽²⁾
Węgiel (%)	98 (+/-2)	< 1	< 1	< 1	1.5 (+/-0.2)
Chlor (%)	< 1	35	54	< 1	11
Fluor (%)	< 1	15 (+/-1)	< 1	< 1	84 (+/-1)
Siarka (%)	< 1	38 (+/-6)	8 (+/-1)	6 (+/-1)	47 (+/-7)
Fosfor (%)	< 1	17 (+/-1)	< 1	< 1	83 (+/-1)
Żelazo ⁽³⁾ (%)	< 1	1 (+/-0.5)	< 1	< 1	18 (+/-2)
Miedź (%)	< 1	6 (+/-1)	< 1	< 1	94 (+/-1)
Ołów (%)	< 1	28 (+/-5)	< 1	< 1	72 (+/-5)
Cynk (%)	< 1	54 (+/-3)	< 1	< 1	46 (+/-3)
Kadm (%)	< 1	90 (+/-2)	< 1	< 1	9 (+/-1)
Rtęć (%)	< 1	30 (+/-3)	< 1	65 (+/-5)	5 (+/-1)

⁽¹⁾ Biologiczna dostępność materiałów, które pozostają w popiole paleniskowym zależy od wymywalności *in situ* podczas późniejszego przetwarzania/unieszkodliwiania.
⁽²⁾ Ryzyko związane z ponownym wykorzystaniem popiołu paleniskowego nie musi wynikać z obecności lub braku obecności wskazanych substancji - ważna jest również forma chemiczna i fizyczna substancji, a także charakter środowiska, w którym materiał będzie używany. [64. TWG 2003]
⁽³⁾ Pozostałe, ok. 80%, jest traktowane jako złom.
 Źródło: [1. UBA 2001], [64. TWG 2003]

Dodatkowe różnice wynikają z różnej zawartości odpadów, szczególnie w przypadku spalarni odpadów niebezpiecznych.

W tabeli 3.2 podano rozkład procentowy sześciu metali, rtęci, kadmu, arsenu, ołowiu, miedzi i cynku, uśredniony w okresie testowym w strumieniach wyjściowych z HWI. W tabeli podano również m/m następujących pozostałości stałych: żużla, popiołu lotnego oraz osadu, w odniesieniu do ilości odpadów spalonych podczas testu.

Tabela 3.2 Procentowy udział (w %) metali w strumieniach wylotowych z procesu spalania odpadów niebezpiecznych

Metal (ciężki)	Stale pozostałości do przetworzenia				Węgiel aktywny	Ilość odprowadzona do środowiska		
	Żużel	Popiół lotny	Osad z WWT	Razem		Do powietrza	Do wody	Razem
m/m [%]	30	3	4					
Hg	< 0.01	< 0.01	99.88	99.88	0.05	< 0.01	0.07	0.07
Cd	1.3	94.2	4.49	99.99	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
As	14.6	80.0	5.39	99.99	< 0.01	< 0.01	< 0.01	< 0.01
Pb	41.2	56.0	2.75	99.95	< 0.01	0.03	0.02	0.05
Cu	75.9	22.4	1.69	99.99	< 0.01	< 0.01	0.01	0.01
Zn	41.9	56.9	1.17	99.97	< 0.01	0.01	0.02	0.03

Źródło: [41. EURITS 2002]

Do najważniejszych parametrów, które wpływają na zachowanie się metali należą:

- temperatura pieca;
- nadmiar O₂ w piecu;
- zawartość chloru i siarki w odpadach;
- masa drobnych cząstek przenoszonych w spalinach

Średnie warunki podczas testowania HWI, które przyczyniły się do zebrania danych zawartych w tabeli 3.2 podano w tabeli 3.3.

Tabela 3.3 Średnie warunki pracy, podczas testów procentowego udziału, w instalacji HWI

Parametr	Dane testowe
Temperatura pieca	1 120 ± 40 °C
Temperatura PCC	1 100 ± 20 °C
Zawartość tlenu (w piecu)	11,9 ± 1,3 %
Zawartość Cl (w odpadach)	5,1 ± 1,0 %
Zawartość S (w odpadach)	1,0 ± 0,2 %
Źródło: [41. EURITS 2002]	

Dane podane w tabeli 3.2 pozwalają na dokonanie następujących obserwacji dotyczących badanych metali:

- około 99,6% zanieczyszczeń znajduje się w stałych pozostałościach;
- około 70-80% zanieczyszczeń jest skoncentrowanych i unieruchomionych we frakcji popiołu lotnego oraz osadu ściekowego z WWT; obie pozostałości stanowią około 5,5% masy pierwotnego wsadu odpadów;
- usuwanie rtęci z spalin jest (w tym przypadku) głównie wynikiem niskiego pH pierwszego etapu ich oczyszczania.

Popiół paleniskowy oraz popiół lotny z indywidualnego spalania osadów ściekowych (tj. spalania samych osadów ściekowych, niezmięszanych z odpadami zawierającymi niewielkie ilości fosforu, takich jak stałe odpady komunalne lub osady przemysłowe) zawiera 7-11% fosforu, a jego odzysk jest możliwy np. celem produkcji chemikaliów zawierających fosfor przemysłowy (takich jak kwas fosforowy) lub nawozów. [139. Kleemann i inni 2017], [140. Biswas i inni 2009], [141. Egle i inni 2016], [142. Amann i inni 2018]

3.1.2 Przykłady bilansu dioksyn dla MSWI

PCDD/F zawarte są nie tylko w dostarczanych odpadach komunalnych, ale także w produkcie końcowym (ulatniającym się powietrzu, w ściekach czy pozostałościach) z zakładów spalania odpadów komunalnych. Większość pierwotnej zawartości PCDD/F zostaje zniszczona podczas procesu spalania, ale może także nastąpić ich ponowne formowanie czyli tzw. reforming. [1. UBA 2001]

Poniższy bilans dotyczy typowego zakładu w Niemczech, działającego bez emisji wody procesowej oraz przestrzegającego niemieckich limitów emisji.

Tabela 3.4 Bilans PCDD/F dla spalarni odpadów komunalnych w Niemczech

Strumienie wyjściowe	Ilość na kg wsadu odpadów	Wsad właściwy	Strumień - wsad właściwy na kg wsadu odpadów
Spaliny	6.0 m ³	0.08 ng/m ³	0.48 ng/kg
Popiół paleniskowy	0.25 kg	7.0 ng/kg	1.75 ng/kg
Pył z filtra oraz inne pozostałości z oczyszczania spalin	0.07 kg	220 ng/kg	15.40 ng/kg
Całkowite uwalnianie (do wszystkich mediów):			17.63 ng TEQ/kg odpadów
Uwaga: Szacunkowy wsad wraz z odpadami: 50 ng TEQ/kg odpadów.			
Źródło: [1. UBA 2001], [64. TWG 2003]			

Z tabeli 3.4 widać, że dla podanego przykładu szacunkowa wydajność uwalniana do powietrza wynosi około 1% wsadu na wejściu (0.48 ng TEQ/kg z 50 ng TEQ/kg). Szacunkowa wydajność zrzutu do wszystkich mediów (powietrze, woda) wynosi 17.63 ng TEQ/kg wsadu wejściowego odpadów. Odpowiada to 35.3% szacowanego wsadu (tj. zniszczeniu ulega netto 64,7 % PCDD/F pierwotnie zawartych w odpadach). Zatem można stwierdzić, że w tym przypadku instalacja działa dla PCDD/F jako pochłaniacz netto. [64. TWG 2003]

Poniższe dane pochodzą z przykładowego zakładu MSWI (we Francji) odprowadzającego ścieki do wody.

Tabela 3.5 Przykładowe dane dotyczące obciążenia PCDD/F dla zakładu MSWI we Francji

Strumień wyjściowy	Wsad właściwy
Spaliny	0.1 ng I-TEQ/Nm ³
Popiół paleniskowy	7 ng I-TEQ/kg
Pozostałości z FGC	5 200 ng I-TEQ/kg
Ścieki	< 0.3 ng I-TEQ/l

Uwaga: Przykład dla zakładu MSWI wyposażonego w ESP + płuczka gazowa mokra (2-etapowa) + SCR.
Źródło: [64. TWG 2003]

3.1.3 Skład nieprzetworzonych spalin w spalarniach odpadów

Skład nieprzetworzonych spalin w spalarniach odpadów zależy od struktury odpadów oraz parametrów technicznych pieca.

Tabela 3.6 zawiera przegląd typowego składu nieprzetworzonych spalin na wyjściu z kotła, przed ich dalszym przetwarzaniem.

Tabela 3.6 Stężenia/koncentracje spalin za kotłem (nieprzetworzone spaliny) w różnych spalarniach odpadów (wartość referencyjna O₂ - 11%)

Komponenty	Jednostki	Spalarnia przeznaczona do spalania		
		Odpadów komunalnych	Odpadów niebezpiecznych	Ścieków przemysłowych (złóża fluidalne)
Pył	mg/Nm ³	1 000–5 000	1 000–10 000	30 000–200 000
Tlenek węgla (CO)	mg/Nm ³	5–50	< 30	5–50
TOC	mg/Nm ³	1–10	1–10	1–10
PCDD/F	ng TEQ/Nm ³	0.5–10	0.5–10	0.1–10
Rtęć	mg/Nm ³	0.05–0.5	0.05–3	0.2
Kadm + tal	mg/Nm ³	< 3	< 5	2.5
Inne metale ciężkie (Pb, Sb, As, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Sn)	mg/Nm ³	< 50	<100	800
Nieorganiczne związki chloru (np. HCl)	mg/Nm ³	500–2 000	3 000–100 000	NI
Nieorganiczne związki fluoru (np. HF)	mg/Nm ³	5–20	50–1 000	NI
Związki siarki, łącznie SO ₂ /SO ₃ , ale liczone jako SO ₂	mg/Nm ³	200–1 000	1 500–50 000	NI
Tlenki azotu, liczone jako NO ₂	mg/Nm ³	150–500	100–1500	< 200
Podtlenek azotu	mg/Nm ³	< 40	< 20	10–150
CO ₂	%	5–10	5–9	NI
Para wodna (H ₂ O)	%	10–20	6–20	NI

Uwagi:
Instalacje przetwarzające osady ściekowe to takie, które służą do spalania przemysłowych osadów ściekowych. Informacja ta odnosi się do zakładów niemieckich. Wartości obserwowane w starszych zakładach mogą być znacznie wyższe, szczególnie w przypadku emisji, na które wpływają parametry techniczne pieców, np. CO, TOC. Wartości dotyczące odpadów niebezpiecznych odnoszą się raczej do mieszanych zakładów HW niż do zakładów dedykowanych. NI = Nie dostarczono danych (brak danych).
Źródło: [1. UBA 2001], [64. TWG 2003], Komentarze austriackie i HWE w [7. TWG 2017]

Odpady komunalne

W przypadku odpadów komunalnych ich struktura zależy m.in. od systemów stosowanych do zbiórki różnych ich frakcji oraz od wykorzystania lub nie przetwarzania wstępnego. Na przykład, selektywna zbiórka różnych frakcji odpadów komunalnych (segregacja) może wpływać na wartość termiczną odpadów komunalnych w następujący sposób:

- szkło i metal - redukcja objętości popiołu oraz wzrost wartości opałowej;
- papier – redukcja wartości opałowej;
- opakowania lekkie – redukcja wartości opałowej;
- odpady medyczne (szpitalne, kliniczne, laboratoryjne) – wzrost wartości opałowej;
- odpady organiczne – wzrost wartości opałowej.

Powyższe dotyczy również takich parametrów jak zawartość chloru i metali ciężkich, ale zmiany te pozostają w typowym ich zakresie. Jednakże oddzielne zbieranie niektórych specyficznych przedmiotów, takich jak niektóre baterie lub amalgamat dentystyczny, może znacznie zmniejszyć ilość rtęci wprowadzanej do spalarni. [\[64. TWG 2003\]](#)

Przemysłowe odpady inne niż niebezpieczne

W przypadku odpadów innych niż niebezpieczne, pochodzących z przemysłu, zakresy zmienności mogą być znacznie większe niż w przypadku stałych odpadów komunalnych (MSW). W przypadku spalania tych odpadów razem z MSW można stosować mieszanie w bunkrze oraz rozdrabnianie, celem ograniczenia tych wahań.

Odpady niebezpieczne

Skład odpadów niebezpiecznych może różnić się w znacznie większym zakresie. W przypadku odpadów niebezpiecznych znaczenie mogą mieć fluor, brom, jod oraz krzem. Jednak w odróżnieniu od odpadów komunalnych, struktura odpadów niebezpiecznych jest zazwyczaj weryfikowana w spalarniach poprzez analizę kontrolną ich wszystkich istotnych parametrów. Ze względu na możliwe różnice, spalarnia odpadów niebezpiecznych jest projektowana z uwzględnieniem średniej struktury odpadów ("karta spalania"), w niektórych przypadkach ze znacznymi dodatkowymi możliwościami oczyszczania spalin.

"Karta spalania" może być tworzona poprzez celowe mieszanie napływających odpadów w zbiornikach masowych lub w bunkrze, lub poprzez indywidualne podawanie odpadów do pieca w oddzielnych rurach, w ilościach na godzinę odpowiadających projektowi instalacji. Należy to uwzględnić również w przypadku podawania odpadów w beczkach, które same w sobie mogą wywoływać nagłe obciążenia szokowe. Spalarnie specjalnie zaprojektowane do odzyskiwania ze strumieni odpadów HCl i SO₂, zawierających odpowiednio chlor lub siarkę, mogą mieć bardzo różne struktury nieprzetworzonego gazu.

Osady ściekowe

Zmiany w strukturze nieprzetworzonych gazów w spalarniach osadów ściekowych odpowiadają zmianom w składzie spalanych odpadów. To z kolei zależy od obecności lub braku obecności przetwarzania wstępnego oraz od składu przyjmowanych osadów ściekowych. Skład osadów ściekowych jest silnie uzależniony od charakteru zlewni odwadniającej obsługiwanej przez oczyszczalnię ścieków, w której powstają oraz podlegają przetworzeniu osady ściekowe. [\[64. TWG 2003\]](#)

W przypadku gdy osady ściekowe są spalane razem z innymi odpadami, różnice w jakości osadów ściekowych mogą mieć mniej wyraźny wpływ na jakość nieprzetworzonego gazu, ze względu na efekt buforowania innych odpadów. Zawartość wody w osadach ściekowych może przynieść rzeczywiste korzyści w niektórych instalacjach MSWI, ponieważ po rozpyleniu przez specjalne dysze w wybranych miejscach nad złożem odpadów (często w strefie spalania gazu), stanowi ona dodatkowy środek do regulacji temperatury i może pomóc w początkowym etapie kontroli NO_x.

Odpady medyczne

Zmiany w strukturze gazu nieprzetworzonego w spalarniach odpadów medycznych odpowiadają głównie zmianom w składzie spalanych odpadów. Fizyczny proces wstępnego przetwarzania, który może ograniczyć zakres tych zmian, nie jest w przypadku odpadów medycznych zbyt często stosowany, ze względu na obawy dotyczące ich zakaźności.

Kategoryzowanie napływających strumieni odpadów według ich źródła oraz prawdopodobnych właściwości spalania (głównie odnoszące się do CV, wilgotności i wydajności kalorymetrycznej) a także sposób doprowadzenia ich do procesu spalania celem osiągnięcia zgodności z odpowiednią recepturą wejściową, może być stosowane do zmniejszenia zakresu wahań w składzie nieprzetworzonych gazów pochodzących ze spalania. [\[64. TWG 2003\]](#)

3.2 Emisje do powietrza (atmosfery)

3.2.1 Substancje emitowane do powietrza

[1. UBA 2001] [64. TWG 2003]

Tlenek węgla (CO)

Tlenek węgla (CO) jest bezwonnym toksycznym gazem. CO w spalinach pochodzących z zakładów spalania jest produktem niepełnego spalania związków węgla. CO jest wytwarzany, gdy na miejscu nie ma wystarczającej ilości tlenu i/lub nie ma wystarczająco wysokiej temperatury spalania, aby przeprowadzić pełne utlenianie do dwutlenku węgla. Może to mieć miejsce w szczególności w przypadku obecności substancji samoczynnie parujących lub szybko spalających się, lub w przypadku słabego mieszania się spalin z dostarczanym tlenem. Ciągły pomiar poziomu CO może być wykorzystany do sprawdzenia efektywności procesu spalania. CO jest więc miarą jakości procesu spalania. Jeśli emisja CO jest bardzo niska, to jakość spalanego gazu jest bardzo wysoka, a emisja TVOC niska (i na odwrót). [74. TWG 2004]

Po uwolnieniu do atmosfery, po pewnym czasie, CO ulega utlenieniu do CO₂. Należy unikać szczególnie wysokich stężeń CO (powyżej dolnej granicy wybuchowości), ponieważ mogą one powodować tworzenie się mieszanin wybuchowych w spalinach. W szczególności w spalarniach odpadów niebezpiecznych może dojść do zwiększonej emisji CO w przypadku niektórych odpadów w beczkach.

Zawartość CO jest mierzona w sposób ciągły.

Odnotowano, że przetwarzanie NO_x za pomocą SCR może zwiększyć poziom emisji CO. [74. TWG 2004]

Całkowita zawartość lotnych związków organicznych (TVOC, całkowita zawartość LZO, całkowite LZO)

Współczynnik ten obejmuje szereg gazowych substancji organicznych, których osobne wykrywanie jest zwykle skomplikowane lub niemożliwe. Podczas spalania odpadów organicznych zachodzi dużo reakcji chemicznych, spośród których część ma charakter niekompletny. Prowadzi to do wytworzenia różnych skomplikowanych struktur związków często występujących w śladowych ilościach. Pełne obliczenie wszystkich substancji w ramach współczynnika TVOC nie jest możliwe, jednakże spalanie zasadniczo zapewnia, z wysoką skutecznością, zniszczenie substancji organicznych.

Zawartość TVOC mierzona jest w sposób ciągły. Niski poziom TVOC jest kluczowym wskaźnikiem dobrej jakości procesu spalania.

Chlorowódór (HCl)

Wiele odpadów zawiera chlorowane związki organiczne lub chlorki. W odpadach komunalnych zazwyczaj około 50% chlorków pochodzi z PVC [64. TWG 2003]. W procesie spalania organiczny składnik tych związków jest niszczone, a chlor przetwarzany na HCl. Część HCl może dalej reagować ze związkami nieorganicznymi, również znajdującymi się w odpadach, tworząc chlorki metali.

HCl jest dobrze rozpuszczalny w wodzie i ma wpływ na wzrost roślin. Jego zawartość jest mierzona w sposób ciągły.

Tworzenie i emisja Cl₂ ma niewielkie znaczenie w normalnych warunkach spalania. Jego występowanie jest jednak niezbędne do zaistnienia zabrudzeń lub korozji. Dlatego warto kontrolować tworzenie się formacji tak, aby wspomniany proces odbywał się w fazie gazowej, a nie po osadzeniu się na rurach kotła. [74. TWG 2004]

Fluorowodór (HF)

Mechanizm powstawania HF w spalarniach jest analogiczny do mechanizmu powstawania HCl. Głównymi źródłami emisji HF w spalarniach odpadów komunalnych są prawdopodobnie fluorowane tworzywa sztuczne lub tekstylia oraz, w pojedynczych przypadkach, rozkład CaF_2 w trakcie spalania osadów.

HF jest dobrze rozpuszczalny w wodzie i może mieć wpływ na wzrost roślin. Jego zawartość jest mierzona w sposób ciągły lub okresowo.

W spalarniach odpadów niebezpiecznych przetwarzane są różne rodzaje odpadów fluorowanych.

Jodowodór (*Hydrogen iodide, HI*) i jod, Bromowodór (*Hydrogen bromide, HBr*) i brom

Odpady komunalne zawierają zazwyczaj bardzo małe ilości związków bromu lub jodu. Emisje bromu lub jodu mają zatem niewielkie znaczenie w przypadku spalarni odpadów komunalnych.

W spalarniach odpadów niebezpiecznych przetwarzane są czasami odpady organiczne i nieorganiczne zawierające brom lub jod. Przykładowo, związki bromu wykorzystywane są jako środki zmniejszające palność w przemyśle tworzyw sztucznych oraz tekstylnym. Można je także znaleźć w niektórych odpadach elektrycznych i elektronicznych. Wykorzystywane są także w przemyśle chemicznym jako odczynniki do alkilacji. Jod może być zawarty w lekach. Jednak, ogólnie rzecz biorąc, ilość tych związków jest niewielka w stosunku do ilości związków chlorowanych. Brom i jod pomagają w utlenianiu rtęci oraz zmniejszają zawartość rtęci w czystym gazie, poprzez poprawę zdolności retencji płuczek gazowych mokrych. [\[74. TWG 2004\]](#)

Właściwości chemiczne jodu pierwiastkowego i bromu, o ile są one obecne, mogą prowadzić do zabarwienia kominów. Przy spalaniu takich odpadów powinno się podjąć zatem specjalne środki bezpieczeństwa zapobiegające powstawaniu i uwalnianiu się jodu lub bromu elementarnego. Substancje te mogą mieć również działanie toksyczne oraz drażniące. [\[64. TWG 2003\]](#)

Tlenki siarki (SO_x)

Jeżeli odpady zawierają związki siarki, podczas ich spalania powstanie głównie SO_2 . W odpowiednich warunkach reakcji może również powstawać SO_3 . W przypadku stałych odpadów komunalnych udział SO_3 wynosi najczęściej około 5% na wlocie do FGC (zawartość SO_3 jest istotna dla określenia kwaśnego punktu rosy). Powszechnymi źródłami siarki w niektórych strumieniach odpadów są: makulatura, płyty gipsowo-kartonowe (siarczan wapnia) oraz osady ściekowe. [\[64. TWG 2003\]](#)

SO_2 powoduje zakwaszenie i jest prekursorem aerozoli wtórnych. Jest mierzone w sposób ciągły.

Tlenki azotu (NO_x)

Ze spalarni emitowane są różne tlenki azotu i w wielu przypadkach mierzy się je w sposób ciągły (monitory emisji). Tlenki azotu mogą mieć toksyczny wpływ na globalne ocieplenie, powodować zakwaszenie i eutrofizację oraz tworzyć wtórne aerozole w zależności od danego tlenku.

NO oraz NO_2 emitowane ze spalarni odpadów pochodzą z przemiany azotu zawartego w odpadach (tzw. paliwo NO_x), oraz z przemiany azotu atmosferycznego, pochodzącego z dostarczonego do spalania powietrza, w tlenki azotu (tzw. termiczne NO_x). Produkcja termicznego NO_x staje się na ogół bardziej znacząca w temperaturach powyżej 1 000 °C, tak więc w MSWI udział termicznego NO_x jest zazwyczaj bardzo niski, ze względu na niższe temperatury w komorze dopalania. W MSWI ilość termicznego NO_x może być również, w sposób krytyczny, zależna od ilości i sposobu wtryskiwania powietrza wtórnego do komory dopalania - przy wyższych temperaturach dysz (tj. powyżej 1 400 °C) NO_x jest bardziej "widoczny".

Mechanizmy powstawania NO_x z azotu zawartego w odpadach są bardzo skomplikowane. Dzieje się tak między innymi dlatego, że azot może być zawarty w odpadach w wielu różnych formach, które w zależności od środowiska chemicznego mogą reagować albo do NO_x albo do azotu elementarnego. W zależności od rodzaju odpadów przyjmuje się współczynnik konwersji wynoszący około 10-20% zawartości "paliwa" azotowego. Znaczący wpływ mogą mieć również wysokie stężenia chloru oraz siarki, zawartość O_2 i temperatura. Udział NO/NO_2 w całkowitej emisji NO_x z kominu wynosi zazwyczaj około 95% dla NO i 5% dla NO_2 .

Podtlenek azotu (N_2O) nie jest zazwyczaj mierzony w ramach szacowania poziomu NO_x . Może on być emitowany, jeżeli temperatura jest niewystarczająca do całkowitego spalania (np. poniżej $850\text{ }^\circ\text{C}$) oraz brakuje odpowiedniej ilości tlenu. Emisje N_2O z procesów spalania są zatem często skorelowane z emisjami CO.

W przypadku zastosowania SNCR do de- NO_x , tworzenie się N_2O może wzrosnąć, w zależności od dawek i temperatury odczynnika. Zmierzono wartości $20\text{--}60\text{ mg/m}^3$ w przypadku, gdy stosuje się wyższe dawki SNCR celem osiągnięcia niższych poziomów emisji NO_x , w szczególności gdy jako odczynnik stosowany jest mocznik, a nie amoniak.

W przypadku spalania odpadów komunalnych obserwuje się emisje N_2O w wysokości $1\text{--}12\text{ mg/Nm}^3$ dla pomiarów indywidualnych i $1\text{--}2\text{ mg/Nm}^3$ dla pomiarów uśrednionych. W przypadku spalania stałych odpadów komunalnych w obiektach ze złożem fluidalnym zmierzone wartości emisji N_2O (pomiarów indywidualne) są najczęściej wyższe.

W wyniku indywidualnych pomiarów w spalarniach odpadów niebezpiecznych uzyskano wartości emisji N_2O wynoszące $30\text{--}32\text{ mg/Nm}^3$. [\[64. TWG 2003\]](#)

Normalny poziom emisji N_2O przy spalaniu osadów na złożu fluidalnym może wynosić nawet 10 mg/Nm^3 . Spalanie osadów ściekowych może dać wyższy poziom emisji N_2O , w zależności od stężenia azotu w osadzie. Poziom N_2O może być obniżony przez wyższą temperaturę spalania, ale najwyższa możliwa temperatura spalin zależy od temperatury topnienia popiołu lotnego.

Podczas gdy uwolnienia NO_x zwiększają wpływ na globalne ocieplenie, spalanie w niewielkim stopniu przyczynia się do antropogenicznej emisji podtlenku azotu.

Wartość NO_x mierzona jest w sposób ciągły.

Pył

Emisje pyłu ze spalarni odpadów składają się głównie z drobnego popiołu powstającego w procesie spalania, który jest zatrzymywany w strumieniu gazu. W zależności od bilansu reakcji, w tym zawieszonym w powietrzu pyłe gromadzą się różne pierwiastki oraz związki. Oddzielenie pyłu od spalin za pomocą urządzeń do ich oczyszczania usuwa większość pyłu a wraz z nim również "porwane" substancje nieorganiczne i organiczne (np. chlorki metali, PCDD/F).

Urządzenia do oczyszczania spalin znacznie zmniejszają emisję pyłu ze spalarni odpadów. Podobnie jak w przypadku wszystkich procesów spalania, rodzaj stosowanych do oczyszczania spalin urządzeń wpływa na rozkład wielkości cząstek emitowanego pyłu. Urządzenia filtrujące są generalnie bardziej skuteczne w przypadku większych cząstek, a zatem zmieniają proporcje ilości drobniejszych cząstek w powstających emisjach do powietrza, tym samym redukując całkowitą emisję cząstek stałych.

Emisje pyłu mierzone są w sposób ciągły.

Rtęć (Hg) oraz jej związki

Rtęć ciągle można znaleźć w odpadach komunalnych, zwłaszcza w bateriach, termometrach, amalgamacie dentystycznym, lampach fluorescencyjnych lub przełącznikach rtęciowych. Selektywna zbiórka takich odpadów (segregacja) może pomóc w zmniejszeniu ilości Hg w ogólnym ładunku zmieszanych stałych odpadów komunalnych, ale w praktyce nie osiąga się zbiórki selektywnej na poziomie 100%.

Rtęć jest bardzo toksycznym metalem. Bez odpowiedniego systemu oczyszczania spalin, spalanie odpadów zawierających rtęć może prowadzić do znacznych jej emisji.

Emisje rtęci mierzone są w sposób ciągły lub okresowy (w niektórych przypadkach z wykorzystaniem również długoterminowej metody pobierania próbek). [\[80. Dania 2015\]](#)

W przypadku spalania odpadów niebezpiecznych istnieje kilka specyficznych strumieni przyjmowanych odpadów zawierające zwiększone koncentracje rtęci:

- smoły z koksowni;

- odpady z elektrolizy chloro-alkalicznej (proces ogniw rtęciowych);
- żrące osady olejowe z rafinerii;
- chemikalia zawierające rtęć.

Forma emisji rtęci zależy w dużej mierze od środowiska chemicznego w spalinach. Zazwyczaj powstaje równowaga pomiędzy rtęcią elementarną (Hg^0) a HgCl_2 . Tam, gdzie stężenie HCl w gazach spalinowych jest wystarczająco wysokie (w stosunku do czynnika redukującego SO_2), rtęć będzie zawarta w spalinach głównie w postaci HgCl_2 . Związek ten można oddzielić od spalin znacznie łatwiej niż rtęć pierwiastkową. Jeśli jednak HCl zawarty będzie w spalinach w niższych stężeniach (np. w spalarniach osadów ściekowych), rtęć będzie w spalinach występować głównie w postaci pierwiastkowej i wtedy trudniej będzie ją kontrolować. Temperatura spalania również wpływa na powstawanie HgCl_2 .

W płuczkach gazowych mokrych (tylko) usuwanie HgCl_2 może być ograniczone, jeżeli występuje również SO_2 (rozdzielenie tych substancji jest jednym z powodów, dla których do usuwania HgCl_2 i SO_2 stosowane są różne etapy płuczki gazowej mokrej). Hg_2Cl_2 powstające podczas tego procesu może z kolei ulec przekształceniu w HgCl_2 oraz elementarny Hg . Reakcjom tym można zapobiec poprzez zastosowanie w płuczkach gazowych mokrych niskich wartości pH oraz poprzez usunięcie rtęci ze ścieków z płuczki.

Rtęć pierwiastkowa jest praktycznie nierozpuszczalna w wodzie ($59 \mu\text{g/l}$ w temperaturze 25°C). Chlorek rtęci (II) jest znacznie lepiej rozpuszczalny (73 g/l). Chlorek rtęci (II) można zatem oddzielić w płuczkach gazowych mokrych, natomiast oddzielenie rtęci metalicznej wymaga dalszych etapów oczyszczania spalin (więcej szczegółów podano w sekcji 2.5.6). [\[64. TWG 2003\]](#)

Związki kadmu oraz talu

Powszechnym źródłem kadmu w spalarniach odpadów komunalnych są urządzenia elektroniczne (w tym akumulatory), baterie, niektóre farby oraz tworzywa sztuczne stabilizowane kadmem. Talu praktycznie nie ma w odpadach komunalnych.

Natomiast odpady niebezpieczne mogą zawierać wysokie stężenia związków kadmu i talu. Znaczącymi źródłami tych związków mogą być osady ściekowe oraz odpady z platerowania czy przetwarzania metali.

Kadm jest wysoce toksyczny i może gromadzić się w glebie.

Emisje kadmu i talu mierzone są okresowo.

Związki innych metali

Termin ten obejmuje antymon, arsen, ołów, chrom, kobalt, miedź, mangan, nikiel, wanad, cynę oraz ich związki. Wiele europejskich oraz krajowych przepisów grupuje je w ten sposób celem określenia wymogów dotyczących pomiarów emisji. Grupa ta obejmuje metale rakotwórcze oraz związki metali takie jak arsen, związki chromu (VI), a także metale o potencjalnej toksyczności.

Retencja tych metali w dużej mierze zależy od skutecznej separacji pyłu, ponieważ są one wiązane w pyłe ze względu na ciśnienie par ich związków, zawartych w spalinach (przede wszystkim tlenkach i chlorkach).

Emisje innych metali mierzone są okresowo.

Polichlorowane bifenyle (PCB, $\text{C}_{12}\text{H}_{10-x}\text{Cl}_x$)

Niewielkie ilości polichlorowanych bifenyli (PCB) znajdują się w większości strumieni odpadów komunalnych, a także w niektórych odpadach przemysłowych. Jednakże odpady o dużej zawartości PCB zazwyczaj powstają tylko w wyniku określonych programów zbiórki i niszczenia PCB, a ich stężenie w takich odpadach może być bardzo wysokie.

W spalarniach odpadów niebezpiecznych spalane są odpady o zawartości PCB sięgającej 60-100%. To samo dotyczy specjalnych instalacji do spalania wysoko chlorowanych węglowodorów. PCB są skutecznie niszczone, jeśli stosuje się wyższe temperatury spalania (np.

powyżej 1 200 °C). PCB zawarte w nieprzetworzonych spalinach ze spalarni odpadów mogą być wynikiem ich niepełnego zniszczenia.

Emisje PCB są klasyfikowane przez niektóre organizacje międzynarodowe (np. WHO) jako potencjalnie toksyczne. Potencjał toksyczności (podobny do tych dla dioksyn i furanów) przypisuje się niektórym PCB (współplaszczynowe PCB).

Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (PAH, WWA)

Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne jako produkty niepełnego spalania są dobrze znane. Są one toksyczne, mają właściwości rakotwórcze i mutagenne. [74. TWG 2004]

Polichlorowane dibenzo-p-dioksyny i furany (PCDD/F)

Dioksyny i furany (PCDD/F) to grupa związków, z których niektóre są niezwykle toksyczne i uważane za rakotwórcze. Ich wytwarzanie oraz uwalnianie nie są specyficzne dla spalania odpadów, ale w określonych warunkach procesowych zachodzą we wszystkich procesach termicznych.

Znaczący postęp w zakresie kontroli emisji PCDD/F osiągnięto w sektorze instalacji przemysłowych. Udoskonalenia w projektowaniu i eksploatacji systemów spalania i oczyszczania spalin zaowocowały instalacjami, które mogą w sposób niezawodny osiągać bardzo niskie wartości graniczne emisji PCDD/F.

[64. TWG 2003] W dobrze zaprojektowanych i eksploatowanych spalarniach bilans materiałowy wykazał, że spalanie skutecznie usuwa PCDD/F ze środowiska naturalnego (zob. sekcja 3.1.2).

Bilans dioksyn jest najkorzystniejszy dzięki temu, że:

- wprowadzane dioksyny oraz prekursorzy będą skutecznie niszczone, przy zastosowaniu odpowiednich warunków spalania;
- ograniczy się występowanie warunków, które mogą prowadzić do powstania i reformingu PCDD/F, włączając w to syntezę *de novo*.

PCDD/F wchodzące, wraz z odpadami, do procesu są bardzo efektywnie niszczone, o ile stosowane są odpowiednio wysokie temperatury spalania oraz odpowiednie warunki procesu. PCDD/F znajdujące się w nieprzetworzonych spalinach ze spalarni odpadów są wynikiem reakcji rekombinacji węgla, tlenu oraz chloru. Odpowiednie prekursorzy (np. chlorofenole) mogą również powodować powstawanie dioksyn i furanów. Niektóre przejściowe związki metali (np. związki miedzi) mogą działać jako katalizatory w procesie reformowania PCDD/F.

PCDD/F mogą powstawać podczas rozruchu instalacji, gdy odpady nie są jeszcze całkowicie spalane. Podczas zimnego rozruchu temperatura pieca jest podnoszona powoli, a w czasie gdy jest zbyt niska może tworzyć się sadza. Sadza przykleja się do paleniska oraz kotła. Synteza *de novo* PCDD/F zachodzi w szczególności w zakresie temperatur pomiędzy 250 °C a 350 °C, gdy dostępna jest wystarczająca ilość węgla oraz chloru, w postaci nieorganicznego chlorku. Podczas zimnego rozruchu, obszary pieca i kotła, które znajdują się w zakresie temperatur sprzyjających powstawaniu PCDD/F w wyniku syntezy *de novo*, są znacznie większe niż w przypadku, gdy spalarnia pracuje w stabilnych warunkach, a to może powodować, że wielkość emisji PCDD/F odpowiadająca kilku miesiącom normalnej pracy związana jest przede wszystkim z jednym zimnym rozruchem [79. Gass i inni 2002]. Ponadto niektóre badania wykazały, że ze względu na możliwe nagromadzenie PCDD/F w urządzeniach do oczyszczania spalin, w czasie wyłączania instalacji emisje PCDD/F są również znacznie wyższe niż w stabilnych warunkach pracy, czyli w dłuższych okresach czasu (tygodniach) następujących po zimnym rozruchu [79. Gass i inni 2002] [83. Dehoust i inni 2005] [114. Wilken i inni 2003]. Techniki zapobiegania lub minimalizacji emisji PCDD/F przy zimnym rozruchu zostały rozwinięte na przestrzeni lat i pokrótce opisane w sekcji 4.5.5.2.

Emisje PCDD/F monitorowane są okresowo, z wykorzystaniem prób krótko- i długoterminowych.

Polibromowane dibenzodioksyny/furany (PBDD/F)

Chociaż brom jest mniej rozpowszechniony w odpadach niż chlor, to działa podczas spalania w sposób podobny jak chlor, tworząc bromowane dioksyny i furany. Obecność zarówno bromu, jak i chloru powoduje powstawanie mieszanych bromo-chlorodioksyn i furanów. Stosunek zawartości chloru i bromu w procesie spalania w dużej mierze odpowiada stosunkowi zawartości chloru i bromu w tworzących się cząsteczkach dioksyn i furanów. [\[47. TWG 2018\]](#)

Jednym z najbardziej zauważalnych przypadków występowania PBDD/F jest ich obecność jako zanieczyszczeń w przemysłowych mieszaninach bromowanych związków opóźniających zapłon (BFR), takich jak polibromowane difenyletery (PBDE), a także ich występowanie w produktach gospodarstwa domowego oraz w kurzu domowym.

Podczas niewystarczająco kontrolowanych procesów spalania mogą powstawać znaczne ilości PBDD i PBDF, w tym te o najbardziej toksycznych właściwościach dioksynopodobnych. Źródło powstawania PBDF można częściowo wytłumaczyć ich obecnością jako zanieczyszczeń w handlowych mieszankach zmniejszających palność związku PBDE w odpadach pochodzących z gospodarstw domowych, ale nie można też wykluczyć syntezy *de novo*. Innym źródłem bromu w procesach spalania jest stosowanie technik intensyfikacji utleniania rtęci (umożliwiających skuteczne usuwanie rtęci na dalszych etapach systemu FGC) poprzez wtryskiwanie bromku w wysokiej temperaturze. [\[116. van den Berg i inni 2013\]](#)

Amoniak (NH₃)

Amoniak ma znaczący wpływ na eutrofizację oraz zakwaszanie środowiska.

Emisja amoniaku może wynikać z przedawkowania lub słabej kontroli odczynników redukujących używanych do kontroli/ograniczania emisji NO_x.

Dwutlenek węgla (CO₂)

Na każdą tonę spalonych odpadów komunalnych przypada około 0.7-1.7 ton wygenerowanego CO₂.

Ponieważ odpady komunalne stanowią heterogeniczną mieszankę biomasy oraz materiałów kopalnych, ilość CO₂ o pochodzeniu kopalnym (np. tworzywa sztuczne) ze spalarni MSWI, uważana za istotną z uwagi na zmiany klimatyczne mieści się zwykle w przedziale 33 – 50%.

Metan (CH₄)

Można założyć, że jeśli spalanie odbywa się w warunkach utleniających, poziom metanu w spalinach będzie prawie zerowy. Metan jest mierzony razem z innymi komponentami TVOC. [\[64. TWG 2003\]](#)

Metan może również powstawać w zbiorniku na odpady, jeśli poziom tlenu jest na tyle niski, że spowoduje zaistnienie w tym zbiorniku procesów beztlenowych. Ma to miejsce tylko wtedy, gdy odpady są składowane przez długi czas i nie są dobrze wzburzane (mieszane). W przypadku, gdy gazy z takiego zbiornika zostaną doprowadzane, razem z powietrzem, do komory spalania, będą spalane, a emisja metanu ograniczona do nieistotnego poziomu.

3.2.2 Emisje do powietrza z zakładu spalania odpadów (spalarni)

W niniejszej sekcji przedstawiono zakres emisji osiągniętych przez spalarnie odpadów, które uczestniczyły w gromadzeniu danych za rok 2016 prowadzonym na potrzeby przeglądu dokumentu BREF WI.

Wyjątkowy zakres gromadzenia danych wspierał stworzenie tej sekcji dokumentu. Obejmował on emisje mierzone w 355 indywidualnie monitorowanych punktach emisji, w ciągu całego roku, i w przypadku stale monitorowanych emisji do powietrza z półgodzienną rozdzielczością czasową.

Dla każdego monitorowanego punktu emisji do powietrza zebrano w 2014 r. całą serię 17 520 średnich półgodzinnych stężeń, dla każdego z zanieczyszczeń podlegających stałemu

monitorowaniu, wraz z kluczowymi parametrami eksploatacyjnymi, takimi jak natężenie przepływu, temperatura pieca, wsad odpadów oraz zastosowane paliwo pomocnicze.

Operatorzy instalacji uzupełnili powyższe dane, określając w miarę możliwości warunki, w jakich obiekt działał w każdym z półgodzinnych okresów, np. kiedy nie spalano żadnych odpadów, kiedy (część) systemu ograniczania emisji była omijana, kiedy nastąpiło zatrzymanie, awaria lub defekt, lub kiedy obiekt znajdował się w sytuacji rozruchu lub wyłączenia.

Kompletne serie poziomów emisji zgłaszanych jako średnie półgodzinne zostało następnie wykorzystane jako podstawa do określenia poziomów emisji wyrażonych dla różnych okresów uśredniania (głównie jako średnie dobowe). Pozwoliło to na szczegółową analizę wpływu włączenia lub wyłączenia różnych elementów instalacji przy określaniu poziomów emisji reprezentatywnych dla działalności zakładu, wyrażonych dla różnych okresów uśredniania, w przejrzysty i możliwy do prześledzenia sposób.

Zestaw danych podsumowanych w niniejszym rozdziale obejmuje ogółem blisko 100 mln indywidualnych średnich wartości przekazanych przez operatorów instalacji.

Gromadzenie i analiza zbioru danych o takiej wielkości stanowi oczywiście duże wyzwanie. Operatorzy zostali poproszeni o żmudne pozyskiwanie i identyfikowanie, przez cały rok, warunków pracy instalacji na podstawie dzienników z dyspozytorni, co oczywiście podatne jest na ograniczenia i błędy.

Kolejny problem związany jest z poziomami emisji zgłaszanymi przez zakłady, które w wielu przypadkach były bardzo niskie, a w niektórych przypadkach nawet bliskie granicom kwantyfikacji lub wykrywania przez standardowe metody referencyjne, lub mieściły się w zakresach, w których niepewność (błąd) związana z kalibracją automatycznego systemu pomiarowego mogła być w wartościach względnych wysoka. W odniesieniu do tych aspektów czytelnika odsyła się do dokumentu referencyjnego JRC w sprawie monitorowania emisji do powietrza i wody w instalacjach IED [117. COM 2018], w szczególności do jego sekcji 3.4.4 oraz do zawartych w niej odniesień, w tym w szczególności do [118. INERIS 2016] oraz [121. INERIS 2017] stanowiącego zaktualizowaną wersję sprawozdania z 2016 roku.

Na wykresach przedstawionych w załączniku 8.6, 8.7 oraz 8.8 (i podsumowanych w niniejszym rozdziale) pojedynczy punkt danych odnosi się do monitorowanego punktu (*linii referencyjnej - w znaczeniu linii/instalacji/zakładu przetwarzającego będącego odniesieniem*) uwalniania emisji do powietrza i może dotyczyć jednej lub grupy poszczególnych instalacji spalania. Wszystkie linie referencyjne, wraz z niektórymi ich kluczowymi cechami wymieniono w załączniku 8.4.

Dane dotyczące emisji przedstawione są na wykresach obok technik i, w stosownych przypadkach, rodzaju odczynników stosowanych w każdej z linii referencyjnych, jak również w stosunku do dodatkowych informacji uzupełniających, takich jak wiek i wielkość każdej linii referencyjnej. Dla każdej substancji zanieczyszczającej przedstawiono oddzielny wykres, a towarzyszący mu wybór technik dostosowano do danej substancji zanieczyszczającej (np. stosowanie SCR i SNCR pokazano na wykresie dotyczącym emisji NO_x i NH₃, natomiast stosowanie ESP i filtrów workowych pokazano na wykresie dotyczącym emisji pyłów).

Dane dotyczące emisji przedstawiono w następujący sposób:

- W załączniku 8.6 przedstawiono, indywidualnie dla każdej linii referencyjnej, która uczestniczyła w gromadzeniu danych w 2016 r. i przekazywała dane dotyczące emisji mierzonych w sposób ciągły, dobowe poziomy emisji oraz stosowane techniki redukcji.
- W załączniku 8.7 przedstawiono, indywidualnie dla każdej linii referencyjnej, która uczestniczyła w gromadzeniu danych w 2016 r. i przekazywała dane dotyczące stale mierzonych emisji, półgodzinne poziomy emisji oraz stosowane techniki redukcji.
- W załączniku 8.8 przedstawiono, indywidualnie dla każdej linii referencyjnej, która uczestniczyła w gromadzeniu danych w 2016 r. i zgłaszała okresowo mierzone emisje, poziomy emisji i stosowane techniki redukcji.

Niniejszy rozdział zawiera uproszczone wykresy, bazujące na bardziej szczegółowych wykresach zawartych w w/w załącznikach, przedstawiające rozkład osiągniętych poziomów emisji, jak również wskazujące najistotniejsze techniki lub cechy zakładów, które mogą mieć istotny wpływ na poziom emisji.

Bardziej szczegółowy klucz do odczytu każdego z typów zamieszczonych w opracowaniu wykresów znajduje się w dalszej części niniejszej sekcji.

Dla danych z ciągłego monitoringu: dobowe poziomy emisji

Wykresy w załączniku 8.6 przedstawiają emisje jako średnie roczne oraz maksymalne roczne średnie dobowe obliczone na podstawie zgłoszonych 17 520 średnich półgodzinnych, zmierzonych w 2014 r. i otrzymanych przy zastosowaniu opcji filtrowania danych "bazowego" i "dokładnego". Filtrowanie danych stosuje się celem wyłączenia ze średniej dobowej emisji mierzonych w okresach półgodzinnych, które są związane z pewnymi szczególnymi warunkami eksploatacji. W szczególności:

- "Bazowy" filtr danych wykluczał wartości emisji pomierzonych, gdy:
 - temperatura pieca była niższa od minimalnej wymaganej temperatury spalania i/lub zmierzone natężenie przepływu było bardzo niskie;
 - zakład był w trakcie konserwacji, awarii lub przestoju;
 - zakład spalał tylko paliwa pomocnicze (podgrzewanie wstępne przed wprowadzeniem pierwszych odpadów do pieca lub wyłączenie z eksploatacji po spalaniu ostatniego z odpadów pozostałych w piecu);
 - system automatycznego monitoringu przechodził konserwację lub miał awarię.
- Dodatkowo, "dokładny" filtr danych wykluczał również emisje pomierzone gdy:
 - zakład był w trakcie rozruchu, gdy odpady już były spalane, lub w trakcie wyłączania, gdy odpady jeszcze były spalane;
 - system redukcji emisji był omijany;
 - istniała awaria, nieprawidłowe działanie lub wyciek w systemie redukcji emisji, lub z procesu;
 - nastąpiło przekroczenie jednego z półgodzinnych ELV określonych w pozwoleniu dla zakładu;
 - operator zakładu zgłosił wystąpienie innych wyjątkowych okoliczności.

Ponadto "dokładny" filtr danych zaniżał średnią dobową w przypadku, gdy ponad 5 okresów półgodzinnych zostało odfiltrowanych przez którykolwiek z powyższych warunków.

Należy zauważyć, że filtrowanie danych opiera się na szczegółowych informacjach przekazywanych przez operatorów zakładu, zgodnie z ujednoliconym kwestionariuszem zawierającym wspólną definicję warunków eksploatacji, które mogą różnić się co do poziomu szczegółowości oraz formy informacji z tymi zapisanymi w plikach rejestrów operatorów zakładu. Wymagania stawiane przed operatorami w zakresie dokładnego i szczegółowego przekazywania wymaganych informacji zostały w pełnym zakresie skontrolowane, gdyż przypadki braku pewnych informacji lub ich niedokładnego przekazania skutkowałyby danymi, które nie są w pełni porównywalne dla wszystkich zakładów.

Wykresy podają również dobową wartość ELV z zezwolenia dla każdego zakładu oraz, w stosownych przypadkach, ilość zużytego odczynnika na tonę spalonych odpadów. W przypadku odczynników alkalicznych ilość ta została znormalizowana za pomocą stechiometrii do wartości ekwiwalentu masy wapna palonego.

Wszystkie dane dotyczące emisji zostały skorygowane z uwzględnieniem standardowych warunków dotyczących ciśnienia i temperatury oraz znormalizowane dla referencyjnego poziomu tlenu wynoszącego 11%. W przeciwnym razie zostały przedstawione jako zmierzone, ale bez dodawania lub odejmowania niepewności pomiaru lub z uwzględnieniem szczególnych zasad stosowanych celem zapewnienia zgodności.

Dla danych z ciągłego monitoringu: półgodzinne poziomy emisji

Wykresy w załączniku 8.7 przedstawiają emisje jako roczne maksima zgłoszonych 17 520 średnich półgodzinnych zmierzonych w 2014 r. i otrzymanych przy zastosowaniu opcji filtrowania danych "bazowego" i "dokładnego", a także 97 percentyl średnich półgodzinnych otrzymanych przy zastosowaniu tylko "bazowej" opcji filtrowania danych. Filtrowanie danych stosuje się celem wyłączenia z serii danych emisji mierzonych w okresach półgodzinnych, które są związane z pewnymi szczególnymi warunkami eksploatacji. W szczególności:

- "Bazowy" filtr danych wykluczał wartości emisji pomierzonych, gdy:
 - temperatura pieca była niższa od minimalnej wymaganej temperatury spalania i/lub zmierzone natężenie przepływu było bardzo niskie;
 - zakład był w trakcie konserwacji, awarii lub przestoju;
 - zakład spalał tylko paliwa pomocnicze (podgrzewanie wstępne przed wprowadzeniem pierwszych odpadów do pieca lub wyłączenie z eksploatacji po spalaniu ostatniego z odpadów pozostałych w piecu);
 - system automatycznego monitoringu przechodził konserwację lub miał awarię.
- Dodatkowo, "dokładny" filtr danych wykluczał również emisje pomierzone gdy:
 - zakład był w trakcie rozruchu, gdy odpady już były spalane, lub w trakcie wyłączania, gdy odpady jeszcze były spalane;
 - system redukcji emisji był omijany;
 - istniała awaria, nieprawidłowe działanie lub wyciek w systemie redukcji emisji, lub z procesu;
 - operator zakładu zgłosił wystąpienie innych wyjątkowych okoliczności.

Ponadto, dzięki "dokładnemu" filtrowi danych, półgodzinne okresy odpowiadające 60 najwyższym półgodzinnym poziomom emisji raportowanym w ciągu badanego roku dla każdego z zanieczyszczeń zostały zdyskontowane (pominięte). Wspólne uwzględnienie obu filtrów danych, "dokładnego" i "bazowego", daje zatem pewne podstawowe informacje na temat rozkładu wokół wartości maksymalnych zmierzonych półgodzinnych poziomów emisji.

Należy zauważyć, że filtrowanie danych opiera się na szczegółowych informacjach przekazywanych przez operatorów zakładu, zgodnie z ujednoliconym kwestionariuszem zawierającym wspólną definicję warunków eksploatacji, które mogą różnić się co do poziomu szczegółowości oraz formy informacji z tymi zapisanymi w plikach rejestrów operatorów zakładu. Wymagania stawiane przed operatorami w zakresie dokładnego i szczegółowego przekazywania wymaganych informacji zostały w pełnym zakresie skontrolowane, gdyż przypadki braku pewnych informacji lub ich niedokładnego przekazania skutkowałyby danymi, które nie są w pełni porównywalne dla wszystkich zakładów

Wykresy podają również półgodzinną wartość ELV z zezwolenia dla każdego zakładu oraz, w stosownych przypadkach, ilość zużytego odczynnika na tonę spalonych odpadów. W przypadku odczynników alkalicznych ilość ta została znormalizowana za pomocą stechiometrii do wartości ekwiwalentu masy wapna palonego.

Wszystkie dane dotyczące emisji zostały skorygowane z uwzględnieniem standardowych warunków dotyczących ciśnienia i temperatury oraz znormalizowane dla referencyjnego poziomu tlenu wynoszącego 11%. W przeciwnym razie zostały przedstawione jako zmierzone, ale bez dodawania lub odejmowania niepewności pomiaru lub z uwzględnieniem szczególnych zasad stosowanych celem zapewnienia zgodności.

Dla danych z okresowego monitoringu

Na wykresach w załączniku 8.8 przedstawiono następujące dane dotyczące poziomów emisji:

- maksymalny poziom emisji spośród wszystkich zgłoszonych danych;
- maksymalny poziom emisji spośród pomiarów przeprowadzonych przy długim okresie pobierania próbek;
- maksymalny poziom emisji, spośród danych zgłoszonych w 2014 r., który nie przekracza

- wartości ELV określonej w pozwoleniu;
• średnią ze wszystkich zgłoszonych poziomów emisji.

Wykresy podają również dobową wartość ELV z zezwolenia dla każdego zakładu oraz, w stosownych przypadkach, ilość zużytego odczynnika na tonę spalonych odpadów. W przypadku odczynników alkalicznych ilość ta została znormalizowana za pomocą stechiometrii do wartości ekwiwalentu masy wapna palonego.

Wszystkie dane dotyczące emisji zostały skorygowane z uwzględnieniem standardowych warunków dotyczących ciśnienia i temperatury oraz znormalizowane dla referencyjnego poziomu tlenu wynoszącego 11%. W przeciwnym razie zostały przedstawione jako zmierzone, ale bez dodawania lub odejmowania niepewności pomiaru lub z uwzględnieniem szczególnych zasad stosowanych celem zapewnienia zgodności.

Schematy uproszczone zawarte w rozdziale 3

Ze względu na dużą liczbę włączonych linii referencyjnych oraz dużą ilość miejsca potrzebnego do ich wizualizacji, wykresy przedstawiające poziomy emisji z poszczególnych zakładów przedstawiono w załącznikach 8.6, 8.7 oraz 8.8. Wykresy przedstawione w rozdziale 3 mają na celu przedstawienie tych samych informacji w formie skróconej, poprzez pokazanie rozkładu poziomów emisji osiągniętych przez grupę zakładów. Dla każdego z wykresów przedstawionych w rozdziale 3 istnieje odpowiedni szczegółowy wykres w załączniku 8.6 lub 8.8. Zgodność ta jest wyraźnie określona w całym rozdziale 3.

Uproszczone wykresy w rozdziale 3 zostały skonstruowane w następujący sposób:

Osź pozioma pokazuje szereg zakresów stężeń, na przykład na rysunku 3.1, od 0 mg/Nm³ do 2 mg/Nm³, od 2 mg/Nm³ do 4 mg/Nm³, i tak dalej, aż do ostatniego zakresu, który wskazuje na stężenie przekraczające 20 mg/Nm³.

Osź pionowa wskazuje procent linii referencyjnych w zakresie każdego wykresu (na przykład, na rysunku 3.1, wszystkich instalacji/zakładów spalających głównie stałe odpady komunalne), które osiągają poziom emisji w zakresie pokazanym na osi poziomej.

Powyzsza wartość procentowa zmienia się w zależności od okresu uśrednienia oraz zastosowanego filtra danych. Na rysunku 3.1, na przykład, w odniesieniu do każdego zakresu stężeń pokazano trzy słupki reprezentujące monitorowane w sposób ciągły poziomy emisji HCl uzyskane w postaci średniej rocznej, średniej dobowej "dokładnej" (maksymalne roczne średnie dobowe uzyskane przy zastosowaniu "dokładnego" filtra danych) oraz średniej dobowej "bazowej" (maksymalne roczne średnie dobowe uzyskane przy zastosowaniu "bazowego" filtra danych). Na wykresie 3.1, na przykład, poziom emisji HCl pomiędzy 0 mg/Nm³ a 2 mg/Nm³ uzyskano jako średnią roczną 34% linii referencyjnych oraz jako maksymalną średnią dobową 18% linii referencyjnych, jeśli uzyskano je z użyciem "dokładnego" filtra danych, oraz 14% linii referencyjnych, jeśli uzyskano je z użyciem "bazowego" filtra danych. Podobnie, poziom emisji HCl pomiędzy 6 mg/Nm³ a 8 mg/Nm³ uzyskano jako średnią roczną 17% linii referencyjnych oraz jako maksymalną średnią dobową 12% linii referencyjnych, jeśli uzyskano je z użyciem "dokładnego" filtra danych, oraz 8% linii referencyjnych, jeśli uzyskano je z użyciem "bazowego" filtra danych.

W przypadku emisji monitorowanych okresowo wykresy słupkowe pokazują dwa słupki dla każdego zakresu stężeń emisji, reprezentujące procent linii referencyjnych w tym zakresie stężeń, w oparciu o maksymalną lub średnią wartość z zgłoszonych pomiarów emisji.

Pod opisanym powyżej wykresem słupkowym seria wykresów kołowych daje wskazanie głównych technik lub innych właściwości zakładu, które mogą być związane z liniami referencyjnymi pozwalającymi osiągnąć określone poziomy emisji. W przykładzie przedstawionym na rysunku 3.1 wykresy kołowe pokazują udział linii referencyjnych spośród tych osiagających poziomy emisji w zakresie stężenia pokazanego na osi poziomej wykresu słupkowego i które zgłosiły użycie płuczki gazowej mokrej. Na przykład 93% linii referencyjnych osiagających poziomy emisji HCl pomiędzy 0 mg/Nm³ a 2 mg/Nm³ wyposażonych zostało w

płuczkę gazową mokrą (7% z nich posiada tylko techniki suche lub półmokre). Udział ten maleje do 35% dla linii referencyjnych osiągających poziomy emisji HCl pomiędzy 6 mg/Nm³ a 8 mg/Nm³ (65% tych linii referencyjnych wyposażonych zostało tylko w techniki suche lub półmokre). Udziały te są na ogół oparte na "bazowym" filtrze danych dla emisji monitorowanych w sposób ciągły oraz na maksymalnych zgłaszanych wartościach w przypadku emisji monitorowanych okresowo.

W przypadku niektórych zanieczyszczeń wykresy kołowe pokazują więcej niż dwie techniki. Trzy rodzaje stosowanych technik pokazano na przykład dla NO_x (linie referencyjne wyposażone w: SCR z SNCR lub bez; SNCR, ale nie SCR; tylko techniki podstawowe) lub dla NH₃ (linie referencyjne wyposażone w: SCR; SNCR a następnie płuczka gazowa mokra; SNCR bez płuczki gazowej mokrej). W innych przypadkach, w których nie występują żadne istotne techniki dodatkowe, wykresy kołowe wskazują zamiast tego wielkość linii referencyjnej. Ma to miejsce na przykład w przypadku emisji CO.

Poniższe podsekcje przedstawiają informacje dla zakładów spalających różne rodzaje odpadów, oddzielnie dla: stałych odpadów komunalnych (MSW); odpadów innych niż niebezpieczne (ONHW); odpadów niebezpiecznych (HW); osadów ściekowych (SS); oraz odpadów medycznych (CW). Ponieważ w rzeczywistości w tym samym zakładzie mogą być przetwarzane różne rodzaje odpadów, przydział zakładów do tego czy innego rodzaju odpadów opiera się na dominującym pod względem masy rodzaju odpadów, spalonych przez każdy zakład w roku referencyjnym 2014.

3.2.2.1 Emisje do powietrza pochodzące ze spalania stałych odpadów komunalnych oraz odpadów innych niż niebezpieczne

Chlorowodór (HCl) i fluorowodór (HF)

W przypadku HCl i HF stosowane są trzy główne rodzaje systemów oczyszczania spalin:

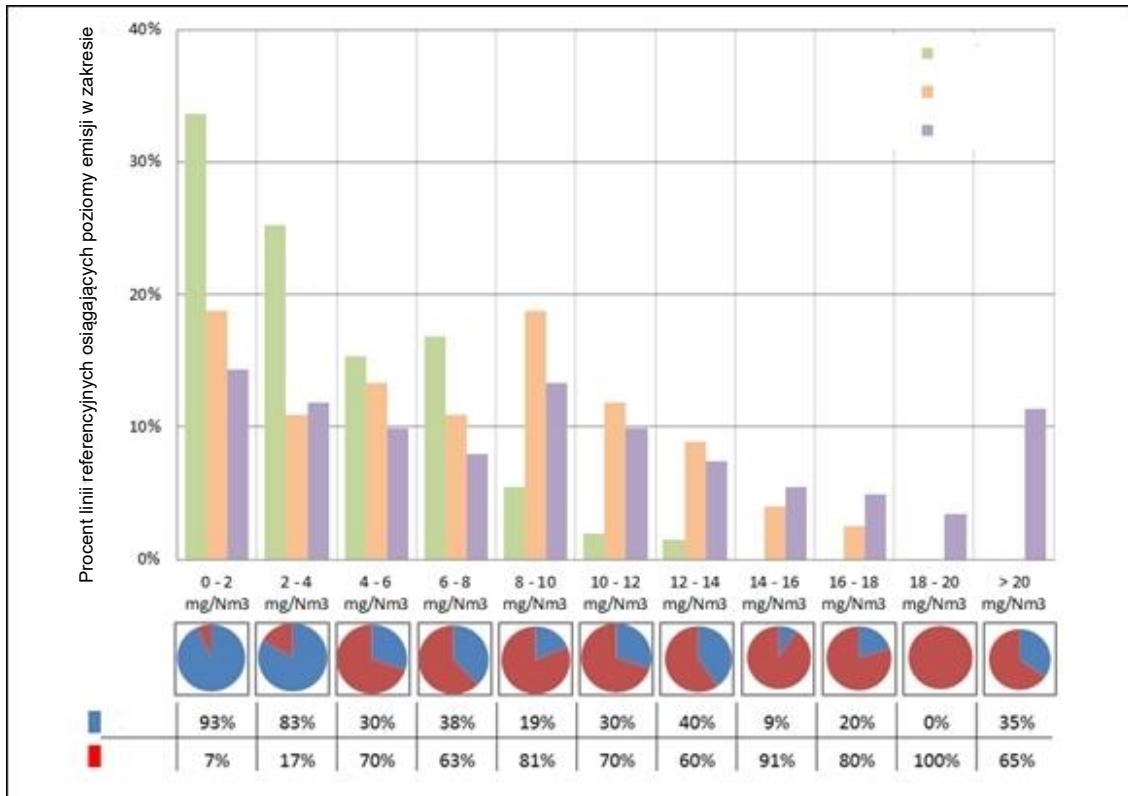
1. Systemy mokre wykorzystujące różne rodzaje płuczek (skruberów), w których HCl usuwany jest przez wodę, zwykle pracujące przy pH < 1.
2. Systemy półmokre (nazywane też półsuchymi) wykorzystujące mleczko wapienne.
3. Systemy suche, w których stosuje się wapno hydratyzowane lub wodorowęglan sodu (zazwyczaj w połączeniu z węglem aktywnym), często w połączeniu z filtrem workowym. [\[74. TWG 2004\]](#)

Emisja będzie zależała między innymi od ilości użytych odczynników oraz zasady działania/sposobu zaprojektowania zakładu.

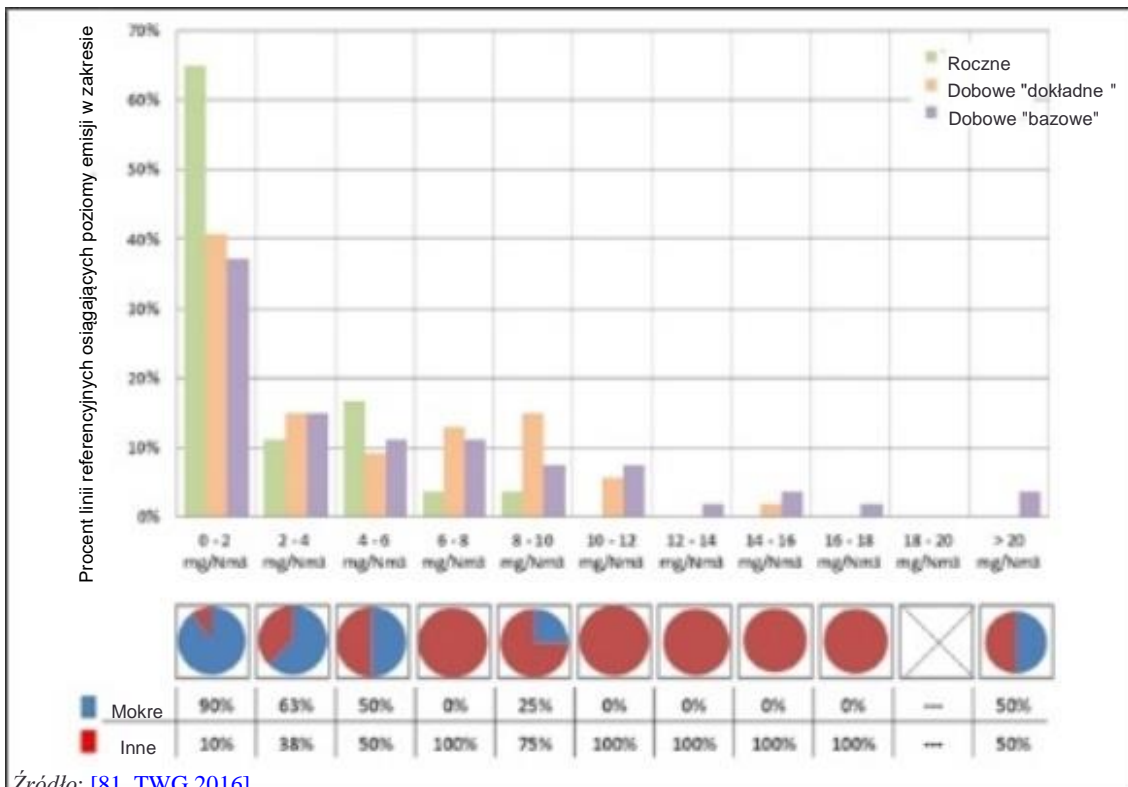
Dane dotyczące emisji HCl, oparte na pomiarach ciągłych, przedstawiono na kolejnych ilustracjach, w uproszczonej formie w ramach niniejszego rozdziału, zaś w sposób szczegółowy w załączniku 8.6 (półgodzinne poziomy emisji przedstawiono w załączniku 8.7):

- Ilustracja 3.1, dla 202 linii referencyjnych spalającej głównie MSW. Ze względu na dużą liczbę reprezentowanych punktów danych, odpowiadające im wykresy szczegółowe podzielono na trzy grupy zapewniając większą czytelność. Są to ilustracja 8.2, 8.3 i 8.4 dla dobowych i rocznych poziomów emisji oraz ilustracja 8.52, 8.53 i 8.54 dla półgodzinnych poziomów emisji.
- Ilustracja 3.2, dla 54 linii referencyjnych spalających głównie ONHW. Odpowiednie ilustracje szczegółowe to ilustracja 8.5 dla dobowych i rocznych poziomów emisji oraz ilustracja 8.55 dla półgodzinnych poziomów emisji.

Dla każdego zakresu koncentracji emisji reprezentowanego na osi poziomej, wykresy kołowe poniżej pokazują udział linii referencyjnych wśród tych, które osiągają poziomy emisji w danym zakresie i które zostały wyposażone w płuczkę gazową mokrą oraz w inne techniki (takie jak DSI lub półmokre absorbery).



Ilustracja 3.1 Ciągły monitoring emisji HCl do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW



Źródło: [81, TWG 2016]

Ilustracja 3.2 Ciągły monitoring emisji HCl do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie ONHW

Poziomy emisji wahają się, jako średnia roczna, od wartości zbliżonej do granicy oznaczalności do 13 mg/Nm^3 , oraz do 17 mg/Nm^3 jako maksymalna średnia dobowa. W niektórych przypadkach można odnotować wyższe wartości szczytowe emisji, na ogół związane z OTNOC.

Wykresy pokazują, że obiekty wyposażone w płuczki gazowe mokre generalnie osiągnęły niższe poziomy emisji (głównie poniżej 2 mg/Nm^3 jako średnia roczna i 4 mg/Nm^3 jako maksymalna średnia dobowa) niż obiekty wyposażone w suchy wtrysk sorbentu lub w techniki półmokre.

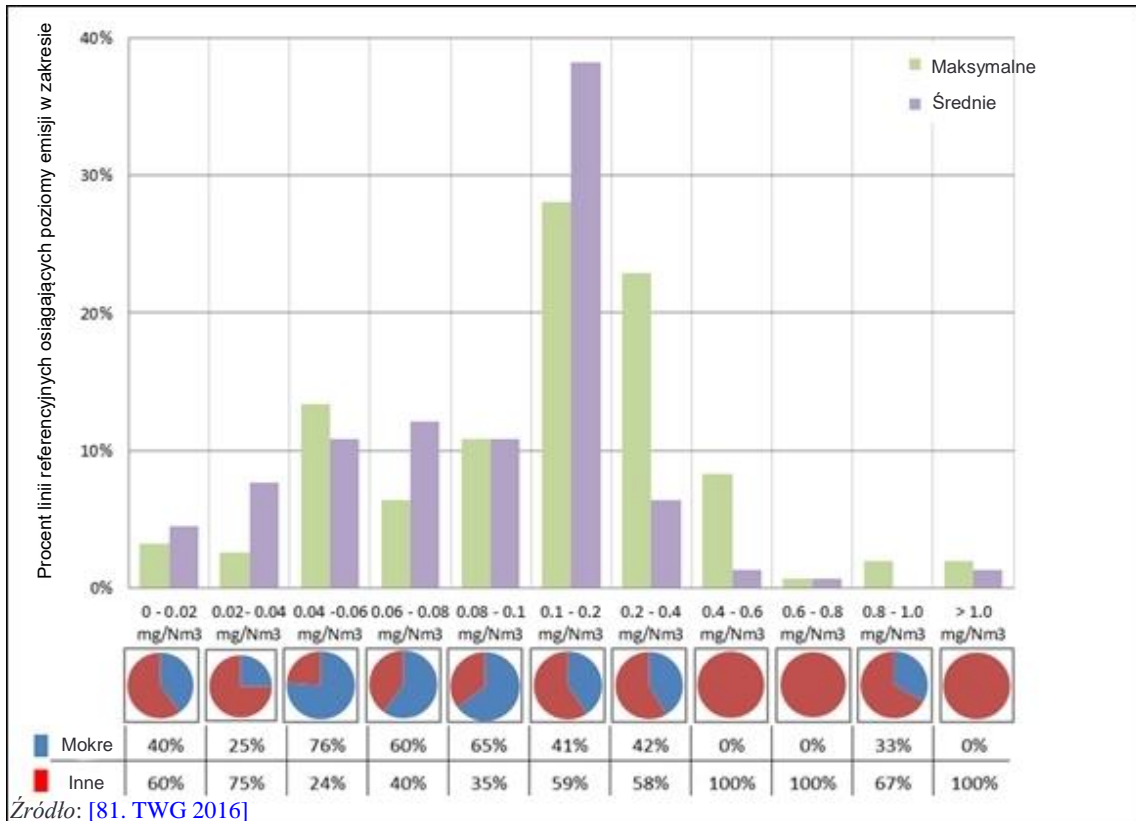
Zgłoszone dane nie wskazują na wyraźną korelację pomiędzy osiągniętymi poziomami emisji a rodzajem i ilością stosowanego odczynnika, wiekiem i wielkością zakładu czy rodzajem pieca.

Dane dotyczące fluorowodoru (HF) opierają się głównie na pomiarach okresowych. HF jest redukowany przez te same techniki co HCl, co oznacza, że skuteczny dla HCl system oczyszczania spalin będzie również zajmował się HF. Ponieważ zachowanie chemiczne HF nie jest dokładnie takie samo jak HCl, skuteczność usuwania HF będzie się nieco różnić, w zależności od zastosowanego systemu.

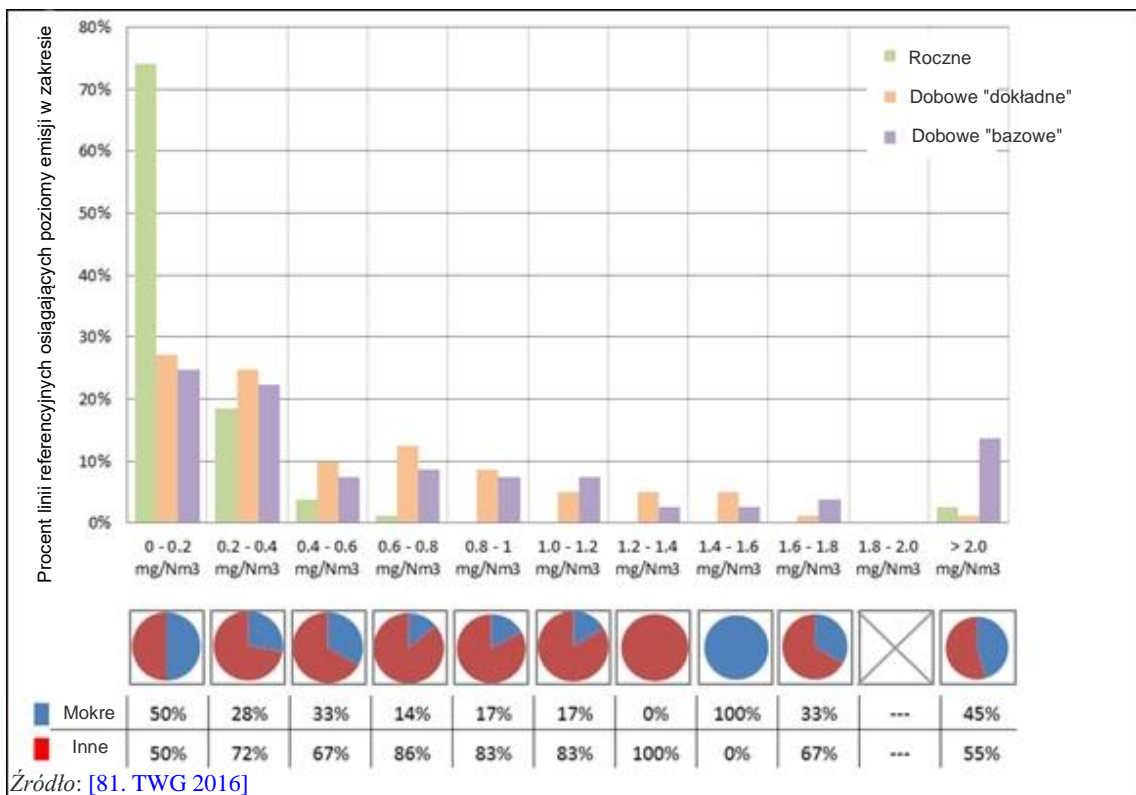
Dane dotyczące emisji HF przedstawiono na poniższych ilustracjach, w uproszczonej formie w ramach niniejszego rozdziału oraz szczegółowo w załączniku 8.6 i 8.8. Półgodzinne poziomy emisji przedstawiono w załączniku 8.7:

- Ilustracja 3.3, dla 157 linii referencyjnych spalających głównie MSW i monitorujących HF w sposób okresowy. Ze względu na dużą liczbę reprezentowanych punktów danych, odpowiadające im wykresy szczegółowe podzielono na dwie grupy zapewniając większą czytelność. Są to ilustracje 8.106 oraz 8.107.
- Ilustracja 3.4, dla 81 linii referencyjnych spalających głównie MSW i monitorujących HF w sposób ciągły. Odpowiednie szczegółowe wykresy to ilustracja 8.6 dla dobowych i rocznych poziomów emisji oraz ilustracja 8.56 dla półgodzinnych poziomów emisji.
- Ilustracja 3.5, dla 31 linii referencyjnych spalających głównie ONHW i monitorujących HF w sposób okresowy. Odpowiedni szczegółowy wykres to ilustracja 8.108.
- Ilustracja 3.6, dla 20 linii referencyjnych spalających głównie ONHW i monitorujących HF w sposób ciągły. Odpowiednie wykresy szczegółowe to ilustracja 8.7 dla dobowych i rocznych poziomów emisji oraz ilustracja 8.57 dla półgodzinnych poziomów emisji.

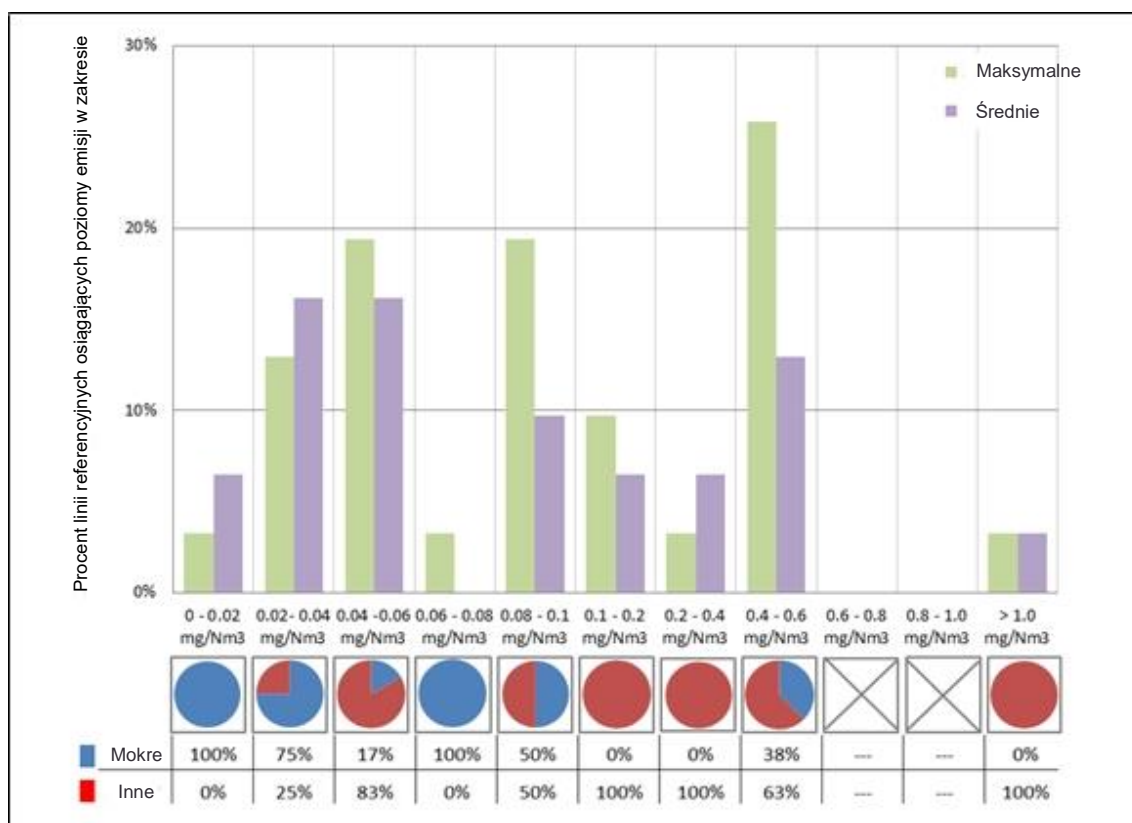
Dla każdego zakresu koncentracji emisji reprezentowanego na osi poziomej, wykresy kołowe poniżej pokazują udział linii referencyjnych wśród tych, które osiągnęły poziomy emisji w danym zakresie i które zostały wyposażone w płuczkę gazową mokrą oraz w inne techniki (takie jak DSI lub półmokre absorbery).



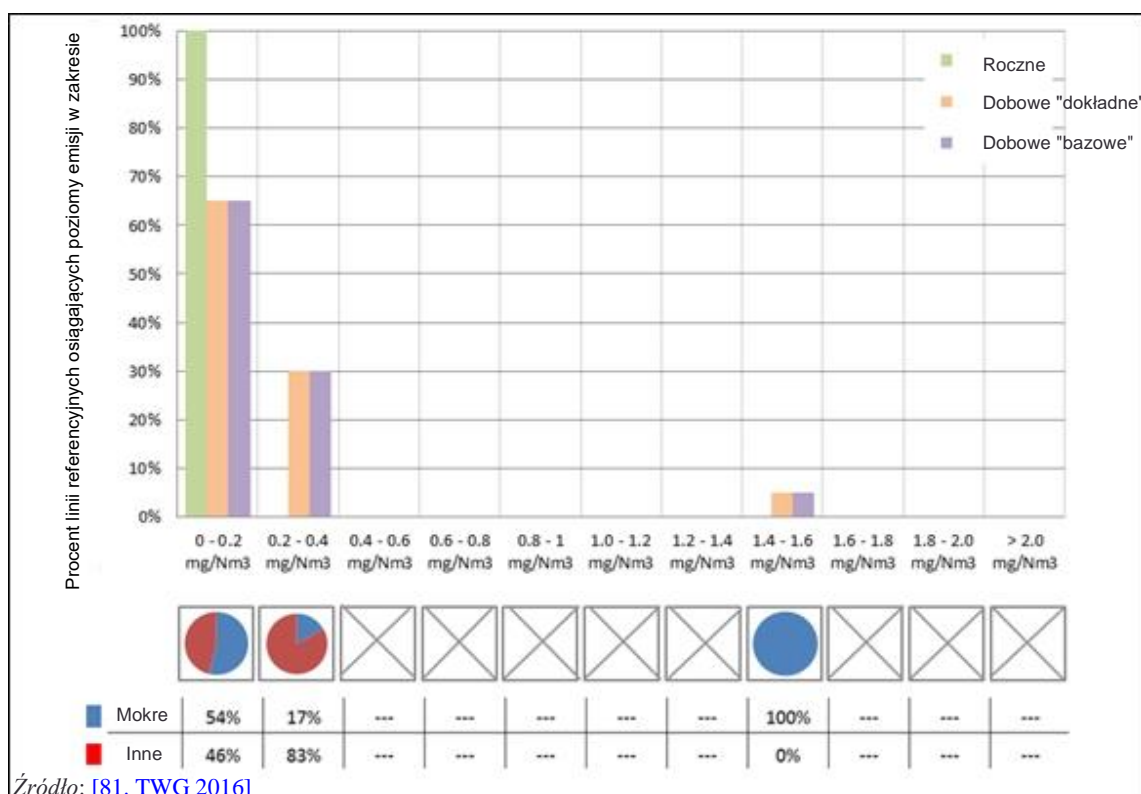
Ilustracja 3.3 Okresowy monitoring emisji HF do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW



Ilustracja 3.4 Ciągły monitoring emisji HF do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW



Ilustracja 3.5 Okresowy monitoring emisji HF do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie ONHW



Ilustracja 3.6 Ciągły monitoring emisji HF do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie ONHW

Poziomy emisji wahają się, jako średnia roczna, od wartości zbliżonej do granicy oznaczalności do 0.4 mg/Nm^3 , oraz do 1.6 mg/Nm^3 jako maksymalna średnia dobową, z wyjątkiem jednego obiektu osiągającego 0.7 mg/Nm^3 jako średnia roczna i jednego przekraczającego 3 mg/Nm^3 jako maksymalna średnia dobową. Emisje monitorowane okresowo mieszczą się w przedziale pomiędzy wartością zbliżoną do granicy oznaczalności a 0.6 mg/Nm^3 , z wyjątkiem sześciu obiektów, które zgłaszają emisje pomiędzy 1 mg/Nm^3 a 4 mg/Nm^3 .

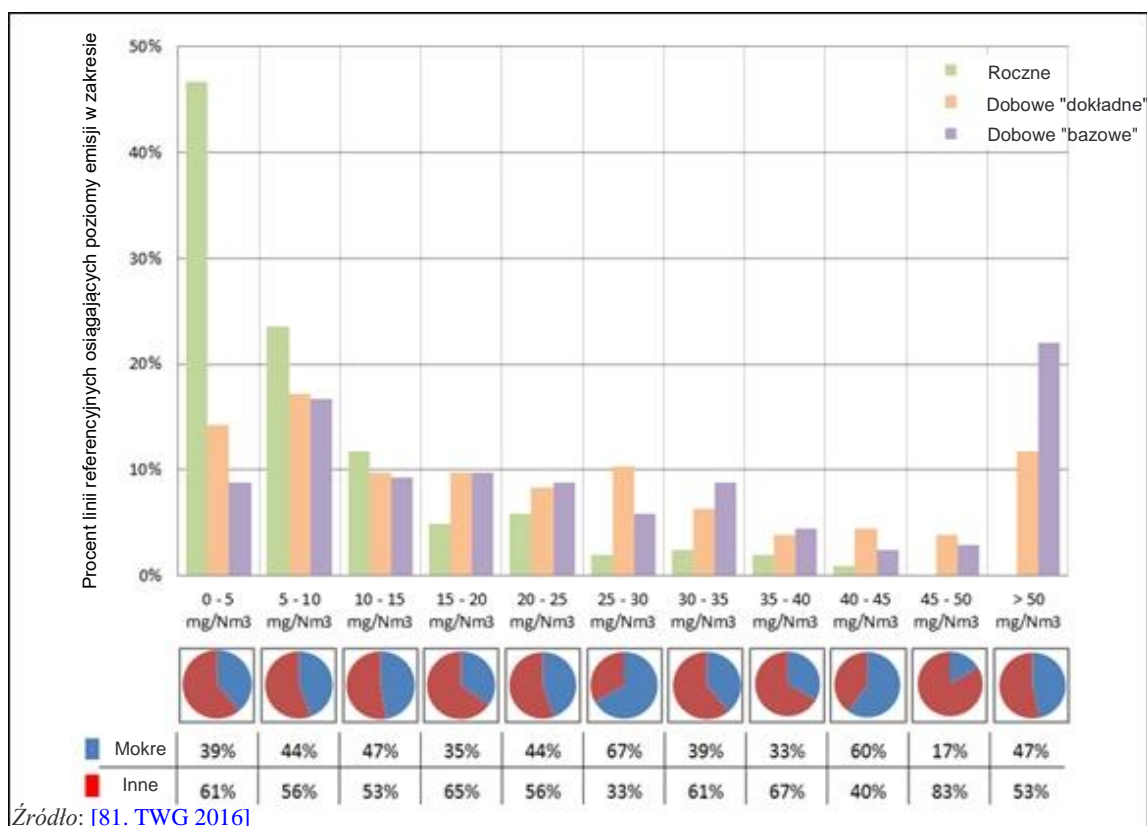
Zgłoszone dane nie wskazują na wyraźną korelację pomiędzy osiągniętymi poziomami emisji a zastosowaną techniką, rodzajem i ilością stosowanego odczynnika, wiekiem i wielkością zakładu czy rodzajem pieca.

Rodzaje stosowanych systemów oczyszczania spalin są takie same jak w przypadku HCl, z tą różnicą, że płuczki gazowe mokre działają przy lekko zasadowym pH (zazwyczaj 7-8).

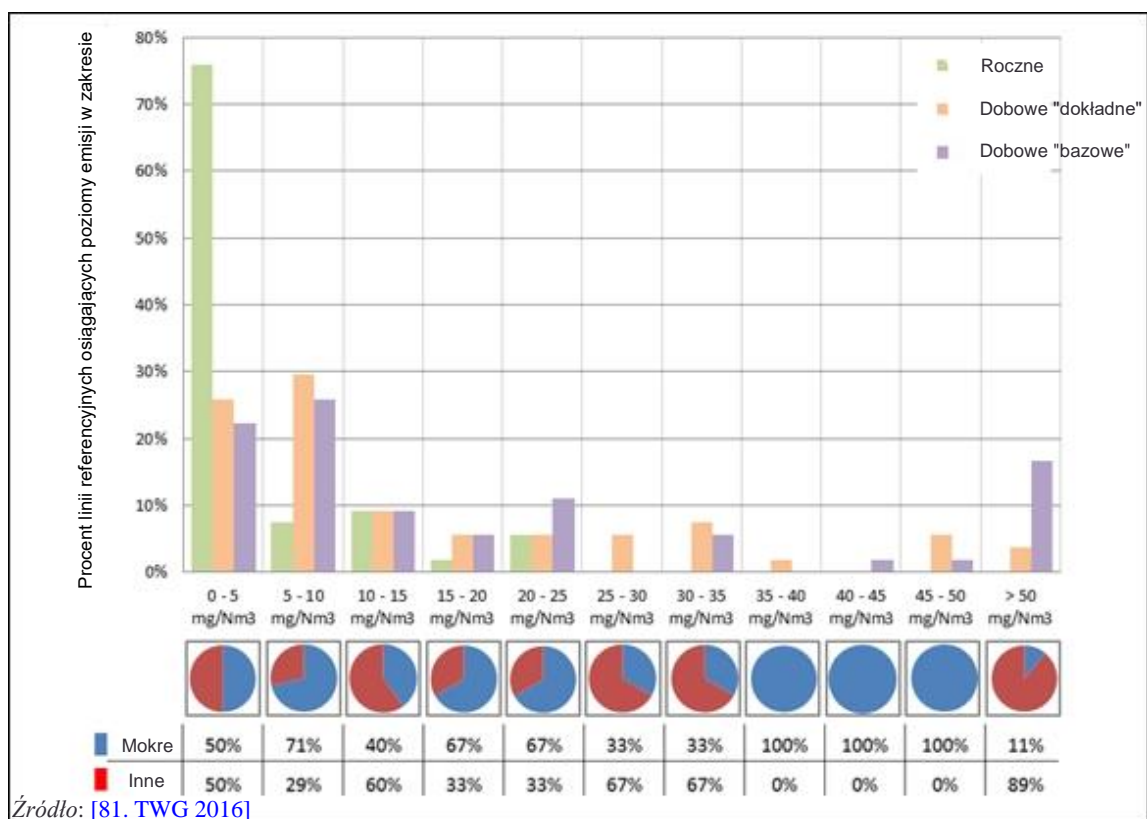
Dane dotyczące emisji SO_2 , oparte na pomiarach ciągłych, przedstawiono na poniższych ilustracjach, w uproszczonej formie w ramach niniejszego rozdziału oraz szczegółowo w załączniku 8.6. Półgodzinne poziomy emisji przedstawiono w załączniku 8.7:

- Ilustracja 3.7, dla 204 linii referencyjnych spalających głównie MSW. Ze względu na dużą liczbę reprezentowanych punktów danych, odpowiadające im wykresy szczegółowe podzielono na trzy grupy zapewniając większą czytelność. Są to ilustracje 8.8, 8.9 i 8.10 dla dobowych i rocznych poziomów emisji oraz ilustracje 8.58, 8.59 i 8.60 dla półgodzinnych poziomów emisji.
- Ilustracja 3.8, dla 54 linii referencyjnych spalających głównie ONHW. Odpowiednie wykresy szczegółowe to ilustracja 8.11 dla dobowych i rocznych poziomów emisji oraz ilustracja 8.61 dla półgodzinnych poziomów emisji.

Dla każdego zakresu koncentracji emisji reprezentowanego na osi poziomej, wykresy kołowe poniżej pokazują udział linii referencyjnych wśród tych, które osiągają poziomy emisji w danym zakresie i które zostały wyposażone w płuczkę gazową mokrą oraz w inne techniki (takie jak DSI lub półmokre absorbery).



Ilustracja 3.7 Ciągły monitoring emisji SO₂ do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW



Ilustracja 3.8 Ciągły monitoring emisji SO₂ do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie ONHW

Poziomy emisji wahają się od wartości zbliżonej do granicy oznaczalności do 45 mg/Nm^3 jako średnia roczna i 90 mg/Nm^3 jako maksymalna średnia dobowa.

Zgłoszone dane nie wskazują na wyraźną korelację pomiędzy osiągniętymi poziomami emisji a zastosowaną techniką, rodzajem i ilością stosowanego odczynnika, wiekiem i wielkością zakładu czy rodzajem pieca.

Pył

W przypadku pyłów zastosowanie znalazły głównie trzy rodzaje systemów oczyszczania spalin:

1. Suchy filtr elektrostatyczny (suchy ESP).
2. Mokry filtr elektrostatyczny (mokry ESP) (uwaga: mokry ESP w MSWI nie jest zbyt często stosowany).
3. Filtr workowy (BF).

W kilku przypadkach, dwie z powyższych technik zostały połączone, na przykład suchy filtr elektrostatyczny do wstępnego odpylania za kotłem, z filtrem workowym przed kominem. Pozwala to na oddzielenie popiołu lotnego od pozostałości z FGC oraz odseparowanie recyklingu/unieszkodliwiania.

Do usuwania pyłu mogą się również przyczynić płuczki gazowe mokre oraz stałe złoża adsorpcyjne.

Niektóre zakłady stosują również cyklony lub multicyklony (zwane też (wielo)cyklonami) do wstępnego odpylania. Chociaż nie jest to powszechna konfiguracja, istnieją przykładowe instalacje, w których system oczyszczania spalin nie zawiera filtra workowego lub ESP, ale łączy płukanie gazowe mokre z multicyklonem.

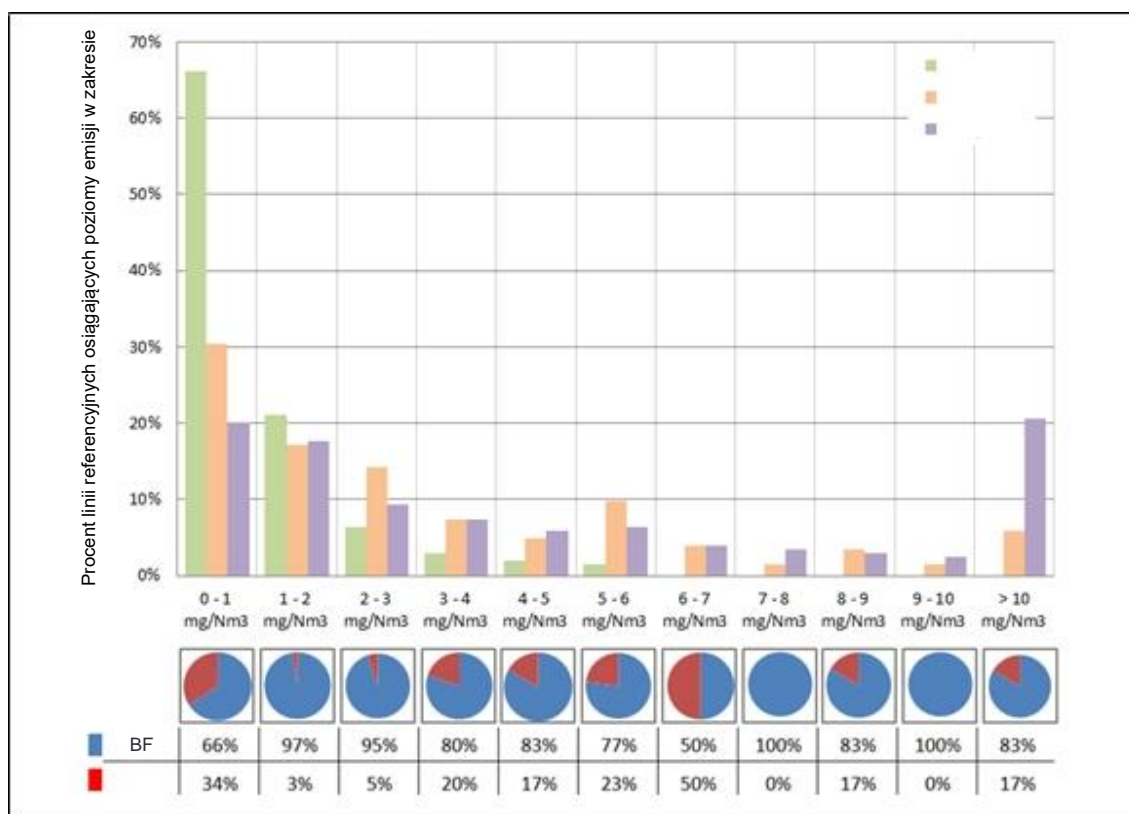
Wzajemne zależności pomiędzy różnymi częściami instalacji są często widoczne w ogólnej konstrukcji systemu oczyszczania spalin. Na przykład, w przypadku systemów suchych i półmokrych, filtry workowe działają również jako reaktor do usuwania gazów kwaśnych. Ponadto mogą one umożliwić usuwanie PCDD/F i metali (w tym rtęci i kadmu), jeżeli stosowany jest odpowiedni odczynnik (np. węgiel aktywny).

Dane dotyczące emisji pyłu, oparte na pomiarach ciągłych, przedstawiono na poniższych ilustracjach, w uproszczonej formie w ramach niniejszego rozdziału oraz szczegółowo w załączniku 8.6. Półgodzinne poziomy emisji przedstawiono w załączniku 8.7:

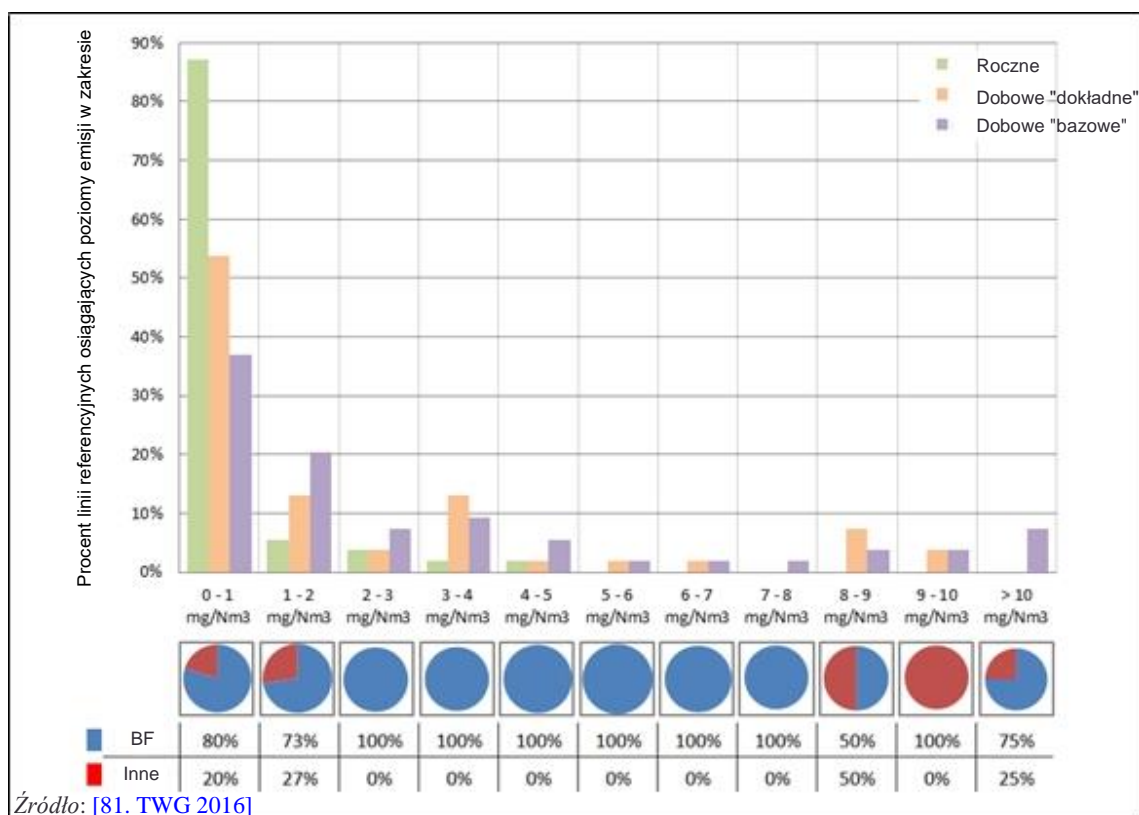
- Ilustracja 3.9, dla 203 linii referencyjnych spalających głównie MSW. Ze względu na dużą liczbę reprezentowanych punktów danych, odpowiadające im wykresy szczegółowe podzielono na trzy grupy zapewniając większą czytelność. Są to ilustracje 8.12, 8.13 i 8.14 dla dobowych i rocznych poziomów emisji oraz ilustracje 8.62, 8.63 i 8.64 dla półgodzinnych poziomów emisji.
- Ilustracja 3.10, dla 54 linii referencyjnych spalających głównie ONHW. Odpowiednie wykresy szczegółowe to ilustracja 8.15 dla dobowych i rocznych poziomów emisji oraz ilustracja 8.65 dla półgodzinnych poziomów emisji.

Dla każdego zakresu koncentracji emisji reprezentowanego na osi poziomej, wykresy kołowe poniżej pokazują udział linii referencyjnych wśród tych, które osiągają poziomy emisji w danym zakresie i które zostały wyposażone w filtr workowy oraz w inne techniki (takie jak ESP).

Roczne
Dobowe "dokładne"
Dobowe "bazowe"



Ilustracja 3.9 Ciągły monitoring emisji pyłów do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW



Źródło: [81. TWG 2016]

Ilustracja 3.10 Ciągły monitoring emisji pyłu do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie ONHW

Poziomy emisji wahają się od wartości zbliżonych do granicy oznaczalności do 6 mg/Nm^3 jako średnia roczna i 17 mg/Nm^3 jako maksymalna średnia dobowa. W niektórych przypadkach można odnotować wyższe wartości szczytowe emisji, na ogół związane z OTNOC.

Wykresy pokazują, że obiekty wyposażone w filtr workowy osiągają najczęściej średnie roczne poziomy emisji poniżej $2,5 \text{ mg/Nm}^3$. Tylko kilka obiektów zgłosiło średnie roczne poziomy emisji pomiędzy 3 mg/Nm^3 a 6 mg/Nm^3 i, z wyjątkiem zakładów UK7-1 oraz UK7-2, są to instalacje wyposażone w ESP. Zdecydowana większość zakładów osiąga, jako maksymalną średnią dobową, poziom poniżej 7 mg/Nm^3 , oraz poniżej 5 mg/Nm^3 w przypadku zakładów wyposażonych w dobrze utrzymywany filtr workowy, z wyjątkiem przypadków, w których na średni dobowy poziom emisji istotny wpływ mają zdarzenia takie jak awarie filtrów workowych lub rozruch, podczas którego filtr workowy jest omijany.

Zgłoszone dane nie wskazują na wyraźną korelację pomiędzy osiągniętymi poziomami emisji a rodzajem i ilością stosowanego odczynnika, wiekiem i wielkością zakładu czy rodzajem pieca.

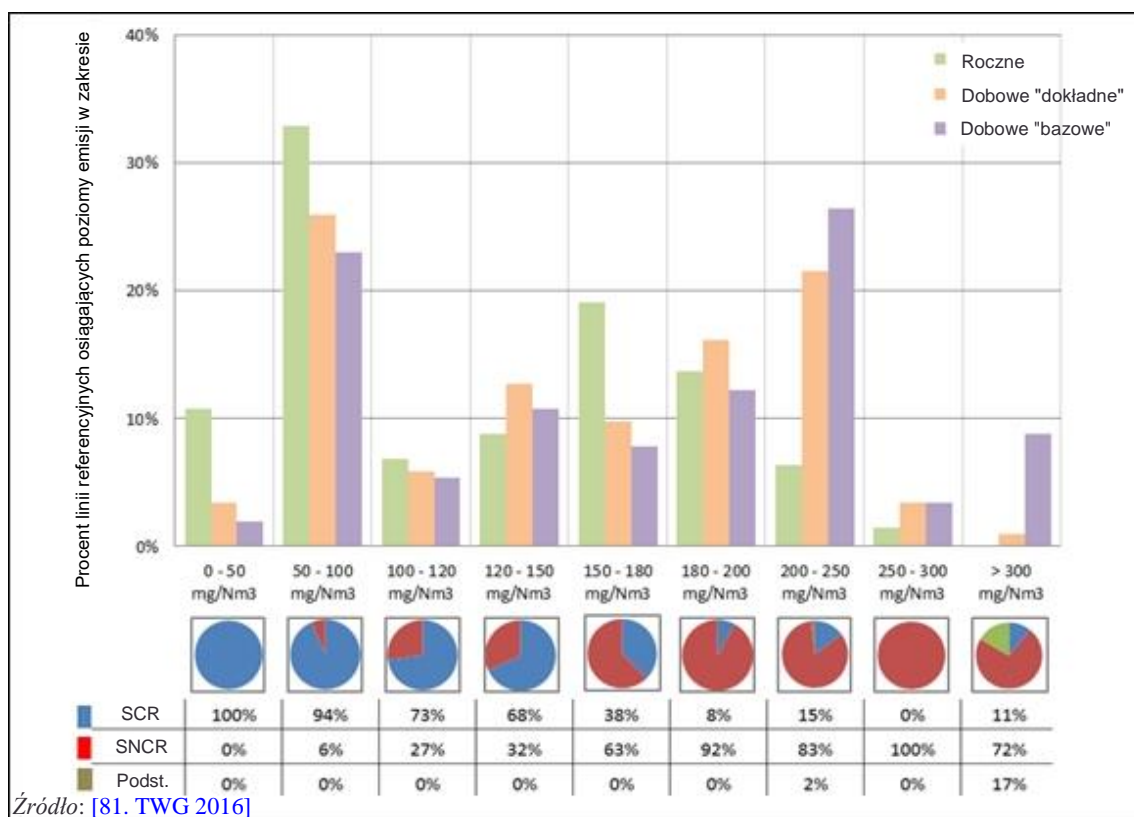
Tlenki azotu (NO_x)

Aby ograniczyć powstawanie NO_x , stosuje się różne techniki kontroli spalania. Natomiast SCR i SNCR są głównymi dodatkowymi technikami stosowanymi celem dalszego zmniejszania w MSWI emisji NO_x .

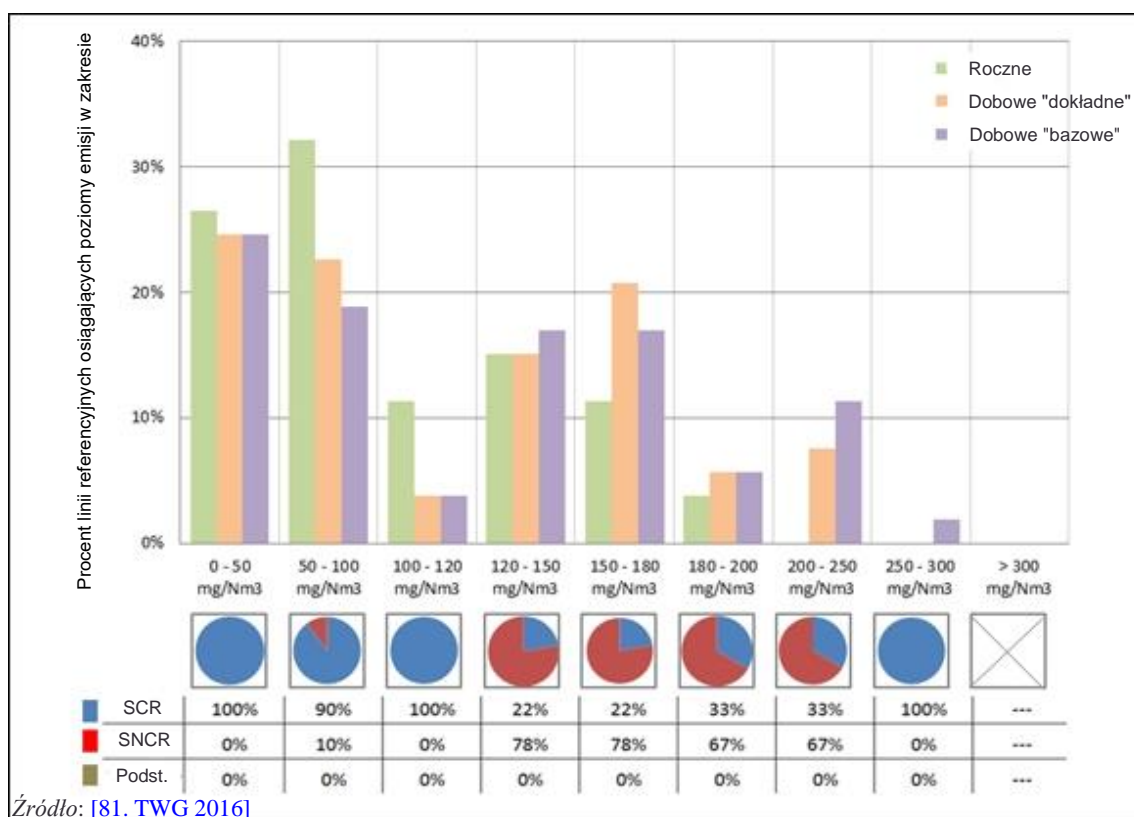
Dane dotyczące emisji NO_x , oparte na pomiarach ciągłych, przedstawiono na poniższych ilustracjach, w uproszczonej formie w ramach niniejszego rozdziału oraz szczegółowo w załączniku 8.6. Półgodzinne poziomy emisji przedstawiono w załączniku 8.7:

- Ilustracja 3.11, dla 204 linii referencyjnych spalających głównie MSW. Ze względu na dużą liczbę reprezentowanych punktów danych, odpowiadające im wykresy szczegółowe podzielono na trzy grupy zapewniając większą czytelność. Są to ilustracje 8.16, 8.17 i 8.18 dla dobowych i rocznych poziomów emisji oraz ilustracje 8.66, 8.67 i 8.68 dla półgodzinnych poziomów emisji.
- Ilustracja 3.12, dla 53 linii referencyjnych spalających głównie ONHW. Odpowiednie wykresy szczegółowe to ilustracja 8.19 dla dobowych i rocznych poziomów emisji oraz ilustracja 8.69 dla półgodzinnych poziomów emisji.

Dla każdego zakresu koncentracji emisji reprezentowanego na osi poziomej, wykresy kołowe poniżej pokazują udział linii referencyjnych wśród tych, które osiągają poziomy emisji w danym zakresie i które zostały wyposażone: w SCR; w SNCR, ale bez SCR; tylko w techniki podstawowe.



Ilustracja 3.11 Ciągły monitoring emisji NO_x do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW



Ilustracja 3.12 Ciągły monitoring emisji NO_x do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie ONHW

Poziomy emisji wynoszą od 18 mg/Nm^3 do 275 mg/Nm^3 jako średnia roczna i od 22 mg/Nm^3 do 350 mg/Nm^3 jako maksymalna średnia dobowa. W niektórych sytuacjach, w przypadku OTNOC, można odnotować wyższe wartości szczytowe emisji, ale w większości sytuacji obserwuje się, w przypadku średnich dobowych, niewielką różnicę pomiędzy danymi z zastosowaniem "bazowego" i "dokładnego" filtra danych a także, w szczególności w przypadku zakładów wyposażonych w SCR, maksymalna średnia dobowa w większości przypadków mieści się w granicach 125% średniej rocznej.

Wykresy pokazują, że obiekty wyposażone w SCR zasadniczo osiągają znacznie niższe poziomy emisji (jako średnia roczna aż do minimum wynoszącego 20 mg/Nm^3 , chociaż generalnie jest to poniżej 100 mg/Nm^3 , oraz aż do 130 mg/Nm^3 jako maksymalna średnia dobowa) niż obiekty wyposażone w SNCR. Najlepiej działające obiekty, wyposażone w SNCR, osiągają poziomy emisji 54 mg/Nm^3 jako średnią roczną i 76 mg/Nm^3 jako maksymalną średnią dobową.

Zgłoszone dane nie wskazują na wyraźną korelację pomiędzy osiągniętymi poziomami emisji a rodzajem i ilością stosowanego odczynnika, wiekiem i wielkością zakładu czy rodzajem pieca.

Amoniak (NH_3)

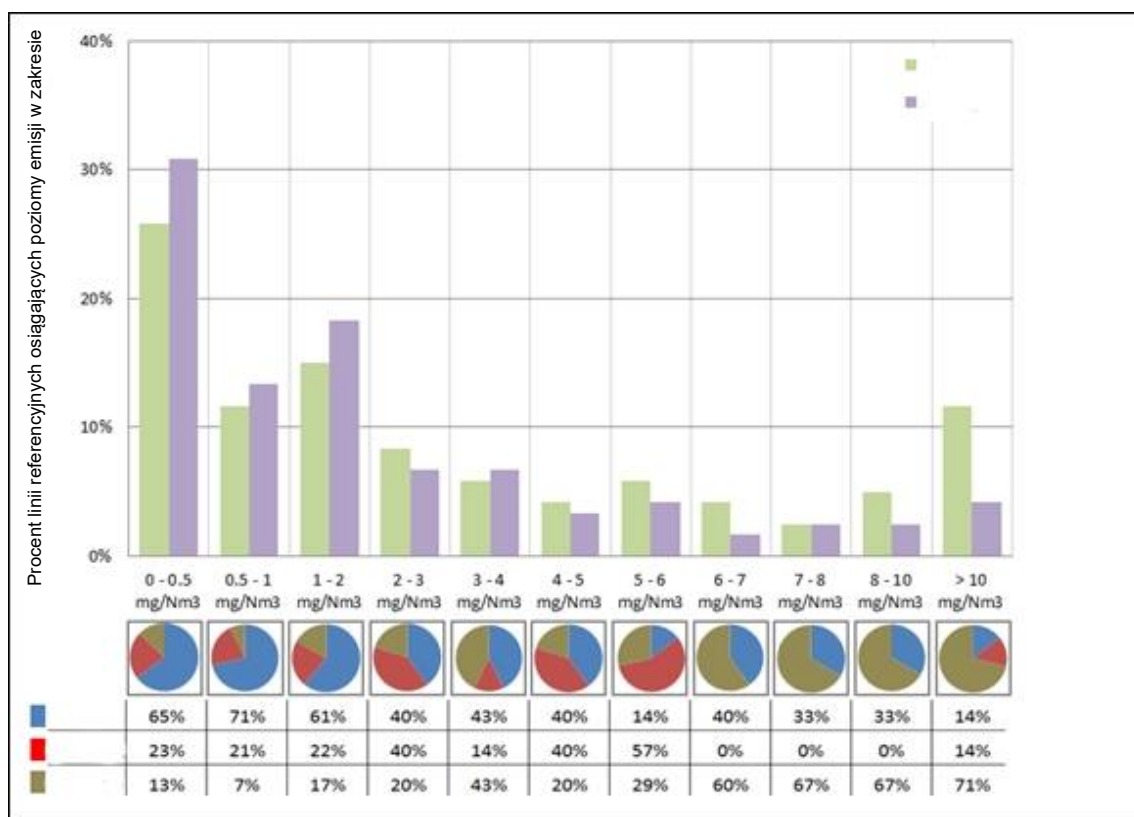
Emisja amoniaku związana jest z wydzielaniem się reagentów z SCR lub SNCR. Główną techniką stosowaną do kontroli takich emisji jest optymalizacja procesu, jak również w przypadku SCR dobra konserwacja katalizatora. W przypadku SNCR, skuteczne usunięcie wydzielającego się amoniaku można osiągnąć za pomocą płuczki gazowej mokrej działającej przy niskim pH. SCR może być również stosowany jako katalizator wydzielania celem dalszej reakcji z nieprzereagowanym amoniakiem, już po przeprowadzeniu głównej redukcji w systemie SNCR.

Dane dotyczące emisji amoniaku, oparte na pomiarach ciągłych lub okresowych, przedstawiono na poniższych ilustracjach, w uproszczonej formie w ramach niniejszego rozdziału oraz szczegółowo w załączniku 8.6 i 8.8. Półgodzinne poziomy emisji przedstawiono w załączniku 8.7:

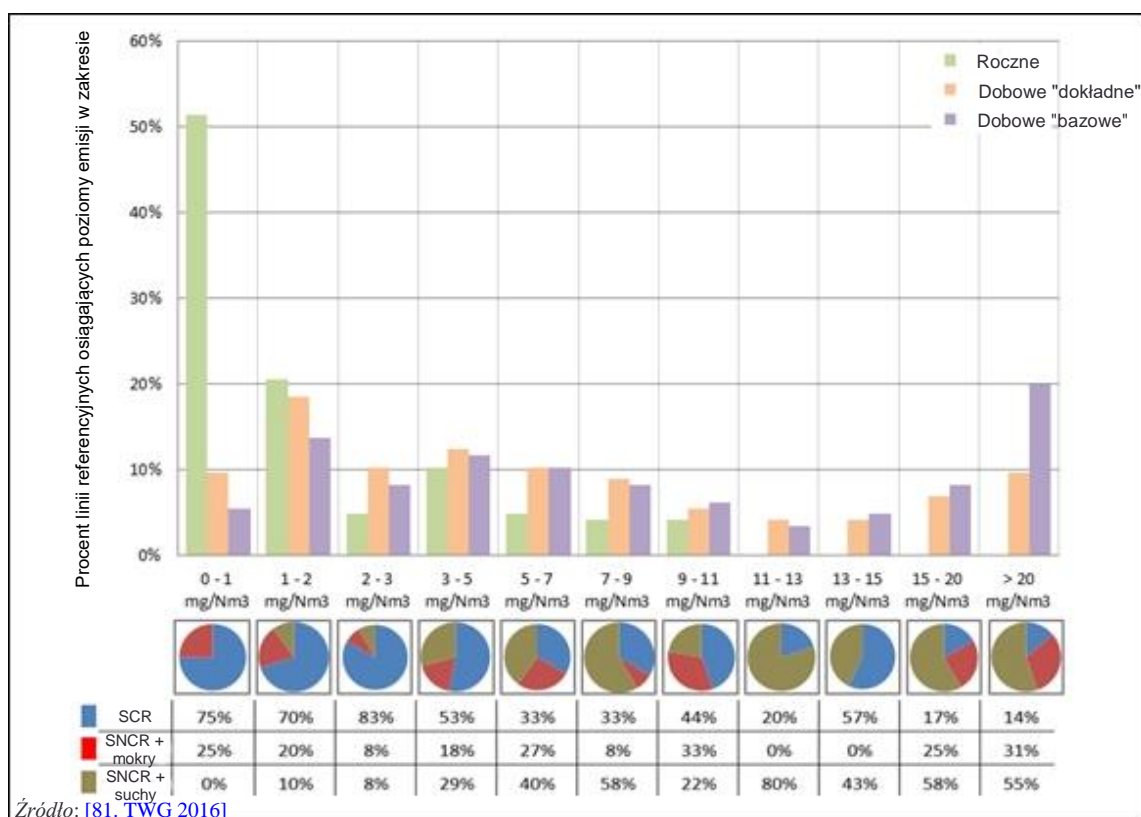
- Ilustracja 3.13, dla 120 linii referencyjnych spalających głównie MSW i okresowo monitorujących NH_3 . Ze względu na dużą liczbę reprezentowanych punktów danych, odpowiadające im wykresy szczegółowe podzielono na dwie grupy zapewniając większą czytelność. Są to ilustracje 8.109 i 8.110.
- Ilustracja 3.14, dla 146 linii referencyjnych spalających głównie MSW i monitorujących NH_3 w sposób ciągły. Ze względu na dużą liczbę reprezentowanych punktów danych odpowiadające im wykresy szczegółowe podzielono na trzy grupy zapewniając większą czytelność. Są to ilustracje 8.20, 8.21 i 8.22 dla dobowych i rocznych poziomów emisji oraz ilustracje 8.70, 8.71 i 8.72 dla półgodzinnych poziomów emisji.
- Ilustracja 3.15, dla 27 linii referencyjnych spalających głównie ONHW i okresowo monitorujących NH_3 . Odpowiedni wykres szczegółowy przedstawiono na ilustracji 8.111.
- Ilustracja 3.16, dla 38 linii referencyjnych spalających głównie ONHW i monitorujących NH_3 w sposób ciągły. Odpowiednie wykresy szczegółowe to ilustracja 8.23 dla dobowych i rocznych poziomów emisji oraz ilustracja 8.73 dla półgodzinnych poziomów emisji.

Dla każdego zakresu koncentracji emisji reprezentowanego na osi poziomej wykresy kołowe poniżej pokazują udział linii referencyjnych wśród tych, które osiągają poziomy emisji w danym zakresie i które zostały wyposażone w: SCR; SNCR a następnie w płuczkę gazową mokrą; SNCR a następnie techniki suche (emisje z zakładów, które nie stosują dodatkowej techniki de- NO_x nie mają znaczenia dla wydzielania się amoniaku).

Maksymalne
Średnie

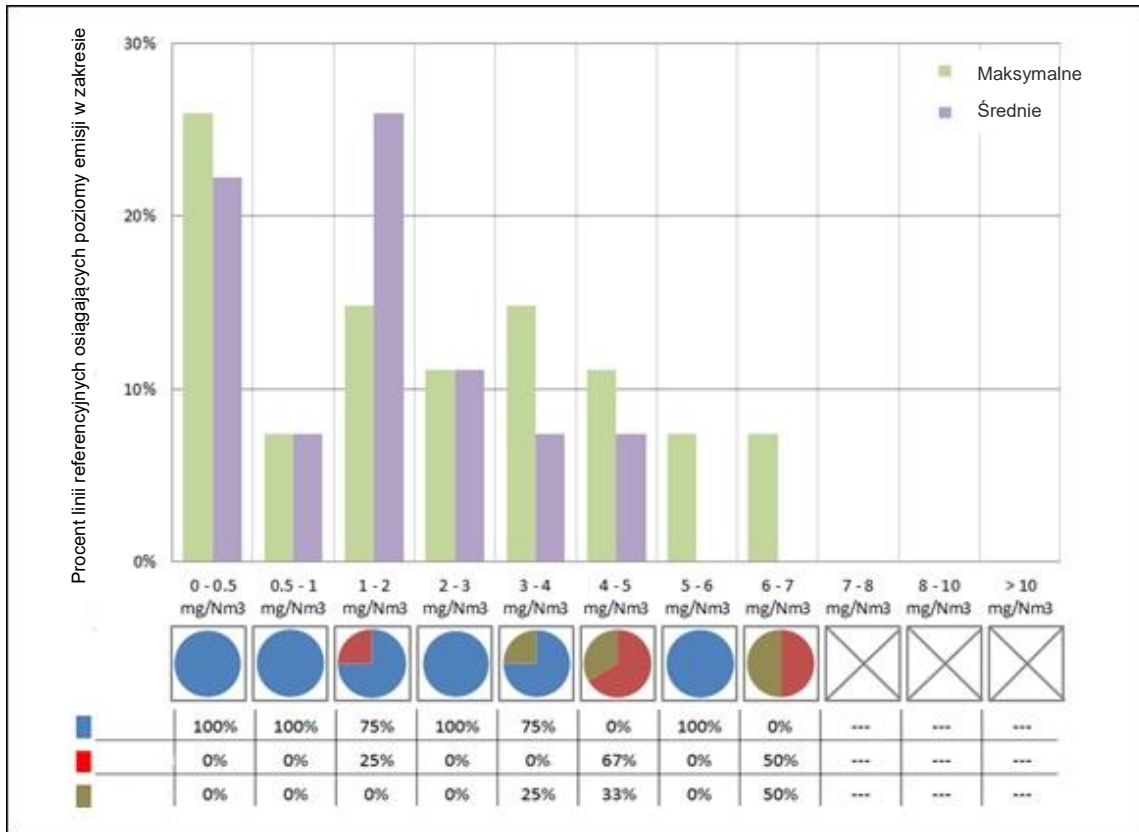


Ilustracja 3.13 Okresowy monitoring emisji NH₃ do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW

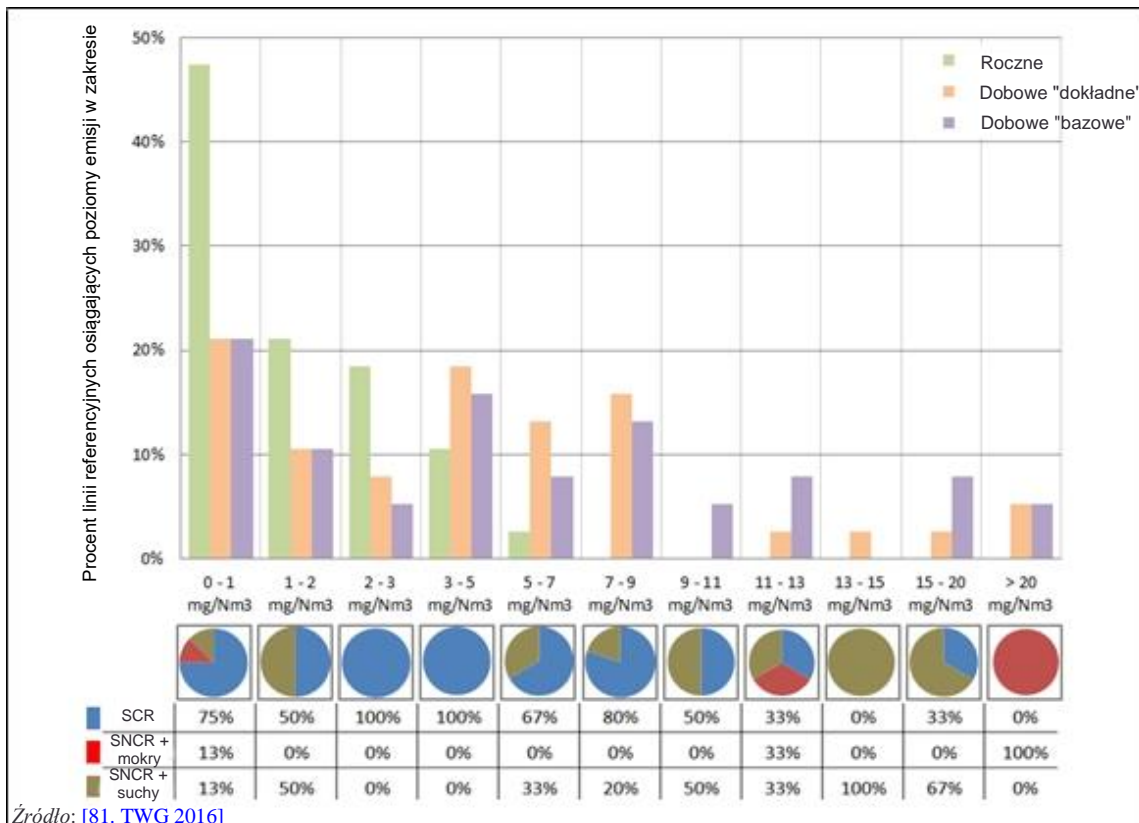


Źródło: [81. TWG 2016]

Ilustracja 3.14 Ciągły monitoring emisji NH₃ do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW



Ilustracja 3.15 Okresowy monitoring emisji NH₃ do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie ONHW



Źródło: [81. TWG 2016]

Ilustracja 3.16 Ciągły monitoring emisji NH₃ do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie ONHW

Poziomy emisji wahają się od wartości zbliżonej do granicy oznaczalności do 10 mg/Nm^3 jako średnia roczna i 37 mg/Nm^3 jako maksymalna średnia dobowa lub średnia w okresie pobierania próbek. W niektórych przypadkach można odnotować wyższe wartości szczytowe emisji, na ogół związane z OTNOC.

Wykresy pokazują, że zakłady wyposażone w SCR osiągają najczęściej znacznie niższe poziomy emisji amoniaku (znacznie poniżej 5 mg/Nm^3 jako średnia roczna i odpowiednio 10 mg/Nm^3 jako maksymalna średnia dobowa lub średnia w okresie pobierania próbek) niż zakłady wyposażone w SNCR. Najlepiej działające obiekty wyposażone w SNCR osiągają bardzo niskie poziomy, do granicy oznaczalności włącznie.

Zgłoszone dane nie wskazują na wyraźną korelację pomiędzy osiągniętymi poziomami emisji a rodzajem i ilością stosowanego odczynnika, wiekiem i wielkością zakładu czy rodzajem pieca.

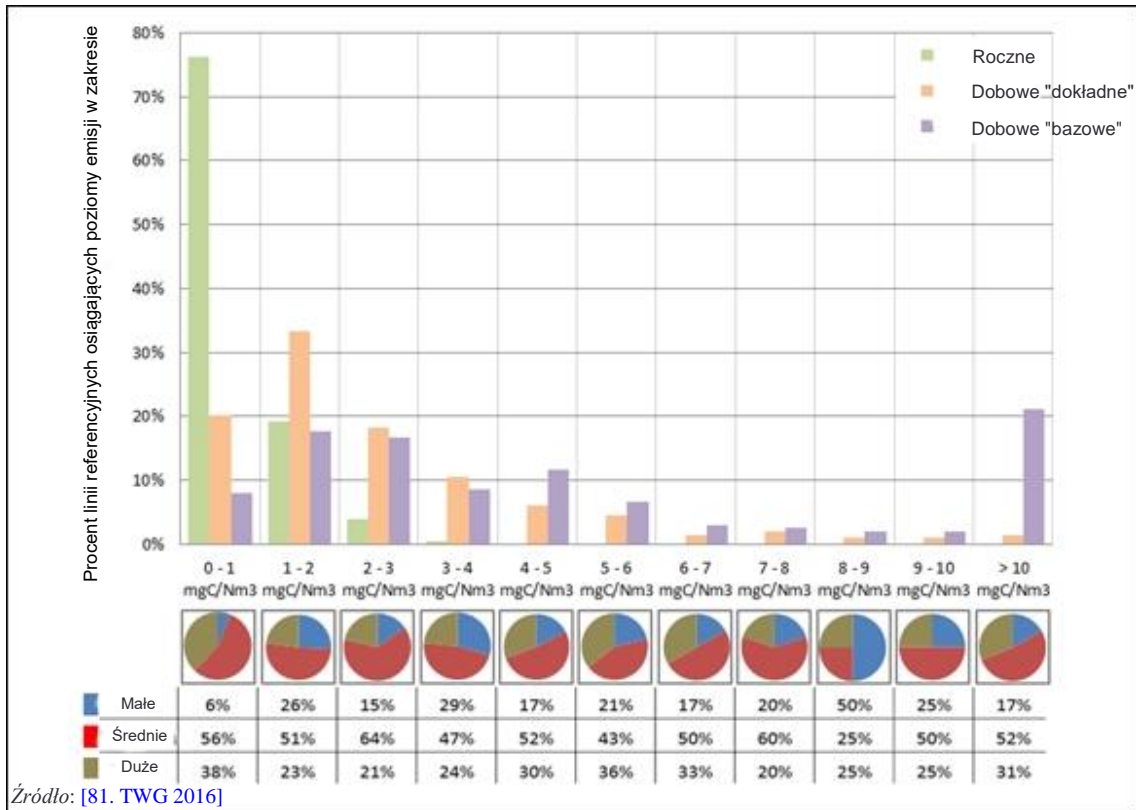
TVOC (Całkowita zawartość lotnych związków organicznych, całkowite LZO)

TVOC jest ważną miarą efektywności spalania. Osiągnięte poziomy emisji TVOC wynikają głównie z konstrukcji układu spalania oraz komory dopalania, ponieważ możliwości zmniejszenia tych emisji poprzez oczyszczanie spalin są ograniczone. Urządzenia stosowane do redukcji emisji pyłów zmniejszają również ilość stałych cząstek organicznych. Część związków organicznych jest zredukowana przez zastosowanie węgla aktywnego.

Dane dotyczące emisji TVOC, oparte na pomiarach ciągłych, przedstawiono na poniższych ilustracjach, w uproszczonej formie w ramach niniejszego rozdziału oraz szczegółowo w załączniku 8.6. Półgodzinne poziomy emisji przedstawiono w załączniku 8.7:

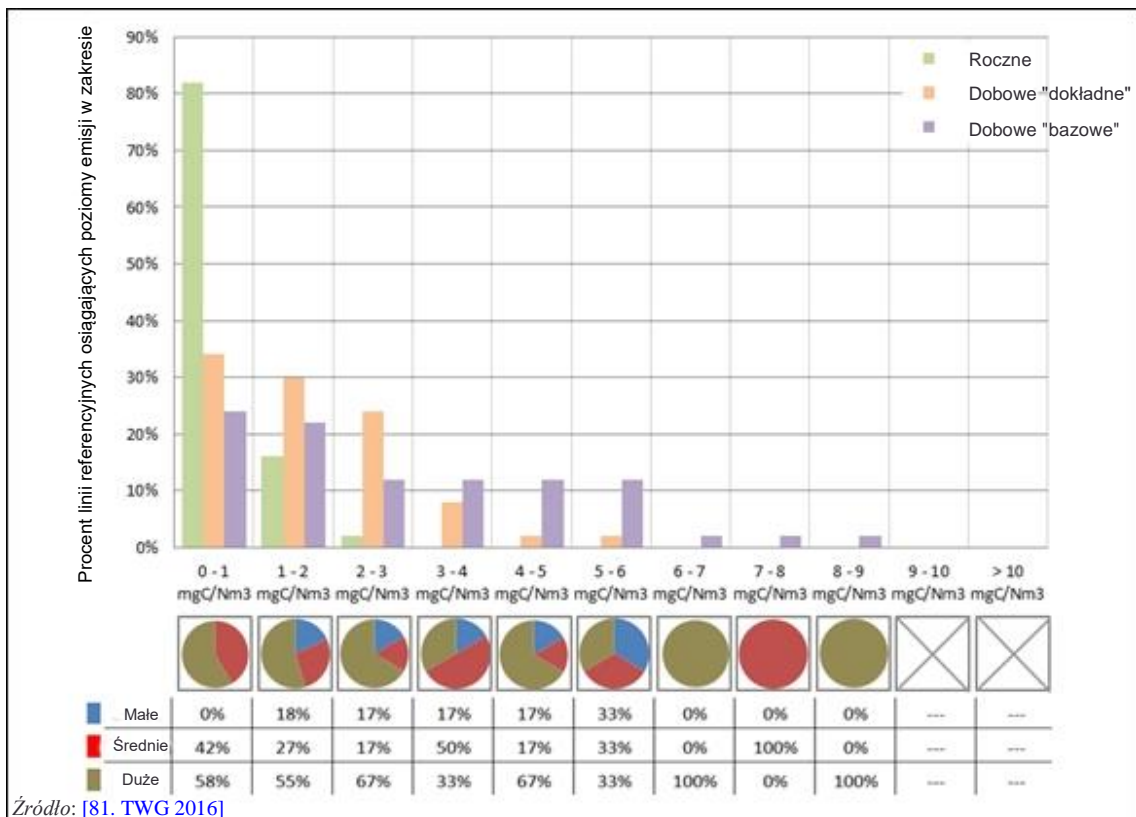
- Ilustracja 3.17, dla 198 linii referencyjnych spalających głównie MSW. Ze względu na dużą liczbę reprezentowanych punktów danych, odpowiadające im wykresy szczegółowe podzielono na trzy grupy zapewniając większą czytelność. Są to ilustracje 8.24, 8.25 i 8.26 dla dobowych i rocznych poziomów emisji oraz ilustracje 8.74, 8.75 i 8.76 dla półgodzinnych poziomów emisji.
- Ilustracja 3.18, dla 50 linii referencyjnych spalających głównie ONHW. Odpowiednie wykresy szczegółowe to ilustracja 8.27 dla dobowych i rocznych poziomów emisji oraz ilustracja 8.77 dla półgodzinnych poziomów emisji.

Dla każdego zakresu koncentracji emisji reprezentowanego na osi poziomej, wykresy kołowe poniżej pokazują udział linii referencyjnych wśród tych, które osiągają poziomy emisji w danym zakresie i które mieszczą się w różnych klasach wielkości (wartości progowe dla małych, średnich i dużych zakładów opisano na wstępie rozdziału 3).



Źródło: [81. TWG 2016]

Ilustracja 3.17 Ciągły monitoring emisji TVOC do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW



Źródło: [81. TWG 2016]

Ilustracja 3.18 Ciągły monitoring emisji TVOC do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie ONHW

Poziomy emisji wahają się od wartości zbliżonej do granicy oznaczalności do 3 mg/Nm^3 jako średnia roczna i 17 mg/Nm^3 jako maksymalna średnia dobowa, chociaż dla znacznej większości obiektów maksymalna średnia dobowa jest niższa niż 6 mg/Nm^3 . Podczas gdy nawet najwyższe dopuszczalne poziomy dobowe są na ogół bardzo niskie, różnica w odniesieniu do średniej rocznej jest najczęściej znaczna. Odzwierciedla to zmienność emisji TVOC, która może wykazywać wartości szczytowe, gdy warunki spalania w piecu nie są stabilne, np. przy rozruchu i wyłączeniu, a także jest związana z dużymi niekiedy różnicami pomiędzy maksymalnymi średnimi dobowymi uzyskanymi przy zastosowaniu filtrowania danych "bazowego" oraz "dokładnego".

Zgłoszone dane nie wskazują na wyraźną korelację pomiędzy osiągniętymi poziomami emisji a rodzajem i ilością stosowanego odczynnika, wiekiem i wielkością zakładu czy rodzajem pieca.

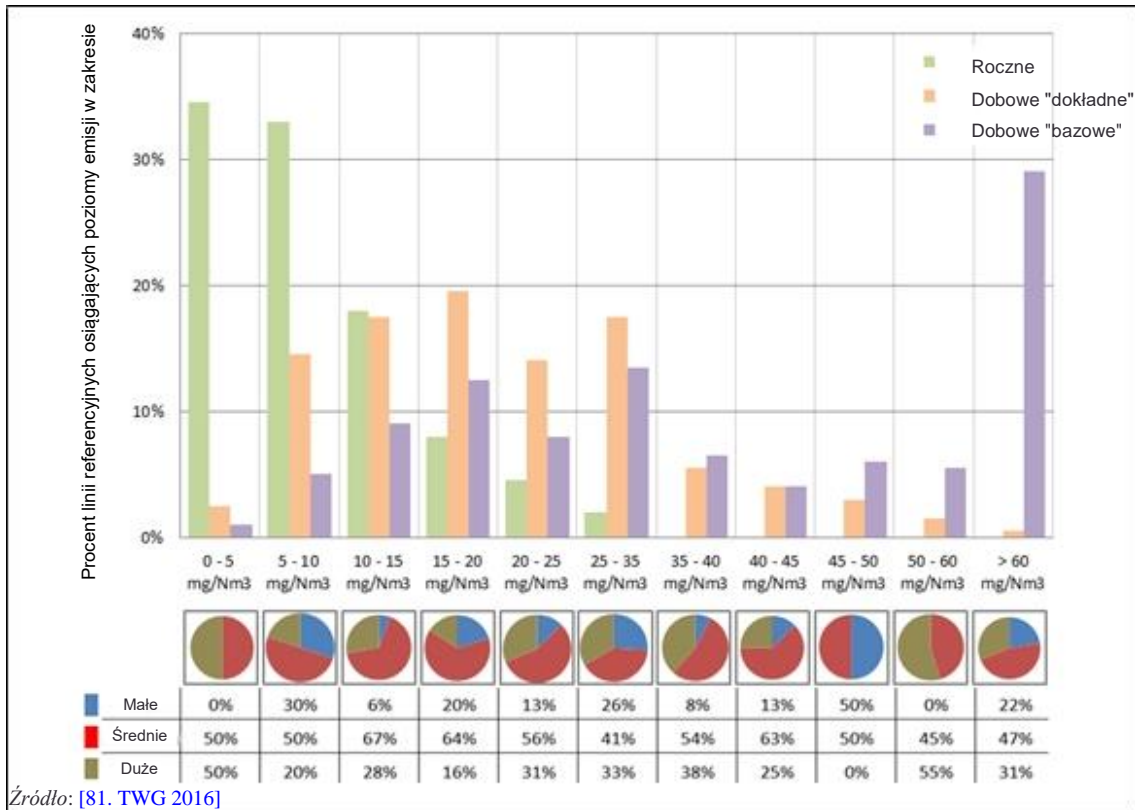
Tlenek węgla (CO)

Podobnie jak w przypadku TVOC, również CO stanowi miarę jakości spalania. Niski poziom emisji CO wiąże się z wysokiej jakości spalaniem gazu.

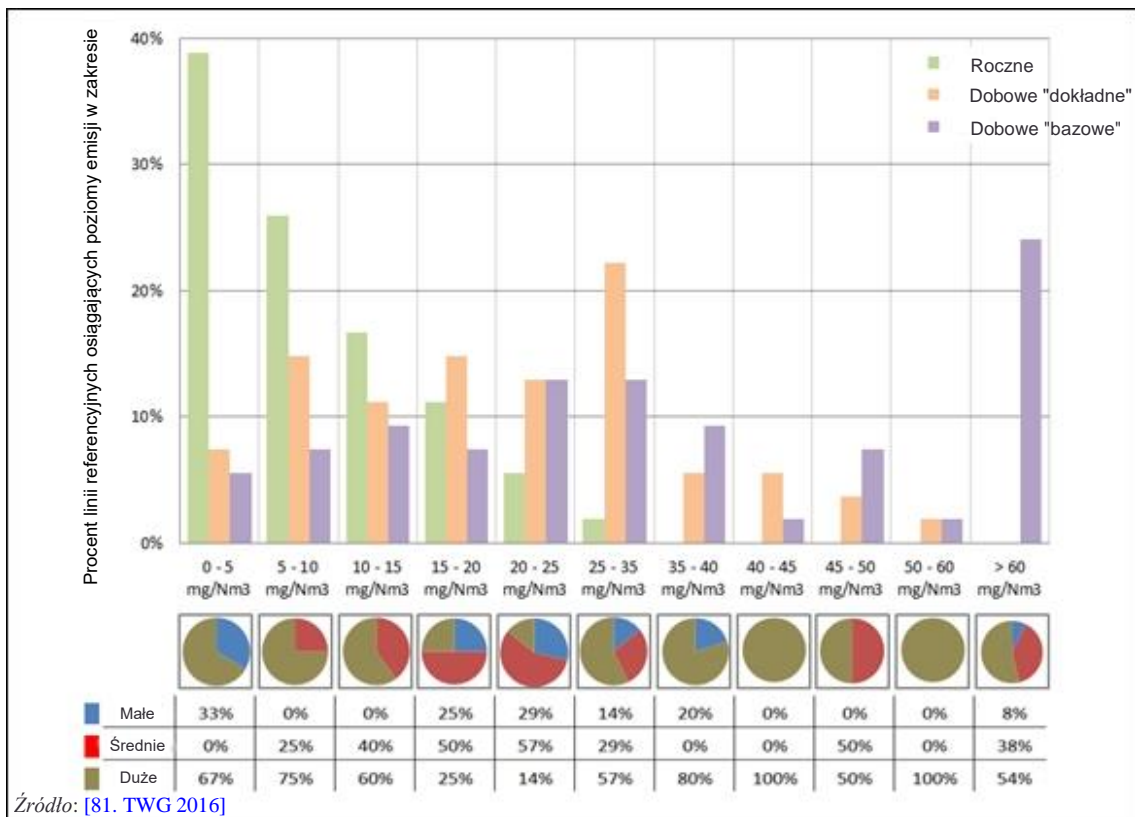
Dane dotyczące emisji CO, oparte na pomiarach ciągłych, przedstawiono na poniższych ilustracjach, w uproszczonej formie w ramach niniejszego rozdziału oraz szczegółowo w załączniku 8.6. Półgodzinne poziomy emisji przedstawiono w załączniku 8.7:

- Ilustracja 3.19, dla 199 linii referencyjnych spalających głównie MSW. Ze względu na dużą liczbę reprezentowanych punktów danych, odpowiadające im wykresy szczegółowe podzielono na trzy grupy zapewniając większą czytelność. Są to ilustracje 8.28, 8.29 oraz 8.30 dla dobowych i rocznych poziomów emisji oraz ilustracje 8.78, 8.79 i 8.80 dla półgodzinnych poziomów emisji.
- Rysunek 3.20, dla 54 linii referencyjnych spalających głównie ONHW. Odpowiednie wykresy szczegółowe to ilustracja 8.31 dla dobowych i rocznych poziomów emisji oraz ilustracja 8.81 dla półgodzinnych poziomów emisji.

Dla każdego zakresu koncentracji emisji reprezentowanego na osi poziomej, wykresy kołowe poniżej pokazują udział linii referencyjnych wśród tych które osiągają poziomy emisji w danym zakresie i które mieszczą się w różnych klasach wielkości (wartości progowe dla małych, średnich i dużych zakładów opisano na wstępie rozdziału 3).



Ilustracja 3.19 Ciągły monitoring emisji CO do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW



Ilustracja 3.20 Ciągły monitoring emisji CO do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie ONHW

Poziomy emisji wynoszą od 0.5 mg/Nm³ do 31 mg/Nm³ jako średnia roczna oraz od 4 mg/Nm³ do 53 mg/Nm³ jako maksymalna średnia dobowa, z wyjątkiem dwóch obiektów wykazujących nieznacznie niższe poziomy emisji i jednego obiektu wykazującego poziom 81 mg/Nm³ jako maksymalna średnia dobowa ("dokładne" filtrowanie danych). Podobnie jak w przypadku emisji TVOC, różnica pomiędzy maksymalną średnią dobową a średnią roczną jest najczęściej znaczna, co odzwierciedla zmienność emisji CO w przypadku gdy warunki spalania w piecu nie są stabilne, np. przy rozruchu i wyłączaniu. Odzwierciedlają to również duże różnice pomiędzy maksymalnymi średnimi dobowymi uzyskanymi przy zastosowaniu filtrowania danych "bazowego" oraz "dokładnego".

Zgłoszone dane nie wskazują na wyraźną korelację pomiędzy osiągniętymi poziomami emisji a zastosowaną techniką, wiekiem i wielkością zakładu czy rodzajem pieca.

Polichlorowane dibenzo-p-dioksyny i furany (PCDD/F), polichlorowany bifenyl (PCB, C₁₂H_{10-x}Cl_x) oraz wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (PAH, WWA)

Dla osiągnięcia niskich poziomów emisji PCDD/F ważne są zarówno zastosowane techniki podstawowe, jak i dodatkowe (uzupełniające). W systemie spalania efektywne mieszanie gazów (wysoka turbulencja) poprawia niszczenie PCDD/F oraz podobnych związków obecnych w odpadach. Unikanie zakresu temperatur rekombinacji PCDD/F i podobnych związków w kotle a także w systemie oczyszczania spalin pozwala na uniknięcie syntezy *de novo* PCDD/F.

Celem dodatkowej redukcji stosowane są cztery główne rodzaje technik:

1. Filtr z węglem aktywnym i złożem ruchomym lub stałym.
2. Wtrysk węgla aktywnego (samodzielnie lub zmieszanego z innymi odczynnikami) do usunięcia w odpylaczu.
3. Zniszczenie gazowego PCDD/F na katalizatorze, łącznie z użyciem katalitycznych filtrów workowych.
4. Adsorpcja PCDD/F w materiałach wypełniających wykonanych z materiału polimerowego impregnowanego węglem, w płuczkach gazowych mokrych lub w złożach stałych.

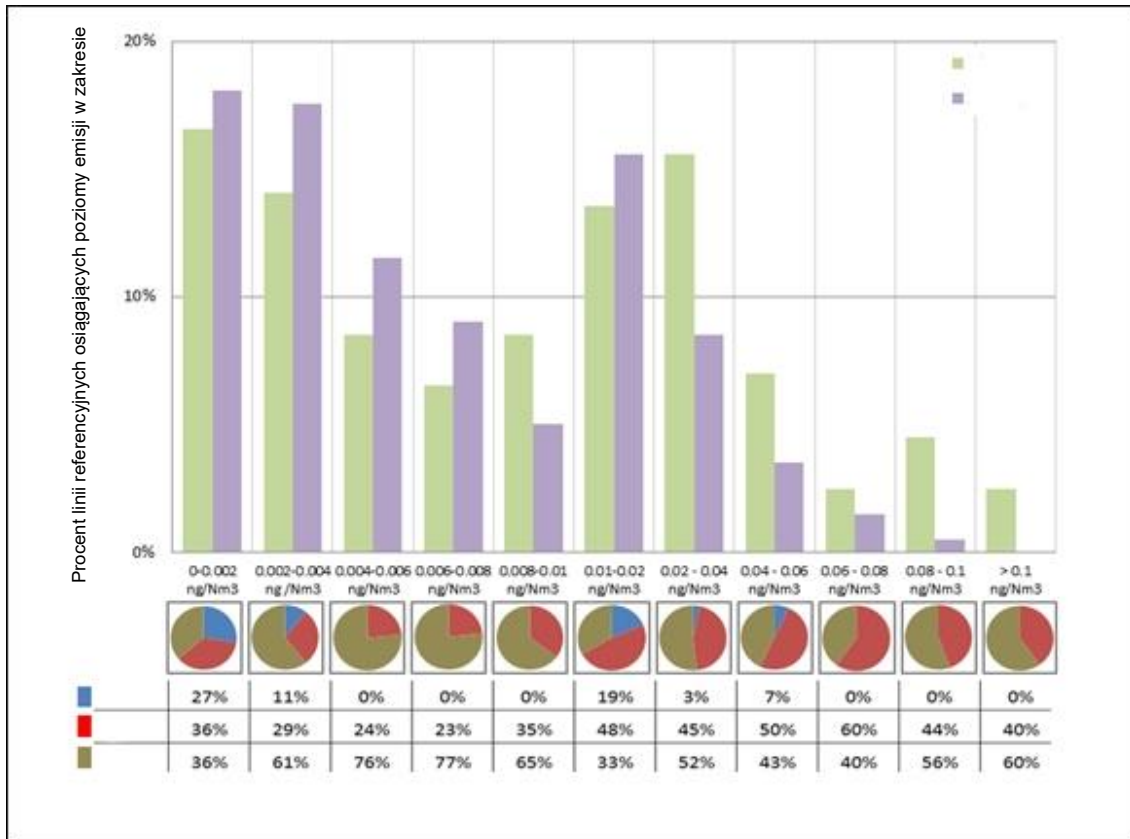
Zaletą stosowania węgla aktywnego jest również zmniejszenie emisji rtęci. Katalizatory stosowane są głównie do redukcji emisji NO_x.

Dane dotyczące emisji PCDD/F opierają się na pomiarach okresowych i zostały przedstawione na poniższych ilustracjach, w uproszczonej formie w ramach niniejszego rozdziału oraz szczegółowo w załączniku 8.8:

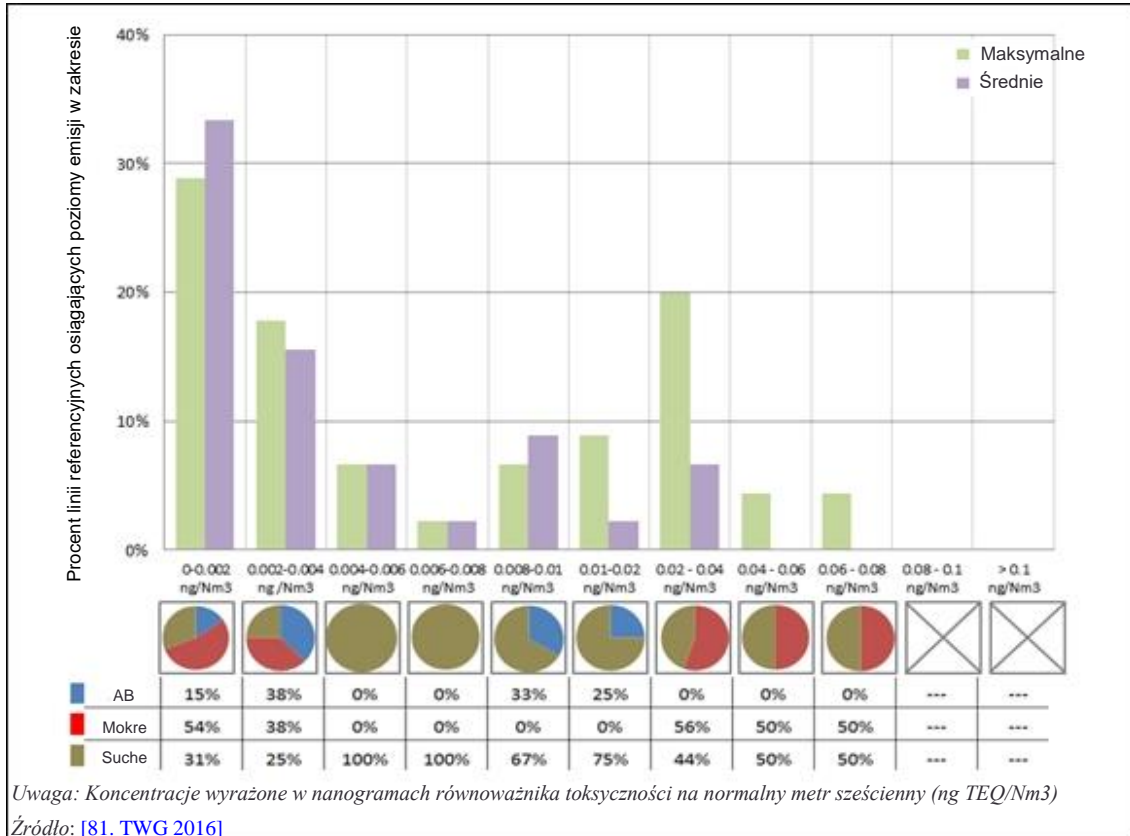
- Ilustracja 3.21, dla 199 linii referencyjnych spalających głównie MSW i monitorujących PCDD/F okresowo. Ze względu na dużą liczbę reprezentowanych punktów danych, odpowiadające im szczegółowe wykresy podzielono na trzy grupy zapewniając większą czytelność. Są to ilustracje 8.112, 8.113 oraz 8.114.
- Ilustracja 3.22, dla 45 linii referencyjnych spalających głównie ONHW i monitorujących PCDD/F okresowo. Odpowiedni szczegółowy wykres przedstawiono na ilustracji 8.115.

Dla każdego zakresu koncentracji emisji reprezentowanego na osi poziomej, wykresy kołowe poniżej pokazują udział linii referencyjnych wśród tych które osiągają poziomy emisji w danym zakresie i które: zostały wyposażone w stałe złożo adsorpcyjne; nie posiadają stałego złoża adsorpcyjnego oraz płuczki gazowej mokrej; nie posiadają stałego złoża adsorpcyjnego oraz suchych technik FGC.

Maksymalne
Średnie



Ilustracja 3.21 Okresowy monitoring emisji PCDD/F do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW



Ilustracja 3.22 Okresowy monitoring emisji PCDD/F do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie ONHW

Poziomy emisji wahają się od zbliżonych do granicy oznaczalności do 0.24 ng I-TEQ/Nm³, przy czym zdecydowana większość linii referencyjnych wykazuje poziomy poniżej 0.06 ng I-TEQ/Nm³. Wszystkie zakłady wyposażone w stałe złoża adsorpcyjne zgłosiły poziomy emisji poniżej 0.05 ng I-TEQ/Nm³.

Zgłoszone dane nie wskazują na wyraźną korelację pomiędzy osiągniętymi poziomami emisji a rodzajem i ilością stosowanego odczynnika, wiekiem i wielkością zakładu czy rodzajem pieca.

Opisane dotychczas dane odnoszące się do emisji PCDD/F dotyczą wyłącznie emisji mierzonych okresowo przy typowym (krótkoterminowym) czasie pobierania próbek 6-8 godzin. Wzrasta jednak również doświadczenie z długoterminowymi pomiarami emisji PCDD/F, z próbkowaniem o typowym okresie 2-4 tygodni.

Celem porównania poziomów emisji mierzonych z krótkoterminowym i długoterminowym pobieraniem próbek, w załączniku 8.9 przedstawiono i przeanalizowano dane dotyczące emisji przedstawione przez 142 linie referencyjne z Belgii i Francji, które przeprowadziły, w tym samym okresie, pomiary zarówno z długo-, jak i krótkoterminowym pobieraniem próbek.

Polichlorowane bifenyle (PCB) oraz wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (PAH) usuwane są tymi samymi technikami co PCDD/F, co oznacza, że skuteczny system oczyszczania spalin dla PCDD/F będzie również zajmował się PCB oraz PAH.

Dane dotyczące emisji dioksynopodobnych PCB, oparte na okresowych pomiarach, przedstawiono w załączniku 8.8 na niżej wymienionych ilustracjach:

- Ilustracja 8.116, dla 42 linii referencyjnych spalających głównie MSW;
- Ilustracja 8.117, dla 17 linii referencyjnych spalających głównie ONHW;
- Ilustracja 8.118 przedstawia razem emisje PCDD/F i dioksynopodobnych PCB w przypadkach, gdy obie grupy substancji zostały zmierzone w tej samej próbce, niezależnie od dominującego rodzaju spalanych odpadów.

Poziomy emisji są przeważnie niskie, niższe od poziomów PCDD/F. Istnieje jednak znaczna liczba zakładów zgłaszających znacznie wyższe poziomy emisji, do 3 ng WHO-TEQ dla MSW i do 56 ng WHO-TEQ dla ONHW. Te wysokie wartości są jednak prawdopodobnie nieprawidłowo zgłaszane (np. nie znormalizowane pod względem TEF).

Dane dotyczące emisji PAH i BaP opierają się na pomiarach okresowych i zostały przedstawione w załączniku 8.8 na następujących ilustracjach:

- Ilustracja 8.119, emisje PAH z 44 linii referencyjnych spalających głównie MSW;
- Ilustracja 8.120, emisje PAH z 13 linii referencyjnych spalających głównie ONHW;
- Ilustracja 8.121, emisje BaP z 48 linii referencyjnych spalających głównie MSW;
- Ilustracja 8.122, emisje BaP z 19 linii referencyjnych spalających głównie ONHW.

Poziomy emisji wynoszą od 0.01 ng/Nm³ do 50 g/Nm³ dla PAH oraz od 0.004 ng/Nm³ do 1 g/Nm³ dla BaP.

Rtęć (Hg)

Zdecydowana większość zakładów wykorzystuje węgiel aktywny, albo jako system ze stałym złożem albo w systemie wtrysku z przepływem. Szybkość zużycia, jak również jakość węgla aktywnego (np. bromowanego lub impregnowanego siarką) mają bezpośredni wpływ na poziom emisji. Inne, rzadziej stosowane techniki to stosowanie zeolitów lub wychwytywanie rtęci w kwaśnej płuczce mokrej, która może służyć jako pochłaniacz rtęci, jeśli jest ona obecna w postaci chlorku Hg(II). Rtęć, która zostanie przeniesiona ze strumienia gazu do płuczki, może być następnie usunięta przez oczyszczalnię ścieków.

Jeśli rtęć występuje w postaci metalicznej, konieczne jest zastosowanie środków utleniających, takich jak wtrysk bromowanego węgla aktywnego lub dodanie bromu w kotle (zob. techniki usuwania rtęci). [\[74. TWG 2004\]](#)

Pod pewnymi warunkami (np. wysoki poziom wsadu rtęci) limity wydajności usuwania przez systemy FGC mogą zostać przekroczone, co prowadzi do czasowo podwyższonych emisji rtęci. MSW zawierają zazwyczaj niewielkie ilości rtęci. Jednakże w przypadku przekroczenia pojemności bufora, lub zdolności reagowania systemu oczyszczania spalin na szczytowe wartości koncentracji rtęci, można zaobserwować pewne krótkoterminowe, wysokie uwolnienia. Są one zazwyczaj związane z obecnością w MSW baterii, przełączników elektrycznych, termometrów, odpadów laboratoryjnych itp. Może to być spowodowane przez sytuacje, w których poziomy wydajności linii referencyjnej dla różnych okresów uśredniania wykazują duże wahania.

Dane dotyczące emisji rtęci oparte na pomiarach ciągłych lub okresowych przedstawione zostały na poniższych ilustracjach, w uproszczonej formie w ramach niniejszego rozdziału oraz szczegółowo w załącznikach 8.6 i 8.8. Półgodzinne poziomy emisji przedstawiono w załączniku 8.7:

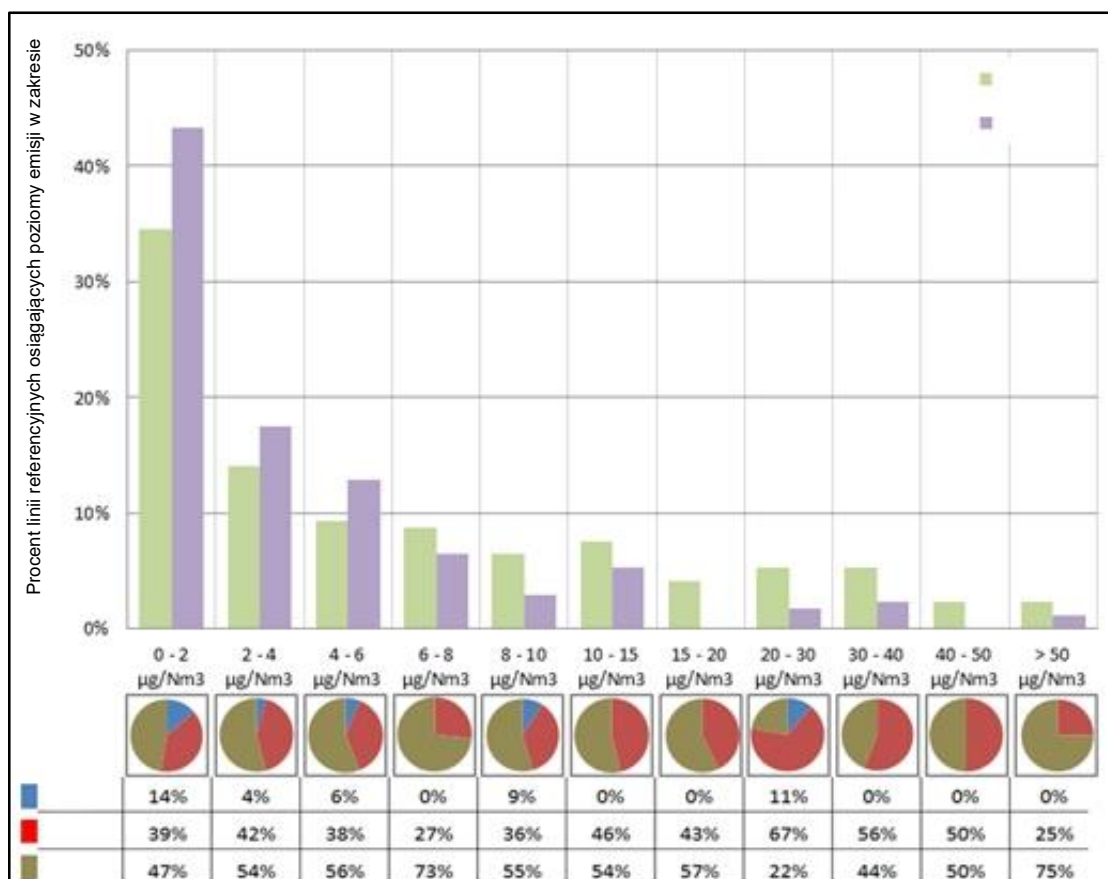
- Ilustracja 3.23, dla poziomów emisji 171 linii referencyjnych spalających głównie MSW i monitorujących Hg okresowo. Ze względu na dużą liczbę reprezentowanych punktów danych, odpowiadające im szczegółowe wykresy podzielono na trzy grupy zapewniając większą czytelność. Są to ilustracje 8.123, 8.124 oraz 8.125.
- Ilustracja 3.24, dla dobowych i rocznych poziomów emisji 53 linii referencyjnych spalających głównie MSW i monitorujących Hg w sposób ciągły. Odpowiedni szczegółowy wykres przedstawiono na ilustracji 8.32.
- Ilustracja 3.25, dla półgodzinnych poziomów emisji 53 linii referencyjnych spalających głównie MSW i monitorujących Hg w sposób ciągły. Odpowiedni szczegółowy wykres przedstawiono na ilustracji 8.82.
- Ilustracja 3.26, dla miesięcznych poziomów emisji 53 linii referencyjnych spalających głównie MSW i monitorujących Hg w sposób ciągły. Odpowiedni szczegółowy wykres przedstawiono na ilustracji 8.84.
- Ilustracja 3.27, dla poziomów emisji 35 linii referencyjnych spalających głównie ONHW i monitorujących Hg okresowo. Odpowiedni szczegółowy wykres przedstawiono na ilustracji 8.126.
- Ilustracja 3.28, dla dobowych i rocznych poziomów emisji 19 linii referencyjnych spalających głównie ONHW i monitorujących Hg w sposób ciągły. Odpowiedni szczegółowy wykres przedstawiono na ilustracji 8.83.
- Ilustracja 3.29, dla półgodzinnych poziomów emisji 19 linii referencyjnych spalających głównie ONHW i monitorujących Hg w sposób ciągły. Odpowiedni szczegółowy wykres przedstawiono na ilustracji 8.85.
- Ilustracja 3.30, dla miesięcznych poziomów emisji 19 linii referencyjnych spalających głównie ONHW i monitorujących Hg w sposób ciągły. Odpowiedni szczegółowy wykres przedstawiono na ilustracji 8.33.

Dla każdego zakresu koncentracji emisji reprezentowanego na osi poziomej, wykresy kołowe poniżej pokazują udział linii referencyjnych wśród tych które osiągają poziomy emisji w danym zakresie i które: zostały wyposażone w stałe złoża adsorpcyjne; nie posiadają stałego złoża adsorpcyjnego oraz płuczki gazowej mokrej; nie posiadają stałego złoża adsorpcyjnego oraz suchych technik FGC.

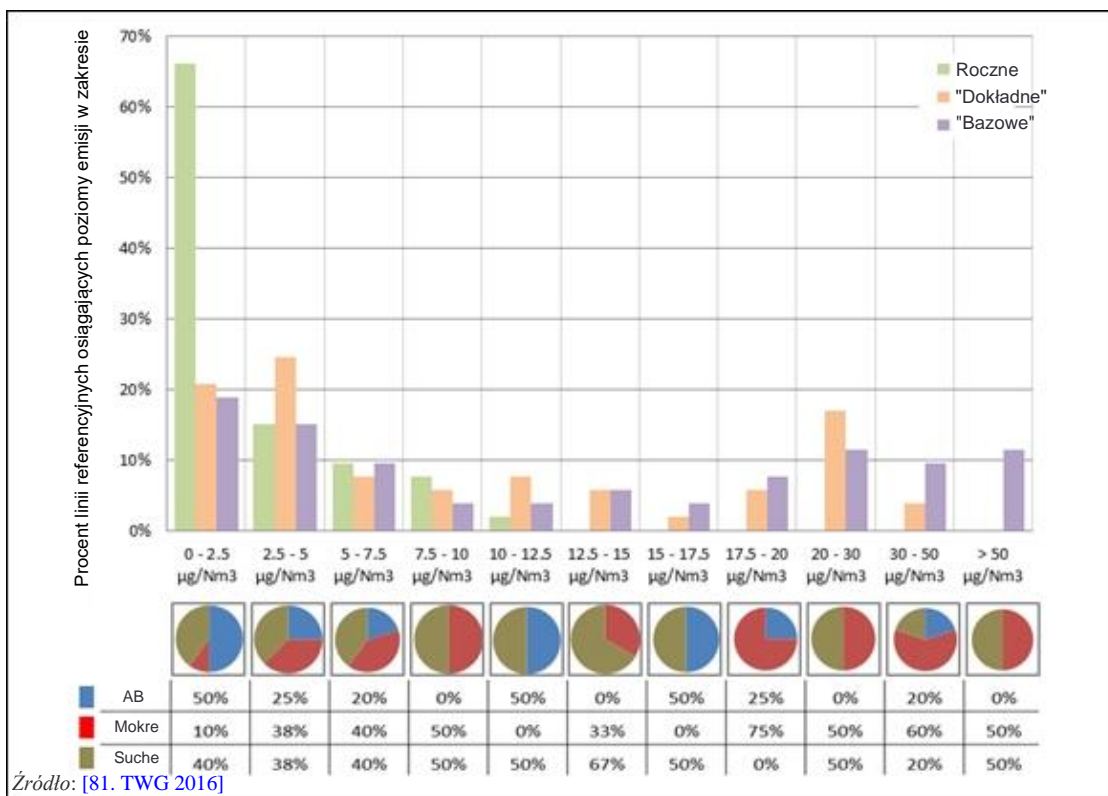
Poziomy miesięczne przedstawione na ilustracjach 3.26 i 3.30 opierają się na danych z ciągłego monitoringu i dostarczają informacji o poziomach emisji osiągniętych podczas pomiarów rtęci z okresem uśredniania typowym dla długoterminowych metod pobierania próbek. Poziomy miesięczne, na które w niewielkim stopniu wpływają szczyty (piki) krótkoterminowe, przedstawione zostały jedynie z zastosowaniem filtra "bazowego".

Maksymalne

Średnie

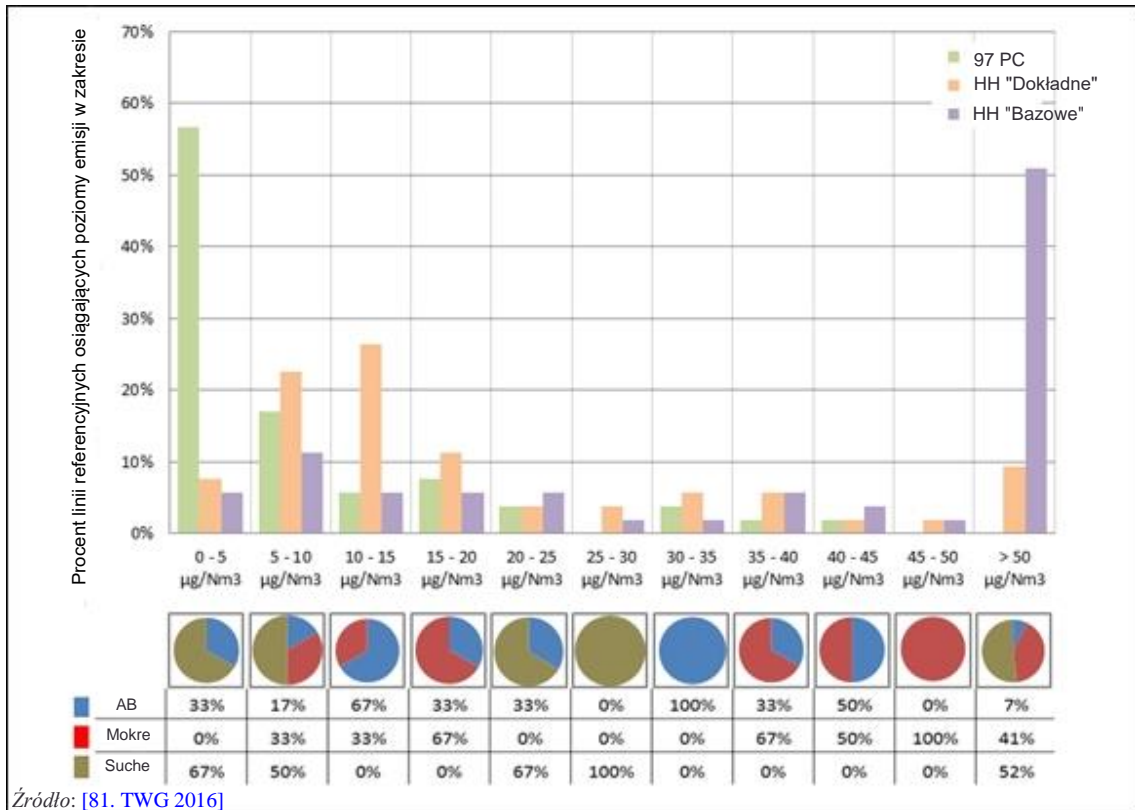


Ilustracja 3.23 Okresowy monitoring emisji Hg do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW



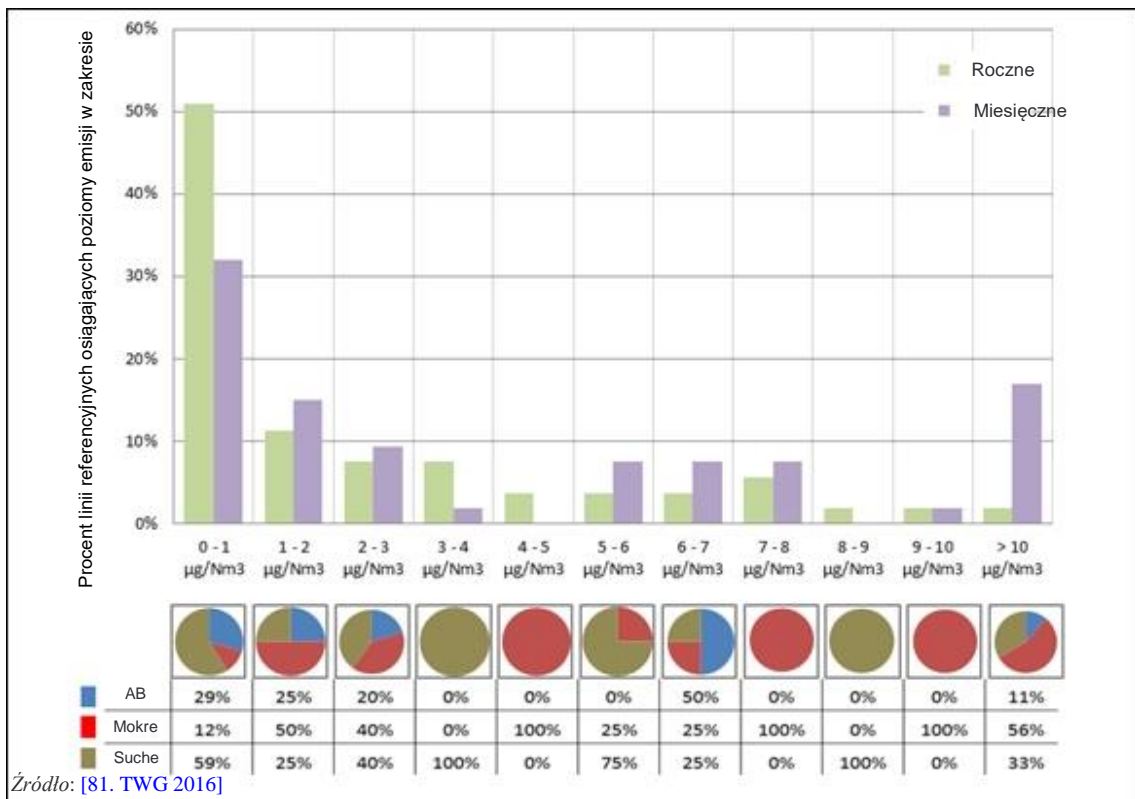
Źródło: [81. TWG 2016]

Ilustracja 3.24 Stały monitoring emisji Hg do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW - dobowe oraz roczne poziomy emisji



Źródło: [81. TWG 2016]

Ilustracja 3.25 Ciągły monitoring emisji Hg do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW - półgodzinne poziomy emisji

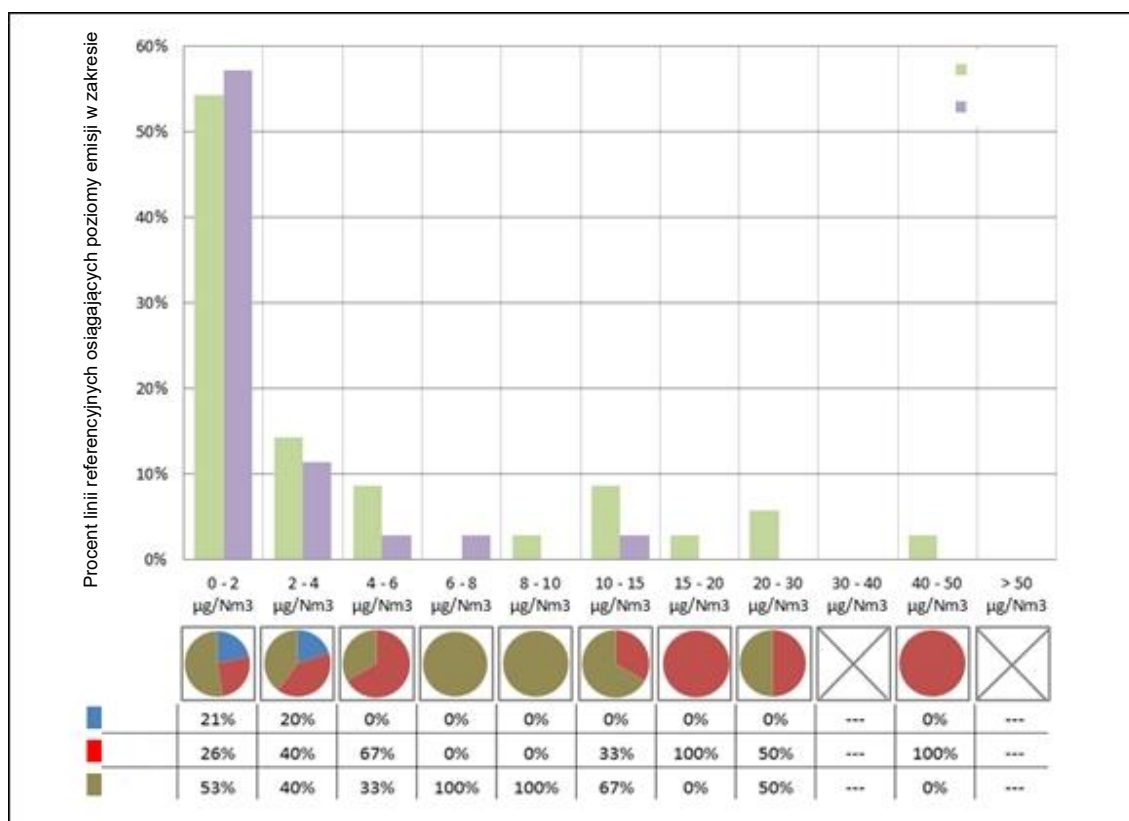


Źródło: [81. TWG 2016]

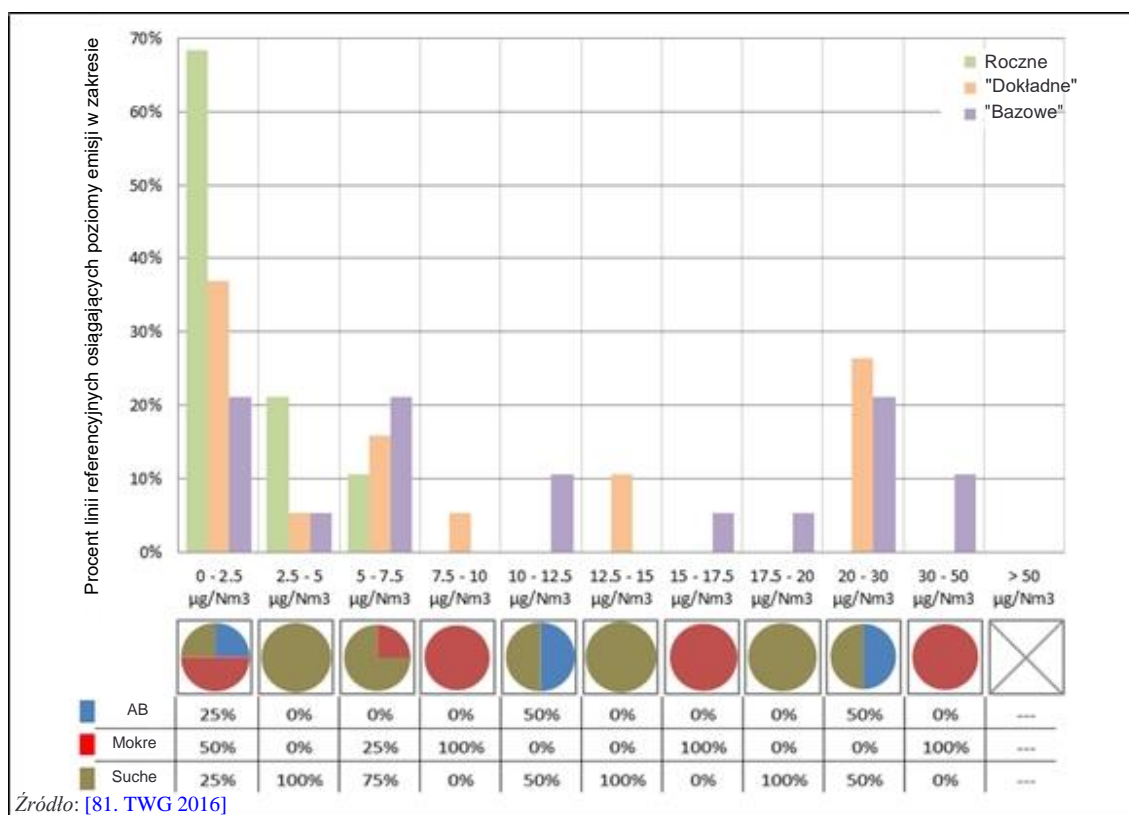
Ilustracja 3.26 Ciągły monitoring emisji Hg do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW - miesięczne poziomy emisji

Maksymalne

Średnie

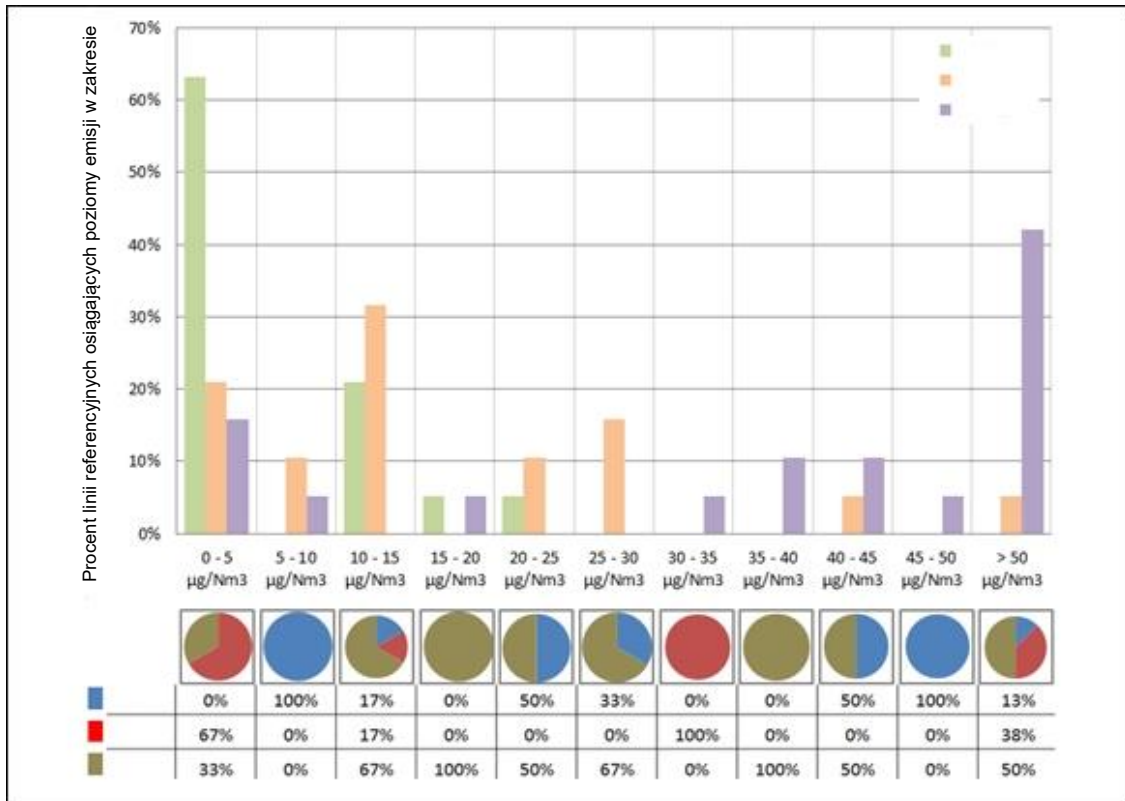


Ilustracja 3.27 Okresowy monitoring emisji Hg do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie ONHW

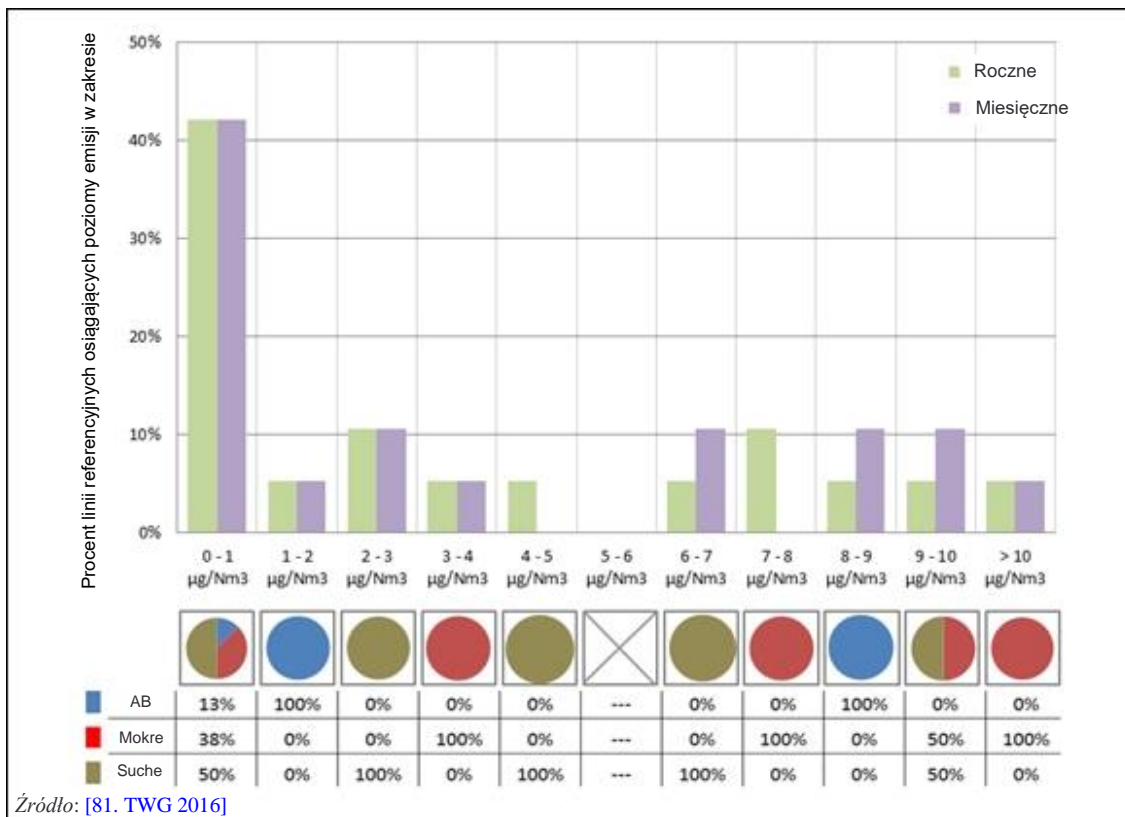


Źródło: [81. TWG 2016]

Ilustracja 3.28 Ciągły monitoring emisji Hg do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie ONHW – dobowe oraz roczne poziomy emisji



Ilustracja 3.29 Ciągły monitoring emisji Hg do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie ONHW - półgodzinne poziomy emisji



Źródło: [81. TWG 2016]

Ilustracja 3.30 Ciągły monitoring emisji Hg do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie ONHW - miesięczne poziomy emisji

Poziomy emisji wahają się od wartości zbliżonej do granicy oznaczalności do 0.01 mg/Nm^3 jako średnia roczna, 0.018 mg/Nm^3 jako maksymalna średnia miesięczna oraz 0.036 mg/Nm^3 jako maksymalna średnia dobową (z zastosowaniem "dokładnego" filtra danych). W niektórych przypadkach maksymalna średnia dobową uzyskana przy filtrowaniu "bazowym" danych może być znacznie wyższa (do 0.09 mg/Nm^3), co może odzwierciedlać nie tylko "epizody" z wsadem odpadów o wysokiej zawartości rtęci, ale także sytuacje OTNOC, w których średnia dobową obejmuje zazwyczaj tylko kilka półgodzinnych okresów i w których mierzone poziomy rtęci są podwyższone. Zakłady dokonujące okresowych pomiarów rtęci zgłaszają średnie w okresie pobierania próbek zazwyczaj poniżej 0.025 mg/Nm^3 , z kilkoma wyjątkami, które obejmują zakłady zgłaszające brak stosowania odczynników celem kontroli emisji rtęci.

Obiekty wyposażone w stałe złoża adsorpcyjne zgłaszają na ogół poziomy emisji, które są stabilne przy maksymalnych średnich dobowych oraz względnie niewrażliwe na filtrowanie danych, głównie poniżej 0.01 mg/Nm^3 , i we wszystkich przypadkach poniżej 0.025 mg/Nm^3 . Poziomy te są również utrzymywane jako średnie w okresie pobierania próbek, zgłaszanych przez zakłady dokonujące okresowych pomiarów rtęci.

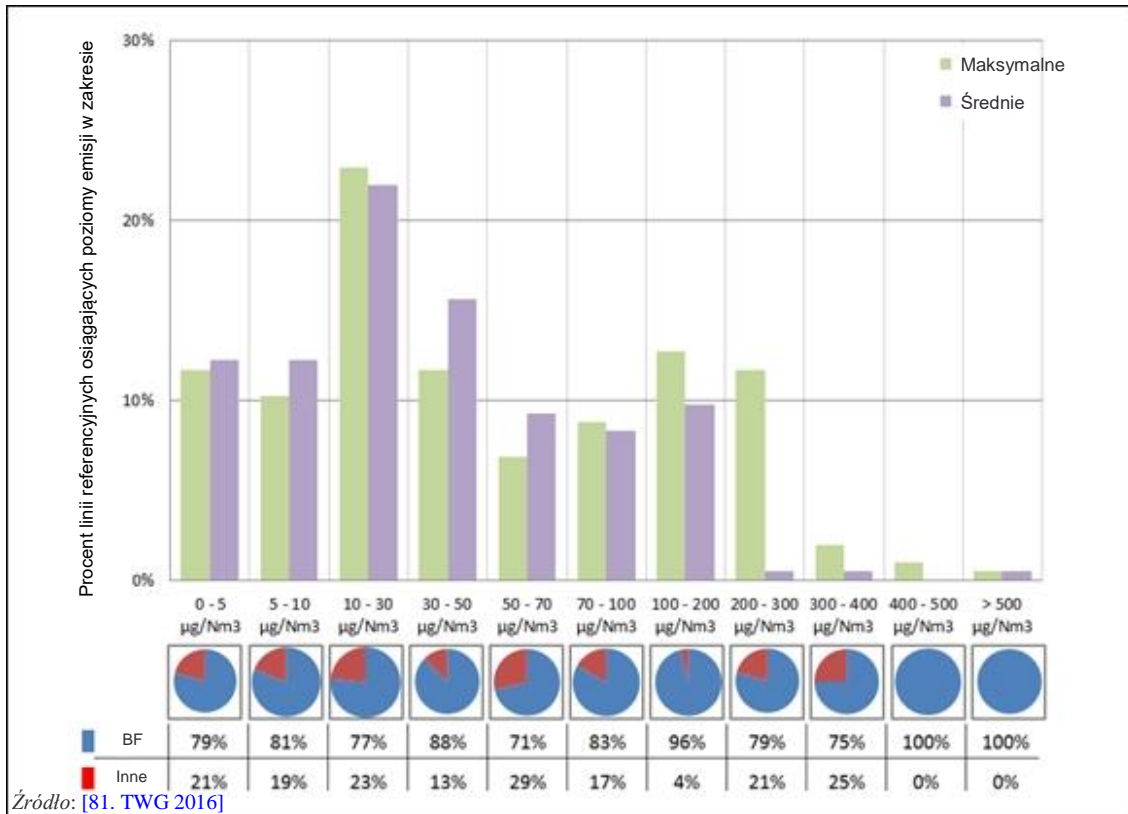
Zgłoszone dane nie wskazują na wyraźną korelację pomiędzy osiągniętymi poziomami emisji a rodzajem i ilością stosowanego odczynnika, wiekiem i wielkością zakładu czy rodzajem pieca.

Antymon (Sb), arsen (As), chrom (Cr), kobalt (Co), miedź (Cu), ołów (Pb), mangan (Mn), nikiel (Ni) oraz wanad (V)

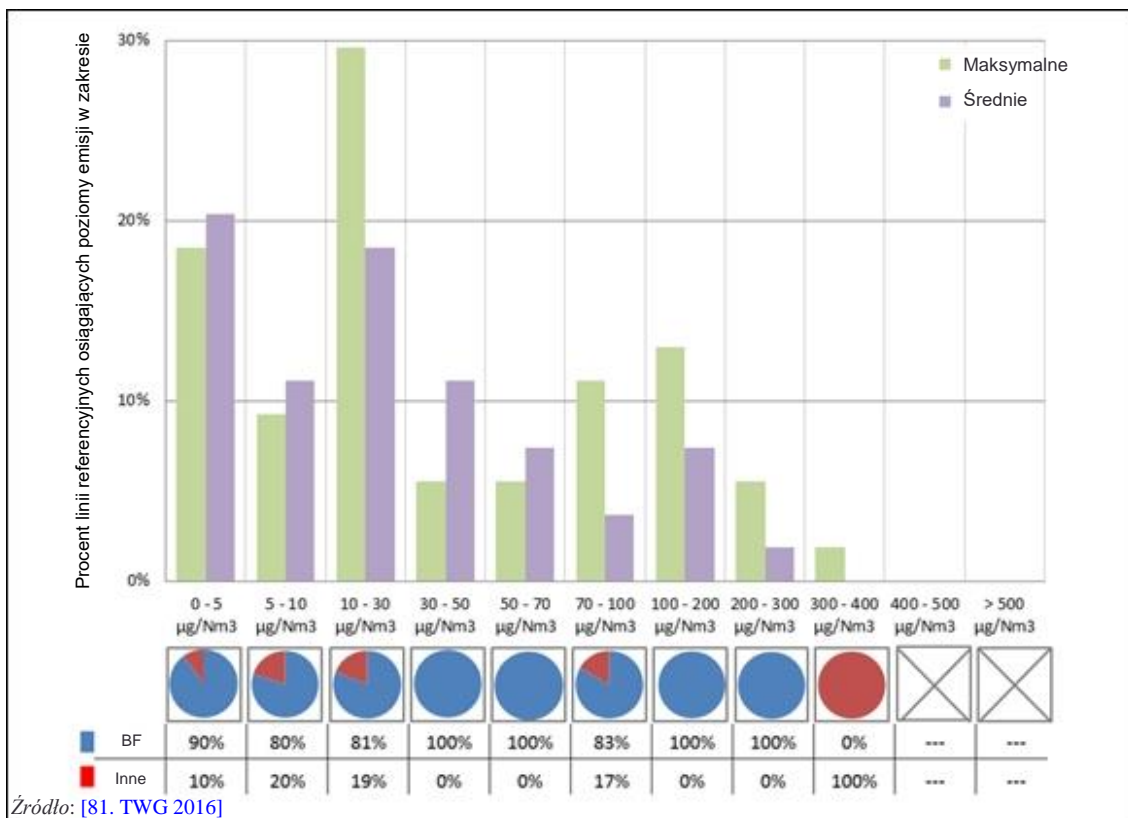
Techniki stosowane do usuwania pyłu są również głównymi metodami ograniczania emisji metali zawartych w pyłe. Dane dotyczące emisji $[\text{Sb}+\text{As}+\text{Cr}+\text{Co}+\text{Cu}+\text{Pb}+\text{Mn}+\text{Ni}+\text{V}]$ oparte są na pomiarach okresowych i przedstawione zostały na poniższych ilustracjach, w uproszczonej formie w ramach niniejszego rozdziału oraz szczegółowo w załączniku 8.8:

- Ilustracja 3.31, dla 205 linii referencyjnych spalających głównie MSW i monitorujących emisje $\text{Sb}+\text{As}+\text{Cr}+\text{Co}+\text{Cu}+\text{Pb}+\text{Mn}+\text{Ni}+\text{V}$ w sposób okresowy. Ze względu na dużą liczbę reprezentowanych punktów danych, odpowiadający im szczegółowy wykres podzielony został na trzy grupy zapewniając większą czytelność. Są to ilustracje 8.127, 8.128 oraz 8.129.
- Ilustracja 3.32, dla 54 linii referencyjnych spalających głównie ONHW i monitorujących emisje $\text{Sb}+\text{As}+\text{Cr}+\text{Co}+\text{Cu}+\text{Pb}+\text{Mn}+\text{Ni}+\text{V}$ w sposób okresowy. Odpowiedni szczegółowy wykres przedstawiono na ilustracji 8.130.

Dla każdego zakresu koncentracji emisji reprezentowanego na osi poziomej wykresy kołowe poniżej pokazują udział linii referencyjnych wśród tych, które osiągają poziomy emisji w danym zakresie i które zostały wyposażone w filtr workowy oraz inne techniki (takie jak ESP).



Ilustracja 3.31 Okresowy monitoring emisji Sb+As+Cr+Co+Cu+Pb+Mn+Ni+V do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW



Ilustracja 3.32 Okresowy monitoring emisji Sb+As+Cr+Co+Cu+Pb+Mn+Ni+V do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie ONHW

Poziomy emisji wahają się pomiędzy wartością zbliżoną do granicy oznaczalności a 0.3 mg/Nm^3 , z wyjątkiem sześciu linii referencyjnych wykazujących poziomy pomiędzy 0.3 mg/Nm^3 a 0.5 mg/Nm^3 jako maksymalną wartość średnią w okresie pobierania próbek. Jedna linia referencyjna podała maksymalny poziom około 5 mg/Nm^3 .

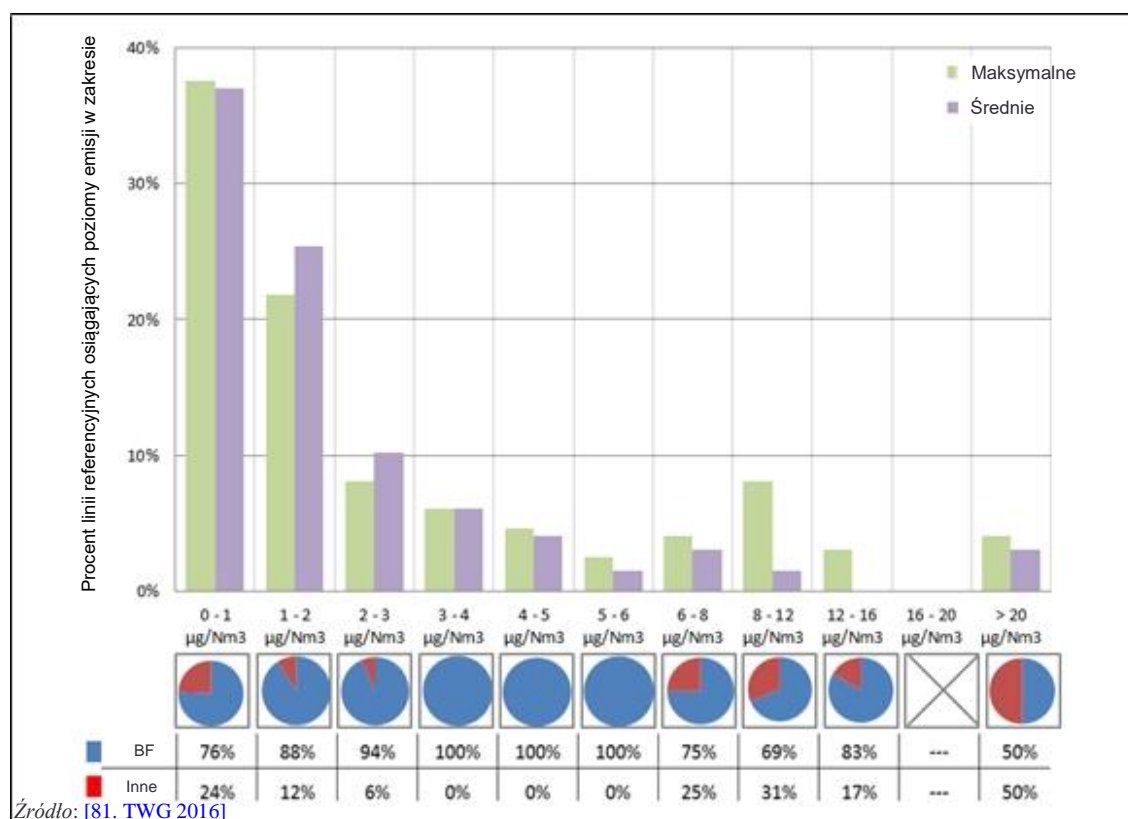
Zgłoszone dane nie wskazują na wyraźną korelację pomiędzy osiągniętymi poziomami emisji a zastosowaną techniką, wiekiem i wielkością zakładu czy rodzajem pieca.

Kadm (Cd) oraz tal (Tl)

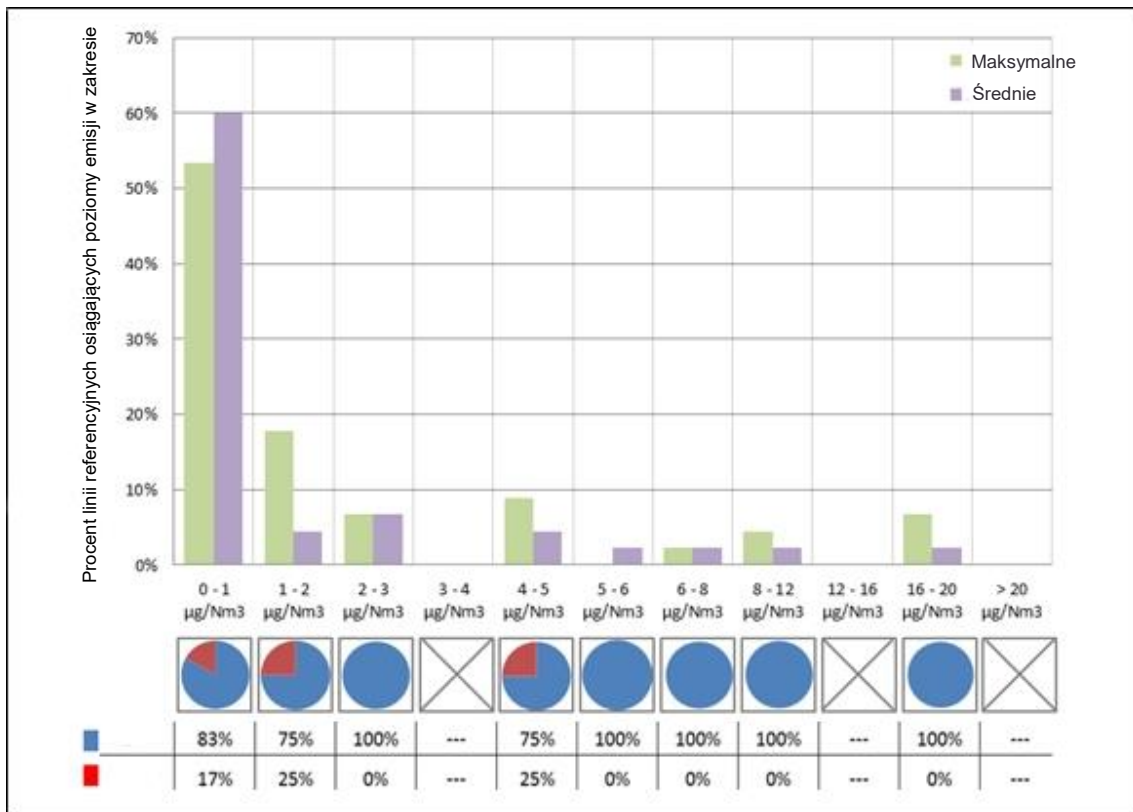
Metody stosowane do usuwania pyłu są również głównymi technikami zmniejszającymi emisję metali w nim zawartych. Dane dotyczące emisji [Cd+Tl] opierają się na pomiarach okresowych i zostały przedstawione na poniższych ilustracjach, w uproszczonej formie w ramach niniejszego rozdziału oraz szczegółowo w załączniku 8.8:

- Ilustracja 3.33, dla 197 linii referencyjnych spalających głównie MSW oraz monitorujących emisje Cd+Tl w sposób okresowy. Ze względu na dużą liczbę reprezentowanych punktów danych, odpowiadający im wykres szczegółowy został podzielony na trzy grupy zapewniając większą czytelność. Są to ilustracje 8.131, 8.132 oraz 8.133.
- Ilustracja 3.34, dla 45 linii referencyjnych spalających głównie ONHW oraz monitorujących emisje Cd+Tl w sposób okresowy. Odpowiedni wykres szczegółowy przedstawiono na ilustracji 8.134.

Dla każdego zakresu koncentracji emisji reprezentowanego na osi poziomej wykresy kołowe poniżej pokazują udział linii referencyjnych wśród tych, które osiągają poziomy emisji w danym zakresie i które zostały wyposażone w filtr workowy oraz inne techniki (takie jak ESP).



Ilustracja 3.33 Okresowy monitoring emisji Cd+Tl do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW



Ilustracja 3.34 Okresowy monitoring emisji Cd+Tl do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie ONHW

Poziomy emisji są prawie zawsze bardzo niskie i wahają się pomiędzy wartością zbliżoną do granicy oznaczalności a 0.02 mg/Nm^3 , z wyjątkiem sześciu linii referencyjnych wykazujących poziomy pomiędzy 0.02 mg/Nm^3 a 0.1 mg/Nm^3 jako maksymalną wartość średnią w okresie pobierania próbek. Jedna linia referencyjna podała maksymalny poziom powyżej 1 mg/Nm^3 .

Zgłoszone dane nie wskazują na wyraźną korelację pomiędzy osiągniętymi poziomami emisji a zastosowaną techniką, wiekiem i wielkością zakładu czy rodzajem pieca.

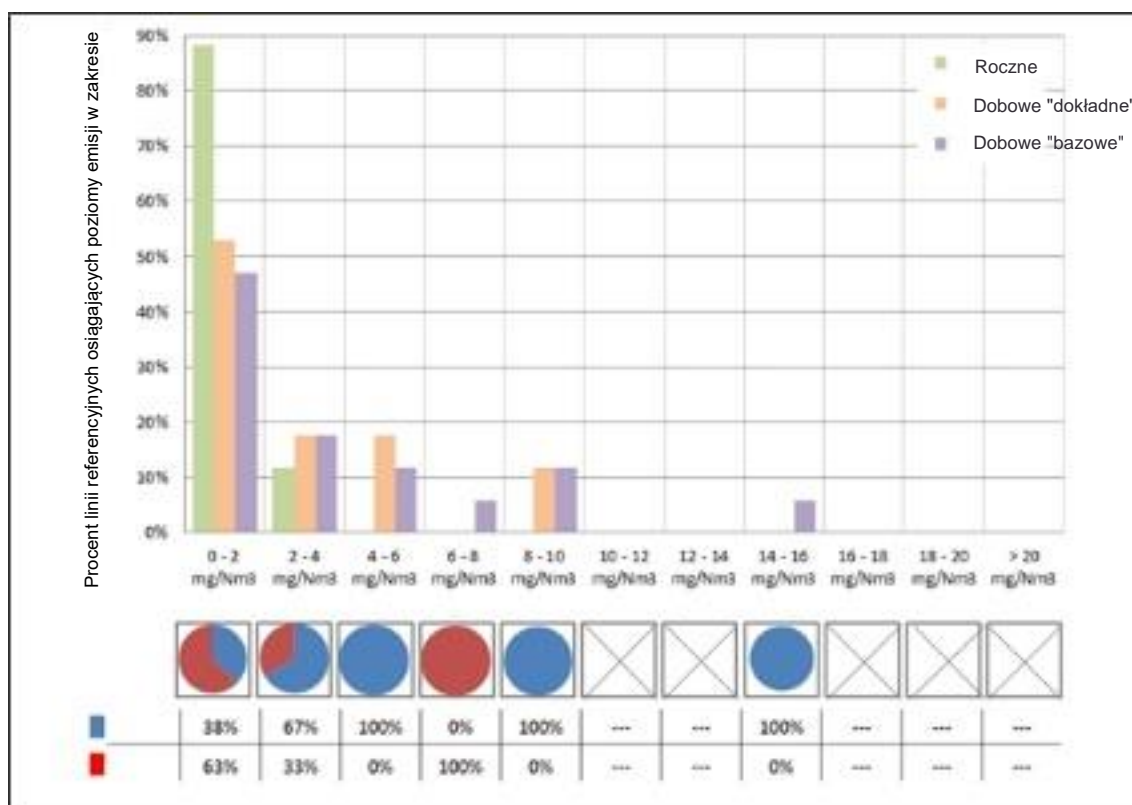
3.2.2.2 Emisje do powietrza pochodzące ze spalania osadów ściekowych

Chlorowódor (HCl, kwas solny) oraz fluorowódor (HF)

Spalarnie osadów ściekowych (SS), które uczestniczyły w gromadzeniu danych za 2016 r., wyposażone są w systemy mokre lub suche. Żadna z nich nie zgłosiła stosowania systemów półmokrych lub półsuchych.

Dane dotyczące emisji HCl z 17 linii referencyjnych spalających głównie SS, w oparciu o pomiary ciągłe, przedstawiono w formie uproszczonej na ilustracji 3.35. Odpowiednie szczegółowe wykresy to ilustracja 8.34 w załączniku 8.6, dla dobowych i rocznych poziomów emisji, oraz ilustracja 8.86 w załączniku 8.7 dla półgodzinnych poziomów emisji.

Dla każdego zakresu koncentracji emisji reprezentowanego na osi poziomej wykresy kołowe poniżej pokazują udział linii referencyjnych wśród tych, które osiągają poziomy emisji w danym zakresie i które zostały wyposażone w płuczkę gazową mokrą oraz inne techniki (głównie DSI).



Ilustracja 3.35 Ciągły monitoring emisji HCl do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie SS

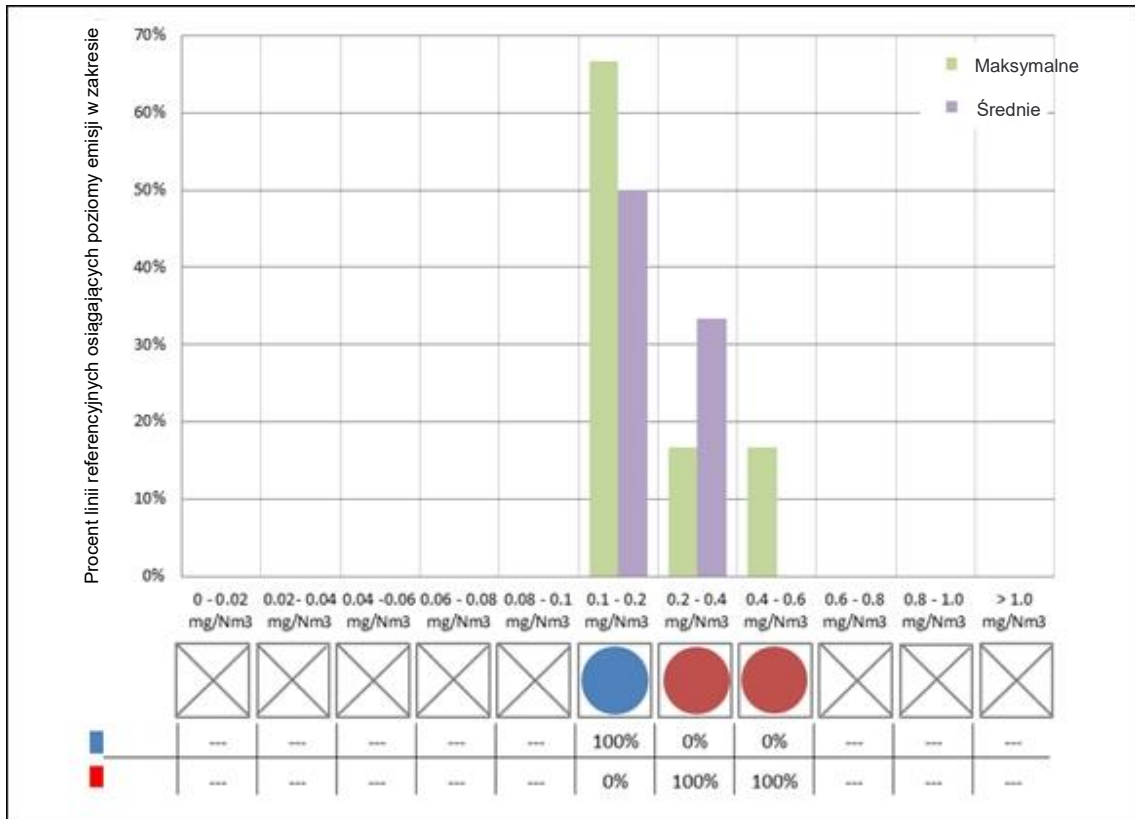
Poziomy emisji wahają się od wartości zbliżonej do granicy oznaczalności do 8 mg/Nm³ jako średnia roczna i 10 mg/Nm³ jako maksymalna średnia dobowa (z zastosowaniem "dokładnego" filtra danych). W większości przypadków maksymalna średnia dobowa uzyskana przy zastosowaniu "bazowego" filtrowania danych nie zmienia się znacząco w stosunku do wartości uzyskanej przy zastosowaniu filtrowania "dokładnego". Najbardziej znaczącym wyjątkiem jest obiekt DE87.2R, w którym maksymalna średnia dobowa wzrasta z 5.8 mg/Nm³ do 14.8 mg/Nm³ w dniu, w którym emisje zarejestrowane przy rozruchu są znacznie wyższe niż zwykle, a średnia dobowa obejmuje jedynie ograniczoną liczbę okresów półgodzinnych.

Zgłoszone dane nie wskazują na wyraźną korelację pomiędzy osiągniętymi poziomami emisji a rodzajem i ilością stosowanego odczynnika lub wiekiem i wielkością zakładu. Wszystkie zakłady to spalarnie ze złożem fluidalnym.

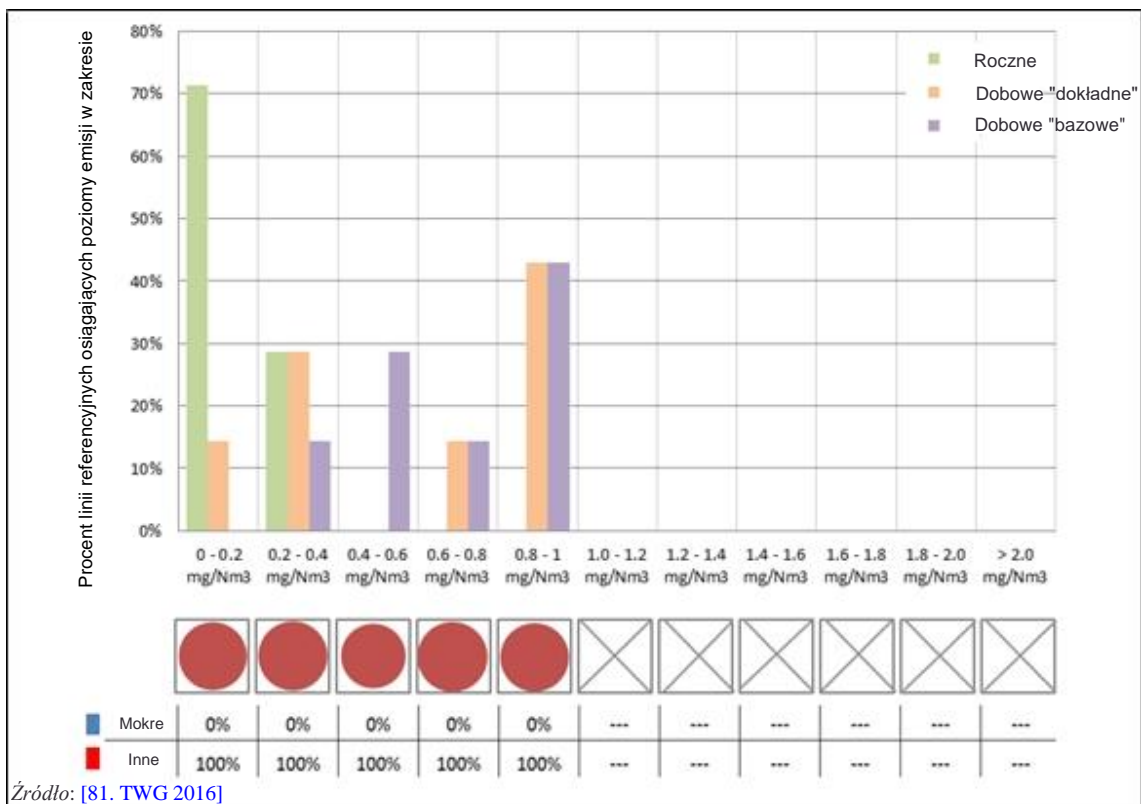
Dane dotyczące emisji fluorowodoru (HF) opierają się na pomiarach ciągłych lub okresowych i zostały przedstawione w uproszczonej formie w ramach niniejszego rozdziału oraz szczegółowo w załączniku 8.6 oraz 8.8. Półgodzinne poziomy emisji przedstawiono w załączniku 8.7:

- Ilustracja 3.36, dla 6 linii referencyjnych spalających głównie SS i monitorujących HF okresowo. Odpowiedni szczegółowy wykres przedstawiono na ilustracji 8.135.
- Ilustracja 3.37, dla 7 linii referencyjnych spalających głównie SS i monitorujących HF w sposób ciągły. Odpowiednie wykresy szczegółowe to ilustracja 8.35 dla dobowych i rocznych poziomów emisji oraz ilustracja 8.87 dla półgodzinnych poziomów emisji.

Dla każdego zakresu koncentracji emisji reprezentowanego na osi poziomej wykresy kołowe poniżej pokazują udział linii referencyjnych wśród tych, które osiągają poziomy emisji w danym zakresie i które zostały wyposażone w płuczkę gazową mokrą oraz inne techniki (głównie DSI).



Ilustracja 3.36 Okresowy monitoring emisji HF do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie SS



Źródło: [81. TWG 2016]

Ilustracja 3.37 Ciągły monitoring emisji HF do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie SS

Poziomy emisji wahają się od wartości zbliżonej do granicy oznaczalności do 0.3 mg/Nm^3 jako średnia roczna i 1.2 mg/Nm^3 jako maksymalna średnia dobową lub średnia w okresie pobierania próbek. Maksymalna średnia dobową uzyskana przy zastosowaniu "bazowego" filtrowania danych nie zmienia się znacząco w stosunku do wartości uzyskanej przy zastosowaniu filtrowania "dokładnego". Jeden obiekt wykazuje poziom emisji powyżej 1 mg/Nm^3 (1.2 mg/Nm^3 jako maksymalną średnią dobową), podczas gdy pozostałe obiekty wykazują maksymalne średnie dobowe poniżej 0.9 mg/Nm^3 .

Zakłady monitorujące HF w sposób ciągły zostały najczęściej wyposażone w DSI oraz używają NaHCO_3 jako odczynnika, natomiast zakłady monitorujące HF okresowo zazwyczaj są wyposażone w DSI lub WS, a także stosują NaOH jako odczynnik.

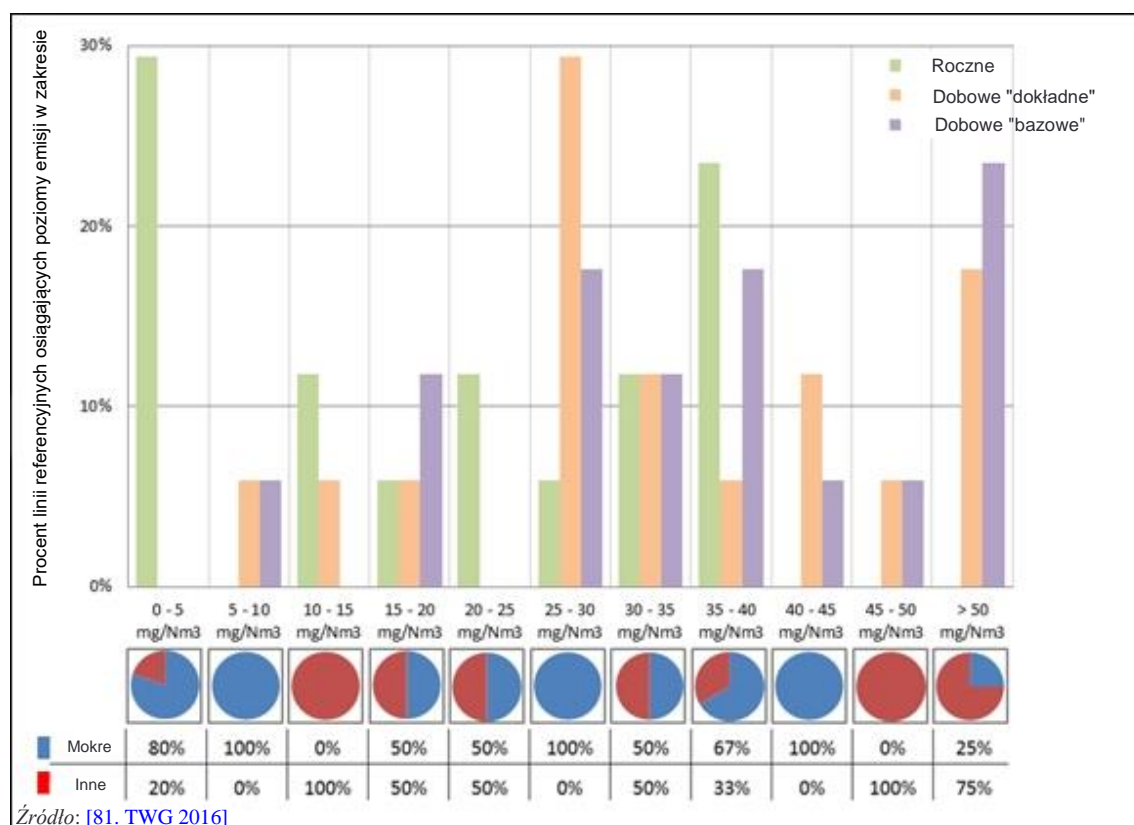
Zgłoszone dane nie wskazują na wyraźną korelację pomiędzy osiągniętymi poziomami emisji a wiekiem i wielkością zakładu. Wszystkie zakłady to spalarnie ze złożem fluidalnym.

Dwutlenek siarki (SO_2)

Rodzaje stosowanych systemów oczyszczania spalin są takie same jak w przypadku HCl , z tą głównie różnicą, że płuczki gazowe mokre działają przy lekko zasadowym pH (zazwyczaj 7-8).

Dane dotyczące emisji SO_2 z 17 linii referencyjnych spalających głównie SS, w oparciu o pomiary ciągłe, przedstawiono w formie uproszczonej na ilustracji 3.38. Odpowiednie szczegółowe wykresy to ilustracja 8.36 w załączniku 8.6 dla dobowych i rocznych poziomów emisji oraz ilustracja 8.88 w załączniku 8.7 dla półgodzicznych poziomów emisji.

Dla każdego zakresu koncentracji emisji reprezentowanego na osi poziomej wykresy kołowe poniżej pokazują udział linii referencyjnych wśród tych, które osiągają poziomy emisji w danym zakresie i które zostały wyposażone w płuczkę gazową moką oraz inne techniki (głównie DSI).



Ilustracja 3.38 Ciągły monitoring emisji SO_2 do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie SS

Poziomy emisji wahają się od wartości zbliżonej do granicy oznaczalności do 40 mg/Nm^3 jako średnia roczna i 72 mg/Nm^3 jako maksymalna średnia dobową.

Wykres pokazuje, że obiekty wyposażone w kombinację technik DSI i WS osiągają na ogół, jako maksymalną średnią dobową, poziomy emisji poniżej 30 mg/Nm³.

Zgłoszone dane nie wskazują na wyraźną korelację pomiędzy osiągniętymi poziomami emisji a rodzajem i ilością stosowanego odczynnika lub wiekiem i wielkością zakładu. Wszystkie zakłady to spalarnie ze złożem fluidalnym.

Pył

Spalarnie osadów ściekowych, które uczestniczyły w zbieraniu danych za rok 2016, wyposażone zostały, celem redukcji emisji pyłów, w filtr elektrostatyczny (ESP) albo w filtr workowy (BF).

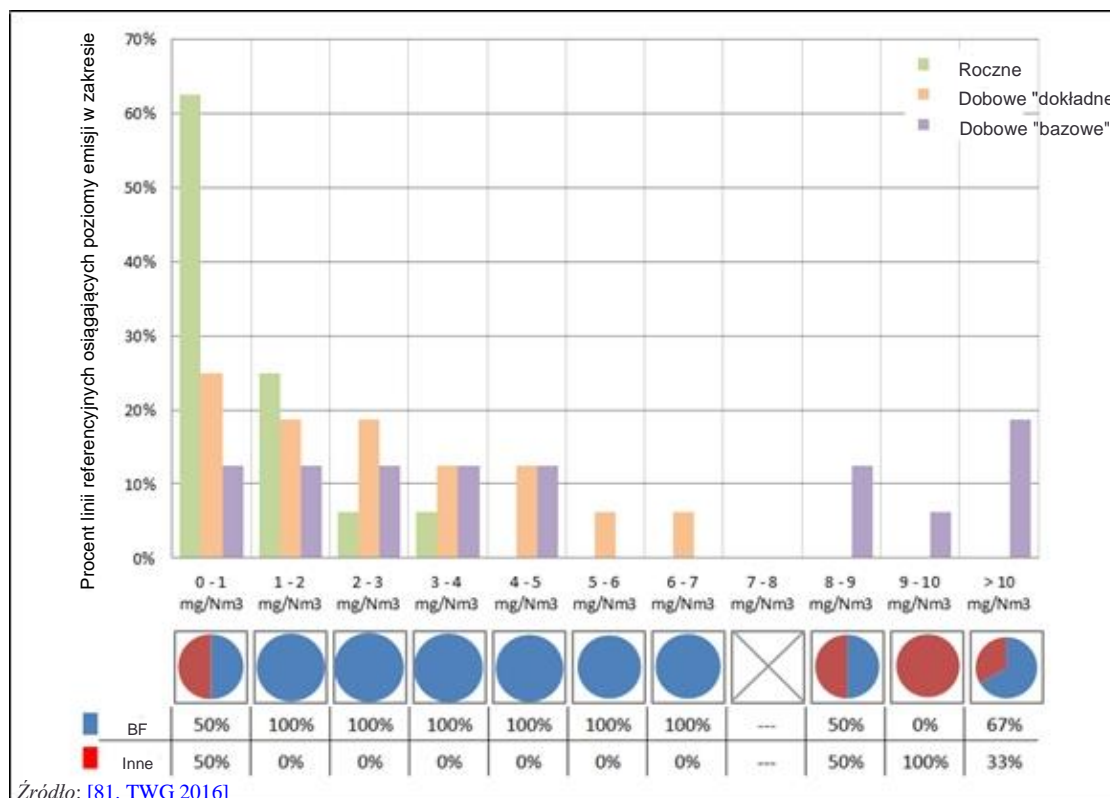
W kilku przypadkach obie techniki zostały połączone, np. filtr elektrostatyczny do wstępnego odpylania za kotłem z filtrem workowym przed kominem. Pozwala to na oddzielenie popiołu lotnego od pozostałości z FGC oraz odseparowanie recyklingu/usuwania. W niektórych zakładach stosuje się również do wstępnego odpylania cyklony lub multicyklony.

Do usuwania kurzu mogą się również przyczynić płuczki gazowe mokre i stałe złoża adsorpcyjne.

Wzajemne zależności pomiędzy różnymi częściami instalacji są często widoczne w ogólnej konstrukcji systemu oczyszczania spalin. Na przykład, w przypadku systemów suchych i półmokrych, filtry workowe działają również jako reaktor do usuwania gazów kwaśnych. Ponadto mogą one umożliwiać usuwanie PCDD/F i metali (w tym rtęci i kadmu), jeżeli stosowany jest odpowiedni odczynnik (np. węgiel aktywny).

Dane dotyczące emisji pyłu z 16 linii referencyjnych spalających głównie SS, w oparciu o pomiary ciągłe, przedstawiono w formie uproszczonej na ilustracji 3.39. Odpowiednie szczegółowe wykresy to ilustracja 8.37 w załączniku 8.6 dla dobowych i rocznych poziomów emisji oraz ilustracja 8.89 w załączniku 8.7 dla półgodzinnych poziomów emisji.

Dla każdego zakresu koncentracji emisji reprezentowanego na osi poziomej wykresy kołowe poniżej pokazują udział linii referencyjnych wśród tych, które osiągają poziomy emisji w danym zakresie i które zostały wyposażone w filtr workowy oraz inne techniki (np. ESP).



Ilustracja 3.39 Ciągły monitoring emisji pyłu do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie SS

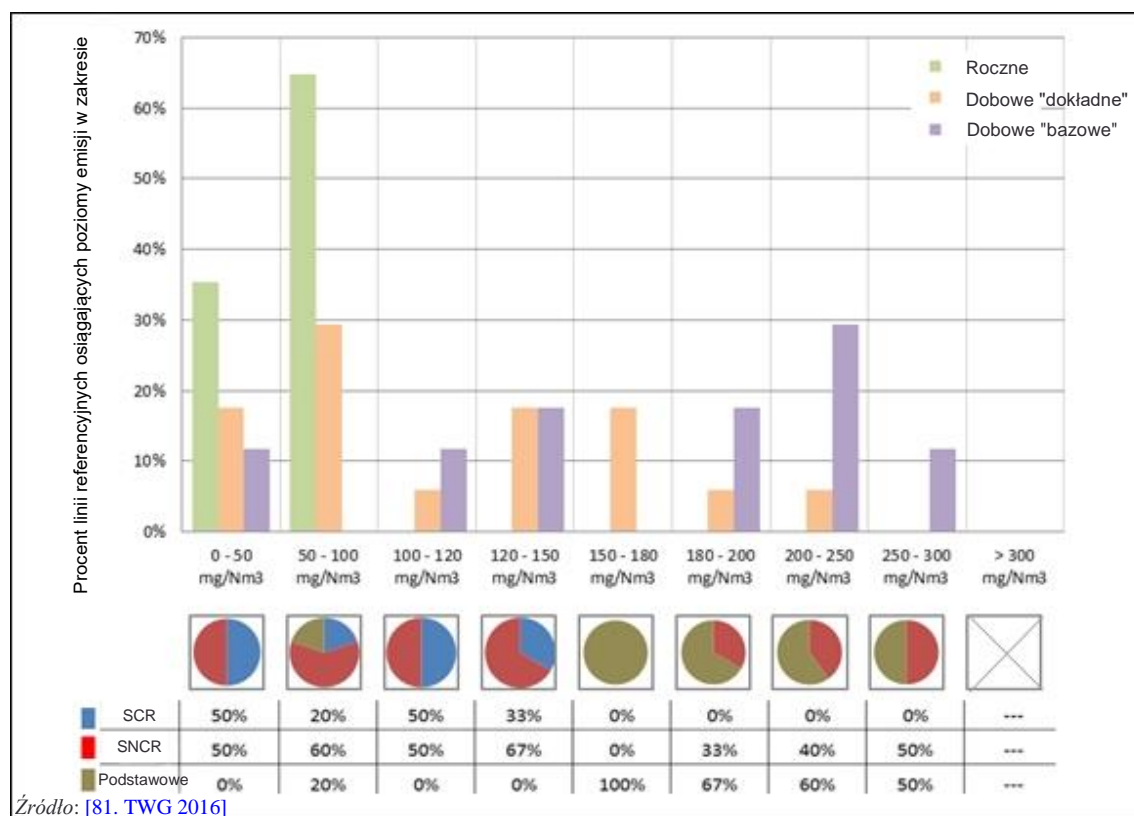
Poziomy emisji wahają się od wartości zbliżonej do granicy oznaczalności do 3.4 mg/Nm^3 jako średnia roczna i 6.2 mg/Nm^3 jako maksymalna średnia dobowa (przy zastosowaniu "dokładnej" filtracji danych). W niektórych przypadkach maksymalna średnia dobowa uzyskana przy zastosowaniu "bazowego" filtrowania danych może być znacznie wyższa, zwykle w odniesieniu do OTNOC. Wykres pokazuje, że wszystkie obiekty o maksymalnych średnich dobowych poziomach powyżej 3.7 mg/Nm^3 ("dokładna" filtracja danych) są małymi obiektami niedawno wybudowanymi, podczas gdy wszystkie obiekty średniej i dużej wielkości osiągają niższe poziomy. Wszystkie obiekty to spalarnie ze złożem fluidalnym.

Tlenki azotu (NO_x)

Proces spalania w złożu fluidalnym stosowany w spalarniach osadów ściekowych zapewnia niższy poziom NO_x niż w innych typach pieców. Około 60% spalarni osadów ściekowych, które uczestniczyły w gromadzeniu danych w 2016 r., stosuje SCR i/lub SNCR jako techniki dodatkowe do dalszej redukcji emisji NO_x .

Dane dotyczące emisji NO_x z 17 linii referencyjnych spalających głównie SS, oparte na pomiarach ciągłych, przedstawiono w formie uproszczonej na ilustracji 3.40. Odpowiednie szczegółowe wykresy to ilustracja 8.38 w załączniku 8.6 dla dobowych i rocznych poziomów emisji oraz ilustracja 8.90 w załączniku 8.7 dla półgodzicznych poziomów emisji.

Dla każdego zakresu koncentracji emisji reprezentowanego na osi poziomej wykresy kołowe poniżej pokazują udział linii referencyjnych wśród tych, które osiągają poziomy emisji w danym zakresie i które zostały wyposażone w: SCR; SNCR, ale nie w SCR; tylko w techniki podstawowe.



Ilustracja 3.40 Ciągły monitoring emisji NO_x do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie SS

Poziomy emisji wynoszą od 12 mg/Nm^3 do 223 mg/Nm^3 jako średnia roczna i od 20 mg/Nm^3 do 233 mg/Nm^3 jako maksymalna średnia dobowa (przy zastosowaniu "dokładnej" filtracji danych). Wartości powyżej 140 mg/Nm^3 obserwuje się w obiektach wyposażonych w SNCR lub bez żadnych dodatkowych technik redukcji NO_x .

W przypadku zakładów wyposażonych w SCR nie obserwuje się znaczącej różnicy pomiędzy maksymalną średnią dobową otrzymaną przy zastosowaniu "bazowej" filtracji danych a wartością otrzymaną w wyniku "dokładnej" filtracji danych. Natomiast w przypadku zakładów wyposażonych w SNCR lub nie stosujących technik dodatkowych różnica ta jest na ogół większa, co odzwierciedla niższą wewnętrzną stabilność procesu.

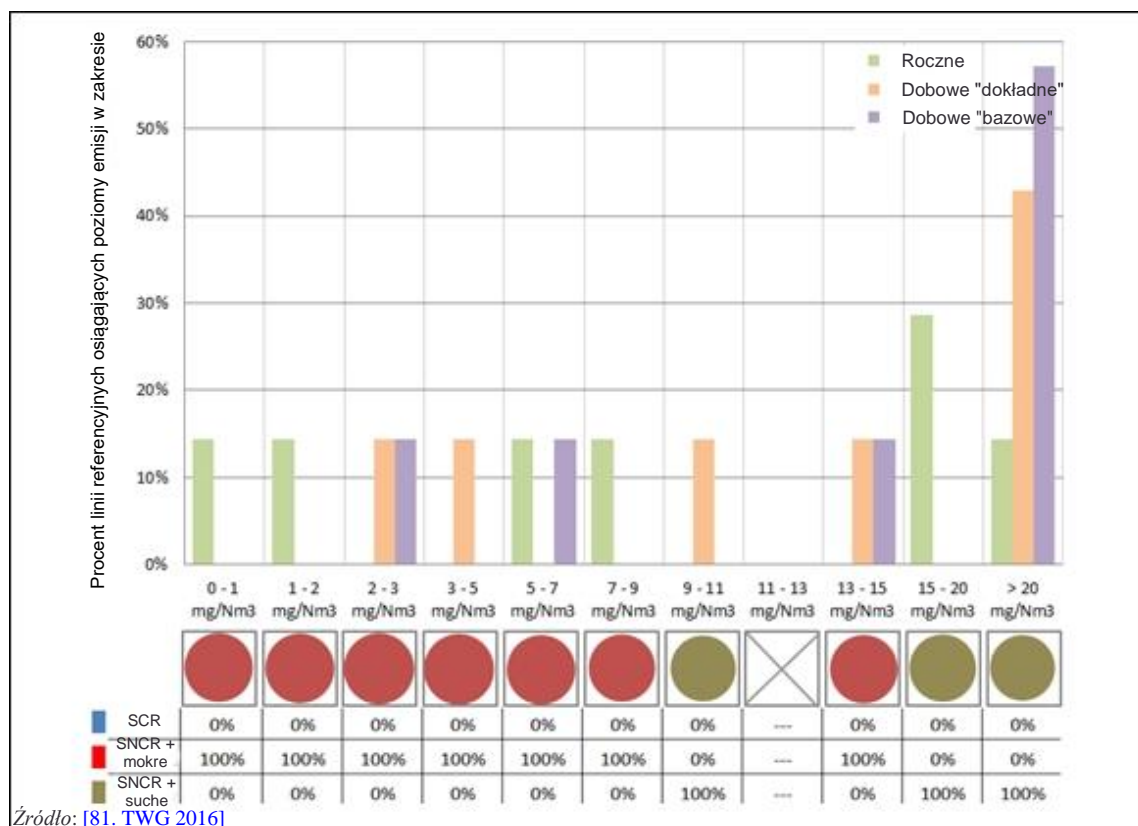
Zgłoszone dane nie wskazują na wyraźną korelację pomiędzy osiągniętymi poziomami emisji a rodzajem i ilością stosowanego odczynnika lub wiekiem i wielkością zakładu. Wszystkie zakłady to spalarnie ze złożem fluidalnym.

Amoniak (NH₃)

Emisja amoniaku związana jest z wydzielaniem się reagentów w procesie SCR lub SNCR. Główną techniką stosowaną do kontroli takich emisji jest optymalizacja procesu, jak również dobra konserwacja katalizatora w przypadku SCR. SCR może być również stosowany jako katalizator wydzielający celem dalszej reakcji nieprzereagowanego amoniaku, po dokonaniu głównej redukcji w systemie SNCR.

Dane dotyczące emisji amoniaku z zakładów spalających głównie SS, oparte na pomiarach ciągłych, dla 7 linii referencyjnych przedstawiono na ilustracji 3.41. Odpowiednie szczegółowe wykresy to ilustracja 8.39 w załączniku 8.6 dla dobowych i rocznych poziomów emisji, oraz ilustracja 8.91 w załączniku 8.7 dla półgodzicznych poziomów emisji.

Dla każdego zakresu koncentracji emisji reprezentowanego na osi poziomej wykresy kołowe poniżej pokazują udział linii referencyjnych wśród tych, które osiągają poziomy emisji w danym zakresie i które zostały wyposażone w: SCR; SNCR a następnie w płuczkę gazową mokrą; w SNCR a następnie w suche techniki (emisje z zakładów, które nie stosują dodatkowych technik de-NO_x nie mają znaczenia dla wydzielania się amoniaku).



Ilustracja 3.41 Ciągły monitoring emisji NH₃ do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie SS

Z wyjątkiem obiektu PL02, który został wyposażony w SNCR i zgłasza poziomy emisji NH_3 bliskie 90 mg/Nm^3 jako średnią roczną oraz 235 mg/Nm^3 jako maksymalną średnią dobową, poziomy emisji uzyskane przez obiekty monitorujące amoniak w sposób ciągły mieszczą się w przedziale od granicy oznaczalności do 19 mg/Nm^3 jako średnia roczna, oraz 47 mg/Nm^3 jako maksymalna średnia dobowa. Zakłady wyposażone w SNCR i płuczkę gazową moką osiągają zazwyczaj poziomy emisji poniżej 13.4 mg/Nm^3 . Żaden z zakładów wyposażonych w SCR nie monitoruje amoniaku w sposób ciągły. Oprócz zakładu PL02, w SNCR wyposażone zostały również linie referencyjne PL07.1 oraz PL07.2, które zgłaszają podwyższone poziomy emisji NH_3 (32 mg/Nm^3 i 46 mg/Nm^3 jako maksymalną średnią dobową). Jednocześnie obydwie wymienione linie referencyjne zgłaszają bardzo niskie poziomy emisji NO_x (11 mg/Nm^3 i 19 mg/Nm^3 jako średnią roczną). Tak wysokie poziomy emisji NH_3 zgłaszane są nie ze względu na nadmierny poziom wtrysku amoniaku (ucieczka amoniaku), lecz z powodu bezpośrednich emisji amoniaku następujących w wyniku spalania mokrych (tylko mechanicznie odwodnionych) osadów ściekowych w tych obiektach. Do emisji amoniaku przyczynia się również ilość amoniaku w powietrzu pobieranym z instalacji odwadniania osadów i wykorzystywanym jako powietrze do spalania.

Nie ma znaczącej różnicy pomiędzy maksymalnymi średnimi dobowymi uzyskanymi w trybie filtrowania danych "bazowym" a "dokładnym".

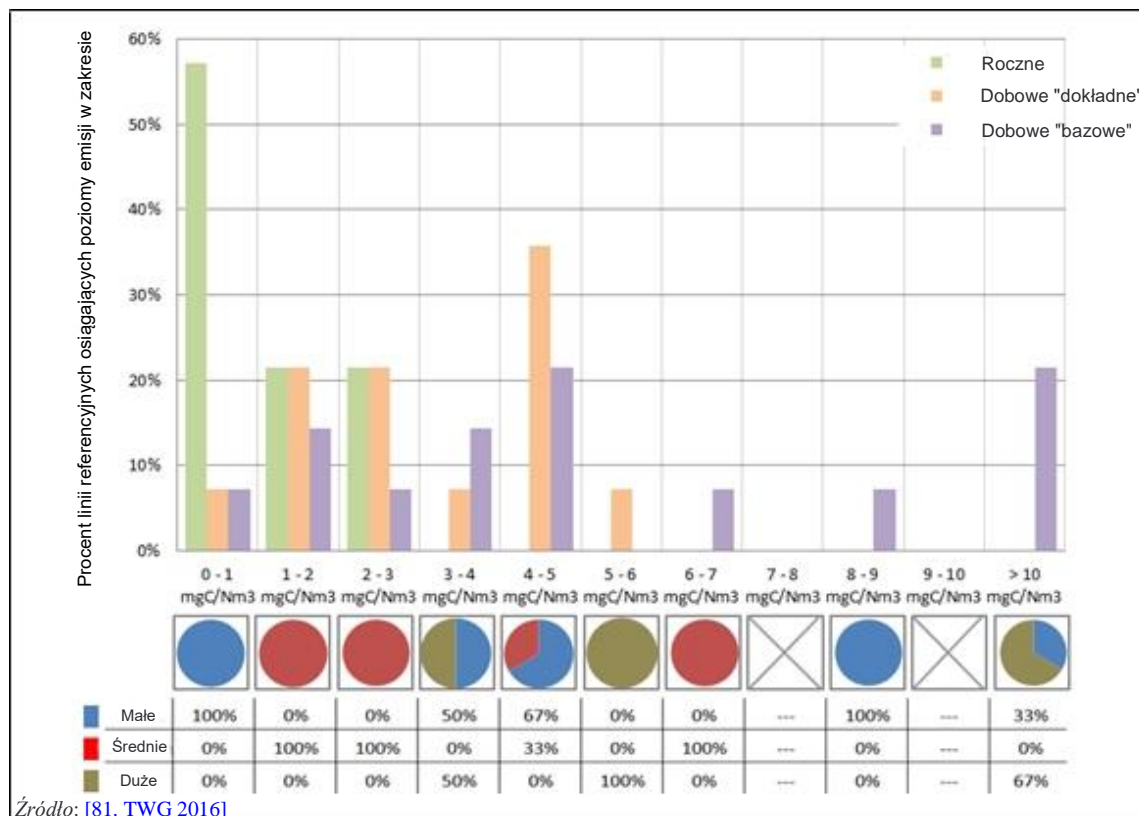
Tylko dwie linie referencyjne zgłosiły dane z okresowego monitorowania, przy czym zgłoszone maksymalne wielkości emisji wyniosły 0.1 mg/Nm^3 (linia referencyjna AT08-1 wyposażona w SCR i płuczkę gazową moką) oraz 5.7 mg/Nm^3 (linia referencyjna FR98 wyposażona w SNCR i DSI).

Zgłoszone dane nie wskazują na wyraźną korelację pomiędzy osiągniętymi poziomami emisji a rodzajem i ilością stosowanego odczynnika lub wiekiem i wielkością zakładu. Wszystkie zakłady to spalarnie ze złożem fluidalnym.

Całkowita zawartość lotnych związków organicznych (TVOC, całkowite LZO)

Dane dotyczące emisji TVOC dla 14 linii referencyjnych spalających głównie SS, w oparciu o pomiary ciągłe, przedstawiono w formie uproszczonej na ilustracji 3.42. Odpowiednie szczegółowe wykresy to ilustracja 8.40 w załączniku 8.6 dla dobowych i rocznych poziomów emisji oraz ilustracja 8.92 w załączniku 8.7 dla półgodzinnych poziomów emisji.

Dla każdego zakresu koncentracji emisji reprezentowanego na osi poziomej wykresy kołowe poniżej pokazują udział linii referencyjnych wśród tych, które osiągają poziomy emisji w danym zakresie i które mieszczą się w różnych klasach wielkości (progi dla małych, średnich i dużych zakładów zostały opisane na wstępie rozdziału 3).



Ilustracja 3.42 Ciągły monitoring emisji TVOC do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie SS

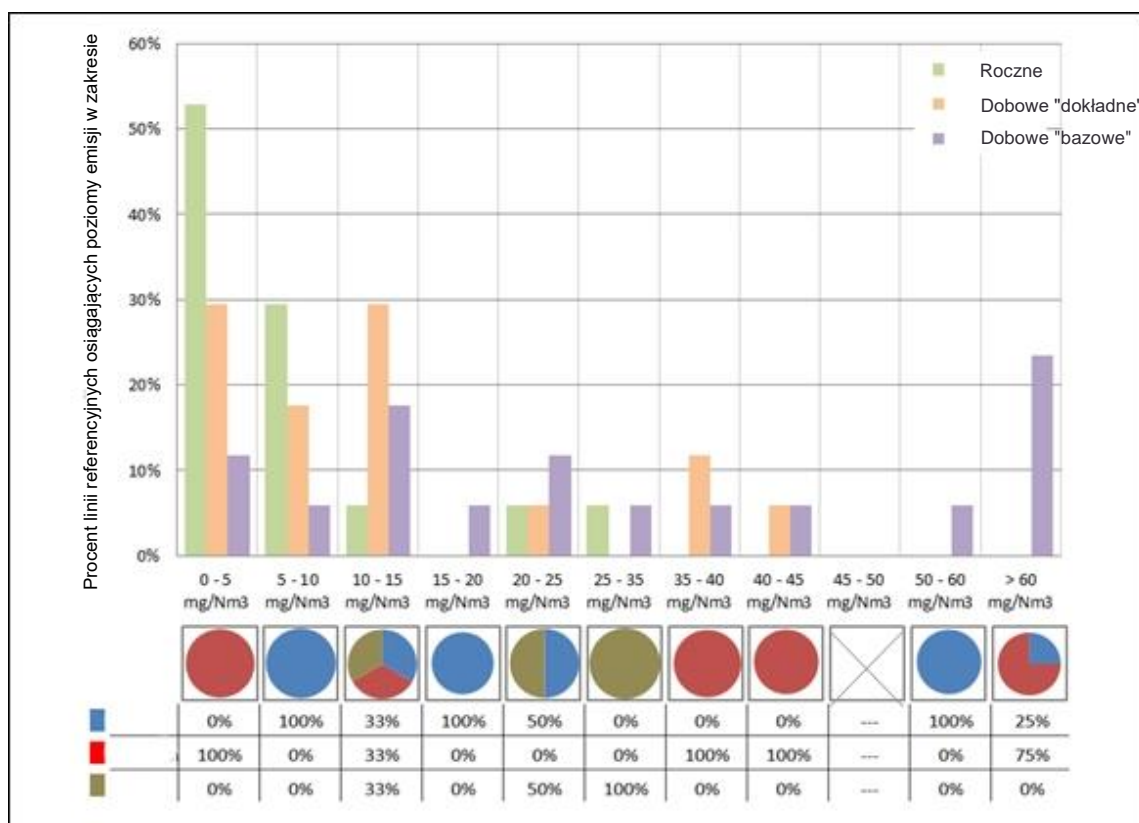
Poziomy emisji wahają się od wartości zbliżonej do granicy oznaczalności do 3 mg/Nm³ jako średnia roczna i 5.1 mg/Nm³ jako maksymalna średnia dobowa (przy zastosowaniu "dokładnej" filtracji danych). Dla trzech linii referencyjnych maksymalna średnia dobowa wykazuje wyższe wartości szczytowe emisji przy stosowaniu "bazowej" filtracji danych, związane zasadniczo z OTNOC.

Zgłoszone dane nie wskazują na wyraźną korelację pomiędzy osiągniętymi poziomami emisji a zastosowaną techniką, rodzajem i ilością stosowanego odczynnika lub wiekiem i wielkością zakładu. Wszystkie zakłady to spalarnie ze złożem fluidalnym.

Tlenek węgla (CO)

Dane dotyczące emisji CO dla 17 linii referencyjnych spalających głównie SS, w oparciu o pomiary ciągłe, przedstawiono w formie uproszczonej na ilustracji 3.43. Odpowiednie szczegółowe wykresy to ilustracja 8.41 w załączniku 8.6 dla dobowych i rocznych poziomów emisji oraz ilustracja 8.93 w załączniku 8.7 dla półgodzicznych poziomów emisji.

Dla każdego zakresu koncentracji emisji reprezentowanego na osi poziomej wykresy kołowe poniżej pokazują udział linii referencyjnych wśród tych, które osiagają poziomy emisji w danym zakresie i które mieszczą się w różnych klasach wielkości (progi dla małych, średnich i dużych zakładów zostały opisane na wstępie rozdziału 3).



Ilustracja 3.43 Ciągły monitoring emisji CO do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie SS

Poziomy emisji wahają się od wartości zbliżonej do granicy oznaczalności do 29 mg/Nm³ jako średnia roczna i 42 mg/Nm³ jako maksymalna średnia dobowa (przy zastosowaniu "dokładnej" filtracji danych). Podobnie jak w przypadku emisji TVOC, w niektórych sytuacjach obserwuje się wyższe szczyty emisji w wartościach uzyskanych w ramach "bazowej" filtracji danych, zasadniczo związane z OTNOC.

Zgłoszone dane nie wskazują na wyraźną korelację pomiędzy osiągniętymi poziomami emisji a zastosowaną techniką, rodzajem i ilością stosowanego odczynnika lub wiekiem i wielkością zakładu. Wszystkie zakłady to spalarnie ze złożem fluidalnym.

Polichlorowane dibenzo-p-dioksyny i furany (PCDD/F), polichlorowany bifenyl (PCB, C₁₂H_{10-x}Cl_x) oraz wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (PAH, WWA)

Dla osiągnięcia niskich poziomów emisji PCDD/F ważne są zarówno zastosowane techniki podstawowe, jak i uzupełniające. W systemie spalania efektywne mieszanie gazów (wysoka turbulencja) poprawia niszczenie PCDD/F oraz podobnych związków obecnych w odpadach. Unikanie zakresu temperatur rekombinacji PCDD/F i podobnych związków w kotle a także w systemie oczyszczania spalin pozwala na uniknięcie syntezy *de novo* PCDD/F.

Celem dodatkowej redukcji stosowane są cztery główne rodzaje technik:

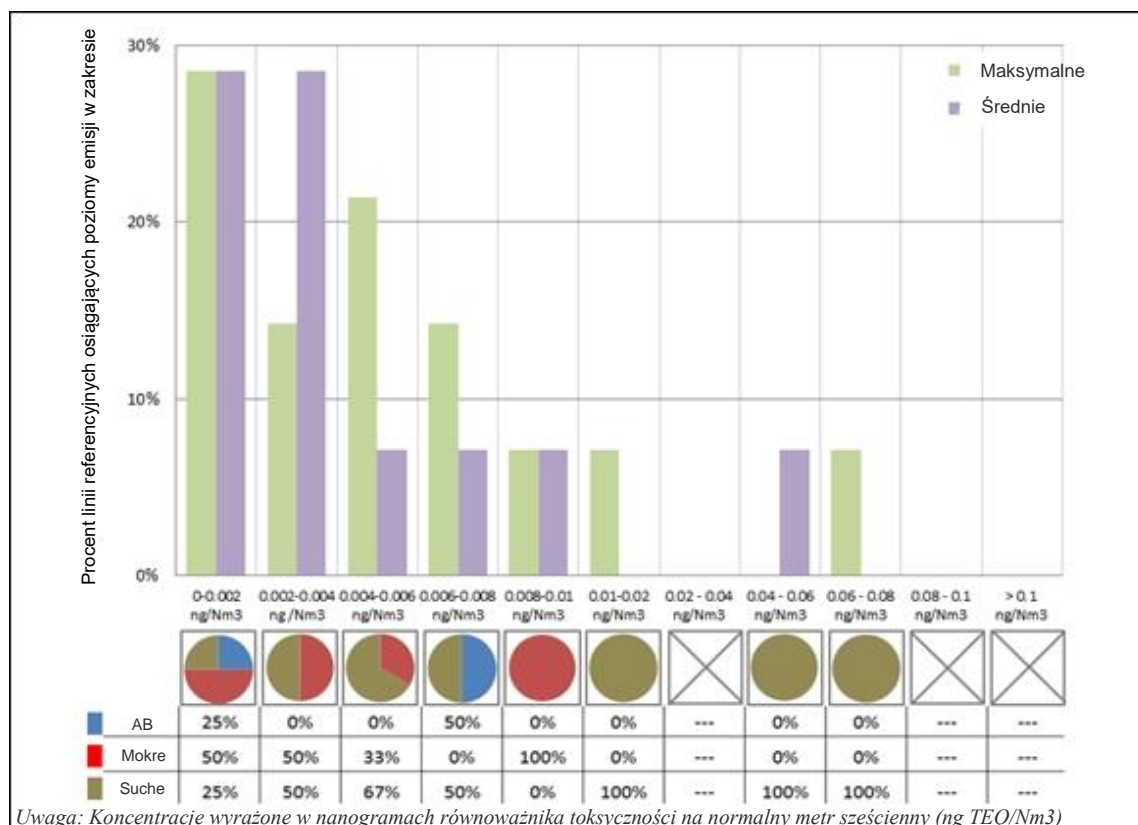
1. Filtr z węglem aktywnym i złożem ruchomym lub stałym.
2. Wtrysk węgla aktywnego (samodzielnie lub zmieszanego z innymi odczynnikiemami) do usunięcia w odpylaczu.
3. Zniszczenie gazowego PCDD/F na katalizatorze, łącznie z użyciem katalitycznych filtrów workowych.
4. Adsorpcja PCDD/F w materiałach wypełniających wykonanych z materiału polimerowego impregnowanego węglem, w płuczkach gazowych mokrych lub w złożach stałych.

Zaletą stosowania węgla aktywnego jest również zmniejszenie emisji rtęci. Katalizatory

stosowane są głównie do redukcji emisji NO_x .

Dane dotyczące emisji PCDD/F dla 14 linii referencyjnych spalających głównie SS, oparte na pomiarach okresowych, przedstawiono w uproszczonej formie na ilustracji 3.44. Odpowiedni wykres szczegółowy przedstawiono na ilustracji 8.136 w załączniku 8.8.

Dla każdego zakresu koncentracji emisji reprezentowanego na osi poziomej wykresy kołowe poniżej pokazują udział linii referencyjnych wśród tych, które osiągają poziomy emisji w danym zakresie i które: zostały wyposażone w stałe złoża adsorpcyjne; nie posiadają stałego złoża adsorpcyjnego i płuczki gazowej mokrej; nie posiadają stałego złoża adsorpcyjnego i suchych technik FGC.



Ilustracja 3.44 Okresowy monitoring emisji PCDD/F do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie SS

Poziomy emisji mieszczą się w przedziale od zbliżonego do granicy oznaczalności do 0.011 ng I-TEQ/Nm³, z wyjątkiem jednej linii referencyjnej wykazującej poziom 0.06 ng I-TEQ/Nm³.

Zgłoszone dane nie wskazują na wyraźną korelację pomiędzy osiągniętymi poziomami emisji a rodzajem i ilością stosowanego odczynnika lub wiekiem i wielkością zakładu. Wszystkie zakłady to spalarnie ze złożem fluidalnym.

Polichlorowane bifenyleny (PCB) oraz wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (PAH) usuwane są tymi samymi technikami co PCDD/F, co oznacza, że skuteczny system oczyszczania spalin dla PCDD/F będzie również zajmował się PCB oraz PAH.

Linie referencyjne, w których spalane są głównie SS, zgłosiły następujące poziomy emisji, oparte na okresowych pomiarach, dla dioksynopodobnych PCB, PAH (WWA) oraz BaP:

- Dwie linie referencyjne (UK15 i FR98) - dla dioksynopodobnych PCB. Podana wartość maksymalna wynosi poniżej 0.001 ng WHO-TEF.
- Trzy linie referencyjne (DE15-1, DE15-2 i UK15) - dla PAH. Wszystkie to spalarnie ze złożem fluidalnym wyposażone w ESP, płuczkę gazową mokrą oraz filtr workowy. Wszystkie informują również o wtrysku węgla aktywnego. Zakład DE15-1 jest średniej

wielkości zakładem, niedawno zmodernizowanym, i wykazuje poziom emisji 0.002 g/Nm^3 . Zakład UK15 to mały, starszy zakład, który zgłosił poziom emisji wynoszący 13 g/Nm^3 .

- Jedna linia referencyjna dla emisji BaP (zakład DE16, spalarnia ze złożem fluidalnym wyposażona w ESP, płuczkę gazową mokrą, filtr workowy oraz wykorzystująca wtrysk węgla aktywnego) podaje poziom 0.1 g/Nm^3 .

Rtęć (Hg)

Zdecydowana większość zakładów wykorzystuje węgiel aktywny, albo jako system ze stałym złożem albo w systemie wtrysku węgla aktywnego z przepływem. Szybkość zużycia, jak również jakość węgla aktywnego (np. bromowanego lub impregnowanego siarką) mają bezpośredni wpływ na poziom emisji. Inne, rzadziej stosowane techniki to stosowanie zeolitów lub wychwytywanie rtęci w kwaśnej płuczce mokrej, która może służyć jako pochłaniacz rtęci, jeśli jest ona obecna w postaci chlorku Hg(II). Rtęć, która zostanie przeniesiona ze strumienia gazu do płuczki, może być następnie usunięta przez oczyszczalnię ścieków.

Jeśli rtęć występuje w postaci metalicznej, konieczne jest zastosowanie środków utleniających, takich jak wtrysk bromowanego węgla aktywnego lub dodanie bromu w kotle (zob. techniki usuwania rtęci). [74. TWG 2004]

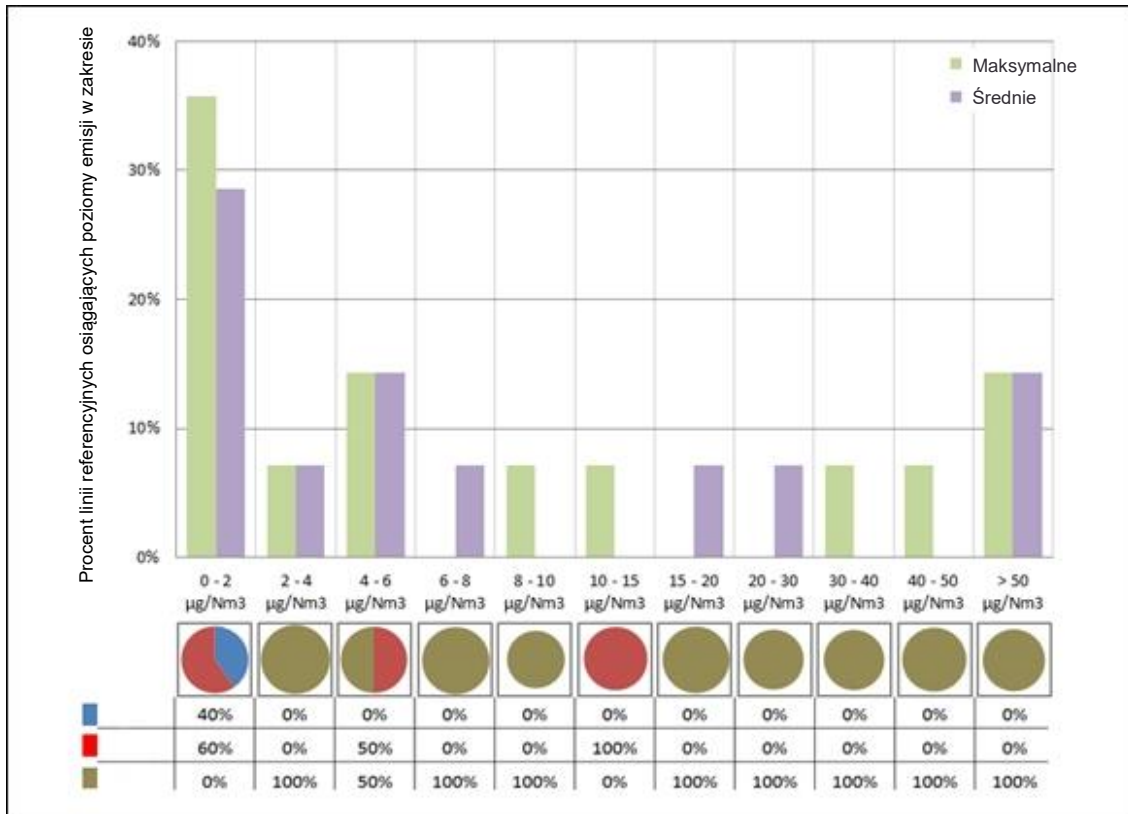
Pod pewnymi warunkami (np. wysoki poziom wsadu rtęci) limity wydajności usuwania przez systemy FGC mogą zostać przekroczone, co prowadzi do czasowo podwyższonych emisji rtęci. Może to być spowodowane przez sytuacje, w których poziomy wydajności linii referencyjnej dla różnych okresów uśredniania wykazują duże wahania.

Dane dotyczące emisji rtęci oparte na pomiarach ciągłych lub okresowych przedstawione zostały na poniższych ilustracjach, w uproszczonej formie w ramach niniejszego rozdziału oraz szczegółowo w załącznikach 8.6 i 8.8. Półgodzinne poziomy emisji przedstawiono w załączniku 8.7:

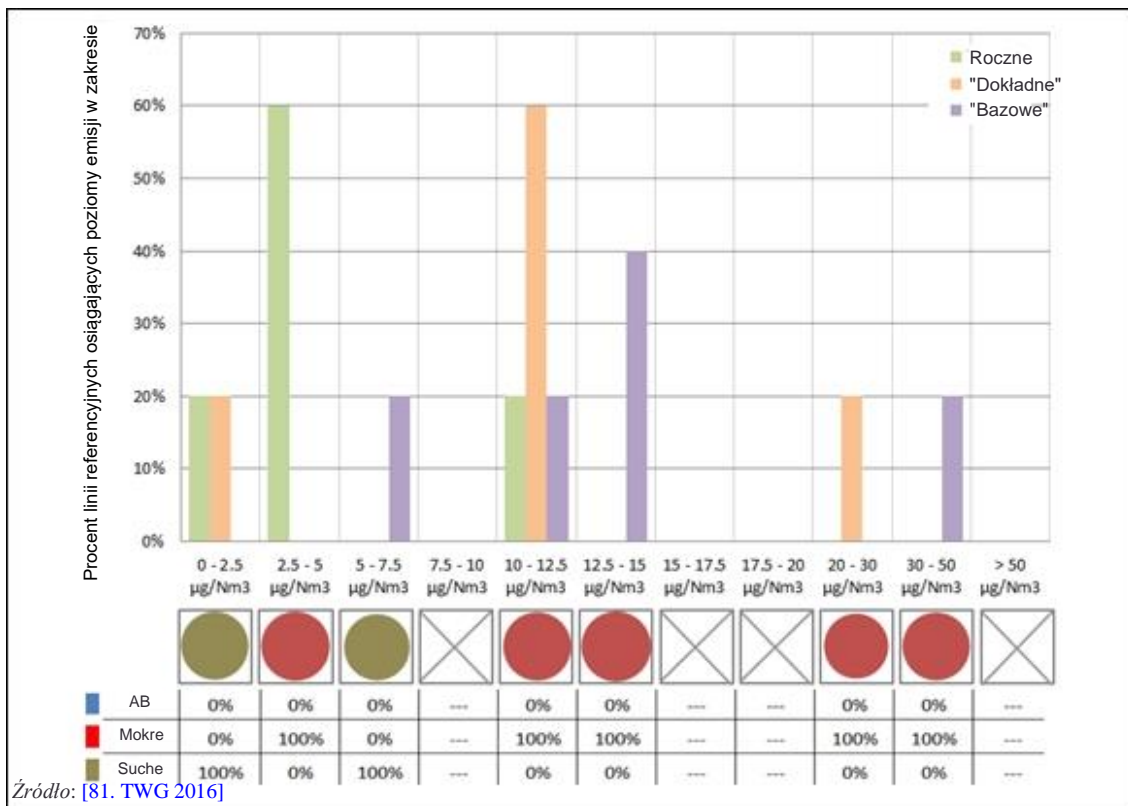
- Ilustracja 3.45, dla poziomów emisji 14 linii referencyjnych spalających głównie SS i monitorujących Hg okresowo. Odpowiedni szczegółowy wykres przedstawiono na ilustracji 8.137.
- Ilustracja 3.46, dla dobowych oraz rocznych poziomów emisji z 5 linii referencyjnych spalających głównie SS i monitorujących Hg w sposób ciągły. Odpowiedni szczegółowy wykres przedstawiono na ilustracji 8.42.
- Ilustracja 3.47, dla półgodzinnych poziomów emisji z 5 linii referencyjnych spalających głównie SS i monitorujących Hg w sposób ciągły. Odpowiedni szczegółowy wykres przedstawiono na ilustracji 8.94.
- Ilustracja 3.48, dla miesięcznych poziomów emisji z 5 linii referencyjnych spalających głównie SS i monitorujących Hg w sposób ciągły. Odpowiedni szczegółowy wykres przedstawiono na ilustracji 8.95.

Dla każdego zakresu koncentracji emisji reprezentowanego na osi poziomej, wykresy kołowe poniżej pokazują udział linii referencyjnych wśród tych które osiągają poziomy emisji w danym zakresie i które: zostały wyposażone w stałe złoża adsorpcyjne; nie posiadają stałego złoża adsorpcyjnego oraz płuczki gazowej mokrej; nie posiadają stałego złoża adsorpcyjnego oraz suchych technik FGC.

Poziomy miesięczne przedstawione na ilustracji 3.48 opierają się na danych z ciągłego monitoringu i dostarczają informacji o poziomach emisji osiągniętych podczas pomiarów rtęci z okresem uśredniania typowym dla długoterminowych metod pobierania próbek. Poziomy miesięczne, na które w niewielkim stopniu wpływają szczyty (piki) krótkoterminowe, przedstawione zostały jedynie z zastosowaniem filtra "bazowego".

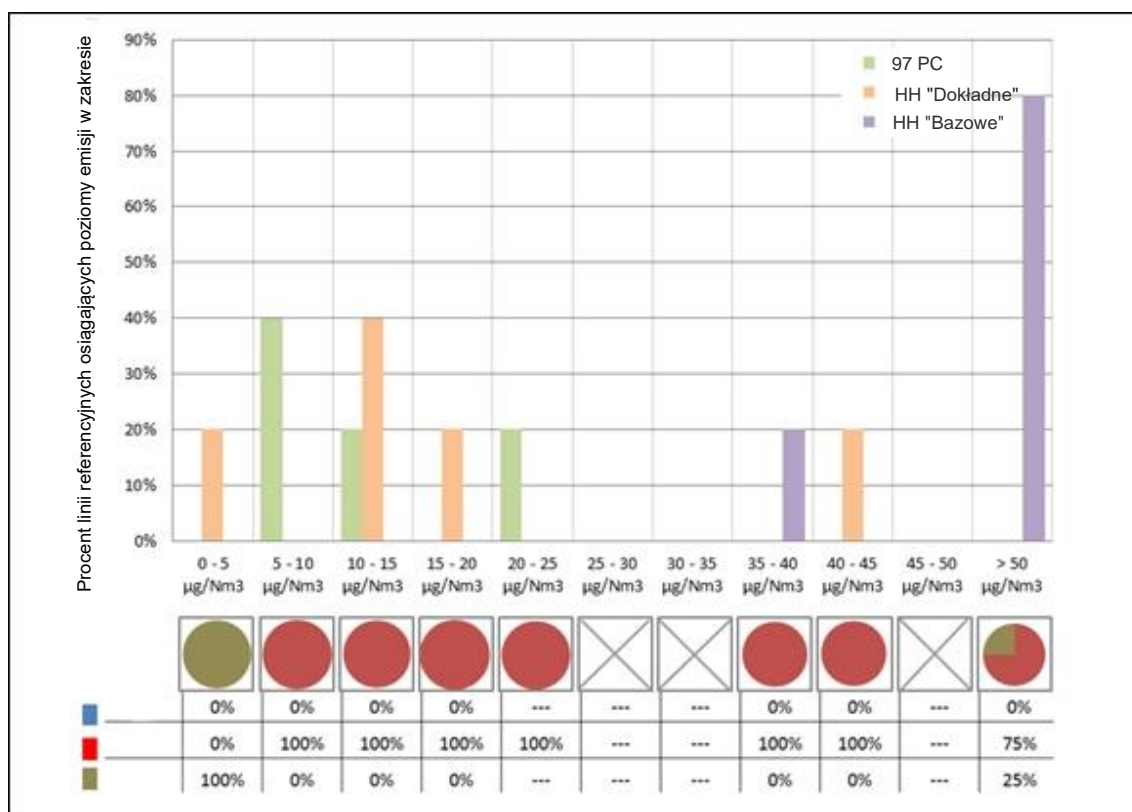


Ilustracja 3.45 Okresowy monitoring emisji Hg do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie SS

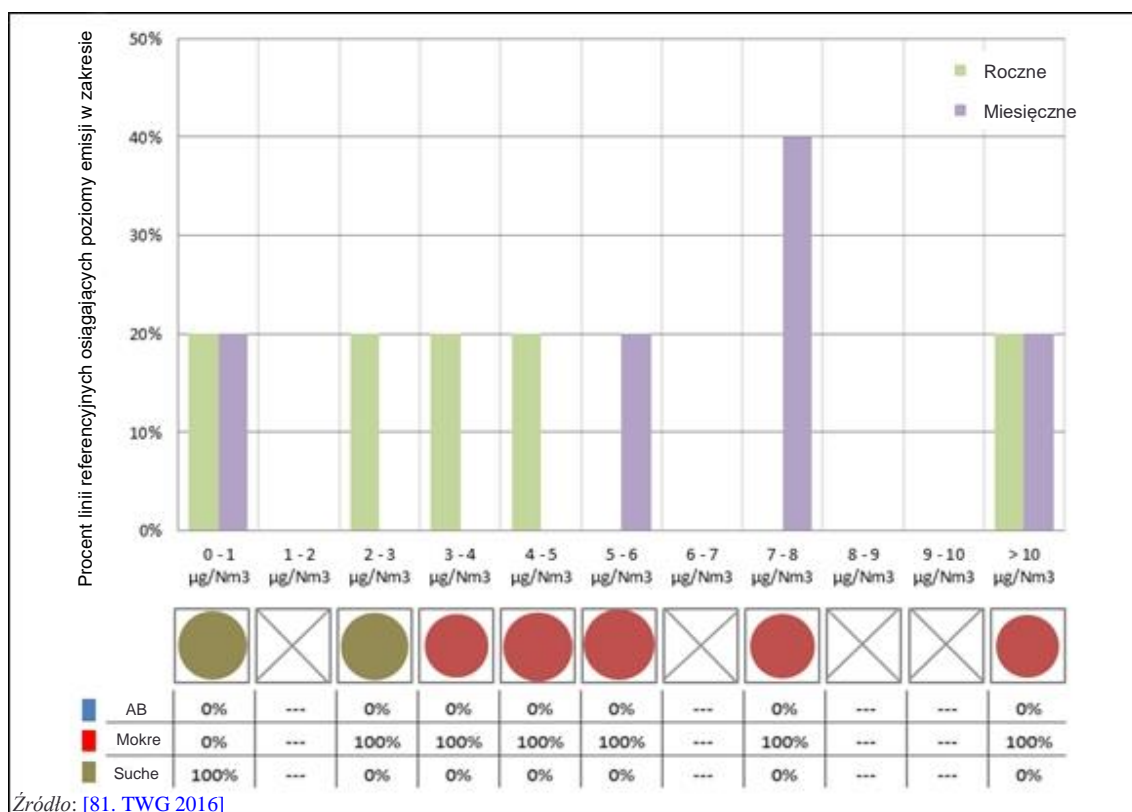


Źródło: [81. TWG 2016]

Ilustracja 3.46 Ciągły monitoring emisji Hg do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie SS - dobowe oraz roczne poziomy emisji



Ilustracja 3.47 Ciągły monitoring emisji rtęci do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie SS - półgodzinne poziomy emisji



Źródło: [81. TWG 2016]

Ilustracja 3.48 Ciągły monitoring emisji Hg do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie SS - miesięczne poziomy emisji

Poziomy emisji wahają się od wartości zbliżonej do granicy oznaczalności do 0.01 mg/Nm³

jako średnia roczna i miesięczna oraz 0.024 mg/Nm³ jako maksymalna średnia dobowa (przy zastosowaniu "dokładnej" filtracji danych). W niektórych przypadkach maksymalna średnia dobowa uzyskana dla "bazowej" filtracji danych może być znacznie wyższa (do 0.036 mg/Nm³), co może odzwierciedlać nie tylko "epizody" z wsadem odpadów o wysokiej zawartości rtęci, ale także sytuacje OTNOC, podczas których średnia dobowa obejmuje zazwyczaj tylko kilka półgodzinnych okresów i w których mierzone poziomy rtęci są podwyższone.

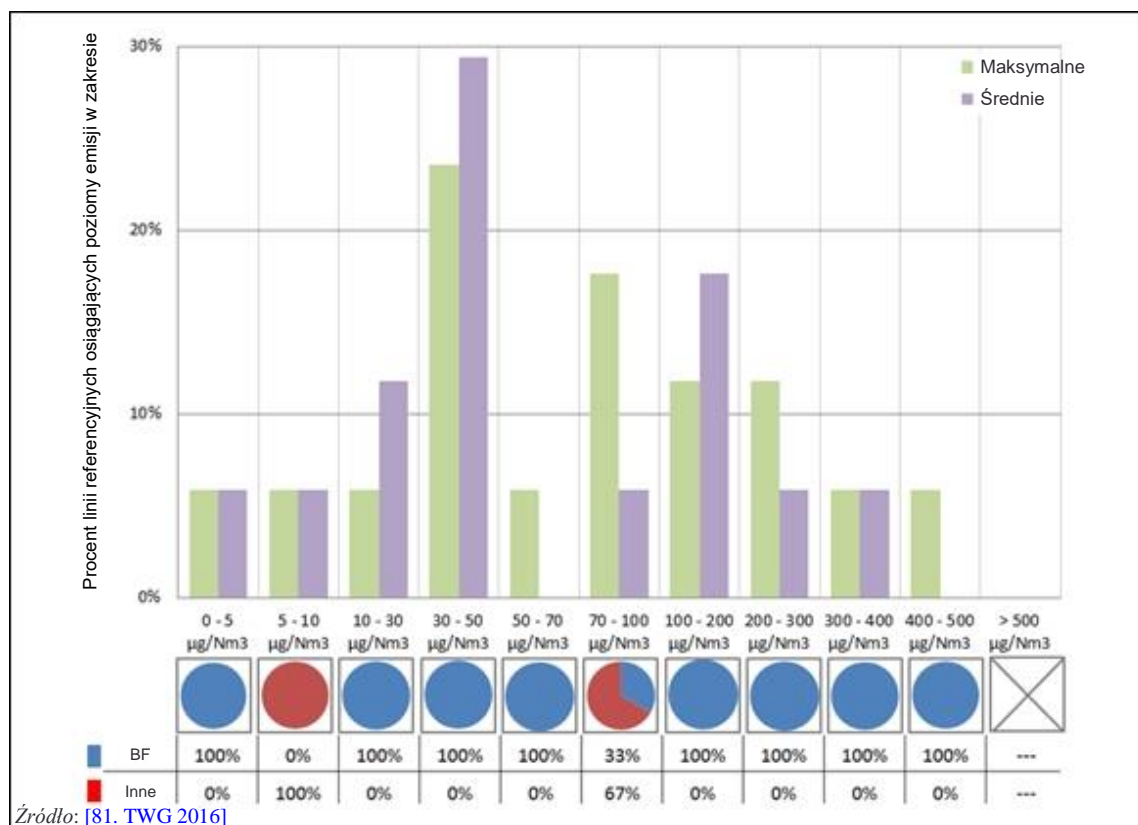
Zakłady dokonujące okresowych pomiarów rtęci zazwyczaj zgłaszały średnie wartości w okresie pobierania próbek poniżej 0.01 mg/Nm³, z czterema wyjątkami (PL02, PL05, PL07-2 i PL07-1), które zgłosiły wartości pomiędzy 0.04 mg/Nm³ a 0.13 mg/Nm³.

Zgłoszone dane nie wskazują na wyraźną korelację pomiędzy osiągniętymi poziomami emisji a rodzajem i ilością stosowanego odczynnika lub wiekiem i wielkością zakładu. Wszystkie zakłady to spalarnie ze złożem fluidalnym.

Antymon (Sb), arsen (As), chrom (Cr), kobalt (Co), miedź (Cu), ołów (Pb), mangan (Mn), nikiel (Ni) oraz wanad (V)

Techniki stosowane do usuwania pyłu są również głównymi metodami ograniczania emisji metali zawartych w pyle. Dane dotyczące emisji [Sb+As+Cr+Co+Cu+Pb+Mn+Ni+V], oparte na pomiarach okresowych, przedstawiono w uproszczonej formie, dla 34 linii referencyjnych spalających głównie HW, na ilustracji 3.66. Odpowiedni szczegółowy wykres przedstawiono na ilustracji 8.147 w załączniku 8.8.

Dla każdego zakresu koncentracji emisji reprezentowanego na osi poziomej wykresy kołowe poniżej pokazują udział linii referencyjnych wśród tych, które osiągają poziomy emisji w danym zakresie i które zostały wyposażone w filtr workowy oraz inne techniki (takie jak ESP).



Ilustracja 3.49 Okresowy monitoring emisji Sb+As+Cr+Co+Cu+Pb+Mn+Ni+V do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie SS

Poziomy emisji wahają się pomiędzy wartością zbliżoną do granicy oznaczalności a 0.3 mg/Nm³, z wyjątkiem jednej linii referencyjnej wykazującej poziom 0.5 mg/Nm³ jako maksymalną wartość średnią w okresie pobierania próbek.

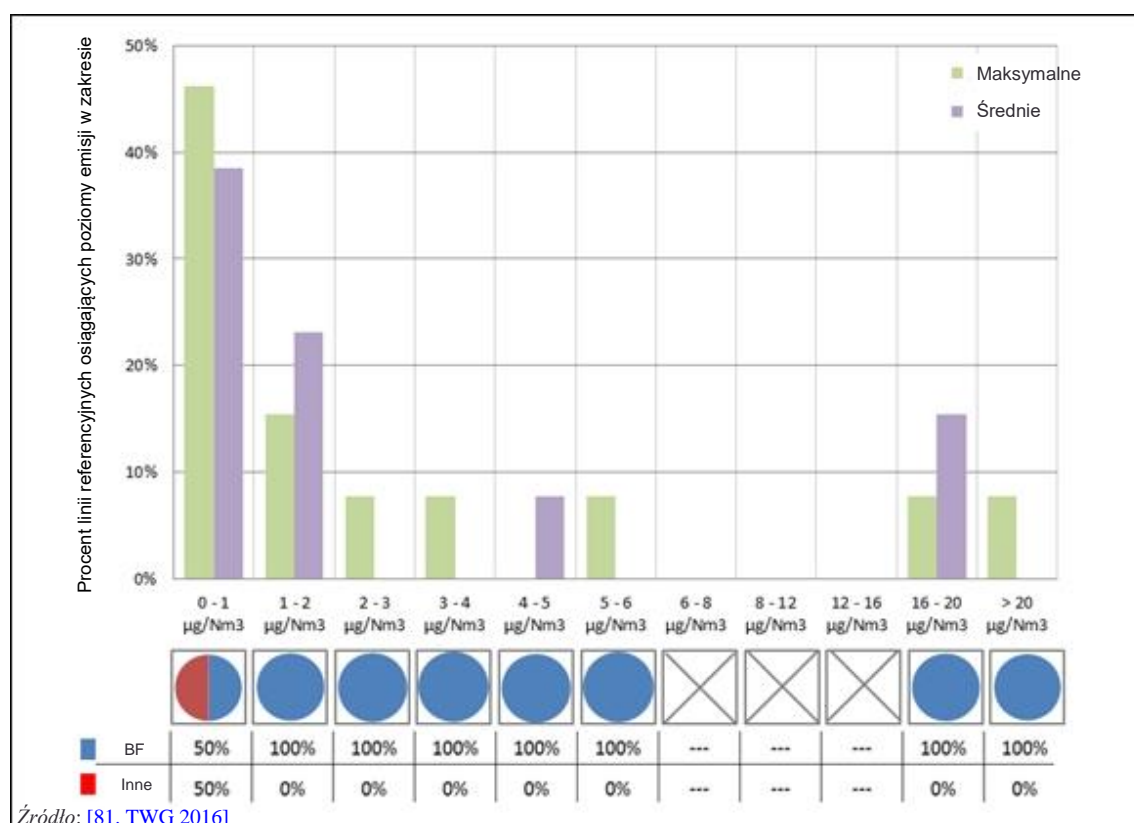
Zgłoszone dane nie wskazują na wyraźną korelację pomiędzy osiągniętymi poziomami emisji a stosowaną techniką lub wiekiem i wielkością zakładu. Wszystkie zakłady to spalarnie ze złożem fluidalnym.

Kadm (Cd) oraz tal (Tl)

Metody stosowane do usuwania pyłu są również głównymi technikami zmniejszającymi emisję metali zawartych w pyłe.

Dane dotyczące emisji [Cd+Tl], oparte na pomiarach okresowych, przedstawiono w uproszczonej formie, dla 13 linii referencyjnych spalających głównie SS, na ilustracji 3.50. Odpowiedni wykres szczegółowy znajduje się na ilustracji 8.139 w załączniku 8.8.

Dla każdego zakresu koncentracji emisji reprezentowanego na osi poziomej wykresy kołowe poniżej pokazują udział linii referencyjnych wśród tych, które osiągają poziomy emisji w danym zakresie i które zostały wyposażone w filtr workowy oraz inne techniki (takie jak ESP).



Ilustracja 3.50 Okresowy monitoring emisji Cd+Tl do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie SS

Poziomy emisji są prawie zawsze bardzo niskie i wahają się pomiędzy wartością zbliżoną do granicy oznaczalności a 0.005 mg/Nm³, z wyjątkiem dwóch linii referencyjnych (zakłady NL06 oraz PL05), w których poziomy emisji wynoszą odpowiednio 0.02 mg/Nm³ i 0.036 mg/Nm³ jako maksymalne średnie w okresie pobierania próbek.

Zgłoszone dane nie wskazują na wyraźną korelację pomiędzy osiągniętymi poziomami emisji a stosowaną techniką lub wiekiem i wielkością zakładu. Wszystkie zakłady to spalarnie ze złożem fluidalnym.

3.2.2.3 Emisje do powietrza pochodzące ze spalania odpadów niebezpiecznych

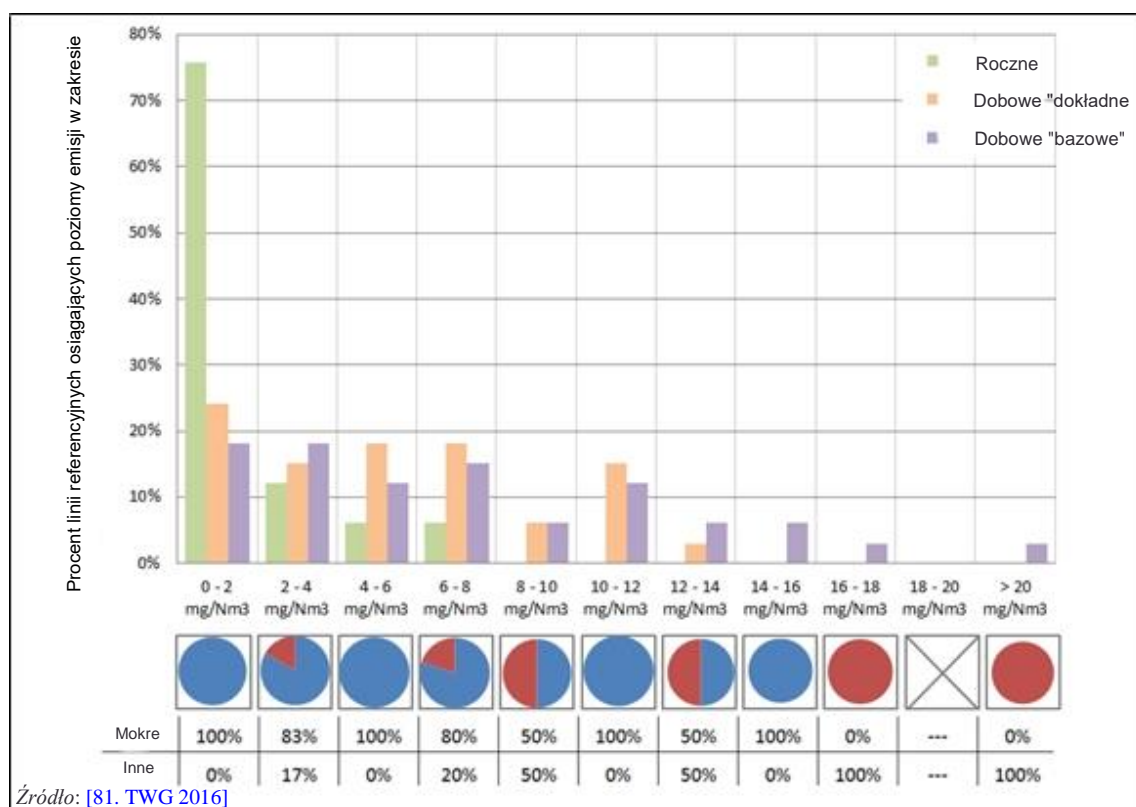
Chlorowodór (HCl) i fluorowodór (HF)

Z nielicznymi wyjątkami, zakłady uczestniczące w gromadzeniu danych w 2016 r., które spalają

głównie odpady niebezpieczne, to piece obrotowe wyposażone w mokre systemy ograniczania emisji. Wyjątek stanowią głównie piece spalające pozostałości z sektora chemicznego oraz piece rusztowe wyposażone w systemy suche lub półmokre, takie jak w zakładach DE31, DE32 i DE33 spalających zanieczyszczone odpady drzewne.

Dane dotyczące emisji HCl dla 33 linii referencyjnych spalających głównie HW, oparte na pomiarach ciągłych, przedstawiono w formie uproszczonej na ilustracji 3.51. Odpowiednie wykresy szczegółowe to ilustracja 8.43 w załączniku 8.6 dla dobowych i rocznych poziomów emisji oraz ilustracja 8.96 w załączniku 8.7 dla półgodzinnych poziomów emisji.

Dla każdego zakresu koncentracji emisji reprezentowanego na osi poziomej, wykresy kołowe poniżej pokazują udział linii referencyjnych wśród tych, które osiągają poziomy emisji w danym zakresie i które zostały wyposażone w płuczkę gazową mokrą oraz w inne techniki (takie jak DSI lub półmokre absorbery).



Ilustracja 3.51 Ciągły monitoring emisji HCl do powietrza z linii referencyjnych

Poziomy emisji wahają się od wartości zbliżonej do granicy oznaczalności do 7.5 mg/Nm³ jako średnia roczna i 12 mg/Nm³ jako maksymalna średnia dobową (przy zastosowaniu "dokładnej" filtracji danych). W większości przypadków maksymalna średnia dobową uzyskana dla "bazowej" filtracji danych nie zmienia się znacząco w stosunku do wartości uzyskanej dla filtracji "dokładnej". Niektóre wyjątki, w których wartości te różnią się, związane są z niezgłoszonymi okresami konserwacji (np. zakłady BE09.1 oraz BE09.3).

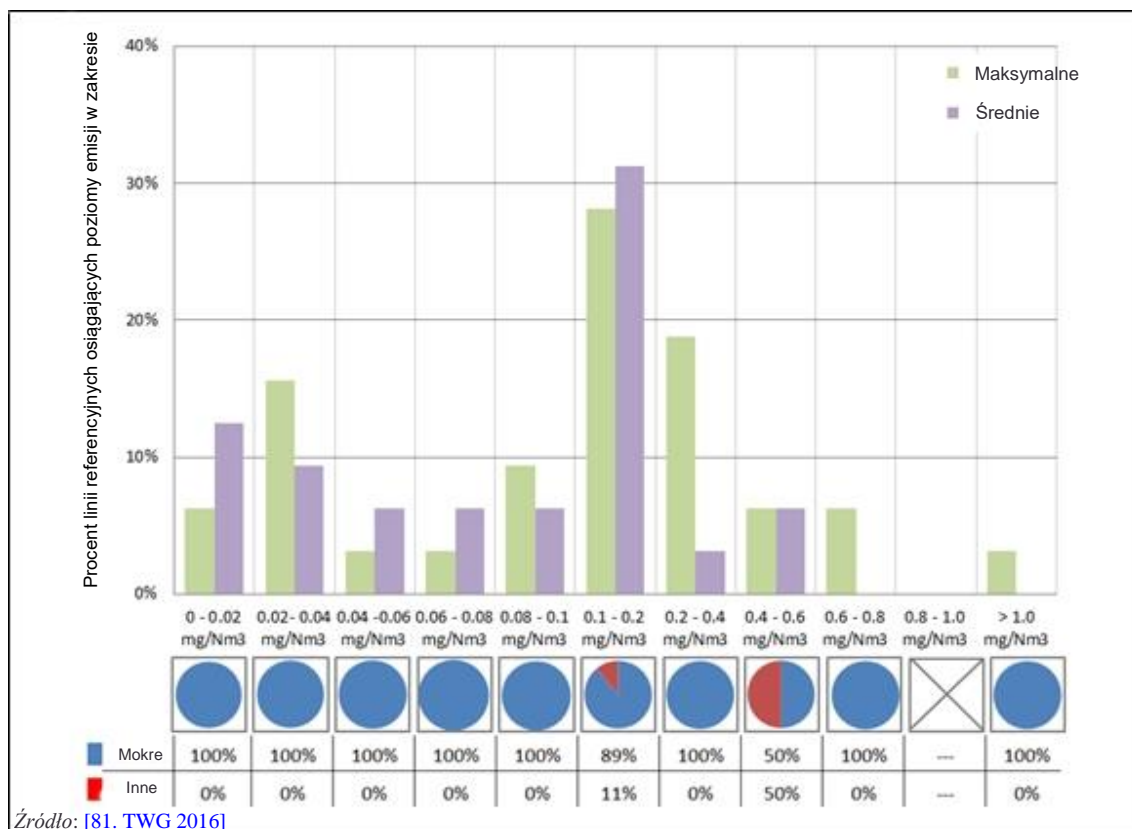
Zgłoszone dane nie wskazują na wyraźną korelację pomiędzy osiągniętymi poziomami emisji a rodzajem i ilością stosowanego odczynnika lub wiekiem i wielkością zakładu. Wszystkie zakłady to spalarnie z piecem obrotowym.

Dane dotyczące emisji HF, oparte na pomiarach ciągłych lub okresowych, przedstawiono na poniższych ilustracjach, w uproszczonej formie w ramach niniejszego rozdziału i szczegółowo w załącznikach 8.6 i 8.8. Półgodzinne poziomy emisji przedstawiono w załączniku 8.7:

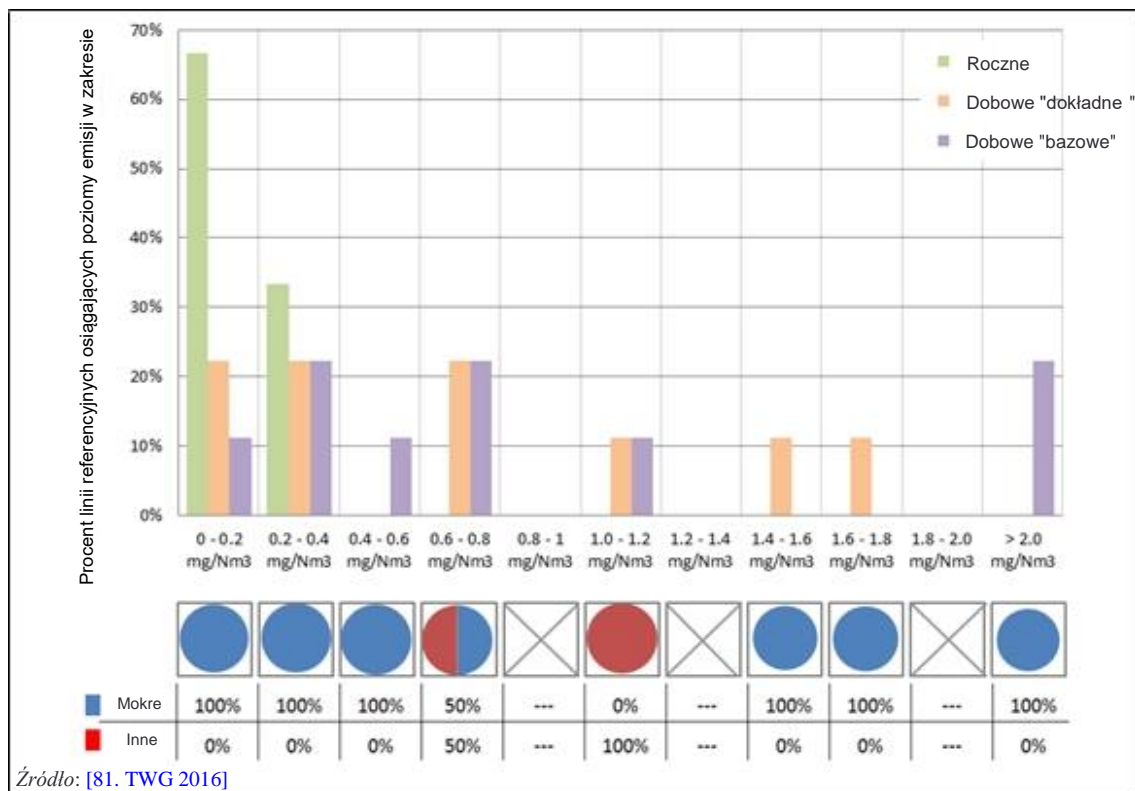
- Ilustracja 3.52, dla 32 linii referencyjnych spalających głównie HW i monitorujących HF okresowo. Odpowiedni szczegółowy wykres przedstawiono na ilustracji 8.140.

- Ilustracja 3.53, dla 9 linii referencyjnych spalających głównie HW i monitorujących HF w sposób ciągły. Odpowiednie wykresy szczegółowe to ilustracja 8.44 dla dobowych i rocznych poziomów emisji oraz ilustracja 8.97 dla półgodzinnych poziomów emisji.

Dla każdego zakresu koncentracji emisji reprezentowanego na osi poziomej, wykresy kołowe poniżej pokazują udział linii referencyjnych wśród tych, które osiągnęły poziomy emisji w danym zakresie i które zostały wyposażone w płuczkę gazową mokrą oraz w inne techniki (takie jak DSI lub półmokre absorbery).



Ilustracja 3.52 Okresowy monitoring emisji HF do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie HW



Ilustracja 3.53 Ciągły monitoring emisji HF do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie HW

Poziomy emisji wahają się od wartości zbliżonej do granicy oznaczalności do 0.35 mg/Nm³ jako średnia roczna i 1.6 mg/Nm³ jako maksymalna średnia dobową. Wszystkie, z wyjątkiem jednego, obiekty dokonujące pomiarów HF okresowo zgłaszają najwyższe dopuszczalne poziomy emisji poniżej 0.66 mg/Nm³ jako średnią w okresie pobierania próbek. Maksymalna średnia dobową uzyskana przy zastosowaniu "bazowej" filtracji danych nie różni się znacząco od wartości uzyskanej przy zastosowaniu filtracji "dokładnej".

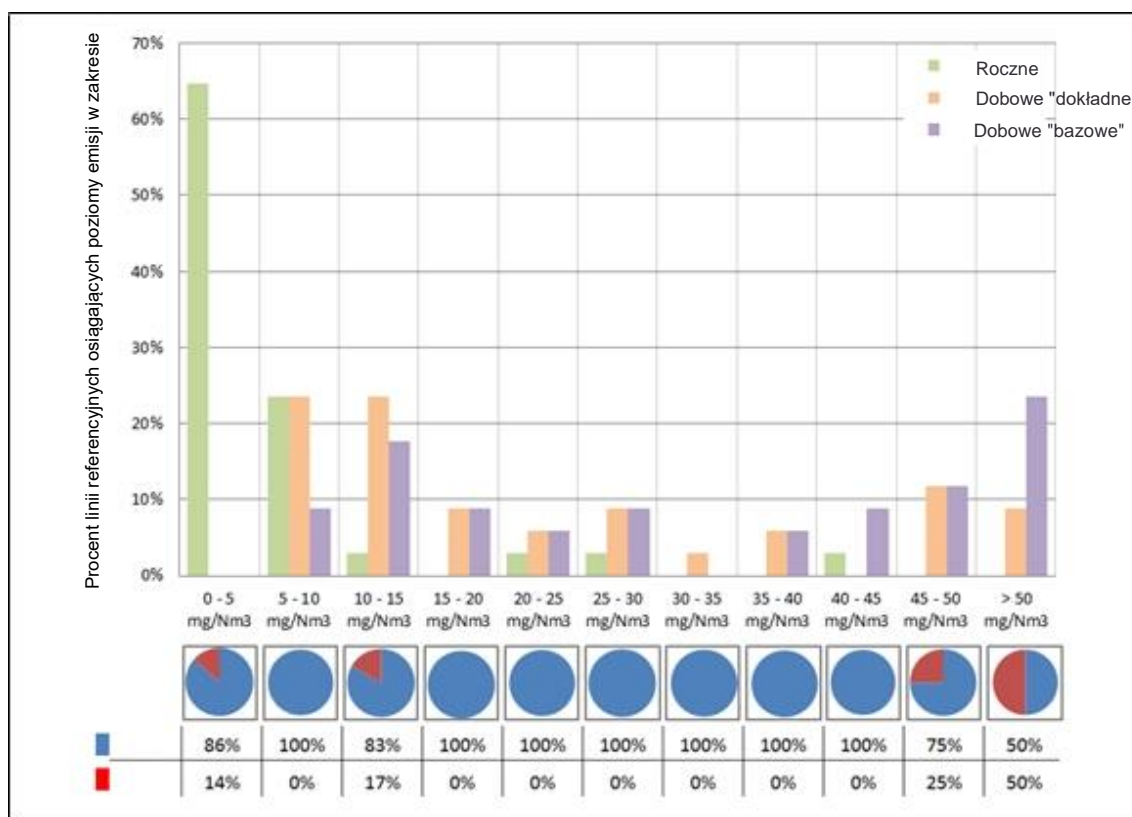
Zgłoszone dane nie wskazują na wyraźną korelację pomiędzy osiągniętymi poziomami emisji a rodzajem i ilością stosowanego odczynnika lub wiekiem i wielkością zakładu.

Tlenki siarki (SO_x)

Rodzaje stosowanych systemów oczyszczania spalin są takie same jak w przypadku HCl, z tą różnicą, że płuczki gazowe mokre działają przy lekko zasadowym pH (zazwyczaj 7-8).

Dane dotyczące emisji SO₂ dla 34 linii referencyjnych spalających głównie HW, oparte na pomiarach ciągłych, przedstawiono w formie uproszczonej na ilustracji 3.54. Odpowiednie szczegółowe wykresy to ilustracja 8.45 w załączniku 8.6 dla dobowych i rocznych poziomów emisji oraz ilustracja 8.98 w załączniku 8.7 dla półgodzinnych poziomów emisji.

Dla każdego zakresu koncentracji emisji reprezentowanego na osi poziomej, wykresy kołowe poniżej pokazują udziały linii referencyjnych wśród tych, które osiągają poziomy emisji w danym zakresie i które zostały wyposażone w płuczkę gazową mokrą oraz w inne techniki (takie jak DSI lub półmokre absorbery).



Ilustracja 3.54 Ciągły monitoring emisji SO₂ do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie HW

Poziomy emisji wahają się od wartości zbliżonej do granicy oznaczalności do 43 mg/Nm³ jako średnia roczna oraz od 5 mg/Nm³ do 78 mg/Nm³ jako maksymalna średnia dobowa. Wykres pokazuje, że zdecydowana większość obiektów wyposażonych w mokre techniki ograniczania emisji osiąga zazwyczaj poziomy emisji poniżej 40 mg/Nm³ jako maksymalną średnią dobową (przy zastosowaniu "dokładnej" filtracji danych).

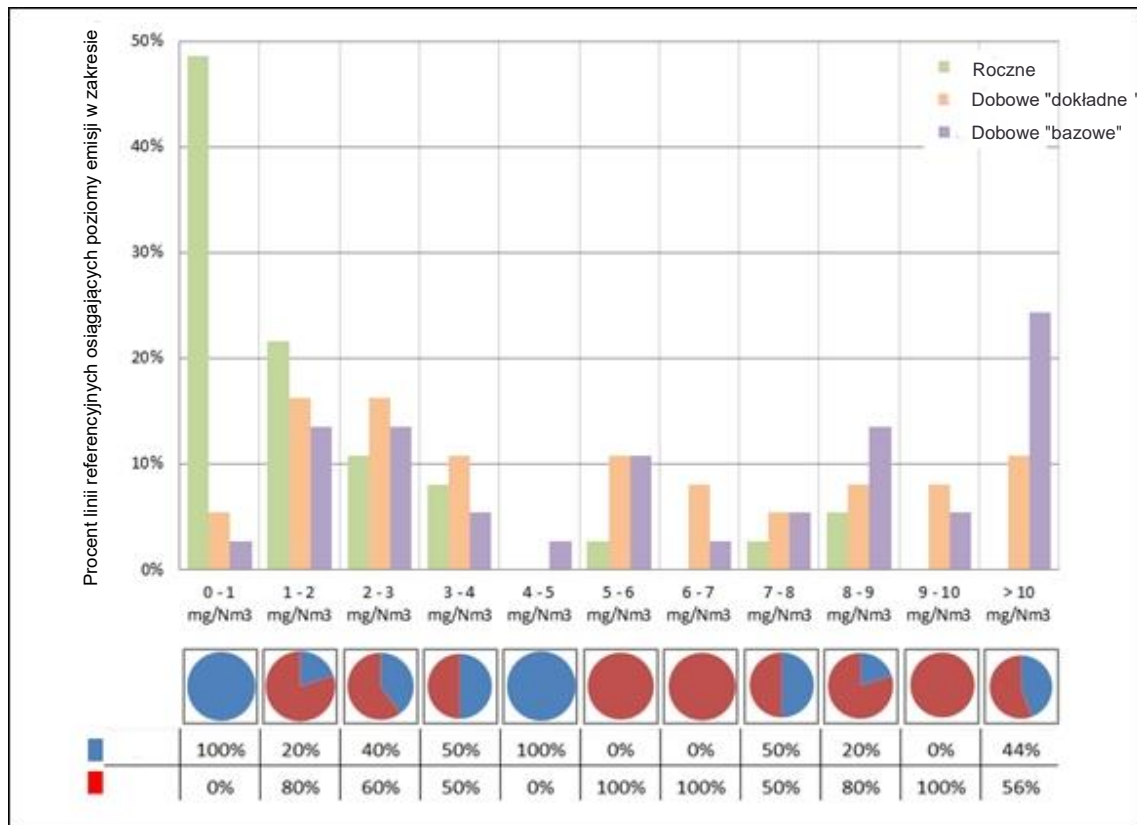
Zgłoszone dane nie wskazują na wyraźną korelację pomiędzy osiągniętymi poziomami emisji a rodzajem i ilością stosowanego odczynnika lub wiekiem i wielkością zakładu.

Pył

W porównaniu z innymi rodzajami spalarni, spalarnie odpadów niebezpiecznych, które uczestniczyły w gromadzeniu danych za rok 2016, rzadko wyposażone zostały w filtr workowy (BF) i w większości przypadków stosują ESP do redukcji emisji pyłów, przy czym płuczka gazowa mokra działa jako kolejny etap odpylania. W niektórych przypadkach do wstępnego odpylania stosuje się multicyklon. Wykorzystanie stałego złoża adsorpcyjnego, które z jednej strony może zapewnić dalszą redukcję pyłu, a z drugiej wiąże się ze znacznym spadkiem ciśnienia, jest również stosunkowo częste w spalarniach HW.

Dane dotyczące emisji pyłu dla 38 linii referencyjnych spalających głównie HW, w oparciu o pomiary ciągłe, przedstawiono w formie uproszczonej na ilustracji 3.55. Odpowiednie szczegółowe wykresy to ilustracja 8.46 w załączniku 8.6 dla dobowych i rocznych poziomów emisji oraz ilustracja 8.99 w załączniku 8.7 dla półgodzicznych poziomów emisji.

Dla każdego zakresu koncentracji emisji reprezentowanego na osi poziomej, wykresy kołowe poniżej pokazują udział linii referencyjnych wśród tych, które osiągnęły poziomy emisji w danym zakresie i które zostały wyposażone w filtr workowy oraz w inne techniki (takie jak ESP).



Ilustracja 3.55 Ciągły monitoring emisji pyłu do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie HW

Poziomy emisji wahają się od wartości zbliżonej do granicy oznaczalności do 8.6 mg/Nm^3 jako średnia roczna i 14.6 mg/Nm^3 jako maksymalna średnia dobowa (przy zastosowaniu "dokładnej" filtracji danych). W niektórych przypadkach maksymalna średnia dobowa uzyskana z zastosowaniem "bazowej" filtracji danych może być znacznie wyższa, zwykle w przypadku OTNOC.

Z czterech instalacji zgłaszających średnie roczne stężenia emisji powyżej 3.2 mg/Nm^3 tylko zakład DE32R został wyposażony w filtr workowy. Dane dotyczące emisji pyłu zgłaszane przez ten zakład wskazują na prawdopodobne pogorszenie się stanu filtrów workowych.

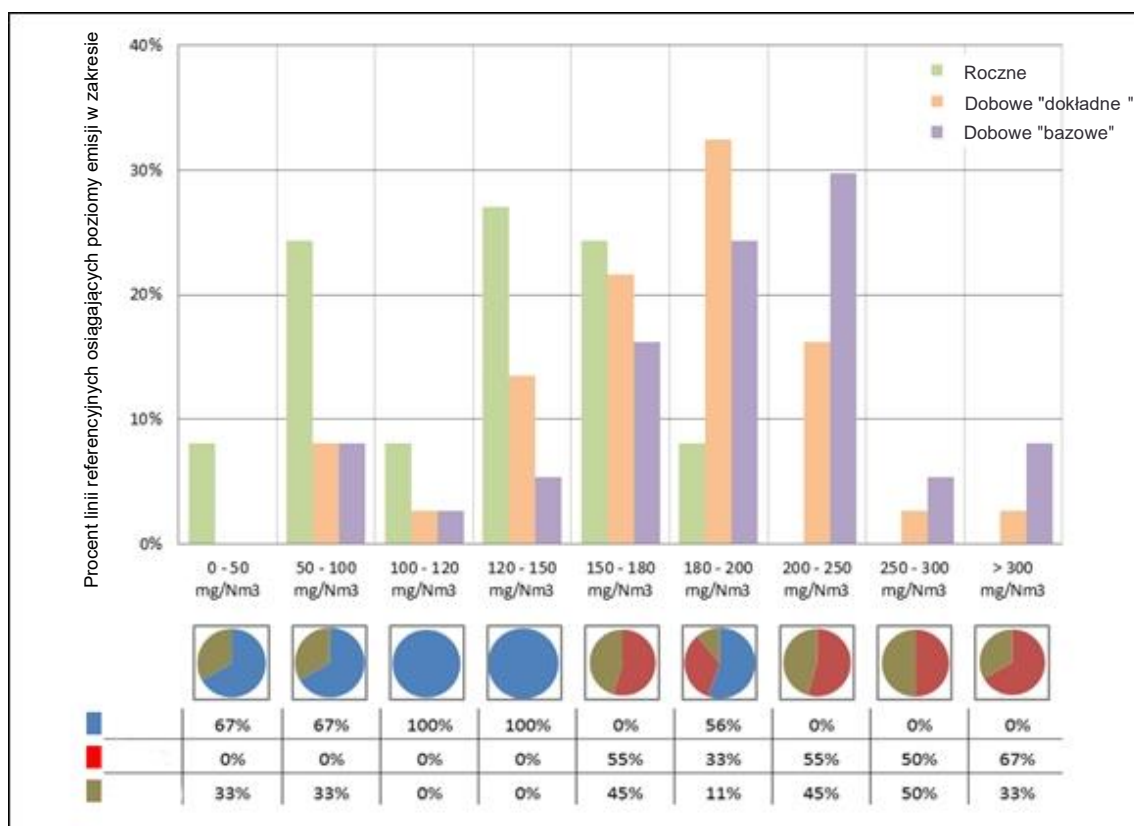
Zgłoszone dane nie wskazują na wyraźną korelację pomiędzy osiągniętymi poziomami emisji a rodzajem i ilością stosowanego odczynnika lub wiekiem i wielkością zakładu. Większość zakładów to spalarnie z piecem obrotowym.

Tlenki azotu (NO_x)

Około jedna trzecia spalarni odpadów niebezpiecznych, które uczestniczyły w gromadzeniu danych w 2016 r., nie stosuje żadnych lub stosuje jedynie podstawowe techniki redukcji emisji NO_x . Kolejna jedna trzecia stosuje SNCR, a pozostałe SCR.

Dane dotyczące emisji NO_x dla 38 linii referencyjnych spalających głównie HW, oparte na pomiarach ciągłych, przedstawiono w formie uproszczonej na ilustracji 3.56. Odpowiednie wykresy szczegółowe to ilustracja 8.47 w załączniku 8.6 dla dobowych i rocznych poziomów emisji oraz ilustracja 8.100 w załączniku 8.7 dla półgodzinnych poziomów emisji.

Dla każdego zakresu koncentracji emisji reprezentowanego na osi poziomej wykresy kołowe poniżej pokazują udział linii referencyjnych wśród tych, które osiągają poziomy emisji w danym zakresie i które zostały wyposażone w: SCR; SNCR, ale nie w SCR; tylko w techniki podstawowe.



Ilustracja 3.56 Ciągły monitoring emisji NO_x do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie HW

Poziomy emisji wynoszą od 26 mg/Nm³ do 197 mg/Nm³ jako średnia roczna oraz od 68 mg/Nm³ do 329 mg/Nm³ jako maksymalna średnia dobową (przy zastosowaniu "dokładnej" filtracji danych). Wartości znacznie przekraczające 200 mg/Nm³ obserwuje się jedynie w obiektach wyposażonych w SNCR lub bez dodatkowych technik redukcji NO_x, przy czym obiekt FR109 jest wyposażony w SNCR, ale nie zgłasza użycia odczynnika (ani amoniaku, ani mocznika).

W przypadku zakładów wyposażonych w SCR nie obserwuje się znaczącej różnicy pomiędzy maksymalną średnią dobową otrzymaną przy zastosowaniu "bazowej" filtracji danych a wartością otrzymaną w wyniku "dokładnej" filtracji danych. Natomiast w przypadku zakładów wyposażonych w SNCR lub nie stosujących technik dodatkowych różnica ta jest na ogół większa, co odzwierciedla niższą wewnętrzną stabilność procesu.

Zgłoszone dane nie wskazują na wyraźną korelację pomiędzy osiągniętymi poziomami emisji a rodzajem i ilością stosowanego odczynnika lub wiekiem i wielkością zakładu. Wszystkie zakłady to spalarnie z piecem obrotowym.

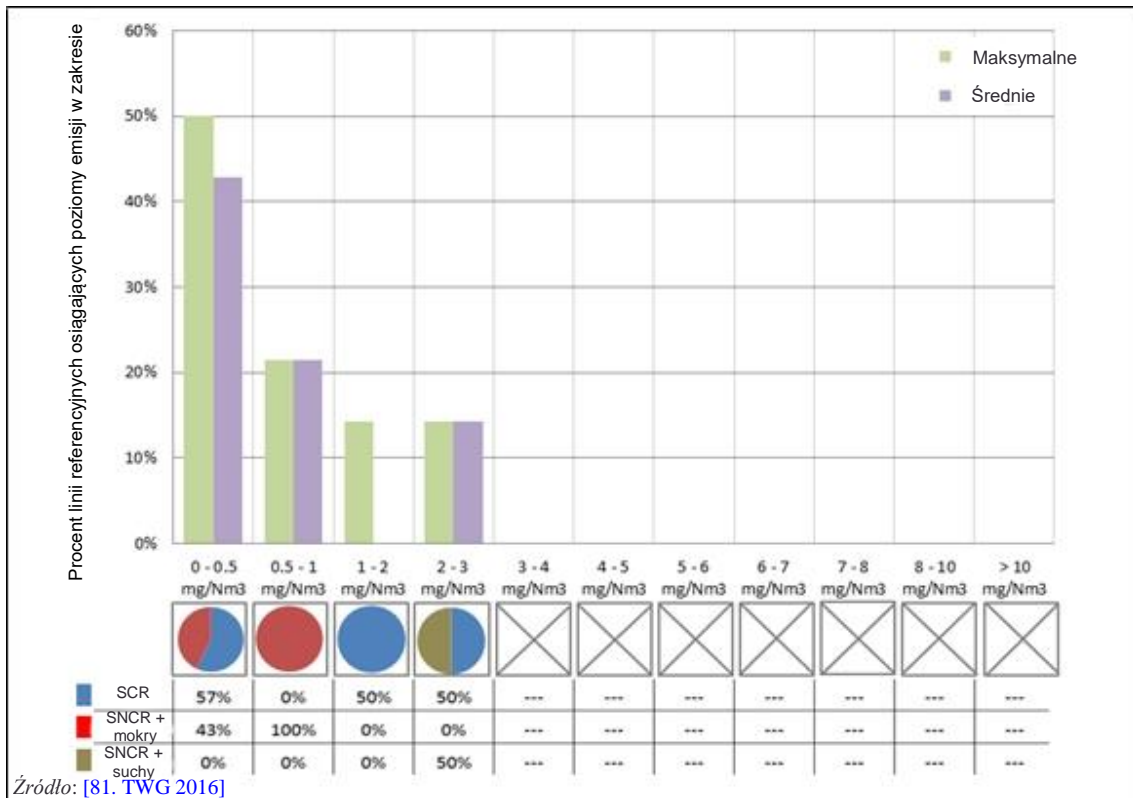
Amoniak (NH₃)

Emisja amoniaku związana jest z wydzielaniem się reagentów z SCR lub SNCR. Główną techniką stosowaną do kontroli takich emisji jest optymalizacja procesu, jak również w przypadku SCR dobra konserwacja katalizatora. W przypadku SNCR, skuteczne usunięcie wydzielającego się amoniaku można osiągnąć za pomocą płuczki gazowej mokrej działającej przy niskim pH. SCR może być również stosowany jako katalizator wydzielania celem dalszej reakcji z nieprzereagowanym amoniakiem, już po przeprowadzeniu głównej redukcji w systemie SNCR.

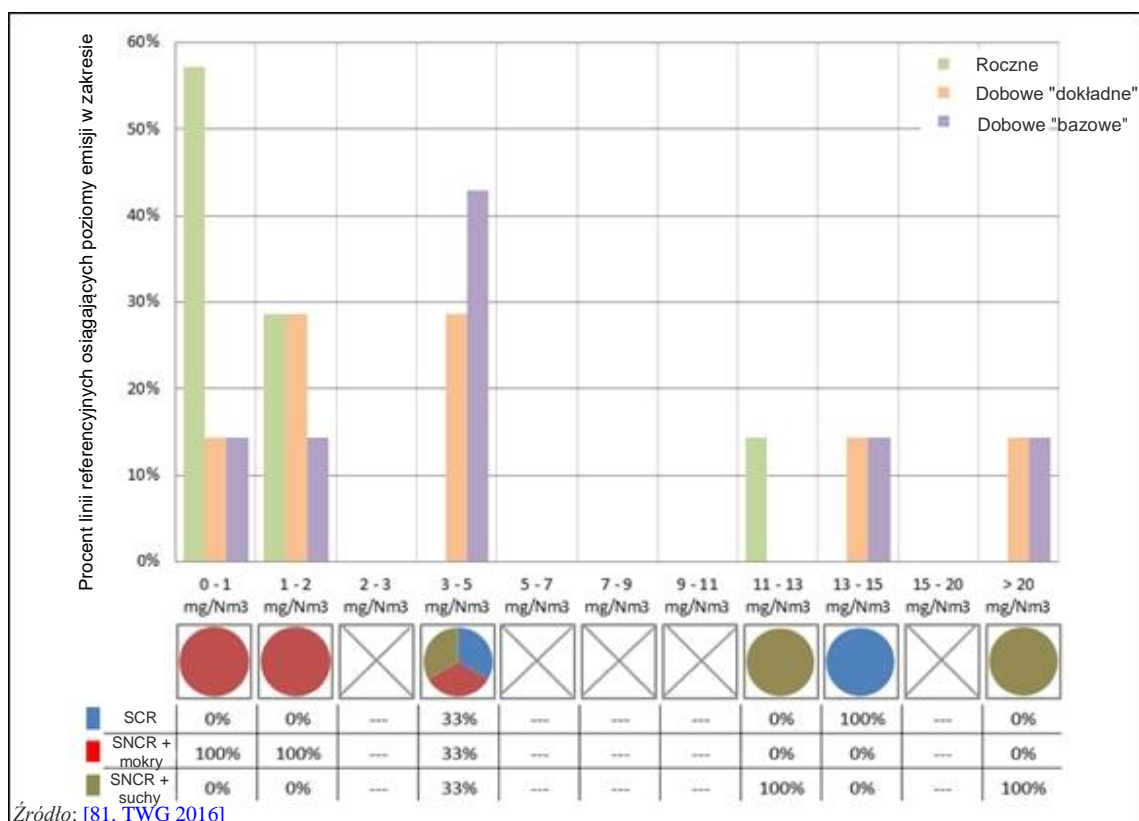
Dane dotyczące emisji amoniaku, oparte na pomiarach ciągłych lub okresowych, przedstawiono na poniższych ilustracjach, w uproszczonej formie w ramach niniejszego rozdziału oraz szczegółowo w załączniku 8.6 i 8.8. Półgodzinne poziomy emisji przedstawiono w załączniku 8.7:

- Ilustracja 3.57, dla 14 linii referencyjnych spalających głównie HW i monitorujących NH₃ okresowo. Odpowiedni szczegółowy wykres przedstawiono na ilustracji 8.141.
- Ilustracja 3.58, dla 7 linii referencyjnych spalających głównie HW i monitorujących NH₃ w sposób ciągły. Odpowiednie wykresy szczegółowe to ilustracja 8.48 dla dobowych i rocznych poziomów emisji oraz ilustracja 8.101 dla półgodzinnych poziomów emisji.

Dla każdego zakresu koncentracji emisji reprezentowanego na osi poziomej wykresy kołowe poniżej pokazują udział linii referencyjnych wśród tych, które osiągnęły poziomy emisji w danym zakresie i które zostały wyposażone w: SCR; SNCR a następnie w płuczkę gazową mokrą; SNCR a następnie techniki suche (emisje z zakładów, które nie stosują dodatkowej techniki de-NO_x nie mają znaczenia dla wydzielenia się amoniaku).



Ilustracja 3.57 Okresowy monitoring emisji NH₃ do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie HW



Ilustracja 3.58 Ciągły monitoring emisji NH₃ do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie HW

Z wyjątkiem zakładu DE32R, który został wyposażony w SNCR bez późniejszego systemu mokrego ograniczania emisji i który zgłasza poziomy emisji NH₃ bliskie 12 mg/Nm³ jako średnią roczną i 78 mg/Nm³ jako maksymalną średnią dobową, poziomy emisji uzyskane przez obiekty stale monitorujące amoniak wynoszą od 0.3 mg/Nm³ do 1.8 mg/Nm³ jako średnia roczna i od 1 mg/Nm³ do 13 mg/Nm³ jako maksymalna średnia dobowa.

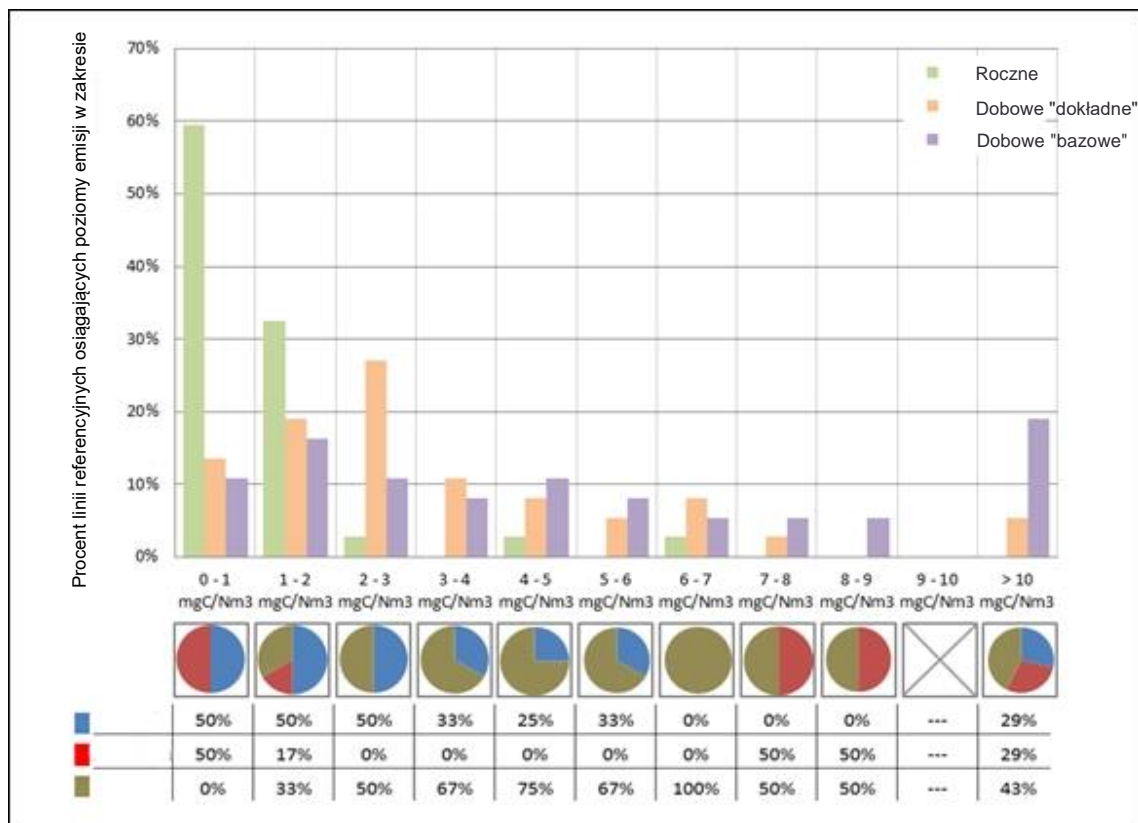
Wszystkie obiekty, oprócz jednego, które zgłosiły dane do monitorowania okresowego, wyposażone zostały w system mokrego obniżania emisji i wszystkie zgłaszają emisje poniżej 2.3 mg/Nm³.

Zgłoszone dane nie wskazują na wyraźną korelację pomiędzy osiągniętymi poziomami emisji a rodzajem i ilością stosowanego odczynnika lub wiekiem i wielkością zakładu. Wszystkie zakłady to spalarnie z piecem obrotowym.

Całkowita zawartość lotnych związków organicznych (TVOC, całkowite LZO)

Dane dotyczące emisji TVOC dla 37 linii referencyjnych spalających głównie HW, oparte na pomiarach ciągłych, przedstawiono w formie uproszczonej na ilustracji 3.59. Odpowiednie szczegółowe wykresy to ilustracja 8.49 w załączniku 8.6 dla dobowych i rocznych poziomów emisji oraz ilustracja 8.102 w załączniku 8.7 dla półgodzinnych poziomów emisji.

Dla każdego zakresu koncentracji emisji reprezentowanego na osi poziomej wykresy kołowe poniżej pokazują udział linii referencyjnych wśród tych, które osiagają poziomy emisji w danym zakresie i które mieszczą się w różnych klasach wielkości (progi dla małych, średnich i dużych zakładów zostały opisane na wstępie rozdziału 3).



Ilustracja 3.59 Ciągły monitoring emisji TVOC do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie HW

We wszystkich przypadkach, z wyjątkiem dwóch, poziomy emisji wahają się od wartości zbliżonej do granicy oznaczalności do 2 mg/Nm³ jako średnia roczna i 8 mg/Nm³ jako maksymalna średnia dobową (przy zastosowaniu "dokładnej" filtracji danych). W przypadku niektórych linii referencyjnych maksymalna średnia dobową wykazuje wyższe wartości szczytowe emisji przy stosowaniu "bazowej" filtracji danych, związane zasadniczo z OTNOC.

Zgłoszone dane nie wskazują na wyraźną korelację pomiędzy osiągniętymi poziomami emisji a zastosowaną techniką, rodzajem i ilością stosowanego odczynnika lub wiekiem i wielkością zakładu. Wszystkie zakłady to spalarnie z piecem obrotowym.

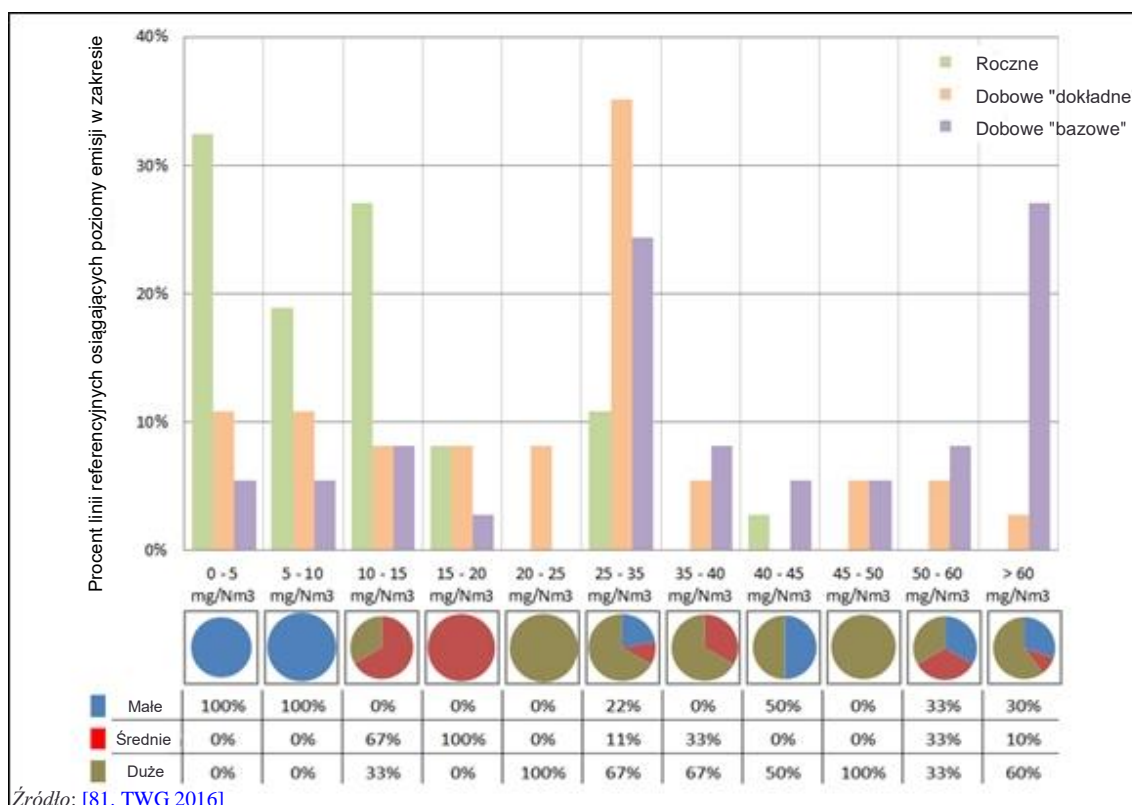
Tlenek węgla (CO)

Efektywność spalania jest częściowo opisana przez poziomy emisji CO, co wskazuje również na powstawanie innych produktów niepełnego spalania.

CO jest zanieczyszczeniem związanym zazwyczaj z niską emisją bazową, ale okresowo wykazującą ostre wartości szczytowe, związane z nagłymi zmianami w lokalnych warunkach spalania (np. zmiany temperatury w częściach pieca). Monitorowanie oraz kontrola tych "szczytów" emisji jest ważnym aspektem w codziennej pracy spalarni. Dzięki wstępnemu przetwarzaniu odpadów w beczkach oraz ujednorodnieniu wsadu możliwe jest ograniczenie liczby oraz wielkości "szczytów" emisji CO.

Dane dotyczące emisji CO dla 38 linii referencyjnych spalających głównie HW, oparte na pomiarach ciągłych, przedstawiono w formie uproszczonej na ilustracji 3.60. Odpowiednie szczegółowe wykresy to ilustracja 8.50 w załączniku 8.6 dla dobowych i rocznych poziomów emisji oraz ilustracja 8.103 w załączniku 8.7 dla półgodzinnych poziomów emisji.

Dla każdego zakresu koncentracji emisji reprezentowanego na osi poziomej wykresy kołowe poniżej pokazują udział linii referencyjnych wśród tych, które osiągają poziomy emisji w danym zakresie i które mieszczą się w różnych klasach wielkości (progi dla małych, średnich i dużych zakładów zostały opisane na wstępie rozdziału 3).



Ilustracja 3.60 Ciągły monitoring emisji CO do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie HW

Poziomy emisji wahają się od wartości zbliżonej do granicy oznaczalności do 42 mg/Nm³ jako średnia roczna oraz od 2 mg/Nm³ do 72 mg/Nm³ jako maksymalna średnia dobową (przy zastosowaniu "dokładnej" filtracji danych). Podobnie jak w przypadku emisji TVOC, w niektórych sytuacjach obserwuje się wyższe szczyty emisji w wartościach uzyskanych w ramach "bazowej" filtracji danych, zasadniczo związane z OTNOC.

Zgłoszone dane nie wskazują na wyraźną korelację pomiędzy osiągniętymi poziomami emisji a zastosowaną techniką, rodzajem i ilością stosowanego odczynnika lub wiekiem i wielkością zakładu.

Polichlorowane dibenzo-p-dioksyny i furany (PCDD/F), polichlorowany bifenyl (PCB, C₁₂H_{10-x}Cl_x) oraz wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (PAH, WWA)

Dla osiągnięcia niskich poziomów emisji PCDD/F ważne są zarówno zastosowane techniki podstawowe, jak i dodatkowe. W systemie spalania efektywne mieszanie gazów (wysoka turbulencja) poprawia niszczenie PCDD/F oraz podobnych związków obecnych w odpadach. Unikanie zakresu temperatur rekombinacji PCDD/F i podobnych związków w kotle a także w systemie oczyszczania spalin pozwala na uniknięcie syntezy *de novo* PCDD/F.

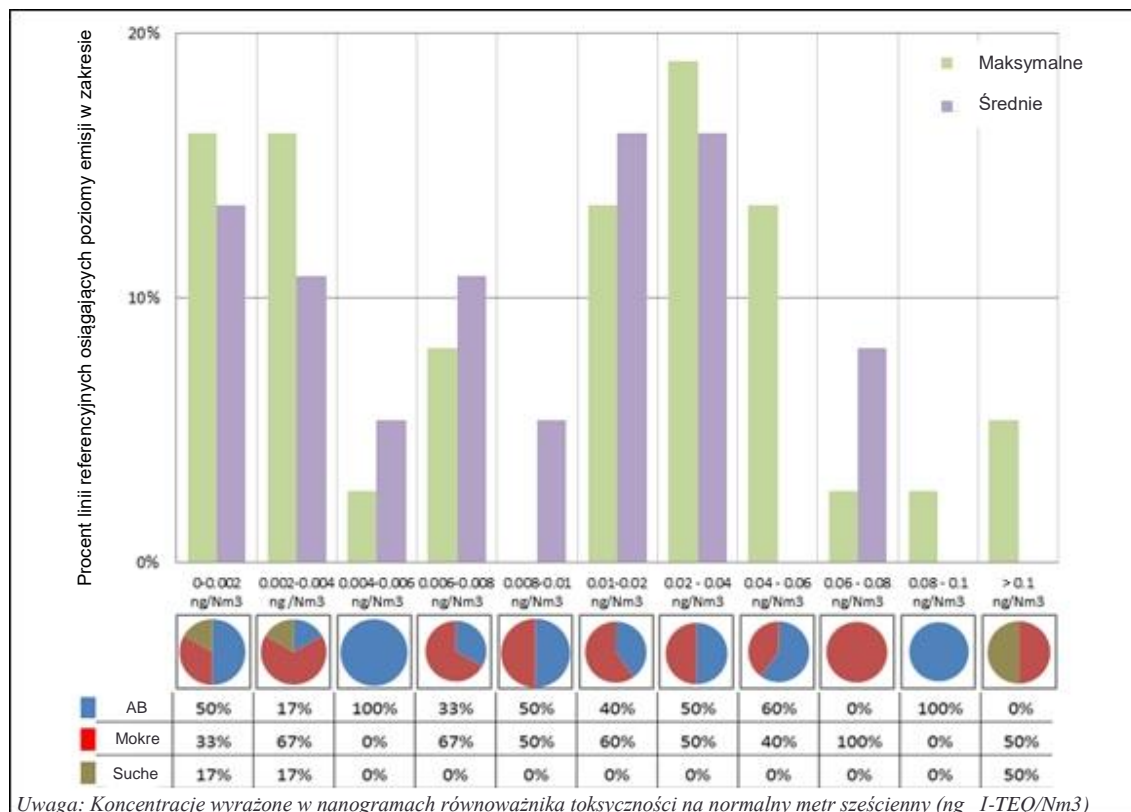
Celem dodatkowej redukcji stosowane są cztery główne rodzaje technik:

1. Filtr z węglem aktywnym i złożem ruchomym lub stałym.
2. Filtr workowy z wtryskiem węgla aktywnego (zwykle zmieszanego z innymi odczynnikami).
3. Zniszczenie gazowego PCDD/F na katalizatorze.
4. Adsorpcja PCDD/F w materiałach wypełniających wykonanych z materiału polimerowego impregnowanego węglem, w płuczkach gazowych mokrych lub w złożach stałych.

Zaletą stosowania węgla aktywnego jest również zmniejszenie emisji rtęci. Katalizatory stosowane są głównie do redukcji emisji NO_x.

Dane dotyczące emisji PCDD/F dla 37 linii referencyjnych spalających głównie HW, oparte na pomiarach okresowych, przedstawiono w uproszczonej formie na ilustracji 3.61. Odpowiedni szczegółowy wykres przedstawiono na ilustracji 8.142 w załączniku 8.8.

Dla każdego zakresu koncentracji emisji reprezentowanego na osi poziomej wykresy kołowe poniżej pokazują udział linii referencyjnych wśród tych, które osiągają poziomy emisji w danym zakresie i które: zostały wyposażone w stałe złoża adsorpcyjne; nie posiadają stałego złoża adsorpcyjnego i płuczki gazowej mokrej; nie posiadają stałego złoża adsorpcyjnego i suchych technik FGC.



Źródło: [81. TWG 2016]

Ilustracja 3.61 Okresowy monitoring emisji PCDD/F do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie HW

Poziomy emisji mieszczą się we wszystkich przypadkach, z wyjątkiem pięciu, pomiędzy wartością zbliżoną do granicy oznaczalności a 0.06 ng I-TEQ/Nm³, z wyjątkiem jednej linii referencyjnej wykazującej poziom 0.06 ng I-TEQ/Nm³, zarówno dla średniej z okresu pobierania próbek, jak i dla średniej długoterminowej. W trzech przypadkach maksymalne poziomy emisji są wyższe niż 0.1 ng I-TEQ/Nm³. Wszystkie zakłady wyposażone w stałe złoża adsorpcyjne wykazują poziomy emisji poniżej 0.1 ng I-TEQ/Nm³, a tylko jeden przekracza 0.06 ng I-TEQ/Nm³.

Zgłoszone dane nie wskazują na wyraźną korelację pomiędzy osiągniętymi poziomami emisji a rodzajem i ilością stosowanego odczynnika lub wiekiem i wielkością zakładu. Większość zakładów to spalarnie z piecem obrotowym.

Opisane dotychczas dane dotyczące emisji PCDD/F dotyczą wyłącznie emisji mierzonych okresowo przy typowym (krótkoterminowym) czasie pobierania próbek wynoszącym 6-8 godzin. Wzrasta jednak również doświadczenie z długoterminowymi pomiarami emisji PCDD/F, z próbkowaniem w okresach 2-4 tygodni.

Celem porównania poziomów emisji mierzonych z krótkoterminowym i długoterminowym pobieraniem próbek, w załączniku 8.9 przedstawiono i przeanalizowano dane dotyczące emisji dostarczone przez 142 linie referencyjne, w tym 25 linii HWI z Belgii i Francji, które

przeprowadziły zarówno długo-, jak i krótkoterminowe pomiary (w tym samym okresie czasu).

Polichlorowane bifenyle (PCB) oraz wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (PAH) usuwane są tymi samymi technikami co PCDD/F, co oznacza, że skuteczny system oczyszczania spalin dla PCDD/F będzie również zajmował się PCB oraz PAH.

Dane dotyczące emisji dioksynopodobnych PCB przez zakłady spalające głównie HW opierają się na pomiarach okresowych i zostały przedstawione na ilustracji 8.143.

Sześć linii referencyjnych zgłosiło poziomy emisji dla dioksynopodobnych PCB. Maksymalna odnotowana wartość wynosi 0.18 ng WHO-TEF. Jest to jedyny przypadek, w którym poziom emisji dioksynopodobnych PCB jest wyższy od poziomu emisji PCDD/F (zob. ilustracja 8.118).

Dane dotyczące emisji PAH i BaP opierają się na pomiarach okresowych i zostały przedstawione w załączniku 8.8 na następujących ilustracjach:

- Ilustracja 8.144 - emisje PAH (WWA) dla 9 linii referencyjnych spalających głównie HW;
- Ilustracja 8.145 - emisje BaP dla 13 linii referencyjnych spalających głównie HW.

Zgłoszone poziomy emisji dla BaP wynoszą w większości przypadków poniżej 0.025 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$, przy czym trzy linie referencyjne podają poziomy emisji od 0.2 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ do 0.3 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

Rtęć (Hg)

Zdecydowana większość zakładów wykorzystuje węgiel aktywny, albo jako system ze stałym złożem albo w systemie wtrysku węgla aktywnego z przepływem. Szybkość zużycia, jak również jakość węgla aktywnego (np. bromowanego lub impregnowanego siarką) mają bezpośredni wpływ na poziom emisji. Inne, rzadziej stosowane techniki to stosowanie zeolitów lub wychwytywanie rtęci w kwaśnej płuczce mokrej, która może służyć jako pochłaniacz rtęci, jeśli jest ona obecna w postaci chlorku Hg(II). Rtęć, która zostanie przeniesiona ze strumienia gazu do płuczki, może zostać następnie usunięta przez oczyszczalnię ścieków.

Jeśli rtęć występuje w postaci metalicznej, konieczne jest zastosowanie środków utleniających, takich jak wtrysk bromowanego węgla aktywnego lub dodanie bromu w kotle. Niektóre spalarnie HW wykorzystują odczynniki takie jak nadtlenek wodoru do wspomaganie utleniania rtęci, a tym samym znacznie zwiększają jej wychwytywanie w płuczce gazowej mokrej (zob. również techniki usuwania rtęci). [74. TWG 2004]

Pod pewnymi warunkami (np. wysoki poziom wsadu rtęci) limity wydajności usuwania przez systemy FGC mogą zostać przekroczone, co prowadzi do czasowo podwyższonych emisji rtęci. Może to być spowodowane przez sytuacje, w których poziomy wydajności linii referencyjnej dla różnych okresów uśredniania wykazują duże wahania.

Rtęć w spalinach pochodzi z odpadów zawierających Hg. Istnieje bezpośredni liniowy związek pomiędzy ilością rtęci w nieprzetworzonych spalinach a ilością rtęci w odpadach. W przypadku jednej instalacji wyposażonej w system oczyszczania gazów na mokro oraz filtr z węglem aktywnym oblicza się, że całkowity wsad rtęci dostarczony razem z odpadami wynosi 1 000 kg/rok, przy zdolności spalania odpadów przez tą instalację wynoszącej 50 000 t/rok. Biorąc pod uwagę maksymalną roczną wartość emitowanej w spalinach rtęci wynoszącą mniej niż 1.25 kg oznacza to całkowitą wydajność usuwania rtęci na poziomie 99.99%.

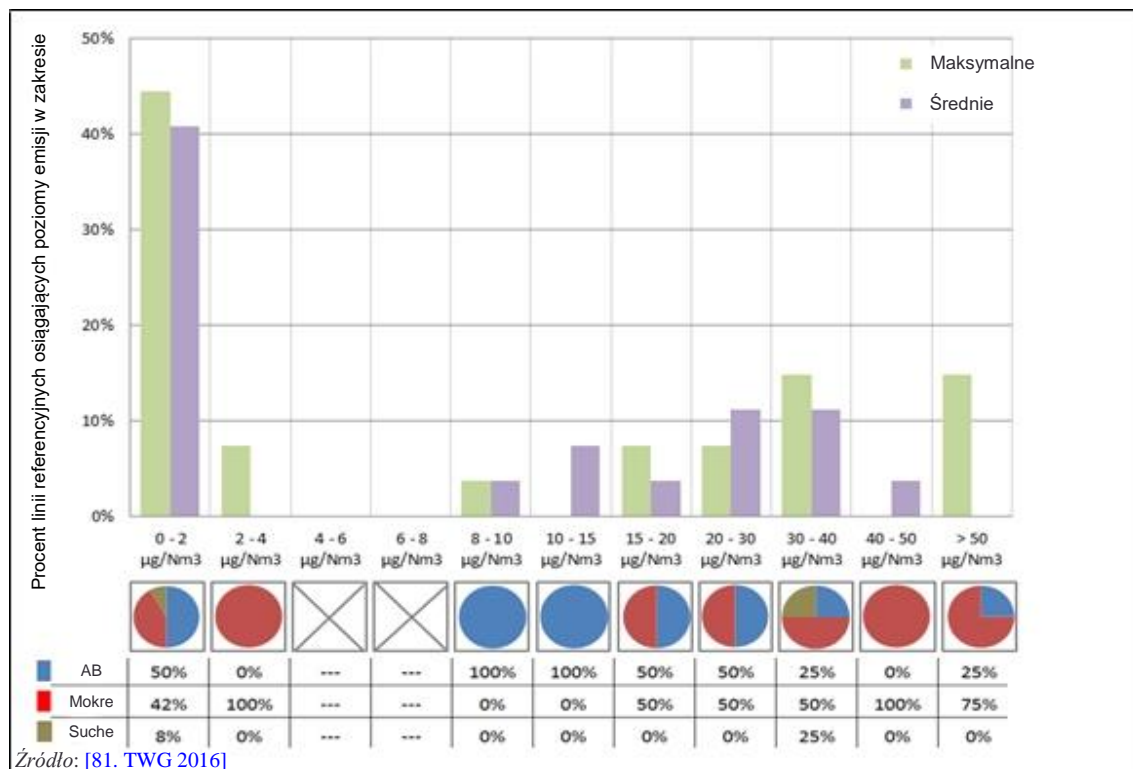
Instalacje zajmujące się odpadami o stałym lub czasowo wysokim udziale rtęci są w stanie podjąć środki operacyjne, takie jak dodawanie odczynników zawierających siarkę do systemu mokrego płukania lub wtłaczanie wysokoaktywnego bromowanego czy impregnowanego siarką węgla aktywnego, celem zwiększenia wydajności usuwania rtęci. W związku z tym ważne jest kontrolowanie ilości wprowadzanych odpadów pod kątem zawartości w nich rtęci lub stałe monitorowanie rtęci.

Dane dotyczące emisji rtęci oparte są na pomiarach ciągłych lub okresowych i przedstawione zostały na poniższych ilustracjach, w uproszczonej formie w ramach niniejszego rozdziału oraz szczegółowo w załącznikach 8.6 i 8.8. Półgodzinne poziomy emisji przedstawione zostały w załączniku 8.7:

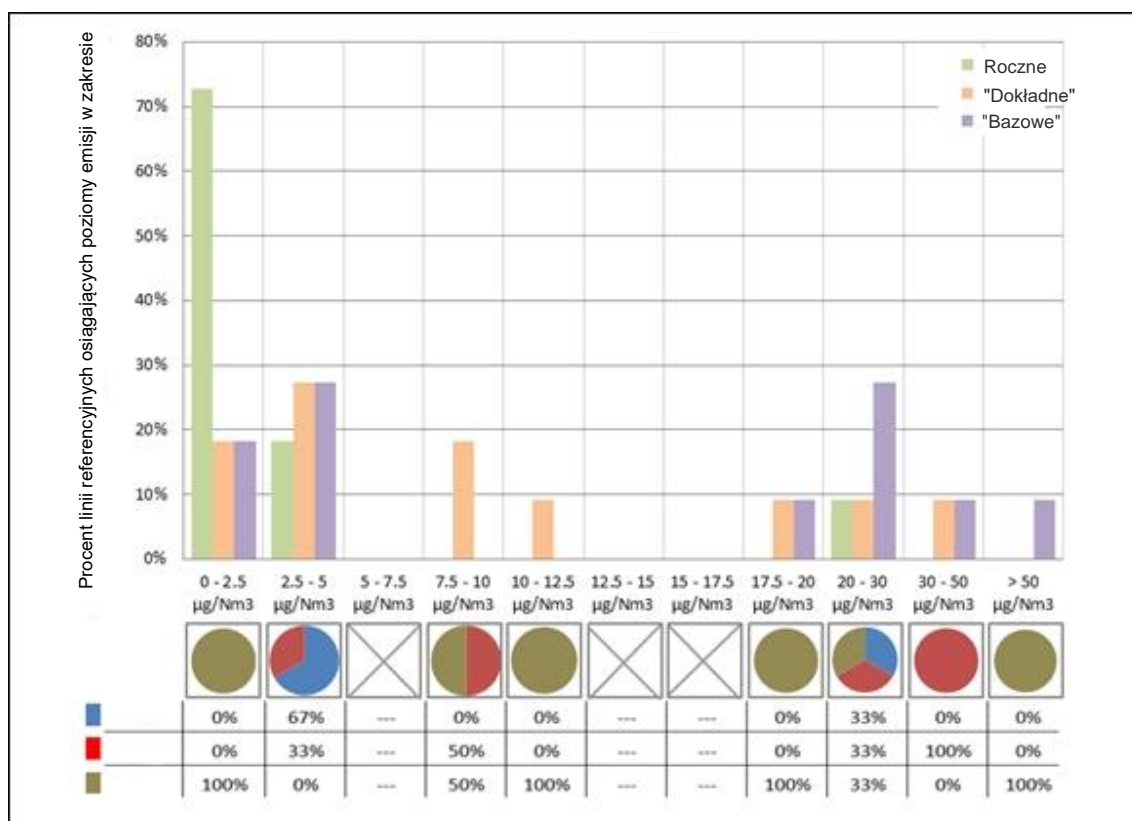
- Ilustracja 3.62 dla poziomów emisji 27 linii referencyjnych spalających głównie HW i monitorujących Hg okresowo. Odpowiedni szczegółowy wykres przedstawiono na ilustracji 8.146.
- Ilustracja 3.63 dla dobowych i rocznych poziomów emisji 11 linii referencyjnych spalających głównie HW i monitorujących Hg w sposób ciągły. Odpowiedni szczegółowy wykres przedstawiono na ilustracji 8.51.
- Ilustracja 3.64 dla półgodzinnych poziomów emisji 11 linii referencyjnych spalających głównie HW i monitorujących Hg w sposób ciągły. Odpowiedni szczegółowy wykres przedstawiono na ilustracji 8.104.
- Ilustracja 3.65 dla miesięcznych poziomów emisji 11 linii referencyjnych spalających głównie HW i monitorujących Hg w sposób ciągły. Odpowiedni szczegółowy wykres przedstawiono na ilustracji 8.105.

Dla każdego zakresu koncentracji emisji reprezentowanego na osi poziomej, wykresy kołowe poniżej pokazują udział linii referencyjnych wśród tych które osiągają poziomy emisji w danym zakresie i które: zostały wyposażone w stałe złoża adsorpcyjne; nie posiadają stałego złoża adsorpcyjnego oraz płuczki gazowej mokrej; nie posiadają stałego złoża adsorpcyjnego oraz suchych technik FGC.

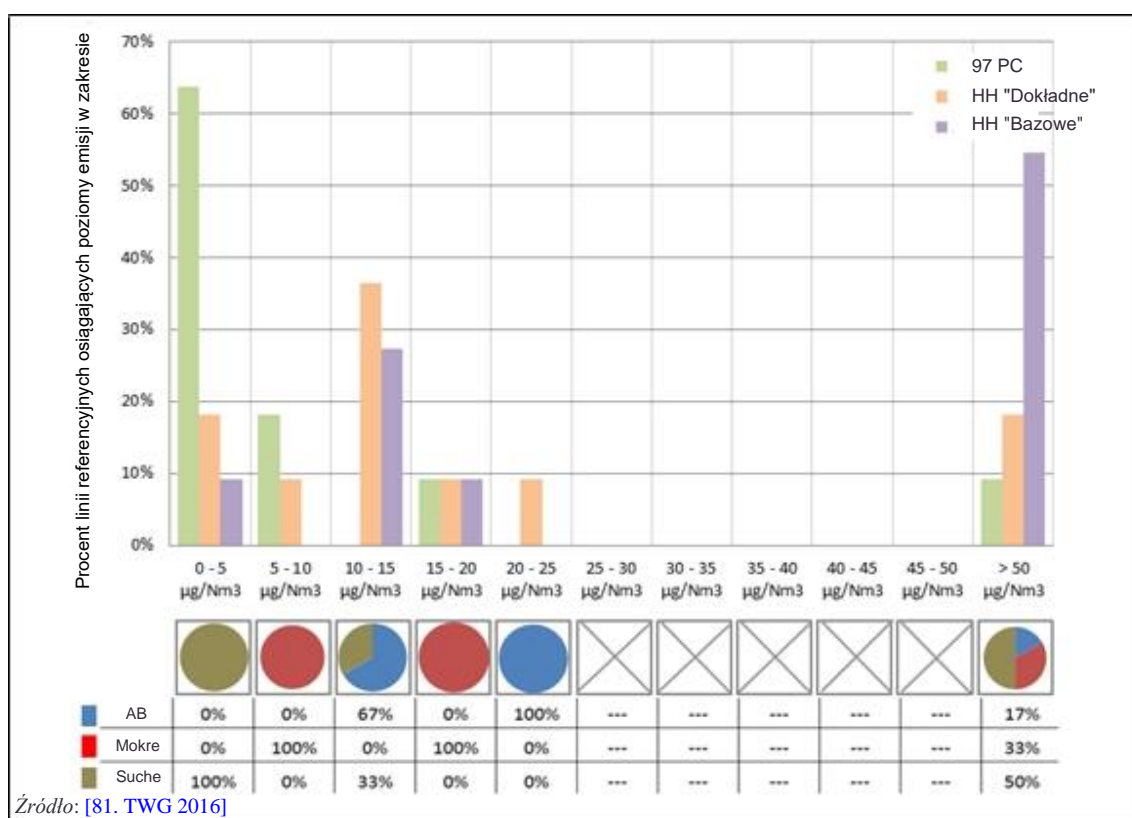
Poziomy miesięczne przedstawione na ilustracji 3.65 opierają się na danych z ciągłego monitoringu i dostarczają informacji o poziomach emisji osiągniętych podczas pomiarów rtęci z okresem uśredniania typowym dla długoterminowych metod pobierania próbek. Poziomy miesięczne, na które w niewielkim stopniu wpływają szczyty (piki) krótkoterminowe, przedstawione zostały jedynie z zastosowaniem filtra "bazowego".



Ilustracja 3.62 Okresowy monitoring emisji Hg do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie HW

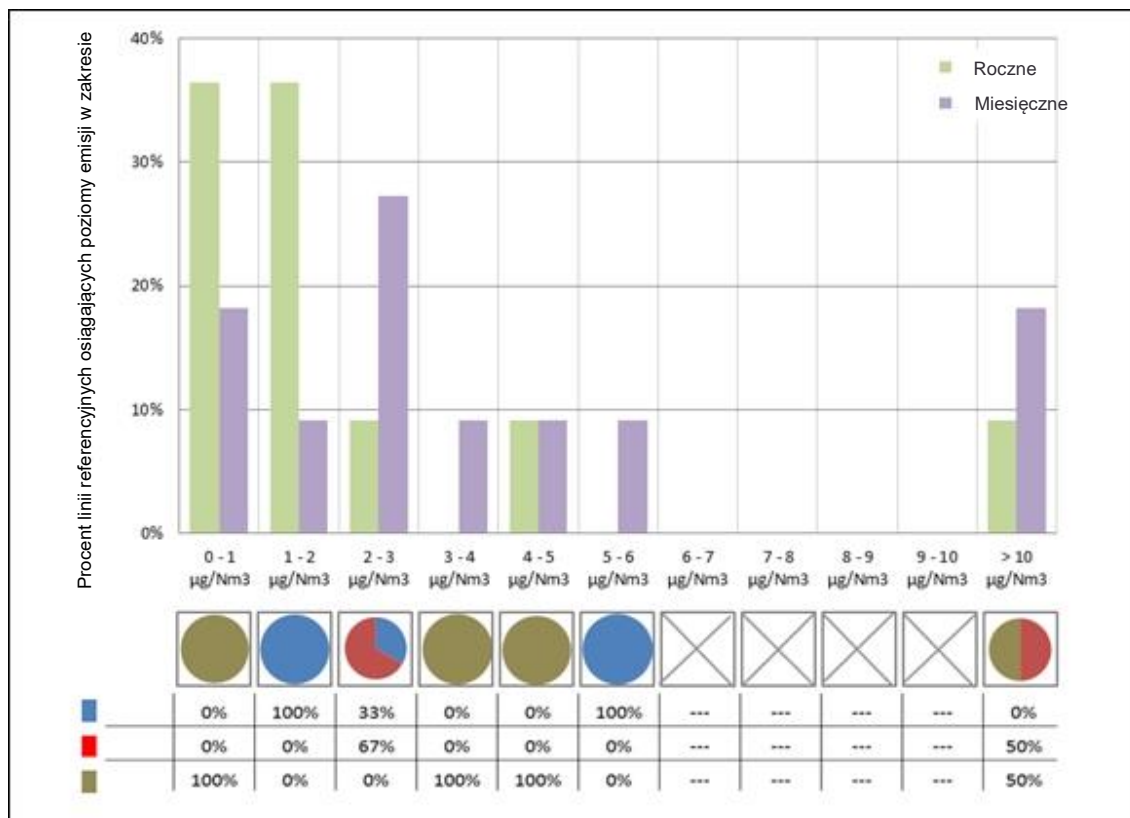


Ilustracja 3.63 Ciągły monitoring emisji Hg do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie HW - dobowe oraz roczne poziomy emisji



Źródło: [81. TWG 2016]

Ilustracja 3.64 Ciągły monitoring emisji Hg do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie HW - półgodzinne poziomy emisji



Ilustracja 3.65 Ciągły monitoring emisji Hg do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie HW - miesięczne poziomy emisji

Z wyjątkiem jednego obiektu (FR110) poziomy emisji mieszczą się w przedziale pomiędzy wartością zbliżoną do granicy oznaczalności a 0.004 mg/Nm³ jako średnia roczna, 0.01 mg/Nm³ jako średnia miesięczna oraz 0.024 mg/Nm³ jako maksymalna średnia dobowa (przy zastosowaniu "dokładnej" filtracji danych). W niektórych przypadkach maksymalna średnia dobowa uzyskana z zastosowaniem "bazowej" filtracji danych może być znacznie wyższa (do 0.036 mg/Nm³), co może odzwierciedlać nie tylko wysokie "epizody" wsadu rtęci, ale także sytuacje OTNOC, podczas których średnia dobowa obejmowała zazwyczaj tylko kilka półgodzinnych okresów w czasie których mierzone poziomy rtęci były podwyższone.

Zakład FR110 podaje 0.021 mg/Nm³ jako średnią roczną, 0.04 mg/Nm³ jako maksymalną średnią miesięczną, oraz maksymalne średnie dobowe obejmujące zakres od 0.032 mg/Nm³ do 0.38 mg/Nm³, zarówno z filtracją danych "dokładną" jak i "bazową".

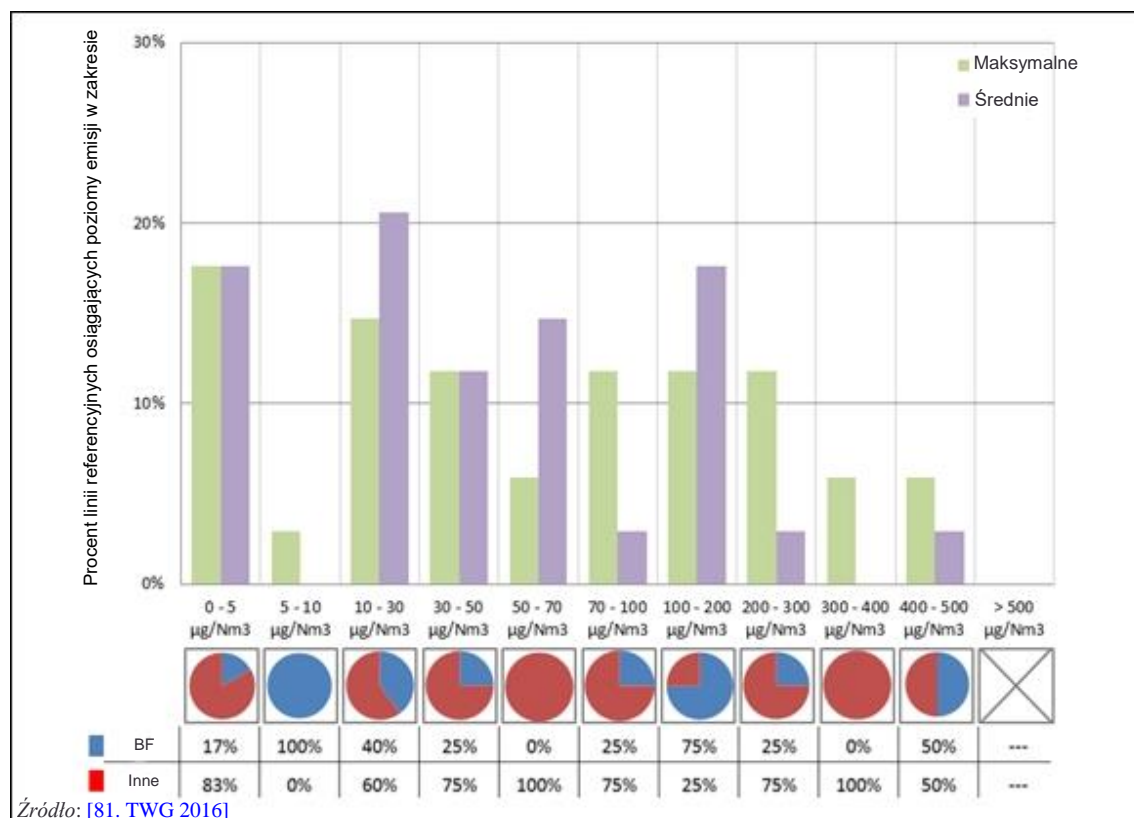
Ponad połowa zakładów dokonujących okresowych pomiarów rtęci zgłasza średnie wartości w okresie pobierania próbek poniżej 0.003 mg/Nm³, osiem obiektów zgłasza wartości między 0.009 mg/Nm³ a 0.038 mg/Nm³, a cztery obiekty zgłaszają wartości pomiędzy 0.054 mg/Nm³ a 0.095 mg/Nm³. Większość zakładów osiągających najlepsze wyniki używa stałego złoża adsorpcyjnego i/lub wstrzykuje nadtlenek wodoru do płuczki gazowej mokrej. Jeden z zakładów zgłaszających stosowanie płuczki gazowej mokrej z nadtlakiem wodoru (SE21R) zgłosił najwyższy dopuszczalny poziom przekraczający 0.06 mg/Nm³ ale ustalono, że dotyczyło to nieprawidłowego działania oczyszczalni ścieków, w wyniku czego woda zanieczyszczona rtęcią została ponownie wprowadzona do systemu chłodzenia.

Zgłoszone dane nie wykazują wyraźnej korelacji pomiędzy osiągniętymi poziomami emisji a ilością wykorzystanego węgla aktywnego lub wiekiem i wielkością zakładu. Większość zakładów to spalarnie z piecem obrotowym.

Antymon (Sb), arsen (As), chrom (Cr), kobalt (Co), miedź (Cu), ołów (Pb), mangan (Mn), nikiel (Ni) oraz wanad (V)

Techniki stosowane do usuwania pyłu są również głównymi metodami ograniczania emisji metali związanych z pyłem. Dane dotyczące emisji [Sb+As+Cr+Co+Cu+Pb+Mn+Ni+V], oparte na pomiarach okresowych, przedstawiono w uproszczonej formie, dla 34 linii referencyjnych spalających głównie HW, na ilustracji 3.66. Odpowiedni szczegółowy wykres przedstawiono na ilustracji 8.147 w załączniku 8.8.

Dla każdego zakresu koncentracji emisji reprezentowanego na osi poziomej wykresy kołowe poniżej pokazują udział linii referencyjnych wśród tych, które osiągają poziomy emisji w danym zakresie i które zostały wyposażone w filtr workowy oraz inne techniki (takie jak ESP).



Ilustracja 3.66 Okresowy monitoring emisji Sb+As+Cr+Co+Cu+Pb+Mn+Ni+V do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie HW

Poziomy emisji wahają się od wartości zbliżonej do granicy oznaczalności do 0.33 mg/Nm³, z wyjątkiem dwóch linii referencyjnych wykazujących poziom 0.48 mg/Nm³ jako maksymalną wartość średnich w okresie pobierania próbek.

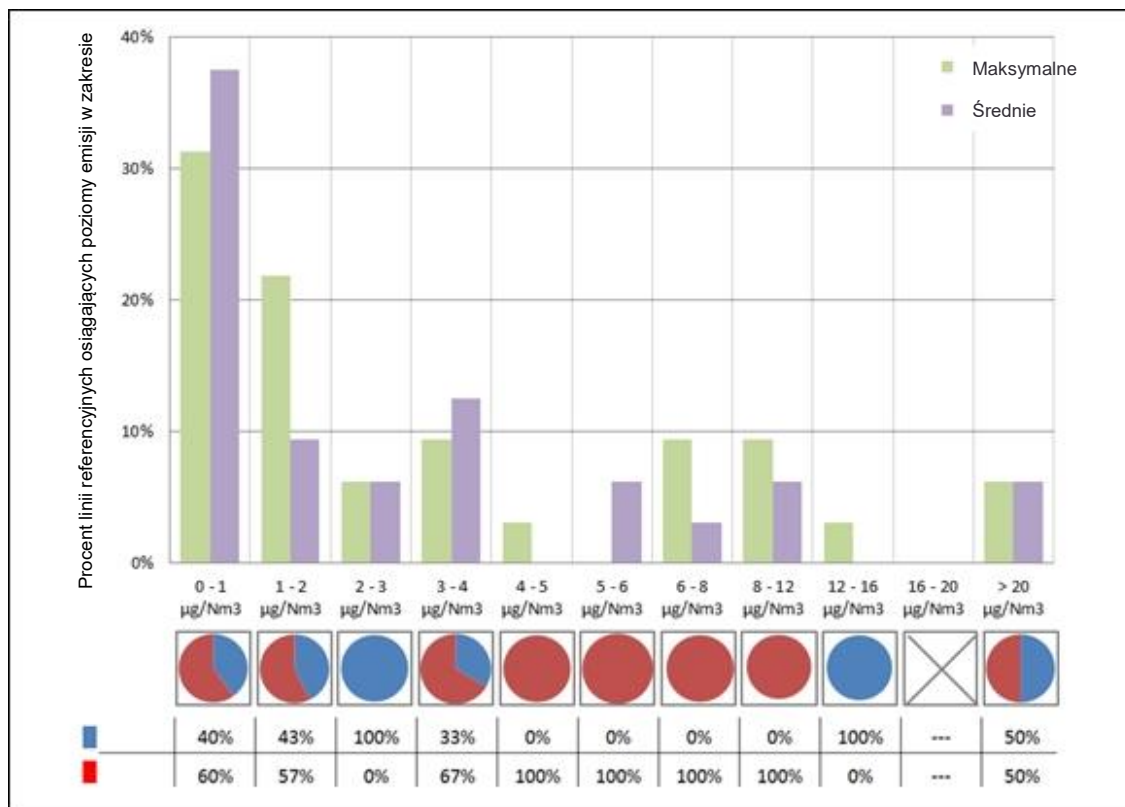
Wszystkie cztery zakłady zgłaszające poziomy powyżej 0.3 mg/Nm³ to małe zakłady, a dwa z nich to instalacje spalające płynne pozostałości z przemysłu chemicznego.

Kadm (Cd) oraz tal (Tl)

Metody stosowane do usuwania pyłu są również głównymi technikami zmniejszającymi emisję metali zawartych w pyle.

Dane dotyczące emisji [Cd+Tl], oparte na pomiarach okresowych, przedstawiono w uproszczonej formie na ilustracji 3.67, dla 32 linii referencyjnych spalających głównie HW. Odpowiedni szczegółowy wykres znajduje się na ilustracji 8.148 w załączniku 8.8.

Dla każdego zakresu koncentracji emisji reprezentowanego na osi poziomej wykresy kołowe poniżej pokazują udział linii referencyjnych wśród tych, które osiągają poziomy emisji w danym zakresie i które zostały wyposażone w filtr workowy oraz inne techniki (takie jak ESP).



Ilustracja 3.67 Okresowy monitoring emisji Cd+Tl do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie HW

Poziomy emisji wahają się od wartości zbliżonej do granicy oznaczalności do 0.021 mg/Nm³, z wyjątkiem linii referencyjnej FR107R, spalarni płynnych pozostałości z przemysłu chemicznego, która podaje poziom 2.83 mg/Nm³ jako maksymalną wartość średnich w okresie pobierania próbek.

Zgłoszone dane nie wskazują na wyraźną korelację pomiędzy osiągniętymi poziomami emisji a stosowaną techniką lub wiekiem i wielkością zakładu.

3.2.2.4 Emisje do powietrza pochodzące ze spalania odpadów medycznych.

Gromadzenie danych w 2016 r. obejmuje trzy linie referencyjne spalające głównie odpady medyczne. Tylko jedna z nich dostarczyła wystarczająco kompletne dane pochodzące z monitorowania prowadzonego w sposób ciągły.

W tabeli 3.7 podsumowano dane pochodzące z monitorowania ciągłego w spalarni odpadów medycznych.

Tabela 3.7 Ciągły monitoring emisji z linii referencyjnych spalających głównie odpady medyczne.

Linia referencyjna	Techniki	NO _x (mg/Nm ³)			CO (mg/Nm ³)			Pył (mg/Nm ³)		
		Maks. Dobowe Bazowe	Maks. Dobowe Dokładne	Roczne	Maks. Dobowe Bazowe	Maks. Dobowe Dokładne	Roczne	Maks. Dobowe Bazowe	Maks. Dobowe Dokładne	Roczne
NL04	BF, WS, DSI, SCR	91.7	91.7	63.9	46.5	23.0	10.5	0.14	0.14	0.09

Uwagi:
 NL04 jest zakładem zgazowania (wiek zakładu = stary + wielkość zakładu = mały).
 Zainstalowane techniki: BF = filtr workowy; WS = płuczka gazowa mokra; DSI = wtrysk suchego sorbentu; SCR = selektywna redukcja katalityczna.
 Źródło: [81. TWG 2016]

Zakład to instalacja zgazowania wyposażona w SCR do redukcji NO_x, osiągająca jako maksymalną średnią dobową wartość poniżej 100 mg/Nm³.

Średni roczny poziom emisji CO wynosi 10.5 mg/Nm³, a maksymalna średnia dobową 23 mg/Nm³ oraz 46.5 mg/Nm³ przy zastosowaniu "dokładnej" i "bazowej" filtracji danych.

Zgłoszone emisje pyłu są niezwykle niskie i stabilne, z minimalną różnicą pomiędzy średnią roczną (0.09 mg/Nm³) a maksymalną średnią dobową (0.14 mg/Nm³). Linia referencyjna została wyposażona w filtr workowy.

Tabele 3.8 i 3.9 podsumowują okresowo monitorowane dane dotyczące emisji z trzech linii referencyjnych spalających głównie odpady medyczne i uczestniczących w gromadzeniu danych w roku 2016.

Tabela 3.8 Okresowy monitoring emisji z linii referencyjnych spalających głównie odpady medyczne (1 z 2)

Linia referencyjna	Techniki	Stosowane odczynniki	Hg (mg/Nm ³)		Cd+Tl (mg/Nm ³)		Wszystkie metale (mg/Nm ³)	
			Maks.	Średnie	Maks.	Średnie	Maks.	Średnie
UK14.1	BF, DSI	Wapno hydratyzowane (gaszone) Węgiel aktywny	0.02	0.0003	0.004	0.001 0.2	0.202	0.160
UK14.2	BF, DSI	hydratyzowane (gaszone) Węgiel aktywny	0.02	NI	0.004	NI	0.202	NI

Uwagi: zobacz w tabeli 3.9.

Tabela 3.9 Okresowy monitoring emisji z linii referencyjnych spalających głównie odpady medyczne (2 z 2)

Linia referencyjna	Techniki	Stosowane odczynniki	HF (mg/Nm ³)		PCDD/F (ng I-TEQ/Nm ³)		PCB (ng WHO-TEF/Nm ³)		PAH (µg/Nm ³)	
			Maks.	Średnie	Maks.	Średnie	Maks.	Średnie	Maks.	Średnie
UK14.1	BF, DSI	Wapno hydratyzowane (gaszone) Węgiel aktywny	1.2	0.4	0.02	0.006	0.011	0.006	3.2	1.9
UK14.2	BF, DSI	Wapno hydratyzowane (gaszone) Węgiel aktywny	1.2	NI	0.02	NI	0.011	NI	3.2	NI
NL04	BF, WS, DSI, SCR	NI	0	NI	0.01	NI	NI	NI	NI	NI

Uwagi:
 NI = Brak danych. Nie dostarczono danych dotyczących: NH₃, BaP.
 Zakłady UK14.1 i UK 14.2 to linie referencyjne z typem pieca = inny, wiek zakładu = stara instalacja / modernizacja do obecnej konfiguracji po roku 2006, wielkość = małe zakłady.
 NL04 jest zakładem zgazowania (wiek zakładu = stary + wielkość zakładu = mały).
 Zainstalowane techniki: BF = filtr workowy; WS = płuczka gazowa mokra; DSI = wtrysk suchego sorbentu; SCR = selektywna redukcja katalityczna.
 Wapno hydratyzowane = wapno hydratyzowane o wysokiej powierzchni właściwej / wysokiej porowatości.
 Źródło: [81. TWG 2016]

3.3 Emisje do wody

3.3.1 Objętości ścieków pochodzących z oczyszczania spalin

[1. UBA 2001]

W procesie spalania znaczne ilości ścieków powstają jedynie w mokrych systemach FGC. Inne systemy oczyszczania spalin (suche i półsuche) zazwyczaj nie wytwarzają żadnych ścieków. W niektórych przypadkach ścieki z mokrych systemów FGC są odparowywane, a w innych oczyszczane i ponownie wykorzystywane i/lub odprowadzane.

W tabeli 3.10 przedstawiono przykłady typowych ilości wody płuczkowej powstającej w spalarniach odpadów podczas oczyszczania spalin.

Tabela 3.10 Typowe ilości wody płuczkowej powstającej w procesie FGC w spalarniach odpadów przetwarzających odpady o niskiej zawartości chloru

Rodzaj spalarni i jej wydajność	Rodzaj oczyszczania spalin	Przybliżona ilość ścieków (m ³ /tonę wsadu odpadów)
Zakłady spalania odpadów komunalnych o wydajności 250 000 t/rok	2 etapy, mleczko wapienne	0.15 (wartość konstrukcyjna)
Zakłady spalania odpadów komunalnych o wydajności 250 000 t/rok	2 etapy, wodorotlenek sodu (przed urządzeniami kondensacyjnymi)	0.3 (wartość operacyjna)
Zakłady spalania odpadów niebezpiecznych o wydajności 60 000 t/rok	2 etapy, mleczko wapienne	0.15 (średnia roczna)
Zakłady spalania odpadów niebezpiecznych o wydajności 30 000 t/rok	2 etapy, wodorotlenek sodu	0.2 (średnia roczna)

Zródło: [1. UBA 2001]

3.3.2 Inne potencjalne źródła ścieków pochodzące z spalarni odpadów [1. UBA 2001]

Poza ściekami pochodzącymi z oczyszczania spalin, mogą one również pochodzić z wielu innych źródeł.

Zbieranie, przetwarzanie i magazynowanie popiołu paleniskowego

Ścieki z działalności związanej z postępowaniem z popiołem zazwyczaj mogą być ponownie wykorzystane jako źródło wody do odprowadzania mokrego popiołu paleniskowego, więc nie ma potrzeby ich zrzutu. Ważne jest jednak, aby dysponować wystarczającą pojemnością magazynową (oraz przetwarzającą), aby móc sprostać wahaniom poziomu wody zmagazynowanej spowodowanym przez opady deszczu. Generalnie, opcje przetwarzania nadmiaru wody to: odprowadzanie do dostępnego systemu przetwarzania wody procesowej; odprowadzanie do lokalnego systemu kanalizacyjnego; i/lub zrzut. Ten rodzaj ścieków może być ponownie wykorzystany w systemie FGC, jeśli jego jakość jest odpowiednia, zazwyczaj po oczyszczeniu przez sedymentację (osadzanie), filtrację itp.

Obsługa kotła

Ścieki z kotłów (powstałe w wyniku przygotowania oraz odprowadzania wody zasilającej kocioł) mogą być z reguły ponownie wykorzystane w instalacji spalania i odsiarczania spalin, więc nie ma potrzeby ich zrzutu. Jednakże recykling ścieków z przeznaczeniem do systemu FGC możliwy jest tylko w przypadku systemów półmokrych lub mokrych, o ile ich jakość jest odpowiednia. W przeciwnym razie ścieki są zrzucane (głównie ze względu na wysoką zawartość soli).

Ścieki sanitarne

Pochodzą z toalet, kuchni oraz sprzątnia. Zazwyczaj są odprowadzane do kanalizacji, celem przetworzenia w komunalnej/miejskiej oczyszczalni ścieków. Jeżeli podłączenie do lokalnej sieci kanalizacyjnej nie jest możliwe, można stosować szambo. Ponieważ ta kategoria ścieków nie jest specyficzna dla spalania odpadów, nie będzie dalej omawiana w niniejszym dokumencie.

Czysta deszczówka

Pochodzi z opadów deszczu na niezanieczyszczone powierzchnie, takie jak dachy, drogi dojazdowe czy miejsca parkingowe. Zazwyczaj czysta deszczówka zbierana jest oddzielnie od wody procesowej i odprowadzana bezpośrednio, lub przez drenaż, do lokalnych wód powierzchniowych. W przypadku deszczówki pochodzącej z dróg lub parkingów może być konieczne jej wstępne przetwarzanie (oczyszczenie).

Skazona deszczówka

Pochodzi z opadów deszczu na zanieczyszczone powierzchnie, takie jak miejsca rozładunku. Zazwyczaj jest oddzielana od czystej deszczówki i może być oczyszczana przed użyciem lub zrzutem.

Woda chłodząca

Zdecydowanie największa ilość wody chłodzącej wymagana jest w przypadku skraplaczy, tj. do produkcji energii elektrycznej za pomocą turbiny parowej. W zależności od konstrukcji instalacji, konieczne będzie usunięcie różnych strumieni wody chłodzącej, w tym:

- wody z konwekcyjnego chłodzenia skraplacza, który jest połączony z turbiną parową;
- wody odprowadzanej z systemu odparowania wody chłodzącej;
- wody pochodzącej z różnych innych urządzeń, które wymagają chłodzenia; z rynien ściekowych, systemów hydraulicznych, separatorów itp.

Strumienie wody chłodzącej nie są specyficzne dla spalania odpadów. Zostały one opisane w dokumencie referencyjnym w sprawie stosowania najlepszych dostępnych technik w przemysłowych systemach chłodzenia, opublikowanym w grudniu 2001 r.

Skondensowane ścieki z częściowego wstępnego osuszania osadów ściekowych

Ten rodzaj ścieków jest specyficzny dla spalania osadów ściekowych, chociaż nie we wszystkich przypadkach się pojawia, gdyż para wodna powstająca podczas suszenia, zamiast zostać skroplona, jest czasami odparowywana wraz ze spalinami z spalarni. Ścieki te mają na ogół wysokie chemiczne zapotrzebowanie na tlen (ChZT, z ang. COD), zawierają znaczne stężenia azotu (głównie NH_3) oraz inne zanieczyszczenia, które pierwotnie występowały w przetworzonych osadach. Wysoka zawartość azotu może stanowić przeszkodę w przetwarzaniu. Możliwe jest usunięcie azotu, chociaż istnieje ryzyko zanieczyszczenia a także dodatkowe zapotrzebowanie na energię potrzebną do takiej operacji. Roztwór może zostać poddany recyklingowi w piecu, a odzyskany amoniak (stężenie około 10%) może być wykorzystany jako wsad do SNCR z de- NO_x .

W spalarni osadów ściekowych NL05 stwierdzono w skondensowanych ściekach pochodzących z wstępnego suszenia osadów ściekowych duże ilości lotnych kwasów tłuszczowych (VFA). Ponieważ VFA może kolidować z usuwaniem azotu, w tym przypadku kondensat jest oczyszczany w oczyszczalni ścieków znajdującej się na terenie instalacji. [7. TWG 2017]

W tabeli 3.11 przedstawiono ilości ścieków wytwarzanych przez niektóre ze źródeł opisanych powyżej.

Tabela 3.11 Inne możliwe źródła ścieków pochodzące ze spalarni odpadów oraz ich przybliżone ilości.

Ścieki	Ilość w przybliżeniu	Powstawanie
Kondensaty kominowe po płuczce gazowej mokrej	<ul style="list-style-type: none"> • 20 m³/dzień • 6 600 m³/rok 	W sposób ciągły
Usuwanie/zrzut mokrego popiołu	<ul style="list-style-type: none"> • 5 m³/dzień • 1 650 m³/rok 	
Przepływ zwrotny wody z wymiennicza jonowego	<ul style="list-style-type: none"> • 1 m³/miesiąc • 120 m³/rok 	Okresowo
Woda kotłowa	<ul style="list-style-type: none"> • 500 m³/rok 	
Woda z czyszczenia zbiorników magazynowych	<ul style="list-style-type: none"> • 800 m³/rok 	
Inna woda czyszcząca	<ul style="list-style-type: none"> • 300 m³/rok 	
Skazona deszczówka	<ul style="list-style-type: none"> • 200 m³/rok (Niemcy) 	
Woda laboratoryjna	<ul style="list-style-type: none"> • 200 m³/rok 	
Uwagi: Dane obliczono przy założeniu 330 dni roboczych w roku. Źródło: [1. UBA 2001]		

3.3.3 Zakłady nieuwalniające wody procesowej

W niektórych spalarniach ścieki powstające w procesie mokrego oczyszczania gazów są odparowywane w procesie spalania za pomocą czynnika suszącego. Może to wyeliminować konieczność odprowadzania ścieków z procesu.

W takich przypadkach ścieki zazwyczaj są wstępnie przetwarzane w oczyszczalni ścieków (WWTP), zanim zostaną doprowadzone do czynnika suszącego. Oczyszczanie w WWTP może pomóc w zapobieganiu recyrkulacji i akumulacji niektórych substancji. Odzyskanie rtęci jest szczególnie ważne, a specyficzne odczynniki zwykle dodawane, aby zapewnić możliwość usunięcia rtęci z systemu.

Sól (NaCl) może być odzyskana z przetworzonych ścieków do ewentualnych zastosowań przemysłowych lub może być gromadzona w pozostałościach z FGC. [\[1. UBA 2001\]](#)

3.3.4 Zakłady odprowadzające ścieki

[\[1. UBA 2001\]](#)

Przetwarzanie ścieków z oczyszczania spalin w spalarniach odpadów nie różni się zasadniczo od przetwarzania ścieków z innych procesów przemysłowych.

Ścieki ze spalarni odpadów komunalnych zawierają głównie następujące substancje:

- metale, w tym rtęć;
- sole nieorganiczne (chłorki, siarczany, itp.);
- związki organiczne (fenole, PCDD/F).

Poniższa tabela przedstawia typowe poziomy zanieczyszczenia ścieków pochodzących z instalacji oczyszczania spalin w spalarniach odpadów komunalnych i niebezpiecznych, przed ich przetwarzaniem.

Tabela 3.12 Typowe zanieczyszczenia ścieków, w spalarniach odpadów, pochodzących z mokrego FGC przed ich oczyszczeniem

Parametr	Spalanie odpadów komunalnych			Spalanie odpadów niebezpiecznych w zwykłych zakładach komercyjnych		
	Minimum	Maksimum	Średnio	Minimum	Maksimum	Średnio
Wartość pH	< 1	NI	NA	NI	NI	NA
Konduktywność (przewodność właściwa) (μS)	NI	> 20 000	NI	NI	NI	NI
COD (mg/l)	140	390	260	NI	NI	22
TOC (mg/l)	47	105	73	NI	NI	NI
Siarczan (mg/l)	1 200	20 000	4 547	615	4 056	NI
Chlor (mg/l)	85 000	180 000	115 000	NI	NI	NI
Fluor (mg/l)	6	170	25	7	48	NI
Hg ($\mu\text{g/l}$)	1 030	19 025	6 167	0.6	10	NI
Pb (mg/l)	0.05	0.92	0.25	0.01	0.68	NI
Cu (mg/l)	0.05	0.20	0.10	0.002	0.5	NI
Zn (mg/l)	0.39	2.01	0.69	0.03	3.7	NI
Cr (mg/l)	< 0.05	0.73	0.17	0.1	0.5	NI
Ni (mg/l)	0.05	0.54	0.24	0.04	0.5	NI
Cd (mg/l)	< 0.005	0.020	0.008	0.0009	0.5	NI
PCDD/F (ng/l)	NI	NI	NI	NI	NI	NI

Uwagi: NA = nie dotyczy; NI: Brak danych.
Źródło: [\[1. UBA 2001\]](#)

W tej sekcji opisano emisje do wody powstające na skutek oczyszczania strumieni ścieków pochodzących z spalin.

Dostępnych jest mniej informacji niż w przypadku emisji do powietrza, co odzwierciedla fakt, że w większości zakładów WI nie ma emisji ścieków pochodzących z systemu oczyszczania spalin. Wykresy pokazują maksymalne, średnie i minimalne koncentracje proporcjonalnych do przepływu reprezentatywnych próbek zrzutu pobranych w okresie 24 godzin w 2014 r. Przedstawiono również ilość zanieczyszczeń wyemitowanych w 2014 r.

Na wykresie przedstawiono również następujące informacje: stosowane techniki istotne dla danego zanieczyszczenia; najczęściej spalane odpady; wielkość zakładu; wiek zakładu; liczbę próbek uwzględnionych do określenia zgłaszanych wartości emisji; czy ścieki są uwalniane do otaczających wód (zrzut bezpośredni) czy też do zewnętrznej oczyszczalni ścieków (zrzut pośredni).

Zawiesina ogólna (TSS)

Ilustracja 3.68 przedstawia emisje TSS do wody zmierzone w 2014 r.

Dla każdego zakładu, wraz z poziomami emisji TSS i informacjami na temat charakterystyki zakładu, wykres przedstawia techniki oczyszczania ścieków stosowane do redukcji zawiesiny. Techniki te obejmują:

- filtrację;
- sedymentację (osadzanie się);
- flotację;
- koagulację;
- flokulację.

Pozostałości zawiesiny w odprowadzanych ściekach mogą mieć następujące trzy główne źródła:

- resztkowe frakcje wytrąconych składników, które nie zostały usunięte przez dekantację lub filtrację;
- w przypadku gdy wody gruntowe zawierające Fe(II) są wykorzystywane do oczyszczania mokrych spalin, powolne utlenianie Fe(II) do Fe(III), a następnie wytrącanie się Fe(OH)₃ może prowadzić do powstania zawiesiny, jeżeli czas przebywania w oczyszczalni ścieków jest krótszy niż czas potrzebny na dokończenie reakcji;
- w innych przypadkach, zawiesiny mogą pochodzić z reakcji następujących po wytrąceniu się siarczanów i węglanów z Ca²⁺, które są obecne w ściekach lub w innych strumieniach wody mających kontakt ze ściekami przed odprowadzeniem, i gdy czas przebywania jest krótszy niż czas potrzebny do dokończenia reakcji.

Poziomy emisji wahają się od wartości bliskiej granicy oznaczalności do 25 mg/l, jako średnia ze wszystkich pomiarów w 2014 r., oraz do 43 mg/l jako wartość maksymalna. Spośród 12 zakładów, które zgłosiły wyższe maksymalne poziomy emisji, zdecydowana większość była spowodowana zrzutami pośrednimi, w którym to przypadku oczekuje się, że wartość TSS zostanie zmniejszona przez odbierającą oczyszczalnię ścieków.

Zgłoszone dane nie wykazują wyraźnej korelacji pomiędzy osiągniętymi poziomami emisji a wielkością obiektu, dominującym rodzajem spalanych odpadów czy zastosowanymi technikami. Można jednak zauważyć, że niższe poziomy emisji osiągane są przez zakłady wyposażone w filtry (cztery zakłady mają średnią poniżej 3 mg/l).

Rtęć (Hg)

Ilustracja 3.69 przedstawia emisje rtęci do wody zmierzone w 2014 roku.

Dla każdego zakładu, wraz z poziomami emisji rtęci i informacjami na temat charakterystyki zakładu, wykres przedstawia techniki oczyszczania ścieków stosowane do redukcji Hg. Są to te same techniki, które pokazano na ilustracjach 3.70 - 3.79 dla wszystkich innych metali i obejmują:

- strącanie chemiczne;
- wymianę jonową;
- adsorpcję;

- filtrację oraz filtrację przez złożę piaskowe (filtracja piaskowa);
- sedymentację (osadzanie się);
- flokulację;
- koagulację.

Rtęć w ściekach pochodzi z rtęci zawartej w odpadach. Powszechną praktyką jest stosowanie przez spalarnie limitów wejściowych dla zawartości rtęci w spalanych przez nie odpadach.

W przypadku jednego zakładu spalającego odpady niebezpieczne i wyposażonego w system płuczki gazowej mokrej oblicza się, że całkowity wsad rtęci w przyjmowanych odpadach wynosi 2 000 kg/rok przy zdolności spalania 100 000 t/rok. Biorąc pod uwagę maksymalną roczną emisję rtęci w ściekach wynoszącą mniej niż 4 kg/rok, daje to wydajność usuwania wyższą niż 99,8% w oparciu o strącanie M-trimercaptotriazyny, a następnie skuteczne usuwanie osadu.

Poziomy emisji na ogół wahają się od wartości bliskiej granicy oznaczalności do 0.006 mg/l jako wartość średnia i 0.027 mg/l jako wartość maksymalna. Wyższe poziomy emisji zostały zgłoszone przez 10 zakładów i wynikają prawdopodobnie z innych niż normalne warunków eksploatacji oczyszczalni ścieków oraz, w niektórych przypadkach, z niespójnego wykorzystania jednostek przy zgłaszaniu danych, podanych celem wyrażenia koncentracji tego zanieczyszczenia.

Wykres pokazuje, że zakłady wyposażone w wymianę jonową i/lub adsorpcję osiągają na ogół niższe poziomy emisji (przeważnie poniżej 0.001 mg/l jako wartość średnia i 0.004 mg/l jako wartość maksymalna). Generalnie, zakłady spalające głównie odpady niebezpieczne mają wyższe poziomy emisji niż zakłady spalające inne rodzaje odpadów.

Zgłoszone dane nie wykazują wyraźnej korelacji pomiędzy osiągniętymi poziomami emisji a wielkością zakładu.

Emisje pozostałych metali oraz metaloidów

Znajdujące się w ściekach metale i metaloidy pochodzą z substancji zawartych w odpadach. Technika oczyszczania ścieków stosowana celem zmniejszenia emisji metali polega na chemicznym strącaniu metali jako wodorotlenków i/lub jako składników siarczków metali. Do optymalizacji strącania stosowane są dodatki flokulacyjne. Filtrację stosuje się zazwyczaj jako uzupełnienie koagulacji i sedymentacji lub strącania chemicznego. Celem dodatkowej redukcji koncentracji metali w ściekach stosuje się adsorpcję oraz wymianę jonową

W sumie 16 zakładów, z czego prawie połowa z Austrii, przekazało dane dotyczące emisji antymonu do wody. Poziomy emisji wahają się na ogół od wartości bliskiej granicy oznaczalności do 0.6 mg/l, jako średnia ze wszystkich pomiarów w 2014 r., i maksymalnie 0.9 mg/l. Cztery zakłady zgłosiły wyższe poziomy emisji.

Według austriackich operatorów stężenie antymonu w ściekach ze spalarni odpadów wzrastało w ostatnich latach. Chociaż przyczyny nie zostały w pełni wyjaśnione, zidentyfikowano możliwe źródła antymonu: w katalizatorach stosowanych w produkcji PET, w zawartości antymonu w okładzinach hamulcowych do samochodów, oraz w związkach antymonu stosowanych do ograniczania palności wyrobów tekstylnych.

Zgłoszone dane nie wykazują wyraźnej korelacji pomiędzy osiągniętymi poziomami emisji a wielkością zakładu lub zastosowanymi technikami. Można jednak zauważyć, że wyższe poziomy emisji zgłaszają zakłady spalające odpady niebezpieczne (trzy zakłady zgłaszają maksymalnie wartości od 0.9 mg/l do 20 mg/l).

Ilustracja 3.71 przedstawia emisje arsenu do wody zmierzone w 2014 roku.

Poziomy emisji na ogół wahają się od wartości zbliżonej do granicy oznaczalności do 0.01 mg/l, jako średnia wszystkich pomiarów w 2014 r., oraz do 0,1 mg/l jako wartość maksymalna.

Dziewięć obiektów zgłosiło wyższe poziomy emisji, prawdopodobnie związanej z innymi niż normalne warunkami eksploatacji oczyszczalni ścieków oraz, w niektórych przypadkach, z niespójnym wykorzystaniem jednostek przy zgłaszaniu danych.

Z przekazanych danych wynika, że duże zakłady osiągają emisje niższe niż zakłady średnie lub małe. Zgłoszone dane nie wykazują wyraźnej korelacji pomiędzy osiągniętymi poziomami emisji a dominującym rodzajem spalanych odpadów lub wielkością obiektu. Można zauważyć, że niższe poziomy emisji są na ogół zgłaszane przez zakłady stosujące adsorpcję.

Ilustracja 3.72 przedstawia emisje kadmu do wody zmierzone w 2014 r.

Poziomy emisji wahają się zasadniczo od wartości zbliżonej do granicy oznaczalności do 0.025 mg/l, jako średnia ze wszystkich pomiarów w 2014 r., oraz do 0.05 mg/l jako wartość maksymalna. Łącznie 11 obiektów zgłosiło wyższe maksymalne poziomy emisji, prawdopodobnie związane z innymi niż normalne warunkami eksploatacji oczyszczalni ścieków oraz, w niektórych przypadkach, z niespójnym wykorzystaniem jednostek przy zgłaszaniu danych.

Zgłoszone dane nie wykazują wyraźnej korelacji pomiędzy osiągniętymi poziomami emisji a wielkością obiektu, dominującym rodzajem spalanych odpadów czy zastosowanymi technikami.

Ilustracja 3.73 przedstawia emisje chromu do wody zmierzone w 2014 r.

Poziomy emisji wahają się od wartości zbliżonej do granicy oznaczalności do 0.16 mg/l, jako średnia wszystkich pomiarów w 2014 r., oraz do 0.3 mg/l jako wartość maksymalna. Cztery obiekty zgłosiły wyższe maksymalne poziomy emisji, prawdopodobnie związane z innymi niż normalne warunkami eksploatacji oczyszczalni ścieków oraz, w niektórych przypadkach, z niespójnym wykorzystaniem jednostek przy zgłaszaniu danych.

Zgłoszone dane nie wykazują wyraźnej korelacji pomiędzy osiągniętymi poziomami emisji a wielkością obiektu, dominującym rodzajem spalanych odpadów czy zastosowanymi technikami.

Ilustracja 3.74 przedstawia emisje miedzi do wody zmierzone w 2014 roku.

Poziomy emisji wahają się od wartości zbliżonej do granicy oznaczalności do 0.3 mg/l, jako średnia wszystkich pomiarów w 2014 r., oraz do 0.5 mg/l jako wartość maksymalna. Siedem obiektów zgłosiło wyższe maksymalne poziomy emisji, prawdopodobnie związane z innymi niż normalne warunkami eksploatacji oczyszczalni ścieków i, w niektórych przypadkach, z niespójnym wykorzystaniem jednostek przy zgłaszaniu danych.

Wykres pokazuje, że zakłady stosujące adsorpcję i/lub wymianę jonową osiągają na ogół poziom emisji poniżej 0.05 mg/l.

Zgłoszone dane nie wykazują wyraźnej korelacji pomiędzy osiągniętymi poziomami emisji a wielkością obiektu lub dominującym rodzajem spalanych odpadów.

Ilustracja 3.75 przedstawia emisje ołowiu do wody zmierzone w 2014 roku.

Poziomy emisji wahają się od wartości zbliżonej do granicy oznaczalności do 0.05 mg/l, jako średnia wszystkich pomiarów w 2014 r., oraz do 0.2 mg/l jako wartość maksymalna. Łącznie 10 obiektów zgłosiło wyższe maksymalne poziomy emisji, prawdopodobnie związane z innymi niż normalne warunkami eksploatacji oczyszczalni ścieków oraz, w niektórych przypadkach, z niespójnym wykorzystaniem jednostek przy zgłaszaniu danych.

Wykres pokazuje, że zakłady stosujące adsorpcję i wymianę jonową osiągają na ogół poziom emisji poniżej 0.05 mg/l.

Zgłoszone dane nie wykazują wyraźnej korelacji pomiędzy osiągniętymi poziomami emisji a wielkością obiektu lub dominującym rodzajem spalanych odpadów.

Ilustracja 3.76 pokazuje emisje molibdenu do wody zmierzone w 2014 roku.

Tylko trzy zakłady zgłosiły dane dotyczące bezpośredniej emisji molibdenu do wody, w zakresie od 0.02 mg/l do 0.04 mg/l, jako maksimum wszystkich pomiarów w 2014 roku.

Jeden zakład zgłosił pośrednie emisje molibdenu do wody, przy znacznie wyższych wartościach maksymalnych wynoszących około 7 mg/l.

Zgłoszone dane nie wykazują wyraźnej korelacji pomiędzy osiągniętymi poziomami emisji a wielkością obiektu, zastosowanymi technikami lub dominującym rodzajem spalanych odpadów.

Ilustracja 3.77 przedstawia emisje niklu do wody zmierzone w 2014 roku.

Poziomy emisji wahają się od wartości zbliżonej do granicy oznaczalności do 0.03 mg/l, jako średnia wszystkich pomiarów w 2014 r., oraz do 0.04 mg/l jako wartość maksymalna. Sześć obiektów zgłosiło wyższe maksymalne poziomy emisji, prawdopodobnie związane z innymi niż normalne warunkami eksploatacji oczyszczalni ścieków, a w niektórych przypadkach z niespójnym wykorzystaniem jednostek przy zgłaszaniu danych.

Zgłoszone dane nie wykazują wyraźnej korelacji pomiędzy osiągniętymi poziomami emisji a stosowanymi technikami, wielkością obiektu czy dominującym rodzajem spalanych odpadów.

Ilustracja 3.78 przedstawia emisje talu do wody zmierzone w 2014 roku.

Poziomy emisji wahają się od wartości zbliżonej do granicy oznaczalności do 0.025 mg/l, jako średnia wszystkich pomiarów w 2014 r., oraz do 0.05 mg/l jako wartość maksymalna. Pięć obiektów zgłosiło wyższe maksymalne poziomy emisji, które mogą być związane z innymi niż normalne warunkami eksploatacji oczyszczalni ścieków.

Zgłoszone dane nie wykazują wyraźnej korelacji pomiędzy osiągniętymi poziomami emisji a zastosowanymi technikami, wielkością obiektu czy dominującym rodzajem spalanych odpadów.

Ilustracja 3.79 przedstawia emisje cynku do wody zmierzone w 2014 roku.

Poziomy emisji wahają się od wartości zbliżonej do granicy oznaczalności do 0.54 mg/l, jako średnia wszystkich pomiarów w 2014 r., i 1.5 mg/l jako wartość maksymalna. Trzy obiekty zgłosiły wyższe maksymalne poziomy emisji, prawdopodobnie związane z innymi niż normalne warunkami eksploatacji oczyszczalni ścieków oraz, w niektórych przypadkach, z niespójnym wykorzystaniem jednostek przy zgłaszaniu danych.

Wykres pokazuje, że zakłady stosujące adsorpcję i wymianę jonową osiągają na ogół poziom emisji poniżej 0.4 mg/l.

Zgłoszone dane nie wykazują wyraźnej korelacji pomiędzy osiągniętymi poziomami emisji a wielkością obiektu lub dominującym rodzajem spalanych odpadów.

Ogólny węgiel organiczny (TOC, OWO)

Celem zmniejszenia emisji TOC do wody stosuje się podstawowe techniki (np. zmniejszenie ilości emitowanego węgla organicznego poprzez optymalizację procesu spalania). Ponadto, jako specyficzne techniki redukcji TOC stosuje się adsorpcję z użyciem węgla aktywnego oraz filtrację.

Ilustracja 3.80 przedstawia emisje TOC do wody zmierzone w 2014 roku.

Dla każdego zakładu, wraz z poziomami emisji TOC i informacjami na temat charakterystyki zakładu, wykres przedstawia techniki oczyszczania ścieków stosowane celem redukcji TOC. Techniki te obejmują:

- utlenianie;
- adsorpcję;
- filtrację oraz filtrację przez złoża piaskowe (filtracja piaskowa).

W przypadku zrzutów bezpośrednich poziomy emisji wynoszą od 1.4 mg/l do 12 mg/l, jako średnia wszystkich pomiarów w 2014 r., i 38 mg/l jako wartość maksymalna. Jeden zakład podał średnią z 364 pomiarów wynoszącą 6.4 mg/l i maksymalną wartość wynoszącą 86 mg/l. Kilka zakładów związanych z pośrednimi zrzutami zgłosiło znacznie wyższe poziomy TOC (do 1.3 g/l). W tych przypadkach oczekuje się, że ilość TOC zostanie zmniejszona przez znajdującą się dalej oczyszczalnię ścieków.

Wykres pokazuje, że zakłady stosujące połączenie adsorpcji i filtracji osiągają poziom emisji około 9 mg/l.

Zgłoszone dane nie wykazują wyraźnej korelacji pomiędzy osiągniętymi poziomami emisji a wielkością obiektu lub dominującym rodzajem spalanych odpadów.

Polichlorowane dibenzo-p-dioksyny i furany (PCDD/F)

Celem ograniczenia emisji PCDD/F do wody stosuje się podstawowe techniki, takie jak optymalizacja procesu spalania i/lub unikanie warunków do zaistnienia syntezy *de novo*. Oprócz tego adsorpcja z użyciem węgla aktywnego jest również stosowana jako specyficzna technika redukcji emisji PCDD/F.

Ilustracja 3.81 przedstawia emisje PCDD/F do wody zmierzone w 2014 r.

W odniesieniu do każdego zakładu, wraz z poziomami emisji PCDD/F i informacjami dotyczącymi charakterystyki zakładu, wykres przedstawia techniki oczyszczania ścieków stosowane celem redukcji emisji PCDD/F, lub które mogą przynieść dodatkowe korzyści w postaci redukcji emisji PCDD/F. Techniki te obejmują:

- utlenianie;
- wymianę jonową;
- adsorpcję;
- filtrację oraz filtrację przez złożę piaskowe (filtracja piaskowa);
- sedymentację (osadzanie się);
- flokulację;
- koagulację.

Poziomy emisji wahają się od wartości zbliżonej do granicy oznaczalności do 0.09 ng/l, jako średnia wszystkich pomiarów w 2014 r., oraz do 0.18 ng/l jako wartość maksymalna, z wyjątkiem jednego zakładu zgłaszającego 0.35 ng/l jako wartość maksymalną.

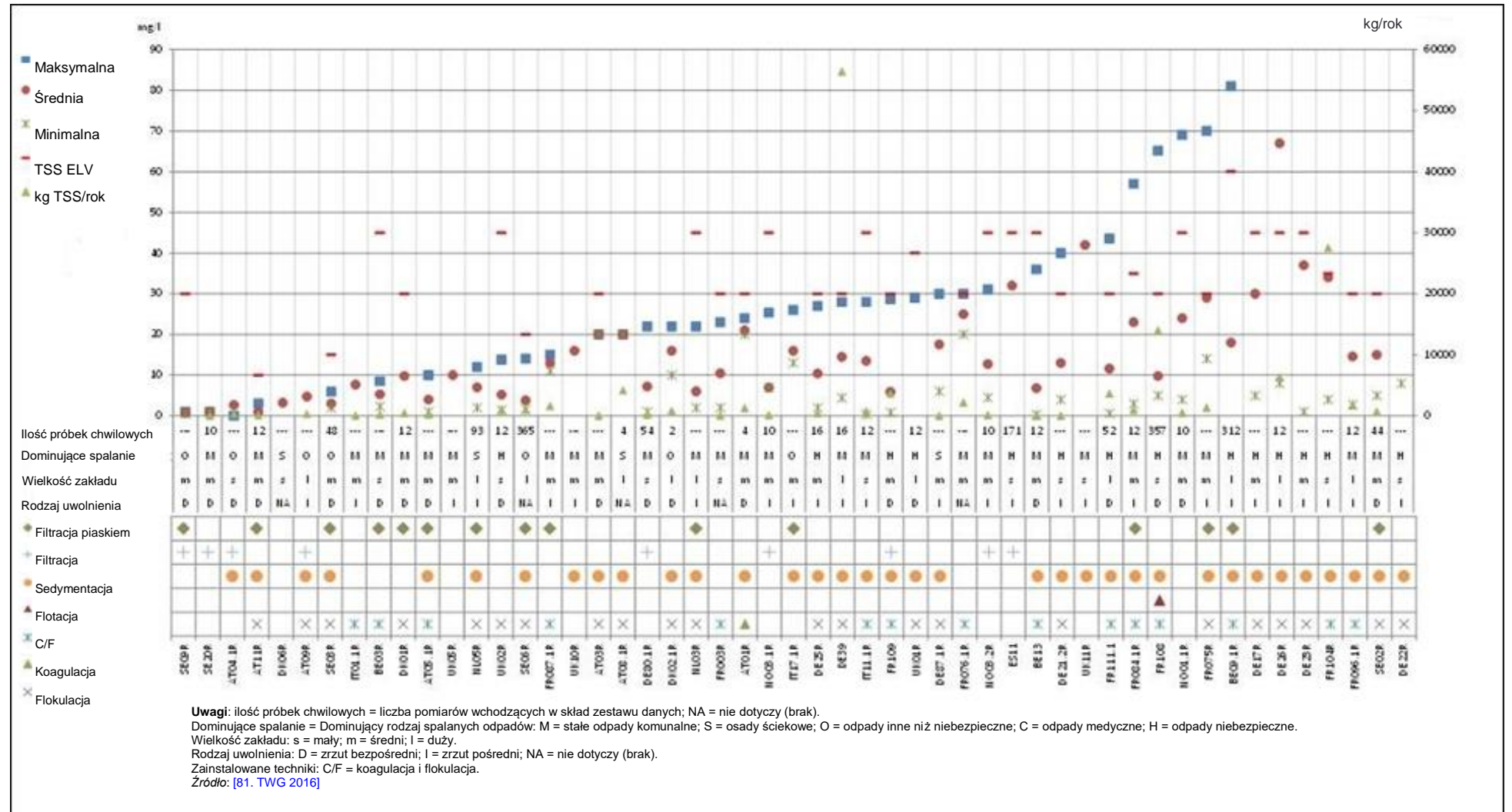
Wykres pokazuje, że zakłady stosujące mikrofiltrację osiągają poziom emisji około 0.009 ng/l.

Przedstawione dane nie wykazują wyraźnej korelacji pomiędzy osiągniętymi poziomami emisji a wielkością zakładu lub dominującym rodzajem spalanych odpadów.

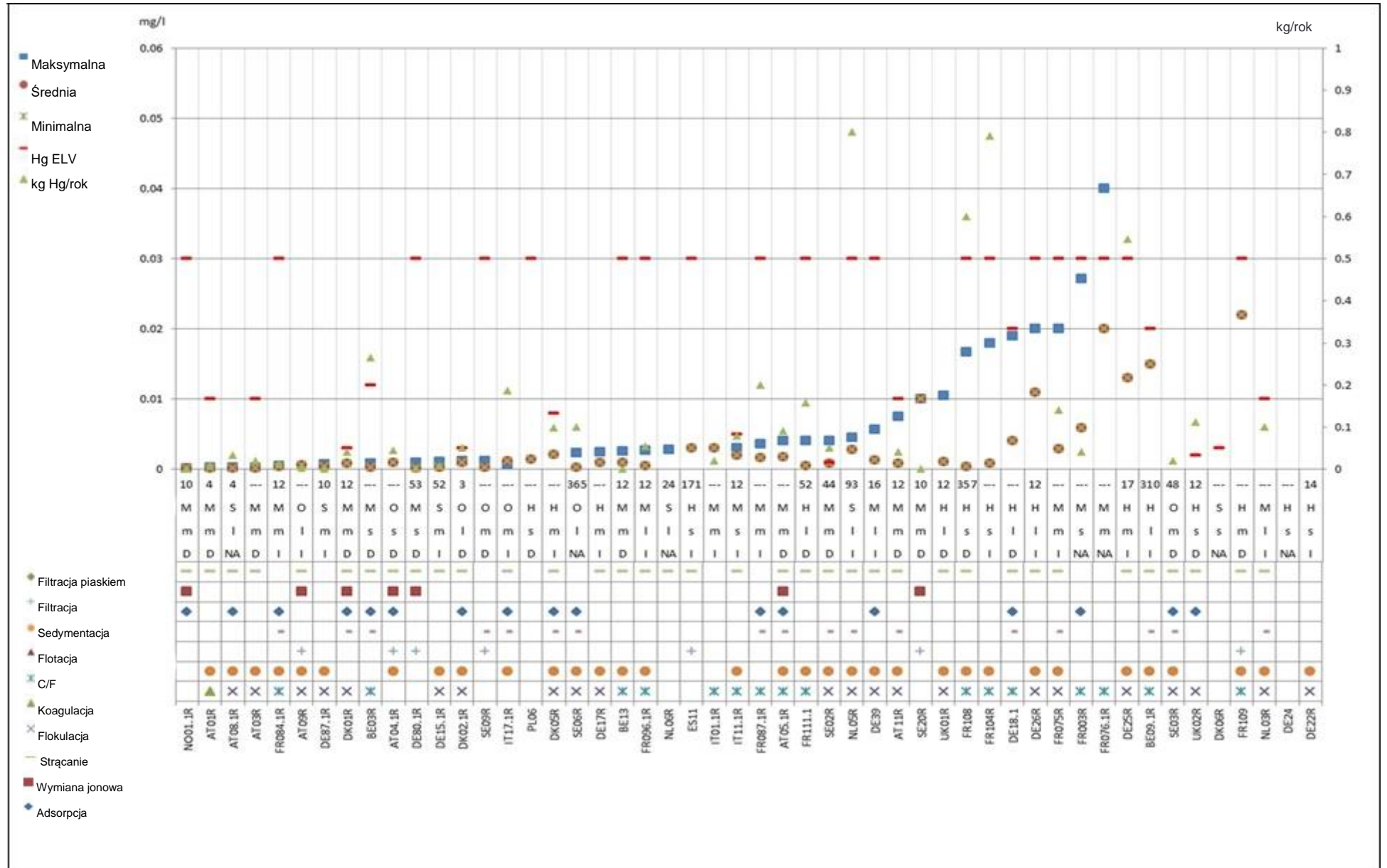
Zawartość chloru (Cl) i siarki (S) oraz ich związków

[41. EURITS 2002] Ilość chloru i jego związków w ściekach wykazuje liniową zależność od ilości chloru w odpadach na wejściu do spalarni.

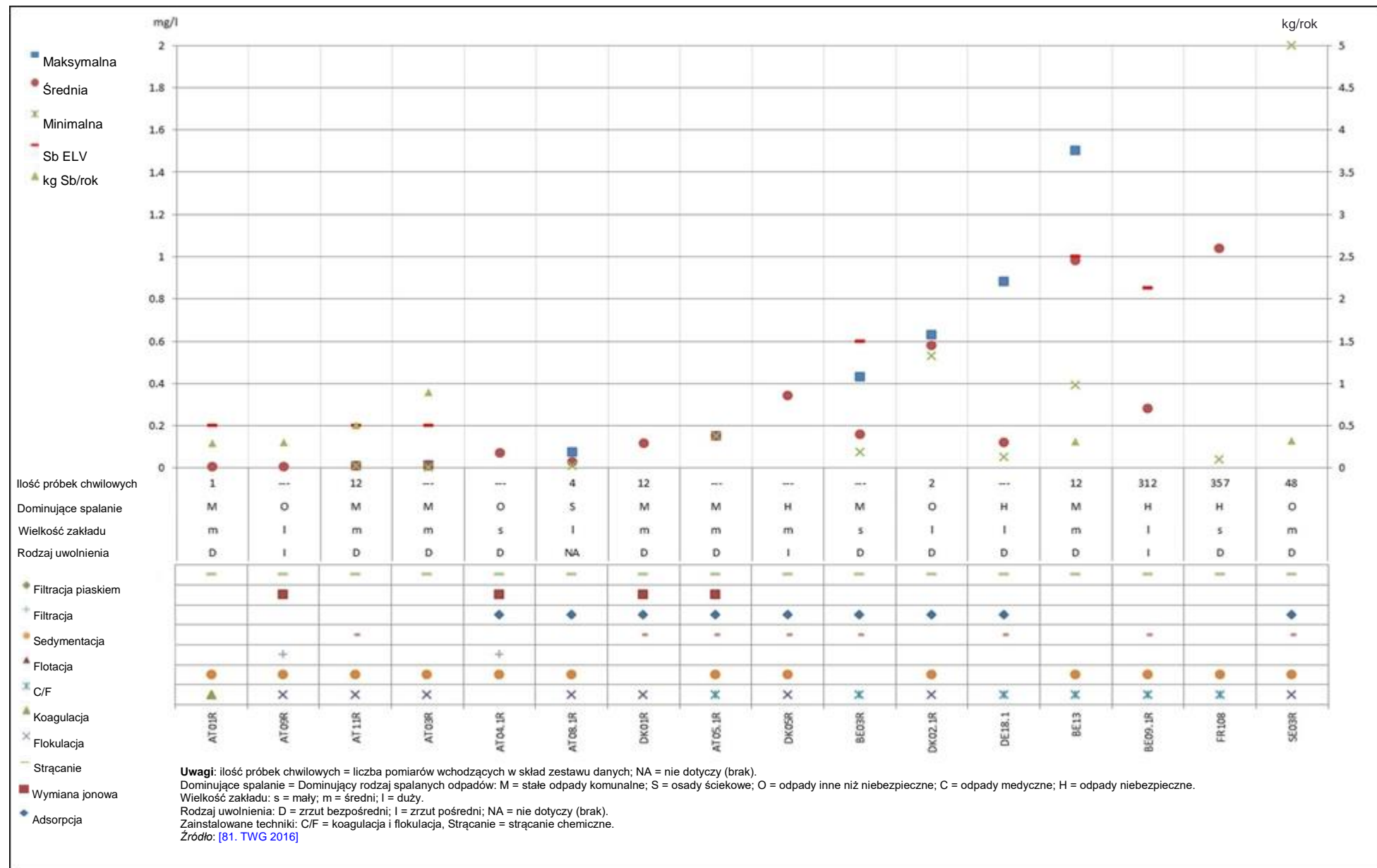
Zawartość siarki i jej związków w ściekach jest redukowana w większości instalacji poprzez częściowe strącanie gipsem, tak że odprowadzana na zewnątrz zawartość SO₄ wynosi od 1 do 2 g/l. [122. COM 2006]



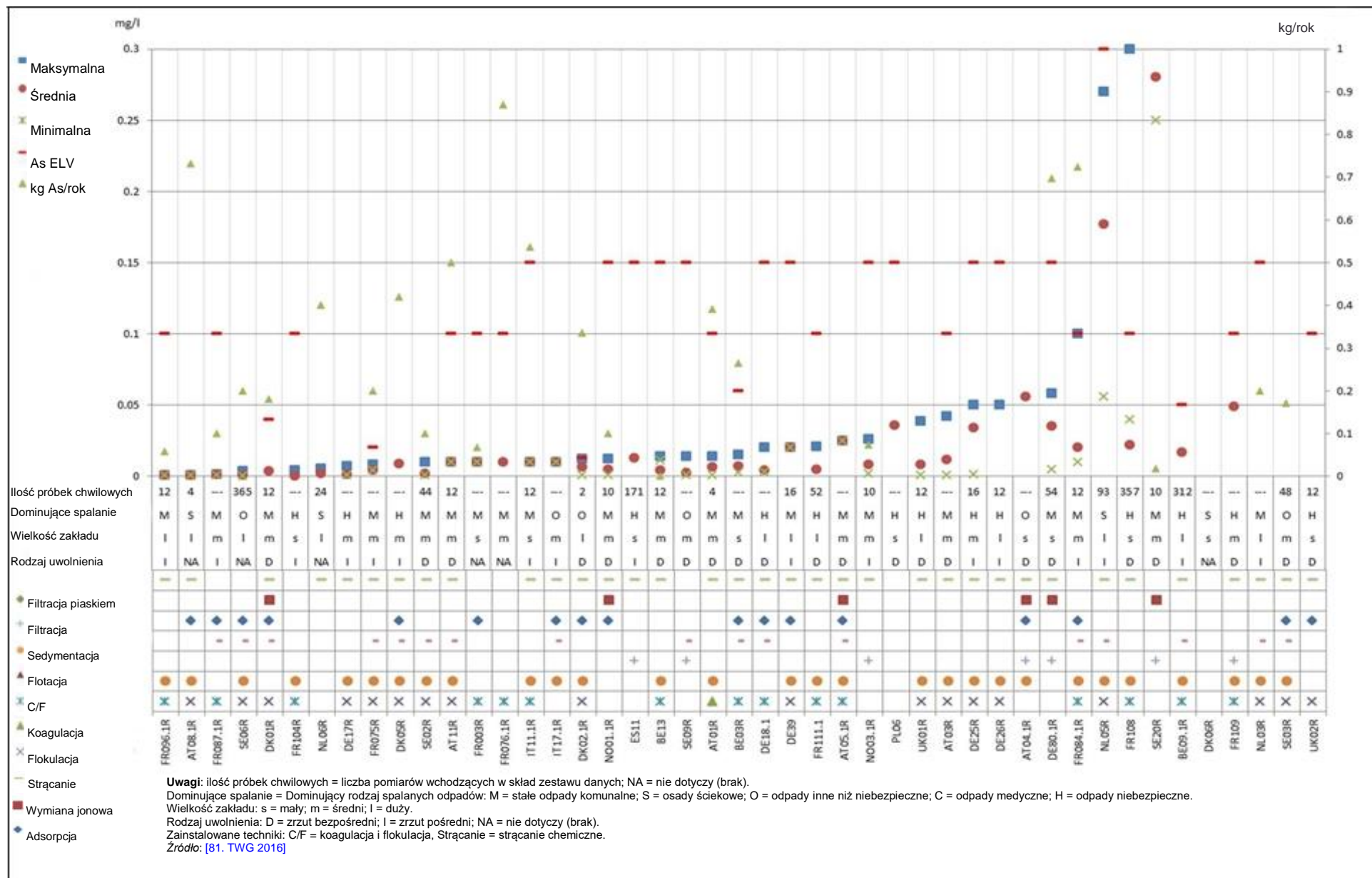
Ilustracja 3.68 Emisja zawiesiny ogólnej (TSS) do wody i zastosowane techniki jej ograniczania



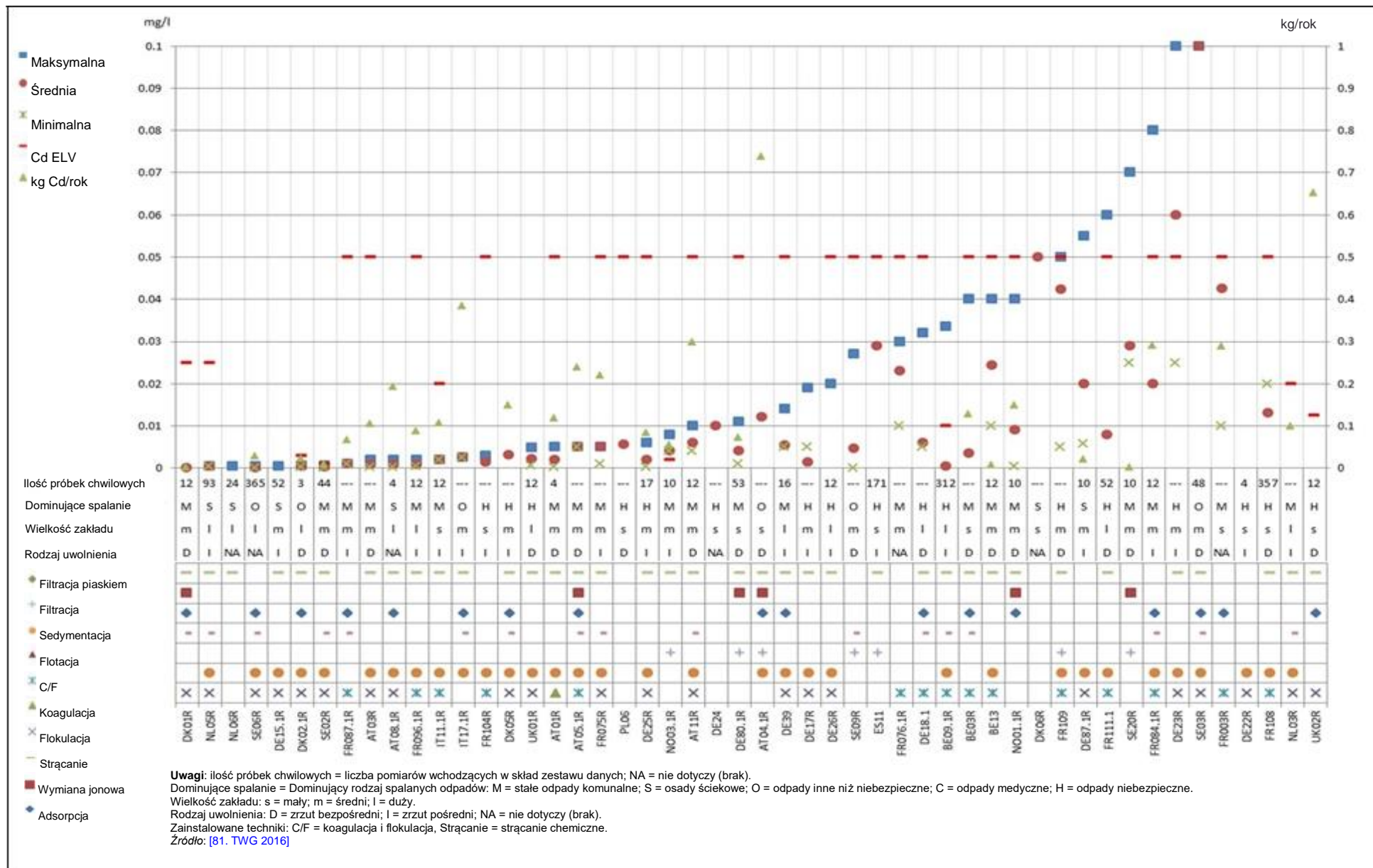
Ilustracja 3.69 Emisja rtęci do wody i zastosowane techniki jej ograniczania



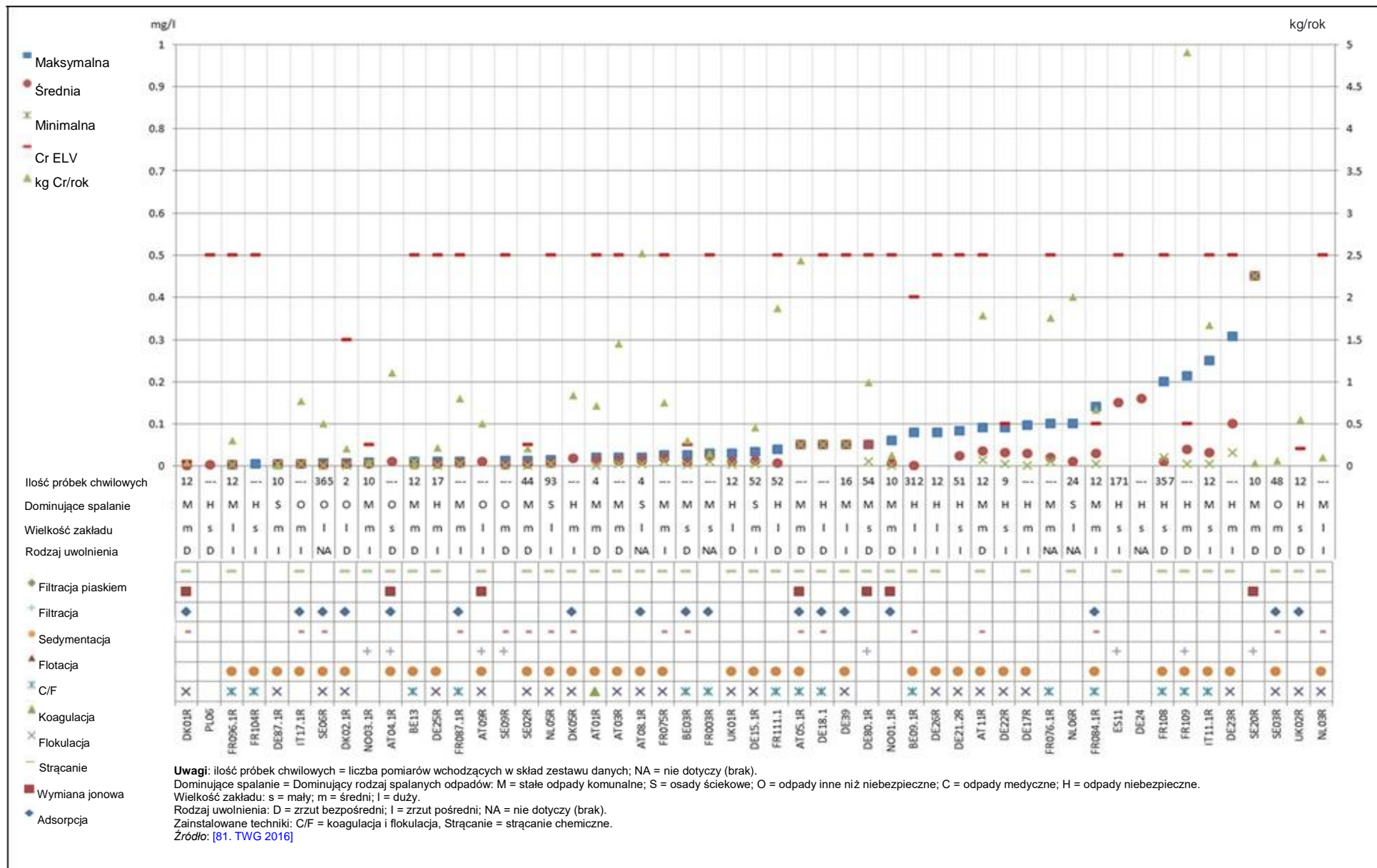
Ilustracja 3.70 Emisja antymonu (Sb) do wody i zastosowane techniki jej ograniczania



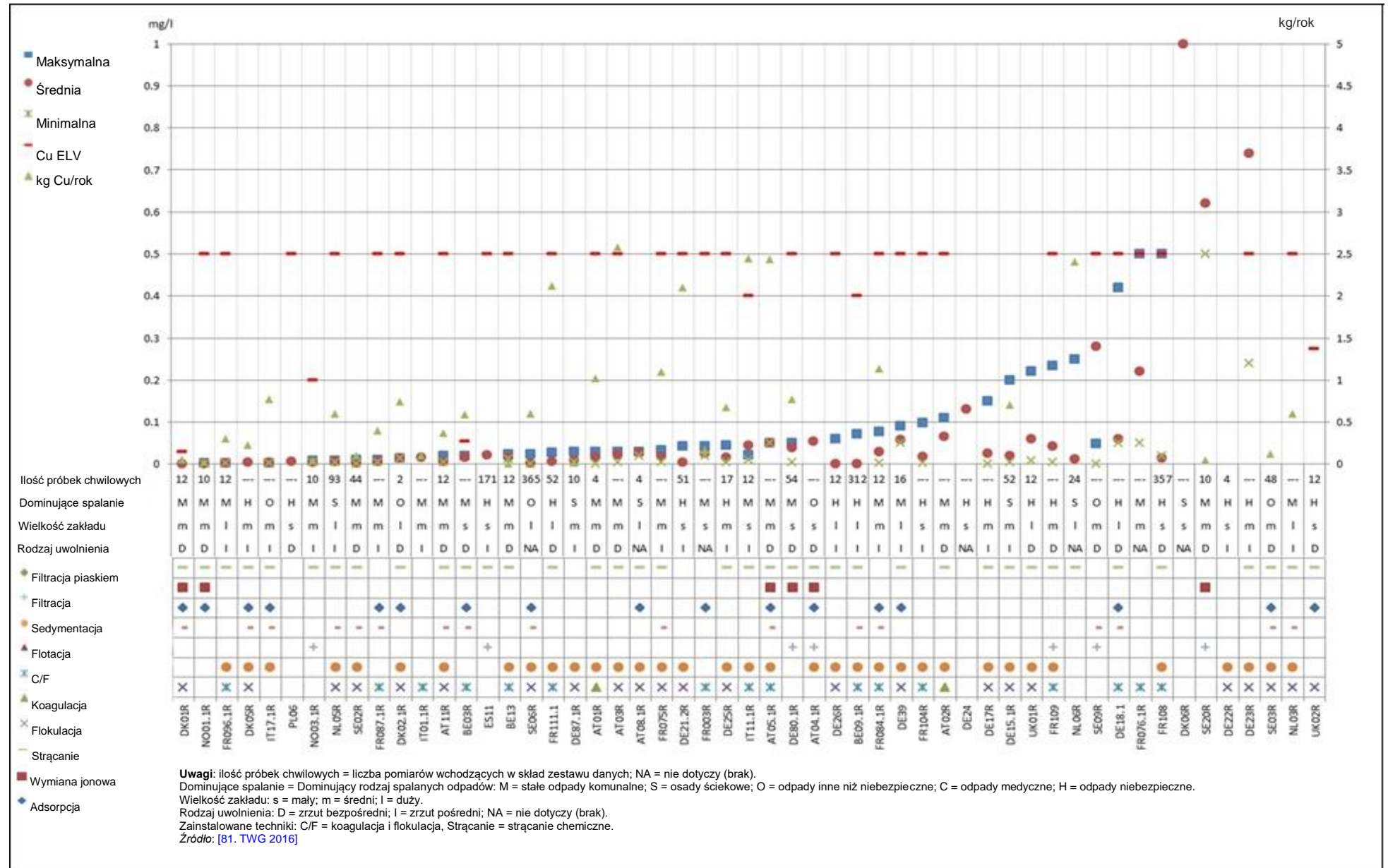
Ilustracja 3.71 Emisja arsenu (As) do wody i zastosowane techniki jej ograniczania



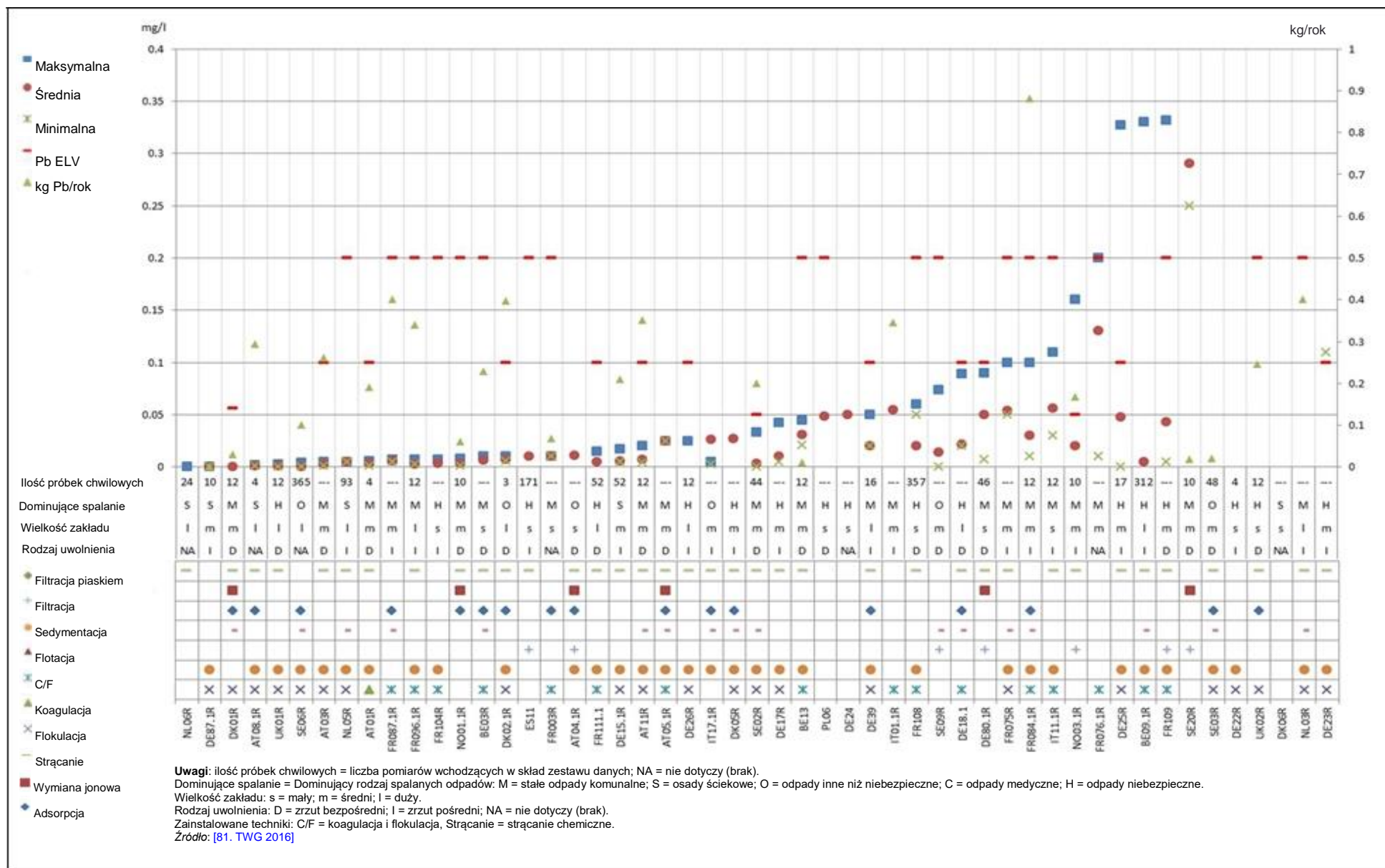
Ilustracja 3.72 Emisja kadmu (Cd) do wody i zastosowane techniki jej ograniczania



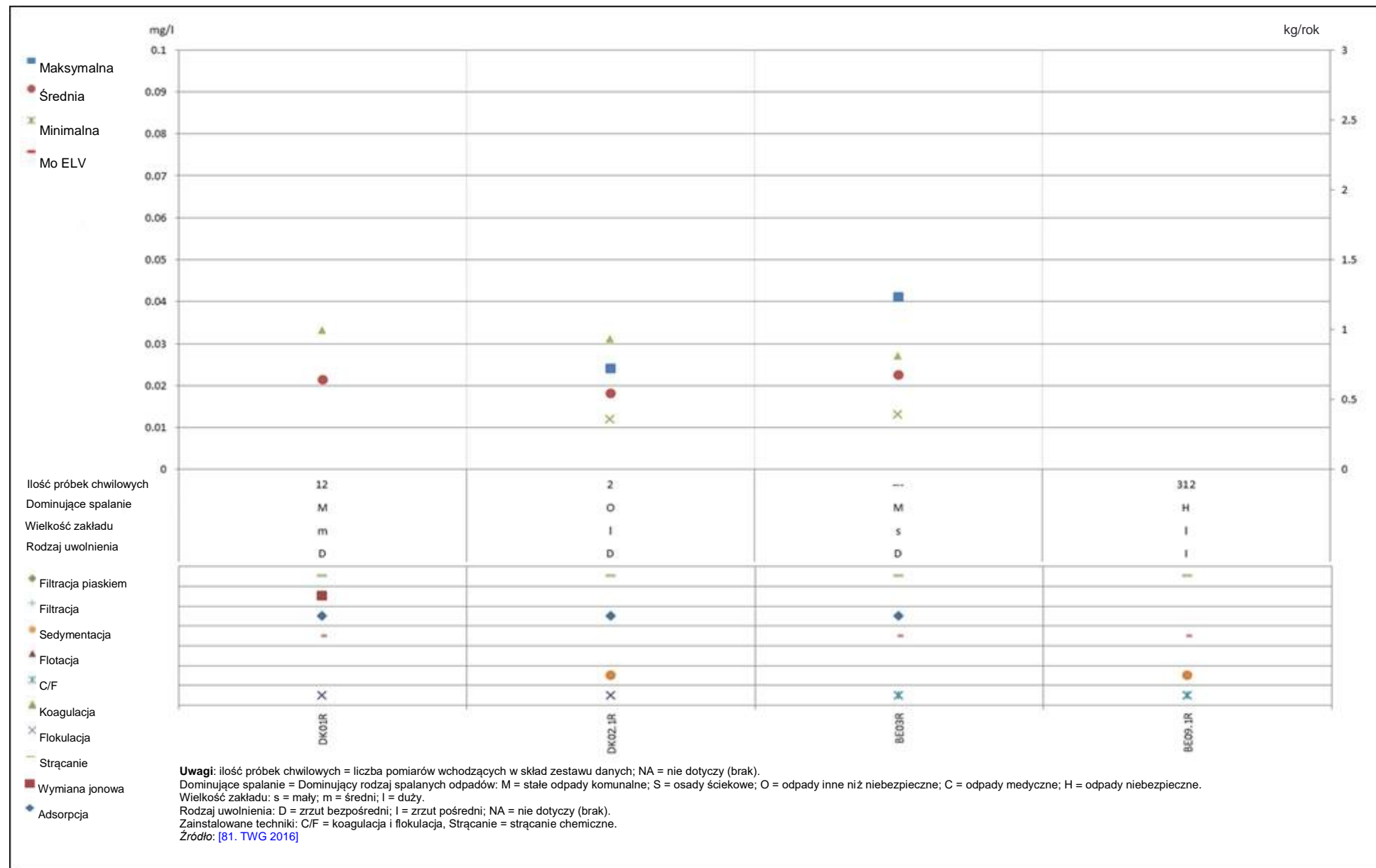
Ilustracja 3.73 Emisja chromu (Cr) do wody i zastosowane techniki jej ograniczania



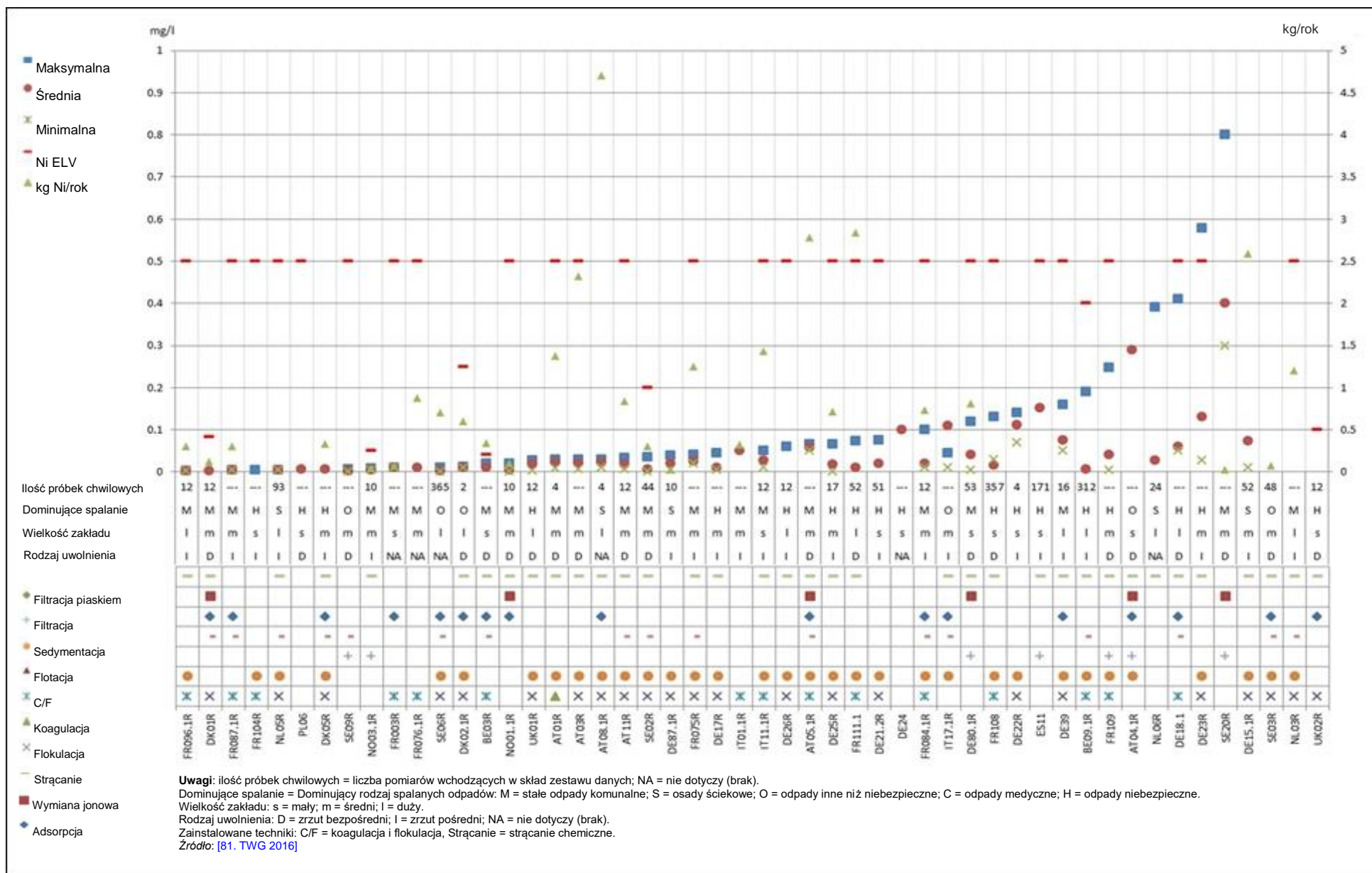
Ilustracja 3.74 Emisja miedzi (Cu) do wody i zastosowane techniki jej ograniczenia



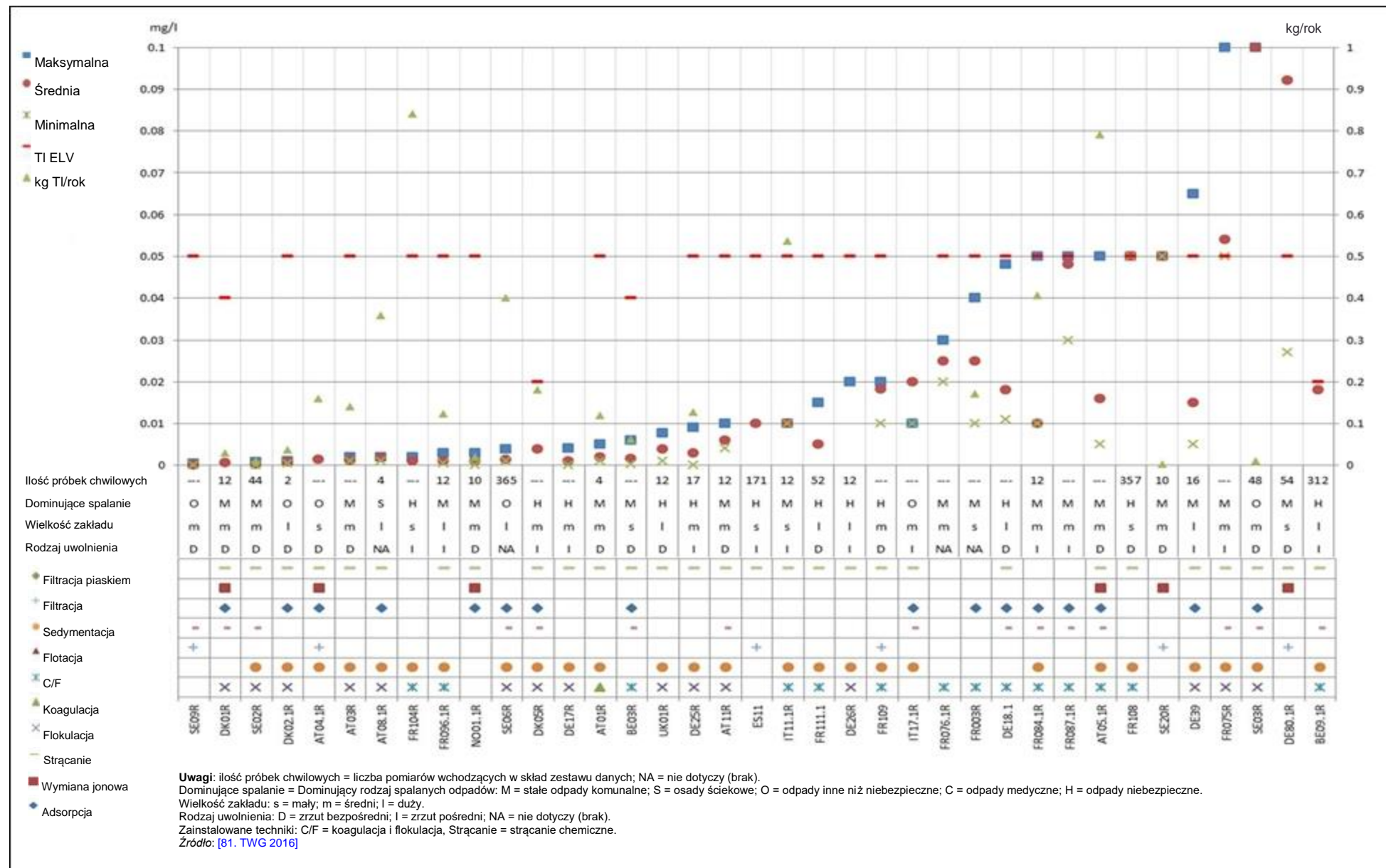
Ilustracja 3.75 Emisja ołowiu (Pb) do wody i zastosowane techniki jej ograniczania



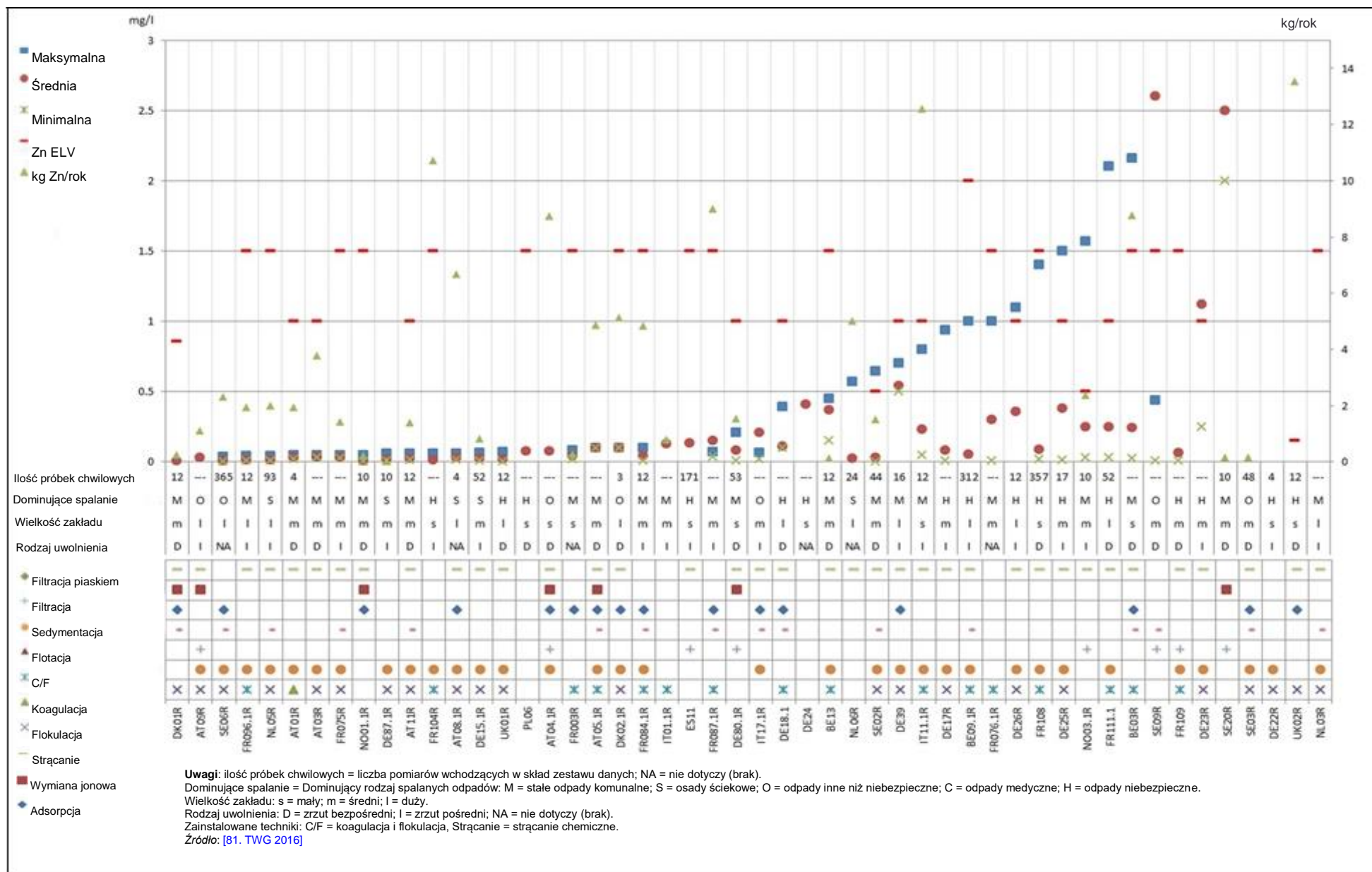
Ilustracja 3.76 Emisja molibdenu (Mo) do wody i zastosowane techniki jej ograniczania



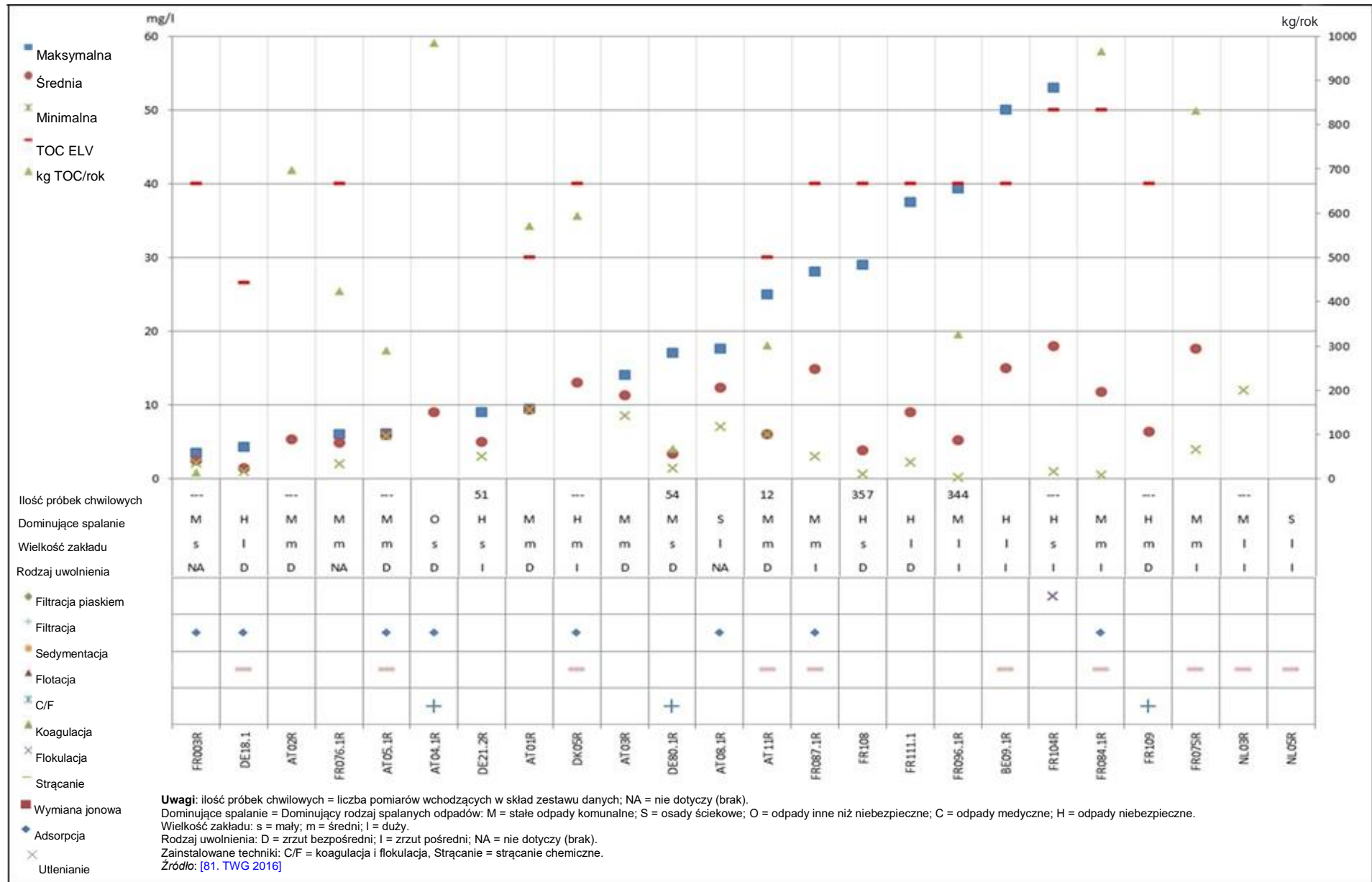
Ilustracja 3.77 Emisja niklu (Ni) do wody i zastosowane techniki jej ograniczania



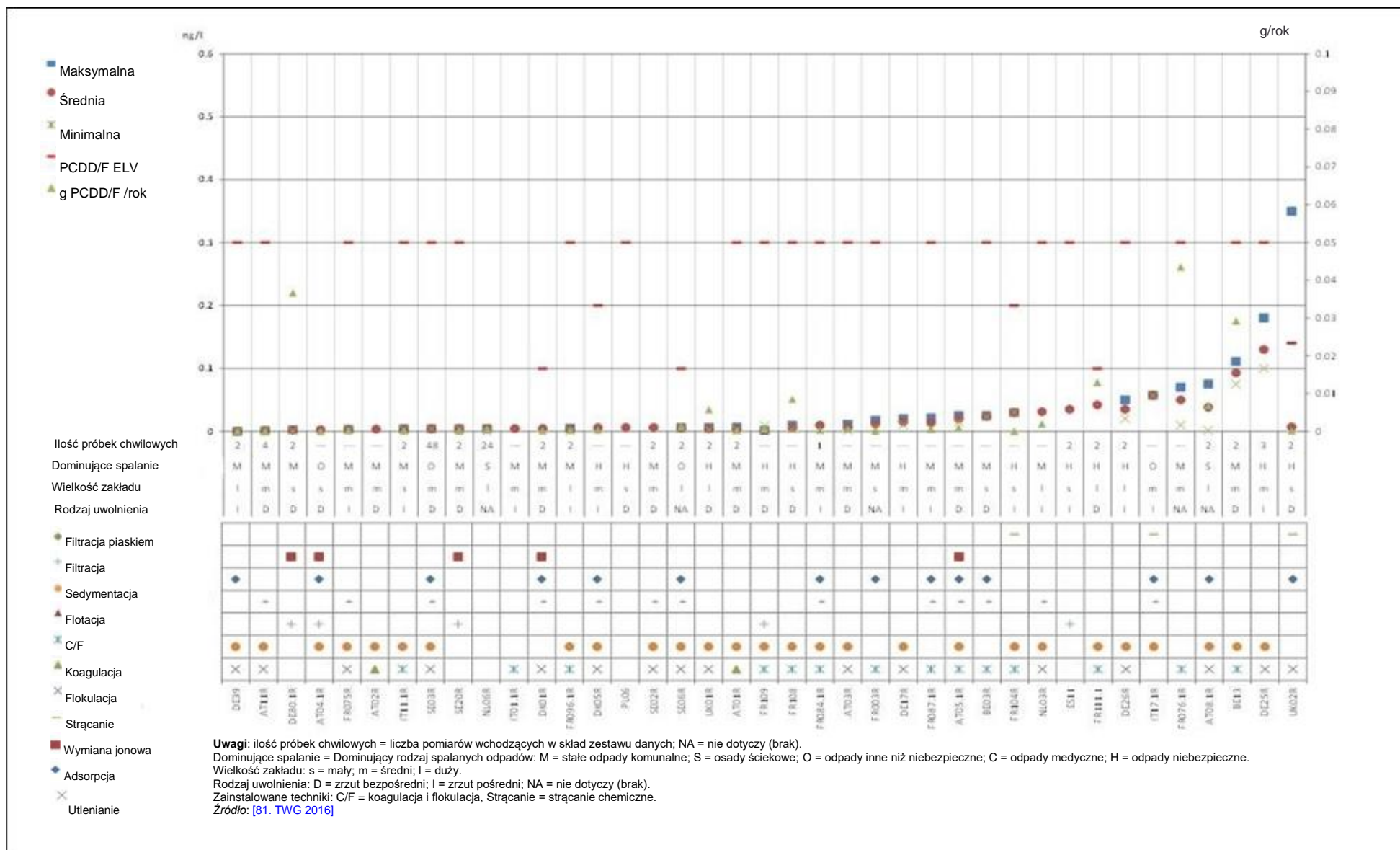
Ilustracja 3.78 Emisja talu (TI) do wody i zastosowane techniki jej ograniczania



Ilustracja 3.79 Emisja cynku (Zn) do wody i zastosowane techniki jej ograniczania



Ilustracja 3.80 Emisja ogólnego węgla organicznego (TOC, OWO) do wody i zastosowane techniki jej ograniczania



Ilustracja 3.81 Emisja polichlorowanych dibenzo-p-dioksyn i furanów (PCDD/F) do wody i zastosowane techniki jej ograniczania

3.4 Stałe pozostałości

3.4.1 Udział masowy stałych pozostałości

W tabeli 3.13 podsumowano niektóre typowe dane dotyczące pozostałości ze spalarni odpadów.

Tabela 3.13 Typowe dane dotyczące ilości pozostałości pochodzących ze spalarni odpadów

Rodzaj odpadów	Ilość (w stanie suchym) (kg/tonę odpadów)
Popiół/żużel paleniskowy	150–350
Popiół z kotła	20–40 ⁽¹⁾
Lotny popiół pochodzący z: mokrego FGC, półmokrego FGC, suchego FGC	15–4020–5015–60
Osad z przetwarzania ścieków	1–15
⁽¹⁾ Piece ze złożem fluidalnym wytwarzają większą ilość popiołu kotłowego.	
Źródło: [81. TWG 2016]	

Instalacje MSWI wytwarzają od 150 kg do 350 kg popiołów paleniskowych na tonę przetworzonych odpadów. Liczba ta obejmuje odpady przesiane przez ruszt. Masa przesianych odpadów zależy od rodzaju rusztu oraz czasu jego eksploatacji. Przesiewy zwiększają ilość niespalonej masy w popiołach paleniskowych i mogą przyczyniać się do wytrącania się miedzi. Jeśli chodzi o odzysk substancji z popiołów paleniskowych, powszechnie odzyskuje się zarówno substancje żelazne, jak i nieżelazne (np. aluminium). [74. TWG 2004]

Wytwarzanie popiołu kotłowego zależy od rodzaju kotła oraz ilości pyłów pierwotnie uwolnionych z paleniska. Istnieją ograniczone dane dotyczące wytwarzania popiołu kotłowego w piecach ze złożem fluidalnym, ale pokazują one wyraźną tendencję do wytwarzania większej ilości tego popiołu.

3.4.2 Skład i wymywalność stałych pozostałości

Spalania próbne wykazały, że wzrost wartości opałowej wsadu odpadów i wynikające z tego wyższe temperatury w złożu poprawiają wypalenie popiołu paleniskowego. [38. Vehlou 2002]

Na ilustracjach 3.82 i 3.83 przedstawiono dane dotyczące maksymalnego udziału procentowego TOC w popiele/żużlu paleniskowym pochodzącym ze spalania odpadów, zmierzonego w 2014 r. Natomiast na ilustracjach 3.84 i 3.85 przedstawiono maksymalny udział procentowy strat przy prażeniu (LOI) zmierzony w 2014 r. Liczby te pokazują również dominujący rodzaj spalanych odpadów, wielkość obiektu, rodzaj używanego pieca oraz to, czy pozostałości odpadów zostały sklasyfikowane przez operatora jako żużel, popiół paleniskowy czy popiół ze spalania w złożu fluidalnym.

Z informacji zebranych za pomocą kwestionariuszy wynika, że niższe wartości TOC oraz LOI zgłaszane są przez większość spalarni ze złożem fluidalnym oraz przez piece obrotowe pracujące w trybie żużlowania.

Definicja TOC zgodnie z normą EN 13137 uwzględnia również, jako TOC, węgiel elementarny, który nie powoduje żadnych problemów na składowiskach odpadów. TOC z popiołów paleniskowych składa się głównie z węgla elementarnego, ale znajdują się tam również w pewnej ilości związki organiczne (np. przesiane tworzywa sztuczne). Popiół taki obejmuje spektrum począwszy od związków krótkołańcuchowych aż po substancje o niskiej lotności, takie jak PAH lub PCDD/F.

Koncentracje związków organicznych w różnych stałych pozostałościach podano w tabelach 3.14, 3.15 i 3.16. W tabeli 3.15 niektóre wyższe wartości PCDD/F w popiele/żużlu paleniskowym mogą wynikać z mieszania się popiołów kotłowych z innymi pozostałościami, przed składowaniem na składowisku. Zazwyczaj poziomy PCDD/F dla popiołów paleniskowych, które nie zostały zmieszane z innymi pozostałościami z procesu spalania, są niższe niż 10 ng/I-TEQ/kg.

Tabela 3.14 Koncentracja związków organicznych w stałych pozostałościach pochodzących z systemu oczyszczania spalin.

Numer kodowy zakładu	Dominujący rodzaj spalanych odpadów	Typ pieca	System FGC	Opis pozostałości	PAH (mg/kg)	PCB (mg/kg)	PCDD/F (ng I-TEQ/kg)
AT08.1	S	r fb	mokry	popiół kotłowy	NA	NA	186
AT08.2	M	fb	mokry	popiół kotłowy	NA	NA	0.14
DE26	H	r	mokry	popiół kotłowy	NA	NA	3.4–9.5
DE76	O	g	suchy	popiół kotłowy	NA	NA	41
DK05	H	r	mokry	popiół kotłowy	NA	NA	17
FI01	M	g	mokry	popiół kotłowy	NA	< 0.021	150–180
IT01	M	g	mokry	popiół kotłowy	NA	NA	22
IT13	O	g	suchy	popiół kotłowy	0.68	0.011	285.1
IT14	M	g	suchy	popiół kotłowy	< 0.5	NA	63–190
IT15	M	g	suchy	popiół kotłowy	< 0.5	NA	0.11–0.17
IT16R	O	fb	mokry	popiół kotłowy	1.98–327	0.0093–0.01	1 360–41 400
IT17	O	g	mokry	popiół kotłowy	0.5	0.002–0.0024	0.35–0.4
IT18	M	g	suchy	popiół kotłowy	< 1	0.00003	1524
IT22	O	g	suchy	popiół kotłowy	< 0.5	NA	0.377
IT23	M	g	suchy	popiół kotłowy	NA	0.01	1 200
DE67	M	g	półmokry	katalizator	NA	NA	231
UK08	M	g	suchy	katalizator	NA	0.022–0.357	176.3–328.5
AT02	M	g	mokry	popiół lotny	NA	NA	440
DE25	H	r	mokry	popiół lotny	NA	NA	205
DE26	H	r	mokry	popiół lotny	NA	NA	50.1–63.4
DE29	H	r	mokry	popiół lotny	NA	NA	90
DE39	M	g	mokry	popiół lotny	NA	NA	1 037
DE51	O	g	mokry	popiół lotny	NA	NA	114
DE56	M	g	suchy	popiół lotny	NA	NA	151
DE74	O	g	mokry	popiół lotny	NA	NA	2 500
DE76	O	g	suchy	popiół lotny	NA	NA	224
DE80	M	g	mokry	popiół lotny	0.54	NA	427
DE86	M	g	mokry	popiół lotny	< 0.05	NA	487
FI01	M	g	mokry	popiół lotny	NA	< 0.021	250–700
IT02	M	g	suchy	popiół lotny	0–0.2	0–0.1	0.0004–0.001
IT11	M	g	mokry	popiół lotny	< 2	< 5	0.12–0.04
UK09.1	M	g	półmokry	popiół lotny	NA	NA	21.6–346
UK09.2	M	g	półmokry	popiół lotny	NA	NA	21.9–57.4
UK09.3	M	g	półmokry	popiół lotny	NA	NA	20.2–60.4
UK14	C	o	suchy	popiół lotny	NA	13.8–51 (ng/kg)	3671–7633

Uwagi: NA – nie dostarczono danych.
 Dominujący rodzaj spalanych odpadów: M = MSW; O = ONHW; S = SS; H = HW; C = CW. Typ pieca: g = rusztowy; fb = ze złożem fluidalnym; r = obrotowy; o = inny.
 Źródło: [81. TWG 2016]

Tabela 3.15 Koncentracja związków organicznych w popiele/żużlu paleniskowym

Numer kodowy zakładu	Dominujący rodzaj spalanych odpadów	Typ pieca	System FGC	PAH (mg/kg)	PCB (mg/kg)	PCDD/F (ng I-TEQ/kg)
AT02	M	g	mokry	NA	< 0.93	2.73
AT08.1	S	r fb	mokry	0.52	< 0.64	0.82
AT08.2	M	fb	mokry	NA	NA	21.1
DE15	S	fb	mokry	NA	< 0.01	15–23
DE16	S	fb	mokry	< 0.1	NA	57–55
DE23	H	r	mokry	0.2	< 0.1	< 5
DE25	H	r	mokry	NA	NA	79.3
DE29	H	r	mokry	< 1	< 0.1	0.01–46
DE30	H	r	mokry	0–60	NA	10–1 000
DE31	H	g	półmokry	6.2 POPs	NA	< 0.02
DE39	M	g	mokry	2.7–12.5	NA	n/a
DE55	M	g	mokry	NA	NA	478.3
DE56	M	g	suchy	NA	NA	0.6–9.3
DE69	M	g	suchy	NA	> 1	NA
DE74	O	g	mokry	NA	NA	10.7
DE80	M	g	mokry	NA	NA	13.8
DE86	M	g	mokry	0.74	NA	4.71
DK05	H	r	mokry	NA	NA	58
FI01	M	g	mokry	NA	< 0.021	7.6–13
FR108	H	r f	mokry	NA	3519	NA
IT01	M	g	mokry	NA	NA	1.1–54
IT02	M	g	suchy	0.1	0.0000001	5.92– 41.3
IT11	M	g	mokry	< 2	< 5	< 0.02
IT13	O	g	suchy	0.40	1.40	6.0
IT14	M	g	suchy	< 0.5	NA	1.1–8.6
IT15	M	g	suchy	< 0.5	NA	0.0014–0.003
IT16	O	fb	mokry	< 0.5	< 0.01	1.3–6.78
IT17	O	g	mokry	0.5–0.96	0.0096–0.028	0.0035–0.008
IT18	M	g	suchy	< 1	< 1	1–4
IT22	O	g	suchy	< 5	NA	3.6
IT23	M	g	suchy	NA	0.01	9.3
UK07.1	M	fb	suchy	NA	0.000017	443
UK07.1	M	fb	suchy	NA	0.0000001– 0.00000086	1.1–6.6
UK07.2	M	fb	suchy	NA	0.000011	340
UK07.3	M	fb	suchy	NA	0.000016	494
UK08	M	g	suchy	1.15–1.39	0.003–0.197	4.14–8.39
UK09.1	M	g	półmokry	NA	NA	2.46–6.1
UK09.2	M	g	półmokry	NA	NA	1.5–10.6
UK09.3	M	g	półmokry	NA	NA	2.39–13.4
UK14	C	o	suchy	NA	0.22–2.5 ng/kg	13.7–53.9

Uwagi: NA – nie dostarczono danych.

Dominujący rodzaj spalanych odpadów: M = MSW; O = ONHW; S = SS; H = HW; C = CW. Typ pieca: g = rusztowy; fb = ze złożem fluidalnym; r = obrotowy; o = inny.

Źródło: [81, TWG 2016]

Tabela 3.16 Koncentracja związków organicznych w stałych pozostałościach pochodzących z oczyszczalni ścieków

Numer kodowy zakładu	Dominujący rodzaj spalanych odpadów	Typ pieca	Opis	PAH (mg/kg)	PCB (mg/kg)	PCDD/F (ng I-TEQ/kg)
DE30	H	r	gips	0–0.6	poniżej LOD	150–170
DE51	O	g	gips	NA	NA	11.2
DE74	O	g	gips	NA	NA	266 550
DE86	M	g	gips	0.82	NA	9.29
DE25	H	r	osad	NA	NA	11 971
DE39	M	g	osad	NA	NA	592
DE80	M	g	osad	NA	NA	14
FR108	H	r f	osad	NA	0.186	NA
IT02	M	g	osad	0.1	0.000002	6.73E-5 – 4.16E-6
IT11	M	g	osad	< 1	< 5	< 0.02–0.1
IT17	O	g	osad	0.5	0.0072–0.022	0.098–0.14

Uwagi: NA – nie dostarczono danych.
 Dominujący rodzaj spalanych odpadów: M = MSW; O = ONHW; S = SS; H = HW; C = CW. Typ pieca: g = rusztowy; fb = ze złożem fluidalnym; r = obrotowy.
 Źródło: [81. TWG 2016]

Popioły paleniskowe pochodzące ze spalania stałych odpadów komunalnych (MSW)

Fracja mineralna, złom oraz frakcja niespalona są głównymi składnikami popiołu paleniskowego pochodzącego ze spalania MSW. Frakcja mineralna zawiera głównie krzemiany, ziemie alkaliczne oraz sole.

Zawartość oraz rodzaj pierwiastków zawartych w popiołach paleniskowych zależy głównie od składu wsadu MSW doprowadzanego do spalarni, lotności zawartych w nim pierwiastków, rodzaju spalania i zastosowanego systemu rusztowego, oraz bezawaryjnego funkcjonowania zakładu. [4. IAWG 1997]

Redukcja masy oraz objętości spalanych odpadów powoduje zwiększenie zawartości nielotnych metali w popiołach paleniskowych, w porównaniu do ich stężenia w wsadzie. Niektóre metale, np. arsen, kadm lub rtęć, w dużym stopniu ulatniają się z złoża paliwowego. Jest oczywiste, że z wyjątkiem głównie miedzi litofilnej, wszystkie wyróżnione metale w dużym stopniu wzbogacają pył przeznaczony do filtrowania.

Części składowe złomu to żelazo (głównie złom żelazny i stal nierdzewna) oraz metale nieżelazne (głównie aluminium, mosiądz i miedź) (zob. tabela 3.17).

Tabela 3.17 Główne komponenty nieprzetworzonego popiołu paleniskowego

Kategoria	Stężenie masowe m/m (masa-%)
Fracja mineralna	85–90
Fracja nie spalona	< 3
Złom żelazny	< 5–10
Złom nieżelazny	0.5–2

Źródło: [82. Germany 2014]

Podobnie jak w przypadku innych związków, przy ocenie ryzyka związanego z popiołami paleniskowymi, ważnym parametrem jest nie tylko samoistna obecność lub brak substancji czy jej postać chemiczna i fizyczna, ale także potencjalne uwalnianie się danej substancji w zależności od charakteru środowiska, w którym materiał będzie używany [7. TWG 2017]. Tabela 3.18 przedstawia skład popiołu paleniskowego.

Tabela 3.18 Skład chemiczny popiołu paleniskowego pochodzącego ze spalania MSW

Wartość w wt-% Parametr	Popiół paleniskowy		
	Minimum	Średnio	Maksimum
SiO ₂	42.91	49.2	64.84
Fe ₂ O ₃ *	9.74	12	13.71
CaO*	10.45	15.3	21.77
K ₂ O*	0.83	1.05	1.36
TiO ₂ *	0.65	1.03	1.33
MnO*	0.06	0.14	0.22
Al ₂ O ₃ *	6.58	8.5	10.79
P ₂ O ₅ *	0.55	0.91	1.49
MgO*	1.79	2.69	3.4
Na ₂ O*	1.86	4.3	5.81
CO ₂	2.56	5.91	10.96
Siarczany	2.5	15.3	28.3
Chlorki	1.3	3.01	7
Cr (ppm)	174	648	1035
Ni (ppm)	55	215	316
Cu (ppm)	935	2 151	640
Zn (ppm)	1 200	2 383	4001
Pb (ppm)	497	1 655	3245
Uwagi: * Skalkulowano na podstawie analizy fluorescencją rentgenowską. Źródło: [82. Niemcy 2014]			

Zazwyczaj stosuje się dwie metody analizy popiołu paleniskowego. Pierwsza z nich polega na analizie występujących w popiele paleniskowym związków "mobilnych" (wymiwalnych). W drugiej metodzie analizuje się wszystkie związki składające się na popiół paleniskowy (analiza ciał stałych). Stosowanie tych metod polega na wykorzystaniu frakcji mineralnej. Analiza eluatów ma jednak większe znaczenie przy ocenie możliwości odzysku materiału [75. FEAD 2014], ponieważ prawie wszystkie przepisy dotyczące unieszkodliwiania lub przetwarzania odpadów oparte są na znormalizowanych badaniach odcieków.

W tabeli 3.19 podano wartości wymywania dla nieprzetworzonych popiołów paleniskowych, zgodnie z danymi przedstawionymi w dokumencie BREF WI.

Tabela 3.19 Właściwości wymywania nieprzetworzonego popiołu paleniskowego.

Związek	Minimalna wartość wymywania (mg/kg)	Maksymalna wartość wymywania (mg/kg)
(SO ₄) ²⁻	200	10 000
As	0.00045	28
Ba	0.05	38
Br ⁻	7.6	NA
Cd	0.002	6.7
Cl ⁻	5	10 000
CN ⁻ (wolny)	0.01	NA
CN ⁻ (razem)	0.048	NA
Co	0.1	0.2
Cr (razem)	0.004	1.24
Cu	0.005	20
F ⁻	0.2	1300
Hg	0.0002	0.1
Mo	0.01	3.3
Ni	0.005	0.3
Pb	0.005	21
Sb	0.005	1.2
Se	0.001	0.13
Sn	0.04	NA
V	0.01	0.2
Zn	0.01	6.7
Uwagi: Stosunek L/S = 10 l/kg. Źródło: [81. TWG 2016]		

Następujące substancje mogą być uważane za ważne w przypadku popiołów paleniskowych pochodzących z MSW: miedź, cynk, antymon, molibden, chlorki i siarczany. Techniki przetwarzania mają na celu zmniejszenie wymywania tych substancji.

Pozostałości ze spalania odpadów niebezpiecznych (HW)

Pozostałości ze spalania HW, ze względu na rodzaj i skład spalanych odpadów, różnią się od pozostałości ze spalania odpadów innych niż niebezpieczne, ponieważ HW mają wyższe stężenie zanieczyszczeń nieorganicznych (niektóre z nich mogą w ogóle nie występować w odpadach innych niż niebezpieczne), które są przenoszone na pozostałości. Można zaobserwować następujące różnice:

- W przypadku popiołu i żużla: spalanie odpadów niebezpiecznych w beczkach odbywa się najczęściej w temperaturach wyższych niż te stosowane do spalania odpadów komunalnych. Może to prowadzić do innego rozkładu metali w popiele.
- Ze względu na różnice w rodzaju i zawartości odpadów, "określona kwota" popiołu paleniskowego może podlegać wahaniom znacznie większym niż w spalarniach odpadów komunalnych. Zróżnicowanie to można zaobserwować w obrębie tego samego zakładu, w zależności od wsadu odpadów, jak również pomiędzy różnymi zakładami i technologiami.
- W przypadku pyłu do filtrowania/pozostałości do FGC - ponieważ stężenie metali jest zazwyczaj wyższe w odpadach niebezpiecznych, wytworzone stałe pozostałości mogą również zawierać znacznie wyższe stężenia metali.

Tabela 3.20 zawiera przegląd parametrów, mierzonych przez niektóre zakłady spalające odpady niebezpieczne, określających efektywność niszczenia ich niebezpiecznych składników.

Tabela 3.20 Stosowane metody, oraz mierzone przez spalarnie parametry, zapewniające skuteczne niszczenie niebezpiecznych związków występujących w HW

Numer kodowy zakładu oraz rodzaj pieca		Odpady spalane w roku 2014 (w tonach)	Mierzone parametry związane z niszczeniem niebezpiecznych związków w HW	Metoda pomiaru	Inne parametry wykorzystywane do pomiaru jakości generowanego popiołu paleniskowego/żużla oraz zastosowana metoda pomiaru
DE15	fb	162 500	Emisja CO po spalaniu	Metoda laserowa	Nie mierzono
DE18	r	105 000	TOC	Brak danych	Nie mierzono
DE20	f	33 700	Zawartość wody/suche pozostałości; TOC; LOI	105 °C; DIN EN 13137; DIN EN 15169	Spala się trochę materiału grafitowego. Ponieważ wartość TOC w żużlu otrzymanym metodą standardową obejmuje węgiel nieorganiczny, w przypadku osiągnięcia wartości granicznej TOC mierzy się również TIC. Różnica jest "rzeczywistą" wartością TOC.
DE21	f	12 696	Temperatura na końcu pieca, tlen w piecu, minimalny przepływ powietrza do spalania, wykrywanie płomienia oraz AMS dla emisji do powietrza	Termopary, podczerwień, przepływomierze, itp.	Nie mierzono
DE23	r	55 223	Brak	Nie dotyczy	Eluat wg normy DIN 38404-C5/ DIN 10523
DE25	r	56 478	Brak	Nie dotyczy	Test wymywania
DE26	r	137 966	Emisja CO po spalaniu	Metoda laserowa	Pomiar zawartości metalu w próbkach mieszanych 12 razy w roku
DE28	r	55 006	Zawartość popiołu	Brak danych	Nie mierzono

DE29	r	117 629	Brak	Nie dotyczy	Ekstrahowalna substancja lipofilowa w substancji oryginalnej. Metoda - niemiecka wytyczna LAGA KW/04 (2009); wynik – 0.044% (średnia roczna, 21 pomiarów)
DE38	g	580 746	Brak	Nie dotyczy	Test wymywania
DE39	g	302 749	As, Cd, Cr (razem), Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, PAH	ISO11885-E22, ISO 16772, ISO 18287	Nie mierzono
DE44	g	494 815	Nie mierzono	Nie dotyczy	Ze względu na wytyczne LAGA - katalog wartości krytycznych, LAGA 20 = Z 2
DE52	g	187 311	Brak	Nie dotyczy	EOX, metale ciężkie, dioksyny
DE55	g	385 951	Ar, Pb, Cd, Cr, Cu, Ni, Hg, Zn, Cl, SO ₄	DIN EN ISO 17294-2/ DIN EN ISO 12846/ DIN 38414-4/ DIN EN ISO 10304-1/ DIN ISO 18287	Nie mierzono
DE56	g	219 329	Brak	Nie dotyczy	Określona ilość zgodnie z DIN ISO 11464; stałe pozostałości zgodnie z DIN ISO 11465; LOI zgodnie z DIN 18128; EOX zgodnie z DIN 38414-S17; kadm, arsen, ołów, miedź, nikiel, chrom oraz cynk zgodnie z DIN EN ISO 11885; rtęć zgodnie z DIN EN 1483; PAH zgodnie z DIN ISO 13877
DE60	g	364 133	Brak	Nie dotyczy	EOX (DIN 38414 s17); PAH (DIN ISO 13877)
ES11	r	44 516	Ciągły/okresowy monitoring emisji	Automatyczny system pomiarowy	Co 3 miesiące: zawartość metali w popiele paleniskowym. TOC oraz LOI
FI01	g r	317 095	Brak	Nie dotyczy	TOC, PCDD/F, PCB, XRF
FR106	f	59 051	Brak	Nie dotyczy	Ni oraz Zn
FR108	r f	32 930	Wewnętrzna zawartość PCB	Brak raportów	Analiza kluczowych parametrów w żużlach; TOC oraz LOI
FR110	r	126 468	TOC	Miernik TOC	Inspekcja wizualna (co godzinę); Test TOC w temp. 870 °C celem pomiaru wytworzonego CO; Wizualna inspekcja wyjścia z pieca z użyciem endoskopu; Wybór położenia dysz (niska/wysoka wartość opałowia wsadu) celem uniknięcia lub stworzenia bariery termicznej; Zmiana prędkości obrotowej pieca.
FR111	r	196 055	Zawartość LOI oraz metali w stałych pozostałościach	EN 12457-2	Test wymywania
NL05	fb	360 100	Brak	Nie dotyczy	Fosfor
NO01	g	185 980	Brak raportów	Brak raportów	Nie mierzono
PL03	r	28 267	TOC	EN13137	LOI zgodnie z EN15169
UK08	g	261 257	Nie mierzono	Nie dotyczy	pH, Rezerwa Zasadowa oraz metale

NO02	g	141 896	Pomiar spalin	Brak raportów	Podstawowa charakterystyka jest wykonywana co roku na wybranych próbach popiołów paleniskowych (sortowanie pod kątem metali)
PL05	fb	15 673	Brak	Nie dotyczy	Parametry mierzone zgodnie z załącznikiem 1-3 do prawa krajowego (kryteria i procedury dopuszczania odpadów do składowania, jak w dyrektywie EU w sprawie składowania odpadów)
SE03	g	176 487	Metale, TOC, itp.	Testy przeprowadza się w przypadku spalania nowego rodzaju HW, ale nie w sposób rutynowy.	Nie mierzono
SE21	g r	153 249	PCB, PAH	Chromatografia gazowa	Fluorescencja rentgenowska (XRF) - skan żużla oraz wszystkich rodzajów popiołu
UK02	r	37 344	LOI	BS EN 15169:2007	Brak raportów
Uwagi: Typ pieca: g = rusztowy; fb = ze złożem fluidalnym; r = obrotowy; o = inny. Źródło: [81. TWG 2016]					

Typowe wartości wymywania dla popiołów paleniskowych pochodzących ze spalania odpadów niebezpiecznych podano w tabeli 3.21.

Tabela 3.21 Typowe wartości wymywania popiołu paleniskowego pochodzącego ze spalania w spalarniach HW

Związek	Minimalna wartość wymywania (mg/kg)	Maksymalna wartość wymywania (mg/kg)
As	< 0.01	16
Ba	< 0.01	14.4
Cd	< 0.01	2.1
Co	0.03	< 0.1
Cr (razem)	< 0.01	30
Cr ^{VI}	< 0.01	10
Cu	< 0.01	2.15
Hg	< 0.002	1
Mn	0.008	0.68
Mo	0.01	21
Ni	< 0.01	5
Pb	< 0.01	13
Sb	< 0.005	4
Se	< 0.01	1
Tl	< 0.001	< 0.35
V	0.005	0.1
Zn	< 0.02	3.2
Chlorki	< 1	4 700
Fluorki	< 0.1	15
Siarczany	2	3 600
Indeks fenolowy	< 0.01	10
DOC	< 1	130
TDS	< 50	18 000
TOC	0.09	55
BTEX	0	< 0.15
PCB 7	< 0.02	< 0.05
Olej mineralny	NA	< 100
PAH	< 0.05	6.2
Uwagi: Stosunek L/S = 10 l/kg. Źródło: [81. TWG 2016]		

Pozostałości po spalaniu osadów ściekowych

Na strukturę chemiczną popiołu pochodzącego ze spalania osadów ściekowych znaczny wpływ ma pogoda, a w szczególności ilość opadów. W przypadku deszczowej pogody większe ilości gliny i drobnego piasku dostają się do kanalizacji, przechodzą przez piaskownik, są wytrącane w zbiorniku sedymentacji wstępnej i trafiają do spalania wraz z osadem pierwotnym. W wyniku tego znacznie zwiększa się zawartość krzemianów w popiele. Zawartość innych składników w okresach deszczowych ulega natomiast rozcieńczeniu.

Ponadto, rodzaj zlewni oraz prowadzone zabiegi mają duży wpływ na jakość osadu. Obszary o dużej liczbie przyłączy z przemysłu ciężkiego mogą powodować wyższe stężenia metali ciężkich podawanych do spalarni. Substancje te mogą następnie gromadzić się na dnie oraz w popiołach lotnych. Na obszarach wiejskich, z mniejszą ilością przemysłu, osady są mniej zanieczyszczone, a co za tym idzie, pozostałości ze spalarni są mniej skażone.

Inny istotny wpływ ma charakter procesu przetwarzania (a więc i stosowanych odczynników: mineralnych, polimerowych, itp.) używany do oczyszczania ścieków. [74. TWG 2004]

Informacje na temat zawartości fosforu oraz niektórych niebezpiecznych substancji organicznych w stałych pozostałościach pochodzących ze spalania odpadów przedstawiono w tabeli 3.22.

Tabela 3.22 Zawartość fosforu, PAH (WWA), PCB i PCDD/F w stałych pozostałościach pochodzących ze spalania osadów ściekowych

Numer kodowy zakładu	Dominujący rodzaj spalanych odpadów	Typ pieca	System FGC	Opis pozostałości	P (mg/kg)	PAH (mg/kg)	PCB (mg/kg)	PCDD/F (ng I- TEQ/kg)
DE15	S	fb	mokry	popiół/żużel paleniskowy	29 200–38 700	NA	< 0.01	15–23
DE16	S	fb	mokry	popiół/żużel paleniskowy	28 000–46 000	< 0.1	Nie określono	57–55
DE26	H	r	mokry	popiół kotłowy	14 800–35 700	NA	NA	3.4–9.5
DE26	H	r	mokry	popiół/żużel paleniskowy	2 700–5 500	NA	NA	NA
DE26	H	r	mokry	popiół lotny	19 000–29 800	NA	NA	50.1–63.4
DE70	M	g	suchy	popiół/żużel paleniskowy	70	NA	NA	NA
DE73	M	g	półmokry	popiół/żużel paleniskowy	< 0.1–1.1	NA	NA	NA
DE73	M	g	półmokry	popiół lotny	< 0.1–0.66	NA	NA	NA
DE74	O	g	mokry	popiół/żużel paleniskowy	2 300	NA	NA	NA
DE74	O	g	mokry	popiół lotny	5 700	NA	NA	NA
DE74	O	g	mokry	gips	230	NA	NA	NA
DE87	S	fb	mokry	popiół/żużel paleniskowy	90 000	NA	NA	NA
NL05	S	fb	mokry	popiół/żużel paleniskowy	113 000	NA	NA	0
NL05	S	fb	mokry	popiół lotny	1 500	NA	NA	3
NL06	S	fb	mokry	popiół/żużel paleniskowy	87 000	NA	NA	NA
SE20	M	g	mokry	popiół kotłowy	2 870	NA	NA	NA

Uwagi:
 Dominujący rodzaj spalanych odpadów: M = MSW; O = ONHW; S = SS; H = HW; C = CW. Typ pieca: g = rusztowy; fb = ze złożem fluidalnym; r = obrotowy.
 Źródło: [81. TWG 2016]

Problemy z innymi rodzajami odpadów

Problemy związane z odpadami medycznymi to:

- wypalenie musi być dokładne, aby zapewnić zniszczenie substancji zakaźnych;
- igły oraz inne ostre materiały znajdujące się w popiele paleniskowym mogą stwarzać dodatkowe ryzyko związane z postępowaniem z nim.

Jakość stałych pozostałości pochodzących ze złóż fluidalnych

Ze względu na różnice w procesie, właściwościach odpadów oraz temperaturach spalania, jakość popiołów paleniskowych pochodzących ze spalania w złożu fluidalnym różni się w porównaniu z popiołem z pieców rusztowych. Generalnie w procesach spalania w złożu fluidalnym mamy do czynienia z niższymi (ale za to bardziej równomiernie rozłożonymi) temperaturami pracy czy charakterem dodatkowego paliwa, co powoduje, że:

- większa część metali lotnych pozostaje w popiele paleniskowym - w konsekwencji zmniejsza się stężenie metali ciężkich w pozostałościach ze spalin; czasami jednak występują problemy z poziomem Cr(VI) w rozpuszczalnej części popiołu paleniskowego;
- stopień zeszklenia popiołu może zostać zmniejszony;
- wypalenie może być lepsze.

W przypadku produkcji paliwa z odzysku dla kotłów ze złożem fluidalnym, zawartość popiołu wynosi zwykle 1-10%, a w przypadku odpadów budowlanych i pochodzących z rozbiórek - zwykle 1-7%. [33. Finlandia 2002.] Zawartość popiołu pochodząca ze spalania odpadów domowych w piecach z obrotowym złożem fluidalnym wynosi do 30% wsadu, a w przypadku RDF - do 15 %.

Większość stałych pozostałości ze spalania w złożu fluidalnym stanowią popioły lotne, które w zależności od warunków i stosowanej technologii złoża fluidalnego mogą stanowić do 90% całkowitej ilości pozostałego popiołu. Popiół paleniskowy jest mieszany z materiałem złoża fluidalnego (np. piaskiem, dodatkami do odsiarczania). W przypadku spalania odpadów lub RDF w obrotowym złożu fluidalnym stosunek popiołu paleniskowego do popiołu lotnego wynosi około 50:50.

W przypadku wykorzystywania odpadów pochodzących z budowy i rozbiórki, w porównaniu ze spalaniem drewna, można zaobserwować w obu rodzajach popiołu niewielki wzrost zawartości metali ciężkich. W przypadku, gdy odzyskane paliwo jest wytwarzane z odpadów pochodzących z gospodarstw domowych, następuje wzrost zawartości metali ciężkich. Wielkość tego wzrostu zależy od rodzaju odpadów pochodzących z tych gospodarstw. Jeśli spalane są wszystkie odpady razem, wzrost ten jest wysoki. Jeśli stosowana jest separacja (segregacja) odpadów, a spalany jest tylko palny materiał opakowaniowy, wzrost ilości metali ciężkich jest mniejszy. Paliwa odzyskane z odpadów przemysłowych mogą być bardzo zmienne i w związku z tym dają w efekcie szeroki zakres jakości popiołu.

Tabela 3.23 Wartości wymywanego popiołu paleniskowego z pieców z złożem fluidalnym

Związek	Numer kodowy zakładu oraz dominujący rodzaj spalanych odpadów								
	AT08.1 S	AT08.2 M	BE08 O	IT16 O	PL01 S	PL05 S	UK07 M	UK17 O	UK18 O
As (mg/kg)	< 0.01	< 0.01	0	0.001	1.72	0.042–6.09	< 0.008	< 0.02–0.142	< 0.02–< 0.03
Ba (mg/kg)	22	2.1	1.6	0.307–.784	1	0.307–0.428	1.52	1–10.2	1.49–2.84
Cd (mg/kg)	0.019	0.02	0	0.005	0.13	< 0.005	< 0.001	< 0.01	< 0.003–< 0.01
Co (mg/kg)	< 0.5	< 0.5	0	NA	NA	NA	< 0.006	< 0.1	< 0.1–< 0.2
Cr tot (mg/kg)	< 0.3	< 0.3	1.4	0.042–0.081	0.1	< 0.030	2.26	0.028–0.69	0.2–0.69
Cr VI (mg/kg)	< 0.3	< 0.3	0.6	NA	NA	NA	NA	0.37–0.6	NA
Cu (mg/kg)	< 0.5	< 0.5	0.47	0.005–0.097	0.28	0.059–< 0.040	0.13	< 0.1–0.44	< 0.1–< 0.2
Hg (mg/kg)	< 0.001	< 0.001	0	0.0005	0.005	< 0.005–< 0.005	< 0.0001	< 0.0002	< 0.0002–< 0.0003
Mn (mg/kg)	< 0.1	< 0.1	0	NA	NA	NA	< 0.04	< 0.1	< 0.1–< 0.2
Mo (mg/kg)	22.3	0.3	2.19	0.009–0.019	3.98	< 0.040–11	0.4	0.028–0.12	0.32–0.85
Ni (mg/kg)	< 0.3	< 0.3	0	0.005	0.25	< 0.040	< 0.01	< 0.1	< 0.1–< 0.2
Pb (mg/kg)	1.7	< 0.3	71.9	0.005–0.011	0.31	< 0.100	0.2	0.09–4.3	0.016–1.27
Sb (mg/kg)	< 0.3	0.4	0	0.024–0.157	0.099	< 0.010–< 0.50	< 0.17	0.065–0.25	0.12–0.31
Se (mg/kg)	< 0.1	< 0.1	0	0.001	3.69	0.015–21.4	< 0.01	< 0.02	< 0.02–< 0.03
Tl (mg/kg)	< 0.5	< 0.5	0	NA	NA	NA	< 0.01	0.024–0.87	< 1–< 2
V (mg/kg)	0.15	0.2	0	NA	NA	NA	0.24	0.012–0.19	< 0.1–< 0.2
Zn (mg/kg)	0.6	< 0.1	0.4	0.05	1	< 0.050	0.53	< 0.1–27.3	< 0.2–0.2
Chlorki (mg/kg)	3 240	909	1 915	81–122	6 568	< 50–26 900	1210	12–29.2	263–707
Fluorki (mg/kg)	19	3	5	NA	2251	< 1.0–1 269	< 0.96	0.88–1.16	0.1–1.52
Siarczki (mg/kg)	1 600	13 000	10 024	11232	60 000	186–296 350	1610	30.4–64	206–853
Indeks fenolowy (mg/kg)	1.1	< 0.1	NA	NA	NA	NA	NA	< 0.1	NA
DOC (mg/kg)	NA	NA	NA	20	1366	28.9–36.2	NA	1.68–9	NA
TDS (mg/kg)	NA	NA	NA	1620–4270	596 352	1 440–722 220	3030	760–3 468	5 700–7 500
TOC (mg/kg)	302	25	36.9	NA	0.43	NA	NA	NA	5.2–10.6
BTEX (mg/kg)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PCB 7 (mg/kg)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.0001	NA	NA
Olej mineralny (mg/kg)	1	< 1	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
PAH (mg/kg)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	< 2.4	NA	NA
PCDD/F (mg/kg)	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.00000198	NA	NA

Uwagi: Dominujący rodzaj spalanych odpadów: M = MSW; O = ONHW; S = SS.
Stosunek L/S = 10 l/kg. NA = nie dotyczy. Źródło: [81. TWG 2016]

3.4.3 Przetwarzanie popiołu paleniskowego pochodzącego ze spalania/przetwarzanie żużla

Zgodnie z zebranymi danymi, wszystkie zakłady w Europie przetwarzają popiół paleniskowy/żużel z zastosowaniem separacji ferromagnetycznej celem odzyskania żelaza, a większość stosuje separację wiroprowadową celem odzyskania metali nieżelaznych.

Tabela 3.24 przedstawia główne właściwości instalacji przetwarzania żużla i/lub popiołu paleniskowego, które uczestniczyły w gromadzeniu danych za rok 2016.

Tabela 3.24 Charakterystyka instalacji do przetwarzania popiołu paleniskowego pochodzącego ze spalania

Numer kodowy zakładu	Wydajność (t/rok)	Przepustowość (t/h)	Na terenie zakładu WI	Rodzaj przetwarzania	Stosowane procesy
AT.B-01	40 000	90	Nie	Suche, mokre, płukanie	M,F,E,Dw,SS
BE.B-01	100 000	25	Tak	Suche	F,E,A,B,SS
BE.B-02	NA	75	Tak	Mokre	M,F,E,S,Dw,SS
CZ.B-01	120 000	50	Tak	Mokre	M,F,E,
DE.B-01	180 000	100	Nie	Suche	M,F,E,A,SS
DE.B-02	400 000	90	NA	Suche, mokre, płukanie	M,F,E,A,Dw,SS
DE.B-03	300 000	120	Nie	Mokre	M,F,E,SS
DE.B-04	600 000	130	Nie	Suche	M,F,E,I,N,O,A,SS
DE.B-05	340 000	120	Nie	Suche	M,F,E,A,SS
DE.B-06	216 000	100	Nie	Suche	M,F,E,A,SS
DE.B-07	450 000	120	Nie	Suche	M,F,E,A,SS
DE.B-08	250 000	80	Nie	Suche	M,F,E,I,A,SS
DE.B-09	70 000	37	Tak	Suche	M,F,E,SS
DE.B-10	90 000	100	Tak	Suche, płukanie	M,F,E,
DE.B-11	90 000	100	Tak	Suche, płukanie	M,F,E,A
DE.B-12	79 000	55	Tak	Suche	F,E,A,SS
DE.B-13	140 000	100	Tak	Mokre	M,F,E,I,A,B,SS
DE.B-14	NA	NA	Tak	Suche	M,F,E,B,SS
DK.B-01	125 000	100	Nie	Mokre	M,F,E,I,A,SS
DK.B-02	750 000	120	Nie	Mokre	M,F,E,I,A,SS
DK.B-03	180 000	90	Nie	Mokre	M,F,E,A,SS
ES.B-01	200 000	120	Tak	Suche, płukanie	M,F,E,A,SS
FR.B-01	5 500	1.2	Tak	Suche	F,E,SS
FR.B-02	12 000	3	Tak	Suche	F,E,SS
FR.B-03	90 000	NA	Tak	Suche	F,E,A,SS
FR.B-04	87 000	100	Tak	Suche	M,F,E,SS
FR.B-05	54 250	80	Tak	Suche	F,E,A,SS
FR.B-06	200 000	100	Nie	Suche	M,F,E,A,SS
FR.B-07	120 000	92	Nie	Suche	M,F,E,A,SS
FR.B-08	100 000	40	Nie	Suche	M,F,E,SS
FR.B-09	7 000	0.84	Tak	Suche	F,SS
FR.B-10	20 000	35	Nie	Suche	F,E,SS
IT.B-01	250 000	110	Nie	Suche	M,F,E,A,SS
IT.B-02	620 000	160	Nie	Suche, mokre, płukanie	M,F,E,I,A,S,Dw,Dd,SS
NL.B-01	180 000	100	Tak	Suche	F,E,A,B,SS
NL.B-02	320 000	130	Nie	Suche	F,E,A,B,SS
NL.B-03	700 000	200	Nie	Suche	M,F,E,A,B,SS
PT.B-01	200 000	60	Nie	Suche	M,F,E,A,SS
PT.B-02	NA	NA	Tak	Suche	F
SE.B-01	87 000	1000	Tak	Suche	F,E,SS
SE.B-02	129 905	40	Nie	Suche	F,E,A,SS
SE.B-03	100 000	100	Nie	Suche	M,F,E,I,SS
UK.B-01	200 000	120	Nie	Suche	F,E,A,B,SS

Uwagi: NA = nie dotyczy; Suche = przetwarzanie na sucho; Płukanie = płukanie popiołu paleniskowego; Mokre = przetwarzanie na mokro; A = separacja powietrzna; B = separacja balistyczna (grawimetryczna); Dd = sucha separacja gęstościowa; Dw = mokra separacja gęstościowa; E = separacja wiroprowadowa; F = separacja ferromagnetyczna; I = indukcja, separacja wszystkich metali; M = sortowanie ręczne; N = separacja w bliskiej podczterwieni; O = separacja optyczna inna niż NIS; S = separacja flotacyjno-sedymentacyjna; SS = przesiewanie/odsiewanie.

Źródło: [81. TWG 2016]

3.4.3.1 Udział masowy

Ilość metali żelaznych i nieżelaznych odzyskanych z popiołu paleniskowego/żużla zależy od składu spalanych odpadów oraz procesu zastosowanego do ich ekstrakcji z IBA. Tabele 3.25 i 3.26 przedstawiają ilość popiołu paleniskowego/żużla przetworzonych w 2014 r. przez zakłady przetwarzania odpadów, które uczestniczyły w zbieraniu danych w 2016 r., oraz procent odzyskanych metali żelaznych i nieżelaznych.

Tabela 3.25 Zakłady przetwarzające żużel/popioły paleniskowe (według europejskiego kodu odpadów 19 01 12). Ilości przetworzone w 2014 r. oraz procent odzyskanych metali żelaznych i nieżelaznych

Zakład	Ilości przetworzone (t)	Metale żelazne (%)	Metale nieżelazne (%)
AT.B-01	32 546	1.15	1.85
BE.B-01	88 655	NA	NA
BE.B-02	87 813	8	3
CZ.B-01R	59 145	6	0.3
DE.B-01	157 600	5.77	1.46
DE.B-02	276 000	NA	NA
DE.B-03	140 180	10	1
DE.B-04	522 874	4–8	0.20–1
DE.B-05	244 931	7.66	2.613
DE.B-06	141 000	4.8	3.34
DE.B-07	304 000	NA	NA
DE.B-08	46 500	NA	NA
DE.B-09	61 172	8	0.8
DE.B-10	56 476	11.47	1.45
DE.B-11	NA	9	2.9
DE.B-12	79 000	5.06	0.68
DE.B-13	104 015	6.2 ⁽¹⁾	1.06 ⁽¹⁾
DE.B-14	64 262	9.3	0.8
DK.B-01	116 161	6	1.2
DK.B-02	750 000	NA	NA
DK.B-03	11 000	3.6 ⁽¹⁾	1.1 ⁽¹⁾
ES.B-01R	114 376	8.3	0.53
FR.B-01	11 432	NA	NA
FR.B-02	11 216	NA	NA
FR.B-03	96 186	NA	NA
FR.B-04	68 838	NA	NA
FR.B-05	45 717	NA	NA
FR.B-06	127 203	1.1	1.9
FR.B-07	104 469	NA	NA
FR.B-08	80 000	NA	NA
FR.B-09	5 837	NA	NA
FR.B-10	4 810	NA	NA
IT.B-01	132 217	8	2
IT.B-02	301 288	10	1.5
NL.B-01	205 131	6.5	2.3
NL.B-02	240 559	6.2	3
NL.B-03	616 072	4.59	1.86
PT.B-01	112 506	NA	NA
PT.B-02	18 179	2.46	NA
SE.B-01	87 000	4.44	1.89
SE.B-02	129 905	4.4 ⁽¹⁾	1.74 ⁽¹⁾
SE.B-03	99 275	5.4	1.5
UK.B-01	171 196	7	2.3

Uwagi: NA = nie dotyczy (dane niedostępne).
⁽¹⁾ wartość szacunkowa, obliczona
Procent metali żelaznych i nieżelaznych odseparowanych od przetworzonych odpadów jest wartością netto. Nie uwzględnia zanieczyszczeń.
Źródło: [81. TWG 2016]

Tabela 3.26 Zakłady przetwarzające żużel/popioły paleniskowe w 2014 r. według europejskiego kodu odpadów 19 01 11*r. Ilości poddane przetworzeniu oraz wartości procentowe odzyskanych metali żelaznych i nieżelaznych.

Zakład	Ilości przetworzone (t)	Metale żelazne (%)	Metale nieżelazne (%)
DE.B-03	73 025	10	1
IT.B-01	39 592.81	8	2
IT.B-02	30 779	10	1.5

Uwagi: Procent metali żelaznych i nieżelaznych odseparowanych od przetworzonych odpadów jest wartością netto. Nie uwzględnia zanieczyszczeń.
Źródło: [81. TWG 2016]

Tabela 3.27 zawiera przegląd wyników przetwarzania oraz miejsc przeznaczenia przetwarzanego popiołu paleniskowego/żużla. Większość jest odzyskiwana oraz ponownie wykorzystywana przy budowie dróg czy pracach ziemnych, lub wysyłana na składowisko odpadów.

Tabela 3.27 Wartości wejściowe i wyjściowe europejskich zakładów przetwarzania popiołu paleniskowego ze spalarni odpadów w 2014 r.

Zakład	Odpady		R/D	Rozmiar cząstek (mm)	Przeznaczenie						
	Wejście (t)	Wyjście (t)			RC	L	OS	U	RP	AF	OR
AT.B-01	32 546	31 566	D	0–50	Nie	Tak	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie
BE.B-01	88 655	80 711	R	0–20	Tak	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie	Tak
BE.B-02	87 813	71 580	R/D	< 0.67; 0.67–2; 2–6; 6–50	Tak	Tak	Tak	Nie	Nie	Nie	Nie
CZ.B-01R	59 145	59 145	R	0–16; 16–42; > 42	Nie	Tak	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie
DE.B-01	157 600	130 000	R	0–45	Tak	Tak	Tak	Nie	Nie	Nie	Nie
DE.B-02	276 000	243 500	R/D	0–0.25; 0.25–45	Nie	Tak	Tak	Nie	Nie	Nie	Nie
DE.B-03	140 180 73 025	189 540	R	0–80	Nie	Tak	Nie	Tak	Nie	Nie	Nie
DE.B-04	522 874	411 546	R/D	0–55	Tak	Tak	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie
DE.B-05	244 931	206 822	R	0–32	Nie	Tak	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie
DE.B-06	141 000	128 116	R	0–32	Tak	Tak	Tak	Nie	Nie	Nie	Nie
DE.B-07	304 000	280 000	R	0–32	Tak	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie
DE.B-08	46 500	41 300	R	0–2; 2–8; 8–40	Tak	Tak	Tak	Nie	Nie	Nie	Tak
DE.B-09	61 172	55 745	R	0–32	Nie	Tak	Nie	Tak	Nie	Nie	Nie
DE.B-10	56 476	47 294	R	0–32	Tak	Nie	Tak	Nie	Nie	Nie	Nie
DE.B-11	NA	79 412	R	0–32	Tak	Nie	Tak	Nie	Nie	Nie	Nie
DE.B-12	79 000	64 300	R/D	NA	Nie	Tak	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie
DE.B-13	104 015	108 855	R/D	NA	Nie	Tak	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie
DE.B-14	64 262	57 814	R/D	0–32; < 32	Nie	Tak	Nie	Nie	Nie	Nie	Tak
DK.B-01	116 161	104 540	R	0–50	Tak	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie
DK.B-02	750 000	675 000	R	0–50	Tak	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie
DK.B-03	11 000	30 000	R	0–50	Tak	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie
ES.B-01R	114 376	127 998	R	0–10; 10–20; 0–20	Tak	Tak	Tak	Nie	Tak	Nie	Tak
FR.B-01	11 432	11 432	R	0–30	Tak	Nie	Nie	Nie	Tak	Nie	Tak
FR.B-02	11 216	14 339	R	NA	Tak	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie
FR.B-03	96 186	64 969	R	0–31	Tak	Nie	Nie	Tak	Nie	Nie	Nie
FR.B-04	68 838	68 258	R/D	0–30	Tak	Tak	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie
FR.B-05	45 717	36 021	R	NA	Tak	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie

FR.B-06	127 203	110 545	NA	0–20	Tak	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie
FR.B-07	104 469	98 243	R	0–20	Tak	Tak	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie
FR.B-08	80 000	65 000	R	0–31	Tak	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie
FR.B-09	5 837	4 161	R	0–45	Tak	Tak	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie
FR.B-10	4 810	3 900	NA	NA	Tak	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie
IT.B-01	132 217 39 592.81	158 900	NA	0–2; 2–4; 0–4; 4–10	Nie	Nie	Tak	Nie	Tak	Nie	Nie
IT.B-02	301 288 30 779	290 000	R	0–6; 0–20	Tak	Tak	Nie	Nie	Nie	Nie	Tak
NL.B-01	205 131	184 151	R	0–22	Tak	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie
NL.B-02	240 559	150 029	R	0–40	Tak	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie
NL.B-03	616 072	568 631	R	0–11; 0–32	Tak	Nie	Nie	Nie	Tak	Nie	Nie
PT.B-01	112 506	50 353	R	0–31	Tak	Nie	Nie	Nie			Tak
PT.B-02	18 179	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
SE.B-01	87 000	87 000	NA	0–4; 4–60; > 60	Tak	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie
SE.B-02	129 905	121 000	NA	0–50	Tak	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie
SE.B-03	99 275	77 534	R/D	0–60; > 60	Tak	Tak	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie
UK.B-01	171 196	125 806.1	R	0–40;	Tak	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie

Uwagi: NA = nie dotyczy (brak danych).
R = Odzysk; D = Unieszkodliwianie.
RC = roboty drogowe oraz ziemne; L = składowisko; OS = inne konstrukcje; U = składowanie pod ziemią;
RP = odzysk w produkcji; AF = odzysk w rolnictwie lub nawóz; OR = inny odzysk.
Źródło: [81. TWG 2016]

Tabela 3.54 przedstawia przegląd jakości popiołu paleniskowego po przetworzeniu. Informacje te mogą być porównane z informacjami podanymi w tabeli 3.19 i dotyczącymi wartości nieprzetworzonego popiołu paleniskowego produkowanego przez spalarnie.

Tabela 3.28 Wartości wymyte z popiołu paleniskowego po przetworzeniu.

Składnik	Średnio (mg/kg)	Minimalnie (mg/kg)	Maksymalnie (mg/kg)
Chlorki	1 930	100	5 800
Siarczki	2 118	50	6 410
Ołów	1	0.01	11
Miedź	5	0.05	80
Nikiel	0.17	0.01	1
Arsen	0.4	0.01	2
Molibden	0.6	0.01	5
Antymon	0.2	0.01	1
Kadm	0.01	0.003	0.05
Cynk	1	0.005	9
Wanad	0.1	0.03	0.2
Chrom całkowity	0.23	0.01	2
COD	158	1	670

Uwagi: Stosunek L/S = 10 l/kg.
Podawane wartości obliczono na podstawie informacji dostarczonych przez następujące zakłady:
AT.B-01, BE.B-02, DE.B-05, DE.B-12, DE.B-14, ES.B-01R, FR.B-01, FR.B-02, FR.B-03, FR.B-04, FR.B-05,
FR.B-06, FR.B-08, FR.B-09, FR.B-10, IT.B-02, NL.B-01, NL.B-02, NL.B-03, PT.B-01, SE.B-03.
Źródło: [81. TWG 2016]

3.4.3.2 Emisje do powietrza

Emisje do powietrza z zakładów przetwarzania popiołu paleniskowego/żużła ze spalarni odpadów są zazwyczaj pyłami zawierającymi cząstki metali. Emisje pyłów i metali pochodzą głównie z postępowania z żużłami/popiołami, rozdrabniania oraz separacji powietrznej. Tabela 3.29 przedstawia osiągnięte poziomy emisji pyłów w niektórych zakładach UE przy zastosowaniu technik stosowanych do ograniczania źródeł oraz emisji do powietrza.

Tabela 3.29 Emisje pyłu do powietrza powstające w wyniku spalania popiołów paleniskowych - pomiary okresowe

Zakład	Źródło emisji zorganizowanych	Stosowana technologia	Natężenie przepływu (Nm ³ /godz.)			Pył (mg/Nm ³)		
			Maks	Średnie	Min	Maks	Średnie	Min
CZ B-01	Rozdrabniacz, przesiewanie, przenośnik taśmowy, odsysanie powietrza z hali	B	98 120	68 540	54 040	0.7	0.3	0.2
DE B-05	Separacja powietrzna	B	30 000	25 750	21 500	0.9	0.5	0.1
DE.B-10	Przenośnik taśmowy, odsysanie powietrza z hali	NR	NR	NR	NR	3.8	2.3	0.9
IT.B-01	Rozdrabniacz, przesiewanie, przenośnik taśmowy	C, B	NR	52 000	NR	1.9	1.8	1.7
IT.B-02	Rozdrabniacz, przesiewanie, przenośnik taśmowy, odsysanie powietrza z hali	C, B	200 000	180 000	160 000	0.2	0.2	0.2

Uwagi: NR = brak danych; B = filtr workowy; C = cyklon.
Źródło: [81. TWG 2016]

3.4.3.3 Emisje do wody

Ścieki pochodzą głównie z procesów mokrych oraz płukania. Ścieki procesowe zawierają sole i metale, a także zawiesiny i substancje organiczne, w tym PCDD/F.

Tabela 3.30 podsumowuje poziomy emisji do wody zgłoszone w ramach gromadzenia danych w 2016 roku. Daje ona również wskazówki na temat technik i rodzajów stosowanych procesów.

Tabela 3.30 Zgłoszone emisje do wody pochodzące z oczyszczania żużla i popiołu paleniskowego wraz z zastosowanymi technikami oraz punktami uwolnienia (zrzutu)

Zakład	CZ.B-01R	DE.B-03	DE.B-07	DE.B-08	FR.B-03	FR.B-06	FR.B-07	FR.B-08	FR.B-09	IT.B-01	IT.B-02	NL.B-03	PT.B-01 (1)	UK.B-01	
Oczyszczalnia popiołu paleniskowego oraz WIP w obrębie tego samego zakładu?	Tak	Nie	Nie	Nie	Tak	Nie	Nie	Nie	Tak	Nie	Nie	Nie	Nie	Nie	
WWT w ramach instalacji?	Nie	Tak	Tak	Nie	Tak	Tak	Nie	Tak	Nie	Tak	Tak	Tak	Tak	Nie	
Rodzaj przetwarzania	Mokre	Mokre	Suche	Suche	Suche	Suche	Suche	Suche	Suche	Suche	Mokre/Suche/Płukanie	Suche	Suche	Suche	
Techniki	Sed/Neut/CP	Sed	Sed/OS	Sed/ OS/Fil	Sed/Fil	Fil	Sed/Neut/CP/OS/Fil	Neut/CP/O S/Fil	OS	Sed/Neut/CP	Sed/Neut/CP/O S/Fil	Sed/CP/Fil	Sed/Neut/ CP	---	
Nateżenie przepływu (m ³ /h)	Maks.	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	40	NA	NA	7.7	50	25.7	NA
	Sr.	2.1	7	NA	0.16	NA	NA	NA	10	NA	15	7.5	35	1.4	NA
	Min.	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	7.2	19	0	NA
Przewodność (µS/cm)	Maks.	848	42 000	8 900	NA	NA	NA	660	NA	NA	7 120	8 280	NA	16 400	848
	Sr.	707	21 930	8 500	1 915	NA	NA	368.55	NA	NA	4 230	2 020	NA	11 120	707
	Min.	622	8 600	NA	NA	NA	NA	77.1	NA	NA	NA	465	NA	8 600	NA
Siarczki (mg/l)	Maks.	NA	1 300	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	370	348	790	600	664
	Sr.	NA	782	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	289	155	380	600	647
	Min.	NA	39	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	20	260	600	630
Amoniak-N (mg/l)	Maks.	29.3	2.6	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	8.4	7	40	33.2	0.18
	Sr.	14.68	1.21	NA	0.16	NA	NA	NA	NA	NA	4.9	1.7	13	18	0.13
	Min.	6.95	0.22	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.1	6	6.2	0.0095
Ołów (mg/l)	Maks.	0.015	0.48	NA	NA	NA	0.01	0.004	1	0.005	< 0.02	0.01	0.012	< 0.50	0.016
	Sr.	0.015	0.13	0.01	0.0048	NA	0.01	0.003	0.07	0.005	< 0.02	0.01	0.011	< 0.50	0.022
	Min.	0.015	0.01	NA	NA	NA	0.01	0.002	0.01	0.005	NA	0.01	0.01	< 0.50	0.006
Zawiesina ogólna (mg/l)	Maks.	104	2	NA	NA	8	NA	5	600	6.5	< 10	22	64	140	NA
	Sr.	50.5	0.85	0.1	NA	7.5	NA	3.7	400	4.75	< 10	11	24	140	65.2
	Min.	28	0.2	NA	NA	6	NA	2.4	10	3	NA	10	4	140	NA
TOC (mg/l)	Maks.	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	9.6	NA	NA	NA	NA	NA
	Sr.	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	9.5	NA	NA	NA	NA	NA
	Min.	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	9.4	NA	NA	NA	NA	NA
PCDD/F (ng I-TEQ/l)	Maks.	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.03	NA	NA	NA	NA	NA
	Sr.	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.0235	NA	NA	NA	NA	NA
	Min.	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.017	NA	NA	NA	NA	NA
Chlorki (mg/l)	Maks.	50	10 300	NA	NA	NA	NA	NA	NA	220	850	1 937	3 900	5 350	1 770
	Sr.	40.5	6 130	NA	138	NA	NA	NA	NA	165	NA	702	2 800	3 604	1 640
	Min.	36	1 400	NA	NA	NA	NA	NA	NA	110	757	63	1 800	2 430	1 511
Miedź (mg/l)	Maks.	NA	0.43	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.045	NA	NA
	Sr.	NA	0.22	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.022	NA	NA
	Min.	NA	0.04	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0.011	NA	NA
Medium odbierające zrzut	Sztuczny zbiornik wodny (np. systema)	Sztuczny zbiornik wodny (np. systema)	NA	Rzeka/ciek wodny	NA	Rzeka/ciek wodny	Sztuczny zbiornik wodny (np. systema)	Sztuczny zbiornik wodny (np. systema)	Rzeka/ciek wodny	Rzeka/ciek wodny	Rzeka/ciek wodny	Jezioro	NA	NA (1)	Sztuczny zbiornik wodny (np. systema)

(1) Skład ścieków z zakładu PT.B-01 odnosi się do ścieków z przetwarzania popiołów paleniskowych, zanim trafią one do wstępnego przetwarzania w ramach instalacji. Po wstępnym przetworzeniu ścieków w ramach instalacji (przetwarzanie biologiczne, a następnie fizyczno-chemiczne), ścieki odprowadzane są do komunalnego systemu kanalizacyjnego i trafiają do komunalnego systemu oczyszczania ścieków. Uwagi: Rodzaj przetwarzania: Wash = Płukanie popiołu paleniskowego; Sed = Sedymentacja; Neut = Neutralizacja; CP = Strącanie chemiczne; OS = Separacja oleju; Fil = Filtracja; NA = nie dotyczy (brak danych). WIP – zakład spalania odpadów, WWT – oczyszczalnia ścieków.
Źródło: [81. TWG 2016]

3.4.3.4 Zużycie energii

Pobór energii elektrycznej zależy bezpośrednio od mocy elektrycznej zakładu, rodzaju zachodzących procesów oraz stosowanych technologii. Jest więc bardzo specyficzny dla każdego indywidualnego przypadku i porównywalny tylko w ograniczonym zakresie.

Tabela 3.31 przedstawia zainstalowaną moc elektryczną, jak również zużycie energii elektrycznej, pary, paliw oraz wody przez zakłady. Nie są dostępne żadne dane dotyczące szczegółowego monitorowania/mierzenia zużywanej energii (elektrycznej oraz pochodzącej z paliwa) podczas prowadzenia poszczególnych procesów.

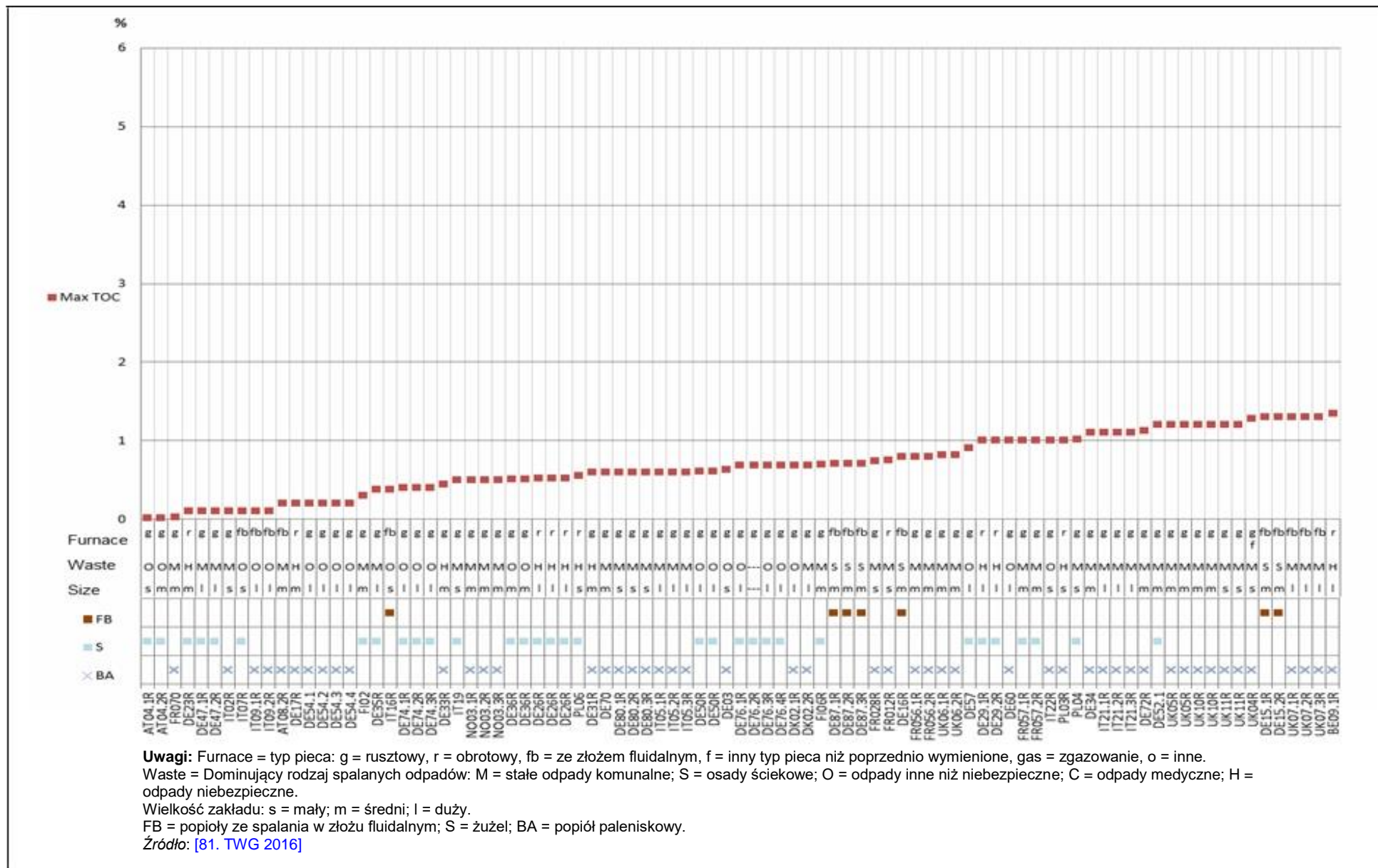
Tabela 3.31 Zużycie energii i wody zgłoszone przez zakłady przetwarzania popiołu paleniskowego ze spalarni w 2014 roku.

Zakład	Zdolność przetwarzania (t/rok)	Zainstalowana moc (kVA)	Zużycie energii oraz wody					Wykorzystanie deszczówki (m ³)
			Energia elektryczna (kWh)	Paliwo płynne (litr)	Gaz ziemny (kWh)	Para (kWh)	Woda (m ³)	
AT.B-01	40 000	200	NA	30 587	0	0	848	0
BE.B-01	100 000	174	295 630	0	0	0	NA	NA
BE.B-02	87 813 ⁽¹⁾	439	NA	0	0	0	11 415	14 050
DE.B-01	180 000	350	205 000	110 000	NA	NA	1 400	NA
DE.B-02	400 000	1 200	989 000	0	0	0	18 500	0
DE.B-03	300 000	175	371 000	82 900	0	0	5 896	2 495
DE.B-04	600 000	1 254.1	1 985 861	0	0	0	0	47 000
DE.B-05	340 000	640	638 216	267 132	0	0	0	13 500
DE.B-06	216 000	NA	438 000	60 000	NA	NA	NA	NA
DE.B-07	450 000	630	300 000	0	0	0	0	0
DE.B-08	250 000	400	420 000	40 000	0	0	1 200	0
DE.B-09	70 000	NA	368 000	NA	0	175 000	0	0
DE.B-10	90 000	432	1 110 000	24 000	0	0	0	0
DE.B-11	90 000	200	1 500 000	20 000	0	0	0	0
DE.B-12	79 000	NA	343 900	0	0	0	0	0
DE.B-13	140 000	800	117 023	0	0	0	323	9 270
DE.B-14	64 262 ⁽¹⁾	270	NA	0	0	0	300	300
DK.B-01	125 000	NA	80 000	NA	0	0	0	NA
DK.B-03	180 000	280	10 000	5 000	0	0	0	4 000
ES.B-01	200 000	470	238 996	5 855	0	0	1 484.4	0
FR.B-01	5 500	32	278 400	19 100	0	0	0	0
FR.B-03	90 000	204	221 830	62 068	0	0	380	900
FR.B-04	87 000	260	125 000	42 992	0	0	46	0
FR.B-05	54 250	200	100 000	36 000	0	0	261	NA
FR.B-06	200 000	412	660 000	52 000	0	0	0	0
FR.B-07	120 000	630	210 360	62 540	0	0	91	0
FR.B-09	7 000	7.5	52 616.25	8 000	0	0	0	0
FR.B-10	20 000	62	NA	7 810	0	0	NA	0
IT.B-01	250 000	1 000	1 217 063	630	45 283	0	21 083	0
IT.B-02	620 000	700	1 680 000	0	0	0	3 000	3 000
NL.B-01	180 000	800	800 000	0	0	0	0	0
NL.B-02	320 000	NA	650 000	0	0	0	0	0
NL.B-03	700 000	1 070	1 115 877	157 440	0	0	20	0
PT.B-01	200 000	100	94 866	67 877	NA	NA	NA	24 304
SE.B-01	87 000	NA	80 000	0	0	0	100	0
SE.B-02	129 905 ⁽¹⁾	NA	NA	0	0	0	5 000	0
UK.B-01	200 000	500	212 138	NA	NA	NA	40 206	NA

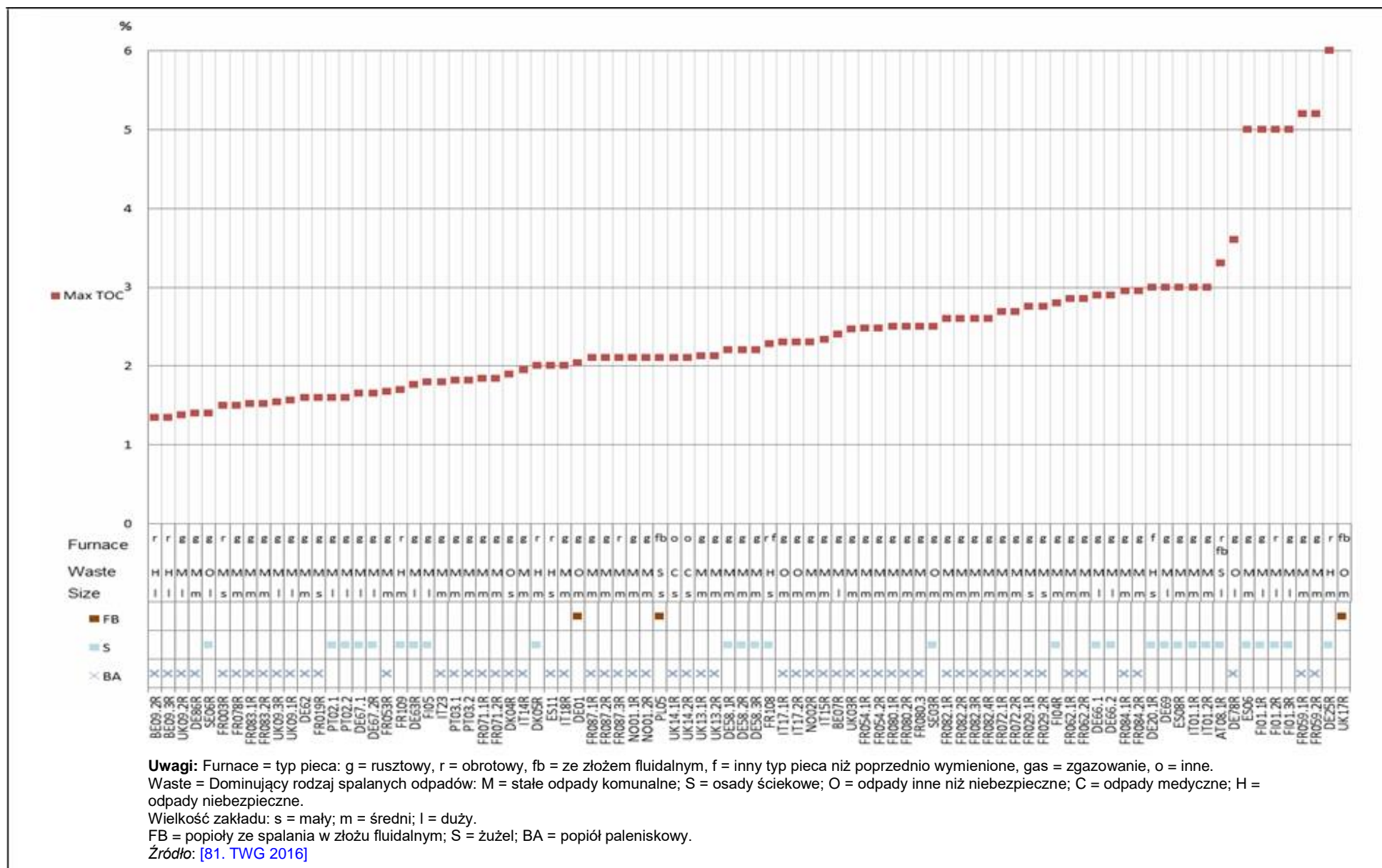
Uwagi: NA = nie dotyczy (brak danych).

⁽¹⁾ Dane dotyczące zdolności produkcyjnych nie są dostępne. Wartość odnosi się do ilości przetworzonej w 2014 r.

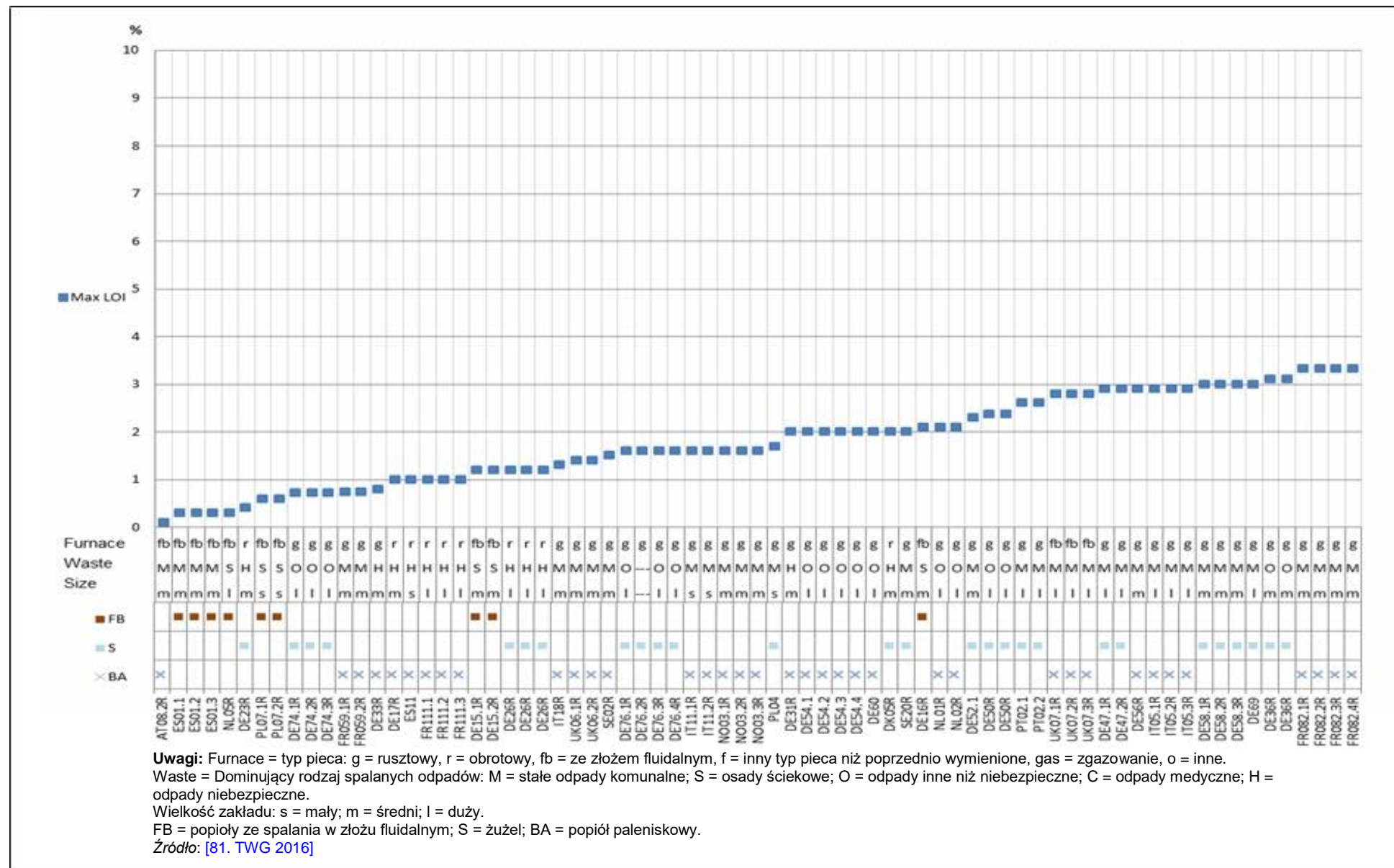
Źródło: [81. TWG 2016]



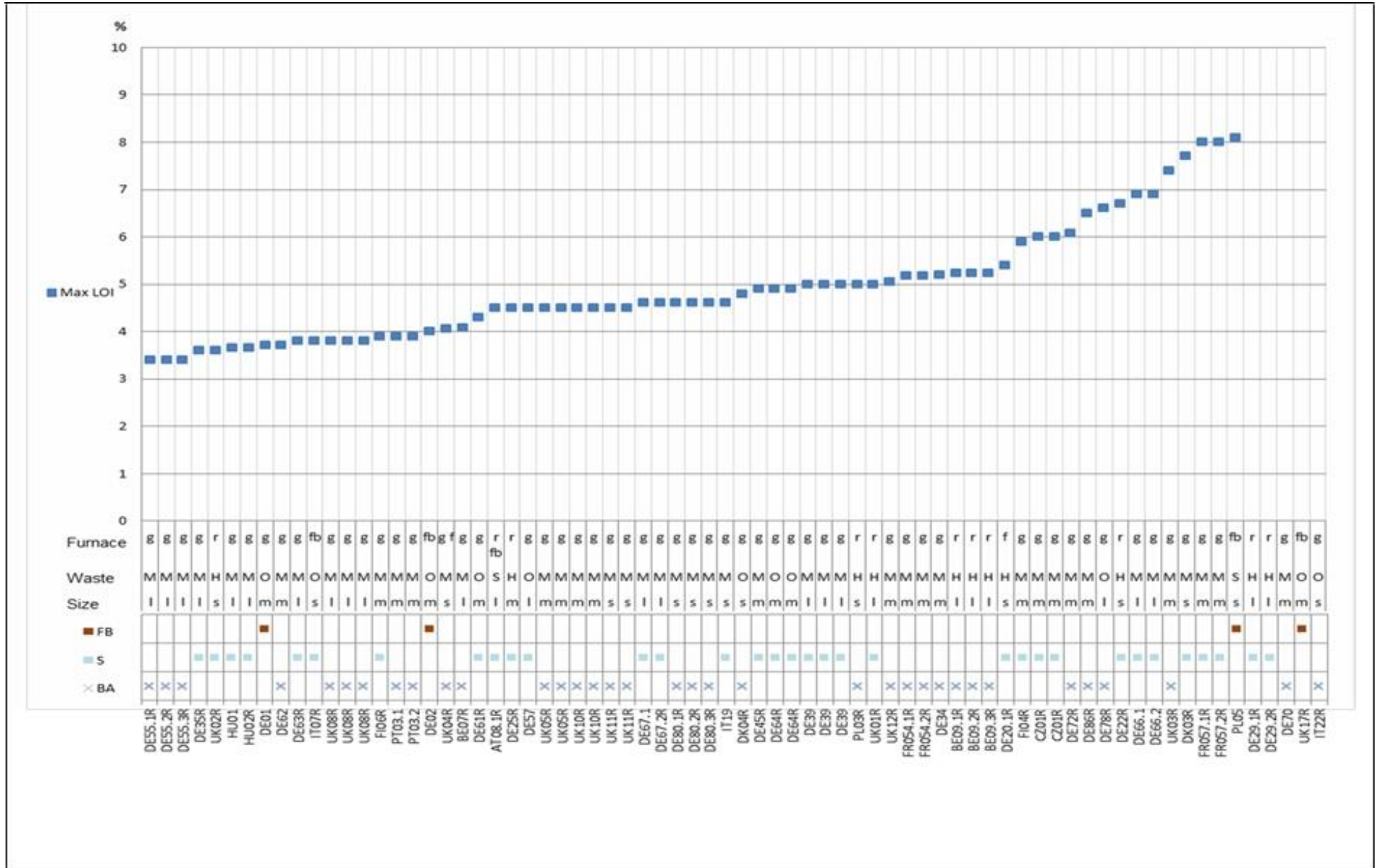
Ilustracja 3.82 Zawartość TOC w nieprzetworzonych żużlach oraz popiołach paleniskowych (1/2)



Ilustracja 3.83 Zawartość TOC w nieprzetworzonych żużlach oraz popiołach paleniskowych (2/2)



Ilustracja 3.84 LOI - nieprzetworzone żużle oraz popioły paleniskowe (1/2)



Ilustracja 3.85 LOI - nieprzetworzone żużle oraz popioły paleniskowe (1/2)

3.5 Zużycie oraz produkcja (wytwarzanie) energii

Nakłady energetyczne podczas procesu spalania mogą obejmować:

- odpady (głównie);
- paliwa pomocnicze (zwykle niewiele; paliwo pomocnicze jest potrzebne do spalania odpadów o niskim LHV, takich jak nieosuszone osady ściekowe);
- energię elektryczną.

Procesy pirolizy i zgazowania mogą eksportować, wraz z wytworzonymi przez nie substancjami (np. gazem syntezowym, koksem, olejami), część wartości energetycznej wsadu odpadów. W wielu przypadkach produkty te są albo bezpośrednio, albo później spalane jako paliwa celem wykorzystania ich wartości energetycznej, chociaż w razie potrzeby mogą być również wykorzystane jako surowce, ze względu na ich wartość chemiczną, po wstępnym przetworzeniu.

Większość spalarni w Europie produkuje i eksportuje energię elektryczną, ciepło lub oba te rodzaje energii.

Kombinacja wybranych elementów do eksportu stanowi wynik wielu czynników. Często kluczowym elementem jest zapotrzebowanie na parę lub ciepło. Relatywne ceny dostaw produkowanej energii oraz czas trwania kontraktów sprzedaży są zasadniczo uważane za kluczowe czynniki determinujące decyzje. To zaś ma decydujące znaczenie dla technicznych wyborów związanych z projektem procesu. Niektóre z tych czynników zostały opisane w tabeli 3.32:

Tabela 3.32 Czynniki wpływające na opcje odzysku energii

Czynnik	Wpływ
Wysokie ceny dostaw elektryczności lub znaczny popyt	<ul style="list-style-type: none"> • zachęca do inwestowania w produkcję elektryczności; • zastosowane mogą zostać okładziny kotła powodujące wyższe ciśnienie pary oraz większą produkcję energii elektrycznej; • dostępna będzie mniejsza ilość eksportowanego ciepła; • zakład może importować energię elektryczną celem zmaksymalizowania własnego eksportu;
Wyższe ceny importowanej energii elektrycznej od eksportowanej	<ul style="list-style-type: none"> • zachęca do wykorzystania w procesie spalania wytworzonej we własnym zakresie energii elektrycznej; • zakłady zajmujące się tylko wytwarzaniem ciepła mogą podjąć decyzję o przekształceniu części energii na własne potrzeby
Wysokie ceny dostaw ciepła oraz znaczne zapotrzebowanie	<ul style="list-style-type: none"> • inwestycje w sieci dystrybucyjne stają się bardziej opłacalne; • całkowita wydajność zakładu zwiększa się ze względu na dostarczanie większej ilości odzyskanej energii;
Chłodniejszy klimat	<ul style="list-style-type: none"> • umożliwia eksport ciepła przez więcej miesięcy w roku;
Cieplejszy klimat	<ul style="list-style-type: none"> • mniejsze zapotrzebowanie na ciepło; • może sprzyjać zwiększeniu dostaw ciepła do zasilania klimatyzacji, zasilania termicznych zakładów odsalania wody morskiej, etc.
Bazowe kontrakty na dostawy energii	<ul style="list-style-type: none"> • zwiększają wiarygodność umów sprzedaży oraz zachęcają do podejmowania inwestycji w techniki związane z wykorzystaniem dostępnej energii (cieplnej i elektrycznej);
Brak zezwolenia na odprowadzanie przetworzonych ścieków z płuczek gazowych mokrych	<ul style="list-style-type: none"> • zmniejszenie ilości ciepła dostępnego na eksport z uwagi na konieczność dostarczenia energii potrzebnej do odparowania.
Konieczność zeszklenia popiołu	<ul style="list-style-type: none"> • wyższe zapotrzebowanie zakładu na energię skutkuje zwiększeniem konsumpcji własnej i zmniejszeniem eksportu.
Wymagana wyższa temperatura spalania	<ul style="list-style-type: none"> • możliwa konieczność zastosowania paliw dodatkowych celem uzyskania odpowiedniej temperatury.
Źródło: [122, COM 2006]	

3.5.1 Obliczanie efektywności energetycznej spalarni odpadów

Efektywność (nazywana również sprawnością) energetyczna porównuje wejściową energię chemiczną zawartą w odpadach (zazwyczaj wyrażoną jako LHV) z wyprodukowaną energią użyteczną (elektryczną i ciepłą), która została odzyskana, a nie rozproszona (przez spaliny, układ chłodzenia, promieniowanie itp.). W stosownych przypadkach uwzględnia się inne wkłady energii (np. paliwa pomocnicze, energię elektryczną lub parę wodną). Efektywność energetyczna instalacji do spalania odpadów jest często wyrażana w procentach i może służyć do porównania wydajności różnych jednostek technicznych czy systemów. Celem zapewnienia porównywalności ważne jest, aby dane dotyczące efektywności energetycznej były obliczane w spójny sposób. Wymaga to zastosowania przy obliczaniu efektywności energetycznej następujących elementów:

1. Zakres systemu/obliczeń musi zostać wyraźnie określony

Przejrzysta definicja zakresu bilansowego jest podstawowym wymogiem dla ustalenia bilansu masy, materiału lub energii. Celem określenia zakresu oceny tworzona jest jednostka referencyjna (np. kocioł, linia spalania odpadów wraz z systemem oczyszczania spalin i zestawem turbogeneratorów, cały obiekt).

Celem zapewnienia porównywalności, konieczne jest uwzględnienie rodzaju spalanych odpadów, a nie tylko odpadów dostarczonych do instalacji. Jeżeli napływające odpady wymagają znaczącego przetwarzania wstępnego (np. kruszenia, rozdrabniania, suszenia), może to powodować znaczne dodatkowe zapotrzebowanie na energię.

2. Uwzględnienia wszystkich niezbędnych nakładów energetycznych

Niektóre instalacje wykorzystują dodatkowe paliwa do utrzymania temperatury spalania. Energia odzyskana w instalacji będzie częściowo pochodzić z odpadów, a częściowo z paliwa dodatkowego.

3. Własne zużycie energii i jej wewnętrzne przepływy muszą być rozliczane w spójny sposób

W niektórych przypadkach odzyskana z odpadów energia elektryczna i/lub ciepła jest następnie wykorzystywana w ramach instalacji. Uwzględnienie tego skutkuje redukcją netto energii eksportowanej oraz równoważną redukcją energii importowanej.

4. Wszystkie założenia muszą być jasno określone oraz konsekwentnie przestrzegane

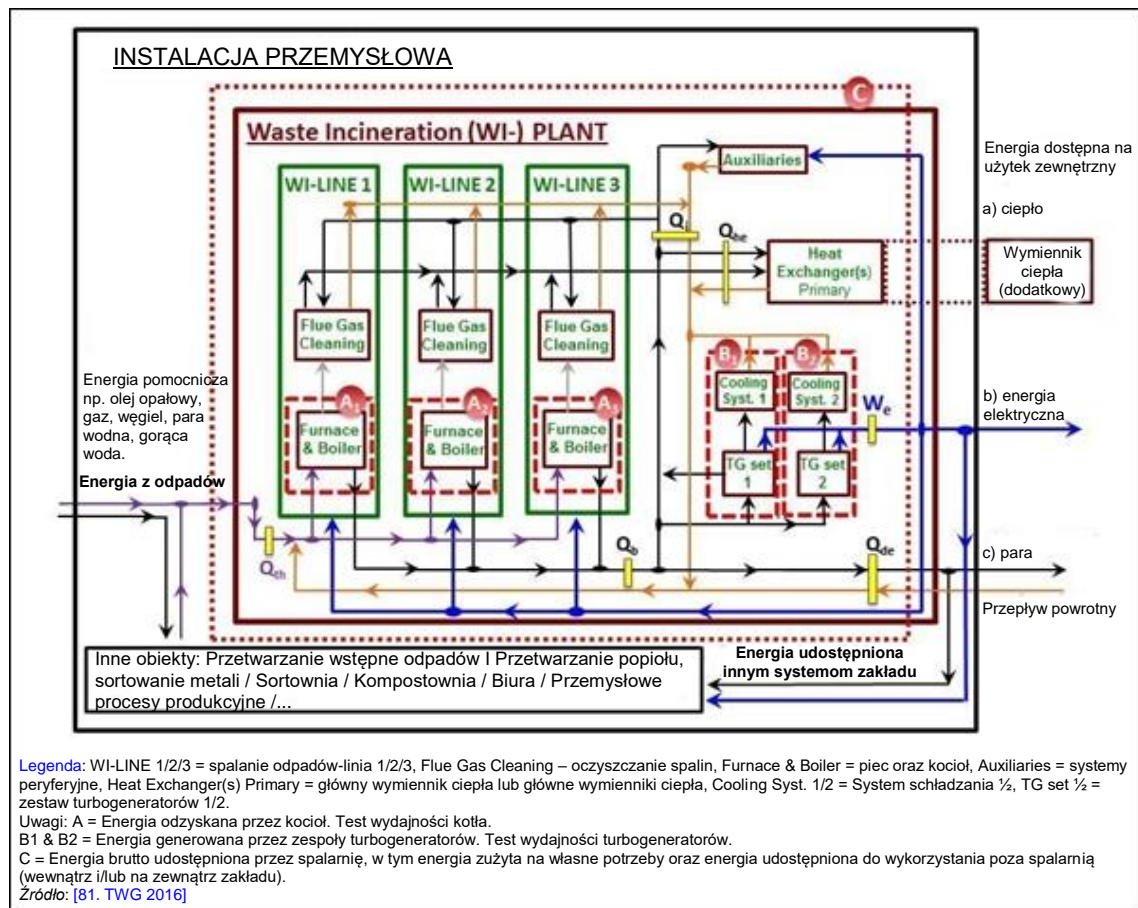
Proste dodawanie energii elektrycznej i ciepłej może stwarzać trudności przy rozważaniu względnej wydajności instalacji wytwarzających różne ilości tych energii. Stosowanie współczynników równoważności jest możliwym podejściem pozwalającym na uwzględnienie względnej wartości tych produktów.

W niniejszym dokumencie zastosowano inne podejście, oparte na identyfikacji różnych przypadków, które są wewnętrznie porównywalne: 1) zakłady nastawione głównie na niszczenie odpadów, takie jak spalarnie odpadów niebezpiecznych (lub innych niż niebezpieczne odpadów drzewnych) i osadów ściekowych; 2) zakłady nastawione głównie na produkcję energii elektrycznej z turbiną kondensacyjną; 3) zakłady nastawione głównie na produkcję ciepła/pary wodnej, ewentualnie w połączeniu z turbiną przeciwną; 4) zakłady hybrydowe, w których różne części zakładu mogą mieć różną orientację. Szczegółowe przykłady kilku przypadków przedstawiono w załączniku 8.2.

Ponadto musi zostać ustalony w sposób jednoznaczny odpowiedni wymiar czasowy, albo w postaci statusu krótkoterminowego (np. w czasie testu wydajności, trwającego zazwyczaj około 8 godzin), albo w pewnym okresie czasu (np. jako średnia roczna). Dane dotyczące efektywności energetycznej przedstawione w tej sekcji pochodzą zasadniczo z testu wydajności, który zakład przeszedł celem sprawdzenia swoich rzeczywistych możliwości, w momencie pierwszego uruchomienia lub po wprowadzeniu istotnych zmian. Dane z testu wydajności nie były jednak dostępne we wszystkich przypadkach. Podczas gdy testy wydajności są zazwyczaj

przeprowadzane dla pieców/kotłów i zestawów turbo-generatorów, nie ma to miejsca w przypadku wymienników ciepła systemu centralnego ogrzewania lub systemów bezpośredniego eksportu pary czy gorącej wody. Jako alternatywę wykorzystano nominalne wartości projektowe podawane początkowo przez dostawców i/lub zaktualizowane dane eksploatacyjne.

Efektywność energetyczna może być oceniana na poziomie spalarni odpadów, dla granicy systemu przedstawionej na ilustracji 3.86, lub na poziomie części spalarni odpadów w przypadkach, gdy ilości energii odzyskanej przez różne części zakładu nie można na przykład odpowiednio zsumować. Szczegółowe przykłady takich sytuacji zostały przedstawione w załączniku 8.2.



Ilustracja 3.86 Granica systemu stosowana przy obliczaniu efektywności energetycznej

Ilustracja 3.86 pokazuje granice bilansu energetycznego reprezentatywne dla koncepcji efektywności energetycznej, które są używane w tym dokumencie i które odnoszą się do efektywności energetycznej brutto, a nie netto. Oznacza to określenie efektywności energetycznej w odniesieniu do całej energii, która jest udostępniana przez spalarnię, w tym: energii wykorzystywanej przez sam zakład do celów wewnętrznych (np. do uruchomienia systemu oczyszczania spalin); energii wykorzystywanej przez szerszą instalację (np. do uruchomienia zakładu wstępnego przetwarzania odpadów, który może znajdować się na miejscu); oraz energii dostępnej na eksport.

Na ilustracji 3.86, przepływy energii zostały przedstawione za pomocą następującego kodu kolorystycznego:

- kolor fioletowy - energia wprowadzona do pieca(-ów), jak również odpady i paliwa pomocnicze;
- kolor szary - energia zawarta w spalinach na wyjściu z kotła;
- kolor czarny - energia zawarta w parze i/lub gorącej wodzie, wytworzona w kotle (kotłach) w ramach odzysku ciepła, jak również odzyskana w układzie oczyszczania spalin (np. przy

zastosowaniu kondensacji);

- kolor pomarańczowy - przepływ powrotny (powrót) pary/gorącej wody;
- kolor niebieski - energia elektryczna wytwarzana przez turbozespoły prądotwórcze, wykorzystywana w zakładzie, szerszej instalacji lub eksportowana.

Czerwona przerywana linia (C) stanowi granicę obliczenia efektywności energetycznej brutto stosowaną do określenia efektywności energetycznej zakładów, które uczestniczyły w gromadzeniu danych, na potrzeby przeglądu dokumentu BREF WI, w 2016 r. W tym kontekście na ilustracji 3.86 przedstawiono następujące wielkości:

- W_e – wygenerowana energia elektryczna, wyrażona w MW;
- Q_{he} – wygenerowana moc cieplna na wejściu do wymienników ciepła, w MW;
- Q_{de} – bezpośrednio wyeksportowana moc cieplna (w postaci pary lub gorącej wody) pomniejszona o moc cieplną strumienia (przepływu) powrotnego, w MW;
- Q_b – moc cieplna wyprodukowana przez kocioł, w MW;
- Q_i – moc cieplna (w postaci pary lub gorącej wody) na własny użytek (np. powtórne podgrzanie spalin), w MW;
- Q_{th} - moc cieplna jednostek przetwarzania termicznego (np. pieców), w tym odpadów i paliw pomocniczych, które są wykorzystywane w sposób ciągły (z wyłączeniem na przykład rozruchu), w MW_{th} , wyrażona jako wartość opałowa.

Poziomy efektywności energetycznej osiągnięte przez zakłady zajmujące się głównie spalaniem odpadów innych niż niebezpieczne, innych niż osady ściekowe czy też innych niż niebezpieczne odpadów drzewnych zostały przedstawione w następujących sekcjach:

W sekcji 3.5.2.1 podano efektywność elektryczną brutto (η_e) spalarni (lub ich części) wytwarzających energię elektryczną przy użyciu turbiny kondensacyjnej; η_e wyraża się wzorem:

$$\eta_e = (W_e/Q_{th}) \times (Q_b/(Q_b - Q_i))$$

W sekcji 3.5.2.2 podaje się efektywność energetyczną brutto (suma ciepła i energii elektrycznej, η_h) spalarni (lub ich części), które produkują wyłącznie ciepło lub wytwarzają energię elektryczną przy użyciu turbiny przeciwprężnej a ciepło wraz z parą opuszczającą turbine; η_h wyraża się wzorem:

$$\eta_h = (W_e + Q_{he} + Q_{de} + Q_i)/Q_{th}$$

3.5.2 Dane dotyczące odzysku energii z odpadów [1. UBA 2001]

Parametry (temperatura oraz ciśnienie) pary wytwarzanej przez kocioł z odzyskiem ciepła ograniczają:

- korozja wysokotemperaturowa, która może wystąpić w obszarze konwersji ciepła (kocioł, ekonomizer, itp.) z powodu zawartości w odpadach niektórych materiałów, w tym chloru;
- zanieczyszczenie kotła - w przedziale temperatur od ok. 600 °C do 800 °C popioły są lepkie z powodu obecności niektórych substancji wytopialnych.

Parametry pary (a tym samym efektywność elektryczna) w spalarniach są zatem ograniczone. Ciśnienie pary o wartości 90 barów i temperatura 535 °C mogą być uznawane za maksymalne obecnie (2014 r.) i tylko wtedy, gdy zostaną podjęte specjalne środki ograniczające korozję.

W przypadku produkcji energii elektrycznej z MSW typowe warunki pary przegrzanej to 40 - 70 barów i 400 - 450 °C, przy czym wyższe wartości z tych zakresów są częściej obserwowane w większych zakładach. Niższe parametry, na ogół w zakresie 30 barów i 350 °C, stosowane są tam, gdzie energia elektryczna wytwarzana jest z odpadów niebezpiecznych, ze względu na zwiększone ryzyko korozji (prowadzące do utrudnień eksploatacyjnych i wzrostu kosztów) związane z kwaśnymi spalinami, występujące przy wyższych parametrach pary.

Tam, gdzie dostarczane jest tylko ciepło lub para, operatorzy mają tendencję do stosowania niższych ciśnień i temperatur w kotłach, aby uniknąć konieczności dodatkowych inwestycji i konserwacji, oraz bardziej złożonych warunków pracy związanych z wyższymi parametrami. W przypadku, gdy dostawa ciepła jest traktowana priorytetowo, wysokie ciśnienie i temperatura nie są uzasadnione. W przypadku dostaw ciepła, para będzie zazwyczaj wytwarzana przy niższych wartościach, np. około 25 - 30 barów i 250 - 350 °C.

Większość spalarni odpadów w Europie, szczególnie w przypadku większych zakładów, odzyskuje energię. Zakłady bez utylizacji cieplnej są zazwyczaj związane z bardzo specyficznymi projektami, jak na przykład niektóre instalacje spalające halogenowe odpady niebezpieczne w temperaturach wyższych niż 1 100 °C, gdzie lepkość popiołu lotnego może stanowić dodatkowe wyzwanie dla eksploatacji kotła odzyskującego ciepło. W takich przypadkach można uniknąć ryzyka powtórnego wytworzenia PCDD/F poprzez szybkie schłodzenie spalin. Część ciepła można jeszcze odzyskać z gorącej wody i/lub z podgrzewacza spaliny-spaliny służącego do odzysku części energii z gorących spalin na wyjściu z komory dopalania, jeszcze przed schłodzeniem.

Wykresy parametrów pary (ciśnienie i temperatura na wejściu do turbiny) zakładów, które uczestniczyły w gromadzeniu danych za rok 2016, przedstawiono na ilustracjach, o których mowa w niniejszym rozdziale. Przedstawiono tam również wielkość oraz wiek zakładów, a także to, czy produkują one wyłącznie ciepło (H), energię elektryczną (E) czy też obie te wartości (C). Zakłady definiuje się jako "nowe" w przypadku obiektów, które po raz pierwszy oddano do eksploatacji po 2006 r., jako "średnio stare" w przypadku obiektów, które po raz pierwszy oddano do eksploatacji w latach 2000-2006, oraz jako "stare" w przypadku obiektów, które po raz pierwszy oddano do eksploatacji przed rokiem 2000. Zakłady definiuje się jako "małe" w przypadku obiektów o wydajności spalania poniżej 100 000 t/rok (poniżej 48 000 t/rok w przypadku zakładów spalających głównie odpady niebezpieczne), jako "średnie" w przypadku obiektów o zdolności spalania 100 000 - 250 000 t/rok (48 000 - 80 000 t/rok w przypadku obiektów spalających głównie odpady niebezpieczne), oraz jako "duże" w przypadku obiektów o zdolności spalania powyżej 250 000 t/rok (powyżej 80 000 t/rok w przypadku obiektów spalających głównie odpady niebezpieczne).

Temperaturę i ciśnienie pary wytwarzanej przez zakłady spalające głównie stałe odpady komunalne, odpady inne niż niebezpieczne oraz inne niż niebezpieczne odpady drzewne przedstawiono na wykresach na ilustracjach 3.87, 3.88, 3.89 i 3.90, wraz z osiągniętą przez zakład efektywnością elektryczną brutto lub efektywnością energetyczną brutto.

Na wykresach lewa oś przedstawia efektywność elektryczną brutto lub efektywność energetyczną brutto, podczas gdy po prawej stronie wykresu przedstawione są dwie różne osie, związane z temperaturą (w kolorze czerwonym) i ciśnieniem (w kolorze zielonym) wytwarzanej pary.

Na wykresach zakłady zostały uporządkowane według efektywności elektrycznej lub energetycznej brutto (od najniższej z lewej strony do najwyższej z prawej). Wykresy potwierdzają, że zakłady wytwarzające energię elektryczną lub kombinowaną energię cieplną i elektryczną pracują na ogół z wyższymi parametrami pary niż zakłady produkujące wyłącznie ciepło.

W tabeli 3.33 przedstawiono temperaturę i ciśnienie pary na wejściu do turbiny lub na wyjściu z kotła, w zakładach spalających głównie odpady niebezpieczne, z wyłączeniem niebezpiecznych odpadów drzewnych. Wszystkie te zakłady to instalacje z piecem obrotowym.

Tabela 3.33 Parametry pary w zakładach spalających głównie odpady niebezpieczne

Zakład	Wielkość zakładu	Ciśnienie pary (bar)	Temperatura pary (°C)	Rodzaj produkowanej energii
AT08	l	53	350	CHP
DE18	l	27	270	Energia elektryczna
DE26	l	44	325	CHP
DE29	l	26	280	Energia elektryczna
ES11	s	41	350	Energia elektryczna
FR111	l	40	360	CHP
HU01	l	16	304	CHP
PL03	s	20	270	Energia elektryczna
SE21	l	41	400	CHP

Uwagi: Wielkość zakładu: l = duży; s = mały.
Źródło: [81. TWG 2016]

W tabeli 3.34 przedstawiono temperaturę i ciśnienie pary, w instalacjach spalających głównie osady ściekowe, na wejściu do turbiny lub na wyjściu z kotła. Wszystkie te instalacje to spalarnie ze złożem fluidalnym.

Tabela 3.34 Parametry pary w zakładach spalających głównie osady ściekowe

Zakład	Wielkość zakładu	Ciśnienie pary (bar)	Temperatura pary (°C)	Rodzaj produkowanej energii
AT08	l	53	350	CHP
NL06	l	10	180	CHP
PL01	m	49	400	CHP
UK15	s	42	400	Energia elektryczna

Uwagi: Wielkość zakładu: l = duży; m = średni; s = mały.
Źródło: [81. TWG 2016]

W poniższych sekcjach przedstawiono wskaźniki efektywności energetycznej (elektrycznej i/lub cieplnej) osiągnięte przez zakłady, które uczestniczyły w gromadzeniu danych za 2016 r. Podawane wartości efektywności energetycznej odnoszą się do stosunku wyprodukowanej energii brutto zakładu do energii dostarczonej na wejście (wyrażonej jako wartość opałow) jednostki lub jednostek przetwarzania termicznego, włączywszy w to odpady i inne paliwa, i dla zakładów pracujących w czasie zbierania danych pod pełnym obciążeniem.

3.5.2.1 Dane dotyczące odzysku energii elektrycznej

[1. UBA 2001]

Ilość energii elektrycznej, która może być wytworzona z jednej tony odpadów komunalnych w spalarni zależy od wielkości zakładu, parametrów i wielkości wykorzystania pary, a przede wszystkim od wartości opałow odpadów.

Ilość energii dostępnej na eksport zależy zazwyczaj od ilości energii wyprodukowanej oraz wielkości zużycia własnego, które może ulegać znacznym zmianom. Zużycie energii przez system FGC jest często duże i różni się w zależności od zastosowanego systemu (oraz wymaganych poziomów emisji). W niektórych przypadkach energia potrzebna do funkcjonowania instalacji pochodzi z dostaw zewnętrznych, a cała energia wytworzona przez zakład jest eksportowana (bilans lokalny zazwyczaj odzwierciedla lokalne koszty wytworzenia energii elektrycznej w porównaniu z cenami w sieci).

Poniższe wykresy i tabele przedstawiają efektywność elektryczną brutto spalarni odpadów, które uczestniczyły w zbieraniu danych na cele dokumentu BREF WI w roku 2016. Wydajność została przedstawiona na wykresach wraz z parametrami pary oraz wiekiem i wielkością zakładów. Zakłady zostały oznaczone symbolem E lub C, jeśli produkują wyłącznie energię elektryczną lub odpowiednio ciepło i energię elektryczną.

Wydajność elektryczną brutto zakładów spalających głównie stałe odpady komunalne lub odpady inne niż niebezpieczne przedstawiono na wykresach zamieszczonych na ilustracjach 3.87, 3.88 i 3.89. Wykresy te obejmują również pięć zakładów zajmujących się spalaniem niebezpiecznych odpadów drzewnych, bardziej zbliżonych do zakładów przetwarzania odpadów na energię niż do spalarni odpadów niebezpiecznych np. w odniesieniu do stosowanych procesów (wszystkie zakłady oparto na piecach rusztowych). Generalnie, mniejsze zakłady osiągają niższe poziomy efektywności elektrycznej niż instalacje średnie i duże. Wykresy pokazują korelację pomiędzy efektywnością elektryczną a parametrami pary, ponieważ większość zakładów osiągających efektywność elektryczną brutto poniżej 25% pracuje w temperaturach poniżej 400 °C i przy ciśnieniach poniżej 40 barów, a wszystkie zakłady osiągające efektywność elektryczną brutto powyżej 30% pracują przy temperaturach powyżej 420 °C i przy ciśnieniach powyżej 60 barów. Wykresy nie pokazują wyraźnej korelacji pomiędzy osiągniętą efektywnością elektryczną brutto a wiekiem zakładu.

Tabela 3.35 przedstawia efektywność elektryczną brutto zakładów spalających głównie odpady niebezpieczne, z wyłączeniem niebezpiecznych odpadów drzewnych.

Tabela 3.35 Efektywność elektryczna brutto zakładów spalających głównie odpady niebezpieczne

Zakład	Wiek	Wielkość	Produkcja	Efektywność (%)
DE18	O	Duży	E.elektryczna	14
ES11	O	Mały	E.elektryczna	15
DK05	I/ab	Średni	CHP	32

Uwagi: Wiek zakładu: O = stary; I = średnio stary; ab = zmodernizowany po roku 2006.
Źródło: [81. TWG 2016]

Tabela 3.36 przedstawia efektywność elektryczną brutto zakładów spalających głównie osady ściekowe.

Tabela 3.36 Efektywność elektryczna brutto instalacji spalających głównie osady ściekowe

Zakład	Wiek	Wielkość	Produkcja	Efektywność (%)
NL06	O/ab	Duży	E.elektryczna	12
DE16	O/ab	Średni	E.elektryczna	20.5

Uwagi: Wiek zakładu: O = stary; I = średnio stary; ab = zmodernizowany po roku 2006.
Źródło: [81. TWG 2016]

3.5.2.2 Dane dotyczące odzysku energii (cieplnej lub ciepłej i elektrycznej)

[1. UBA 2001]

W przypadku gdy energia może być dostarczana przy podstawowym obciążeniu, stopień utylizacji brutto (energia elektryczna + ciepło) może zostać zwiększony do około 90% wsadu energetycznego odpadów (wartość opałowa wyrażona jako LHV). Wyższe wartości osiągane są przy zastosowaniu kondensacji spalin. [81. TWG 2016]

Efektywność energetyczna brutto (cieplna lub ciepła + elektryczna) spalarni odpadów, które uczestniczyły w gromadzeniu danych na potrzeby przeglądu dokumentu BREF WI w roku 2016, została przedstawiona w niniejszej sekcji obok parametrów pary oraz wieku i wielkości zakładów. Zakłady zostały oznaczone symbolem H lub C, jeśli wytwarzają wyłącznie ciepło lub ciepło i elektryczność.

Efektywność energetyczna brutto zakładów spalających wszelkiego rodzaju odpady pokazana została na ilustracji 3.90. Wykres nie wykazuje wyraźnej korelacji pomiędzy efektywnością energetyczną brutto a wiekiem, wielkością instalacji czy też parametrami temperatury i ciśnienia wytwarzanej pary. Należy zauważyć, że zakład AT08.1 posiada kombinowany system odzysku energii składający się z dwóch linii spalania odpadów niebezpiecznych i trzech linii spalania osadów ściekowych. Wykres 84% przedstawia tylko efektywność linii spalania SS.

3.5.2.3 Dane dotyczące efektywności kotła

Zakłady spalające głównie odpady niebezpieczne lub osady ściekowe, ze względu na swoją wielkość (zwłaszcza w przypadku spalarni odpadów niebezpiecznych, zazwyczaj mniejszych niż zakłady wytwarzające energię z odpadów), lokalizację (zazwyczaj bliżej miejsca wytwarzania odpadów i ewentualnie dalej od potencjalnych użytkowników odzyskanej energii) oraz projekt (bardziej zorientowany na niszczenie odpadów niż na wykorzystanie zawartości energii w odpadach), mogą napotykać na wyzwania związane z optymalizacją wykorzystania odzyskanej energii.

Z tych powodów, w przypadku spalania odpadów niebezpiecznych czy osadów ściekowych, efektywność przetwarzania energii zawartej w odpadach na parę wodną lub gorącą wodę (lub efektywność kotła) może być wykorzystywana jako bardziej porównywalny parametr określający efektywność energetyczną.

Efektywność kotła dla zakładów opalanych paliwami nie będących odpadami można generalnie określić przy użyciu normy BS EN 12952-15:2003 "Kotły wodnorurowe i instalacje pomocnicze. Testy akceptacyjne". Norma ta stanowi podstawę do przeprowadzania badań termicznych (odbiorczych) kotłów parowych opalanych bezpośrednio oraz wytwornic gorącej wody. Testy mają na celu wykazanie, że zostały spełnione gwarancje w zakresie efektywności oraz mocy lub innych parametrów. W celu sprostania niektórym specyficznym wyzwaniom związanym ze spalaniem odpadów, niemiecki Fachverband Anlagenbau (FDBR) opracował wytyczne dotyczące określania efektywności (sprawności) kotłów do spalania odpadów w miejscach, gdzie określenie wartości opałowej paliwa jest trudne (lub niemożliwe). Zgodnie z tą wytyczną, efektywność (sprawność) kotła jest to stosunek mocy ciepła użytkowego do całkowitego ciepła dostarczonego. Użyteczna moc cieplna jest to całkowita ilość ciepła przekazanego do wody w wytwornicy pary. [\[123. FDBR 2013\]](#)

Przedstawiona w tej sekcji efektywność kotła została oszacowana z uwzględnieniem danych projektowych zakładów uczestniczących w gromadzeniu danych na potrzeby przeglądu dokumentu BREF WI w roku 2016.

Efektywność kotłów instalacji spalania odpadów niebezpiecznych, które uczestniczyły w zbieraniu danych za rok 2016, przedstawiono na ilustracji 3.91, obok wieku, wielkości i typu paleniska instalacji, wraz ze wskazaniem maksymalnej temperatury osiągniętej przez spaliny. Linie spalania wytwarzające tylko energię elektryczną, tylko ciepło, ciepło oraz energię elektryczną oznaczone zostały odpowiednio literami E, H lub C. Wykres nie pokazuje wyraźnej korelacji pomiędzy efektywnością kotła a wiekiem lub wielkością instalacji. Pokazuje jednak, że linie spalania odpadów o wyższych temperaturach osiągają efektywność kotłów poniżej 70%.

Efektywność kotłów instalacji spalających osady ściekowe, które uczestniczyły w zbieraniu danych za rok 2016, przedstawiono na ilustracji 3.92, obok wieku, wielkości i typu paleniska zakładu, wraz ze wskazaniem zawartości wody w osadach. Linie spalania wytwarzające tylko energię elektryczną, tylko ciepło, lub ciepło oraz energię elektryczną zostały oznaczone odpowiednio E, H lub C. Wykres nie pokazuje wyraźnej korelacji pomiędzy efektywnością kotła a wiekiem lub wielkością instalacji. Wykres pokazuje jednak, że linie spalające osady ściekowe o niższej zawartości wody osiągają na ogół wyższe efektywności kotłów.

3.5.3 Dane dotyczące zużycia energii przez proces

[\[1. UBA 2001\]](#)

Sam proces spalania wymaga do jego funkcjonowania energii, np. do zasilania pomp i wentylatorów. Zapotrzebowanie jest bardzo zróżnicowane w zależności od konstrukcji instalacji [\[1. UBA 2001\]](#). Zapotrzebowanie procesowe może zostać np. zwiększone przez:

- mechaniczne systemy wstępnego przetwarzania (np. rozdrabniacze), urządzenia pompujące lub inne urządzenia do przygotowania odpadów;
- wstępne podgrzanie powietrza do spalania;

- ponowne podgrzanie spalin (np. potrzebnych urządzeniom przetwarzającym gazy lub ograniczającym widoczność emisji z komina);
- eksploatację instalacji odparowywania ścieków;
- systemy przetwarzania spalin o dużych spadkach ciśnienia (np. systemy filtracyjne), które wymagają zastosowania wentylatorów o większej mocy;
- spadek wartości opałowej odpadów; może to spowodować konieczność dodania dodatkowych paliw celem utrzymania minimalnych wymagań dotyczących spalania;
- przetwarzanie osadu np. suszenie. [\[64. TWG 2003\]](#)

W niektórych przypadkach wymagania te mogą być częściowo lub całkowicie zaspokojone poprzez wymianę ciepła z gorącymi gazami pochodzącymi ze spalania.

Starsze zakłady wyposażone w systemy oczyszczania spalin mogą zużywać więcej energii elektrycznej w porównaniu z nowoczesnymi zakładami wyposażonymi w systemy zintegrowane. W przypadku przemysłowych spalarni odpadów niebezpiecznych obserwuje się zakres 132-476 kWh/t odpadów. [\[1. UBA 2001\]](#)

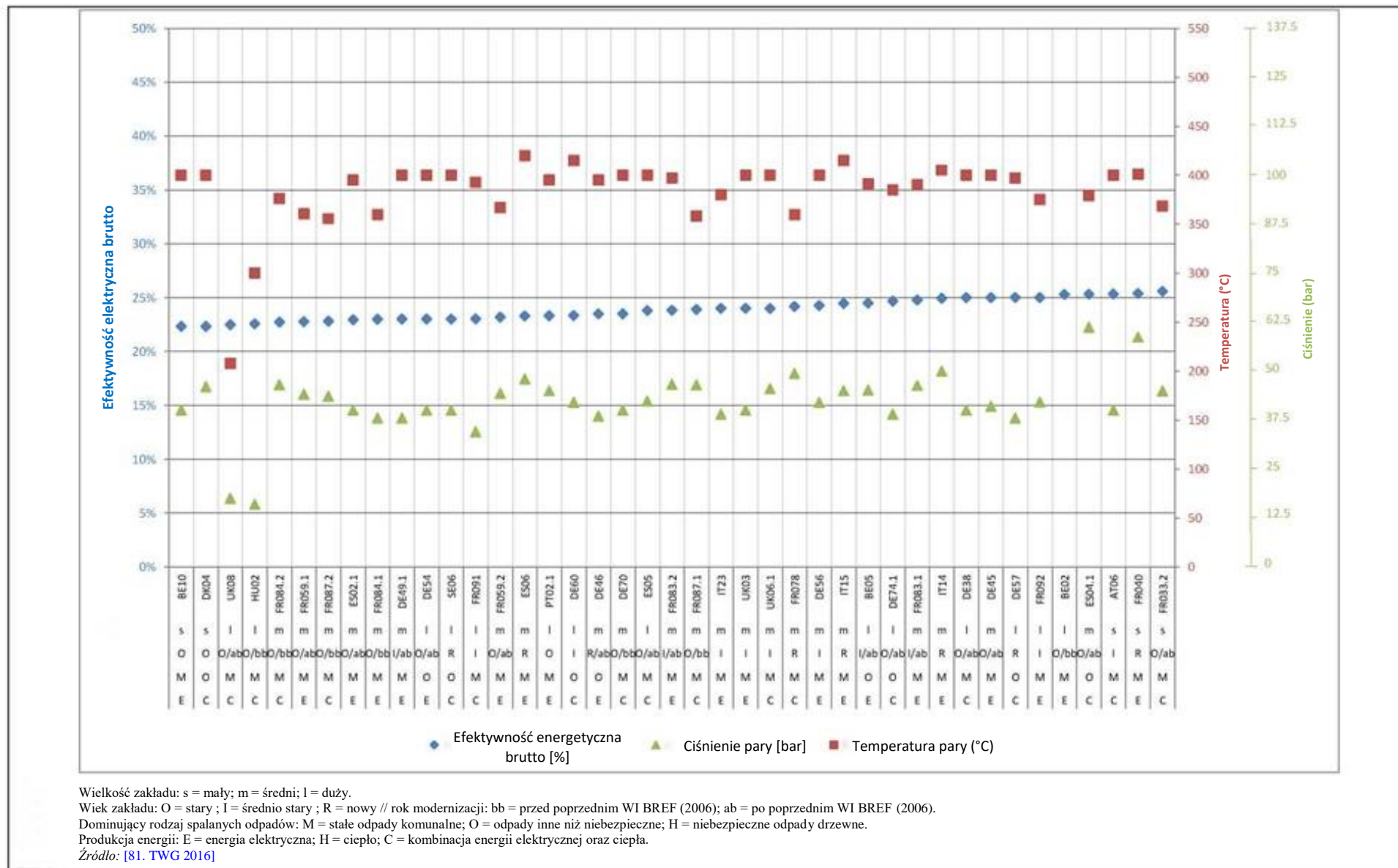
Tabela 3.37 przedstawia konkretne zapotrzebowanie na energię w spalarniach odpadów, które uczestniczyły w gromadzeniu danych w roku 2016. Przedstawiono w niej zapotrzebowanie na energię elektryczną oraz zapotrzebowanie na ciepło dla całej spalarni, wyrażone w przeliczeniu na tonę przetworzonych odpadów.

Tabela 3.37 Dane dotyczące zapotrzebowania na energię elektryczną i ciepłą na tonę przetworzonych odpadów

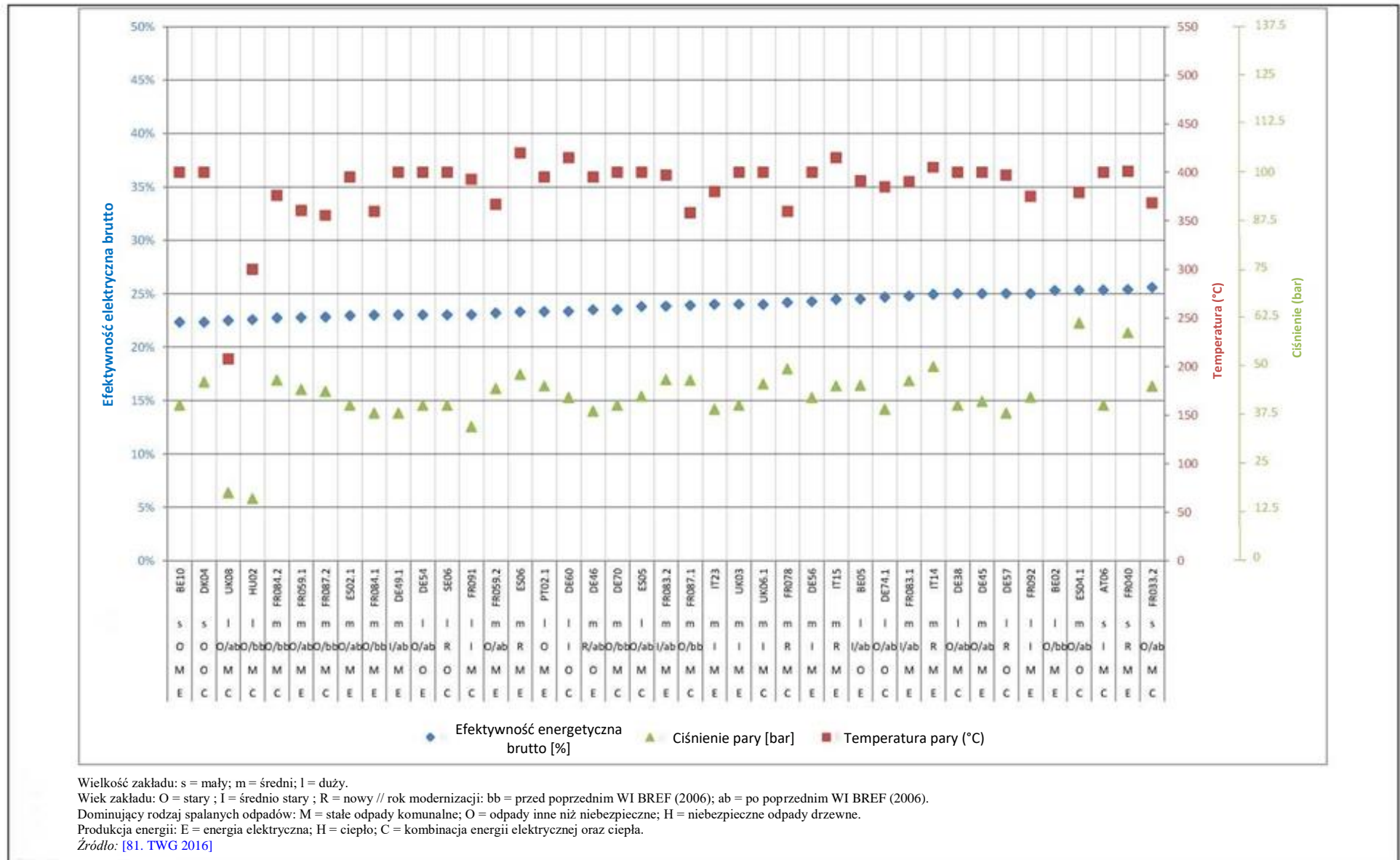
Rodzaj potrzebnej energii	Spalane odpady	Minimum	Średnio	Maksimum
Energia elektryczna (MWh _e /t odpadów)	MSW&ONHW	0.045	0.107	0.264
	SS	0.033	0.154	0.276
	CW	0.211	0.228	0.244
	HW	0.073	0.202	0.360
Ciepło (MWh _h /t odpadów)	MSW&ONHW	0.010	0.505	0.700
	SS	0.121	0.265	0.675
	CW	NI	NI	NI
	HW	0.056	0.373	0.674

Uwagi: NI = nie dostarczono danych.
Źródło: [\[81. TWG 2016\]](#)

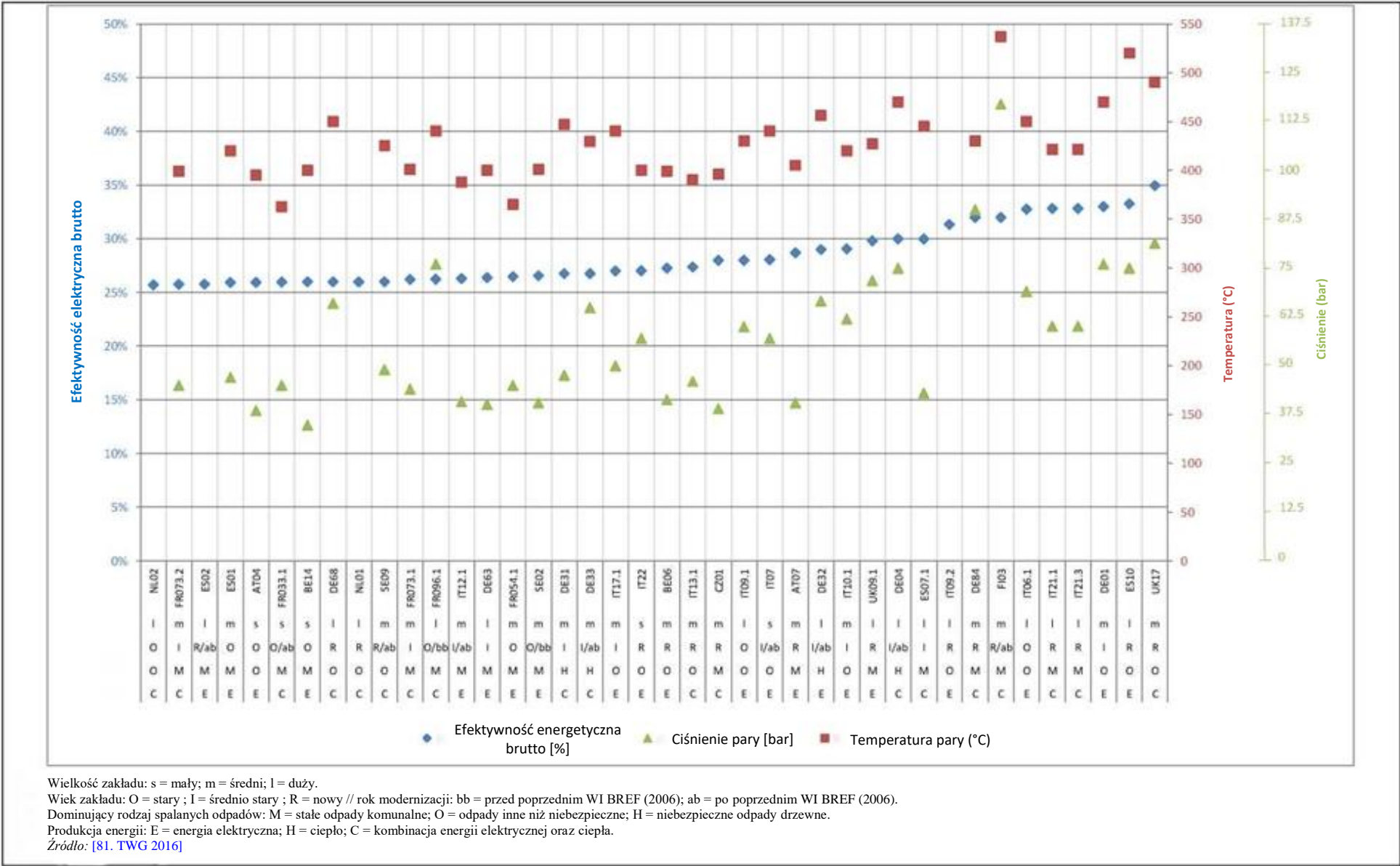
Konsumpcja energii w zakładzie różni się również w zależności od wartości opałowej odpadów. Wynika to w dużej mierze ze zwiększonej ilości spalin przy większej LHV odpadów - co wymaga większej wydajności FGC. Inaczej może być w przypadku, gdy niska wartość LHV może być spowodowana wysoką wilgotnością, która zwiększa objętość spalin.



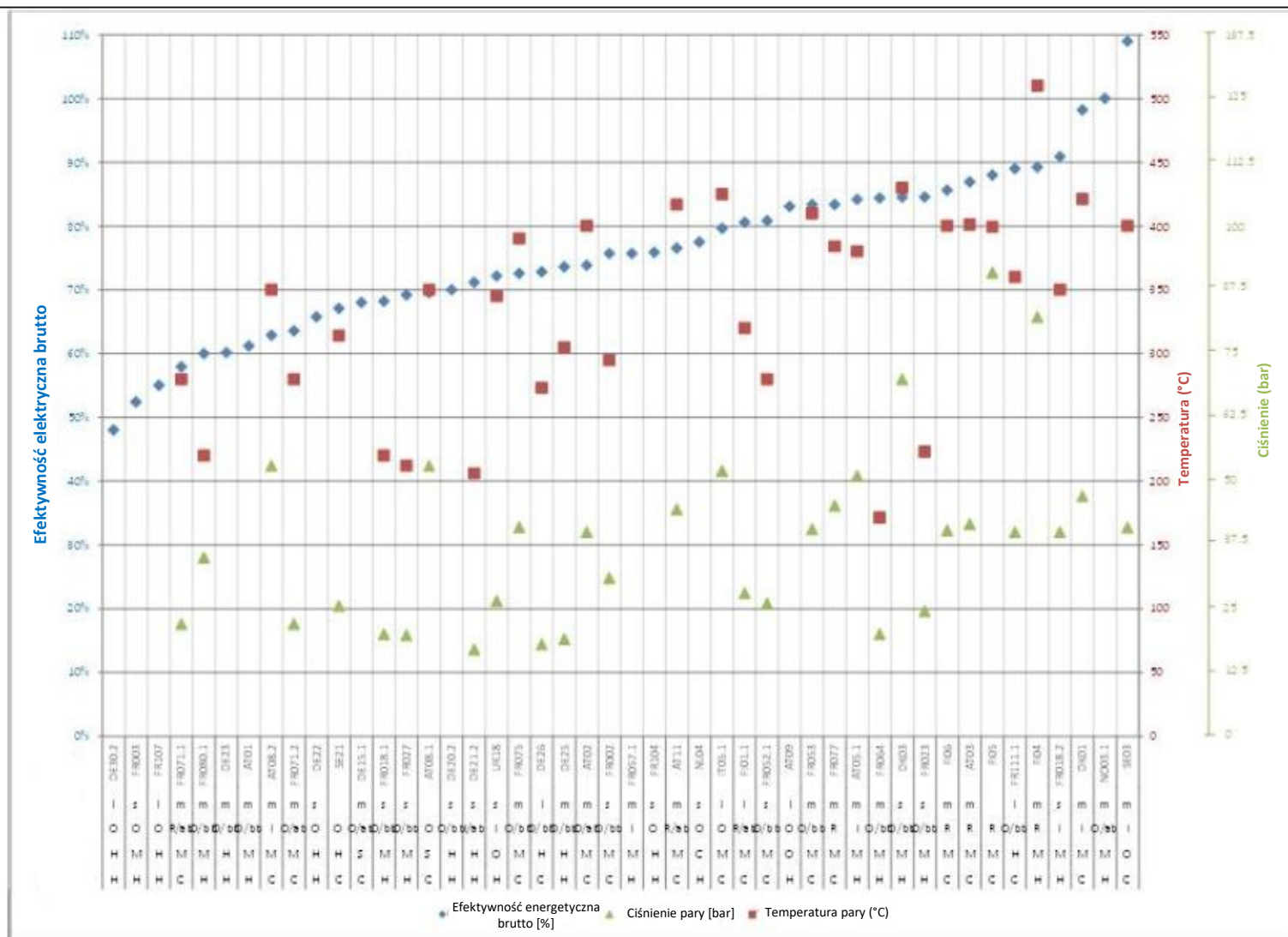
Ilustracja 3.87 Efektywność elektryczna brutto zakładów spalających głównie stałe odpady komunalne, odpady inne niż niebezpieczne oraz niebezpieczne odpady drzewne (1/3)



Ilustracja 3.88 Efektywność elektryczna brutto zakładów spalających głównie stałe odpady komunalne, odpady inne niż niebezpieczne oraz niebezpieczne odpady drzewne (2/3)



Ilustracja 3.89 Efektywność elektryczna brutto zakładów spalających głównie stałe odpady komunalne, odpady inne niż niebezpieczne oraz niebezpieczne odpady drzewne (3/3)



Wielkość zakładu: s = mały; m = średni; l = duży.

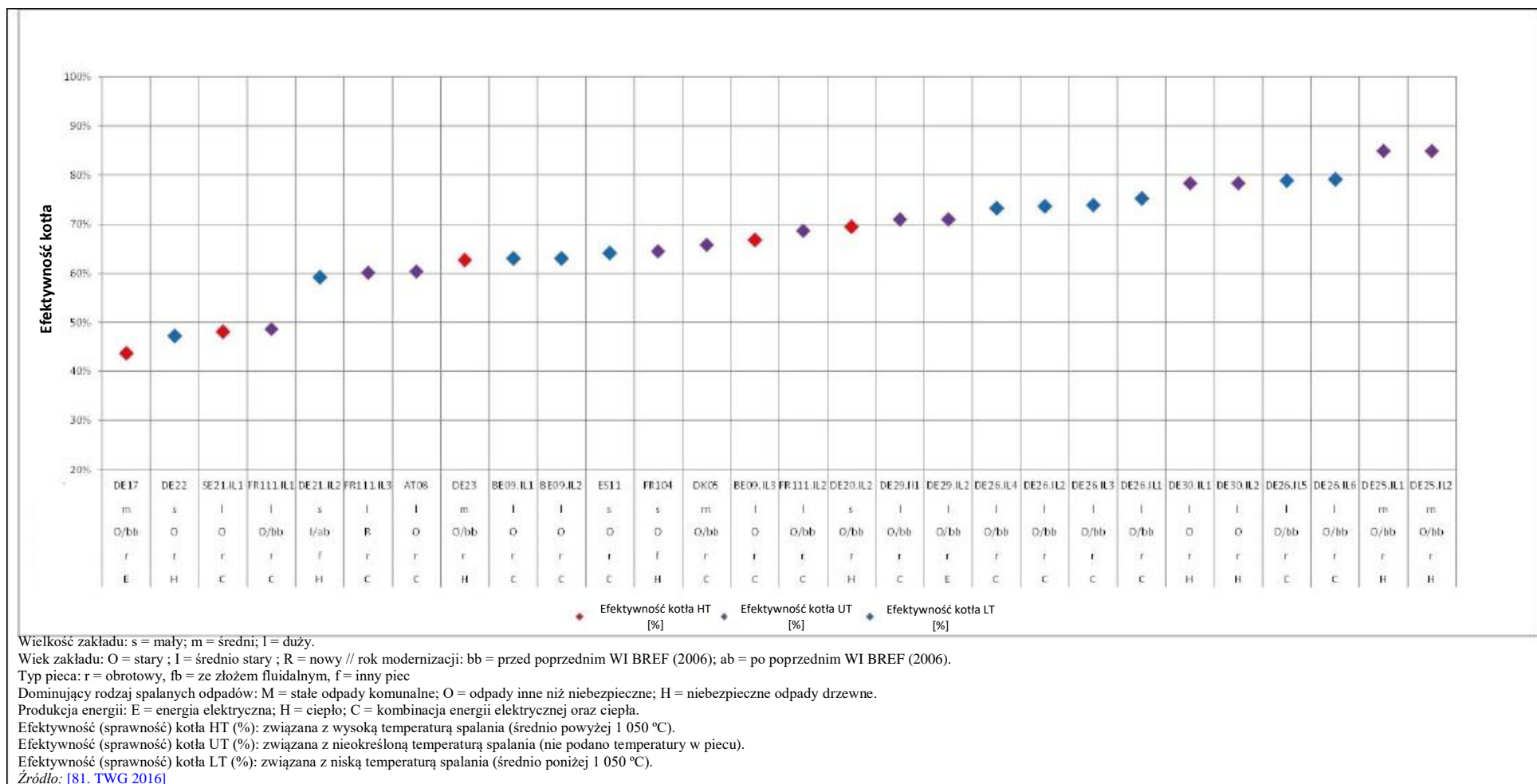
Wiek zakładu: O = stary; I = średnio stary; R = nowy // rok modernizacji: bb = przed poprzednim WI BREF (2006); ab = po poprzednim WI BREF (2006).

Dominujący rodzaj spalanych odpadów: M = stałe odpady komunalne; O = odpady inne niż niebezpieczne; H = niebezpieczne odpady drzewne.

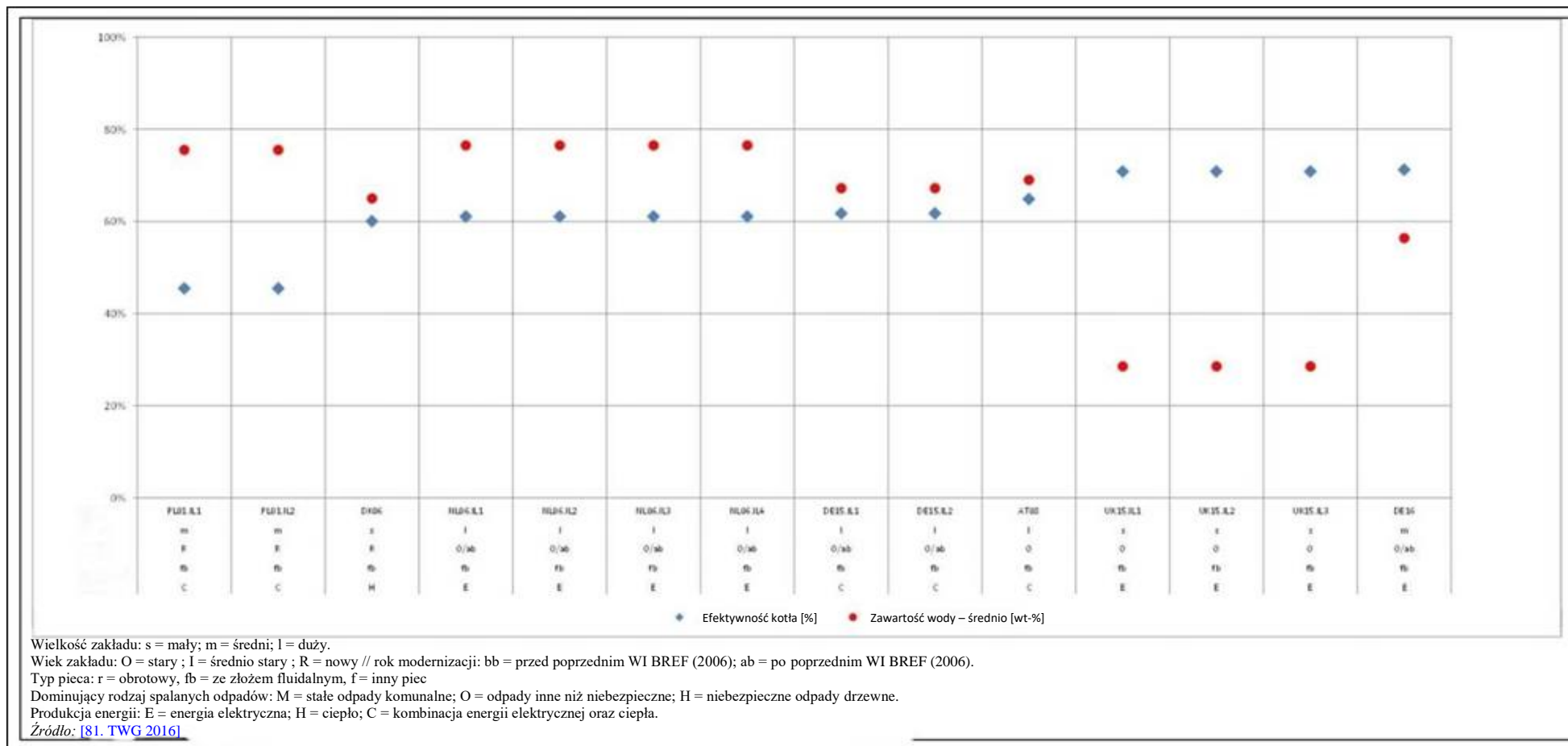
Produkcja energii: E = energia elektryczna; H = ciepło; C = kombinacja energii elektrycznej oraz ciepła.

Źródło: [81. TWG 2016]

Ilustracja 3.90 Efektywność energetyczna brutto spalarni odpadów



Ilustracja 3.91 Efektywność kotłów w zakładach spalających głównie odpady niebezpieczne



Ilustracja 3.92 Efektywność kotłów w zakładach spalających głównie ścieki

3.6 Hałas

W tabeli 3.38 opisano źródła i poziomy hałasu wytwarzanego w instalacjach do spalania odpadów, wraz z niektórymi stosowanymi środkami ich redukcji.

Tabela 3.38 Źródła hałasu w spalarniach odpadów

Obszar odpowiadający za hałas/główne źródła	Stosowane metody redukcji	Hałas L_{WA} [dB(A)]
Dostarczanie odpadów, hałasujące ciężarówki itp.	Przyjmowanie odpadów w zamkniętych budynkach/halach	104–109
Rozdrabnianie	Nożyce tnące w zamkniętej obudowie	95–99
Bunkier na odpady	Izolacja akustyczna budynku z gazobetonu, szczelne bramy	79–81
Budynek kotła	Obudowa o konstrukcji wielowarstwowej lub z gazobetonu, kanały wentylacyjne z tłumiącymi złączkami, szczelne bramy	78–91
Budynek maszyn	Zastosowanie cichobieżnych zaworów, rury dźwiękochłonne, izolacja akustyczna budynku + jak wyżej	82–85
Oczyszczanie spalin: - ESP - Płukanie - Zasysanie - Komin - Cały system oczyszczania spalin	Izolacja akustyczna, obudowa obiektu np. za pomocą pofalowanych blach (trapezoidalnych), zastosowanie tłumienia akustycznego ciągów ssących oraz tłumika w kominie	82–85 82–85 82–84 84–85 89–95
Usuwanie pozostałości - usuwanie popiołów paleniskowych - Załadunek - Transport z zakładu - Ogólne zarządzanie pozostałościami	Obsługa w pomieszczeniach zamkniętych np. bunkier	71–72 73–78 (dzień) 92–96 (dzień) 92–96 (dzień) 71–72 (noc)
Chłodnice powietrza	Tłumiki po stronie ssącej i ciśnieniowej (zob. również BREF ICS celem uzyskania dalszych informacji)	90–97
Transformatorownie	Cicha konstrukcja, w specjalnie skonstruowanym dźwiękoszczelnym budynku	71–80
L_{WA} zakładu (ogólna) W dzień W nocy		105–110 93–99

Uwagi: Dzień/noc oznacza, że operacja jest zazwyczaj wykonywana w ciągu dnia lub w nocy.
Źródło: [1. UBA 2001]

Dzięki opisanym powyżej środkom redukcji hałasu, wartości graniczne emisji, podane dla konkretnego projektu w oparciu o warunki lokalne, mogą być bezpiecznie spełnione, zarówno w dzień jak i w nocy.

Hałas jest również generowany na etapie budowy. Może to skutkować znacznym narażeniem sąsiednich obszarów mieszkalnych, w zależności od lokalizacji. Trzy główne etapy budowy istotne z punktu widzenia hałasu to:

- kopanie wykopu;
- wylewanie fundamentów (w tym wbijanie pali); oraz
- konstrukcja zewnętrznych ścian budynków.

Można podjąć odpowiednie środki, takie jak ograniczenie godzin pracy, w szczególności w nocy, stosowanie cichych maszyn budowlanych oraz tymczasowe środki izolacji akustycznej. W niektórych państwach członkowskich istnieją specjalne przepisy w tym zakresie.

[1. UBA 2001], [2. InfoMil 2002], [64. TWG 2003]

3.7 Inne wykorzystywane zasoby

W tej sekcji opisano niektóre z substancji zużywanych w procesie spalania oraz przedstawiono dostępne informacje. Tabela 3.40 na końcu sekcji zawiera dane dotyczące ilości różnych substancji zużywanych przez spalarnie odpadów niebezpiecznych.

3.7.1 Woda

Głównie zużywana woda w spalarniach odpadów służy do oczyszczania spalin. Systemy suche zużywają najmniej wody, a systemy mokre na ogół najwięcej. Systemy półmokra mieszczą się pomiędzy.

Typowe ilości ścieków w MSWI wynoszą około 250 kg na tonę przetworzonych odpadów (w przypadku płukania na mokro).

W przypadku systemów mokrych możliwe jest znaczne zmniejszenie zużycia poprzez recyrkulację oczyszczonych ścieków jako wsadu do wody płuczkowej. Można to zrobić tylko do pewnego stopnia, gdyż w wodzie recyrkulacyjnej może gromadzić się sól. Możliwe jest również inne wykorzystanie oczyszczonych ścieków (np. chłodzenie popiołów paleniskowych), w zależności od wymagań jakościowych wody i zgodnie z jej przeznaczeniem.

Zastosowanie chłodzonych płuczek (skruberów) kondensacyjnych stanowi kolejny sposób usuwania wody ze strumienia spalin, która następnie, po oczyszczeniu, może być ponownie wprowadzona do płuczek. Problemem pozostaje gromadzenie się soli.

Procesy bez kotłów z odzyskiem energii mogą zużywać znacznie więcej wody. Dzieje się tak, ponieważ wymagane chłodzenie spalin odbywa się za pomocą wtrysku wody. W takich przypadkach obserwuje się wskaźniki zużycia do 3.5 tony wody na tonę odpadów. Instalacje z systemem szybkiego schładzania (takie jak zakłady HWI w Wielkiej Brytanii) mogą zużywać do 20 ton wody na tonę spalanych odpadów.

Zużycie wody na potrzeby FGC w HWI wynosi około 1-6 m³ na tonę odpadów, a na osady ściekowe około 15.5 m³ na tonę odpadów. Jednak w dedykowanych spalarniach osadów ściekowych wykorzystujących częściowe wstępne suszenie oraz spalanie w piecach ze złożem fluidalnym, około 50% zawartości wody w osadach wyparowuje w piecu. Dzięki zastosowaniu etapu chłodzenia za płuczką gazową mokrą możliwe jest odzyskanie wody z spalin i wykorzystanie jej do zaspokojenia zapotrzebowania na wodę w płuczce (NL05). [\[74. TWG 2004\]](#), [\[7. TWG 2017\]](#)

3.7.2 Inne zużywane materiały oraz paliwa

[\[1. UBA 2001\]](#)

Następujące wskaźniki zużycia (oraz pozostałości) można obliczyć dla **reakcji stechiometrycznej** podczas oczyszczania spalin.

Tabela 3.39 Stechiometryczne obliczanie ilości różnych odczynników używanych do absorpcji podczas oczyszczania spalin (odczynniki wyrażone w 100% stężenia i stopnia czystości).

Zanieczyszczenie		Ca(OH) ₂	Produkty resztkowe	
	kg	kg		kg
HCl	1	1.014	CaCl ₂	1.521
HF	1	1.850	CaF ₂	1.950
SO ₂	1	1.156	CaSO ₄	2.125
Zanieczyszczenie		NaOH	Produkt resztkowy	
HCl	1	1.097	NaCl	1.600
HF	1	2.000	NaF	2.100
SO ₂	1	1.249	Na ₂ SO ₄	2.217
Zanieczyszczenie		Wodorowęglan sodu	Produkt resztkowy	
HCl	1	2.301	NaCl	1.600
HF	1	4.200	NaF	2.100
SO ₂	1	2.625	Na ₂ SO ₄	2.217
Zanieczyszczenie		Amoniak	Produkt resztkowy	
NO	1	0.370	Nie dotyczy	
NO ₂	1	0.739		
Zanieczyszczenie		Mocznik	Produkt resztkowy	
NO	1	0.652	Nie dotyczy	
NO ₂	1	1.304		
Uwagi:				
1. Aby ustalić dokładne proporcje odczynników, konieczne jest uwzględnienie początkowego oraz docelowego poziomu emisji.				
2. Reagenty mogą być dostarczane w różnych stężeniach, co może zmieniać ogólne wskaźniki zużycia mieszaniny odczynników.				
Źródło: [1. UBA 2001] [74. TWG 2004]				

3.7.2.1 Neutralizery

[1. UBA 2001]

Do neutralizacji kwasów zawartych w spalinach stosuje się NaOH, wapno hydratyzowane, mleczko wapienne lub wodorowęglan sodu. Ich zużycie zależy od specyficznej struktury odpadów (a co za tym idzie od zawartości nieprzetworzonych gazów), jak również od zastosowanego sprzętu technicznego (kontakt, mieszanie itp.).

W przypadku wapna hydratyzowanego zużywa się go od 2 do 22 kg na tonę odpadów, w zależności od rodzaju oczyszczania spalin oraz innych czynników. W przypadku NaOH liczba ta wynosi 7.5-33 kg na tonę. [74. TWG 2004] [81. TWG 2016]

3.7.2.2 Odczynniki usuwające NO_x

Typowe odczynniki do usuwania NO_x z spalin to amoniak, woda amoniakalna (25% NH₃) oraz roztwór mocznika. Szczególnie ten ostatni, w zależności od producenta, jest często uzupełniany dodatkowymi składnikami.

Wcześniejsza znajomość stężeń NO_x pomaga w osiągnięciu dobrze kontrolowanego procesu. [74. TWG 2004]

Materiały te muszą być stosowane w sposób celowy i dobrze kontrolowany, aby zapobiec nadmiernemu wytwarzaniu się amoniaku lub bezpośredniej ucieczce nadmiaru amoniaku.

W przypadku wody amoniakalnej typowe jest zużycie od 2 do 2.5 kg na tonę odpadów. Wartości podawane w literaturze naukowej mieszczą się w zakresie od 0.5 do 5 kg na tonę odpadów.

3.7.2.3 Olej opałowy i gaz ziemny

Lekki olej opałowy (olej napędowy), ciężki olej opałowy (ok. 1-4 litrów na tonę odpadów) i gaz ziemny (w austriackich zakładach od 4.5 do 20 m³ na tonę odpadów) wykorzystywane są głównie do podgrzania procesu oraz palników wspomagających. [\[74. TWG 2004\]](#) [\[81. TWG 2016\]](#)

Rozpuszczalniki odpadowe (zazwyczaj o wartości termicznej > 25 MJ/kg) również są wykorzystywane w niektórych zakładach jako paliwa pomocnicze.

Odpady wysokokaloryczne (np. oleje i rozpuszczalniki, zazwyczaj o wartości cieplnej > 15 MJ/kg) są rutynowo wykorzystywane jako paliwo pomocnicze w piecach obrotowych spalarni odpadów niebezpiecznych.

Jeśli spaliny są ponownie podgrzewane na potrzeby poszczególnych etapów procesu (np. SCR), odbywa się to głównie przy użyciu gazu ziemnego.

3.7.2.4 Dane z badania ankietowego komercyjnych spalarni odpadów niebezpiecznych

[\[41. EURITS 2002\]](#)

Poniżej przedstawiono przegląd minimalnych oraz maksymalnych ilości dodatków, w kilogramach, na tonę spalonych odpadów dla badanych komercyjnych instalacji przetwarzania odpadów niebezpiecznych.

Tabela 3.40 Ilość dodatków stosowanych w procesach komercyjnego spalania odpadów niebezpiecznych

Dodatki	kg/t odpadów		
	Minimum	Maksimum	Średnio
CaO + Ca(OH) ₂ (100 %), jako CaO	1.33	97	28.6
NaOH (50%)	0.40	41.67	15.5
CaCO ₃	11.9	23.76	17.4
HCl (33%)	0.14	10	1.5
TMT-15 lub inne przetwarzanie siarczków	0.0085	0.98	0.23
Na ₂ S	0.008	0.83	0.44
Na ₂ S ₂ O ₃	0.08	4.2	1.7
FeCl ₃	0.049	0.50	0.27
FeClSO ₄	0.15	0.96	0.55
Fe Al chlorki	1.75	1.75	1.75
PE	0.01	1.30	0.3
Węgiel aktywny	0.3	19.31	3.7
Mocznik (45%)	3.1	3.1	3.1
NH ₄ OH	0.50	3.33	2.1
CaCl ₂	2.36	2.36	2.36
Uwagi: Tabela podaje tylko niektóre wartości referencyjne i może nie być reprezentatywna dla konkretnej instalacji lub techniki. Źródło: [41. EURITS 2002]			

4. TECHNIKI DO ROZWAŻENIA PRZY OKREŚLANIU BAT

W tym rozdziale opisano technologie (lub ich kombinacje) oraz związane z nimi monitorowanie, które uznaje się za mające potencjał osiągnięcia wysokiego poziomu ochrony środowiska w działaniach objętych zakresem niniejszego dokumentu. Opisane techniki obejmą zarówno stosowane technologie, jak i sposób, w jaki instalacje są projektowane, budowane, konserwowane, eksploatowane oraz wycofywane z eksploatacji.

W rozdziale omówione zostały systemy zarządzania środowiskowego, technologie zintegrowane z procesem oraz dotyczące tzw. końca rury. Uwzględniono również zapobieganie powstawaniu oraz zagospodarowywanie odpadów, w tym minimalizację ich ilości oraz procedury recyklingu, jak również technologie, które zmniejszają zużycie surowców, wody i energii poprzez optymalizację ich wykorzystywania oraz ponownego stosowania. Opisane technologie obejmują środki stosowane celem zapobiegania negatywnym skutkom dla środowiska wypadków oraz incydentów lub ograniczania tych skutków, jak również stosowane środki zaradcze. Obejmują one także środki podejmowane celem zapobiegania emisjom lub ich redukcji w warunkach innych niż normalne warunki eksploatacji (takich jak rozruch, wyłączenie, przecieki, niesprawność, chwilowe przestoje czy ostateczne zaprzestanie działalności).

W załączniku III do Dyrektywy wymieniono szereg kryteriów określania BAT, a informacje zawarte w niniejszym rozdziale będą je uwzględniać. W miarę możliwości w niniejszym dokumencie wykorzystano standardową strukturę z tabeli 2.4 celem przedstawienia w zarysie informacji na temat każdej technologii, umożliwiając ich porównanie oraz ocenę w odniesieniu do definicji BAT zawartej w Dyrektywie.

Niniejszy rozdział nie zawiera wyczerpującego wykazu technologii, które mogłyby być zastosowane w sektorze. Mogą istnieć lub mogą zostać opracowane inne technologie, które można wziąć pod uwagę przy określaniu BAT dla danej instalacji.

Tabela 4.1 Informacje zawarte w opisie każdej z technik podanych w niniejszym rozdziale

Nagłówki w ramach sekcji
Opis
Szczegóły techniczne
Korzyści dla środowiska
Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Oddziaływanie na procesy i środowisko
Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Ekonomia
Siła napędowa wdrażania
Przykładowe zakłady
Literatura źródłowa

4.1 Technologie organizacyjne sprzyjające ochronie środowiska

4.1.1 System zarządzania środowiskowego (EMS)

Opis

Oficjalny system wykazujący zgodność z celami środowiskowymi.

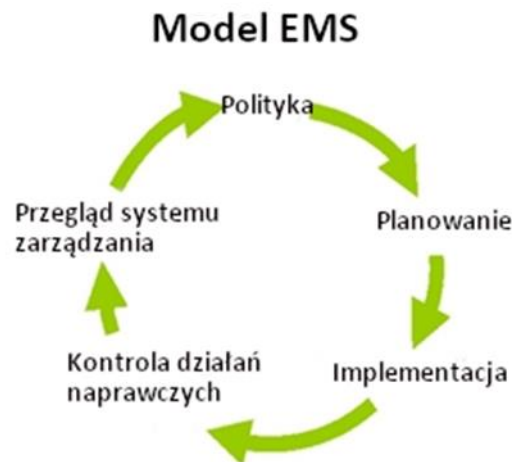
Szczegóły techniczne

Dyrektywa w sprawie emisji przemysłowych definiuje "techniki" (w definicji "najlepszych dostępnych technik (BAT)") jako "zarówno stosowane technologie, jak i sposób, w jaki instalacja jest projektowana, budowana, konserwowana, eksploatowana oraz wycofywana z eksploatacji".

W tym względzie EMS jest techniką pozwalającą operatorom instalacji na rozwiązywanie kwestii środowiskowych w sposób systematyczny oraz czytelny. EMS są najbardziej efektywne i wydajne, gdy stanowią nieodłączną część ogólnego zarządzania oraz funkcjonowania instalacji.

EMS skupia uwagę operatora na efektywności środowiskowej instalacji; w szczególności poprzez zastosowanie jasnych procedur operacyjnych zarówno dla normalnych, jak i innych niż normalne warunków pracy oraz poprzez wyznaczenie powiązanych obszarów odpowiedzialności.

Wszystkie skuteczne EMS zawierają koncepcję ciągłego doskonalenia, co oznacza, że zarządzanie środowiskowe jest procesem ciągłym, a nie zakończonym projektem. Istnieją różne projekty procesów, ale większość EMS opiera się na cyklu planuj-wykonaj-sprawdź-popraw (który jest szeroko stosowany w innych kontekstach zarządzania przedsiębiorstwem). Cały cykl jest iteracyjnym modelem dynamicznym, w którym zakończenie jednego cyklu wpływa na początek następnego (zob. ilustracja 4.1).



Ilustracja 4.1 Ciągłe doskonalenie modelu EMS

EMS może mieć formę standardowego lub niestandardowego ("indywidualnego") systemu. Wdrożenie i przestrzeganie międzynarodowo akceptowanego znormalizowanego systemu, takiego jak EN ISO 14001, może zwiększyć wiarygodność systemu EMS, szczególnie w przypadku poddania go właściwie przeprowadzonej weryfikacji zewnętrznej. System ekzarządzania i audytu (EMAS) zapewnia dodatkową wiarygodność ze względu na interakcję ze społeczeństwem poprzez deklarację środowiskową oraz mechanizm zapewniający zgodność z obowiązującymi przepisami ochrony natury. Jednakże systemy niestandardowe mogą być co do zasady równie skuteczne, pod warunkiem, że są odpowiednio zaprojektowane oraz wdrażane.

Podczas gdy zarówno systemy znormalizowane (EN ISO 14001 lub EMAS), jak i systemy nie znormalizowane mają zasadniczo zastosowanie do przedsiębiorstw, niniejszy dokument przyjmuje węższe podejście, nie obejmując wszystkich działań danej organizacji, np. w odniesieniu do jej produktów i usług, ze względu na fakt, że dyrektywa IED dotyczy jedynie instalacji/zakładów.

EMS może zawierać następujące elementy:

- i zaangażowanie, przywództwo i odpowiedzialność kierownictwa, łącznie z kierownictwem wyższego szczebla, za wdrożenie skutecznego EMS;
- ii analizę obejmującą określenie uwarunkowań organizacji, określenie potrzeb i oczekiwań zainteresowanych stron, określenie właściwości instalacji, które wiążą się z ewentualnymi zagrożeniami dla środowiska (lub zdrowia ludzkiego), jak również mających zastosowanie przepisów prawa dotyczących środowiska;
- iii opracowanie polityki środowiskowej, która obejmie ciągłą poprawę efektywności środowiskowej instalacji;
- iv ustanowienie celów i wskaźników efektywności w odniesieniu do istotnych aspektów środowiskowych, w tym zapewnienie zgodności z obowiązującymi wymogami prawnymi;
- v planowanie i wdrażanie niezbędnych procedur oraz działań (w tym, w razie potrzeby, działań korygujących i zapobiegawczych), aby osiągnąć cele środowiskowe a także uniknąć zagrożeń dla środowiska;
- vi określenie struktur, ról i obowiązków w odniesieniu do aspektów i celów środowiskowych oraz zapewnienie potrzebnych zasobów finansowych oraz ludzkich;
- vii zapewnienie niezbędnej wiedzy oraz umiejętności personelu, którego praca może mieć wpływ na efektywność środowiskową instalacji (np. poprzez dostarczenie informacji i przeprowadzanie szkoleń);
- viii wewnętrzną oraz zewnętrzną wymianę informacji;
- ix wspieranie rozwoju przez pracowników dobrych praktyk w zakresie zarządzania środowiskiem;
- x ustanowienie oraz aktualizowanie podręcznika zarządzania oraz pisemnych procedur kontroli działań mających znaczący wpływ na środowisko, jak również odpowiednich w nich zapisów;
- xi efektywne planowanie oraz kontrola procesów;
- xii wdrożenie odpowiednich programów konserwacji;
- xiii protokoły przygotowania i reagowania na sytuacje kryzysowe, w tym zapobieganie niekorzystnym skutkom (środowiskowym) sytuacji kryzysowych i/lub ich łagodzenie;
- xiv podczas (ponownego) projektowania (nowej) instalacji lub jej części, uwzględnienie wpływu projektu na środowisko w całym okresie eksploatacji, co obejmuje budowę, utrzymanie, eksploatację oraz likwidację (wycofanie z eksploatacji);
- xv wdrożenie programu monitorowania i pomiarów; w razie potrzeby informacje można znaleźć w sprawozdaniu referencyjnym na temat monitorowania emisji do powietrza i wody z instalacji IED;
- xvi regularne stosowanie sektorowej analizy porównawczej (*benchmarking*);
- xvii okresowe niezależne (na ile jest to możliwe) audyty wewnętrzne i zewnętrzne celem oceny wyników w zakresie ochrony środowiska oraz ustalenia, czy EMS jest zgodny z planowanymi rozwiązaniami i czy został prawidłowo wdrożony oraz jest utrzymywany;
- xviii ocena przyczyn niezgodności, wdrożenie działań naprawczych w odpowiedzi na niezgodności, przegląd skuteczności działań naprawczych oraz ustalenie, czy podobne niezgodności istnieją lub mogą potencjalnie wystąpić;
- xix okresowy przegląd, dokonywany przez kierownictwo wyższego szczebla, EMS i jego ciągłej przydatności, adekwatności oraz skuteczności;
- xx śledzenie i uwzględnianie rozwoju "czystszych" technik.

Szczególnie w przypadku spalarni i zakładów przetwarzania IBA, do EMS można również włączyć następujące elementy:

- xxi dla spalarni, zarządzanie strumieniem odpadów;
- xxii dla zakładów przetwarzania popiołu paleniskowego, zarządzanie jakością produktu wyjściowego.
- xxiii plan zarządzania pozostałościami, w tym środki do tego służące;
- xxiv minimalizacja powstawania pozostałości;
 - a) optymalizacja ponownego wykorzystania, regeneracja, recykling i/lub odzysk energii z pozostałości;
 - b) zapewnienie poprawnego unieszkodliwiania pozostałości.
- xxv plan zarządzania OTNOC dla spalarni;
- xxvi w przypadku spalarni - plan zarządzania wypadkami, który określa zagrożenia stwarzane przez instalację i związane z tym ryzyko oraz określa środki zaradcze w odniesieniu do zdefiniowanych zagrożeń. Uwzględnienie wykazu zanieczyszczeń obecnych lub mogących się pojawić, które mogą mieć wpływ na środowisko w przypadku ich ucieczki. Plan może być sporządzony z wykorzystaniem np. analizy FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis* - analiza przyczyn i skutków wad) i/lub FMCA (*Failure Mode, Effects and Criticality Analysis* - analiza przyczyn, skutków i krytyczności wad). Plan zarządzania wypadkami obejmuje opracowanie oraz wdrożenie planu zapobiegania, wykrywania i kontroli pożarów, który jest oparty na analizie ryzyka i obejmuje wykorzystanie automatycznych systemów wykrywania i ostrzegania o pożarach oraz ręcznych i/lub automatycznych systemów gaszenia i kontroli pożarów. Plan zapobiegania, wykrywania i gaszenia pożarów jest istotny w szczególności dla:
 - o obszarów magazynowania i wstępnego przetwarzania odpadów;
 - o obszarów załadunku do pieca;
 - o elektrycznych systemów kontrolnych;
 - o filtrów workowych;
 - o stałych złóż adsorpcyjnych.Plan zarządzania wypadkami musi również obejmować, szczególnie w przypadku instalacji obsługującej odpady niebezpieczne, programy szkolenia personelu w zakresie:
 - o zapobiegania pożarom oraz wybuchom;
 - o gaszenia pożarów;
 - o wiedzy na temat zagrożeń chemicznych (etykietowanie, substancje rakotwórcze, toksyczność, korozja, pożar).
- xxvii dla zakładów przetwarzania popiołu paleniskowego, zarządzanie emisjami rozproszonymi pyłami.
- xxviii plan zarządzania odorem, w którym przewiduje się lub uzasadniono uciążliwość zapachu dla tzw. obiektów wrażliwych, w tym:
 - a) protokół monitorowania odorów zgodnie z normami EN (np. dynamiczna olfaktometria zgodnie z normą EN 13725 celem określenia stężenia odoru); może to być uzupełnione pomiarem/oceną narażenia na odór (np. zgodnie z normą EN 16841-1 lub EN 16841-2) lub oszacowaniem oddziaływania odoru;
 - b) protokół reakcji na zidentyfikowane incydenty związane z odorem, np. skargi;
 - c) program zapobiegania powstawaniu odorów oraz ich redukcji, mający na celu identyfikację źródła(-eł); scharakteryzowanie wkładu poszczególnych źródeł; oraz wdrożenie środków zapobiegania i/lub redukcji.
- xxix plan zarządzania hałasem, w którym przewiduje się lub uzasadniono uciążliwość hałasu dla tzw. obiektów wrażliwych, w tym:
 - a) protokół monitorowania hałasu;
 - b) protokół reakcji na zidentyfikowane incydenty związane z hałasem, np. skargi;
 - c) program zapobiegania powstawaniu hałasu oraz jego redukcji, mający na celu identyfikację źródła(-eł); scharakteryzowanie wkładu poszczególnych źródeł; oraz wdrożenie środków zapobiegania i/lub redukcji.

Korzyści dla środowiska

EMS promuje oraz wspiera ciągłą poprawę ekologiczności instalacji. Jeśli instalacja ma już dobre ogólne wyniki w zakresie ochrony środowiska, system EMS pomaga operatorowi utrzymać ten wysoki poziom.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Nie dostarczono danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Brak danych. Systematyczna analiza początkowych oddziaływań na środowisko oraz zakres ulepszeń w kontekście EMS stanowi podstawę do oceny najlepszych rozwiązań dla wszystkich mediów środowiskowych.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Elementy opisane powyżej mogą być zazwyczaj stosowane do wszystkich instalacji objętych zakresem niniejszego dokumentu. Zakres (np. poziom szczegółowości) i właściwości systemu EMS (np. standaryzowany lub niestandaryzowany) będą związane z charakterem, skalą i złożonością instalacji oraz zakresem oddziaływania na środowisko, jakie może ona mieć.

Ekonomika

Trudno jest dokładnie określić koszty i korzyści ekonomiczne wprowadzenia oraz utrzymania dobrego EMS. Istniejące korzyści ekonomiczne wynikające ze stosowania EMS znacznie różnią się w zależności od sektora.

Koszty zewnętrzne związane z weryfikacją systemu można oszacować na podstawie wytycznych wydanych przez Międzynarodowe Forum Akredytacji [\[44. IAF 2010\]](#).

Siła napędowa wdrażania

Siła napędowa wdrażania systemu EMS obejmuje:

- lepszą efektywność środowiskową;
- lepszy wgląd w aspekty środowiskowe firmy, które mogą być wykorzystane do spełnienia wymagań środowiskowych klientów, organów regulacyjnych, banków, zakładów ubezpieczeń lub innych zainteresowanych stron (np. osób mieszkających lub pracujących w pobliżu zakładu);
- ulepszone zasady podejmowania decyzji;
- zwiększoną motywację personelu (np. menedżerowie mogą mieć pewność, że wpływ na środowisko naturalne jest kontrolowany, a pracownicy mogą odczuwać, że pracują w firmie proekologicznej);
- dodatkowe możliwości redukcji kosztów operacyjnych oraz poprawy jakości produktu; poprawę wizerunku firmy;
- zmniejszenie kosztów ubezpieczenia oraz nieprzestrzegania przepisów, a także zmniejszenie odpowiedzialności cywilnej.

Przykładowe zakłady

EMS jest stosowany w wielu zakładach UE.

Literatura źródłowa

[\[85. COM 2014\]](#), [\[86. EC 2009\]](#), [\[87. COM 2010\]](#), [\[88. CEN 2015\]](#), [\[89. COM 2015\]](#)

4.1.2 Zapewnienie ciągłości pracy instalacji WI

Opis

Ustanowienie i wdrożenie procedur operacyjnych (np. organizacja łańcucha dostaw, ciągłość a nie seryjność operacji, konserwacja zapobiegawcza) celem ograniczenia, na ile to możliwe, liczby wyłączeń oraz uruchomień.

Szczegóły techniczne

Emisje w spalarniach są łatwiejsze do kontrolowania podczas rutynowej pracy niż podczas rozruchu i wyłączania. Zmniejszenie liczby wymaganych rozruchów i wyłączeń jest zatem strategią operacyjną, która może zmniejszyć ogólne emisje i konsumpcję. System zbierania/dostarczania odpadów oraz sezonowe wahania w wytwarzaniu odpadów mogą

powodować wyłączenia z eksploatacji ze względu na ich brak. Można tego uniknąć poprzez eksploatację instalacji przy częściowym obciążeniu. Taka eksploatacja zazwyczaj nie powoduje problemów dla nowoczesnych zakładów spalania. [\[74. TWG 2004\]](#)

Czynniki sprzyjające ciągłości pracy to m.in.:

- projektowana wydajność procesu jest adekwatna do ilości odbieranych odpadów;
- magazynowanie (w miarę możliwości) zakładające okresowe fluktuacje ilości dostarczanych odpadów;
- organizacja łańcucha dostaw celem uniknięcia "martwych" okresów dostaw odpadów;
- uzupełnianie wsadu odpadów dodatkowymi paliwami;
- czyszczenie na bieżąco.

W związku z tym ważny jest taki dobór wydajności oraz konstrukcja samej instalacji aby maksymalnie zwiększyć ciągłość jej pracy.

Dobra konserwacja jest ważna dla uniknięcia/ograniczenia przestojów. Dla instalacji można zaprojektować program konserwacji na bieżąco tak, aby maksymalnie zwiększyć jego dostępność.

Korzyści dla środowiska

Częściowo unika się emisji związanych z operacjami wyłączenia oraz rozruchu. Planowanie i osiąganie mniejszej liczby wyłączeń prawdopodobnie doprowadzi do zmniejszenia rocznego poziomu masy emitowanej z danego zakładu.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Przewidywanie i kontrolowanie przepływu odpadów do i w ramach zakładu jest ważne dla zapewnienia stabilnej jego pracy.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Efektywność energetyczna, ze względu na niską sprawność turbin, może być mniejsza przy pracy ciągłej na mniejszym obciążeniu.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest ogólnie stosowana.

Ekonomika

Unikanie przestojów pomaga obniżyć koszty w instalacjach spalania, gdyż:

- zapewniając ciągłość pracy zwiększa wykorzystanie instalacji;
- następuje zmniejszenie liczby wymaganych przeglądów pieca gdyż pracuje on pod mniejszym obciążeniem termicznym;
- unika się kosztów kapitałowych niepotrzebnie dużego procesu.

W przypadku gdy wydajność instalacji jest większa niż ilość otrzymanych odpadów, oraz podejmie się decyzję o uzupełnieniu przepustowości o inne odpady lub paliwa, mogą wystąpić dodatkowe koszty związane z ich zakupem.

Siła napędowa wdrażania

Główne siły napędowe wdrażania związane są z pracą instalacji. Ciągła praca instalacji poprawia jej efektywność energetyczną.

Przykładowe zakłady

Generalnie, wszystkie spalarnie odpadów są eksploatowane w sposób ciągły.

Literatura źródłowa

[\[28. FEAD i inni 2002\]](#) [\[64. TWG 2003\]](#)

4.2 Techniki operacyjne mające na celu poprawę efektów działalności środowiskowej

4.2.1 Kontrola jakości przychodzących odpadów

Niniejsza sekcja obejmuje techniki pomagające operatorowi scharakteryzować wsad odpadów, który ma zostać poddany przetworzeniu. Ogólne techniki stosowane celem zagwarantowania, że dostarczone odpady będą zgodne z charakterystyką obiektu, zostały przedstawione w dokumencie BREF WT i można się do nich odnosić jako do wytycznych ogólnych.

4.2.1.1 Ustanowienie ograniczeń dotyczących wsadu odpadów oraz identyfikacja kluczowego ryzyka

Opis

Określenie rodzajów odpadów, które mogą zostać przyjęte, biorąc pod uwagę charakterystykę spalarni, pod względem wartości opałowej, wilgotności, zawartości popiołu, stanu fizycznego, wielkości itp.

Szczegóły techniczne

Każda spalarnia ma ograniczenia co do właściwości odpadów, które mogą być przez nią przyjęte. Dzięki znajomości tych ograniczeń możliwe jest uzyskanie specyfikacji dostarczanych odpadów, która będzie odpowiadać pożądanym oraz maksymalnym wymaganiom systemu. W następstwie możliwe będzie określenie kluczowych zagrożeń oraz procedur kontrolnych wymaganych do zapobiegania lub ograniczania działalności poza zakładanymi ograniczeniami.

Czynniki, które wyznaczają takie granice to między innymi:

- projekt systemu doprowadzania oraz fizycznej przydatności przyjmowanych odpadów;
- natężenie przepływu odpadów oraz wydajność cieplna pieca;
- wymagane wyniki w zakresie ochrony środowiska (tj. wymagana redukcja zanieczyszczeń wyrażona w procentach);
- możliwości zastosowanej technologii oczyszczania spalin w zakresie usuwania poszczególnych zanieczyszczeń (np. limit natężenia przepływu spalin, ich obciążenie zanieczyszczeniami).

Przykładami zidentyfikowanego kluczowego ryzyka mogą być:

- wysoki wsad rtęci, co prowadzi do wysokiego jej stężenia w nieprzetworzonych spalinach;
- wysoki wsad jodu lub bromu, co prowadzi do wysokiego ich stężenia w nieprzetworzonych spalinach;
- duża zmienność wilgotności lub CV, prowadząca do nieprawidłowości podczas spalania;
- wysokie obciążenie chlorem przekraczające możliwości systemu FGC;
- wysokie obciążenie siarką przekraczające możliwości systemu FGC;
- szybkie zmiany w składzie chemicznym spalin wpływające na funkcjonalność FGC;
- fizycznie duże przedmioty blokujące układy podawania, co prowadzi do zakłóceń w pracy;
- podczas podawania niektórych rodzajów odpadów, np. wsadu o wysokim stężeniu Zn (zanieczyszczonych odpadów drzewnych), stwierdzono, że podczas pierwszego ich przejścia przez kocioł dochodzi do nadmiernego zażużłania (zanieczyszczenia komponentów kotła).

Po ustaleniu teoretycznego i faktycznego ryzyka (tj. ryzyka występującego w działających zakładach), operator może opracować ukierunkowaną strategię kontroli celem jego ograniczenia, np. jeśli doświadczenie pokazuje, że dopuszczalne wielkości emisji HCl mogą zostać przekroczone, wówczas operator może podjąć próbę kontroli źródeł chloru oraz jego koncentracji szczytowych w odpadach doprowadzanych do etapu spalania i/lub udoskonalić projekt oraz praktykę operacyjną FGC w stosunku do kwaśnego gazu.

Korzyści dla środowiska

Zastosowanie tej techniki pomaga zapewnić płynną i stabilną pracę spalarni oraz zmniejsza zapotrzebowanie na awaryjne interwencje w proces.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Określenie ograniczeń dotyczących wsadu do procesu stosowane jest przez wszystkie spalarnie odpadów, w szczególności te, które przyjmują odpady z różnych źródeł, o szerokiej lub trudnej do kontroli specyfikacji (np. komercyjne zakłady przetwarzania odpadów niebezpiecznych).

Istniejące zakłady będą korzystały z doświadczenia i wiedzy pozyskanej dzięki wcześniejszym sytuacjom, które miały miejsce w trakcie eksploatacji instalacji. Nowe zakłady mogą uczyć się na podstawie doświadczeń eksploatacyjnych podobnych, już istniejących zakładów, a następnie dostosowywać i rozwijać własne procedury zgodnie z własnym doświadczeniem nabyty w trakcie eksploatacji instalacji.

Instalacje z rozbudowanymi obiektami do magazynowania i wstępnego przetwarzania są w stanie przyjąć odpady, które początkowo wykraczają poza normalne specyfikacje pieca, a następnie przetwarzać je tak, aby spełniały te wymagania.

Chociaż komercyjne HWI są często budowane z myślą o przetwarzaniu wielu różnych rodzajów odpadów niebezpiecznych, to nie jest to problemem wielu innych instalacji, w tym również MSWI. Jednakże niektóre rodzaje odpadów, które mają podobny charakter co MSW mogą być przetwarzane w niektórych MSWI, np. odpady handlowe, niektóre odpady medyczne czy osady ściekowe. Instalacja może wymagać pewnej adaptacji, aby być odpowiednio przygotowana do przetwarzania odpadów, które różnią się charakterem od głównego, przyjmowanego przez nią strumienia. Obejmuje to na ogół zapewnienie odpowiednich systemów odbioru, magazynowania oraz postępowania z odpadami. Jeżeli odpady różnią się znacznie od siebie, konieczne może być również przeprowadzenie szerszej zakrojonych działań adaptacyjnych, np. w odniesieniu do typu pieca, IOS, systemu oczyszczania ścieków, szczególnych środków bezpieczeństwa oraz wyposażenia laboratoryjnego/testowego. [\[64. TWG 2003\]](#)

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Wdrożenie ograniczeń dotyczących wsadu do procesu prowadzi do usunięcia odpadów, które nie są zgodne z ustalonymi specyfikacjami. Odpady te są następnie kierowane np. do innych instalacji przetwarzania odpadów. Rodzaj i skala wzajemnych powiązań pomiędzy różnymi komponentami oddziaływania na procesy i środowisko zależą zatem od rodzaju i wydajności alternatywnego wariantu przetwarzania.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest ogólnie stosowana.

Ekonomika

Wykluczenie niektórych źródeł/typów odpadów może zmniejszyć dochody. Ponadto, mogą być wymagane szczególne inwestycje celem wprowadzenia technik identyfikacji i zarządzania takimi odpadami, np. analiza, wstępne przetwarzanie.

Sila napędowa wdrażania

Dobra znajomość ograniczeń procesu jest wymagana do oceny i wyboru procedur kontroli dostarczanych odpadów, a tym samym ogólnej wydajności przetwarzania.

Przykładowe zakłady

Jest to szeroko stosowana praktyka, w szczególności w spalarniach odpadów niebezpiecznych. Technika ta jest również stosowana w wielu europejskich MSWI do identyfikacji i ewentualnego wykluczenia niepożądanych rodzajów odpadów.

Literatura źródłowa

[\[55. EIPPCB 2002\]](#) [\[64. TWG 2003\]](#)

4.2.1.2 Komunikacja z dostawcami celem poprawy kontroli jakości odpadów dostarczanych

Opis

Zapewnienie odpowiedniej jakości przyjmowanych odpadów

Szczegóły techniczne

Odpady są najczęściej otrzymywane z wielu różnych źródeł, nad którymi operator może mieć jedynie ograniczoną kontrolę. W przypadku gdy operator zidentyfikował określone odpady, substancje lub właściwości odpadów, lub poszczególne źródła, które mogą powodować lub powodują problemy eksploatacyjne, przekazanie o tym informacji osobom wytwarzającym i dostarczającym odpady może pomóc w zagwarantowaniu odpowiedniej jakości odpadów w całym łańcuchu zarządzania dostawami. Przykładem może być selektywna zbiórka odpadów zawierających rtęć, takich jak baterie lub amalgamat dentystyczny (aby zmniejszyć zawartość rtęci w strumieniu stałych odpadów komunalnych).

Rodzaj wykorzystywanych technik oraz stopień ich zastosowania zależy od stopnia ryzyka oraz częstotliwości i charakteru napotykanymi trudnościami operacyjnymi. Ogólnie rzecz biorąc, im większa jest zmienność rodzajów odpadów, ich składu oraz źródła pochodzenia, tym większy wysiłek wymagany jest przy ich kontroli w czasie przyjęcia.

Korzyści dla środowiska

Unikanie przyjmowania nieodpowiednich odpadów (lub kontrola dostarczanych odpadów) trudnych do przetworzenia lub takich, które wymagają szczególnej uwagi, może zmniejszyć problemy operacyjne a tym samym pozwolić na wyeliminowanie dodatkowych uwolnień.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Technika ta jest najbardziej przydatna w zakładach otrzymujących odpady z różnych źródeł oraz o szerokiej lub trudnej do kontroli specyfikacji (np. w komercyjnych zakładach przetwarzania odpadów niebezpiecznych).

Instalacje, które są przeznaczone do przyjmowania wąskiego zakresu dobrze zdefiniowanych odpadów, mogą wymagać szczególnej uwagi celem zapewnienia kontroli kluczowych substancji w nich zawartych.

Istniejące zakłady mają tę zaletę, że uczą się na podstawie już napotkanych rzeczywistych sytuacji. Na przykład:

- W SELCHP (Południowo Wschodni Londyn, Wielka Brytania) MSWI zidentyfikowano źródła gipsu (siarczanu wapnia), które zakłócały operację.
- W Caen (Francja) przeprowadzono udaną kampanię informacyjną mającą na celu zmniejszenie zawartości rtęci w MSW.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Niektóre odpady mogą wymagać przekierowania ze spalarni do innych instalacji przetwarzania odpadów.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest ogólnie stosowana.

Ekonomika

Oszczędności mogą wynikać z unikania problemów operacyjnych.

Siła napędowa wdrażania

Procedury kontroli odpadów na wejściu do zakładu mogą zmniejszyć ryzyko zakłóceń operacyjnych i związanych z nimi uwolnień.

Przykładowe zakłady

Jest to szeroko stosowana praktyka, szczególnie w spalarniach odpadów niebezpiecznych.

Literatura źródłowa

[64. TWG 2003]

4.2.1.3 Kontrola jakości wsadu odpadów na terenie spalarni

Opis

Kontrola jakości wsadu odpadów na terenie spalarni.

Szczegóły techniczne

Aby pomóc w kontroli jakości podawanych odpadów, a tym samym ustabilizować proces spalania w ramach parametrów projektowych, można opracować zestaw wymagań jakościowych dla odpadów podawanych do komory spalania. Wymagania jakościowe dla wsadu odpadów są pochodną zrozumienia ograniczeń operacyjnych procesu spalania, np.:

- wydajność spalania;
- wymagania fizyczne wsadu (rozmiar cząsteczek);
- zastosowana kontrola procesu spalania (np. wykorzystanie LHV, produkcja pary, zawartość O₂);
- wydajność systemu oczyszczania spalin oraz uzyskane maksymalne koncentracje/prędkości wejściowe nieprzetworzonego gazu;
- dopuszczalne wielkości emisji, które muszą być przestrzegane;
- wymagania dotyczące jakości popiołu paleniskowego.

Odpady mogą być magazynowane, mieszane lub łączone (jest to ograniczone przez niektóre przepisy krajowe), aby zapewnić, że odpady końcowe, które trafiają do komory spalania będą spełniały ustalone wymagania jakościowe.

Kluczowe substancje/właściwości, które zazwyczaj będą wymagały wprowadzenia szczególnych procedur celem ich zagospodarowania, odnoszą się do zmian w koncentracji i rozmieszczeniu w odpadach następujących substancji:

- rtęć, metale alkaliczne oraz metale ciężkie;
- jod oraz brom;
- chlor oraz siarka;
- zmiany wartości opałowej / wilgotności;
- krytyczne zanieczyszczenia organiczne, np. PCB;
- konsystencja fizyczna odpadów, np. osady ściekowe;
- możliwości mieszania różnych rodzajów odpadów.

Wyniki CEN/TC 292 i CEN/TC 343 mogą być istotne dla pobierania próbek tych substancji/właściwości odpadów (na przykład "EN 14899:2005: Charakterystyka odpadów - Pobieranie próbek materiałów odpadowych - Ramy dla przygotowania i stosowania planu pobierania próbek", lub "EN 15002:2015: Charakterystyka odpadów - Przygotowanie naważek z próbki laboratoryjnej").

Korzyści dla środowiska

Redukcja emisji w spalinach poprzez:

- płynne działanie procesu;
- dokładne spalanie;
- zwiększony odzysk energii;
- bardziej równomierna koncentracja nieprzetworzonych gazów, a tym samym lepsza praca instalacji oczyszczania spalin;
- zmniejszenie zabrudzeń w kotle poprzez redukcję wydzielania się pyłu.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Wszystkie spalarnie odpadów mają własny zestaw kluczowych ograniczeń wejściowych procesu, a następnie przyjmują odpowiednie restrykcje dotyczące odbioru i ewentualnego wstępnego przetwarzania, aby zapewnić, że ograniczenia te nie zostaną przekroczone.

Ma to szczególne znaczenie w przypadku bardzo zmiennego składu odpadów (np. w komercyjnych HWI) oraz w przypadku zakładów o mniejszej wydajności, ponieważ mają one mniejszą zdolność do "buforowania" niż zakłady większe.

Technika ta znajduje swoje główne zastosowanie i korzyści w spalarniach odpadów niebezpiecznych, chociaż w niektórych krajach (np. w Austrii) jest ona stosowana w każdej spalarni odpadów. [\[64. TWG 2003\]](#)

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Przygotowywanie i magazynowanie odpadów może prowadzić do powstawania emisji rozproszonych (nieorganizowanych), które same w sobie wymagają kontroli.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest ogólnie stosowana. Pobieranie próbek nie dotyczy odpadów medycznych ze względu na ryzyko zakażenia.

Ekonomika

Nie dostarczono danych.

Siła napędowa wdrażania

Siła napędowa ma pomóc w zapewnieniu, że materiał wsadowy jest dostosowany do stosowanych procesów, a tym samym umożliwić kontrolę emisji i zużycia w ramach wymaganych parametrów.

Przykładowe zakłady

Technika ta jest stosowana w UE-28 zwłaszcza w spalarniach odpadów niebezpiecznych.

Literatura źródłowa

[\[25. Kommunikemi 2002\]](#), [\[64. TWG 2003\]](#)

4.2.1.4 Kontrola, pobieranie próbek oraz testowanie przywożonych odpadów

Opis

Kontrola, pobieranie próbek oraz testowanie przywożonych odpadów.

Szczegóły techniczne

Technika ta polega na zastosowaniu odpowiedniego systemu oceny dostarczanych odpadów. Przeprowadzane oceny są wybierane pod kątem zapewnienia:

- czy otrzymane odpady znajdują się w zakresie odpowiednim dla danej instalacji;
- czy odpady wymagają specjalnego postępowania z nimi/magazynowania/przetwarzania/usunięcia poza zakład;
- czy odpady są zgodne z opisem dostawcy (pod względem umownym, operacyjnym lub prawnym).

Przyjęte techniki różnią się począwszy od prostej oceny wizualnej aż do pełnej analizy chemicznej włącznie. Zakres przyjętych procedur będzie zależał od ryzyka, jakie stwarzają napływające odpady, a to z kolei zależy od:

- charakteru i składu odpadów;
- heterogeniczności odpadów;
- znanych trudności związanych z odpadami (danego rodzaju lub pochodzącymi z określonego źródła);
- szczególnej wrażliwości danej instalacji (np. niektóre substancje, o których wiadomo, że powodują trudności podczas ich obsługi);
- wiedzy czy odpady są znanego czy też nieznanego pochodzenia;
- istnienia lub nie wymagań dotyczących kontroli jakości odpadów;
- wiedzy czy postępowano z odpadami już wcześniej i jakie są z nimi doświadczenia;
- Głównie stosowane techniki wymienione zostały w tabeli 4.2.

Tabela 4.2 Techniki stosowane do kontroli oraz pobierania próbek różnych rodzajów odpadów

Rodzaj odpadów	Głównie stosowane techniki	Komentarz
Zmieszane odpady komunalne oraz odpady inne niż niebezpieczne	<ul style="list-style-type: none"> Inspekcja wizualna w bunkrze Okresowe pobieranie próbek z dostarczanych odpadów oraz analiza kluczowych właściwości/substancji (np. wartość opałowa, zawartość chlorowców i metali/metaloidów) W przypadku stałych odpadów komunalnych, wrywkowa kontrola dostarczanych odpadów drogą oddzielnego rozładunku Ważenie na przyjazd odpadów Sprawdzanie radioaktywności odpadów 	Sprawdzanie odpadów z przemysłu i handlu może wiązać się z podwyższonym ryzykiem i wymagać większej uwagi.
Wstępnie przetworzone odpady komunalne oraz RDF	<ul style="list-style-type: none"> Inspekcja wizualna Okresowe pobieranie próbek z dostarczanych odpadów oraz analiza kluczowych właściwości/substancji (np. wartość opałowa, zawartość halogenów, zawartość POP i metali/metaloidów) 	Brak
Odpady niebezpieczne inne niż odpady medyczne	<ul style="list-style-type: none"> Inspekcja wizualna, jeśli możliwa Kontrola i porównanie danych zawartych w deklaracji z dostarczonymi odpadami Pobieranie próbek/analiza wszystkich przychodzących cystern i przyczep Kontrola odpadów opakowanych w oparciu o ocenę ryzyka (np. w beczkach, dużych pojemnikach do przewozu luzem (IBC/DPPL) lub w mniejszych opakowaniach) Rozpakowanie i sprawdzenie zawartości Ocena parametrów spalania Testy mieszania odpadów płynnych przed magazynowaniem Kontrola temperatury zapłonu dla odpadów w bunkrze Badanie przesiewowe wsadu odpadów pod kątem składu pierwiastkowego 	Szeroko zakrojone i skuteczne procedury są szczególnie ważne dla tego sektora. Zakłady otrzymujące monostrumienie mogą przyjąć procedury uproszczone.
Osady ściekowe	<ul style="list-style-type: none"> Ważenie dostarczanych odpadów (lub pomiar przepływu, jeśli osady ściekowe dostarczane są rurociągiem). Inspekcja wizualna, jeśli możliwa Okresowe pobieranie próbek z dostarczanych odpadów oraz analiza kluczowych właściwości/substancji (np. wartość opałowa, zawartość wody oraz rtęci) Kontrola materiałów twardych, np. kamieni/metali/drewna/tworzyw sztucznych, przed pompowaniem, odwadnianiem i suszeniem. Kontrola procesu pozwalająca na dostosowanie się do zmienności osadu 	Przydatność technik zależy od rodzaju osadu ściekowego, np. nieprzetworzony osad, szlam przefermentowany, osad utleniony.
Odpady medyczne	<ul style="list-style-type: none"> Kontrola i porównanie danych zawartych w deklaracji z dostarczonymi odpadami Sprawdzanie radioaktywności odpadów Ważenie dostarczanych odpadów Wizualna inspekcja opakowań (brak śladów otwierania itp.) 	Ryzyko zakażenia sprawia, że pobieranie próbek jest niewskazane. Kontrolę zleca się producentowi odpadów.

Źródło: [1. UBA 2001], [2. InfoMil 2002], [41. EURITS 2002], [64. TWG 2003], [7. TWG 2017]

Korzyści dla środowiska

Zaawansowana identyfikacja nieodpowiednich odpadów, substancji lub właściwości może zmniejszyć trudności operacyjne, a tym samym uniknąć dodatkowych uwolnień.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Przykłady testów przeprowadzonych na przyjmowanych odpadach, w zależności od rodzaju przetwarzania, przedstawiono w tabeli 4.2.

Najbardziej rozbudowane systemy pobierania próbek i analizy stosuje się tam, gdzie skład i źródła odpadów są najbardziej zmienne (np. komercyjne zakłady przetwarzania odpadów niebezpiecznych) lub gdzie występują znane już trudności z ich przetwarzaniem, np. znane są problemy związane z konkretnym rodzajem lub źródłem odpadów.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Istotnych nie stwierdzono.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest ogólnie stosowana. Pobieranie próbek nie dotyczy odpadów medycznych ze względu na ryzyko zakażenia.

Ekonomia

Koszty stosowania tych technik szybko rosną, wraz z zakresem i złożonością przyjętych procedur.

Koszty związane z pobieraniem próbek, analizą, magazynowaniem i dodatkowym czasem przetwarzania mogą stanowić znaczną część kosztów operacyjnych w zakładach przetwarzania odpadów niebezpiecznych, w szczególności tych, w których stosuje się najbardziej rozbudowane systemy pobierania i analizy próbek.

Siła napędowa wdrażania

Umożliwienie lepszej kontroli procesu oraz bezpieczeństwo instalacji.

Przykładowe zakłady

Szeroko stosowane w całej UE-28.

Literatura źródłowa

[\[40. EURITS, 2003\]](#) oraz dyskusje podczas wizyt. [\[64. TWG 2003\]](#)

4.2.1.5 Detektory substancji radioaktywnych**Opis**

Użycie detektorów do wykrywania materiałów radioaktywnych.

Szczegóły techniczne

Włączenie radioaktywnych źródeł lub substancji do odpadów prowadzić może do problemów związanych z eksploatacją i bezpieczeństwem. Niektóre odpady mogą zawierać większe ilości substancji, zwłaszcza tych pochodzących z działań, w których wykorzystuje się materiały promieniotwórcze. Niektóre odpady medyczne i przemysłowe mogą zatem rutynowo lub sporadycznie zawierać określone źródła promieniotwórcze lub skażone substancje, chociaż włączenie takich odpadów do odpadów komunalnych oraz trudności w kontrolowaniu zbiorów odpadów zmieszanych mogą prowadzić do promieniotwórczości również innych odpadów.

Materiały radioaktywne mogą być często wykrywane za pomocą specjalnych detektorów umieszczonych np. przy wejściu do zakładu. Przeprowadzane są również badania przychodzących odpadów o zwiększonym ryzyku skażenia. Testy takie przeprowadza się w szczególności w przypadku akceptowania ładunków na podstawie ich maksymalnego dopuszczalnego poziomu skażenia. Takie maksymalne poziomy pochodzą ze znajomości losów izotopów poddanych przetworzeniu oraz konkretnego procesu, w którym są one przyjmowane, a także z uwzględnienia limitów ustalonych dla poziomów zanieczyszczeń dopuszczalnych w uwolnieniach do gleby, powietrza i wody.

Plastikowe detektory scyntylacyjne są jednym z wykorzystywanych typów detektorów. Mierzą one fotony z nuklidów promieniotwórczych (radionuklidów) emitujących promieniowanie gamma i w mniejszym stopniu z emiterów promieniowania beta. Nuklidy promieniotwórcze są regularnie wykrywane w odpadach medycznych, odpadach laboratoryjnych i technicznie ulepszonych naturalnie występujących materiałach radioaktywnych. Istotne są również kontrole prowadzone celem zapobiegania mieszanemu odpadów radioaktywnych z innymi odpadami (czasami aby uniknąć wysokich kosztów przetwarzania związanych z odpadami radioaktywnymi).

Korzyści dla środowiska

Korzyści obejmują zapobieganie skażeniu zakładu oraz uwalnianiu substancji radioaktywnych. Zanieczyszczenie instalacji może skutkować długimi i kosztownymi przestojami celem odkażenia.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Niektóre zakłady informują o dobrych doświadczeniach ze stosowaniem kontrolnych bramek dla materiałów promieniotwórczych, po tym jak uznały, że otrzymywane przez nie MSW mogą sporadycznie zawierać materiały radioaktywne. [\[64. TWG 2003\]](#)

Technika ta jest stosowana w zakładach, w których niejednorodne odpady są odbierane od różnych dostawców. Stosuje się ją w mniejszym stopniu, gdy źródła i zmienność odpadów są dobrze znane i kontrolowane lub gdy ocenia się, że ryzyko otrzymania materiałów promieniotwórczych jest niskie.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Głównym problemem jest sposób postępowania z odpadami zidentyfikowanymi jako promieniotwórcze, ponieważ nie można zezwolić na ich transport i przetwarzanie. Korzystne jest opracowanie z wyprzedzeniem planów i procedur postępowania z wszelkimi zidentyfikowanymi tego rodzaju odpadami.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest ogólnie stosowana.

Ekonomika

W 2006 r. koszt inwestycji w zakresie instalacji czujek wynosił około 25 000-50 000 EUR. [\[122. COM 2006\]](#).

Siła napędowa wdrażania

Obniżenie wartości dopuszczalnego progu skażenia promieniotwórczego zachęca do stosowania tej techniki. Progi te mogą się różnić w poszczególnych państwach członkowskich w zależności od wymogów prawnych. [\[64. TWG 2003\]](#)

W niektórych państwach członkowskich, np. we Francji, rozporządzenie w sprawie MSWI egzekwuje stosowanie detektorów materiałów promieniotwórczych (z kilkoma wyjątkami).

Przykładowe zakłady

Zakłady przetwarzania odpadów niebezpiecznych oraz niektóre instalacje do przetwarzania odpadów komunalnych.

Literatura źródłowa

[\[40. EURITS, 2003\]](#), [\[64. TWG 2003\]](#)

4.2.2 Magazynowanie odpadów

Podstawowe zasady magazynowania określone w dokumencie BREF EFS dotyczą wszystkich odpadów i można się do nich odwoływać celem uzyskania ogólnych wytycznych dotyczących stosowanych technik. Ogólne techniki wykorzystywane w magazynowaniu odpadów zostały również opisane w dokumencie BREF WT. W niniejszej sekcji skoncentrowano się na konkretnych technikach magazynowania odpadów, które są istotne dla spalarni odpadów, a nie na ich bardziej ogólnych aspektach.

4.2.2.1 Powierzchnie nieprzepuszczalne (izolujące), kontrolowane odprowadzanie wody oraz odporność na warunki atmosferyczne

Opis

Magazynowanie odpadów na powierzchniach nieprzepuszczalnych wyposażonych w system selektywnego odwadniania.

Szczegóły techniczne

Magazynowanie odpadów w miejscach, które mają nieprzepuszczalne i odporne na działanie odpadów powierzchnie oraz kontrolowany drenaż zapobiega uwalnianiu się substancji, albo bezpośrednio z odpadów, albo poprzez ich wymywanie. Integralność nieprzepuszczalnej powierzchni jest weryfikowana okresowo.

Stosowane techniki różnią się w zależności od rodzaju odpadów, ich składu oraz wrażliwości lub ryzyka związanego z uwalnianiem się z nich substancji. Generalnie, stosowane są następujące techniki magazynowania.

Tabela 4.3 Kilka przykładów stosowanych technik magazynowania różnych rodzajów odpadów

Rodzaj odpadów	Technika magazynowania
Wszystkie odpady	<ul style="list-style-type: none"> Gromadzenie substancji wydzielających odór w budynkach zamkniętych z systemem kontrolowanego przepływu powietrza; wydmuchiwane powietrze można użyć jako powietrze do spalania (zob. sekcja 4.2.2.3) Wyznaczone do załadunku/rozładunku obszary z kontrolowanym drenażem Wyraźnie zaznaczone (np. oznaczone kolorami) obszary do odprowadzania wody z potencjalnych obszarów zanieczyszczeń (magazynowanie/załadunek/transport) Ograniczenie czasu składowania w zależności od rodzaju odpadów i stwarzanego przez nie zagrożenia Odpowiednia pojemność magazynowa Belowanie lub izolacja niektórych odpadów na potrzeby tymczasowego składowania, w zależności od odpadów i specyficznych dla danej lokalizacji czynników ryzyka Środki ochrony przeciwpożarowej, np. ognioodporna ściana pomiędzy bunkrem a halą pieca
Stale odpady komunalne oraz odpady inne niż niebezpieczne	<ul style="list-style-type: none"> Nieprzepuszczalna podłoga w bunkrach lub miejscach składowania Budynki murowane i zadaszone Niektóre produkty masowe o niskim potencjale zanieczyszczeń mogą być składowane bez specjalnych środków zabezpieczających.
Stale wstępnie przetworzone MSW oraz RDF	<ul style="list-style-type: none"> Zamknięte zbiorniki Nieprzepuszczalna podłoga w bunkrach lub miejscach składowania Budynki murowane i zadaszone Ładunki opakowane w folię lub w kontenerach mogą nadawać się do zewnętrznego składowania bez konieczności podejmowania specjalnych środków, w zależności od rodzaju odpadów
Odpady płynne oraz osady	<ul style="list-style-type: none"> Odporne na działanie odpadów i obwałowane zbiorniki Kołnierze i zawory w obszarach obwałowania Instalacja doprowadzająca substancje lotne ze zbiorników do spalarni Urządzenia zabezpieczające przed wybuchem w instalacjach doprowadzających Specjalne zbiorniki lub bunkry do składowania osadów ściekowych
Odpady płynne oraz osady w beczkach	<ul style="list-style-type: none"> Składowanie pod zadaszaniem Obwałowane i odporne na działanie odpadów powierzchnie
Odpady niebezpieczne	<ul style="list-style-type: none"> Składowanie selektywne (segregacja) zgodnie z oceną ryzyka Zwrócenie szczególnej uwagi na długość okresu składowania Urządzenia do automatycznego załadunku oraz postępowania z odpadami Urządzenia do czyszczenia powierzchni oraz pojemników
Odpady medyczne i biologicznie niebezpieczne	<ul style="list-style-type: none"> Składowanie selektywne (segregacja) Składowanie odpadów biologicznie niebezpiecznych w chłodniach lub schładzanych magazynach Zwrócenie szczególnej uwagi na skrócenie okresu składowania Urządzenia do automatycznego załadunku oraz postępowania z odpadami Spalanie pojemników jednorazowego użytku Urządzenia do dezynfekcji pojemników wielokrotnego użytku Schładzanie magazynu jeśli okres składowania przekroczy zakładany czas np. 48 godzin

Źródło: [64. TWG 2003]

Korzyści dla środowiska

- Zmniejszenie ryzyka emisji rozproszonych (ulotnych) drogą bezpiecznej izolacji.
- Zapobieganie przenikaniu wody deszczowej do magazynowanych odpadów (a tym samym zmniejszanie LHV i trudności związanych ze spalaniem).
- Zapobieganie rozpraszaniu przez wiatr.
- Redukcja odcieków (a tym samym wymagań dotyczących zarządzania nimi).
- Redukcja gromadzenia się zanieczyszczeń.
- Redukcja narażenia zbiorników na zniszczenie (korozja, światło słoneczne).
- Redukcja temperaturowej rozszerzalności (kurczenia się) uszczelnionych pojemników.
- Redukcja uwalniania odorów.
- Zarządzanie nieplanowanymi uwolnieniami.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Ogólna zasada oceny rodzajów przyjmowanych odpadów oraz zapewnienie odpowiedniego (tzn. ograniczenie rozprzestrzeniania się zanieczyszczeń oraz ryzyk związanych z magazynowaniem i postępowaniem z odpadami) oraz bezpiecznego ich magazynowania jest stosowane przez wszystkie instalacje.

Stopień wdrożenia i przyjęte metody zależą od otrzymanych odpadów i zostały przedstawione w ustępie Szczegóły Techniczne. Generalnie, najczęściej uwagi wymagają odpady płynne oraz niebezpieczne.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Zwiększone zużycie energii.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest ogólnie stosowana.

Ekonomia

Nie dostarczono danych.

Siła napędowa wdrażania

- Zapobieganie i ograniczanie emisji rozproszonych.
- Optymalizacja procesu spalania.
- Wymagania dotyczące ochrony zdrowia i środowiska.

Przykładowe zakłady

Technika szeroko stosowana w Europie.

Literatura źródłowa

[\[64. TWG 2003\]](#)

4.2.2.2 Wystarczająca pojemność magazynowa

Opis

Techniki, które należy rozważyć, to połączenie środków mających na celu uniknięcie nagromadzenia się odpadów, jak np.:

- ustanowienie maksymalnej pojemności magazynowej gromadzonych odpadów, uwzględniającej charakterystykę odpadów np. pod względem zagrożenia pożarowego;
- regularne monitorowanie ilości magazynowanych odpadów w stosunku do maksymalnej pojemności magazynowej;
- ustanowienie maksymalnego czasu przebywania odpadów, które nie są mieszane podczas magazynowania.

Szczegóły techniczne

Czas składowania można zmniejszyć poprzez:

- zapobieganie nadmiernej ilości magazynowanych odpadów;

- kontrolowanie i zarządzanie dostawami (w miarę możliwości) drogą komunikacji z ich dostawcami itp.

Korzyści dla środowiska

- Zapobieganie pogarszaniu się stanu zbiorników (wietrzenie, starzenie, korozja).
- Zapobieganie gniciu odpadów organicznych (które w przeciwnym razie może prowadzić do uwalniania się odorów, trudności z przetwarzaniem i postępowania z nimi, ryzyka pożaru i wybuchu).
- Zmniejszenie ryzyka zniszczenia etykiet informacyjnych.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Zasadniczo MSW są magazynowane w budynkach zamkniętych przez okres od 4 do 10 dni, przy czym na okresy magazynowania duży wpływ mają zasady odbioru/dostawy. Ze względu na chęć zapewnienia ciągłości działania instalacji, pojemność magazynowa, a tym samym maksymalny czas magazynowania, będzie często uzależniony od maksymalnego czasu, w którym prawdopodobnie nie dojdzie do dostarczenia następnych odpadów do zakładu. Dotyczy to zwłaszcza okresów wzmózonych urlopów, kiedy odpady mogą nie być dostarczane nawet przez kilka dni. [\[64. TWG 2003\]](#)

Ograniczony czas dojrzewania odpadów komunalnych w bunkrze może mieć pozytywny wpływ na ich jednorodność. Podawanie świeżych odpadów bezpośrednio po ich dostarczeniu może powodować wahania w procesie. [\[74. TWG 2004\]](#)

W przypadku przyjmowania i wprowadzania do pieca odpadów różnego rodzaju i z różnych źródeł, celem dostosowania ich do określonego schematu podawania (np. instalacje do przetwarzania odpadów niebezpiecznych), korzystne może być wydłużenie czasu magazynowania poszczególnych substancji, w niektórych przypadkach nawet o kilka miesięcy. Daje to czas na powolne wprowadzanie do systemu odpadów trudnych do przetworzenia, gdy dostępna jest również wystarczająca ilość materiałów kompatybilnych. Takie praktyki są dopuszczalne, jeżeli określone substancje są składowane w taki sposób, że ryzyko pogorszenia ich jakości oraz stanu technicznego pojemnika/zbiornika jest cały czas pod kontrolą.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Brak danych.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest ogólnie stosowana.

Ekonomika

Nie dostarczono danych.

Siła napędowa wdrażania

Stabilność pracy zakładu.

Przykładowe zakłady

Technika szeroko stosowana w Europie.

Literatura źródłowa

[\[122. COM 2006\]](#)

4.2.2.3 Usuwanie powietrza z magazynów celem kontroli odorów, pyłów i emisji rozproszonych

Opis

Techniki do rozważenia to:

- usuwanie powietrza z magazynowania odpadów i jego wykorzystanie w procesie spalania jako powietrza pierwotnego i wtórnego;
- ograniczenie ilości magazynowanych odpadów, gdy spalarnia jest niedostępna;
- zastosowanie alternatywnej techniki przetwarzania emisji zorganizowanych z obszaru magazynowania, gdy spalarnia jest niedostępna.

Szczegóły techniczne

Powietrze doprowadzane do spalarni (pierwotne lub wtórne) może być pobierane z miejsc magazynowania odpadów (lub chemikaliów). Dzięki zabudowaniu obszarów magazynowania oraz zmniejszeniu wielkości wejść do nich, cały obszar magazynowania może być utrzymywany przy niewielkim podciśnieniu. Zmniejsza to ryzyko uwalniania odoru i gwarantuje, że substancje wydzielające odór będą niszczone w spalarni, a nie uwalniane.

Możliwe jest również wietrzenie magazynów nieprzetworzonych surowców oraz przesyłanie powietrza do komory spalania lub urządzeń do oczyszczania spalin, w zależności od rodzaju usuwanego powietrza.

Najważniejsze stosowane techniki przedstawiono w tabeli 4.4.

Tabela 4.4 Główne techniki ograniczania emisji rozproszonych oraz GHG do powietrza a także uwalniania odoru

Technika	Zastosowanie
Stałe odpady w zamkniętych budynkach, z których odprowadzane jest powietrze do spalania	<ul style="list-style-type: none"> • Odpady komunalne • Wielkogabarytowe stałe oraz półpłynne odpady niebezpieczne • RDF • Osady ściekowe • Odpady medyczne • Inne odpady wydzielające odór
Przewody wentylacyjne zbiorników doprowadzające powietrze do spalania	<ul style="list-style-type: none"> • Lotne oraz wydzielające odór odpady niebezpieczne np. odpady rozpuszczalników • Osady wydzielające odór np. osady ściekowe • Inne odpady lotne lub wydzielające odór

Źródło: [2. InfoMil 2002] str: 150, [1. UBA 2001] str: 36, [40. EURITS 2003], [7. TWG 2017]

Korzyści dla środowiska

Ograniczenie emisji rozproszonych (np. odoru, pyłów, CH₄).

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Typowe zapotrzebowanie na powietrze w procesach spalania odpadów wynosi 3 000-10 000 m³/tonę przetworzonych odpadów, głównie w zależności od LHV.

Jeśli wloty powietrza (np. drzwi) do miejsc magazynowania odpadów są mniejsze (pod względem ich łącznej powierzchni przekroju poprzecznego), prędkość wlotu powietrza przez te otwory będzie większa, a w konsekwencji ryzyko emisji rozproszonych poprzez takie wejścia mniejsze.

Aby uniknąć ryzyka wybuchu, należy zachować ostrożność przy odciąganiu powietrza z miejsc magazynowania odpadów niebezpiecznych (w szczególności materiałów łatwopalnych oraz lotnych).

W przypadku pożaru w bunkrze, kanały powietrzne muszą być automatycznie zamykane, aby zapobiec przeskoczeniu ognia z bunkra do budynku spalania.

Technika ta jest stosowana tam, gdzie istnieje ryzyko uwolnienia się odoru lub innych substancji z miejsc magazynowania.

Zakłady magazynujące materiały lotne mogą znacząco zmniejszyć za pomocą tej techniki emisję VOC.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

W przypadku gdy spalarnia nie działa, mogą być wymagane alternatywne sposoby obsługi i przetwarzania powietrza (np. w przypadku odoru, VOC lub innych substancji, w zależności od rodzaju odpadów). Nawet dla procesów wieloliniowych, w których zwykle w danym czasie działa co najmniej jedna linia przetwarzania, można zastosować alternatywne sposoby obsługi oraz przetwarzania powietrza, ponieważ możliwe jest, że wszystkie linie produkcyjne w spalarni odpadów muszą jednocześnie przestać działać (np. w przypadku wypadków, konserwacji jednej z linii i jednoczesnej awarii drugiej, zakończenia konserwacji, gdy odpady są już dostarczane).

[\[74. TWG 2004\]](#)

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

W przypadku zagrożenia wybuchem lepiej jest przesłać powietrze usuwane z miejsca magazynowania do oddzielnego systemu redukcji emisji, niż wykorzystywać je jako powietrze do spalania w spalarni.

Ekonomika

Dodatkowe koszty kanałów odprowadzających/doprowadzających w przypadku modernizacji.

Zapewnienie systemu rezerwowego na okresy, w których spalarnia nie jest dostępna, pociąga za sobą dodatkowe koszty.

Siła napędowa wdrażania

- Kontrola emisji rozproszonych, w tym odoru.
- Bliskość obiektów wrażliwych na odory.

Przykładowe zakłady

Technika ta jest szeroko stosowana w europejskich spalarniach odpadów. W Niemczech około 60 zakładów MSWI posiada wieloletnie doświadczenie w jej stosowaniu.

Literatura źródłowa

[\[2. InfoMil 2002\]](#) str: 150, [\[1. UBA 2001\]](#) str: 36, [\[40. EURITS 2003\]](#), [\[64. TWG 2003\]](#), [\[7. TWG 2017\]](#)

4.2.2.4 Segregacja według rodzaju odpadów dla ich bezpiecznego przetwarzania

Opis

Aby było łatwiej oraz bezpieczniej dla środowiska, odpady powinny być magazynowane oddzielnie, w zależności od ich właściwości chemicznych i fizycznych.

Szczegóły techniczne

Procedury przyjmowania i magazynowania odpadów zależą od ich właściwości chemicznych i fizycznych. Właściwa ocena odpadów jest istotnym elementem przy wyborze operacji magazynowania i przetwarzania.

Technika ta jest silnie związana z kontrolą, pobieraniem próbek oraz oceną dostarczanych odpadów przedstawioną w sekcji 4.2.1.4.

Stosowane techniki segregacji różnią się w zależności od rodzaju odpadów przyjmowanych przez zakład, zdolności zakładu do ich przetwarzania oraz dostępności konkretnych, alternatywnych metod przetwarzania wstępnego przed spaleniem. W niektórych przypadkach, zwłaszcza w przypadku niektórych mieszanin reagujących ze sobą odpadów niebezpiecznych, segregacja jest wymagana już w momencie ich pakowania u dostawcy tak, aby można je było bezpiecznie transportować, rozładować, magazynować i postępować z nimi. W takich przypadkach segregacja po stronie spalarni ogranicza się do utrzymania separacji tych materiałów tak, aby uniknąć tworzenia się niebezpiecznych mieszanek. [\[64. TWG 2003\]](#)

Tabela 4.5 Niektóre techniki segregacji stosowane do różnych rodzajów odpadów

Rodzaj odpadów	Techniki segregacji
Mieszane odpady komunalne	<ul style="list-style-type: none"> • Segregacja nie jest stosowana rutynowo, chyba że otrzymuje się kilka różnych strumieni odpadów • Przedmioty wielkogabarytowe wymagające wstępnego przetworzenia mogą podlegać segregacji • Obszary segregacji awaryjnej dla odpadów odrzuconych • W przypadku złóż fluidalnych może być konieczne usunięcie metali, aby ułatwić rozdrabnianie oraz zapobiec blokadzie złóż.
Wstępnie przetworzone odpady komunalne oraz RDF	<ul style="list-style-type: none"> • Segregacja nie jest stosowana rutynowo • Obszary segregacji awaryjnej dla odpadów odrzuconych
Odpady niebezpieczne	<ul style="list-style-type: none"> • Do oddzielania chemicznie niekompatybilnych materiałów wymagane są rozbudowane procedury. Przykłady obejmują oddzielanie: <ul style="list-style-type: none"> ○ wody od fosforków ○ wody od izocyjanianów ○ wody od metali alkalicznych ○ cyjanku od kwasów ○ materiałów łatwopalnych od utleniaczy • Utrzymanie separacji posegregowanych u dostawcy opakowań z odpadami
Osady ściekowe	<ul style="list-style-type: none"> • Odpady są na ogół dobrze wymieszane jeszcze przed dostarczeniem do zakładu • Niektóre strumienie odpadów przemysłowych mogą być dostarczane oddzielnie i wymagają segregacji przed mieszaniem.
Odpady medyczne	<ul style="list-style-type: none"> • Zawartość wilgoci i CV może się znacznie różnić w zależności od źródła odpadów • Segregacja różnych pojemników celem umożliwienia ich odpowiedniego magazynowania oraz kontrolowanego dozowania.

Źródło: [2. InfoMil 2002] str: 150, [1. UBA 2001] str: 36, [40. EURITS 2003], [64. TWG 2003]

Korzyści dla środowiska

Segregacja niekompatybilnych odpadów zmniejsza ryzyko emisji poprzez:

- zmniejszenie ryzyka wypadków (które mogą prowadzić do uwolnień istotnych dla środowiska i/lub zdrowia i bezpieczeństwa);
- zrównoważone podawanie substancji, co pozwala uniknąć przeciążenia systemu i zakłóceń w jego funkcjonowaniu, a tym samym zapobiega przerwom w pracy instalacji.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

We Francji ustawodawstwo wymaga magazynowania czystych i brudnych pojemników na odpady medyczne w oddzielnych pomieszczeniach.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Nie zidentyfikowano.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest ogólnie stosowana.

Ekonomika

Nie dostarczono danych.

Siła napędowa wdrażania

Technika ta jest wdrażana celem kontroli zagrożeń, które mogą powstać w wyniku mieszania się niekompatybilnych materiałów oraz celem ochrony instalacji poprzez dopilnowanie, aby odpady podawane do spalarni mieściły się w zakresie, dla którego instalacja jest przeznaczona.

Przykładowe zakłady

Nie dostarczono danych.

Literatura źródłowa

[\[64. TWG 2003\]](#)

4.2.2.5 Korzystanie z systemów wykrywania (detekcji) i gaszenia pożarów.**Opis**

Techniki do rozważenia to:

- użycie automatycznego systemu wykrywania (detekcji) i ostrzegania o pożarze;
- użycie ręcznego i/lub automatycznego systemu gaszenia i kontroli pożaru.

Szczegóły techniczne

Automatyczne systemy wykrywania i ostrzegania o pożarze są stosowane w miejscach magazynowania odpadów, jak również w filtrach workowych oraz filtrach ze stałym złożem z wypełnieniem koksowym, pomieszczeniach elektrycznych i kontrolnych oraz innych zidentyfikowanych obszarach ryzyka.

Ciągły automatyczny pomiar temperatury odbywa się na powierzchni składowanych w bunkrach odpadów. Wahania temperatury mogą być przyczyną uruchomienia alarmu akustycznego.

Dodatkowa kontrola wizualna może być również skutecznym środkiem wykrywania pożaru. [\[74. TWG 2004\]](#)

Automatyczne systemy gaszenia pożarów stosowane są w niektórych przypadkach, najczęściej przy magazynowaniu łatwopalnych odpadów ciekłych, chociaż również w innych obszarach ryzyka.

Systemy pianowe oraz gaszenia dwutlenkiem węgla stosowane są w miejscach magazynowania płynnych odpadów łatwopalnych. Dysze pianowe w spalarniach MSW są powszechnie stosowane w bunkrze do magazynowania odpadów. Stosowane są również systemy zraszania wodą z monitoringiem, armatki wodne z możliwością użycia wody lub piany oraz systemy proszkowe. Poduszki azotowe mogą być stosowane w filtrach ze stałym złożem z wypełnieniem koksowym, filtrach workowych, cysternach lub w instalacjach wstępnego przetwarzania i załadunku do pieców spalających odpady niebezpieczne. [\[74. TWG 2004\]](#)

Istnieją również inne urządzenia bezpieczeństwa, takie jak:

- dysze nad pojemnikami na odpady;
- ogniodoporne ściany do oddzielenia transformatorów oraz urządzeń retencyjnych pod transformatorami;
- wykrywacze gazu nad modułem dystrybucji gazu.

W przypadku stosowania amoniaku jego magazynowanie wymaga szczególnych środków bezpieczeństwa np. urządzenia do wykrywania NH_3 i zraszania wodą celem absorpcji uwolnień. [\[74. TWG 2004\]](#)

Stosowanie poduszek azotowych wymaga skutecznych procedur operacyjnych oraz zabezpieczeń celem uniknięcia narażenia operatora. Uduszenie może nastąpić zarówno na zewnątrz zamkniętych obszarów, jak i wewnątrz.

Korzyści dla środowiska

Zmniejszone ryzyko przypadkowego uwolnienia rozproszonego na skutek pożarów czy wybuchów.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Konieczne są zabezpieczenia przed niekontrolowanym wypływem zanieczyszczonej wody gaśniczej/chemikaliów.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Konsumpcja azotu na cele stworzenia poduszki.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest ogólnie stosowana.

Ekonomia

Koszty związane są z instalacją i konserwacją oraz, jeśli jest stosowany, azotu.

Zapobieganie szkodom spowodowanym przez ogień może przynieść znaczne oszczędności. Instalacja środków ochrony przeciwpożarowej pomaga obniżyć składki ubezpieczeniowe.

Sila napędowa wdrażania

Wymagania dotyczące bezpieczeństwa oraz przepisy bezpieczeństwa.

Przykładowe zakłady

Wiele zakładów w Europie.

Literatura źródłowa

[\[40. EURITS, 2003\]](#), [\[64. TWG 2003\]](#), [\[74. TWG 2004\]](#)

4.2.3 Przetwarzanie wstępne dostarczanych odpadów, transfer oraz załadunek

4.2.3.1 Przetwarzanie wstępne, mieszanie oraz łączenie odpadów

Opis

Techniki do rozważenia to:

- Mieszanie dostarczanych MSW;
- wstępne przetwarzanie odpadów heterogenicznych;
- system kontroli wyrównywania wsadu dla stałych odpadów niebezpiecznych.

Szczegóły techniczne

Techniki stosowane do wstępnego przetwarzania i mieszania odpadów są szeroko rozpowszechnione i mogą obejmować:

- mieszanie płynnych lub stałych odpadów niebezpiecznych celem spełnienia wymagań wejściowych zakładu;
- rozdrabnianie, kruszenie oraz cięcie odpadów opakowanych oraz wielkogabarytowych odpadów palnych;
- mieszanie odpadów w bunkrze za pomocą czerpaka lub innej maszyny;

Mieszanie odpadów może mieć na celu poprawę właściwości spalania wsadu. Mieszanie odpadów niebezpiecznych z innymi odpadami lub produktami, przed spaleniem, odbywa się celem ustabilizowania warunków podawania i przetwarzania odpadów, zwiększenia wypalenia, poprawy bezpiecznego usuwania pozostałości oraz podniesienia jakości odzyskanych frakcji [\[90. Eurits 2016\]](#). Mieszanie odpadów niebezpiecznych może wiązać się z ryzykiem. Mieszanie różnych rodzajów odpadów powinno odbywać się zgodnie z ustaloną procedurą. [\[74. TWG 2004\]](#)

W żadnym razie mieszanie odpadów przed spaleniem nie powinno prowadzić do rozcieńczenia składników niebezpiecznych, które początkowo występowały w stężeniu niezgodnym z ustalonymi limitami spalarni. [\[90. Eurits 2016\]](#)

Stałe, niejednorodne odpady (np. komunalne i opakowane odpady niebezpieczne) mogą być do pewnego stopnia wymieszane w bunkrze przed załadunkiem do mechanizmów podawania.

W przypadku bunkrów, mieszanie polega na łączeniu w nich odpadów za pomocą dźwigów bunkrowych. Operatorzy dźwigów mogą zidentyfikować potencjalnie problematyczne ładunki (np. odpady w belach, ukryte przedmioty, których nie można zmieszać lub które powodują problemy z załadunkiem/podaniem) i dopilnować, aby zostały one: usunięte, rozdrobnione lub

zmieszane (odpowiednio) z innymi odpadami. Technika ta jest powszechnie stosowana w zakładach komunalnych i innych spalarniach, gdzie ładunki wsadowe są dostarczane do magazynowania wstępne w bunkrze ogólnego użytku. Ładowność dźwigu musi być tak dobrana, aby umożliwić, w odpowiednim tempie, zarówno mieszanie jak i załadunek. Zazwyczaj istnieją dwa dźwigi, każdy z nich wystarcza do mieszania i dostarczenia wsadu do wszystkich linii spalania.

Jeżeli razem z MSW spalane są inne odpady, mogą one wymagać specjalnego przetwarzania wstępne. Odpady medyczne mogą być dostarczane w specjalnych opakowaniach, podczas gdy osady ściekowe, jeśli nie występują w stosunkowo niewielkiej ilości, mogą wymagać wstępne częściowego lub całkowitego wysuszenia i zazwyczaj specjalnego systemu podawania, np. lejem zsywowym, rynną zasilającą, bezpośrednio do pieca przez ścianę boczną lub nad podajnikiem. [\[74. TWG 2004\]](#)

Wyrównywarka wsadu dla stałych odpadów niebezpiecznych składa się z dwóch przenośników ślimakowych zdolnych do kruszenia i podawania odpadów stałych oraz żłobu do odbioru różnego rodzaju odpadów. Odpady stałe luzem podawane są do żłobu za pomocą żurawia chwyதாகowego przez poziome bramy wsadowe. Bramy wsadowe są zazwyczaj zamykane, aby zapobiec przedostawaniu się gazu do otoczenia.

Na dnie żłobu znajdują się dwa hydraulicznie sterowane ślimaki wsadowe podające odpady w sposób ciągły do koryta wsadowego, przez drzwi przeciwpożarowe. Drzwi przeciwpożarowe zapobiegają zaproszeniu ognia przez ciąg wsteczny w żłobie.

Żłób (zbiornik) wyposażony jest w miernik górnego i dolnego limitu napełnienia. Osiągnięcie górnego limitu daje sygnał do zatrzymania wprowadzania odpadów, podczas gdy osiągnięcie dolnego limitu daje sygnał do spowolnienia pracy ślimaków, tak aby w strefie buforowej zawsze pozostawały jakieś odpady, które mogą stanowić barierę pomiędzy ślimakiem a żłobem.

W ten sposób żłób działa jako strefa buforowa zapobiegając:

- wyciekowi azotu do pieca; oraz
- wywołaniu pożaru w żłobie.

Beczki mogą być podawane przez przednią ścianę pieca obrotowego bez stosowania żłobu.

Korzyści dla środowiska

Poprzez zwiększenie jednorodności odpadów poprawia się ich palność, co zmniejsza i stabilizuje emisje z pieca oraz prowadzi do bardziej stabilnego generowania pary/gorącej wody w kotłach. Chociaż większa jednorodność generalnie poprawia "płynność" operacji, stopień przetworzenia odpowiedni dla danego rodzaju odpadów zależy od ich charakteru oraz konstrukcji instalacji odbiorczej (tzn. czy stopień niejednorodności odpadów prowadzi lub będzie prowadził do szczególnych problemów lub wyzwań w ramach instalacji, a także czy zastosowanie dodatkowego wstępne przetworzenia zapewni wystarczające korzyści, aby przeważać nad efektami i kosztami związanymi z oddziaływaniem na procesy i środowisko).

Jednorodna mieszanka wsadu odpadów skutkuje bardziej równomiernym składem nieprzetworzonych spalin, co może pozwolić na lepszą optymalizację procesu ich oczyszczania.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Bezpieczeństwo operacji mieszania i kruszenia odpadów wymaga uwzględnienia odpowiednich systemów i procedur przy projektowaniu. Dotyczy to w szczególności odpadów łatwopalnych, toksycznych, emitujących odory oraz zakaźnych, pakowanych w beczki. Poduszki azotowe oraz śluzy powietrzne dla urządzeń do wstępne przetwarzania są skutecznym narzędziem zmniejszającym ryzyko.

Pożary i wybuchy w zakładach mechanicznego sortowania i łączenia stanowią duży problem. Jednak łączenie różnych MSW w bunkrze zazwyczaj nie powoduje żadnego szczególnego zagrożenia. [\[74. TWG 2004\]](#)

W zakładzie RMVA w Kolonii, Niemcy, odpady są przyjmowane w różnych frakcjach i specjalnie przygotowywane do spalania. Odpowiednie kruszenie oraz usuwanie cennych substancji (przede wszystkim metalu), a także łączenie poszczególnych frakcji za pomocą przenośników pozwala na uzyskanie znormalizowanego, jednorodnego "paliwa" wsadowego.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Zużycie energii oraz emisje odoru, hałasu i pyłów podczas pracy urządzeń do wstępnego przetwarzania mogą się znacznie różnić w zależności od rodzaju odpadów, zastosowanej techniki oraz pożądanej jakości wsadu.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest ogólnie stosowana.

Ekonomia

Koszty różnią się znacznie w zależności od rodzaju odpadów, zastosowanej techniki i pożądanej jakości wsadu.

Koszt separacji odpadów mieszanych może być znaczny. Koszty ulegają zmniejszeniu tam, gdzie istnieją już skuteczne, zewnętrzne systemy segregacji, być może w połączeniu z pewnym prostym przetwarzaniem wstępnym, co oznacza, że w spalarni przeprowadza się jedynie magazynowanie oraz mieszanie.

Korzyści płynące ze znaczącego wstępnego przetwarzania są najbardziej prawdopodobne do osiągnięcia w nowobudowanych zakładach, ponieważ można w nich zaprojektować całą instalację spalania odpadów, już po ich przetworzeniu.

W istniejących zakładach, które zostały specjalnie tak skonstruowane, aby posiadały dużą elastyczność w zakresie wsadu, i które są już w stanie osiągnąć dobry poziom wydajności, korzyści z prostego wstępnego przetwarzania mogą być nadal widoczne. Jednakże zaadoptowanie technik wstępnego przetwarzania, które faktycznie wymagają całościowych zmian w łańcuchu zbierania i wstępnego przetwarzania odpadów przed ich spalaniem, będzie prawdopodobnie wymagało bardzo znacznych inwestycji w infrastrukturę oraz logistykę. Takie decyzje z reguły wykraczają poza zakres pojedynczej instalacji i wymagają uwzględnienia całego łańcucha zagospodarowania odpadów w regionie, z którego są odbierane.

Sila napędowa wdrażania

Lepsza jednorodność spalanych odpadów pozwala na lepszą stabilność procesu, lepsze warunki spalania oraz lepszą optymalizację procesu. Emisje z instalacji do spalania mogą zatem zostać zmniejszone lub poddane ściślejszej kontroli.

Powiązanie z lokalną strategią dotyczącą zbierania odpadów jest ważne przy określaniu, w jakim stopniu należy przeprowadzić wstępne przetwarzanie.

Przykładowe zakłady

Wszystkie MSWI w Europie mieszają MSW w bunkrze. Wiele zakładów wyposażonych jest w maszyny do cięcia, rozdrabniacze lub kruszarki do obiektów wielkogabarytowych, np. w Toulon (FR).

Suszenie osadów ściekowych przed ich dodaniem do odpadów komunalnych odbywa się w wielu zakładach w Europie, np. w Nice-Ariane (FR). Osady ściekowe mogą być również suszone bez ich późniejszego mieszania i przekazane do podajnika pieca razem z MSW np. w Thiverval (FR) czy Thumaide (BE), lub oddzielnie np. w Monaco, Bordeaux Cenon (FR). [\[74. TWG 2004\]](#)

System wyrównywania wsadu stosowany jest w zakładzie Ekokem w Riihimäki (FI), w Sakab w Kumla (SE) oraz w A.V.R.-Chemie w Rotterdamie (NL).

Literatura źródłowa

[\[40. EURITS, 2003\]](#), [\[64. TWG 2003\]](#), [\[90. Eurits 2016\]](#), [\[20. EKOKEM, 2002\]](#)

4.2.3.2 Bezpośredni wtrysk odpadów płynnych i gazowych

Opis

Podawanie odpadów płynnych i gazowych bezpośrednio do pieca.

Szczegóły techniczne

Aby zapobiec emisjom rozproszonym oraz bezpiecznie obchodzić się z odpadami, odpady płynne, półpłynne i gazowe podawane są bezpośrednio do pieca przez kilka bezpośrednich linii wsadowych. W 2002 r. prawie 8.5% wszystkich spalonych odpadów w piecach obrotowych stanowiły odpady płynne przetwarzane za pomocą bezpośrednich linii wtryskowych [122. COM 2006]. Każdy piec obrotowy posiada kilka bezpośrednich linii podawania.

Generalnie, operacja wtrysku bezpośredniego odbywa się poprzez połączenie zbiornika na odpady z linią zasilającą, oraz napełnienie zbiornika azotem pod ciśnieniem lub, w przypadku wystarczająco niskiej lepkości, poprzez opróżnienie zbiornika za pomocą pomp. W ten sposób odpady płynne są wprowadzane do linii procesowej. W zależności od wartości opałowej odpadów płynnych są one wtryskiwane albo do przedniej części pieca obrotowego, albo do komory dopalania. Po zakończeniu procesu, linia procesowa może być oczyszczona z azotu, paliwa, oleju odpadowego lub pary wodnej.

Stosuje się uniwersalne i/lub dedykowane linie wtryskowe, w dużej mierze w zależności od substancji, które mają być spalane.

Korzyści dla środowiska

Zapobieganie emisjom rozproszonym ze względu na fakt, że odpady doprowadzane są przez całkowicie zamknięty system.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

W zależności od właściwości odpadów płynnych, do skonstruowania linii zasilających wymagane są odpowiednie materiały/wykładziny, a dla cieczy o wysokiej lepkości wymagane jest ogrzewanie.

Zakresy wydajności podawania odpadów do pieca zależą od parametrów procesu spalania (np. pojemność cieplna czy wydajność FGC), ale mogą wahać się od 50 do 1 500 kg/godz.

Wtrysk może odbywać się za pomocą dedykowanej lancy lub palnika wielopaliwowego.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Stosowanie azotu i pary wodnej.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest ogólnie stosowana.

Ekonomika

Średnia cena inwestycji dla dedykowanej linii wynosi 100 000-200 000 EUR.

Siła napędowa wdrażania

Siłą napędową jest potrzeba bezpiecznego podawania toksycznych, wydzielających odór, reaktywnych i żrących cieczy oraz gazów.

Przykładowe zakłady

Zakład Indaver, instalacja w Antwerpii (BE), HIM, zakład w Biebesheim (DE) oraz GSB, zakład w Ebenhausen (DE).

Literatura źródłowa

[64. TWG 2003]

4.3 Obróbka termiczna

Stosowany proces przetwarzania termicznego (obróbki termicznej) różni się w zależności od właściwości fizyczno-chemicznych spalanych odpadów.

W tabeli 4.6 przedstawiono porównanie głównych stosowanych technologii przetwarzania termicznego oraz czynników wpływających na ich przydatność operacyjną. Należy zauważyć, że choć z reguły stosowane są one w sektorze spalania, stopień ich wykorzystania może być różny, podobnie jak charakter odpadów, do których są one z powodzeniem używane.

Tabela 4.6 Porównanie technologii spalania i przetwarzania termicznego oraz czynników wpływających na ich zastosowanie i przydatność operacyjną

Proces	Kluczowe właściwości oraz przydatność	Przepustowość (wydajność) na linię	Informacje operacyjne/środowiskowe		Jakość popiołu paleniskowego	Objętość spalin	Koszty
			Zalety	Wady/ograniczenia w użytkowaniu			
Ruszt ruchomy - chłodzony powietrzem	<ul style="list-style-type: none"> Niskie i średnie wartości cieplne (LHV 5-16,5 GJ/t) Odpady komunalne oraz inne niejednorodne odpady stałe Może przyjmować w określonej proporcji osady ściekowe i/lub odpady medyczne razem z odpadami komunalnymi Stosowany w większości współczesnych instalacji MSW 	1–50 t/h (najczęściej 5–30 t/h). W większości zastosowań przemysłowych nie mniej niż 2.5 t/h lub 3 t/h.	<ul style="list-style-type: none"> Bardzo dobrze sprawdza się w dużych zakładach Niezawodność - niskie koszty utrzymania Długo stosowany Możliwość przetwarzania odpadów niejednorodnych bez specjalnego ich przygotowania 	Generalnie nie nadaje się do proszków, płynów lub materiałów, które topią się na ruszcie	TOC 0.5–3 %	4 000–7 000 Nm ³ /t wsadu odpadów. Zależy od LHV. Typowo 5 200 Nm ³ /t.	Wysoka wydajność zmniejsza koszt jednostkowy na tonę odpadów
Ruszt ruchomy - chłodzony cieczą	Tak samo jak ruszt chłodzony powietrzem z wyjątkiem <ul style="list-style-type: none"> LHV 10–20 GJ/t 	1–50 t/h (najczęściej 5–30 t/h). W większości zastosowań przemysłowych nie mniej niż 2.5 t/h lub 3 t/h	Tak samo jak ruszt chłodzony powietrzem ale: <ul style="list-style-type: none"> Nadają się do przetworzenia odpadów o wyższej wartości opałowej Możliwa lepsza kontrola procesu spalania 	Tak samo jak ruszt chłodzony powietrzem ale: <ul style="list-style-type: none"> Ryzyko wycieku w przypadku uszkodzenia rusztu Większa złożoność konstrukcji 	TOC 0.5–3 %	4 000–7 000 Nm ³ /t wsadu odpadów. Zależy od LHV. Typowo 5 200 Nm ³ /t.	Potrzebny nieznacznie większy nakład kapitałowy niż w przypadku chłodzonych powietrzem
Ruszt + piec obrotowy	Tak samo jak inne ruszty z wyjątkiem: <ul style="list-style-type: none"> Jest w stanie zaakceptować i spalić bardzo niejednorodne odpady Niezbyt szeroko stosowany 	1–10 t/h	<ul style="list-style-type: none"> Możliwość dokładniejszego przetwarzania popiołów paleniskowych ze spalarni 	<ul style="list-style-type: none"> Mniejsza przepustowość niż w przypadku zastosowania tylko rusztu Konserwacja pieca obrotowego 	TOC 0.5–3 %	4 000–7 000 Nm ³ /t wsadu odpadów. Zależy od LHV. Typowo 5 200 Nm ³ /t.	Wyższe koszty kapitałowe, dłuższa amortyzacja
Ruszt nieruchomy (statyczny) z mechanizmem transportu popiołu/odpadów	<ul style="list-style-type: none"> Odpady komunalne wymagają selekcji (segregacji) lub rozdrabniania Mniej problemów z proszkowymi substancjami niż w przypadku rusztów ruchomych 	Generalnie < 1 t/h	<ul style="list-style-type: none"> Mniej problemów z obsługą i konserwacją – brak ruchomych części 	<ul style="list-style-type: none"> Tylko dla wyselekcjonowanych /wstępnie przetworzonych odpadów Mniejsza przepustowość Niektóre ruszty nieruchome wymagają dodatkowego wspomagającego paliwa 	< 3 % przy stosowaniu wstępnie przygotowanych odpadów	Nieco niższa niż w przypadku innych układów rusztowych, w których stosowane jest spalanie stopniowe (wyższa, jeżeli stosowane jest paliwo wspomagające).	W małych zakładach dobra konkurencja dla rusztów ruchomych (< 100 kt/rok)
Piec obrotowy	<ul style="list-style-type: none"> Może akceptować odpady płynne i półpłynne oraz gazy Bardziej rygorystyczne warunki spalania wsadów stałych (ze względu na uszkodzenia w procesie spalania) Często stosowany przy odpadach niebezpiecznych 	< 16 t/h	<ul style="list-style-type: none"> Bardzo dobrze udokumentowana technika Szeroki zakres akceptowanych odpadów Efektywne spalanie – nawet odpadów niebezpiecznych 	<ul style="list-style-type: none"> Mniejsza przepustowość niż w przypadku rusztów 	TOC < 3 %	6 000–10 000 m ³ /t wsadu odpadów	Wyższy koszt jednostkowy ze względu na ograniczoną wydajność
Piec obrotowy (chłodzony płaszczyzną)	Tak samo jak piec obrotowy ale: <ul style="list-style-type: none"> Możliwość obsługi odpadów o wyższej CV dzięki większej tolerancji temperaturowej 	< 10 t/h	<ul style="list-style-type: none"> Bardzo dobrze udokumentowana technika Może pracować przy wyższych temperaturach spalania (jeśli wymagane) Lepsza ogniotrwałość niż piec niechłodzony 	<ul style="list-style-type: none"> Mniejsza przepustowość niż w przypadku rusztów 	Żużel kamionkowy o niskim stopniu wymywania	6 000–10 000 m ³ /t wsadu odpadów	Wyższy koszt jednostkowy ze względu na ograniczoną wydajność

Proces	Kluczowe właściwości oraz przydatność	Przepustowość (wydajność) na linię	Informacje operacyjne/środowiskowe		Jakość popiołu paleniskowego	Objętość spalin	Koszty
			Zalety	Wady/ograniczenia w użytkowaniu			
Pęcherzykowe złoża fluidalne	<ul style="list-style-type: none"> Szeroki zakres CV (5–25 MJ/kg) Tylko rozdrobnione odpady stałe. Limitowane stosowanie dla nieprzetworzonych MSW Często stosowane do współspalania osadów z RDF, rozdrobnionymi MSW, szlamem, obornikiem drobiowym 	Aż do 25 t/h	<ul style="list-style-type: none"> Dobre mieszanie Dobrze wymywalne popioły lotne 	<ul style="list-style-type: none"> Możliwość zatkania złoża Większe ilości popiołów lotnych 	TOC < 1 %	Stosunkowo mniejsza niż w przypadku rusztów	Koszt FGC może być niższy. Koszty przygotowania odpadów.
Rotacyjne (obrotowe) złoża fluidalne	<ul style="list-style-type: none"> Szeroki zakres CV (7–18 MJ/kg) Mogą być przetwarzane zgrubnie rozdrobione MSW Możliwość spalania kombinowanego np. razem z osadem 	3–22 t/h	<ul style="list-style-type: none"> Dobre mieszanie/wysoka turbulentność Szeroki zakres LHV Dobre spalanie, suche popioły paleniskowe 	<ul style="list-style-type: none"> Wymagane rozdrabnianie MSW Większe ilości popiołów lotnych niż przy ruszcie 	TOC < 3 %, często 0.5–1 %	4 000–6 000 Nm ³ /t	Koszty wstępnego przygotowania odpadów
Cyrkulacyjne złoża fluidalne	<ul style="list-style-type: none"> Szeroki zakres CV (6–25 MJ/kg) Tylko rozdrobnione odpady stałe. Limitowane stosowanie dla nieprzetworzonych MSW Często stosowane do współspalania osadów z RDF, węglem, odpadami drzewnymi 	Aż do 70 t/h	<ul style="list-style-type: none"> Dobre mieszanie Wysokie parametry pary do 500 °C łatwo osiągalne dzięki wymiennikom ciepła w materiale złoża Większa elastyczność na paliwo niż w przypadku BFB Dobrze wymywalne popioły lotne 	<ul style="list-style-type: none"> Cyklon wymagany do konserwacji materiału złoża Większe ilości popiołów lotnych 	TOC < 1 %	Stosunkowo mniejsza niż w przypadku rusztów	Koszt FGC może być niższy. Wyższe koszty przygotowania odpadów.
Piec statyczny	<ul style="list-style-type: none"> Odpady płynne niebezpieczne oraz odpady gazowe 	Aż do 10 t/h	<ul style="list-style-type: none"> Wysoka temperatura spalania (aż do 1 100 °C) Dobre wypalenie odpadów płynnych i gazowych 	<ul style="list-style-type: none"> Nadaje się tylko do odpadów płynnych i gazowych 	NA	Zależnie od wartości opałowej aż do 10 000 m ³ /h	NA
Piec oscylacyjny	<ul style="list-style-type: none"> MSW Odpady niejednorodne 	1–10 t/h	<ul style="list-style-type: none"> Niezawodność – nie wymaga częstych konserwacji Dobrze udokumentowana technika Niski poziom NO_x Mała LOI dla popiołów paleniskowych 	<ul style="list-style-type: none"> Większe straty ciepłe niż w przypadku rusztów LHV poniżej 15 G/t 	TOC 0.5–3 %	NA	Podobnie jak w przypadku innych technologii
Piec martenowski pulsacyjny	<ul style="list-style-type: none"> Tylko odpady o większym CV (LHV > 20 GJ/t) Stosowany głównie do odpadów medycznych 	< 7 t/h	<ul style="list-style-type: none"> Może obsługiwać odpady płynne i sproszkowane 	<ul style="list-style-type: none"> Słabsze mieszanie w złożu 	W zależności od rodzaju odpadów	NA	Wyższy koszt jednostkowy ze względu na ograniczoną wydajność
Piece martenowskie stopniowe i statyczne	<ul style="list-style-type: none"> Tylko odpady o większym CV (LHV > 20 GJ/t) Stosowany głównie do odpadów medycznych 	NA	<ul style="list-style-type: none"> Może obsługiwać odpady płynne i sproszkowane 	<ul style="list-style-type: none"> Słabsze mieszanie w złożu 	W zależności od rodzaju odpadów	NA	Wyższy koszt jednostkowy ze względu na ograniczoną wydajność
Piec rozpraszający	<ul style="list-style-type: none"> RDF oraz inne wsady drobnoziarniste Obornik drobiowy Odpady drzewne 	NA	<ul style="list-style-type: none"> Prosta konstrukcja rusztu Mniej wrażliwy na wielkość cząstek niż FB 	<ul style="list-style-type: none"> Tylko dla dobrze zdefiniowanych strumieni jednorodnych 	NA	NA	NA

Proces	Kluczowe właściwości oraz przydatność	Przepustowość (wydajność) na linię	Informacje operacyjne/środowiskowe		Jakość popiołu paleniskowego	Objętość spalin	Koszty
			Zalety	Wady/ograniczenia w użytkowaniu			
Zgazowanie – złoże stałe	<ul style="list-style-type: none"> Mieszane odpady z tworzyw sztucznych Inne podobne strumienie odpadów Zgazowanie jest mniej powszechne/sprawdzone niż spalanie 	Aż do 20 t/h	<ul style="list-style-type: none"> Mniej wymywalne pozostałości Dobre wypalenie w przypadku wdmuchiwania tlenu Możliwość obsługi gazu syntezowego (syngazu) Zmniejszone utlenianie metali odzyskiwalnych 	<ul style="list-style-type: none"> Ograniczony rodzajowo wsad odpadów Niepełne spalanie Wymagane wysokie umiejętności personelu Smola w nieprzetworzonym gazie Technika słabo udokumentowana 	<ul style="list-style-type: none"> Słabo wymywalne popioły paleniskowe Dobre wypalenie w obecności tlenu 	Mniejsza niż przy spalaniu bezpośrednim	Wysokie koszty obsługi/konserwacji
Zgazowanie – przepływ unoszący	<ul style="list-style-type: none"> Mieszane odpady z tworzyw sztucznych Inne podobne strumienie odpadów Nie nadaje się do nieprzetworzonych wstępnie MSW Zgazowanie jest mniej powszechne/sprawdzone niż spalanie 	Aż do 10 t/h	<ul style="list-style-type: none"> Słabo wymywalny żużel Zmniejszone utlenianie metali odzyskiwalnych 	<ul style="list-style-type: none"> Ograniczony rodzajowo wsad odpadów Niepełne spalanie Wymagane wysokie umiejętności personelu Technika słabo udokumentowana 	Słabo wymywalny żużel	Mniejsza niż przy spalaniu bezpośrednim	Wysokie koszty obsługi/konserwacji. Wysokie koszty wstępnego przetwarzania
Zgazowanie – złoże fluidalne	<ul style="list-style-type: none"> Mieszane odpady z tworzyw sztucznych Rozdrobnione MSW Pozostałości z rozdrabniania Osady Odpady bogate w metale Inne podobne strumienie odpadów Zgazowanie jest mniej powszechne/sprawdzone niż spalanie 	5–20 t/h	<ul style="list-style-type: none"> Może pracować w niskich temperaturach reaktora, np. do odzysku Al Odseparowanie głównych materiałów niepalnych Może być skutecznie połączony z topieniem popiołu. Zmniejszone utlenianie metali odzyskiwalnych 	<ul style="list-style-type: none"> Limitowany rozmiar cząstek w odpadach (< 30 cm) Smola w nieprzetworzonym gazie Większe UHV nieprzetworzonych gazów Technika słabo udokumentowana 	<ul style="list-style-type: none"> W połączeniu z topieniem popiołu daje szklisty popiół komorowy. Bez stosowania komory topienia popiołu – brak danych. 	Mniejsza niż przy spalaniu bezpośrednim	Niższe niż w przypadku innych technik zgazowania
Piroliza – bęben krótki	<ul style="list-style-type: none"> Wstępnie przetworzone MSW Strumienie o wysokiej zawartości metali obojętnych Pozostałości z rozdrabniania/tworzywa sztuczne Zgazowanie jest mniej powszechne/sprawdzone niż spalanie 	~ 5 t/h	<ul style="list-style-type: none"> Brak utleniania metali Brak zapotrzebowania na energię w przypadku metali/materiałów obojętnych Możliwa neutralizacja kwasów w reaktorze Możliwość obsługi gazu syntezowego (syngazu) 	<ul style="list-style-type: none"> Limitowane rodzaje obsługiwanych odpadów Skomplikowana kontrola i obsługa procesu Wymagane wysokie umiejętności personelu Technika słabo udokumentowana Wymagana dostępność gazu syntezowego 	<ul style="list-style-type: none"> W zależności od temperatury procesu Pozostałości z procesu wymagają dalszego przetwarzania, a czasami spalania 	Bardzo mała z uwagi na niewielki nadmiar powietrza potrzebny do spalania gazu	Kosztowne przetwarzanie wstępne. Wysokie nakłady kapitałowe i eksploatacyjne.
Piroliza – bęben średni		5–10 t/h					

Źródło: [24. CEFIC, 2002] [2. InfoMil 2002] [10. Juniper 1997][8. Energos, 2002] [1. UBA 2001] [64. TWG 2003]

4.3.1 Stosowanie modelowania przepływu

Opis

Stosowanie modelowania przepływu.

Szczegóły techniczne

Do badania oddziaływania na siebie poszczególnych elementów konstrukcji mogą być stosowane fizyczne i/lub komputerowe modele. Różne parametry, które mogą być badane obejmują prędkość gazu oraz temperatury wewnątrz pieca lub kotła. Przepływ gazu przez system FGT może także zostać zbadany celem poprawienia wydajności, np. jednostki SCR.

Skomputeryzowana dynamika płynów (*Computerised Fluid Dynamics – CFD*) stanowi jeden z przykładów narzędzi modelujących, które mogą być stosowane do przewidywania przepływu gazu. Zastosowanie takich technik wspomaga wybór projektu, który umożliwi optymalizację przepływu gazu w sposób, który wspomaga warunki spalania oraz pozwala na uniknięcie długotrwałego przebywania gazu w tych strefach temperaturowych, w których ryzyko powstawania PCDD/F jest większe. Dzięki zastosowaniu tej techniki do konstrukcji systemów FGT, możliwe jest poprawienie ich wydajności, np. dzięki zapewnieniu równomiernego przepływu przez siatkę katalityczną systemu SCR.

Modelowanie wykorzystywane jest z sukcesami zarówno w nowych, jak i w już istniejących zakładach spalania celem:

- optymalizacji geometrii pieca oraz kotła;
- optymalizacji położenia powietrza recyrkulacyjnego wtórnego i/lub spalin (jeśli są używane);
- optymalizacji punktów wtrysku odczynnika w celu redukcji NO_x metodą SNCR;
- optymalizacji przepływu gazu przez jednostkę SCR.

Korzyści dla środowiska

Optymalizacja konstrukcji pieca może zwiększyć wydajność spalania, a tym samym ograniczać powstawanie CO, TOC (OWO), PCDD/F i/lub NO_x (tzn. substancji powiązanych ze spalaniem). Brak skutków ubocznych dla innych, zawartych w odpadach zanieczyszczeń. [\[64. TWG 2003\]](#)

Redukcja zanieczyszczeń związanych z nadmiernymi lokalnymi prędkościami spalin dzięki zastosowaniu modelowania CFD może zwiększyć wydajność zakładu oraz stopień odzysku energii w czasie.

Kolejną korzyścią jest lepsza wydajność urządzeń do redukcji emisji zanieczyszczeń.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Poprawa rozkładu przepływu spalin wzdłuż kotła przyczynia się do zmniejszenia erozji i zanieczyszczeń prowadzących do korozji. Stosowane techniki to:

- optymalizacja nowych projektów spalania odpadów;
- w istniejących zakładach, w których występują wątpliwości co do projektu spalania i kotła, umożliwienie operatorowi zbadania i ustalenia priorytetów w zakresie możliwości optymalizacji;
- w istniejących zakładach, dokonanie zmian w piecu/kotle;
- w nowych i istniejących zakładach, optymalizacja pozycjonowania urządzeń wtrysku powietrza wtórnego/spalin pochodzących z recyrkulacji gazów;
- w instalacjach wykorzystujących SCR/SNCR, optymalizacja samej jednostki SCR/SNCR.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Brak danych.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest generalnie stosowana w przypadku nowych zakładów. W stosunku do istniejących zakładów stosuje się ją jedynie podczas projektowania dużych modernizacji.

Ekonomia

Zwykle komputerowe opracowanie optymalizacji kosztuje około 10000 – 30000 EUR, w zależności od zakresu badania oraz liczby okresów modelowania.

Oszczędności kosztów inwestycyjnych i operacyjnych mogą wiązać się z:

- wyborem alternatywnych technologicznych opcji systemów;
- mniejszymi/mniej skomplikowanymi systemami redukcji;
- niższym zużyciem w systemach redukcji.

Oszczędności, o których mowa powyżej, są mniej prawdopodobne do osiągnięcia tam, gdzie kluczową kwestią projektową przy wyborze systemu redukcji emisji jest obecność metali ciężkich lub chlorowców, np. w zakładach przetwarzania odpadów niebezpiecznych. Wynika to z faktu, że czynnikiem decydującym o konstrukcji układu FGC w tych przypadkach jest zazwyczaj ładunek substancji kłopotliwych, a nie substancji związanych ze spalaniem.

Znaczące koszty mogą wiązać się z modyfikacją konstrukcji pieca lub kotła w istniejących już instalacjach.

Siła napędowa wdrażania

Siłami napędowymi są optymalizacja konstrukcji komory spalania pod kątem niskich stężeń zanieczyszczeń gazowych oraz możliwa redukcja emisji i zużycia.

Przykładowe zakłady

Technika jest stosowana:

- na etapie składania wniosków w Wielkiej Brytanii celem zademonstrowania efektywności projektu spalania w proponowanej instalacji;
- do optymalizacji projektu fazy spalania w małych zakładach komunalnych w Norwegii;
- przy wydawaniu i zmianie pozwoleń w Danii; ostatnie przykłady wykorzystania CFD w latach 2017 i 2016 to spalarnia Amager Resource Center w Kopenhadze i spalarnia Norfors w Hilleroed;
- w przypadku niektórych nowych i istniejących zakładów komunalnych w Belgii;
- we francuskich zakładach: Saint-Ouen (1989), Nancy (1995), Tuluza i St. Germain.

Literatura źródłowa

[15. Segers, 2002], [16. Wilts i inni 2017], [17. ONYX, 2000], [64. TWG 2003]

4.3.2 Konstrukcja zwiększająca turbulencje w obszarze spalania wtórnego**Opis**

Konstrukcja wtórnej komory spalania celem zwiększenia turbulencji spalin.

Szczegóły techniczne

Zob. powiązane techniki w sekcjach 4.3.4 (Optymalizacja dopływu i dystrybucji powietrza pierwotnego i wtórnego) i 4.3.6 (Zastąpienie części powietrza wtórnego spalinami z recyrkulacji).

Technika ta odnosi się do cech konstrukcyjnych, które zwiększają turbulencje, a tym samym mieszanie się spalin w obszarze po pierwotnej strefie spalania, ale przed lub na początku głównych obszarów odzysku ciepła, gdy temperatury gazu na ogół nadal będą przekraczać około 850 °C. Ponieważ spaliny mogą przechodzić przez główne obszary odzysku ciepła (wymenniki), za rozpatrywaną tu strefą, wymagana jest stabilna i równomierna prędkość i przepływ gazu, aby zapobiec przeciwpłatom i cyrkulacji gazu, które mogłyby prowadzić do problemów z wymianą ciepła oraz wytwarzania zanieczyszczeń.

W niektórych przypadkach można zastosować specjalne konfiguracje obszaru spalania wtórnego celem zwiększenia turbulencji w komorze. Przykładowe konstrukcje obejmują:

- komory wirowe;

- wstawienie przegród (wymagane chłodzenie);
- kilka przejść i zwrotów w komorze;
- styczne wejście powietrza wtórnego;
- lokalizacja oraz położenie układów wtrysku powietrza wtórnego (dysz).

Wykorzystanie dodatkowych układów fizycznych celem zwiększenia mieszania jest obecnie stosowane głównie przy spalaniu odpadów niebezpiecznych.

Korzyści dla środowiska

Korzyści obejmują poprawę spalania, prowadzącą do obniżenia koncentracji gazów nieprzetworzonych w parametrach związanych ze spalaniem.

Technika ta może zmniejszyć ilość potrzebnego powietrza wtórnego, a tym samym zmniejszyć ogólną ilość spalin i produkcję NO_x. Efektywne turbulencje powodują również lepsze spalanie spalin przy zmniejszonym poziomie VOC i tlenku węgla (CO).

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Nie dostarczono danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Nie zidentyfikowano.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest ogólnie stosowana.

Ekonomika

Nie dostarczono danych.

Siła napędowa wdrażania

Nie dostarczono danych.

Przykładowe zakłady

Odpady niebezpieczne – zakład Cleanaway (UK).

Literatura źródłowa

[40. [EURITS, 2003](#)] [[64. TWG 2003](#)]

4.3.3 Wybór oraz stosowanie odpowiednich systemów i parametrów kontroli spalania

Opis

Stosowanie zaawansowanego systemu kontroli spalania.

Szczegóły techniczne

[2. [InfoMil 2002](#)] Spalanie odpadów o zmiennym składzie wymaga technologii, która jest w stanie poradzić sobie z dużą zmiennością warunków procesu (zarówno pod względem ich kontroli jak i ewentualnej interwencji).

Aby móc kontrolować proces spalania, wymagane są szczegółowe informacje o procesie, musi zostać zaprojektowany zaawansowany system kontroli ("koncepcja") oraz konieczna jest możliwość ingerencji w proces. Szczegółowe informacje dotyczące stosowanych systemów różnią się w zależności od zakładu. Poniżej znajduje się przegląd informacji o procesie oraz koncepcji systemów sterowania nim i interwencji, które mogą zostać wykorzystane.

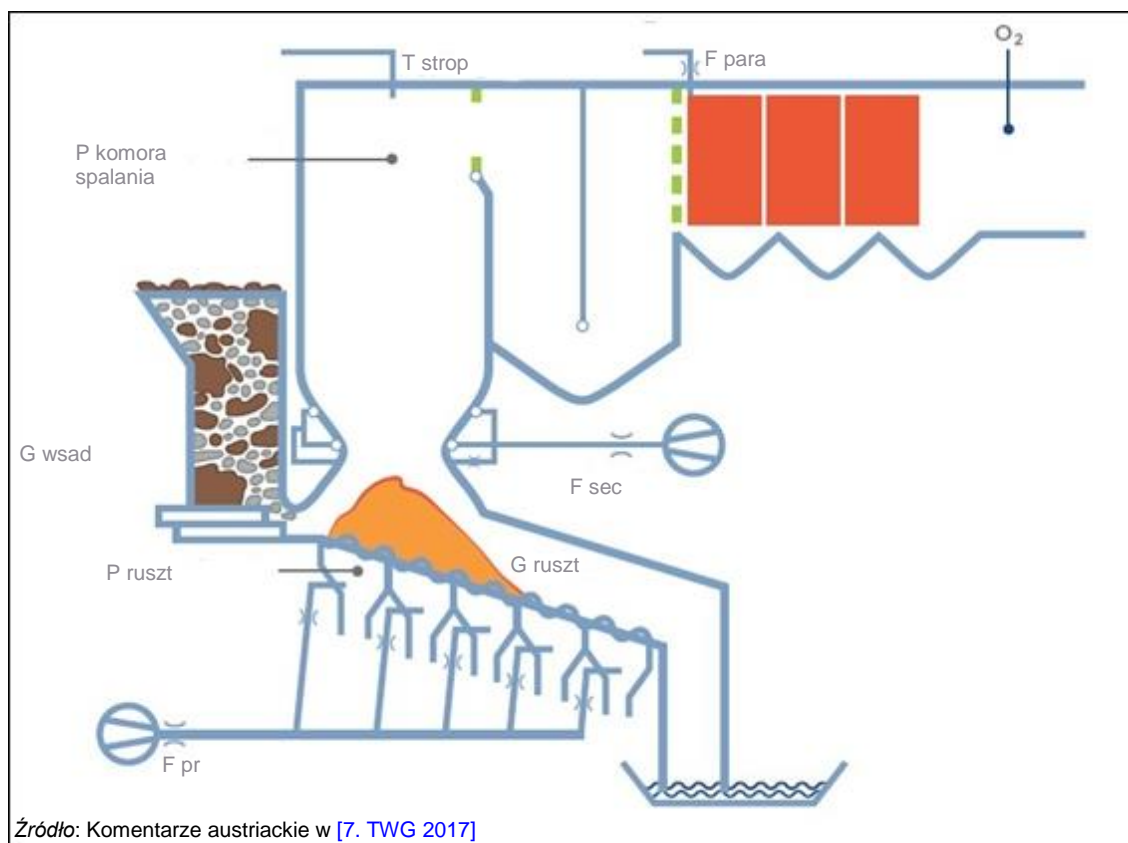
Informacje dotyczące procesu mogą obejmować:

- temperaturę rusztu w różnych miejscach;
- grubość warstwy odpadów na ruszcie (kontrola wizualna);
- spadek ciśnienia przy przechodzeniu przez ruszt;
- temperatury pieca oraz spalin w różnych punktach;
- określenie rozkładu temperatury na powierzchni rusztu za pomocą systemów optycznych lub na podczerwień;

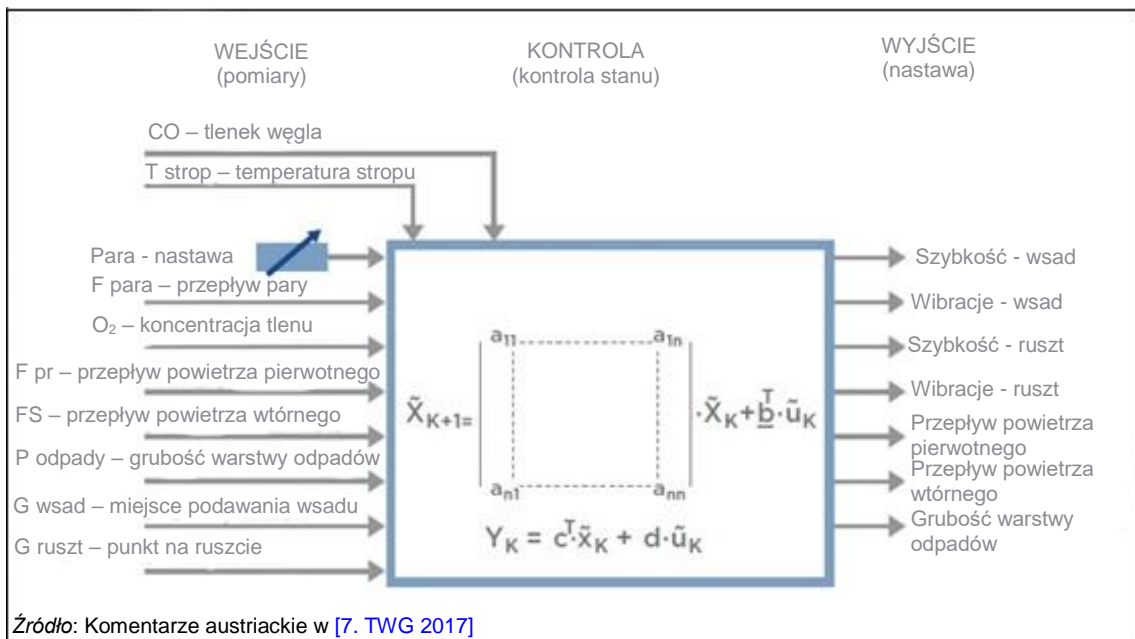
- pomiary CO, O₂, CO₂ i/lub H₂O (w różnych punktach);
- dane dotyczące produkcji pary (np. temperatura, ciśnienie);
- otwory w ścianie komory spalania (pieca) do wizualnej obserwacji przez osoby lub kamerę;
- wielkość oraz umiejscowienie ognia w piecu;
- dane dotyczące emisji substancji związanych ze spalaniem (przed redukcją). [74. TWG 2004]

Ciągle dostosowywanie rozkładu i ilości powietrza spalającego do precyzyjnych wymagań reakcji spalania w poszczególnych strefach pieca może usprawnić proces spalania. Kamera na podczerwień jest przykładem techniki, która służy do tworzenia obrazu termicznego palącego się złoża odpadów. Stosowane są również kamery ultradźwiękowe i wizualne. Rozkład temperatury na ruszcie pojawia się na ekranie jako kolorowe pole izotermiczne.

Celem późniejszego sterowania wydajnością pieca można określić temperatury charakterystyczne poszczególnych stref rusztu i przekazać je do sterownika wydajności pieca jako parametry wejściowe dla zmiennych pieca. Na ilustracjach 4.2 i 4.3 przedstawiono, odpowiednio, przykładowe elementy układu sterowania piecem oraz jego parametry kontrolne. Używając logiki rozmytej, można określić niektóre zmienne (np. temperaturę, zawartość CO, O₂) oraz sekwencję "reguł" utrzymujących proces w tych ustawieniach. Ponadto można sterować recyrkulacją spalin i dodawaniem powietrza trzeciorzędowego.



Ilustracja 4.2 Przykładowe elementy układu sterowania piecem



Ilustracja 4.3 Przykładowe parametry wejściowe, sterujące i wyjściowe układu sterowania pieca.

Dzięki komputerowemu przetwarzaniu obrazu, obrazy wideo dostarczane przez kamerę IR mogą być przekształcane na sygnały, które są sprzężone w systemie sterowania piecem z takimi parametrami, jak zawartość tlenu w spalinach czy ilość pary.

Załadunek do komory spalania może być następnie kontrolowany poprzez rejestrację temperatury średniej złoża odpadów w przedniej części rusztu i ocenę zawartości O₂ na wyjściu z kotła. Za pomocą sterowanego kamerą zapisu temperatury złoża spalania, w trzech pierwszych strefach rusztu, można dozować powietrze pierwotne zależnie od zapotrzebowania (ilość i rozkład powietrza), co pomaga wyrównać proces spalania w głównej jego strefie. W strefie zapłonu na ruszcie zapotrzebowanie na powietrze jest kontrolowane w zależności od temperatury powierzchni złoża spalania i można osiągnąć bardziej stabilny profil temperaturowy. Dostosowanie ilości powietrza w kolejnych strefach rusztu oraz temperatury powierzchni spalania prowadzi do równomiernego spalania, w tym efektywnego spalania popiołu paleniskowego.

Sterowanie może być klasycznym systemem sterowania, które może zostać podłączone do komputera sterującego procesem. Dodatkowo można zastosować systemy sterowania rozmytego.

Interwencje kontrolne obejmują regulację:

- systemu dozowania odpadów;
- częstotliwości i prędkości ruchów rusztu w różnych jego częściach;
- ilości oraz dystrybucji doprowadzanego powietrza pierwotnego;
- temperatury powietrza pierwotnego (jeśli dostępne są systemy jego podgrzewania);
- ilości oraz dystrybucji doprowadzanego do pieca powietrza wtórnego (oraz, jeśli możliwe, pochodzącego z recyrkulacji);
- stosunek doprowadzanego powietrza pierwotnego do wtórnego. [74. TWG 2004]

Korzyści dla środowiska

Zastosowanie zaawansowanych systemów kontroli może powodować, że proces spalania będzie się charakteryzował mniejszym zróżnicowaniem w czasie (tj. lepszą stabilnością) i przestrzeni (tj. jednorodnością), co pozwoli na poprawę ogólnej wydajności spalania oraz zmniejszenie emisji do wszystkich mediów odbierających.

Ulepszona kontrola procesu ma następujące zalety:

- lepsza jakość popiołu paleniskowego (dzięki wystarczającemu rozprowadzeniu powietrza pierwotnego i lepszemu pozycjonowaniu procesu spalania na ruszcie);
- mniejsza produkcja popiołu lotnego (ze względu na mniejsze wahania w ilości doprowadzanego do spalania powietrza pierwotnego);
- lepsza jakość popiołu lotnego (mniej niespalonego materiału dzięki bardziej stabilnym warunkom procesu w piecu);
- mniejsze formacje CO i VOC (ze względu na bardziej stabilne warunki procesu w piecu, tj. brak "zimnych" punktów);
- mniejsze formacje NO_x (ze względu na bardziej stabilne warunki procesu w piecu, tj. brak "gorących" punktów);
- mniejsze ryzyko powstawania dioksyn (i prekursorów) z powodu bardziej stabilnego procesu w piecu;
- lepsze wykorzystanie wydajności (ponieważ zmniejsza się utrata mocy cieplnej na skutek wahań w procesie);
- lepsza efektywność energetyczna (ponieważ zmniejsza się średnia ilość powietrza podawanego do spalania);
- lepsza praca kotła (ponieważ temperatura jest bardziej stabilna, jest mniej "szczytów" temperatury a tym samym mniejsze ryzyko korozji i zatykania się systemu przez osady z popiołu lotnego);
- lepsze działanie systemu oczyszczania spalin (ponieważ ilość i skład spalin jest bardziej stabilny);
- większy potencjał niszczenia, połączony z bardziej efektywnym spalaniem odpadów. [\[74. TWG 2004\]](#)

Wskazane zalety skutkują również mniejszą ilością zabiegów konserwacyjnych, a tym samym lepszą dyspozycyjnością instalacji.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

W ramach projektu przeprowadzono testy spalania z użyciem natlenionego powietrza pierwotnego i wtórnego z dodatkiem azotu w powietrzu wtórnym. Wykorzystanie do spalania powietrza wzbogaconego tlenem zostało omówione bardziej szczegółowo w pkt. 4.3.7. Odnotowano spadek w nieprzetworzonych spalinach koncentracji pyłów, CO i całkowitego VOC (LZO), w szczególności w związku z użyciem natlenionego powietrza pierwotnego (zawartość O₂ w dostarczonym powietrzu 25 - 28% obj.). Ponadto zawartość NO_x w spalinach mogła zostać zmniejszona dzięki dodaniu azotu do powietrza wtórnego.

Wyniki tego badania doprowadziły do opracowania systemu łączącego następujące etapy procesu:

- w pełni automatycznej kontroli spalania za pomocą kamery na podczerwień i logiki rozmytej;
- recyrkulacji spalin do pieca za pomocą systemu powietrza wtórnego; oraz
- natleniania powietrza pierwotnego w głównych strefach spalania.

Środki wprowadzone w innym istniejącym zakładzie z rusztem wsadowym obejmowały:

- stopniowane dodawanie powietrza do spalania;
- stałe dozowanie podawania odpadów poprzez regulację wysokości warstwy;
- monitorowanie spalania za pomocą czujników optycznych (tzw. czujników spalania) w różnych strefach rusztu;
- recyrkulację spalin.

W porównaniu z konwencjonalną eksploatacją instalacji, ilość zanieczyszczeń pochodzących ze spalania została zredukowana.

Temperatura pręta rusztowego może być mierzona za pomocą termopar. Temperatura spalin jest trudniejsza do zmierzenia ze względu na niedogodne warunki - wysoki poziom zapylenia, ryzyko stopienia metalu itp. Pomiar na wylocie z pieca nie są łatwe do wykonania również ze względu

na warunki eksploatacyjne (pył, kwas, itp.), w szczególności dla CO i CO₂. Do celów kontrolnych wymagane są pomiary wykonywane szybko. Dokładny pomiar H₂O jest bardzo trudny do wykonania. [64. TWG 2003]

Wyniki badań przy normalnej pracy i z kontrolą spalania za pomocą kamery na podczerwień (IR) i z dodatkiem tlenu przedstawiono w tabeli 4.7.

Tabela 4.7 Pomiary nieprzetworzonych spalin w instalacji testowej w warunkach pracy normalnej, z kamerą na podczerwień i kondycjonowaniem O₂

Składniki spalin (nieprzetworzone spaliny)	Praca normalna	Kamera IR plus logika rozmyta	Kondycjonowanie O ₂
Zawartość tlenu (vol-%)	9.1–9.3	8.9–9.3	6.2–10.9
Tlenek węgla (mg/m ³)	12–32	9–26	20–27
Pył (g/m ³)	0.7–1.7	0.6–1.0	0.5–1.0
Węgiel całkowity (mg/m ³)	1.1–2.4	0.9–1.0	1.0–1.2
Dioksyny/furany (ng I-TEQ/m ³)	1.5–2.7	1.0–1.3	2.0–3.5
Uwagi: Zgłaszany wzrost PCDD/F przy dodatkowym natlenieniu nie jest teoretycznie oczekiwanym wynikiem. Źródło: [1. UBA 2001]			

Technika ta jest szczególnie korzystna, gdy odpady podawane do pieca mają wysoce niejednorodny charakter, tj. zmienny skład, lub ich jakość jest trudna do przewidzenia czy zagwarantowania.

Aby osiągnąć stabilną pracę zakładu, ważne jest również, aby operator systemów podawania odpadów miał dobry widok na miejsca ich składowania i załadunku. Można to osiągnąć poprzez ustawienie dyspozytorni z widokiem na obszary załadunku wsadu oraz poprzez zastosowanie monitorów wideo lub innych systemów zobrazowania. [64. TWG 2003]

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Nie stwierdzono.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest ogólnie stosowana.

Kamery na podczerwień są generalnie stosowane w spalarniach rusztowych. Technika ta ma zastosowanie tylko wtedy, gdy konstrukcja pieca (w szczególności wejścia do niego) jest taka, że kamera może oglądać odpowiednie obszary rusztu. Zastosowanie kamer jest generalnie ograniczone do pieców o większej skali, z kilkoma liniami rusztowymi (np. > 10 t/godz.). [74. TWG 2004]

Ekonomika

Wskazane zalety skutkują również mniejszą ilością zabiegów konserwacyjnych, a co za tym idzie, lepszą dyspozycyjnością instalacji.

Cena jednej kamery na podczerwień (nie zainstalowanej i jako samodzielnej jednostki, tzn. nie włączonej do kosztów obwodu sterowania zakładu) w 2004 r. wynosiła około 50 000 EUR. Poinformowano również, że jeden dostawca podawał cenę 300 000 EUR na linię (nie jest jednak jasne, czy dotyczy to samej kamery czy całego systemu kamer na podczerwień plus sterowanie O₂ itp.) [74. TWG 2004].

Ekonomika wzbogacania powietrza do spalania w tlen została omówiona w sekcji 4.3.7.

Siła napędowa wdrażania

Poprawa wyników spalania prowadzi do ogólnej poprawy efektywności środowiskowej.

Przykładowe zakłady

Zaawansowane systemy kontroli są szeroko stosowane w całej Europie (np. Coburg (DE); Ingolstadt (DE); Fribourg (CH); Brescia (IT); Arnoldstein (AT)). W sekcji 4.3.7 przedstawiono przykłady zastosowania do spalania powietrza wzbogaconego tlenem.

Literatura źródłowa

[1. UBA 2001], [2. InfoMil 2002], [64. TWG 2003]

4.3.4 Optymalizacja dopływu i dystrybucji powietrza pierwotnego i wtórnego**Opis**

Przepływ i dystrybucja powietrza pierwotnego oraz wtórnego są optymalizowane celem doprowadzenia ich tam, gdzie są niezbędne do prawidłowego spalania odpadów.

Szczegóły techniczne

Powietrze pierwotne to powietrze dostarczane do lub bezpośrednio nad złożem odpadów, zapewniające tlen niezbędny do spalania. Powietrze pierwotne pomaga również w suszeniu i zgazowaniu odpadów oraz w chłodzeniu niektórych urządzeń spalania.

Powietrze wtórne to powietrze, które jest włączane do strumienia spalin po to, aby zakończyć utlenianie się w nich składników palnych.

Rodzaj zasilania powietrzem pierwotnym jest bezpośrednio związany z technologią spalania.

W systemach rusztowych jest ono dostarczane przez ruszt do złoża odpadów i służy:

- Dostarczeniu niezbędnego powietrza do różnych stref rusztu, w których zachodzą reakcje (suszenie, zgazowanie, ulatnianie) oraz zapewnieniu jednorodnego i dostatecznego jego rozproszania wewnątrz złoża odpadów, co poprawia spalanie popiołu paleniskowego.
- Do chłodzenia prętów rusztowych, aby zapobiec zjawisku żużlowania i korozji. Chłodzenie rusztów cieczą odbywa się zazwyczaj za pomocą oddzielnego obiegu wody i dlatego wpływ powietrza pierwotnego na chłodzenie jest w tym wypadku nieistotny. [74. TWG 2004]

W przypadku rusztów MSWI przepływ powietrza pierwotnego zależy przede wszystkim od zapotrzebowania na tlen (funkcja wymiarowania), a nie od wymagań chłodzenia rusztu. [74. TWG 2004]

Oddzielenie dopływu powietrza pierwotnego (za pomocą pojedynczych skrzynek wiatrowych i, jeśli to stosowne, wielu rozproszonych wentylatorów nawiewnych) do różnych stref w piecach rusztowych pozwala na oddzielne sterowanie dopływem powietrza do każdej ze stref. Pozwala to na optymalizację każdego procesu zachodzącego na ruszcie (suszenie, piroliza, zgazowanie, ulatnianie, spopielenie) poprzez zapewnienie indywidualnego, zoptymalizowanego dopływu powietrza.

Niedostateczny dopływ powietrza pierwotnego do etapu końcowego (spopielenia) może spowodować słabe spalanie popiołu, jeśli czas przebywania odpadów w komorze nie jest wystarczająco długi.

W piecach obrotowych powietrze pierwotne jest zazwyczaj wprowadzane nad złożem odpadów.

W systemach ze złożem fluidalnym powietrze pierwotne jest wprowadzane bezpośrednio do materiału fluidalnego i służy również do fluidyzacji samego złoża. Powietrze pierwotne jest wdmuchiwane do złoża przez dysze znajdujące się na dnie komory spalania.

Jeśli powietrze do spalania jest pobierane z miejsc składowania odpadów, pomaga tym samym zmniejszyć ryzyko powstawania nieprzyjemnych odorów podczas ich składowania.

Prędkość przepływu powietrza wtórnego, temperatura, liczba i położenie punktów wtrysku są optymalizowane pod kątem kontroli turbulencji spalin, temperatury oraz czasu przebywania. Ponieważ mieszanie gorących gazów wymaga odpowiedniej energii mieszania, powietrze wtórne jest wdmuchiwane z relatywnie dużą prędkością.

Miejsca, kierunki i ilości punktów wtrysku są optymalizowane za pomocą komputerowego modelowania przepływu.

Temperatury na głowicach dysz mogą osiągać poziomy 1 300-1 400 °C i w znaczny sposób przyczyniać się do generowania NO_x. Zastosowanie specjalnych dysz oraz recyrkulacji spalin celem zastąpienia części azotu może obniżyć temperaturę dysz i dopływ azotu, co prowadzi do niższej generacji NO_x.

Stosunek ilości powietrza pierwotnego do wtórnego będzie zależał od właściwości odpadów oraz tego, która z technologii spalania jest wykorzystywana. Optymalizacja tego stosunku jest korzystna dla funkcjonowania procesów i minimalizacji emisji. Ogólnie rzecz biorąc, odpady o wyższej wartości opałowej umożliwiają uzyskanie niższych współczynników stosunku powietrza pierwotnego do wtórnego.

Korzyści dla środowiska

- Redukcja emisji NO_x, pyłów, TVOC i CO.
- Redukcja ilości popiołów lotnych.
- Lepsze wypalenie popiołów paleniskowych.
- Zmniejszenie zapotrzebowania na paliwa, nie będące odpadami, stosowane do wspomaganego spalania. [74. TWG 2004]

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Ilość zużytego powietrza wtórnego zależy od LHV. [74. TWG 2004]

W przypadku technologii rusztowej ilość powietrza wtórnego wynosi zazwyczaj od 20 do 40% całkowitej ilości powietrza dostarczonego do spalania. Pozostała część to powietrze pierwotne.

Istnieje ryzyko szybkiej korozji chłodzonych wodą ścian komory dopalania i kotła, jeśli pada się za mało powietrza wtórnego, ponieważ poziom CO/CO₂ może "pulsować" pomiędzy stanami wymaganymi dla utleniania oraz redukcji.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Brak danych.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest ogólnie stosowana.

Ekonomika

Pod warunkiem, że wstępny projekt jest poprawny oraz zapewnia systemy i wyposażenie do sterowania pierwotnym i wtórnym dopływem powietrza, dodatkowe wyposażenie nie jest zwykle konieczne, a zatem nie są ponoszone żadne dodatkowe koszty. Jeśli wymagana jest interwencja w istniejącą instalację, do sterowania i dystrybucji powietrza mogą być wymagane dodatkowe wentylatory a także kanały doprowadzające.

Obniżenie poziomu generowanych NO_x może również obniżyć koszty operacyjne oraz poprawić osiągalny poziom redukcji NO_x związany z kolejnymi technikami dodatkowymi (SNCR lub SCR). Optymalizacja powietrza wtórnego może zmniejszyć objętość spalin a tym samym odpowiednio zmniejszyć rozmiary instalacji do FGC. [64. TWG 2003]

Siła napędowa wdrażania

Stabilne warunki spalania i lepsze wypalenie popiołu paleniskowego.

Przykładowe zakłady

Wszystkie spalarnie.

Przykładem modernizacji mającej na celu poprawę w ramach tej sekcji jest Toulon (FR), linie 1 i 2 (2 x 12 t/godz.), gdzie wymieniono wentylatory i dysze wtryskowe.

Literatura źródłowa

[2. InfoMil 2002], [64. TWG 2003]

4.3.5 Wstępne podgrzewanie powietrza pierwotnego i wtórnego

Opis

Celem spalania odpadów o niskiej wartości opałowej (głównie), do wstępnego podgrzewania powietrza pierwotnego i wtórnego, stosuje się wymienniki ciepła. Wstępnie podgrzane powietrze pierwotne wykorzystuje się do suszenia odpadów o niskiej wartości opałowej, natomiast wstępne podgrzewanie powietrza wtórnego jest korzystne do zapewnienia stabilnych warunków spalania, poprzez utrzymanie temperatury strefy utleniania pieca na poziomie projektowym.

Szczegóły techniczne

Podgrzewanie powietrza pierwotnego pomaga usprawnić proces spalania poprzez suszenie odpadów. Jest to szczególnie ważne w przypadku spalania odpadów o niskiej wartości opałowej / wysokiej wilgotności, ponieważ mogą one wymagać dodatkowego suszenia. [\[2. InfoMil 2002\]](#), [\[64. TWG 2003\]](#)

Podgrzewanie powietrza wtórnego może poprawić wydajność oraz wspomóc proces spalania w przypadku odpadów o niskiej wartości opałowej, poprzez zapewnienie odpowiedniej i równomiernej temperatury w strefie spalania gazu.

Wstępne podgrzewanie powietrza do spalania w spalarniach odpadów komunalnych typu rusztowego odbywa się zazwyczaj za pomocą pary o niskim ciśnieniu, a nie poprzez wymianę ciepła z spalin (ze względu na skomplikowanej konstrukcji kanały powietrzne a także problemy z korozją).

Natomiast wstępne podgrzewanie powietrza do spalania w pęcherzykowym złożu fluidalnym odbywa się najczęściej za pomocą spalin, w drodze wymiany ciepła, ale czasami również za pomocą pary wodnej lub paliwa pomocniczego. [\[64. TWG 2003\]](#)

Wstępne podgrzewanie powietrza do spalania nie stosuje się generalnie w piecach obrotowych.

W niektórych instalacjach ciepło potrzebne do podgrzania pobierane jest z powietrza chłodzącego znajdującego się za materiałem ogniotrwałym.

Ciepło dostarczane wraz z dopływem powietrza nie jest tracone, ponieważ może być później odzyskane w kotle. [\[74. TWG 2004\]](#)

Korzyści dla środowiska

Bardziej stabilne spalanie prowadzi do zmniejszenia emisji do powietrza.

Możliwa jest modernizacja starych systemów pary wodnej na systemy o lepszej jakości.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Ogrzewanie powietrza pierwotnego i ewentualnie wtórnego jest szczególnie korzystne w przypadku spalania odpadów o niskiej wartości opałowej. W przypadku powietrza pierwotnego jest to spowodowane tym, że wspomaga ono suszenie i zapalenie się odpadów. W przypadku powietrza wtórnego jest to spowodowane tym, że pomaga ono w utrzymaniu temperatury w strefie wypalania gazu.

Powietrze pierwotne jest podgrzewane do temperatury 150 °C drogą jego mieszania z powietrzem chłodzącym materiał ogniotrwały w piecu. [\[74. TWG 2004\]](#)

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Tam, gdzie ciepło jest pobierane z procesu spalania, oddziaływanie na procesy i środowisko będzie minimalne. Jeżeli wykorzystywane są zewnętrzne źródła paliwa, czynnikiem oddziałującym będzie zużycie zewnętrznej energii oraz dodatkowe emisje (np. NO_x, pyłów).

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Zakłady spalające odpady o wysokiej wartości opałowej potrzebują chłodzenia powietrzem i dlatego nie będą korzystać z tej techniki.

Ekonomika

Konstrukcja systemu dla nowych instalacji zwiększa koszt wymiennika ciepła oraz systemów obiegu pary/kondensatu. Wpływ tak określonych kosztów dodatkowych zależy od skali instalacji.

Koszty kapitałowe urządzeń do wymiany ciepła mogą być kompensowane oszczędnościami w zużyciu paliw pomocniczych.

Siła napędowa wdrażania

Lepsza wydajność spalania, szczególnie w przypadku odpadów o niskiej wartości opałowej.

Przykładowe zakłady

Stosowana we wszystkich europejskich spalarniach.

Literatura źródłowa

[2. InfoMil 2002], [64. TWG 2003]

4.3.6 Zastąpienie części powietrza wtórnego spalinami z recyrkulacji

Opis

Spaliny są recyrkulowane celem optymalizacji turbulencji w komorze spalania przy zachowaniu optymalnego stosunku powietrza do odpadów.

Szczegóły techniczne

Jednym z celów wprowadzania powietrza wtórnego (oprócz utleniania palnych związków spalin) jest poprawa mieszania i homogeniczności spalin. Jednakże zastosowanie większej ilości powietrza wtórnego niż jest to konieczne powoduje zwiększenie ilości spalin. Zmniejsza to efektywność energetyczną zakładu, co prowadzi do konieczności stosowania większej ilości urządzeń do oczyszczania spalin, a tym samym do wyższych kosztów.

Poprzez zastąpienie części powietrza wtórnego recyrkulowanymi spalinami, ich objętość za punktem recyrkulacji oraz w punkcie emisji ulega zmniejszeniu. Zmniejszenie dopływu świeżego azotu (z powietrza) do pieca może przyczynić się również do zmniejszenia emisji NO_x.

Generalnie, punkt poboru spalin do recyrkulacji znajduje się za FGC, a to celem ograniczenia korozji oraz innych problemów eksploatacyjnych spowodowanych nieprzetworzonymi spalinami. Wiąże się to z pewnymi stratami energii a więc system FGC musi być zaprojektowany dla większej ilości przepływającego gazu.

Jeśli spaliny są pobierane do recyrkulacji przed systemem FGC, wówczas wielkość tego systemu może zostać zredukowana, [64. TWG 2003]. Musi on być jednak nastawiony na przetwarzanie większej ilości spalin o zwiększonej koncentracji zanieczyszczeń, a zatem istnieje większe ryzyko erozji, korozji i zanieczyszczenia. [74. TWG 2004]

Zobacz również sekcję 4.3.4 dotyczącą optymalizacji dostarczania powietrza wtórnego.

Korzyści dla środowiska

- Poprawa efektywności energetycznej (wzrost o około 0.75 % odnotowano w zakładzie CHP).
- Redukcja wytwarzania NO_x o 10 - 30% (jeśli nieprzetworzony gaz zawiera duże ilości NO_x).
- Redukcja zużycia odczynników zmniejszających emisje NO_x.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Przy dużej ilości nadmiaru powietrza, około 50% wymaganej ilości powietrza wtórnego może zostać zastąpione przez spaliny z recyrkulacji. Gdy gaz z recyrkulacji składa się z nieprzetworzonych spalin, powoduje to zmniejszenie o 10-15% całkowitej ilości powietrza potrzebnej do spalania oraz całkowitej ilości spalin do przetworzenia. Obciążenie systemu przetwarzania spalin może zostać proporcjonalnie zmniejszone, a stężone zanieczyszczenia w zmniejszonej ilości spalin mogą zostać oczyszczone w ten sam sposób (co prowadzi również do zmniejszenia emisji), i efektywność cieplna wzrasta o około 1-3 %.

Odnotowano korozję w przewodach recyrkulacyjnych. Stwierdzono również, że można ją przewyciężyć poprzez eliminację połączeń oraz zastosowanie skutecznej izolacji przewodów zapobiegającej powstawaniu zimnych punktów, w których może szybko dojść do kondensacji spalin. Korozja może również wystąpić w kotle, z powodu niższego poziomu tlenu w spalinach.

[21. FNADE, 2002] Ryzyko korozji zostaje zmniejszone, jeżeli gorętsze części kotła będą pokryte specjalną okładziną. Po zamontowaniu tej okładziny można zredukować nadmierne stężenie O₂ na wyjściu z kotła, nawet bez recyrkulacji spalin. Zmniejsza to korzyści płynące z recyrkulacji spalin.

W niektórych niemieckich instalacjach MSWI z zainstalowanymi systemami recyrkulacji spalin odnotowuje się, że ze względów eksploatacyjnych recyrkulacja jest zatrzymana lub wyłączona z eksploatacji. Zmniejszony przepływ spalin w większości przypadków nie jest brany pod uwagę przy wymiarowaniu instalacji FGC. Wielu operatorów decyduje się na wymiarowanie instalacji FGC bez recyrkulacji spalin, tak aby objąć wszystkie możliwe warunki pracy. [74. TWG 2004]

Oddziaływanie na procesy i środowisko

W zależności od precyzyjnej konstrukcji pieca, przy wysokim współczynniku wymiany, efektywna redukcja tlenu może prowadzić do zwiększenia poziomu CO (i innych produktów niepełnego spalania). Należy zatem zadbać o optymalizację parametrów wymiany.

W piecu obrotowym może wystąpić negatywny efekt chłodzenia, a w niektórych przypadkach, zwłaszcza w przypadku odpadów o niższej wartości opałowej, do utrzymania temperatury pieca obrotowego konieczne jest zastosowanie paliwa uzupełniającego.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest stosowana w nowych spalarniach odpadów. Aby ją wprowadzić istniejących zakładach należy posiadać odpowiednią ilość miejsca na kanały.

Technika ta ma ograniczone zastosowanie w przypadku HWI. W przypadku pieców obrotowych HWI, potrzeba wysokiej zawartości O₂ ogranicza możliwość zastosowania recyrkulacji spalin. [74. TWG 2004]

Ekonomika

Technika ta wiąże się z dodatkowymi inwestycjami w nowo budowanych zakładach oraz znacznymi kosztami modernizacji w już istniejących. [74. TWG 2004]

Siła napędowa wdrażania

Redukcja emisji NO_x przy użyciu technik podstawowych.

Przykładowe zakłady

Stosowana w niektórych nowo budowanych oraz istniejących europejskich zakładach.

Literatura źródłowa

[2. InfoMil 2002], [21. FNADE, 2002], [64. TWG 2003]

4.3.7 Stosowanie powietrza wzbogaconego w tlen

Opis

Stosowanie powietrza wzbogaconego w tlen, lub technicznie czystego tlenu, jako powietrza do spalania.

Szczegóły techniczne

Spalarnia odpadów komunalnych Arnoldstein w Austrii prowadzi proces, w którym wykorzystuje się powietrze wzbogacone tlenem do zintegrowanego spiekania popiołu w złożu odpadów znajdującym się w piecu zbudowanym na bazie rusztów. Wzbogacenie tlenem powoduje wyższe temperatury złoża, które topi lub spieka 50-80% popiołu paleniskowego. Frakcja nieroztopiona chroni ruszt przed zatkanie. Kamera na podczerwień służy do monitorowania i kontroli temperatury złoża odpadów poprzez regulację ogrzewania oraz jego wzbogacanie tlenem. Stosuje się ruszty o działaniu przeciwnym względem siebie, gdyż utrzymują one warstwę nieroztopionego popiołu, która chroni ruszt przed działaniem wyższych temperatur. Niecałkowicie spieczona frakcja jest oddzielana w procesie przesiewania i płukania, a następnie ponownie wprowadzana do procesu spalania. Ponadto do etapu spalania można recyrkulować 75% popiołu lotnego (popiół paleniskowy i popiół z pierwszego stopnia odpylania - nie pozostałości FGC z oczyszczania kwaśnych gazów). Wysokie temperatury złoża i mokra obróbka

mechaniczna odprowadzaniego granulowanego popiołu gwarantują, że recyrkulacja popiołu lotnego nie zanieczyści produktu granulowanego. [91. Austria 2015]

Wzbogacone tlenem powietrze wykorzystywane jest również do spalania gazów powstających w niektórych zakładach zgazowania i pirolizy. Często jest to część systemów przeznaczonych do podwyższenia temperatury spalania celem stopienia popiołów pochodzących ze spalania. W takich przypadkach początkowy reaktor do pirolizy lub zgazowania jest często fizycznie oddzielony od kolejnej komory spalania. Bogate w paliwo gazy syntezowe przechodzą do strefy spalania, gdzie wzbogacone w tlen powietrze jest dodawane z kontrolowaną prędkością tak, aby osiągnąć pożądane warunki spalania. W zależności od ilości dodanego tlenu oraz jakości gazu, temperatury w komorze spalania wynoszą 850 - 1 500 °C, choć w niektórych szczególnych przypadkach stosuje się temperatury do 2 000 °C (lub nawet wyższe). W temperaturze powyżej 1 250 °C, następuje stopienie się popiołów lotnych.

Wzbogacanie tlenem jest również stosowane w małych zakładach, które na ogół przeznaczone są do niszczenia konkretnych (często niebezpiecznych) strumieni odpadów. W mniejszych zakładach (np. zakłady montowane na przyczepach) proces może być stosowany na zasadzie wsadowej, w zamkniętym reaktorze i przy podwyższonym ciśnieniu (8 barów) oraz temperaturze (np. w zakresie 2 000 - 8 000 °C).

Korzyści dla środowiska

Zakład MWI w Arnoldstein w Austrii wykorzystuje wzbogacone w tlen powietrze do:

- wytworzenia całkowicie spieczonej, dobrze spalonej, słabo wymywalnej pozostałości;
- redukcji całkowitych emisji dioksyn z zakładu (< 5 µg I-TEQ/tonę wsadu odpadów);
- redukcji objętości spalin;
- redukcji objętości popiołów lotnych.

Szybkie i wydajne spalanie może prowadzić do bardzo niskich i kontrolowanych emisji zarówno CO jak i innych substancji związanych ze spalaniem.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Podczas gdy zastąpienie w powietrzu azotu tlenem pomaga zmniejszać potencjał tworzenia się termicznego NO_x tak długo, jak zastępowana jest wystarczająca ilość azotu, zwiększone ciśnienie cząstkowe tlenu w strefie reakcji powoduje wzrost temperatury płomienia, co może prowadzić do zwiększonego wytwarzania NO_x. Dlatego należy zadbać o to, aby zamiana azotu nie powodowała ogólnego wzrostu poziomu NO_x.

W porównaniu z technologiami spalania zasilanymi zwykłym powietrzem wytwarzana jest mniejsza ilość gazów odlotowych. Jednak w temperaturach powyżej 1 500 °C korzyść ta może zostać zmniejszona ze względu na rozszerzalność cieplną spalin. Wyższa koncentracja zanieczyszczeń, wynikająca z mniejszej objętości spalin, może być usuwana za pomocą mniejszych urządzeń do FGC. Jednakże taka adaptacja wymaga szczególnych modyfikacji w zakresie oczyszczania spalin w już istniejących zakładach. Mniejsze gabaryty sprzętu do FGC mogą w pewnym stopniu zmniejszyć zużycie surowców (np. NH₃ stosowanego w SCR/SNCR do redukcji NO_x). Jednakże w przypadku zanieczyszczeń zawartych we wsadzie odpadów, takich jak Cl₂, ilość wytwarzanych zanieczyszczeń, a tym samym zużycie surowców w systemie FGC są proporcjonalne do prędkości podawania odpadów, a wzrost stężenia zanieczyszczeń w spalinach może mieć na nie niewielki wpływ. Odnotowano, że przy zastosowaniu tej techniki można również zmniejszyć wielkość kotła. [74. TWG 2004]

Podaje się, że stosowanie temperatur przekraczających 1 500 - 2 000 °C przynosi jedynie ograniczone korzyści dodatkowe w zakresie redukcji emisji. [64. TWG 2003]

Zakład MWI w Arnoldstein w Austrii od 2004 roku z powodzeniem wykorzystuje powietrze wzbogacone w tlen. Roczna wydajność wynosi ok. 94 000 t/rok, średnia zawartość tlenu wynosi ok. 26%, a temperatura na ruszcie wynosi ok. 1 100-1 200 °C, podczas gdy temperatura w komorze spalania jest obniżana za pomocą recyrkulacji spalin.

Spalarnia w Arnoldstein wytwarza całkowicie spieczoną, dobrze spaloną, słabo wymywalną pozostałość, jak to przedstawiono w tabeli 4.8.

Tabela 4.8 Jakość pozostałości przy zastosowaniu do spalania powietrza wzbogaconego (zawartość O₂ 25-27 %)

	Nieprzetworzony popiół paleniskowy ze spalania z niewzbogaconym w O ₂ powietrzem	Nieprzetworzony popiół paleniskowy ze spalania z wzbogaconym w O ₂ powietrzem	Popiół paleniskowy przetworzony mechanicznie na mokro pochodzący ze spalania z udziałem wzbogaconego w O ₂ powietrza
Straty podczas zapłonu (%)	2	1	0.1
Wymywanie ołowiu (mg/l)	0.2	0.05	0.01
Zawartość PCDD/F (ng TEQ/kg)	15	8	0.3
Źródło: [91. Austria 2015]			

Przy wyższych temperaturach (powyżej 1 000 °C), konserwacja pieca oraz materiałów ogniotrwałych jest na ogół znacznie bardziej rozbudowana. Wyższe temperatury mogą powodować znaczne trudności w doborze materiału i użytkowaniu. W celu obniżenia temperatury spalin do odpowiedniego dla FGC poziomu wymagane jest intensywne chłodzenie gazów. Roztopiony popiół lotny wymaga systemów zapewniających jego usunięcie (np. wirowy przepływ gazu), tak aby nie miał on kontaktu z dalej położonymi wymiennikami ciepła i nie powodował ich zatkania/erozji.

Dodatkowe zagrożenia dla bezpieczeństwa wynikają z produkcji, magazynowania oraz stosowania czystego tlenu.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

- Zwiększone zużycie energii do produkcji czystego tlenu lub powietrza wzbogaconego w tlen.
- Zmniejszona odporność materiałów ogniotrwałych oraz zwiększona korozja kotła.
- Do oddzielenia metali od spieczonych popiołów paleniskowych, w celu ich późniejszego recyklingu, wymagane jest dodatkowe kruszenie.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta może nie mieć zastosowania do istniejących instalacji ze względu na istotne zmiany konstrukcyjne wymagane w komorze spalania, obszarach wymiany ciepła a także w wielkości systemów do FGC. Przy niskich poziomach dodawania tlenu, zmiany projektowe mogą być bardziej ograniczone, ale wpływa to również na potencjalne korzyści z zastosowania tej techniki.

Technikę można stosować w istniejących zakładach, gdy:

- emisje związane ze spalaniem są wysokie lub trudne do kontrolowania; oraz
- Ilość doprowadzanego powietrza już jest duża.

Ma ona również zastosowanie do spalania materiałów, które są bardzo odporne na spalanie, np. PCB, ze względu na wysoką wydajność spalania.

Wzbogacanie tlenem nie jest powszechnie stosowane ze względu na dodatkowe koszty oraz związane z wytwarzaniem tlenu oddziaływanie na procesy i środowisko, a także ze względu na dodatkowe wyzwania operacyjne, takie jak postępowanie ze stopionymi popiołami lotnymi.

Ekonomika

Produkowanie czystego tlenu jest kosztowne. Powietrze wzbogacone tlenem jest tańsze, ale nadal powoduje dodatkowe koszty w porównaniu z powietrzem normalnym. Koszty te mogą być

niższe, jeśli spalarnia znajduje się na terenie przemysłowym, gdzie tlen jest łatwo dostępny. Obciążenia elektryczne przy wytwarzaniu tlenu na terenie zakładu są znaczne. Zapotrzebowanie na energię elektryczną różni się w zależności od wielkości instalacji, temperatury i wymagań dotyczących czystości tlenu, ale generalnie jest rzędu 0.5-2 MW_e.

W zakładzie MWI w Arnoldstein wzbogacanie tlenem spowodowało wzrost kosztów kapitałowych o 10%. Wzrost ten jest równoważony 25-procentowym wzrostem ilości przetwarzanych odpadów (objętość spalin nie ulega zmianie) oraz ewentualnym obniżeniem kosztów usuwania pozostałości (w zależności od sytuacji prawnej), przy czym możliwe jest uzyskanie przychodów ze sprzedaży popiołu granulowanego jako substytutu kruszywa.

Zmniejszenie objętości spalin może powodować zmniejszenie wielkości i kosztów eksploatacyjnych urządzeń do ich przetwarzania.

Siła napędowa wdrażania

Zgłoszono, że technika ta jest stosowana do przetwarzania niektórych rodzajów odpadów niebezpiecznych, których unieszkodliwianie jest skądinąd kosztowne.

Według raportów technika ta została zastosowana w istniejących zmodernizowanych zakładach, które przed modernizacją miały problemy z wydajnością spalania.

Inną siłą napędową jest zmniejszenie kosztów unieszkodliwienia spieczonych pozostałości ze względu na ich niską zdolność do wymywania oraz możliwy przychód ze sprzedaży granulowanego popiołu, jako zamiennika kruszywa.

Przykładowe zakłady

Zakład AT06R, spalarnia odpadów komunalnych w Arnoldstein (AT), od 2004 roku z powodzeniem wykorzystuje wzbogacone tlenem powietrze.

Wzbogacanie tlenem jest stosowane w Japonii w procesach zgazowania oraz pirolizy odpadów komunalnych i przemysłowych, jako część systemów, które przeznaczone są do topienia popiołów pochodzących ze spalania (np. Asahi Clean Centre, Kawaguchi City, Tokio).

W SEABO (region Bolonia (IT)) działa obecnie pierwsza pełnowymiarowa jednostka spalania HW. Do tej pory była ona wykorzystywana do przetwarzania m.in. takich materiałów jak: farby z utwardzaczem, rozpuszczalniki chlorowcowe, tusze, osady z rafinerii, opakowania z tworzyw sztucznych, zanieczyszczone szmaty, oleje zawierające PCB, pestycydy oraz przeterminowane leki.

W Niemczech wzbogacanie powietrza w tlen stosowane jest w zakładzie DE19R, spalarni płynnych i gazowych odpadów niebezpiecznych, działającej w zakładzie chemicznym AGV w Trostberg.

Literatura źródłowa

[18. Włochy, 2002], [2. InfoMil 2002], [64. TWG 2003], [91. Austria 2015]

4.3.8 Spalanie w wyższych temperaturach (żużlowanie)

Opis

Odpady są spalane w temperaturze wyższej niż 1 100 °C celem osiągnięcia wysokiej wydajności niszczenia oraz wytworzenia zeszkłonego popiołu paleniskowego.

Szczegóły techniczne

W Europie technika ta jest najczęściej stosowana w piecach obrotowych przetwarzających odpady niebezpieczne. Jednak zasada działania w podwyższonej temperaturze może być w pewnym stopniu stosowana w innych typach pieców. Na przykład wyższe temperatury są czasami stosowane za złożami fluidalnymi, do których trafiają odpady inne niż niebezpieczne (zob. sekcja 2.3.4.4).

Temperatura spalania przez kilka sekund wzrasta do 1 100-1 400 °C, ponieważ wszystkie odpady o wysokiej wartości opałowej wprowadzane są przez przednią ścianę pieca. Oznacza to, że temperatura spalin utrzymuje się na poziomie powyżej 1 050 °C, dopóki nie przepłyną one przez wyjście z wtórnej komory spalania. Następnie spaliny trafiają do kotła podgrzewającego odpady i ostatecznie przechodzą przez system oczyszczania spalin.

Żelazo, szkło, aluminium oraz inne materiały stałe nieorganiczne tworzą w piecu obrotowym mieszaninę stopionego popiołu paleniskowego. Ten płynny popiół następnie powoli przepływa w kierunku wylotu z pieca, gdzie wpada do basenu schładzającego, umieszczonego pod wtórną komorą spalania. Tutaj płynny popiół paleniskowy ulega w wodzie szybkiemu zestaleniu. Powstaje drobno granulowany popiół, zeszlony i o słabych właściwościach wymywających. Ze względu na efekt granulacji, całkowita objętość wytworzonego popiołu paleniskowego jest mniejsza niż w przypadku spalania konwencjonalnego.

Korzyści dla środowiska

- Materiały organiczne są całkowicie spalane. Zawartość substancji organicznych w popiele paleniskowym wynosi zazwyczaj mniej niż 1%.
- Niższa zawartość węglowodorów i CO w spalinach.
- Wyższa destrukcja PCB.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Wyższe temperatury wymagają dobrej jakości wykładziny ogniotrwałej. Ponadto, podczas pracy potrzebna jest zestalona warstwa żużla. Dodatkowo:

- powietrze do spalania może wymagać wstępnego podgrzania;
- membranowe ściany kotła muszą być chronione przed wyższą temperaturą za pomocą materiałów ogniotrwałych;
- korozja wysokotemperaturowa może być problemem;
- stopiony żużel/popiół lotny może powodować problemy eksploatacyjne w obszarze pieca oraz w obszarach wymiany ciepła.

Niskie ilości resztkowe węglowodorów i CO zależne są od kombinacji mieszania spalin (turbulencji), czasu przebywania oraz temperatury. Zasilanie odpadami jednorodnymi również ma istotny wpływ. Dlatego też samo tylko spalanie w wyższej temperaturze nie gwarantuje dobrego wypalenia gazów (tzn. niskiego poziomu CO i VOC). W wyższych temperaturach prędkość gazu jest większa, a tym samym czas przebywania w piecu krótszy. Dlatego też, aby osiągnąć wymagany poziom wydajności, ważna jest optymalizacja wszystkich kluczowych parametrów.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

- Wzmożone tworzenie się NO_x, z powodu wyższych temperatur.
- Zwiększone zużycie paliwa wspomagającego w przypadku, gdy energia dostarczana przez samo spalanie odpadów jest niewystarczająca do osiągnięcia wyższej temperatury spalania.
- Zwiększona ilość metali w spalinach. [40. EURITS, 2003]

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta ma zastosowanie głównie w piecach obrotowych, spalających odpady niebezpieczne o wyższych wartościach opałowych (średnia wartość zazwyczaj powyżej 15 MJ/kg), np. te, które zawierają różne rozpuszczalniki i oleje odpadowe.

Ekonomika

Dodatkowe koszty wynikają z:

- potrzeby użycia pieca chłodzonego wodą celem uniknięcia wysokich kosztów konserwacji;
- konieczności stosowania paliwa pomocniczego celem utrzymania wysokich temperatur;
- konieczności modyfikacji pieca celem zatrzymania ciepła;
- konieczności przetwarzania zwiększonej ilości metali w spalinach, ponieważ w wyższych temperaturach wzrasta ich napięcie parowe. [74. TWG 2004]

W niektórych przypadkach zrezygnowano ze stosowania wyższych temperatur ze względu na koszty związane z konserwacją materiałów ogniotrwałych.

W zależności od zastosowanych testów wmywania lub innych lokalnych norm, popiół paleniskowy wytworzony w procesie wysokotemperaturowego spalania może być sklasyfikowany jako materiał inny niż niebezpieczny. Pozwala to obniżyć koszty składowania, gdyż popiół paleniskowy może być w takim układzie transportowany na składowisko odpadów innych niż niebezpieczne (pod pewnymi warunkami), lub nawet sprzedany do wykorzystania przy budowie dróg. W przypadku zastosowania w budownictwie konieczna może być znajomość całkowitej zawartości metali ciężkich, a ich wpływ może być oceniany przez porównanie z innymi materiałami stosowanymi zwykle do tego celu. [\[74. TWG 2004\]](#)

Siła napędowa wdrażania

Technika ta jest stosowana:

- tam gdzie wymagana jest gwarancja bardzo wysokiej jakości niszczenia;
- tam gdzie wymagany jest zeszlony popiół paleniskowy.

Przykładowe zakłady

Ekokem (FI) oraz Kommunikemi (DK).

Literatura źródłowa

[\[20. EKOKEM, 2002\]](#), [\[64. TWG 2003\]](#)

4.3.9 Zwiększanie wypalenia odpadów

Opis

Wypalenie odpadów zwiększa się za pomocą następujących technik:

- obracanie i mieszanie odpadów w piecu;
- stosowanie pieców obrotowych;
- stosowanie złożów fluidalnych;
- odpowiedni czas przebywania odpadów w strefie spalania pieca;
- konstrukcja pieca zatrzymująca promieniowanie ciepłe;
- optymalizacja dostarczania oraz dystrybucji powietrza pierwotnego;
- dodawanie innych odpadów/paliwa celem wspomoczenia efektywnego spalania;
- redukcja rozmiarów większych cząstek odpadów.

Szczegóły techniczne

Odpady podawane do pieca muszą być dobrze wymieszane i pozostawać w piecu wystarczająco długo, aby zostać skutecznie spalone, pozostawiając w ten sposób pozostałości o niskiej zawartości węgla organicznego. Ponadto, dostarczenie odpowiedniej ilości dobrze rozdysponowanego powietrza pierwotnego, niepowodującego nadmiernego chłodzenia, będzie wspomagać ten proces.

Dłuższa ekspozycja odpadów na podwyższone temperatury w komorze spalania, wyższe temperatury złoża i fizyczne mieszanie się odpadów - wszystko to składa się na to, że wytwarzane popioły mają niską zawartość składników organicznych.

Zastosowanie tych technik może spowodować, że poziom zawartości węgla organicznego w popiele wyniesie poniżej 1%.

Poziom wypalenia osiągalny przy zastosowaniu dowolnej techniki będzie zależał od charakterystyki spalanych odpadów. Właściwości fizyczne odpadów będą miały również decydujący wpływ na praktyczność podawania danego rodzaju odpadów do różnych konstrukcji palenisk, np. mieszane odpady komunalne nie mogą być przetwarzane w złożu fluidalnym bez wstępnego przetworzenia.

Utrzymanie procesu w ramach jego przepustowości termicznej zapewnia również właściwe spalanie odpadów, dobrą jakość wytwarzanych pozostałości oraz możliwość ich późniejszego wykorzystania.

Zazwyczaj lepsze spalanie osiąga się tam, gdzie odpady są rozdrobnione i ujednorodnione (np. poprzez mieszanie). Wstępne przetworzenie wysoce niejednorodnych odpadów może poprawić ich wypalenie.

Korzyści dla środowiska

- Dokładna destrukcja odpadów.
- Lepsze możliwości wykorzystania stałych pozostałości.
- Zwiększony odzysk energii.

Poprawa wypalenia obniża zawartość węgla resztkowego, a tym samym TOC. TOC jest również związany z mobilnością metali w popiele. Na przykład, ługów miedzianych w postaci kompleksów organiczno-miedzianych. W związku z tym poprawa wypalania ograniczy również wymywanie miedzi.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Osiągnięte poziomy TOC w żużlu oraz popiołach paleniskowych mieszczą się w zakresie < 1-3 wt-%. W zakładach WI mierzących straty podczas zapłonu, osiągnęte poziomy LOI wynoszą < 1-5 wt-%.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Nadmierne fizyczne mieszanie się odpadów w piecu może powodować, że większe ilości niespalonego materiału zostaną przeniesione do wtórnych komór spalania. Może to prowadzić do dodatkowego zapylenia oraz wprowadzania innych zanieczyszczeń do dalszych procesów redukcji emisji. Dodatkowo, nadmierne mieszanie może prowadzić do powstawania większego przesiewu tj. przenikania niespalonego materiału przez ruszt. [74. TWG 2004]

Podwyższenie temperatury spalania wraz z temperaturą złoża paliwowego powoduje zwiększone tworzenie się CaO w popiele paleniskowym, co zwiększa jego pH. Wartość pH świeżo wytworzonych popiołów paleniskowych często przekracza 12. [38. Vehlou 2002]

Wzrost pH może również zwiększyć rozpuszczalność metali amfoterycznych, takich jak ołów i cynk, które są w dużych ilościach obecne w popiołach paleniskowych. Nadmierny wzrost pH może mieć krytyczne znaczenie. Ponieważ ołów jest amfoteryczny, może zostać rozpuszczony przy pH 11-12, a następnie wymyty. Wartość pH popiołu paleniskowego można obniżyć po fazie spalania poprzez sezonowanie.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest ogólnie stosowana.

Ekonomika

Nowe projekty mogą uwzględniać potrzebę zapewnienia skutecznego wypalenia bez znacznych dodatkowych kosztów.

Duża przebudowa komór spalania w istniejących zakładach jest kosztowna. Przebudowa może być zatem możliwa tylko wtedy, gdy planowana jest całkowita modernizacja zakładu.

Siła napędowa wdrażania

- Przepisy dotyczące ochrony środowiska.
- Zwiększona destrukcja odpadów.
- Zwiększone możliwości wykorzystania pozostałości.
- Odzyskanie pełnej wartości energetycznej odpadów.

Przykładowe zakłady

Technika stosowana w całej Europie.

Literatura źródłowa

[4. IAWG 1997], [38. Vehlou 2002], [64. TWG 2003]

4.3.10 Zmniejszanie przesiewu przez ruszt

Opis

Przesiew przez ruszt może zostać zmniejszony poprzez zaprojektowanie rusztu w taki sposób, aby jak najbardziej zminimalizować przestrzeń pomiędzy jego prętami.

Szczegóły techniczne

W paleniskach rusztowych część odpadów może wpaść przez ruszt i zostać tylko częściowo spalona. Nazywa się je "przesiewem". Zwrócenie uwagi na konstrukcję rusztu, a zwłaszcza zmniejszenie odstępów pomiędzy jego prętami, pomaga zmniejszyć ten efekt. Ilość i jakość przesiewu zależy od konstrukcji rusztu, odległości pomiędzy ruchomymi elementami i ścianami oraz od mechanizmu utrzymania szczelności. [\[74. TWG 2004\]](#)

Do zbierania przesiewu służą automatyczne systemy przenośnikowe. Zebrany materiał jest zazwyczaj magazynowany celem schłodzenia przed ponownym wprowadzeniem go do bunkra (aby uniknąć ryzyka pożaru), lub wystaniem do popielnika dennego.

Korzyści dla środowiska

- Zwiększone wypalenie odpadów.
- Lepsza jakość popiołu.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Składowanie przesiewu przed jego ponownym wprowadzeniem do głównego źródła odpadów jest bardzo ważne, Likwiduje to zagrożenie pożarowe. Można dodać wody aby zapewnić lepsze chłodzenie.

Konieczna jest regularna obserwacja celem uniknięcia zapychania się obszarów zbierania przesiewu pod rusztem, oraz celem uniknięcia zagrożeń bezpieczeństwa operatorów i personelu. [\[74. TWG 2004\]](#)

Przesiew stopionych, płonących kropeł niektórych popularnych tworzyw sztucznych (występujących w MSW), takich jak PE czy PET, może znacząco przyczynić się do zwiększenia całkowitej zawartości węgla w popiele, zwiększenia COD (ChZT) w popiele paleniskowym oraz znacznego wymywania miedzi. Wszystkie te parametry są poprawiane dzięki zastosowaniu tej techniki. [\[64. TWG 2003\]](#)

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Ryzyko pożaru przy kontakcie przesiewu z odpadami.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest ogólnie stosowana.

Ekonomika

Poprawa jakości wypalania popiołu może zmniejszyć koszty unieszkodliwiania w przypadku, gdy bez zastosowania tej techniki wypalenie popiołu nie spełnia wymagań dotyczących ponownego wykorzystania/unieszkodliwiania. [\[74. TWG 2004\]](#)

Mogą wystąpić znaczne koszty inwestycyjne związane z modernizacją istniejących zakładów oraz dodatkowe koszty operacyjne (manipulacyjne). [\[74. TWG 2004\]](#)

Siła napędowa wdrażania

- Lepsze i dokładniejsze niszczenie odpadów.
- Lepsza jakość popiołu paleniskowego.

Przykładowe zakłady

Indaver GF, Beveren (BE).

Literatura źródłowa

[\[64. TWG 2003\]](#)

4.3.11 Zastosowanie niskich prędkości gazu w piecu oraz włączenie pustych przejść przed sekcją konwekcyjną kotła

Opis

Techniki do rozważenia to:

- niska prędkość gazu w piecu;
- puste przejście pomiędzy piecem a wiązkami wymiany ciepła.

Szczegóły techniczne

Piece do spalania odpadów są zazwyczaj wystarczająco duże, aby zapewnić niskie prędkości gazu oraz długi czas ich przebywania. Zgodnie z zasadą "trzech T spalania" (wystarczająco długi czas, turbulencja oraz temperatura), pozwala to na pełne spalanie gazów spalinowych oraz zapobiega zanieczyszczeniu rur kotła poprzez:

- redukcję zawartości popiołów lotnych w spalinach;
- obniżenie temperatury spalin przed zetknięciem się z wiązkami wymiany ciepła.

Zanieczyszczenie wymiennika ciepła może być również zmniejszone poprzez włączenie pustych przejść (np. ścianek wodnych pozbawionych przeszkód na drodze gazu) pomiędzy obszarem pieca głównego a wiązkami wymiany ciepła. Służy to obniżeniu temperatury gazu, a tym samym lepkości popiołu lotnego. Temperatury poniżej 650 °C przed zastosowaniem konwekcyjnego przegrzewacza powietrza zmniejszają przyczepność popiołu do rur kotła, a tym samym zapobiegają korozji. [2. InfoMil 2002], [64. TWG 2003]

Korzyści dla środowiska

Korzyści obejmują zmniejszenie emisji substancji organicznych pochodzących z etapu spalania.

Lepsza wymiana ciepła w kotłach dzięki redukcji osadów na ich rurach może prowadzić do lepszego odzysku energii.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Zmniejszenie ilości osadów w rurach i na rurach kotła powoduje poprawę dostępności procesu oraz lepszą wymianę ciepła.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Nie zidentyfikowano żadnych szczególnych skutków ubocznych, należy jednak zadbać o to, by dopływ powietrza wtórnego lub inne mechanizmy wykorzystywane do wspomaganie mieszania gazów były odpowiednie dla większych pieców.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta ma zastosowanie głównie w nowych zakładach oraz tam, gdzie przeprowadza się znaczące modernizacje istniejących pieców oraz kotłów.

Ekonomika

Większe piece są droższe w budowie.

Siła napędowa wdrażania

- Zmniejszona erozja pieca.
- Zmniejszone wytwarzanie popiołów lotnych
- Mniej wymaganych okresów konserwacyjnych.
- Dłuższa żywotność kotła.

Przykładowe zakłady

Powszechnie stosowane w odniesieniu do MSWI w Europie.

Literatura źródłowa

[2. InfoMil 2002], [64. TWG 2003]

4.3.12 Określenie wartości opałowej odpadów i jej wykorzystanie jako parametru kontrolnego spalania

Opis

Celem optymalizacji procesu spalania, w trybie online, określa się wartość LHV odpadów. Można tego dokonać np. poprzez analizę parametrów procesu, takich jak stosunek ilości wytworzonej pary, lub za pomocą bilansu masowego mierzącego koncentrację w spalinach CO₂, CO i H₂O.

Szczegóły techniczne

Celem optymalizacji procesu spalania wyznaczana jest wartość LHV odpadów. Można tego dokonać np. poprzez analizę parametrów procesu, takich jak stosunek ilości produkowanej pary, lub poprzez bilans masowy mierzący koncentrację w spalinach CO₂, CO i H₂O.

Rozwinięto techniki bazujące na:

- analizie retrospektywnej parametrów wydajności procesu (nie metodą predykcyjną);
- obliczeniu bilansu masowego na podstawie koncentracji CO₂, O₂ i H₂O w spalinach (nie jest to metoda predykcyjna, ponieważ opiera się na pomiarach przeprowadzonych na dalszych etapach procesu) oraz wsadach odpadów (wartości uśrednione, np. przy użyciu skali Crane'a) lub na podstawie innych mniejszych szacunkowych przepływów ciepła;
- wykorzystaniu urządzeń mikrofalowych do oceny zawartości wilgoci w odpadach w rynnie wstępnej;
- kolorze odpadów oraz wymiarach związanych z sygnałami wyjściowymi z instalacji za pomocą logiki rozmytej.

Korzyści dla środowiska

Lepsza kontrola spalania powoduje zmniejszenie emisji pochodzących z etapu spalania.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Technika ta może być stosowana jako narzędzie diagnostyczne lub do kontroli procesu. Znajomość wartości opałowej odpadów pozwala na optymalizację dopływu powietrza oraz innych krytycznych parametrów kontrolujących efektywność spalania. W przypadku odpadów niejednorodnych, jako dodatkowe parametry kontrolne można wykorzystać masę i objętość wsadu odpadów.

Kontrola właściwości odpadów może być częścią kontraktu na dostawę.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Brak raportów.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest ogólnie stosowana.

Ekonomika

Nie dostarczono danych.

Siła napędowa wdrażania

Technika ta wdrażana jest celem poprawy efektywności spalania oraz lepszego odzysku energii w zakładzie.

Przykładowe zakłady

Systemy monitoringu i pomocy on-line stosowane są w spalarniach stałych odpadów komunalnych w Holandii i w Niemczech.

Literatura źródłowa

[23. VanKessel, 2002], [64. TWG 2003], [124. Beckmann i inni 2017], [125. Pohl oraz Wen 2017]

4.4 Techniki mające na celu zwiększenie odzysku energii

4.4.1 Optymalizacja ogólnej efektywności energetycznej oraz odzysku energii

Opis

- Optymalizacja efektywności energetycznej instalacji oraz odzysku energii.
- Zabezpieczenie długoterminowych umów na dostawy ciepła i pary z dużymi odbiorcami, tak aby istniało bardziej regularne zapotrzebowanie na odzyskaną energię, a zatem można było wykorzystać większą część wartości energetycznej spalanych odpadów.
- Usytuowanie nowych instalacji w taki sposób, aby można było zmaksymalizować wykorzystanie ciepła i/lub pary wytworzonej w kotle poprzez dowolną kombinację:
 - a) wytwarzania energii elektrycznej z dostawą ciepła lub pary (np. CHP);
 - b) dostawy ciepła lub pary do wykorzystania w sieciach ciepłowniczych;
 - c) dostarczania pary technologicznej do różnych, głównie przemysłowych, zastosowań (zob. przykłady w sekcji 4.3.18).

Szczegóły techniczne

Optymalizacja efektywności zakładu polega na zmniejszeniu strat i ograniczeniu zużycia przez proces. Zwiększanie wydajności energetycznej nie jest więc równoznaczne wyłącznie z efektywnością przemiany energii. Konieczne jest również uwzględnienie energii wymaganej przez sam proces oraz możliwości jej wykorzystania.

Optymalna technika efektywności energetycznej zależy w pewnym stopniu od konkretnego miejsca oraz od warunków operacyjnych. Niektóre czynniki, które należy wziąć pod uwagę przy określaniu optymalnej efektywności energetycznej, to:

- Lokalizacja. Obecność odbiorców/ sieci dystrybucyjnej dla dostarczanej energii.
- Zapotrzebowanie na odzyskaną energię. Jest to szczególny problem w przypadku ciepła, natomiast mniejszy w przypadku energii elektrycznej.
- Zmienność popytu. Na przykład zapotrzebowanie na ciepło latem/zimą będzie się różnić. Zakłady eksportujące parę jako produkt bazowy mogą osiągnąć wyższą roczną podaż a tym samym eksportować więcej odzyskanego ciepła niż zakłady o zmiennej wydajności, które będą musiały schłodzić część ciepła w okresach niskiego zapotrzebowania.
- Klimat. Generalnie, ciepło będzie miało większą wartość w chłodniejszym klimacie (choć wykorzystanie ciepła do napędzania agregatów chłodniczych może stanowić opcję tam, gdzie istnieje zapotrzebowanie na chłodzenie/klimatyzację).
- Lokalna cena rynkowa produkowanego ciepła i energii elektrycznej. Niska cena ciepła spowoduje przejście na wytwarzanie energii elektrycznej i na odwrót.
- Skład odpadów. Wyższe stężenia substancji korozyjnych (np. chlorków) mogą powodować zwiększone ryzyko korozji, ograniczając w ten sposób parametry pary (a tym samym możliwości wytwarzania energii elektrycznej), jeśli dostępność procesu ma być utrzymana. Skład może się również zmieniać w zależności od pory roku, w tym na przykład w okresie wakacyjnym, co może powodować zmiany demograficzne na niektórych obszarach.
- Zmienność odpadów. Gwałtowne i rozległe wahania w składzie mogą prowadzić do problemów z zanieczyszczeniem i korozją ograniczając ciśnienie pary, a tym samym wytwarzanie energii elektrycznej. Zmienność składu odpadów w ciągu całego cyklu życia zakładu faworyzuje korzystanie z uniwersalnej jego konstrukcji, a nie związanej tylko z jednym rodzajem dostarczanych odpadów. [\[74. TWG 2004\]](#)

[\[28. FEAD, 2002\]](#) Optymalizacja technik odzysku energii wymaga, aby instalacja spalania została zaprojektowana tak, by spełniać wymagania odbiorców. Zakłady, które mogą dostarczać tylko energię elektryczną, będą projektowane inaczej niż zakłady, które mają możliwość dostarczania ciepła lub te, które w założeniu będą dostarczać zarówno energię cieplną, jak i elektryczną.

Tylko ciepło

Odzyskana energia może być dostarczana w postaci gorącej wody lub pary (pod różnym ciśnieniem). Możliwi odbiorcy to:

- sieci ciepłownicze (DH) i chłodnicze (rzadziej);
- przemysł, np. zakłady chemiczne, elektrownie, zakłady odsalania.

Większość odbiorców ciepła wymaga pary, z wyjątkiem DH, która może używać pary lub gorącej wody. Jeśli żaden z użytkowników pary nie jest podłączony do DH, gorąca woda może być używana jako nośnik energii.

Gorąca woda często jest przegrzewana, zwykle do temperatury 200 °C, aby ułatwić wymianę ciepła w wymiennikach.

W przypadku, gdy w sieci ciepłowniczej wykorzystywana jest para, parametry pary (ciśnienie i temperatura) na wylocie z kotła muszą być powyżej najwyższego poziomu wymaganego dla tej sieci. W przypadku instalacji dostarczających tylko ciepło, ciśnienie pary jest zwykle o 2 lub 3 bary wyższe od ciśnienia w sieci ciepłowniczej, a para jest przegrzewana o 2 bary lub o 30 °C.

Tylko energia elektryczna

Dwa czynniki przyczyniają się do zwiększenia ilości energii elektrycznej wytwarzanej przez TG (turbogenerator):

- wysoka entalpia pary, tj. jej wysokie ciśnienie i temperatura;
- niska entalpia na wylocie turbiny, która wynika z niskiej temperatury kondensacji pary.

Ta ostatnia temperatura zależy od temperatury zimnego źródła (powietrza lub wody) oraz od różnicy pomiędzy nią a temperaturą na wylocie turbiny.

Oprócz energii elektrycznej, może być produkowana gorąca woda, przy użyciu wymiennika ciepła za turbiną. [74. TWG 2004]

CHP (kogeneracja, skojarzona gospodarka energetyczna)

CHP redukuje straty energii, gdy zapotrzebowanie na ciepło jest niskie, np. latem na ciepło użytkowe. Efektywne wytwarzanie energii elektrycznej jest możliwe dzięki odpowiedniemu zlokalizowaniu upustu ciepła w obiegu cieplnym, tzn. do zasilania w ciepło wykorzystywana jest para niskociśnieniowa, pozostawiając wyższe ciśnienia do wytwarzania energii elektrycznej.

W przypadku CHP, gdy zapotrzebowanie na ciepło jest wysokie, ciśnienie na wyjściu z niskociśnieniowej części turbiny jest stałe. Ciśnienie zależy tylko od temperatury schłodzonej wody z sieci DH (lub innego powrotu), a zmienność zapotrzebowania na ciepło może zostać zrównoważona przez zbiornik akumulacyjny lub chłodnicę powietrza. [64. TWG 2003]

Gdy zapotrzebowanie na ciepło nie jest wysokie, część niskociśnieniowa turbiny musi być bardzo elastyczna, ponieważ przepływ pary wewnątrz będzie się zmieniał w zależności od zapotrzebowania na ciepło. Na przykład:

- od wartości maksymalnej: (100% produkcji energii elektrycznej, brak zapotrzebowania na ciepło), gdy 100% przepływu pary jest przekazywane do sekcji niskociśnieniowej turbiny;
- do wartości minimalnej: (maksymalne zapotrzebowanie na ciepło), gdy do ochrony turbiny wymagany jest tylko minimalny przepływ pary. [74. TWG 2004]

W przypadku kogeneracji, upust na turbinie³ zlokalizowany jest w taki sposób, że różnica pomiędzy temperaturą nasycenia na tym upuście a temperaturą na wejściu DH będzie wynosić około 10 °C. Upust zasilający DH jest zwykle kontrolowany. Oznacza to, że ciśnienie jest utrzymywane na stałym poziomie.

Korzyści dla środowiska

³ W przypadku turbin przeciwprężnych (bez sekcji niskiego ciśnienia), ciśnienie i temperatura pary to te na wylocie turbiny.

Zwiększenie odzysku oraz efektywnego dostarczania/wykorzystania wartości energetycznej odpadów zastępuje potrzebę zewnętrznego wytwarzania energii, co skutkuje zarówno oszczędzaniem zasobów, jak i unikaniem emisji i zużycia energii przez ewentualną zewnętrzną elektrownię. Maksymalizacja korzyści płynących z wartości energetycznej odpadów jest często najbardziej prawdopodobna w sytuacjach, w których stosuje się kogenerację, ponieważ może to pozwolić na zmaksymalizowanie efektów egzergii. Dzieje się tak, ponieważ kogeneracja umożliwia wykorzystanie pary o wyższym ciśnieniu do wytwarzania energii elektrycznej, podczas gdy pozostała energia pary (niższe ciśnienia) może być nadal dostarczana i wykorzystywana jako ciepło. W indywidualnych sytuacjach, gdy zasilanie kogeneracyjne nie jest możliwe, inne opcje pozwalają na znalezienie optymalnego rozwiązania. [\[64. TWG 2003\]](#)

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

[\[81. TWG 2016\]](#)

W spalarni stałych odpadów komunalnych można wytworzyć od 0.4 MWh do 0.8 MWh energii elektrycznej z jednej tony MSW, w zależności od ilości pary jako funkcji LHV odpadów, wielkości zakładu, parametrów pary oraz efektywności jej wykorzystania.

Do celów kogeneracji energii elektrycznej i ciepłej można dostarczyć dodatkowo od 1.25 MWh do 1.8 MWh (godziny pracy przy pełnym obciążeniu) ciepła na tonę odpadów, w zależności od LHV odpadów, ale kosztem zmniejszenia produkcji energii elektrycznej. W takich przypadkach możliwości dostaw ciepła w zależności od lokalizacji są bardzo istotne. Zależą one od wielu czynników, w tym:

- lokalizacji geograficznej zakładu;
- okresów wykorzystania (komunalnego) ciepła (np. w Niemczech 1 300 - 1 500 godz./rok, podczas gdy w Danii, gdzie duże rozmiary sieci ciepłowniczych umożliwiają całoroczne wykorzystanie całej produkcji ciepła, okres ten wynosi 4 000 – 8 760 godz./rok. Okres wykorzystania ciepła może zostać wydłużony poprzez dostarczenie schłodzonej wody lub pary/ciepła do celów przemysłowych.

W odniesieniu do ciepła, w sprzyjających warunkach, energia dostarczana za kotłem (w postaci gorącej wody lub pary) może zostać zwiększona do około 90% całkowitego wkładu energii do kotła (bez uwzględnienia wewnętrznych wymogów dotyczących jej zużycia) dla spalarni działającej przy normalnym obciążeniu. W przypadku gdy istnieje zapotrzebowanie na wysoką sprawność przemiany przy normalnym obciążeniu (tj. istnieją specjalne ustalenia poczynione celem stworzenia takich okoliczności), przy specjalnie przygotowanych odpadach o wysokiej wartości opałowej (powyżej 20 MJ/kg) możliwe jest odzyskanie łącznie 4-5.5 MWh ciepła na tonę odpadów [\[45. FEAD 2002\]](#). Takich poziomów wydajności nie można osiągnąć w przypadku odpadów o niższej wartości opałowej, np. nieprzetworzonych stałych odpadów komunalnych, których wartość LHV wynosi zazwyczaj od 8 MJ/kg do 12 MJ/kg.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Odzysk energii nie powinien utrudniać bezpiecznego oraz skutecznego pozbywania się odpadów. Na przykład, wysoki poziom pary może zagrozić dostępności instalacji. Wyższa efektywność energetyczna prowadzi do wyższych kosztów inwestycji i utrzymania, a także może prowadzić do mniejszej dostępności. [\[74. TWG 2004\]](#)

Szczególną uwagę należy zwrócić na konstrukcję kotła w zakresie temperatur 450-200 °C, aby zapewnić minimalizację procesu reformacji dioksyn, np. zapobieganie osadzaniu się (zob. rozdział 4.4.14).

Niektóre techniki kontroli zanieczyszczeń oraz techniki ogólne mają duże zapotrzebowanie na energię. Przykłady technik o znacznym zapotrzebowaniu na energię obejmują:

- filtr workowy: redukuje emisję pyłów (oraz innych substancji); filtry wielostopniowe zwiększają zapotrzebowanie na energię;
- SCR: redukuje emisję NOX oraz PCDD/F, ale jako system FGC, SCR wymaga energii do ogrzewania spalin;

- regeneracja HCl lub NaCl: zewnętrzne odparowanie ścieków;
- podgrzewanie: zmniejsza widoczność dymu z komina;
- topienie popiołu: poprawa jakości popiołu.

Zapotrzebowanie energetyczne samej spalarni odpadów mieści się w zakresie 2-5 % wyjściowej mocy cieplnej (dla pieców rusztowych lub obrotowych) i 4-10 % w przypadku złoża fluidalnego.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Zakres wydajności, jaki można osiągnąć, zależy w znacznym stopniu od chemicznych i fizycznych właściwości spalanych odpadów (np. MSW, HW, SS, itp.) oraz ich wartości kalorycznej. Wyższą efektywność elektryczną można zasadniczo osiągnąć w przypadku, gdy odpady zawierają niższe i/lub mniej zmienne koncentracje substancji, które mogą zwiększać korozję w kotłach. Ponieważ korozja wysokotemperaturowa staje się coraz większym problemem przy wyższych parametrach pary, potrzeba zapewnienia wysokiej dostępności instalacji może stać się czynnikiem ograniczającym.

[29. Energy subgroup, 2002] Często, gdy odzyskana energia jest wykorzystywana jako ciepło, część dostarczonego ciepła nie jest faktycznie zużywana. W niektórych przypadkach straty w systemie zaopatrującym w ciepło mogą być znaczne, ponieważ zapotrzebowanie przy pełnym obciążeniu nie jest stałe. Najczęściej odzysk ciepła może zostać zmaksymalizowany w sytuacjach gdy:

- odbiorca to przemysł, który potrzebuje całej odzyskanej energii;
- odpady mogą być składowane, a następnie spalane, gdy istnieje zapotrzebowanie na ciepło (pozwala to uniknąć marnowania wytwarzanej energii);
- potrzeby komunalnej sieci ciepłowniczej są większe niż możliwości dostawy energii przez zakład WI.

Ostatni przypadek jest najczęściej spotykany w miastach lub innych lokalizacjach o rozbudowanych sieciach ciepłowniczych.

W przypadku gdy odpowiednia sieć dystrybucji i wykorzystania ciepła nie jest dostępna, ogranicza to możliwości i przesłanki osiągnięcia wysokiego poziomu odzysku ciepła, a tym samym ogranicza zdolność procesu do eksportu całej dostępnej energii, utrudniając osiągnięcie najwyższego poziomu efektywności.

Wybór miejsca, w którym zostanie wybudowany zakład, oraz strefy klimatyczne w Europie (np. chłodniejszy klimat jest korzystny dla eksportu ciepła) mają zatem decydujące znaczenie dla określenia dostępnych rynków zbytu energii, a tym samym możliwej do uzyskania efektywności.

Szanse na zwiększenie ogólnego odzysku energii z nowych instalacji przemysłowych mogą być zatem największe w momencie wyboru jej lokalizacji. Decyzja o lokalizacji obiektu w taki sposób, aby został on podłączony do odpowiedniej sieci dystrybucji energii, będzie miała na ogół znacznie większy wpływ na ogólny odzysk energii niż decyzje technologiczne podejmowane w działającym zakładzie.

Zmniejszenie zapotrzebowania na energię w instalacji może wiązać się z decyzjami dotyczącymi rodzaju i zakresu stosowanego systemu FGC. Właściwe jest wyważone podejście do takich decyzji, tzn. uwzględniające ogólną chęć zmniejszenia zapotrzebowania na energię w instalacji oraz stopień, w jakim należy ograniczyć zanieczyszczenia.

Ekonomika

Ceny płacone za dostarczaną energię elektryczną i ciepłą mają istotny wpływ na opłacalność inwestycji dokonywanych celem zwiększenia ilości produktu wyjściowego. W niektórych przypadkach wypłacane są dotacje, które zapewniają bardzo atrakcyjne ceny za produkcję energii elektrycznej. W innych przypadkach wysokie zapotrzebowanie na ciepło może skutkować korzystnymi cenami za jego dostarczenie. W takich przypadkach dochody z tych źródeł mogą sprawić, że inwestycje kapitałowe mające na celu zwiększenie produkcji będą opłacalne.

W przypadku zakładów dostarczających wyłącznie energię elektryczną, zwiększenie

efektywności energetycznej powoduje wyższe przychody z dodatkowo wytworzonej/sprzedanej energii elektrycznej, ale wiąże się również z wyższymi kosztami inwestycji oraz często z wyższymi kosztami utrzymania. W związku z tym cena (sprzedanej) kWh będzie odgrywać kluczową rolę przy wyborze rozwiązania. [74. TWG 2004]

Dla zakładów CHP, im większa ilość energii eksportowanej jako ciepło, tym mniejsza korzyść z poprawy efektywności wytwarzania energii elektrycznej. [74. TWG 2004]

Siła napędowa wdrażania

Głównymi siłami napędowymi zwiększenia efektywności energetycznej są korzystne warunki ekonomiczne. Te z kolei są pod wpływem takich czynników jak:

- Klimat.
- Lokalizacja.
- Ceny za dostarczane ciepło oraz energię elektryczną.

Wyższe przychody ze sprzedaży energii pozwalają w szczególności na:

- Wzrost efektywności eksportu energii elektrycznej o 20-30% (np. 0.6-0.9 MWh/tonę dla nieprzetworzonych MSW o 2.9 MWh/t). Wyższe poziomy osiąga się dzięki zastosowaniu systemów wstępnego przetwarzania odpadów (należy zauważyć, że etapy wstępnego przetwarzania często wymagają energii, a nawet mogą zanegować zwiększoną efektywność zakładu już na etapie spalania, patrząc z punktu widzenia całego systemu), w tym produkcji RDF do spalania w złożu fluidalnym, oraz zwiększonych parametrów pary powyżej 40 barów i 400 °C.
- Inwestycje w sieci dostaw ciepła lub pary celem zwiększenia zdolności do wykorzystania dostępnej energii, aby zapewnić efektywność rzędu 80-90% (np. > 2.3 MWh/tonę w przypadku nieprzetworzonych mieszanych MSW o 2.9 MWh/t), dla całorocznego zapotrzebowania na ciepło.
- Inwestycje w techniki wychwytywania dostępnego ciepła ze źródeł niskotemperaturowych, które w przeciwnym razie mogłyby być nieekonomiczne, np. płuczki (skrubery) kondensacyjne oraz pompy ciepła (zob. sekcje 4.4.11 i 4.4.12).

Jeśli chodzi o optymalizację odzysku energii a także zmniejszenie ryzyka technicznego oraz zmniejszenie kosztów, dostawy ciepła są korzystne tam, gdzie jest to możliwe. Wciąż jednak zależy to od warunków lokalnych, a także w znacznym stopniu od cen sprzedaży energii elektrycznej i ciepła. Jeśli (znaczną) część ciepła nie może zostać wykorzystana, właściwym rozwiązaniem może być kogeneracja. Jeśli w ogóle nie można sprzedać ciepła, wówczas dobrą praktyką jest wykorzystanie całej dostępnej energii do produkcji energii elektrycznej.

Tylko ciepło

Zapotrzebowanie odbiorców to główna siła napędowa. Dlatego lokalizacja ma ogromne znaczenie.

Ważnym czynnikiem jest czas trwania kontraktu na dostawę ciepła. Klienci przemysłowi często nie mogą się angażować na dłużej niż na rok lub dwa lata. Nie jest to dobre rozwiązanie w przypadku spalarni, gdzie sama realizacja projektu może wymagać kilku lat, a finansowanie i eksploatacja spalarni jest zazwyczaj długoterminowe (15-25 lat).

Najkorzystniejsza sytuacja to taka, w której całe odzyskane ciepło może być sprzedane do wykorzystania w postaci ciepła. Może to mieć miejsce w przypadku odbiorców przemysłowych, lub w przypadku sieci ciepłowniczych w chłodniejszym klimacie, lub w przypadku bardzo dużych sieci ciepłowniczych o obciążeniu podstawowym wyższym od możliwości wyjściowych zakładu⁴.

⁴ Niektóre zakłady zgłaszające 100 % eksportu odzyskanego ciepła, dostarczają w rzeczywistości parę do innego przedsiębiorstwa, które następnie przekształca ją w energię elektryczną, np. w Brukseli, Belgia; Metz, Francja; Vancouver, Kanada. Spośród ośmiu niemieckich przedsiębiorstw sprzedających wyłącznie ciepło wszystkie zakłady, które sprzedają dużą ilość ciepła na tonę odpadów, dostarczają ciepło bezpośrednio do elektrowni i zazwyczaj wyłącznie jako parę technologiczną.

W przypadku, gdy nie można sprzedać całego odzyskanego ciepła, celem jest wykorzystanie pozostałej energii do wytworzenia energii elektrycznej. Decyzja ta zależy od ilości pozostałej energii oraz od inwestycji kapitałowych i kosztów uzyskania przychodów z jej sprzedaży.

Tylko elektryczność

Jeśli nie ma odbiorcy na ciepło, jedyną opcją jest wytwarzanie energii elektrycznej. Zwiększenie produkcji energii elektrycznej można osiągnąć poprzez zastosowanie wyższych parametrów pary (zob. sekcja 4.4.5). Wybór parametrów pary (wysokich lub niskich) jest najczęściej podejmowany w oparciu o względy ekonomiczne. Czynnikiem jest tu także ryzyko technologiczne, ponieważ wzrasta ono w przypadku zastosowania wyższych parametrów pary (np. powyżej 40 barów i 400 °C dla mieszanych odpadów komunalnych), a jeśli nie są one dobrze zarządzane i utrzymywane, zakład może doświadczyć przestojów w działalności.

CHP

Generalnie, kogeneracja jest rozwiązaniem pozwalającym na zwiększenie ogólnej wydajności energetycznej, gdy tylko część ciepła może zostać sprzedana. CHP jest szczególnie efektywna, gdy wymagana temperatura dostarczanego ciepła jest niska.

Przykładowe zakłady

Spalarnie odpadów komunalnych:

- Avfallskraftvärmeverket Renova, Gothenburg (SE06) i Umeå Energi AB, Umeå (SE02) - wysoki poziom wewnętrznej integracji energetycznej celem maksymalizacji dostaw ciepła do sieci lokalnych.
- Kymijärvi II, Lahti (FI03) i Rüdersdorf (DE84) - wysokie parametry pary i mocy elektrycznej.
- Indaver, Beveren (BE07) - dostawa pary technologicznej bezpośrednio dla pobliskiego przemysłu.
- UVE (*unité de valorisation énergétique des déchets*), Metz (FR57) – odbiór zdemineralizowanej wody z pobliskiego zakładu przemysłowego, przekształcenie jej w parę wodną oraz eksport z powrotem celem produkcji ciepła lub energii elektrycznej, w zależności od potrzeb zakładu.

Przykłady zakładów MSWI produkujących ciepłą wodę użytkową na potrzeby ciepłownictwa komunalnego: Rungis (FR64), La Rochelle (FR23), Laanila WtE Plant, Oulu (FI04), Vantaan Jätevoimala, Vantaa (FI05), Westenergy Oy Ab, Mustasaari (FI06), MVA Pfaffenau, Vienna (AT03).

Przykłady zakładów dostarczających parę do centralnego ogrzewania: Biomasseheizkraftwerk Zolling GmbH, Zolling (DE04), Allington Incinerator, Maidstone (UK07), Waste-to-Energy Plant HVC Dordrecht (NL03).

Przykłady zakładów dostarczających parę dla przemysłu: Nantes-West (FR).

Przykłady zakładów produkujących wyłącznie energię elektryczną: London (UK 09.1), MVA Zistersdorf, Zistersdorf (AT07).

Przykłady zakładów MSWI dostarczających parę do instalacji wytwarzających energię elektryczną: Bruksela (BE); kilka przykładów w Niemczech; Vancouver (Kanada).

Przykłady spalarni odpadów niebezpiecznych:

- BASF Ludwigshafen, Ludwigshafen (DE26), SAV Biebesheim, Biebesheim (DE29) oraz SEDIBEX, Sandouville (FR111) - wytwarzanie energii elektrycznej i dostawy ciepła;
- Fos/MER (FR104) - wytworzona para jest w całości wykorzystywana w zakładzie chemicznym;
- Niemiecki przemysł chemiczny (19 zakładów, wydajność > 500 000 t/rok) z wykorzystaniem na miejscu pary do innych procesów, energia elektryczna (4 zakłady) + dodatkowe ogrzewanie miejskie;
- AGV, Trostberg (DE19) - odzysk energii drogą ogrzewania oleju termicznego do

dalszego wykorzystania w przemyśle chemicznym;

- SAV Hamburg, (DE30) - para, która nie jest używana wewnętrznie, jest w całości eksportowana do sąsiedniego obiektu ciepłowniczego.

Spalarnia osadów ściekowych w Łodzi (PL07) wykorzystuje całe ciepło odzyskane z spalin do podgrzewania powietrza fluidalnego oraz do produkcji pary wykorzystywanej do suszenia osadów przed ich spaleniem (brak eksportu energii).

Spalarnia odpadów medycznych ZAVIN C.V., Dordrecht (NL04) dostarcza parę do pobliskiego zakładu MSW HVC Dordrecht (NL03).

[74. TWG 2004], [81. TWG 2016]

Literatura źródłowa

[29. Energy subgroup, 2002], [28. FEAD i inni 2002], [30. UBA, 2002], [5. RVF 2002], [64. TWG 2003]

4.4.2 Redukcja objętości spalin

Opis

Redukcja przepływu spalin.

Szczegóły techniczne

[28. FEAD et al. 2002] Straty w przypadku spalin związane są z odprowadzaniem ciepła z zakładu (zwykle uwzględniane są na poziomie kotła) wraz z spalinami. Rzeczywista strata zależy od przepływu spalin oraz ich temperatury (entalpii).

Jedną z możliwości zmniejszenia tych strat jest ograniczenie prędkości przepływu spalin. Aby to osiągnąć, istnieje kilka możliwości:

- zmniejszenie nadmiaru powietrza, np. poprawa dystrybucji powietrza pierwotnego i/lub wtórnego;
- recyrkulacja spalin, tzn. zastąpienie części powietrza wtórnego spalinami.

Korzyści dla środowiska

Redukcja energii zużywanej przez system oczyszczania spalin.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

W przypadku spalarni odpadów komunalnych energia tracona poprzez spaliny mieści się zazwyczaj w zakresie 13-16% wkładu energii z odpadów, ale może zostać zmniejszona do 5-8%, jeśli spaliny są schładzane do punktu nasycenia. Dodatkowa ilość energii w wysokości do 20% wkładu energii z odpadów może zostać odzyskana za pomocą ekonomizerów niskotemperaturowych i/lub kondensatorów spalin. W kotłach ze złożem fluidalnym straty na spaliny wynoszą 8-9%.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Ograniczenie przepływu gazów poprzez zmniejszenie nadmiaru powietrza i recyrkulację spalin może zwiększyć ryzyko korozji. Zbyt duża redukcja może zagrozić spalaniu gazów pozostawiając w spalinach produkty niepełnego spalania.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest ogólnie stosowana. Zakres, w jakim można ograniczyć przepływ spalin, ograniczony jest potrzebą osiągnięcia całkowitego wypalenia się odpadów oraz, na przykład przy zastosowaniu recyrkulacji spalin, ryzykiem korozji.

Ekonomika

Nie dostarczono danych.

Siła napędowa wdrażania

Zmniejszenie ogólnego zużycia energii procesowej oraz zwiększenie wykorzystania energii.

[\[74. TWG 2004\]](#)

Przykładowe zakłady

Wiele zakładów w Europie.

Literatura źródłowa

[\[28. FEAD i inni 2002\]](#), [\[64. TWG 2003\]](#)

4.4.3 Redukcja ogólnego zużycia energii procesowej

Opis

- Zastosowanie zintegrowanego podejścia do całościowej optymalizacji energetycznej instalacji zamiast optymalizacji poszczególnych jednostek procesowych [\[74. TWG 2004\]](#).
- Umieszczanie urządzeń wysokotemperaturowych przed urządzeniami o niższej lub obniżających temperaturę.
- Zastosowanie wymienników ciepła do redukcji energii wejściowej.
- Wykorzystanie energii wytwarzanej przez zakład WI, która w przeciwnym została by stracona, zamiast korzystania z zewnętrznych źródeł energii.
- Zastosowanie urządzeń obrotowych z regulacją prędkości obrotów.
- Stosowanie układów hamulcowych z odzyskiem energii.

Szczegóły techniczne

Sam proces spalania wymaga energii do pracy instalacji. Energia ta może być odzyskana z odpadów. Ilość potrzebnej energii zależy od rodzaju spalanych odpadów oraz projektu instalacji.

Zmniejszenie wymagań energetycznych instalacji musi być zrównoważone potrzebą zapewnienia skutecznego spalania, przetwarzania odpadów oraz kontroli emisji (w szczególności do powietrza).

Głównymi elementami znacznego zużycia energii procesowej są:

- wstępne przetwarzanie odpadów (rozdrabniacze itp.);
- urządzenia do transportu/ładowania odpadów (np. pompy/dźwigi i podajniki chwytakowe/ślimakowe);
- paliwa do wspomaganie spalania oraz rozruchu/wyłączenia (najbardziej popularne w przypadku odpadów o niskiej wartości opałowej);
- wentylatory nawiewowe i wyciągowe celem likwidujące spadki ciśnienia i dla powietrza do spalania;
- skraplacze chłodzone powietrzem;
- ogrzewanie spalin po ich mokrym przetwarzaniu (które schładza spaliny bardziej niż układy półmokre i suche);
- ponowne podgrzanie spalin przed określonymi urządzeniami kontrolującymi zanieczyszczenie do atmosfery (np. filtry workowe, systemy SCR);
- ponowne podgrzanie spalin przed ich ostatecznym odprowadzeniem, aby zmniejszyć widoczność emisji z komina;
- zapotrzebowanie na energię elektryczną innych urządzeń.

W wielu przypadkach, szczególnie w przypadku zmiany technologii FGC, im niższe są wymagania dotyczące emisji, tym więcej energii jest zużywane przez system FGC. Dlatego też ważne jest, aby przy dążeniu do obniżenia poziomów emisji uwzględnić wpływ zwiększonego zużycia energii na procesy oraz środowisko.

Poniższe techniki zmniejszają zapotrzebowanie procesu:

- Wykorzystanie zintegrowanego podejścia do całościowej optymalizacji energetycznej instalacji, a nie oddzielna optymalizacja każdej jednostki procesowej [\[74. TWG 2004\]](#).
- Umieszczanie urządzeń wysokotemperaturowych przed urządzeniami o niższej lub obniżających temperaturę.

- Zastosowanie wymienników ciepła do redukcji energii wejściowej, np. dla systemów SCR.
- Wykorzystanie energii wytwarzanej przez zakład WI, która w przeciwnym zostałaaby stracona, zamiast korzystania z zewnętrznych źródeł energii.
- Stosowanie urządzeń obrotowych z regulacją prędkości obrotów w odniesieniu do tych ich części, które pracują ze zmienną prędkością obrotową, takich jak wentylatory i pompy, gdzie są one często skutecznie eksploatowane przy zmniejszonym obciążeniu. Spowoduje to znaczne zmniejszenie średniego zużycia energii, ponieważ wahania ciśnienia będą kompensowane przez zmienne prędkości obrotowe, a nie przez zawory.
- Zastosowanie układu hamulcowego z odzyskiem energii na żurawiu doprowadzającym odpady.

Układ hamulcowy z odzyskiem energii zasila energię wytworzoną podczas opuszczania i kieruje ją z powrotem do sieci zasilającej. Energia ta może być również wykorzystana do zasilania innych ruchów dźwigu. Układ hamulcowy z odzyskiem energii eliminuje konieczność stosowania rezystorów hamujących. [\[92. Denmark, 2015\]](#)

Korzyści dla środowiska

Zmniejszenie zapotrzebowania na energię procesową zmniejsza zapotrzebowanie na energię dostarczaną z zewnątrz i/lub umożliwia eksport większych ilości energii. Dodatkowa, odzyskana energia, może być eksportowana.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

[\[28. FEAD i inni 2002\]](#)

W przypadku spalarni odpadów komunalnych zużycie energii elektrycznej wynosi zazwyczaj 60 - 190 kWh/tonę odpadów, w zależności od ich LHV.

Średnia wartość zużycia energii elektrycznej we własnym zakresie wynosząca 75 kWh/tonę odpadów została zgłoszona przez MSWI spalające odpady o LHV 9 200 kJ/kg, wytwarzające wyłącznie energię elektryczną (nie ciepło) oraz wykorzystujące półmokry system FGC i SNCR de-NOX, bez urządzenia osuszającego. W przypadku takiego MSWI, bez przetwarzania wstępnego, ponownego podgrzewania spalin lub podgrzewania celem redukcji widzialności emisji z komina, główne zużycie energii elektrycznej wynika z pracy:

- wentylatora wyciągowego: 30%;
- wentylatora nawiewowego: 20%;
- pomp podających wsad oraz innych pomp wodnych: 20%;
- skraplaczy chłodzonych powietrzem: 10%;
- innych urządzeń: 20%.

[\[74. TWG 2004\]](#) Większe zakłady o większej przepustowości mogą osiągać pewne korzyści wynikające z ich skali, co skutkuje niższym zużyciem energii na jednostkę przetworzonych odpadów.

Układ hamulcowy z odzyskiem energii może być stosowany do postępowania z odpadami oraz do postępowania z pozostałościami. Ten rodzaj układu zmniejsza zużycie energii nawet o 30% oraz eliminuje konieczność konserwacji rezystorów. Zabezpiecza on zasilanie elektryczne dźwigu przed zakłóceniami sieci oraz filtruje zakłócenia harmoniczne z dźwigu do sieci zasilającej. Umożliwia wyższe prędkości jazdy dźwigu, wózka jezdnego i suwnicy, gdy napięcie zasilające jest mniejsze niż 500 V. Na przykład, jeśli napięcie zasilające wynosi 380 V, technika ta zwiększa prędkość dźwigu o 30 %. [\[92. Denmark, 2015\]](#)

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Zmniejszenie zużycia energii przez urządzenia FGC (konstrukcyjne oraz eksploatacyjne) może prowadzić do zwiększenia emisji zanieczyszczeń do powietrza.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Duża część zużywanej dodatkowo energii wynika z zastosowania dodatkowych technik oczyszczania spalin, używających energię. Zmniejszenie zużycia energii w procesie poprzez eliminację tych elementów nie jest właściwe, jeżeli nie jest równoważone przez zastosowanie

innych technik, które zapewniają taką samą lub lepszą efektywność środowiskową.

Największe możliwości optymalizacji posiadają instalacje nowobudowane. Można w nich badać i wybierać spośród różnych projektów ogólnych celem uzyskania rozwiązania, które zapewnia równowagę pomiędzy redukcją emisji a zużyciem energii.

W przypadku istniejących instalacji, opcje mogą być bardziej ograniczone ze względu na koszty (i dodatkowe ryzyko techniczne) związane z całkowitym przeprojektowaniem. Zakłady, które zostały zmodernizowane w celu osiągnięcia lepszych wyników w zakresie ochrony środowiska, muszą na ogół wyposażyć się w urządzenia do oczyszczania gazów wylotowych, a zatem będą miały wyższe wskaźniki zużycia energii.

Ekonomika

Oszczędności w kosztach operacyjnych można osiągnąć poprzez zmniejszenie zewnętrznego zapotrzebowania na energię procesową. Tam, gdzie zaoszczędzona energia może być eksportowana, można uzyskać dodatkowy dochód.

Koszty kapitałowe znacznego przeprojektowania istniejących zakładów mogą w niektórych przypadkach być za wysokie w stosunku do korzyści, jakie można osiągnąć.

Koszt instalacji układu hamulcowego z odzyskiem energii zależy od wielkości dźwigu. [\[92. Denmark, 2015\]](#)

Siła napędowa wdrażania

Siłą napędową są dodatkowe przychody ze sprzedaży energii lub obniżenie kosztów operacyjnych w związku ze zmniejszonym jej zużyciem.

Przykładowe zakłady

Nie dostarczono danych.

Literatura źródłowa

[\[28. FEAD i inni 2002\]](#), [\[31. Energy subgroup 2003\]](#), [\[64. TWG 2003\]](#), [\[92. Denmark, 2015\]](#).

4.4.4 Wybór turbiny

Opis

Do podstawowych typów turbin stosowanych w zakładach spalania zalicza się:

- turbinę przeciwprężną;
- turbinę kondensacyjną;
- turbinę ekstrakcyjno-kondensacyjną;
- dwuetapową turbinę kondensacyjną.

Szczegóły techniczne

Turbiny przeciwprężne stosuje się gdy znaczna lub możliwie stała ilość ciepła może być przekazywana do odbiorców. Poziom ciśnienia przeciwprężnego zależy od wymaganego poziomu temperatury eksportowanego ciepła. Ciśnienie wydechowe takich turbin jest wyższe od atmosferycznego (np. o 4 bary). [\[74. TWG 2004\]](#)

Turbiny kondensacyjne stosuje się gdy występuje niewiele lub w ogóle nie ma możliwości dostarczania ciepła do odbiorców a odzyskana energia jest zamieniana na elektryczność. Na efektywność produkcji energii elektrycznej wpływ ma wybrany system chłodzenia (zob. sekcja 4.4.6). Ciśnienie wydechowe takich turbin jest niższe od atmosferycznego (np. o 0.2 barów zależnie od obciążenia turbiny oraz temperatury zewnętrznej). [\[74. TWG 2004\]](#)

Turbiny ekstrakcyjno-kondensacyjne to turbiny kondensacyjne o znacznej ekstrakcji pary, pod średnim ciśnieniem i w określonym celu. Niemal zawsze następuje jakaś ekstrakcja dla celów procesowych w turbinie kondensacyjnej. Turbiny te są stosowane, gdy znaczne i zmienne ilości ciepła lub pary mogą być dostarczane do odbiorców. Odpowiednia ilość (niskociśnieniowej) pary jest odzyskiwana z turbiny, a pozostała jej część podlega kondensacji.

Dwuetaapowe turbiny kondensacyjne podgrzewają parę pomiędzy dwoma etapami dzięki zastosowaniu pewnej ilości wprowadzanej pary do przegrzania jej w drugim etapie, aby zwiększyć produkcję energii przy niskich temperaturach kondensacji, bez uszkodzenia turbiny. [\[74. TWG 2004\]](#)

Korzyści dla środowiska

Wybór turbiny ma wpływ na produkcję energii elektrycznej oraz wielkość energii wyjściowej.

Spust pary ma wpływ na zoptymalizowanie zużycia energii. Oszczędności w paliwach kopalnych, niższe zanieczyszczenia i emisja gazów cieplarnianych dzięki zmniejszeniu zużycia dodatkowej energii pochodzącej z źródeł zewnętrznych.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Turbiny w MSWI są zazwyczaj niezbyt duże, zwykle 10 MW_e (zakres od 1 MW_e do 74 MW_e). Liczba spustów jest zazwyczaj ograniczona do trzech lub czterech (co różni się od elektrowni, gdzie turbina może mieć znacznie więcej spustów).

Sekcje niskociśnieniowe turbiny wymagają minimalnego przepływu pary dla chłodzenia łopat, unikania drgań oraz zapobiegania kondensacji.

Jeśli w pewnych warunkach eksploatacyjnych ilość pozostającej pary jest zbyt mała, zamiast jednego turbogeneratorsa z sekcją wysokociśnieniową i niskociśnieniową, możliwe jest zastosowanie dwóch turbin (jednej wysoko-, drugiej niskociśnieniowej). Dokonany wybór to pochodna warunków lokalnych i może zmieniać się w czasie. [\[74. TWG 2004\]](#)

Aby poprawić wyniki wytwarzania energii elektrycznej w turbinach kondensacyjnych, para potrzebna podczas spalania (np. w odpowietrznikach, nagrzewnicach powietrza, dmuchawach sadzy) jest zwykle pobierana z turbiny po rozprężeniu w wysokociśnieniowej sekcji turbiny. Odbywa się to za pomocą "odpowietrzników" (zwanymi także "ekstraktorami" lub "spustami"). Odpowietrzniki nazywane są "niekontrolowanymi", ponieważ ciśnienie zależy od obciążenia turbiny (ciśnienie może zostać podzielone przez dwa przy zmniejszeniu przepływu pary o 50%). Odpowietrzniki są rozmieszczone w taki sposób, by ciśnienie spełniało wymagania procesu, niezależnie od obciążenia turbiny.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Niskie temperatury kondensacji na końcu turbiny mogą powodować awarię łopatek wywołaną korozją, a także zużycie udarowe spowodowane wysoką zawartością wilgoci w parze wodnej, która w związku z tym jest zazwyczaj ograniczona do mniej niż około 10%. [\[74. TWG 2004\]](#)

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Wybór turbiny musi być dokonany w tym samym czasie co pozostała część charakterystyki cyklu parowego i zależy bardziej od dostępnej infrastruktury i/lub rynku zbytu energii niż od procesu spalania. [\[64. TWG 2003\]](#)

Ekonomika

Otrzymano raporty mówiące, że dwuetaapowe turbiny kondensacyjne wymagają zainstalowania dodatkowych połączeń w systemie parowym, które w przypadku stosunkowo małych turbin, typowych dla spalarni, są stosunkowo drogie w porównaniu z wynikającym z tego wzrostem mocy elektrycznej.

Siła napędowa wdrażania

Nie dostarczono danych.

Przykładowe zakłady

1. DE54

Dzięki spustowi pary w turbinie kondensacyjnej energia może być wykorzystywana w różny sposób, a jej całkowite zużycie może zostać zoptymalizowane. Para jest doprowadzana do turbiny w temperaturze 400 °C i pod ciśnieniem 40 barów. Pobieranie pary o temperaturze ok. 300 °C i ciśnieniu 16 barów dla lokalnego i zewnętrznego wykorzystania pary oraz o temperaturze ok. 200 °C i ciśnieniu 4.8 barów dla czysto lokalnego wykorzystania pozwala na optymalne

wykorzystanie energii.

Para jest używana lokalnie, do wstępnego podgrzania powietrza i wody w instalacjach i budynkach na terenie zakładu, a także do oczyszczania spalin. Para eksportowana wykorzystywana jest przede wszystkim do wspomagania procesów produkcyjnych, ale także jako źródło ogrzewania. [\[64. TWG 2003\]](#)

2. Zakład w Rennes (FR) - modernizacja

Dwie linie po 5 t/godz. odpadów produkujące parę o ciśnieniu bezwzględnym 26 bar i temperaturze 228 °C (nasyconą) dla DH. W 1995 r. dodano trzecią linię 8 t/godz. odpadów, wytwarzającą parę o tym samym ciśnieniu i temperaturze 380 °C (150 °C przegrzania).

Zestaw TG o mocy 9.5 MVA otrzymuje zmieszaną parę z trzech linii z pośrednim przegrzewem. Agregat TG może jednak pracować przy wyłączonej dowolnej z tych linii. Oznacza to, że może on pracować z przegrzaniem 150 °C, gdy dwie linie 5 t/godz. są wyłączone, ale również z parą nasyconą, gdy linia 8 t/godz. jest wyłączona. Turbina wykorzystuje tylko parę nasyconą.

3. Trzy zakłady w Paryżu (FR)

Obiekty te spalają łącznie 1 800 000 t/rok i dostarczają 4 000 000 t/rok pary (2 900 000 MWh_{th}/rok) do paryskiej sieci ciepłowniczej, co odpowiada 45% zapotrzebowania. W obiektach tych wytwarza się również 290 000 MWh/rok energii elektrycznej, z czego 160 000 MWh/rok dostarczanych jest do sieci krajowej.

Para wodna jest dostarczana pod ciśnieniem, regulowanym przez zawór w zakresie od 12 do 21 barów, w zależności od zapotrzebowania na ciepło i odprowadzana bezpośrednio do sieci ciepłowniczej bez wymienników ciepła. Zmienna część pary powraca jako kondensat. Instalacje demineralizacyjne są w stanie przetworzyć dwie trzecie strumienia pary.

Duża wielkość zapotrzebowania DH w porównaniu ilością wytwarzanej pary oraz fakt, że wszystkie trzy zakłady zasilają tę samą sieć, należą do tego samego właściciela i są eksploatowane przez to samo przedsiębiorstwo, prowadzą do takich a nie innych wyborów dotyczących zastosowanych w nich urządzeń. [\[74. TWG 2004\]](#)

Literatura źródłowa

[\[64. TWG 2003\]](#)

4.4.5 Podwyższenie parametrów pary oraz zastosowanie specjalnych materiałów celem zmniejszenia korozji w kotłach

Opis

Techniki do rozważenia to:

- okładziny;
- kompozytowe rury w kotle;
- ceramiczny materiał ogniotrwały.

Szczegóły techniczne

Wyższe parametry pary zwiększają wydajność turbiny i skutkują wyższą produkcją energii elektrycznej na tonę spalanych odpadów. Jednak ze względu na korozyjny charakter gazów wytwarzanych przez odpady podczas ich spalania, spalarnie nie mogą stosować takich samych temperatur i ciśnień jak niektóre elektrownie, np. 100-300 barów i 620 °C. W elektrowniach opalanych węglem temperatura maksymalna wynosi zazwyczaj 540 °C.

Istnieje różnica pomiędzy:

- ciśnieniem pary, które przekłada się na temperaturę (ciśnienie nasycenia) w ścianach wodnych (które mogą być chronione dzięki okładzinom), oraz w wiązkach wymienników ciepła;
- temperaturą pary (przegrzana para), która przekłada się na temperaturę przegrzewaczy.

[64. TWG 2003]

Zasadniczo, o ile nie przedsięwzięto specjalnych środków celem uniknięcia korozji (które skutkują obniżeniem dostępności instalacji i zwiększeniem kosztów), MSWI zwykle są ograniczone do poziomu 40 – 45 barów oraz 380 – 400°C. Powyżej tych wartości zachodzi sprzeczność pomiędzy:

- kosztami specjalistycznych środków, np. specjalnych materiałów ograniczających korozję;
- kosztami utraty dostępności w związku z koniecznością częstszych konserwacji;
- ilością wyprodukowanej, dodatkowej energii elektrycznej.

Aby ograniczyć korozję, do ochrony narażonych powierzchni wymienników ciepła przed spalinami stosowane mogą być okładziny kompozytowe, których podstawowymi składnikami są nikiel/chrom. Okładziny zwykle znajdują się za materiałami ognioodpornymi i mogą pokrywać pierwszy przepust oraz początek drugiego przepustu kotła. Ściany ogniotrwałe mogą także być chłodzone powietrzem (lekkie nadciśnienie), aby ograniczyć korozję rur znajdujących się za osłoną ogniotrwałą. Do ochrony rur kotła używane są także płytki ceramiczne.

Wysokotemperaturowa korozja ścian membranowych oraz przegrzewaczy może zostać zmniejszona dzięki obniżeniu temperatury spalin do poziomu poniżej 650 °C, przed przegrzewaczami, i/lub ochronie powierzchni wymienników ciepła za pomocą płytek ceramicznych lub specjalnych kompozytów.

Główną przewagą specjalnych kompozytów nad ceramicznymi pokrywami ścian pieca jest lepszy transfer ciepła do kotła, co skutkuje niższą temperaturą spalin przed pierwszą wiązką konwekcyjną.

Alternatywą dla okładzin jest instalowanie kompozytowych rur kotłowych. Rury takie składają się z dwóch rur, zewnętrznej i wewnętrznej, scalonych metalurgicznie. Są one wykonane z różnych materiałów. Instalacje dla kotłów spalarni odpadów są wykonywane od lat siedemdziesiątych. [64. TWG 2003]

Korzyści dla środowiska

- Większa dyspozycyjność zakładu oznacza, że większe emisje związane z rozruchem i wyłączeniem z eksploatacji ulegają zmniejszeniu.
- Wysoka pojemność cieplna pieca zabezpieczonego materiałami ogniotrwałymi pomaga zmniejszyć wahania temperatury, które mogą wystąpić w przypadku odpadów o zmiennej wartości LHV, co sprzyja bardziej stabilnemu spalaniu i zmniejszeniu emisji pochodzących z etapu spalania.
- Wyższa wydajność elektryczna na tonę spalanych odpadów może być osiągnięta poprzez wzrost ciśnienia pary i/lub temperatury. Ta wyższa wydajność zmniejsza zewnętrzne (np. w elektrowniach) zużycie paliw kopalnych (oszczędność zasobów) i związaną z tym emisję CO₂ (GHG). [74. TWG 2004]

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Wyższe parametry pary wiążą się ze zwiększonym ryzykiem technologicznym i wymagają dużego doświadczenia personelu w zakresie oceny i konserwacji.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Podwyższone parametry pary bez zastosowania specjalnych środków antykorozyjnych zwiększają ryzyko korozji oraz związane z tym koszty utrzymania oraz przestojów.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Wykorzystanie podwyższonych parametrów pary ma zastosowanie do wszystkich spalarni, które odzyskują tylko energię elektryczną, lub w przypadku, gdy udział ciepła w kogeneracji jest niski (celem zwiększenia produkcji energii elektrycznej). Technika ta ma ograniczone zastosowanie do procesów, które mają wiarygodne możliwości dostarczania pary lub ciepła, ponieważ w takich przypadkach nie ma potrzeby zwiększania ilości wytwarzanej energii elektrycznej i ponoszenia związanego z tym dodatkowego ryzyka technicznego oraz kosztów.

Stosowanie okładzin oraz innych materiałów specjalnych ma na celu zmniejszenie korozji przy podwyższonych parametrach pary i/lub wysoce korozyjnych odpadach.

Istniejące zakłady, które doświadczyły wzrostu LHV w dostarczanych odpadach, mogą odnieść korzyści ze stosowania specjalnych materiałów i okładzin, ponieważ pozwala to na obniżenie kosztów utrzymania i poprawę wydajności elektrycznej.

Ekonomika

Koszty okładzin mogą być oceniane w stosunku do zmniejszonych kosztów utrzymania i dochodów ze sprzedaży energii elektrycznej oraz poprawy dostępności instalacji.

Raportowany koszt okładzin wynosi około 3000 EUR/m².

Zakres wzrostu dochodów zależy od uzyskanej ceny energii.

Siła napędowa wdrażania

Wyższe ceny energii elektrycznej zachęcą do zastosowania tej techniki, ponieważ pozwoli ona na szybszą amortyzację wymaganych inwestycji.

Przykładowe zakłady

Wysokie parametry pary:

- Odense (DK): 50 barów, 520 °C, z okładziną.
- AVI Amsterdam, AVR Botlek, AVR AVIRA oraz AVI Wijster (wszystkie w NL).
- AVE-RVL Lenzing (AT): spalarnia z cyrkulacyjnym złożem fluidalnym odbierająca różne frakcje odpadów, w tym około 60% tworzyw sztucznych, wytwarza parę o ciśnieniu 78 bar i temperaturze 500 °C.
- Riikinvoima (FI): spalarnia z cyrkulacyjnym złożem fluidalnym, odbierająca wstępnie przetworzone mechanicznie MSW, wytwarza parę o ciśnieniu 80 barów i temperaturze 500 °C.
- Ivry (FR): 75 bar, 475 °C.
- Mataró (ES): 60 bar, 380 °C.
- Lasse Sivert Est Anjou (FR): 60 barów, 400 °C.
Po modernizacji.
- Rennes (FR): 26 barów, 228 °C (stan nasycenia); dodano trzecią linię z kotłem o ciśnieniu znamionowym 26 barów, 380 °C; połączona para z obu linii przesyłana jest do TG.

Zastosowanie materiałów specjalnych:

- Toulon, Thiverval (FR), Mataró (ES), Stoke w Trent (UK). Po modernizacji.
- Nowy zakład: Lasse Est Anjou (FR). [74. TWG 2004]

Literatura źródłowa

[32. Denmark, 2003], [28. FEAD i inni 2002], [2. InfoMil 2002], [3. Austria 2002], [64. TWG 2003]

4.4.6 Redukcja ciśnienia w chłodnicy (tj. zwiększenie podciśnienia)

Opis

Chłodnica, nazywana także skraplaczem lub kondensatorem.

Techniki do rozważenia to:

- chłodzenie powietrzem
- chłodzenie wodą z odparowaniem;
- chłodzenie wodą poprzez konwekcję.

Szczegóły techniczne

Po opuszczeniu niskociśnieniowej sekcji turbiny parowej, para zostaje skondensowana, a ciepło przekazane do płynu chłodzącego. Skroplona woda z pary jest zwykle recyrkulowana i wykorzystywana do zasilania wody kotłowej. [\[74. TWG 2004\]](#)

Im zimniejsze źródło chłodzenia, tym większy spadek entalpii, a co za tym idzie, tym większa jest produkcja energii elektrycznej. Ze względu na warunki klimatyczne, łatwiej jest osiągnąć niskie ciśnienie w chłodniejszym klimacie. Jest to jeden z powodów, dla których zakłady w krajach północnych mogą osiągać lepszą wydajność niż w krajach południowych [\[64. TWG 2003\]](#). W każdym przypadku, końcowe etapy turbiny muszą być zaprojektowane dla odpowiednich (niskich) warunków próżni, aby uniknąć zużycia na skutek uderzeń wody. Z tego powodu maksymalna zawartość wilgoci w parze wodnej jest zasadniczo ograniczona do około 10%.

Najniższe temperatury są uzyskiwane dzięki skraplaniu pary przy użyciu albo powietrza, albo wody jako płynu chłodzącego. Temperatury te odpowiadają ciśnieniu poniżej poziomu ciśnienia atmosferycznego (tzn. próżni).

W przypadku gdy duża sieć ciepłownicza wykorzystuje produkcję MSWI, przy pełnym obciążeniu, przez cały rok, jak ma to miejsce w Szwecji lub Danii, źródłem zimna jest zimna woda zwracana przez sieć ciepłowniczą (zob. także sekcję 3.2.3.2 dokumentu referencyjnego dotyczącego najlepszych dostępnych technik dla dużych obiektów energetycznego spalania), której temperatura może czasami być bardzo niska (np. 40 °C lub 60 °C, zob. tabela 4.9 w sekcji 4.4.11).

Jak tylko para przekroczy linię nasycenia na wykresie "Molliera", zaczyna być mokra, a procent wilgoci rośnie wraz z rozszerzaniem się pary w turbinie. Aby uniknąć uszkodzenia końcowych etapów turbiny (erozja przez krople wody), ilość wilgoci musi być ograniczona (często do około 10 %). [\[74. TWG 2004\]](#)

Korzyści dla środowiska

Zwiększone wytwarzanie energii elektrycznej jest możliwe poprzez zwiększenie podciśnienia.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Wzrost produkcji energii elektrycznej jest większy wraz ze zmniejszeniem ciśnienia w skraplaczu, dlatego też techniki te są bardziej korzystne dla turbin kondensacyjnych. [\[64. TWG 2003\]](#)

Ciśnienie w chłodnicy/rodzaje chłodnic

W przypadku ACC (skraplacza chłodzonego powietrzem) i powietrza o temperaturze 10 °C, zazwyczaj można uzyskać ciśnienie w chłodnicy od 100 mbar do 85 mbar ciśnienia bezwzględnego, w zależności od powierzchni kondensatora. Gdy temperatura otoczenia wynosi 20 °C, ciśnienie w tym samym ACC będzie wynosić odpowiednio 200 do 120 mbar ciśnienia bezwzględnego. Konstrukcja jest kompromisem pomiędzy rozsądną powierzchnią wymiany ciepła a niskim ciśnieniem kondensacji/skraplania. [\[74. TWG 2004\]](#)

W przypadku **skraplacza wodnego** (hydro-skraplacz, chłodzenie jednokrotne, pętla otwarta) wykorzystującego wodę z rzeki o temperaturze 10 °C, ciśnienie w kondensatorze będzie wynosiło około 40-80 mbar wartości bezwzględnej, ponieważ wymiana ciepła z wodą jest łatwiejsza.

W przypadku **atmosferycznych kolumn chłodzących**⁵ (*atmospheric cooling tower*), temperatura wody powiązana jest z temperaturą powietrza oraz jego higrometrią (temperatura mokrego termometru). Jeśli temperatura na mokrym termometrze wynosi 10 °C, ciśnienie kondensatora wyniesie około 60 mbar bezwzględnego. Obłok pary ponad kolumną może zostać zmniejszony (choć nie usunięty) dzięki odpowiedniemu projektowi kolumny, co przełoży się także na

⁵ Wieża chłodząca lub wieża chłodnicza. Płynem schładzającym parę jest woda. Woda ta znajduje się w obiegu zamkniętym i jest chłodzona w wieży chłodniczej poprzez kontakt z powietrzem z otoczenia. Część wody z wieży jest odparowywana. Powoduje to powstawanie obłoków pary wodnej nad wieżą.

niewielki wzrost ciśnienia w skraplaczu. Taki typ chłodnicy może powodować ryzyko związane z *legionellą*, w związku z odparowaniem wody oraz bezpośrednim kontaktem z nią. Technika ma zastosowanie przede wszystkim w przypadku niższych wymagań dotyczących chłodzenia (urządzenia pomocnicze turbin). [74. TWG 2004]

Teoretycznie wytwarzanie energii elektrycznej wzrasta z 24.1% do 25.8% (+ 7%), jeśli podciśnienie wzrośnie ze 100 mbar do 40 mbar. [64. TWG 2003]

Oddziaływanie na procesy i środowisko

W otwartej pętli, tj. w skraplaczu wodnym o jednokrotnym przebiegu, przy założeniu wzrostu temperatury wody o 10 °C, potrzebny przepływ wody będzie wynosił około 180 m³/MWh.

W pętli zamkniętej (obiegu zamkniętym) z chłodnią kominową zużycie wody (wody odparowanej) wynosi około 2.5 m³/MWh lub 3 m³/MWh.

Zarówno systemy z pętlą otwartą jak i zamkniętą mogą wymagać dodania środków chemicznych lub zastosowania innych technik ograniczających zanieczyszczenie systemu wymiany ciepła oraz ewentualnego przetwarzania wody procesowej. Skutki zrzutu (odprowadzenia do mediów zewnętrznych) są znacznie większe w przypadku systemów otwartych.

Niskie ciśnienie skraplacza zwiększa wilgotność pary wodnej, co może zwiększyć zużycie turbiny. [74. TWG 2004]

Skraplacze (chłodnice) powietrzne generują hałas. Dlatego też ważne jest wykonanie projektu szczegółowego (np. ekranowanie, poziom hałasu przetwornicy częstotliwości).

Czyszczenie powierzchni skraplaczy jest bardzo ważne dla ich sprawności i powinno być przeprowadzane w niskich temperaturach. [74. TWG 2004]

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Tam, gdzie wytwarzanie energii elektrycznej ma niższy priorytet (np. gdzie możliwe jest dostarczanie ciepła), ciśnienie wylotowe z turbiny może być wyższe od atmosferycznego. W tym przypadku mówi się, że turbina pracuje z przeciwcieniem, a (pozostała) para skrapla się w samym skraplaczu.

Zwłaszcza w regionach suchych, skraplacze chłodzone powietrzem są często jedynym możliwym typem do zastosowania. [74. TWG 2004]

Hydro-kondensatory z otwartą pętlą nadają się tylko do miejsc, w których istnieje obfite zaopatrzenie w wodę, oraz mediów odbiorczych (np. rzek) tolerujących efekt grzewczy zrzutu (odprowadzenia).

Ekonomika

Zastosowanie technik większej redukcji ciśnienia będzie najbardziej ekonomiczne tam, gdzie energia elektryczna ma wyższą cenę.

W przypadku ACC większe spadki ciśnienia wymagają urządzeń o większej powierzchni, a także lepiej działających silników wentylatorów, co zwiększa koszty.

Siła napędowa wdrażania

Ceny elektryczności to kluczowy wskaźnik opłacalności.

Kolejną siłą napędową jest łatwiejsza synchronizacja zestawu TG przy wysokiej temperaturze otoczenia. [74. TWG 2004]

Przykładowe zakłady

Większość zakładów w Europie ma zainstalowane ACC.

Zakłady Issy i Ivry, w pobliżu Paryża, oraz Bellegarde (FR), a także zakład Southampton (UK) posiadają hydro-kondensery z pętlą otwartą.

Zakłady w Strasburgu i Rouen (FR) posiadają hydro-kondensatory z pętlą zamkniętą z chłodniami kominowymi.

Literatura źródłowa

[28. FEAD i inni 2002] [64. TWG 2003]

4.4.7 Optymalizacja konstrukcji kotła

Opis

Optymalizacja konstrukcji kotła celem:

- utrzymania temperatury spalin na wyjściu z kotła na jak najniższym poziomie;
- unikania zabrudzenia;
- gwarancji niskich i jednorodnych prędkości gazu w całym kotle;
- osiągnięcia dobrej wymiany ciepłej.

Szczegóły techniczne

Odzyskane ciepło jest energią, która jest przekazywana z spalin do pary (lub gorącej wody). Pozostała energia pochodząca z spalin, na wyjściu z kotła, jest najczęściej tracona (chyba że wykorzystywane są dalsze - po kotle - układy wymiany ciepła). Tak więc celem maksymalizacji odzysku energii, zwykle korzystne jest obniżenie temperatury spalin na wyjściu z kotła.

Zanieczyszczenie kotła ma dwa skutki dla odzysku energii. Pierwszym z nich jest obniżenie współczynników wymiany ciepła, a co za tym idzie, zmniejszenie odzysku ciepła. Drugim i najważniejszym jest to, że prowadzi do zablokowania wiązek wymiany ciepła, a tym samym do wyłączenia instalacji. Innym niepożądanym efektem zanieczyszczenia kotła jest zwiększenie ryzyka korozji pod warstwą osadu. Generalnie, kocioł jest przeznaczony do ręcznego czyszczenia co najwyżej raz w roku tak, aby ograniczyć jego zanieczyszczanie (zob. sekcja 4.4.14).

Dobry kocioł musi mieć odpowiednią powierzchnię wymiany ciepła, ale również dobrze zaprojektowaną geometrię, aby ograniczyć zanieczyszczanie. Można to osiągnąć zarówno w przypadku koncepcji kotłów pionowych, poziomych jak i kombinowanych pionowo-poziomych (zob. sekcja 2.4.4.2). [74. TWG 2004] Przykłady dobrych praktyk projektowych przedstawiono poniżej:

- Prędkości gazu muszą być małe (aby uniknąć erozji) i jednorodne (aby uniknąć obszarów o dużej prędkości oraz obszarów stagnacji, które mogą powodować zanieczyszczenie) na całej średnicy (objętości) kotła.
- Aby utrzymać niskie prędkości gazu, przepusty muszą mieć szeroki przekrój poprzeczny, a ich geometria musi być aerodynamiczna.
- Pierwszy (pierwsze) przejście (przejścia) przez kocioł powinno odbywać się bez ingerencji wymienników ciepła i oraz na dużym obszarze (zwłaszcza wysokość jest tu istotna), aby schłodzić temperaturę spalin poniżej 650-700 °C. Można jednak chłodzić te przejścia przy pomocy tzw. ścian wodnych (pracujących na zasadzie konwekcji). (Ściany te w rzeczywistości otaczają cały kocioł, oprócz ekonomizera. W kotłach parowych są one z reguły częścią parownika). W otwartych przejściach przy wyższych temperaturach można również zastosować promiennikowe wymienniki ciepła.
- Pierwsze wiązki rurek wymiany ciepła nie mogą być instalowane w miejscach, w których popioły lotne są jeszcze lepkie, tzn. w miejscach, gdzie temperatury są zbyt wysokie.
- Przerwy pomiędzy wiązkami muszą być wystarczająco szerokie, aby uniknąć "gromadzenia się cząstek" pomiędzy nimi (zanieczyszczenie).
- Cyrkulacja wodno-parowa w ścianie membrany i wymiennikach konwekcyjnych powinna być optymalna, aby zapobiec powstawaniu gorących punktów, nieefektywnemu chłodzeniu spalin itp.
- Kotły poziome powinny być zaprojektowane w taki sposób, aby uniknąć uprzywilejowanej "ścieżki" spalin, prowadzącej do stratyfikacji temperatury oraz nieefektywnej wymiany ciepła.
- Należy zapewnić odpowiednie urządzenia do czyszczenia kotła *in situ*.
- Należy dopasować układ wymiennika konwekcyjnego (przeciwprąd, współprąd, itp.) celem zoptymalizowania powierzchni w zależności od temperatury ścianki rury oraz

zapobieżenia korozji.

[\[28 FEAD i inni 2002\]](#), [\[74. TWG 2004\]](#)

Korzyści dla środowiska

Większa dostępność instalacji oraz lepsza wymiana ciepła pozwalają na zwiększenie ogólnych możliwości odzysku energii.

Konstrukcja kotła redukująca zanieczyszczenia ogranicza również zatrzymywanie pyłu w strefach temperaturowych, w których może istnieć zwiększone ryzyko powstawania dioksyn.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Nie dostarczono danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Brak raportów.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta ma zastosowanie na etapie projektowania we wszystkich spalarniach wyposażonych w kotły z odzyskiem energii, w szczególności tych, które dążą do poprawy trwałości użytkowej oraz efektywności. [\[74. TWG 2004\]](#)

Ekonomika

Oszczędności operacyjne wynikające ze zmniejszonej konserwacji i zwiększonej sprzedaży energii mogą prowadzić do bardzo krótkich okresów zwrotu kosztów (amortyzacji), a następnie mogą uzasadniać przyjęcie tych technik w nowych instalacjach.

Istniejące zakłady, które zamierzają wymienić kotły lub w przypadku których obserwuje się niższą ich wydajność (na ogół mniejszą niż 75% efektywności transferu ciepła dla zakładów komunalnych), mogą również uwzględnić te czynniki w projekcie nowego systemu.

Siła napędowa wdrażania

Zmniejszona liczba przestojów konserwacyjnych, zwiększony odzysk energii oraz ewentualne przychody ze sprzedaży energii są siłą napędową wdrażania.

Przykładowe zakłady

Technika szeroko stosowana w całej Europie.

Literatura źródłowa

[\[28. FEAD i inni 2002\]](#), [\[2. InfoMil 2002\]](#), [\[64. TWG 2003\]](#)

4.4.8 Stosowanie kotła zintegrowanego z piecem

Opis

Stosowanie zintegrowanego z piecem kotła.

Szczegóły techniczne

Transport bardzo gorących gazów w kanałach wyłożonych materiałem ogniotrwałym może być skomplikowany. Może to powodować powstawanie lepkich a czasami nawet stopionych osadów. Aby tego uniknąć, temperaturę gazu obniża się czasem drogą zwiększenia nadmiaru powietrza, co może prowadzić do utraty efektywności.

W kotle zintegrowanym z piecem, palenisko znajduje się bezpośrednio w kotle, bez pośredniego orurowania. Dzięki temu rury kotła mogą chłodzić boki pieca. Rury są chronione ogniotrwałym materiałem i chłodzą go (obopólna korzyść). Odpowiednia konstrukcja rur i materiałów ogniotrwałych pozwala na dokładną kontrolę chłodzenia pieca. Efektywne chłodzenie pieca jest niezbędne, aby uniknąć jego zatkania, szczególnie w przypadku wyższej wartości LHV.

Korzyści dla środowiska

Technika ta poprawia odzysk ciepła poprzez zmniejszenie strat ciepła drogą promieniowania na wylocie z pieca (uzupełniając efekt zewnętrznej otuliny).

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Technika ta pozwala uniknąć zatykania się pieca, a co za tym idzie, konieczności wyłączenia go z ruchu w celu ręcznego czyszczenia.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Brak raportów.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Zasadniczo dotyczy pieców rusztowych. Nie stosuje się do pieców obrotowych czy oscylacyjnych.

Ekonomia

Kotły zintegrowane z piecem są zazwyczaj tańsze niż oddzielne kotły zainstalowane powyżej pieców o bardzo małej wydajności (tj. 1 t/godz. lub 2 t/godz.).

Siła napędowa wdrażania

Technika ta jest dziś normalną praktyką stosowaną przez projektantów.

Przykładowe zakłady

Większość zakładów posiada kotły zintegrowane z piecem (z wyjątkiem pieców obrotowych i oscylacyjnych).

Literatura źródłowa

[\[28. FEAD i inni 2002\]](#) [\[64. TWG 2003\]](#)

4.4.9 Stosowanie przegrzewacza płytowego

Opis

Stosowanie przegrzewacza płytowego.

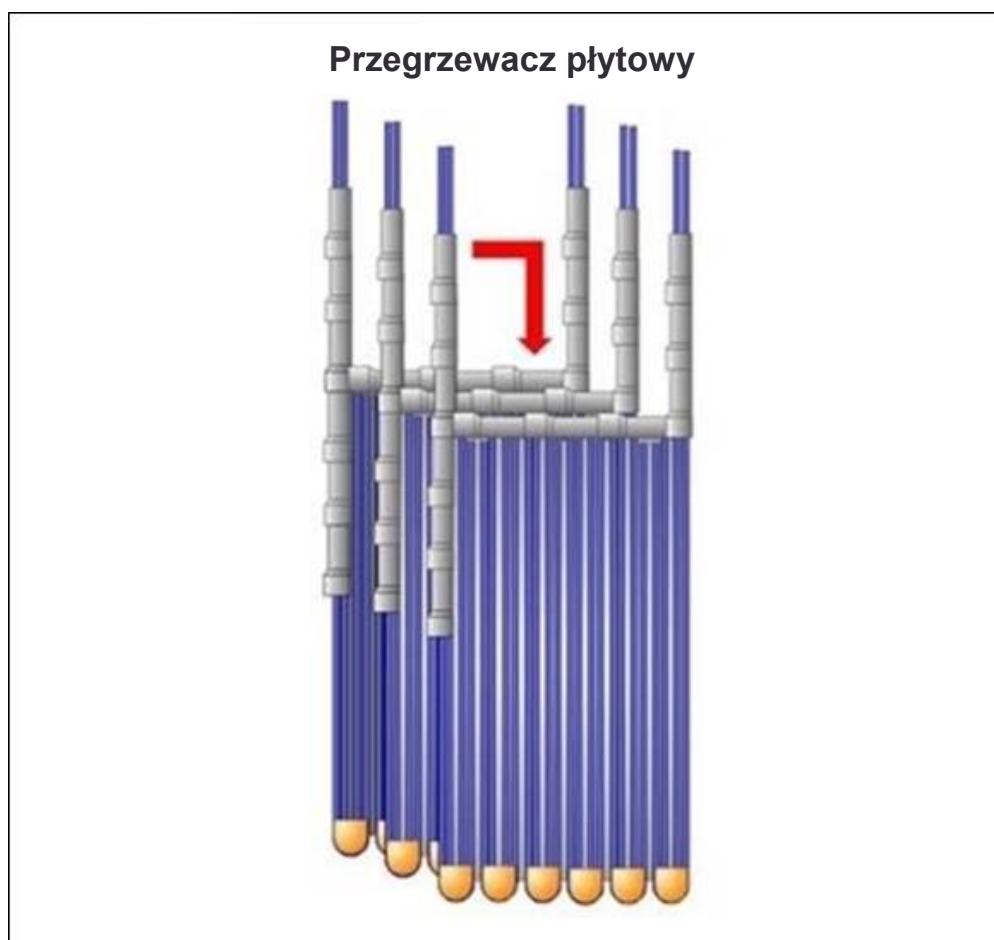
Szczegóły techniczne

Przegrzewacze płytowe to płaskie panele z zagiętych rur instalowane równolegle do siebie, z szerokimi szczelinami pomiędzy, i równolegle do przepływu gazu. Wlot zabezpieczony jest płaszczem wykonanym ze stali nierdzewnej, utrzymywanym w miejscu za pomocą specjalnego cementu.

Wymiana ciepła odbywa się drogą promieniowania, a nie konwekcji. Z tego powodu przegrzewacze te mogą być instalowane w miejscach gorętszych niż ma to miejsce w przypadku wiązek rur (w spalinach o temperaturze do 800 °C przy spalaniu odpadów komunalnych), przy ograniczonym zanieczyszczeniu, erozji i korozji.

Na przegrzewaczach płytowych złoże zanieczyszczeń mogą ulegać stabilizacji, gdy ich grubość wynosi około 2 cm, jednak nie powodując zablokowania. Ręczne czyszczenie i związane z nim przestoje są zatem znacznie zredukowane.

Dzięki wymianie drogą promieniowania, temperatura pary może pozostać stała przez okres jednego roku eksploatacji. Erozja i korozja są znacznie spowolnione.



Ilustracja 4.4 Schemat przegrzewacza typu płytowego

Korzyści dla środowiska

Technika ta zwiększa odzysk energii. Przegrzewacze płytowe pozwalają na osiągnięcie wysokiej temperatury pary przegrzanej przy dobrej dostępności oraz stabilności.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Nie dostarczono danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Brak danych.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Może być instalowany w kotłach z dwoma lub trzema otwartymi przejściami.

Ekonomika

Technika ta jest tańsza niż wiązki dla przegrzewaczy ostatniego stopnia (tych gorętszych), gdy są instalowane w miejscach o wyższej temperaturze spalin (drugi lub trzeci przebieg).

Siła napędowa wdrażania

Siła napędowa to dłuższy okres eksploatacji przy wysokiej temperaturze pary przegrzanej.

Przykładowe zakłady

- Toulon 3, Thiverval 3, Lons le Saunier, Cergy Saint-Ouen l'Aumône, Rennes 3, Monthyon, Chaumont, Nice 4, Belfort, Villefranche sur Saône, Toulouse-Mirail 1 oraz 2, Lasse (Saumur) (FR).
- Thumaide (BE).
- Londyn SELCHP, Stoke-on-Trent, Dudley, Wolverhampton, Chineham, Marchwood (UK).
- Mataró (ES).

- Maia, Loures oraz Santa Cruz (Madeira) (PT).
- Piacenza (IT).
- Moskwa (Rosja).

Literatura źródłowa

[\[28. FEAD i inni 2002\]](#) [\[64. TWG 2003\]](#)

4.4.10 Niskotemperaturowe spalinowe wymienniki ciepła

Opis

Techniki do rozważenia to:

- zastosowanie wymienników ciepła wykonanych z materiałów odpornych na korozję;
- projektowanie cyklu celem uniknięcia warunków sprzyjających korozji.

Szczegóły techniczne

[\[2. InfoMil 2002\]](#)

Dodatkowa zdolność wymiany ciepła w kotle może poprawić możliwości wykorzystania tego ciepła w innych miejscach, a tym samym przyczynić się do poprawy efektywności energetycznej. Stopień w jakim można obniżyć temperaturę spalin na końcu kotła zależy od:

- faktu, że przy poziomie temperatury poniżej 180 °C istnieje zwiększone ryzyko korozji ostatnich wiązek ekonomizera i rurociągów znajdujących się jeszcze przed płuczką gazową kwaśną (w miarę stopniowego zbliżania się temperatury do punktu rosy różnych kwasów);
- tego, czy ciepło zawarte w spalinach jest wymagane do pracy kolejnych urządzeń do oczyszczania spalin;
- tego, czy istnieje przynoszące korzyści wykorzystanie dodatkowego ciepła odzyskanego w niskiej temperaturze.

W przypadku spalin pochodzących z MSW (oraz spalin innego pochodzenia zawierających te substancje), ryzyko korozji powstaje nie tylko z obecności HCl, ale także SO_x, które często jako pierwsze atakują stal. Punkt rosy zależy od stężenia kwaśnych gazów oraz od zawartości wody w spalinach. W gazie czystym może to być około 100 °C, w gazie nieprzetworzonym 130 °C lub więcej.

Kluczową temperaturą, którą należy uwzględnić przy rozpatrywaniu ryzyka korozji, nie jest temperatura spalin, lecz (niższa) temperatura powierzchni (schłodzonych) rurek metalowych wymiennika (które z konieczności są zimniejsze niż spaliny). [\[74. TWG 2004\]](#)

Wymienniki ciepła wykonane ze specjalnych materiałów (np. emalii) zmniejszają problemy z korozją w niskich temperaturach. Przykładem może być zakład AVI w Amsterdamie, gdzie wymiennik ciepła znajduje się za systemem absorbera rozpylającego i związanym z nim ESP. Dodatkową zaletą jest związana z tym redukcja temperatury płukania, która poprawia efektywność systemu płukania.

Możliwe jest zaprojektowanie cyklu w taki sposób, aby uniknąć warunków sprzyjających korozji. W Szwecji, na przykład, dość powszechna jest instalacja oddzielnego kotła na ciepło odpadowe za kotłem głównym lub ESP. Często jest on chłodzony przez oddzielny obieg gorącej wody oraz przez wymiennik ciepła podłączony do sieci ciepłowniczej. Temperatura spalin na wylocie wynosi zazwyczaj około 130-140 °C, a temperatura wody na wlocie nie powinna być niższa niż 115-120 °C, aby uniknąć korozji. Przy tych poziomach temperatury można stosować zwykłe rury ze stali węglowej, bez problemów związanych z korozją. [\[64. TWG 2003\]](#)

Korzyści dla środowiska

Odzyskane ciepło (np. poziom temperatury 120 °C) może być wykorzystane do celów grzewczych i/lub do wewnętrznego podgrzewania wody zasilającej kocioł itp.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

[\[28. FEAD i inni 2002\]](#)

Obniżenie temperatury spalin na wylocie z kotła ograniczone jest przez kwaśny punkt rosy, który jest bardzo ważnym ograniczeniem w wielu systemach FGC. Ponadto, system oczyszczania spalin może wymagać pewnej temperatury roboczej lub różnicy temperatur, jak w poniższych przykładach:

- W przypadku półmokrych procesów FGC, minimalna temperatura na wlocie jest określana przez fakt, że wtrysk wody obniża temperaturę gazów. Zazwyczaj wynosi ona 190 °C lub 200 °C i może być wyższa.
- Suchy proces FGC może zasadniczo akceptować temperaturę 130-300 °C. W przypadku suchego wodorowęglanu sodu minimalna wymagana temperatura wynosi 170 °C tak, aby uzyskać szybkie rozszerzenie powierzchni wodorowęglanu sodu, a następnie bardziej wydajny węgiel sodu (tzw. efekt popcornu lub diatomitu). Zużycie odczynnika zmienia się wraz z temperaturą.
- Mokre systemy FGC nie mają teoretycznej minimalnej temperatury wlotowej - im niższa temperatura gazu na wlocie płuczki, tym mniejsze zużycie wody przez płuczkę. Zazwyczaj jednak, aby uzyskać pełne nasycenie spalin, należy pracować przy temperaturze na wlocie nie niższej niż 90-100 °C.

[\[74. TWG 2004\]](#)

Korzyści dla środowiska

Niższe temperatury spalin na wyjściu z komina mogą powodować:

- bardzo widoczne skondensowane obłoki (mniejszy problem w przypadku stosowania płuczek (skruberów) kondensacyjnych, ponieważ zmniejszają one zawartość wody w spalinach);
- zmniejszyć pływalność wydobywających się z komina oparów, a tym samym ich rozproszenie;
- korozję w kominach (wymagana jest wykładzina z włókna szklanego lub podobna).

W przypadku systemów oczyszczania spalin, które wymagają, aby temperatura spalin była wyższa od określonej temperatury roboczej (np. filtry workowe, SCR), wszelkie usuwane ciepło będzie musiało być ponownie dodane później w procesie. Takie ponowne podgrzewanie prawdopodobnie spowoduje dodatkowe zużycie paliw pierwotnych lub energii z zewnątrz.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Nowe zakłady mają największe możliwości uwzględnienia (w projekcie) technik redukcji strat z powodu spalin. Zakłady, które posiadają możliwości eksportu stosunkowo niskotemperaturowego ciepła (najczęściej w chłodniejszym klimacie), są najlepiej przygotowane do wykorzystania dodatkowego ciepła usuwanego z spalin. W przypadku gdy ciepło to nie może zostać dostarczone odbiorcom zewnętrznym lub wykorzystane w zakładzie, ciepło o niskiej temperaturze może zostać wykorzystane w spalinach, aby wspomóc ich rozproszenie, itp.

Optymalizacja temperatury na wylocie z kotła jest generalnie stosowana, chociaż stopień, w jakim temperaturę tą można obniżyć, zależy od wymagań temperaturowych znajdujących się dalej w procesie urządzeń FGC, i w każdym przypadku musi uwzględniać kwaśny punkt rosy spalin, celem uniknięcia korozji ostatnich wiązek ekonomizera.

Zmiany projektowej temperatury wyjściowej kotła muszą uwzględniać wymagania dotyczące kolejnych operacji oczyszczania spalin. Usunięcie ciepła, które musi być później ponownie dodane z innego źródła, może przynieść efekt przeciwny do zamierzonego, z punktu widzenia efektywności energetycznej, ze względu na dodatkowe straty wynikające z procesu wymiany ciepła.

Obniżenie temperatury spalin za kotłem ma zastosowanie tylko tam, gdzie:

- pozyskane ciepło może być wykorzystane do pewnych celów (eksportowane lub używane wewnątrz);

- nie ma to negatywnego wpływu na kolejne systemy oczyszczania spalin; jest to szczególnie istotne w przypadku stosowania filtrów workowych, SCR lub innych systemów, które wymagają szczególnych temperatur lub warunków pracy.

Wymagania dotyczące ilości potrzebnego miejsca mogą ograniczać wdrażanie tej techniki w istniejących zakładach.

Ekonomika

Technika ta jest najprawdopodobniej ekonomicznie opłacalna tylko, gdy wartość/cena zapłacona za dodatkowo odzyskane ciepło będzie wysoka.

Siła napędowa wdrażania

Dostarczanie dodatkowo odzyskanego ciepła.

Przykładowe zakłady

- AVI Amsterdam (NL).
- Brescia (IT).
- Wiele zakładów w Szwecji oraz Danii.
- Sheffield (UK).
- Rennes, Nice, Saint-Ouen (FR).
- Monako.

Literatura źródłowa

[2. InfoMil 2002], [64. TWG 2003]

4.4.11 Stosowanie płuczek kondensacyjnych spalin

Opis

Stosowanie płuczek kondensacyjnych spalin.

Szczegóły techniczne

Technika ta została już omówiona w sekcji 2.4.4.5.

W płuczce kondensacyjnej spalin, spaliny są chłodzone w bezpośrednim kontakcie z cyrkulującą wodą chłodzącą/procesową. Woda chłodząca, poprzez pośredni wymiennik ciepła, ma również kontakt z siecią ciepłowniczą. Pod warunkiem, że temperatura wody powrotnej z sieci ciepłowniczej jest wystarczająco niska, para wodna w spalinach osiągnie punkt rosy. W punkcie rosy para skropli się, a ciepło utajone zostanie przekazane do pośredniego obiegu chłodzenia. W ten sposób woda grzewcza jest podgrzewana przez energię odzyskaną z kondensacji spalin. Do dalszego zwiększenia odzysku energii można wykorzystać również pompy ciepła.

Płuczka kondensacyjna spalin zmniejsza również stężenie zanieczyszczeń rozpuszczalnych w wodzie, takich jak HCl, a w przypadku dozowania NaOH do wody płuczającej również SO₂ i HF.

Usuwanie wody z spalin zmniejsza objętość gazu. Jeśli wentylator spalin znajduje się za skraplaczem, zmniejsza się również zapotrzebowanie na energię dla wentylatora.

Korzyści dla środowiska

Zastosowanie płuczek (skruberów) kondensacyjnych pozwala na odebranie dodatkowej energii z spalin celem ich ewentualnego wykorzystania lub eksportu.

Ilość dodatkowo odzyskanej energii zależy od temperatury wody powrotnej w systemie ciepłowniczym. Tabela 4.9 przedstawia zależność pomiędzy dodatkową efektywnością energetyczną a temperaturą powrotną czynnika chłodzącego (ciepłownictwo komunalne) w warunkach typowych dla skandynawskiej spalarni odpadów. Należy zauważyć, że zawartość wody w odpadach (a tym samym w spalinach) będzie miała duży wpływ. Dodatkowa efektywność energetyczna w tabeli 4.9 wyrażona została jako procent zawartości energii (tak samo jak w przypadku LHV) w spalanych odpadach.

Tabela 4.9 Zależność pomiędzy dodatkową efektywnością energetyczną a temperaturą powrotu czynnika chłodzącego (ciepłownictwo komunalne)

Powrotna temperatura czynnika chłodzącego (°C)	Dodatkowa efektywność energetyczna
40	14 %
50	7 %
60	0 %
Źródło: [5. RVF 2002]	

Efekt wysychania spalin zmniejsza widoczność emisji z komina. W przypadku, gdy energia jest wykorzystywana do ponownego ogrzania takiej emisji, jej ilość potrzebna do osiągnięcia danej redukcji widoczności emisji będzie mniejsza.

Emisja amoniaku do powietrza (np. z SNCR) może zostać zmniejszona. Amoniak jest wychwytywany w wodzie płuczącej. Dzięki zastosowaniu separatora amoniaku w stacji uzdatniania wody, możliwa jest regeneracja amoniaku na potrzeby użycia go jako odczynnika redukującego NO_x.

Skondensowana (skroplona) woda może być wykorzystana do dodatkowego zasilenia wody płuczkowej, co zmniejsza jej zużycie.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Technika ta jest najczęściej stosowana gdy:

- ciepłownictwo komunalne zapewnia niską temperaturę powrotu (jest to niezbędne i z reguły dostępne tylko w chłodniejszym klimacie);
- widzialność emisji z komina stanowi problem;
- ceny za odzyskaną energię uzasadniają dodatkowe nakłady kapitałowe;
- szuka się możliwości dodatkowego oczyszczania spalin, w szczególności z gazów kwaśnych.

Ponieważ technika ta jest stosowana po etapach oczyszczania spalin, w zasadzie może być stosowana do każdego rodzaju odpadów.

Technika ta jest stosowana przy końcu/a nawet na końcu systemu FGC i dlatego może być stosowana w nowych a także w już istniejących zakładach.

W zakładzie Högdalen w Sztokholmie (SE) system ten jest stosowany z trzema konwencjonalnymi rusztowymi kotłami parowymi i jednym z cyrkulacyjnym złożem fluidalnym. Spaliny z konwencjonalnych kotłów rusztowych są schładzane w oczyszczonych śrutowo kotłach na ciepło odpadowe do temperatury ok. 140 °C. Jako czynnik chłodzący stosuje się wodę powrotną z ogrzewania miejskiego.

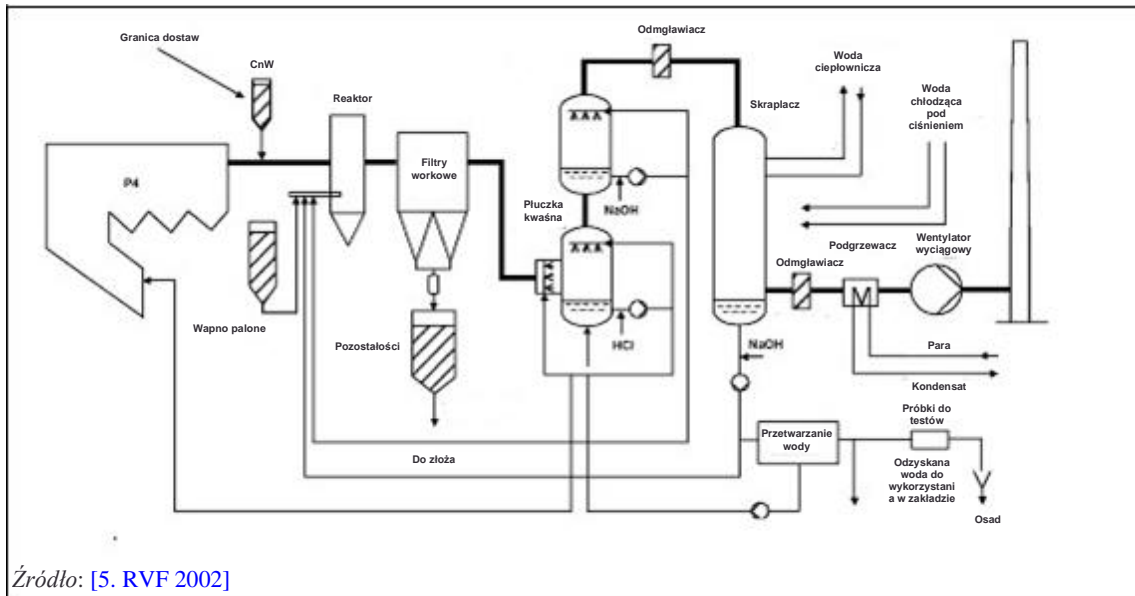
FGC rozpoczyna się od systemu czyszczenia na sucho dla każdego kotła, do którego wtryskiwane jest suche wapno hydratyzowane i mieszane z spalinami w reaktorze. Zanieczyszczenia kwasowe reagują z wapnem hydratyzowanym i powstają stałe sole, które są usuwane w filtrze tkaninowym wraz z popiołem lotnym i nadmiarem wapna hydratyzowanego. Kocioł ze złożem fluidalnym ma nieco inny reaktor, ponieważ recykulowany pył z filtra tkaninowego jest lekko nawilżany, a następnie mieszany ze świeżym wapnem hydratyzowanym i wtryskiwany do spalin.

Drugi etap czyszczenia obejmuje płuczki gazowe mokre, które nasycają spaliny i usuwają resztę kwaśnych gazów, w szczególności chlorowódór (HCl) oraz dwutlenek siarki (SO₂). Gaz nasycony opuszczający płuczkę ma temperaturę około 60 °C. Jest on zasysany do skraplacza rurowego, który jest chłodzony wodą powrotną z sieci ciepłowniczej o temperaturze 40-50 °C. Do wszystkich trzech kotłów rusztowych stosowany jest jeden system mokry, choć kocioł CFB ma swój własny.

Jeśli temperatura wody powrotnej wynosi 40 °C (jest to normalny przypadek dla tej instalacji, ale bardzo niski w porównaniu z większością europejskich klimatów), w skraplaczu odzyskuje się dodatkowe 14% energii. Z drugiej strony, jeśli temperatura wody powrotnej wynosi 50 °C,

odzyskiwane jest tylko około 7% dodatkowej energii. W skrajnych przypadkach, gdy temperatura wody powrotnej wynosi nawet 60 °C, nie odzyskuje się dodatkowego ciepła.

W przypadku Högdalen (Sztokholm), spaliny są ponownie podgrzewane przed wentylatorem wyciągowym i kominem, co wymaga zużycia pewnej ilości pary, pod niskim ciśnieniem. Możliwa jest również praca bez ponownego podgrzewania, ale z mokrym wentylatorem i kominem.



Źródło: [5. RVF 2002]

Ilustracja 4.5 Kontrola zanieczyszczeń oraz dodatkowy odzysk ciepła poprzez kondensację pary wodnej z spalin w zakładzie CHP spalającym odpady, w Högdalen

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Niska temperatura spalin może powodować kondensację a tym samym korozję w kominie, chyba że stosowane są systemy dwururowe lub wykładzina zabezpieczająca komin.

Skroplona woda będzie zawierać zanieczyszczenia (usunięte z spalin), które wymagają przetworzenia w zakładzie uzdatniania wody przed jej odprowadzeniem. W przypadku zastosowania płuczki gazowej mokrej, ścieki z płuczki kondensacyjnej mogą być oczyszczane w tym samym zakładzie.

Niska temperatura na wylocie z komina zmniejsza płynność emisji (obłoku), a tym samym dyspersję. Można to przewyciężyć poprzez zastosowanie komina, który jest wyższy i/lub ma mniejszą średnicę.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta nie będzie stosowana w przypadku:

- braku odbiorców na dodatkowo odzyskaną energię;
- źródło chłodzenia (powrót zimnej wody) jest mniej niezawodne (region o cieplejszym klimacie).

Wielkość zakładu. Wiadomo, że technika ta jest stosowana w zakładach komunalnych o wydajności 37 000 t/rok (DK), 175 000 t/rok (SE) oraz 400 000 t/rok (SE).

Ekonomika

Łączna dodatkowa inwestycja w etap kondensacji jest szacowana w przybliżeniu na 3 mln EUR dla czterech kotłów obsługujących MSWI CHP o mocy 400 kt/rok.

Siła napędowa wdrażania

- możliwość sprzedaży dodatkowego ciepła;
- oszczędzanie wody w regionach suchych. [74. TWG 2004]

Przykładowe zakłady

W Szwecji istnieje kilka przykładów stosowania tej techniki (patrz przykłady w sekcji 2.4.4.5). W cieplejszym klimacie możliwości są mniejsze ze względu na ograniczoną dostępność powrotu chłodnej wody grzewczej.

Literatura źródłowa

[5. RVF 2002], [64. TWG 2003]

4.4.12 Stosowanie pomp ciepła do zwiększenia odzysku ciepła**Opis**

Stosowanie pomp ciepła.

Szczegóły techniczne

Technika ta została opisana w sekcji 2.4.4.6, gdzie podano również trzy główne typy pomp ciepła.

Podsumowując, pompy ciepła umożliwiają łączenie różnych stosunkowo niskotemperaturowych źródeł ciepła i chłodzenia celem podniesienia temperatury strumienia. Pozwala to na przykład na pracę płuczek kondensacyjnych (zob. sekcja 4.4.11) oraz dostarczanie dodatkowego ciepła odbiorcom.

Korzyści dla środowiska

Technika ta pozwala na odzysk dodatkowej energii poprzez zastosowanie płuczek kondensacyjnych.

W przypadku stosowania absorpcyjnych pomp ciepła w połączeniu z płuczkami kondensacyjnymi odnotowano wzrost ilości odzyskanej energii o 23%. [35. Renova, 2002]

Na przykładzie zakładu Umea w północnej Szwecji (175 kt odpadów/rok), przedstawiono następujący szacunkowy bilans energetyczny:

Bilans mocy wraz z kondensacyjną i sprężającą pompą ciepła:

Wejściowa moc cieplna	65 MW _{th} (około)
Moc wyjściowa z generatora	15.1 MW _e
Konsumpcja własna energii elektrycznej	5.4 MW _e
Moc wyjściowa, netto	9.7 MW _e
Wygenerowana gorąca woda, w tym skraplacz + pompa ciepła	54 MW _{th}
Konsumpcja własna na podgrzewanie	0.5 MW _{th}
Eksport gorącej wody do sieci ciepłowniczej	53.5 MW _{th}
Ogółem (moc + ciepło na sprzedaż)	63 MW

Bilans mocy bez pomy kondensacyjnej oraz ciepła:

Wejściowa moc cieplna	65 MW (około)
Moc wyjściowa, netto	13 MW
Eksport gorącej wody do sieci ciepłowniczej, netto	39 MW
Ogółem (moc + ciepło na sprzedaż)	52 MW

Szczegółowe informacje zawarto w sekcji 2.4.4.6.

Technika ta jest najbardziej odpowiednia gdy:

- ogrzewanie komunalne zapewnia niską temperaturę powrotu;
- ogrzewanie komunalne wykorzystuje większość dostępnego ciepła;
- ceny płacone za dodatkowo odzyskaną energię uzasadniają dodatkowe nakłady kapitałowe;
- stosowana jest płuczka gazowa mokra;
- widzialność emisji z komina stanowi problem. [74. TWG 2004]

Rodzaje odpadów: ponieważ technika ta jest stosowana po etapach oczyszczania spalin, w zasadzie może być stosowana do każdego rodzaju odpadów.

Wielkość zakładu: wiadomo, że technika ta jest stosowana w zakładach komunalnych o wydajności 175 000 t/rok oraz 400 000 t/rok.

Możliwość doposażenia: technika ta jest stosowana na końcu systemu FGC i może być używana zarówno w nowych, jak i zaadaptowana w istniejących zakładach.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Pompy ciepła potrzebują do działania dostarczenia energii.

W przypadku pomp ciepła zasilanych sprężarkami stosunek pomiędzy ciepłem wyjściowym a mocą sprężarki (stosunek ciepła do mocy) może wynosić około 5. [[5. RVF 2002](#)]

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta ma mniejsze zastosowanie tam, gdzie nie ma odbiorcy dla dodatkowo odzyskanej energii.

Ekonomika

Dla przykładu: instalacja pomp ciepła w MSWI w Szwecji [[35. Renova, 2002](#)]. Koszty inwestycji w 1988 r. 4.5 mln EUR, oraz dodatkowo 5.5 mln EUR w 2002 r. (moc 12 MW), co należy porównać z dodatkowo uzyskanym dochodem w wysokości 24.5 mln EUR w latach 1998-2002.

Dodatkowa inwestycja w fabryce Umea w zakresie etapu kondensacji, sprężarkowej pompy ciepła napędzanej silnikiem elektrycznym oraz większej oczyszczalni ścieków została oszacowana na 4 mln EUR, co daje prosty czas amortyzacji z wpływów ze sprzedaży ciepła i energii elektrycznej wynoszący około 2.4 lat (bez uwzględnienia większej liczby przerw konserwacyjnych oraz większej konsumpcji materiałów eksploatacyjnych).

Siła napędowa wdrażania

Dodatkowa sprzedaż ciepła oraz dodatkowe wpływy to najważniejsza siła napędowa.

Przykładowe zakłady

Kilka przykładów w Szwecji - zob. sekcja 2.4.4.6.

Literatura źródłowa

[[5. RVF 2002](#)] [[64. TWG 2003](#)]

4.4.13 Specjalne konfiguracje cyklu wodno-parowego z zewnętrznymi elektrowniami

Opis

Zastosowanie zewnętrznego zakładu spalania celem podwyższenia parametrów pary.

Szczegóły techniczne

[[2. InfoMil 2002](#)] Ze względu na korozyjny charakter spalin, efektywność produkcji energii elektrycznej w procesie spalania odpadów komunalnych jest ograniczona przez maksymalną dopuszczalną temperaturę materiałów, z których zbudowane są rury kotła, oraz związaną z tym maksymalną temperaturę pary (zob. sekcja 4.4.5).

Opcją, która pozwala uniknąć narażenia rur kotła na wyższe temperatury, jest przegrzanie pary za pomocą oczyszczonych spalin, które zawierają znacznie mniej chloru lub nie zawierają go wcale. Jest to możliwe, jeśli spalarnia odpadów może zostać połączona z zewnętrznym obiektem energetycznego spalania o odpowiedniej wydajności. [[94. Finland, 2016](#)]

Korzyści dla środowiska

Zwiększona efektywność energetyczna.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Przy tego typu konfiguracjach, proces spalania nie musi odbywać się w wysokiej temperaturze pary, co pozwala na uniknięcie korozji i trudności z dostępnością. Czasami jednak ciśnienie może zostać zwiększone w celu uzyskania dalszych korzyści z integracji. W takich przypadkach, wyższa temperatura pary w parowniku może prowadzić do dodatkowych kosztów konserwacji. Na przykład, przy 40 barach temperatura nasycenia wynosi 250 °C, a przy 100 barach 311 °C. Różnica wynosi więc 61 °C. Należy pamiętać, że przy kontakcie z spalinami korozja wzrasta wykładniczo, wraz z temperaturą zewnętrznych ścianek rur kotła.

Przykład: Spalarnia odpadów komunalnych, Laanila, Oulun (Finlandia)

Spalarnia odpadów komunalnych Laanila w Oulun (Finlandia) jest częścią systemu utworzonego przez zakład WI, jeden zewnętrzny przegrzewacz o mocy 6 MW_{th} wykorzystujący gaz o mieszanke ubogiej pochodzący z pobliskiego zakładu chemicznego, do podniesienia temperatury pary z 420 °C do 515 °C, oraz trzy inne kotły do spalania torfu i oleju. System zakładowy składa się z dwóch zespołów turbin parowych o łącznej mocy elektrycznej 25 MW_e. Wytworzona w układzie para wodna jest wykorzystywana do napędu turbin. W tym celu strumień pary jest przekazywany do turbin pod ciśnieniem 8.3 MPa i temperaturze 515 °C przez wspólny przewód parowy. Z tego procesu 100 MW_{th} doprowadzane jest do lokalnej sieci ciepłowniczej.

Spaliny z końcowego przegrzewacza wprowadzane są do obszaru paleniska kotła w celu dalszego wykorzystania ich zawartości ciepła.

Tabela 4.10 zawiera teoretyczne porównanie osiągalnej efektywności przed i po zainstalowaniu zewnętrznego przegrzewacza.

Tabela 4.10 Porównanie uzyskanej efektywności energetycznej z zewnętrznym przegrzewaczem w zakładzie w Laanila

	Jednostka	bez ESH	z ESH
Ciśnienie pary	MPa	6.2 ⁽¹⁾	8.4
Temperatura pary	°C	420	515
Pojemność cieplna DE	MW _{th}	48.0	48.0
Pojemność cieplna ESH	MW _{th}	0	4.7
Moc elektryczna	MW _e	13.3	15.8
Zakres efektywności	%	27.2	29.3
Zakres efektywności ESH	%	0.0	53.2

⁽¹⁾ Ciśnienie pary jest określane przez wilgotność pary na końcowym etapie turbiny; przy temperaturze 420 °C nie można osiągnąć ciśnienia pary 8.4 MPa. Uwagi: DE = eksport bezpośredni; ESH = zewnętrzny przegrzewacz.
Źródło: [94, Finlandia, 2016]

Technika ta ma zastosowanie przede wszystkim tam, gdzie głównym celem odzysku energii jest produkcja energii elektrycznej. Jest ona mniej odpowiednia dla zakładów, które mogą dostarczać parę lub ciepło bezpośrednio do odbiorcy.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Zewnętrzny przegrzewacz zwiększa wykorzystanie paliw kopalnych.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest ogólnie stosowana w nowych zakładach.

Ekonomika

Technika ta ma zastosowanie tylko wtedy, gdy lokalizacja pozwala na synergiczne działanie oraz istnieją odpowiednie umowy handlowe.

Wysokie ceny energii elektrycznej zachęcają do stosowania technik zwiększających efektywność energetyczną. W tym przypadku ma to wpływ na zwiększenie względnej wartości pary/ciepła dostarczanej przez spalarnię do przyległej elektrowni.

Zewnętrzny przegrzewacz ma generalnie zastosowanie do nowych instalacji. W istniejących zakładach modernizacja może nie być ekonomicznie opłacalna. [94, Finlandia, 2016]

Siła napędowa wdrażania

Integracja zaopatrzenia w energię z zewnętrznym użytkownikiem zwiększa możliwości wykorzystania energii pochodzącej z odpadów.

Przykładowe zakłady

ES08, FI04, NL06.

Literatura źródłowa

[28. FEAD i inni 2002], [2. InfoMil 2002], [64. TWG 2003], [74. TWG 2004], [94. Finlandia, 2016].

4.4.14 Skuteczne czyszczenie wiązek konwekcyjnych

Opis

Techniki, które należy rozważyć obejmują czyszczenie w trybie on-line (w czasie pracy), w trybie off-line (przestój) oraz zapobieganie stykaniu się gazów o wyższej temperaturze (powyżej 650 °C) z konwekcyjnymi zespołami wymiany ciepła.

Szczegóły techniczne

[2. InfoMil 2002]

Czyste rury kotłowe oraz inne powierzchnie wymiany powodują lepszą wymianę ciepła. Zmniejsza się również ryzyko powstawania dioksyn w kotle.

Czyszczenie może odbywać się w trybie on-line (podczas pracy kotła) i off-line (podczas przestoju i konserwacji kotła). Wymiary kotła i konstrukcja wymiennika ciepła (np. rozstawy rur) mają wpływ na proces czyszczenia.

Techniki czyszczenia on-line obejmują następujące elementy:

- Mechaniczne rapowanie.
- Wydmuchiwanie sadzy przez wstrzyknięcie pary.
- Wysoko- lub niskociśnieniowe zraszanie wodą (głównie na ściankach w pustych przejściach kotła).
- Czyszczenie ultradźwiękowe/infradźwiękowe.
- Czyszczenie strzałowe lub mechaniczne szorowanie granulatem.
- Czyszczenie wybuchowe. Technika ta wykorzystuje fale ciśnienia generowane przez wybuch mieszaniny tlenu i etanu lub materiałów wybuchowych, takich jak dynamit, i umożliwia w zakładzie przywrócenie, po czyszczeniu, wartości wymiany ciepła zbliżonych do nominalnych. [95. ESWET, 2015]
- Wysokociśnieniowy wtrysk powietrza (10 - 12 barów) z ruchomymi lancami. [74. TWG 2004]

Techniki off-line obejmują:

- okresowe czyszczenie ręczne (w MSWI na ogół raz w roku);
- czyszczenie chemiczne. [74. TWG 2004]

Oprócz tych technik korzystne może być również zapobieganie kontaktowi gazów o wyższej temperaturze (powyżej 650 °C) (gdy popioły lotne są bardziej lepkie i przez to bardziej prawdopodobne jest ich przyleganie do powierzchni, z którymi mają kontakt) z konwekcyjnymi wiązkami wymiany ciepła, poprzez:

- zastosowanie pustych przejść tylko z ścianami wodnymi;
- stosowanie pieców o dużych gabarytach, a tym samym niższych prędkościach gazu przed wiązkami.

Czyszczenie wybuchowe jest stosowane podczas pracy, gdy temperatura spalin na wlocie przegrzewacza wzrasta, a także przed planowanym przestojem na konserwację. Dzięki drastycznemu zmniejszeniu ilości osadów do odsysania przed wykonaniem prac, można skrócić

czas przestoju, a tym samym zwiększyć roczną dostępność całej instalacji. [\[95. ESWET, 2015\]](#)

Korzyści dla środowiska

Lepsza wymiana ciepła zwiększa odzysk energii.

Skuteczne czyszczenie zmniejsza ryzyko reformingu PCDD/F. Dzieje się tak dlatego, że skraca się czas przebywania pyłów (i innych materiałów, które mogą sprzyjać ich powstawaniu) w temperaturze od 450 °C do 250 °C - gdzie tempo reakcji jest najwyższe.

Poprzez wydmuchiwanie sadzy za pomocą samoczynnego wtrysku pary, większość energii zostanie odzyskana przez sam kocioł (80-90 %). [\[74. TWG 2004\]](#)

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Technika ta pozwala na ciągłe czyszczenie rur w trybie on-line (zwykle wykonywane raz na 8-godzinną zmianę), oraz skraca czas przestojów potrzebnych do czyszczenia kotła. [\[74. TWG 2004\]](#)

Zazwyczaj czyszczenie ręczne przeprowadza się, gdy zanieczyszczenie spowodowało wzrost temperatury spalin o 20 - 50 °C, tj. spadek efektywności energetycznej o 1.5 - 3%.

Mogą wystąpić potencjalne mechaniczne uszkodzenia konstrukcji/rurek kotła, szczególnie przy czyszczeniu wybuchowym i mechanicznym rapowaniu. W zależności od stanu początkowego, czyszczenie wybuchowe jest w stanie usunąć ponad 80% skumulowanych osadów i przywrócić instalację do warunków pracy zbliżonych do nominalnych. [\[95. ESWET, 2015\]](#)

Erozja rur spowodowana zatykaniem się może prowadzić do zmniejszenia efektywności energetycznej. W ostateczności rury będą wymagały wymiany.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Użycie środka wydmuchującego sadzę, np. wody wysokociśnieniowej, wody niskociśnieniowej, pary wodnej (tylko częściowo).

Hałas może stanowić problem w przypadku niektórych technik, np. czyszczenia wybuchowego, mechanicznego rapowania.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest ogólnie stosowana.

Ekonomika

Brak danych.

Siła napędowa wdrażania

Siłami napędowymi są lepsza dostępność systemu, odzysk ciepła oraz zmniejszenie korozji, emisji i zużycia energii. [\[74. TWG 2004\]](#)

Przykładowe zakłady

Wszystkie zakłady odzysku energii. [\[74. TWG 2004\]](#)

Specjalne systemy czyszczenia istnieją w kilku zakładach w Holandii i Danii, np. AVI ARN Beuningen (czyszczenie wybuchowe z użyciem gazu), AVI Amsterdam i AVI Wijster (czyszczenie wybuchowe z użyciem dynamitu). [\[74. TWG 2004\]](#)

Literatura źródłowa

[\[2. InfoMil 2002\]](#), [\[1. UBA 2001\]](#), [\[64. TWG 2003\]](#), [\[95. ESWET, 2015\]](#)

4.5 Techniki oczyszczania spalin oraz zapobieganie emisjom do powietrza

4.5.1 Czynniki, które należy uwzględnić przy wyborze systemów oczyszczania spalin.

4.5.1.1 Czynniki podstawowe

[\[54. dechefdebien, 2003\]](#)

Poniższa (niewyczerpująca) lista czynników podstawowych wymaga uwzględnienia przy wyborze systemów oczyszczania spalin (FGC):

- rodzaju odpadów, ich składu oraz zróżnicowania;
- rodzaju oraz wielkości procesu spalania;
- przepływu oraz temperatury spalin;
- składu spalin, rozmiaru i tempa fluktuacji składu;
- docelowych wartości limitów emisyjnych;
- ograniczeń dotyczących zrzutu (odprowadzenia) płynnych ścieków;
- wymagań dotyczących widoczności dymów (emisji do powietrza);
- dostępności terenu (przestrzeni);
- dostępności oraz kosztów usuwania nagromadzonych/odzyskanych pozostałości;
- kompatybilności z innymi istniejącymi składnikami procesu (w istniejących zakładach);
- dostępności oraz kosztów użytej wody czy innych odczynników;
- możliwości eksportu energii (np. ciepła z płuczek kondensacyjnych);
- dostępu do subsydiów za eksportowaną energię;
- akceptowalnych poziomów opłat za unieszkodliwienie dostarczanych odpadów (istnienie zarówno czynników rynkowych, jak i politycznych);
- redukcji emisji przy użyciu tylko podstawowych metod;
- hałasu;
- zastosowania różnych urządzeń oczyszczających gaz, jeśli to możliwe z temperaturą spadającą w kierunku od kotła do komina. [\[74. TWG 2004\]](#)

4.5.1.2 Optymalizacja energetyczna

Niektóre techniki oczyszczania spalin znacząco przyczyniają się do zwiększenia całkowitego zapotrzebowania instalacji na energię w procesie spalania. Koniecznie także trzeba uwzględnić dodatkowe zapotrzebowanie na energię związane z niższym ELV. Można wyciągnąć następujące wnioski ogólne:

- ograniczenie emisji gazu, w tym także popiołu z kotła (oraz metali odfiltrowywanych wraz z popiołem), wymaga zasadniczo dodatkowej filtracji oraz zwiększa zużycie energii;
- ograniczenie emisji NO_x do poziomu poniżej 100 mg/Nm³ jest najczęściej osiągnięte za pomocą techniki SCR - która, ze względu na wrażliwość katalizatora na zanieczyszczenia i ataki kwasów, jest zazwyczaj stosowana jako system niskopylący w spalaniu odpadów, zlokalizowany na końcu systemu FGC. W związku z tym wymaga dodatkowej energii do ponownego podgrzania spalin. Bardzo niski poziom SO_x w nieprzetworzonych spalinach może umożliwić zastosowanie SCR bez konieczności ponownego ogrzewania (zob. sekcja 2.5.5.2.2). Energia potrzebna do dodatkowego oczyszczania spalin (celem osiągnięcia bardzo niskich poziomów emisji) powoduje zmniejszenie ilości energii wytwarzanej przez spalarnię, dostępnej do eksportu, lub równoważne zużycie energii dostarczanej z zewnątrz. Chociaż rzadko, w niektórych spalarniach odpadów stosuje się SCR przy wysokich zawartościach pyłu.
- Temperatura na wyjściu z kotła ma duży wpływ na zapotrzebowanie na energię przez FGC - jeśli jest ona poniżej kwaśnego punktu rosy, do ogrzania spalin potrzebny będzie

dodatkowy wkład energii.

Generalnie, rozmieszczanie składników systemu FGT w taki sposób, by te wymagające najwyższej temperatury poprzedzały te pracujące w niższych temperaturach skutkuje zmniejszeniem całkowitego zapotrzebowania systemu FGT na energię (niemniej jednak takie rozwiązanie nie zawsze jest możliwe, ponieważ SCR zasadniczo wymaga gazu czystego a zatem musi być umieszczone za niskotemperaturowymi etapami oczyszczania spalin, gdyż wdrożenie SCR w przypadku wysokiego zapylenia spalin pozwala uniknąć zużycia energii do ponownego ich podgrzania, ale jest trudne do wdrożenia). [\[64. TWG 2003\]](#) [\[74. TWG 2004\]](#)

4.5.1.3 Ogólna optymalizacja oraz podejście "systemowe"

Podobnie jak w przypadku aspektów związanych z energią (zob. powyższe sekcje dotyczące energii), traktowanie systemu FGT jako całości pozwala na osiągnięcie pewnych korzyści. Jest to szczególnie istotne w przypadku usuwania zanieczyszczeń, ponieważ poszczególne elementy systemu FGT często ze sobą współpracują, prowadząc do zmniejszenia ilości niektórych zanieczyszczeń oraz wywierając pewien wpływ na inne. W zależności od umiejscowienia sekwencji czyszczącej, osiągana jest różna wydajność procesu. [\[74. Uwagi TWG, 2004\]](#) Często stosowane są urządzenia wielofunkcyjne, na przykład:

- jeśli filtr workowy (BF) umieszczony został za wtryskiem odczynników, oprócz działania odpylającego działa dodatkowo jako reaktor. Ciśnienie spada dzięki zastosowaniu filtrów tkaninowych rozpraszających spalinę po przylegających plackach, które zawierają pewną ilość odczynników a, z uwagi na niską prędkość gazu, czas przebywania jest długi. BF może przyczyniać się do przetwarzania gazów kwaśnych, metali w postaci gazowej takich jak Hg i Cd, oraz POP takich jak PAH, PCB, dioksyny oraz furany;
- Oprócz oczyszczania gazów kwaśnych, płuczki gazowe mokre mogą pomóc w wychwytywaniu niektórych pyłów, a jeśli pH jest wystarczająco niskie i/lub przy użyciu odczynników w płuczce, również rtęci.
- SCR z de-NOX ma dodatkowy wpływ na niszczenie dioksyn, jeżeli jest odpowiednio zaprojektowany (wielkość).
- Adsorpcja przy użyciu węgla aktywnego i węgla brunatnego ma wpływ na dioksyny, a także na rtęć oraz inne substancje.

[\[64. TWG 2003\]](#), [\[54. dechefdebien, 2003\]](#)

4.5.1.4 Wybór techniki dla nowych lub istniejących instalacji

Całkowita optymalizacja oraz oddziaływanie pomiędzy poszczególnymi składnikami systemu FGT (a także resztą procesu spalania) jest istotna zarówno w przypadku nowych jak i już istniejących instalacji. W przypadku istniejących instalacji ilość możliwości może być znacznie bardziej ograniczona, niż w przypadku instalacji nowych. Uwagi dotyczące wewnętrznej kompatybilności procesu można znaleźć w sekcjach zajmujących się poszczególnymi technikami FGT.

4.5.2 Techniki ograniczające emisje pyłu

Zastosowanie systemu do usuwania pyłów z spalin jest generalnie uważane za niezbędne w przypadku wszystkich spalarni odpadów.

W niniejszej sekcji rozważa się umiejscowienie etapu odpylania przed etapami FGC (tzw. odpylanie "przed" lub odpylanie wstępne) lub po etapach FGC (tzw. odpylanie "po"). Odpylanie "przed" stosowane jest w połączeniu z procesami mokrymi celem ochrony płuczek (skruberów). Odpylanie "po" jest zasadniczo konieczne w procesach suchych i półmokrych celem jednoczesnego wychwycenia soli powstających w wyniku reakcji gazów kwaśnych z odczynnikami alkalicznymi. W niektórych przypadkach stosuje się podwójne odpylanie, w którym to razie odpylacz końcowy nazywany jest czasem odpylaczem do "polerowania".

4.5.2.1 Etap wstępnego odpylania przed przystąpieniem do przetwarzania spalin

Opis

Niniejsza sekcja odnosi się do etapu odpylania zlokalizowanego po wstępnym odpyleniu w kotle, [\[74. TWG 2004\]](#), ale przed innymi kolejnymi etapami FGC.

Szczegóły techniczne

W procesie spalania odpadów stosuje się następujące systemy wstępnego odpylania:

- cyklony i multicyklony (zazwyczaj w połączeniu z innymi elementami FGC celem efektywnego wychwytywania drobniejszych frakcji pyłu);
- filtr elektrostatyczny (ESP);
- filtry workowe (BF).

Indywidualnie techniki te zostały omówione w sekcji 2.5.3.

Mokre ESP nie jest zazwyczaj stosowane ze względu na temperaturę spalin w strefie wstępnego odpylania. [\[64. TWG 2003\]](#) Zasadniczo stosuje się go do "polerowania" po płukaniu. [\[74. TWG 2004\]](#)

Korzyści dla środowiska

Korzyści obejmują redukcję emisji do strumienia spalin poprzez zmniejszenie obciążenia pyłami w następujących dalej procesach FGC.

Odseparowanie lotnych pyłów od pozostałości z FGC pozwala na:

- redukcję ilości wytworzonych pozostałości z FGC;
- oddzielne przetwarzanie popiołów lotnych celem ewentualnego recyklingu.

Wstępne odpylanie zmniejsza obciążenie pyłem będących dalej systemów FGC. Dzięki temu można zmniejszyć ich wydajność oraz zmniejszyć ryzyko ich zatykania się, a co za tym idzie, można zaprojektować dalsze systemy jako mniejsze i w pewnym stopniu obniżyć koszty.

Oddzielna zbiórka składników spalin nie przyniesie żadnych korzyści dla środowiska, jeśli oddzielone pozostałości zostaną następnie ponownie wymieszane. W związku z tym, celem oceny możliwości osiągnięcia rzeczywistych korzyści, konieczne jest rozważenie aspektów związanych z dalszym przebiegiem procesu. [\[64. TWG 2003\]](#)

Same ESP oraz cyklony mogą mieć problemy z osiągnięciem wymaganych poziomów emisji pyłu. Są jednak użyteczne jako wstępne odpylacze i przyczyniają się do osiągnięcia najniższych poziomów emisji, jeżeli stosuje się je w połączeniu z innymi technikami.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

[\[2. InfoMil 2002\]](#) Skuteczność zbierania przez cyklon zwiększa się w zależności od jego obciążenia pyłem, natężenia przepływu spalin oraz wielkości i gęstości cząstek. Ponieważ cząsteczki popiołu lotnego są zazwyczaj drobne, ich gęstość jest niska, a obciążenie pyłem i natężenie przepływu spalin zmienne, skuteczność odpylania przez cyklony jest ograniczona. W normalnych warunkach można osiągnąć wartości stężenia pyłu nie mniejsze niż 200-300 mg/Nm³. Multi-cyklony, które opierają się na tej samej zasadzie odpylania, mogą uzyskać nieco niższe wartości, ale wartości poniżej 100-150 mg/Nm³ są bardzo trudne do osiągnięcia.

[\[2. InfoMil 2002\]](#) ESP może osiągać znacznie niższe wartości koncentracji pyłu niż multicyklony. W zależności od konstrukcji i umiejscowienia w systemie oczyszczania spalin (odpylanie wstępne lub końcowe) oraz liczby pól, można osiągnąć wartości koncentracji pyłu wynoszące 15-25 mg/Nm³. Osiągnięcie wartości poniżej 5 mg/Nm³ możliwe jest przy większej liczbie pól (dwa lub trzy) i zwiększonej powierzchni ESP (a tym samym zwiększonych wymaganiach dotyczących kosztów oraz potrzebnej przestrzeni).

Tam, gdzie stosowane są filtry workowe, najczęściej wstrzykuje się również odczynniki (choć nie zawsze tak jest) celem stworzenia na filtrach workowych warstwy wstępnej powłoki chroniącej przed korozją oraz wspomagającej filtrację (szczególnie w przypadku filtracji głębokiej). [74. TWG 2004] Stosowane odczynniki to zwykle wapno hydratyzowane i węgiel aktywny. Węgiel aktywny redukuje ładunki dioksyn i rtęci przed kolejnymi etapami oczyszczania spalin. W przypadku systemów mokrych pomaga to ograniczyć gromadzenie się dioksyn w substancjach używanych do płukania.

Należy zwracać uwagę na poziom popiołu oraz zużła w zbiorniku (zwłaszcza, gdy filtry workowe zostały zainstalowane bezpośrednio za kotłem), aby nie dopuścić do powstania pożaru.

[2. InfoMil 2002] Cyklony są stosunkowo prostą konstrukcją bez ruchomych części (z wyjątkiem systemów transportowych stosowanych do usuwania popiołu lotnego z dna) i dlatego mogą mieć wysoką dostępność przy stosunkowo niskich kosztach. Jednakże spadek ciśnienia strumienia spalin jest stosunkowo wysoki, co powoduje zwiększone zapotrzebowanie przez wentylator spalin na moc a tym samym dodatkowe zużycie energii.

[2. InfoMil 2002] Dla prawidłowego funkcjonowania ESP ważne jest, aby strumień spalin był równomiernie rozłożony na całej jego powierzchni. Spadek ciśnienia spalin nad ESP jest niewielki, co zmniejsza zużycie energii. Jednakże niektóre urządzenia do wstępnego odpylania (np. ESP, filtry) wymagają do ich działania energii elektrycznej. [74. TWG 2004]

Tabela 4.11 Dane operacyjne związane z wykorzystaniem systemów wstępnego odpylania

Kryteria	Opis czynników wpływających na kryteria	Wpływ (wysoki/średni/niski)	Komentarze
Złożoność	<ul style="list-style-type: none"> Wymagane dodatkowe elementy procesu Krytyczne aspekty operacyjne 	Ś	Dodatkowa jednostka procesowa zwiększa złożoność, ale może uprościć późniejsze operacje
Elastyczność	<ul style="list-style-type: none"> Zdolność techniki do pracy przy różnych warunkach wejściowych 	W	Każdy z układów może być stosowany przy zmiennych natężeniach przepływu i składu spalin.
Wymagane doświadczenie	<ul style="list-style-type: none"> Dodatkowe wymagania dotyczące treningu i doświadczenia 	W/Ś	Filtry workowe wymagają najwięcej uwagi, a cyklony najmniej; ESP znajdują się pośrodku
Inne wymagania	<ul style="list-style-type: none"> Filtry workowe mogą wymagać dodania odczynników służących do ochrony przed korozją i pożarem. 		

Tabela 4.12 zawiera porównanie technik odpylania (stosowanych na etapie "przed" i "po"):

Tabela 4.12 Porównanie systemów usuwania pyłu

Technika usuwania pyłu	Typowe koncentracje emisji pyłów	Zalety	Wady
Cyklony i multicyklony	Cyklony: 200–300 mg/m ³ (Wielo)cyklony: 100–150 mg/m ³	- Solidne, stosunkowo proste i niezawodne - Stosowane w ramach spalania odpadów	- Tylko do wstępnego odpylania - Stosunkowo wysokie zużycie energii elektrycznej
Suchy ESP	< 5–25 mg/m ³	- Stosunkowo niskie zapotrzebowania na energię elektryczną - Może pracować przy temperaturach gazu z zakresu 150–350 °C - Szeroko stosowany w ramach spalania odpadów	- Ryzyko formowania się PCDD/F jeśli stosowany jest w zakresie temperatur 450–200 °C
Mokry ESP	< 5–20 mg/m ³	- Możliwość osiągnięcia niskich koncentracji w emisjach - Czasami stosowany w ramach spalania odpadów	- Małe doświadczenie w ramach spalania odpadów - Głównie stosowany po etapach odpylania - Generowanie ścieków w ramach procesu - Zwiększona widzialność dymów np. z komina
Filtr workowy	< 5 mg/m ³	- Szeroko stosowany w ramach spalania odpadów - Warstwa pozostałości działa jako dodatkowy filtr oraz jako reaktor adsorpcyjny	- Stosunkowo wysokie zużycie energii elektrycznej (w porównaniu do ESP) - Wrażliwy na zawartość wody oraz podatny na korozję

Źródło: [2. InfoMil 2002]

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Wymagania energetyczne różnych technik wstępnego odpylania oceniono w tabeli 4.13.

Tabela 4.13 Wymagania energetyczne związane z wykorzystaniem różnych odpylaczy wstępnych

Technika odpylania wstępnego	Jednostka	Zapotrzebowanie na energię	Komentarze
Cyklon	kWh/tonę wsadu odpadów	Niskie	Niższa efektywność usuwania cząstek < 5 μm
Multicyklon		Niskie	Powszechna technologia
Suche ESP		Wyższe (obciążenie elektrostatyczne)	
Filtr workowy		Najwyższe z powodu spadku ciśnienia i konieczności stosowania wysokociśnieniowego strumienia impulsowego	Powszechna technologia

Źródło: [74. TWG 2004]

Najważniejsze oddziaływania związane z tą techniką to:

- zużycie energii wynikające ze strat ciśnienia, które jest wyższe w przypadku filtrów workowych niż w przypadku innych systemów;
- zużycie energii elektrycznej przez ESP;
- Koncentracje PCDD/F w spalinach mogą wzrosnąć w czasie przebywania w ESP, szczególnie gdy ESP pracuje w temperaturze od 200 - 450 °C.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Wstępne odpylanie wymaga miejsca na dodatkową jednostkę procesową, co może być czynnikiem ograniczającym w przypadku istniejących instalacji.

Ekonomika

Kluczowe aspekty tej techniki to:

- zwiększone koszty kapitałowe i inwestycyjne - na dodatkowe jednostki procesowe;
- zwiększone koszty energii, szczególnie w przypadku filtracji workowej;
- możliwa redukcja kosztów unieszkodliwiania w przypadku, gdy dostępne są punkty segregacji popiołów lotnych;
- możliwy wzrost kosztów obsługi dodatkowych strumieni pozostałości (do odzysku lub unieszkodliwiania).

Koszty inwestycji w dwuliniowy MSWI o łącznej mocy 200 000 t/rok szacuje się na [\[12. Achternbosch, 2002\]](#):

- ESP (3 linie) EUR 2.2 miliony
- ESP (2 linie) EUR 1.6 milionów
- Filtr workowy EUR 2.2 miliony (nie jest wyszczególnione czy cena zawiera chłodnicę spalin umieszczoną przed systemem)

Jednostkowe koszty eksploatacji filtra workowego przeznaczonego do wstępnego odpylania mogą być wyższe ze względu na większe zużycie energii związane ze spadkiem ciśnienia oraz wtryskiem odczynnika. Jednak większa zdolność odpylania filtra workowego w przypadku pyłu i innych zanieczyszczeń (szczególnie w przypadku stosowania wtrysku odczynnika) może prowadzić do zmniejszenia kosztów kolejnych elementów systemu FGC.

Siła napędowa wdrażania

- Pozostałości z FGC oraz popioły lotne mogą być oddzielone i poddane oddzielnemu przetworzeniu/recyklingowi.
- Wymagana jest mniejsza ilość/wielkość urządzeń za systemem FGC (zmniejszone obciążenie spalin pyłem).
- Następuje usprawnienie działania systemów znajdujących się za FGC.
- Preferowane jest usunięcie PCDD/F przed płuczką gazową mokrą, aby zredukować "efekt pamięci".

Przykładowe zakłady

Technika szeroko stosowana w wielu spalarniach.

Literatura źródłowa

[\[2. InfoMil 2002\]](#), [\[55. EIPPCB 2002\]](#), [\[64. TWG 2003\]](#)

4.5.2.2 Dodatkowe odpylanie**Opis**

Technika ta odnosi się do jednego z poniższych przypadków:

- odpylanie związane z procesami na sucho i półmokrą celem wychwycenia w tym samym czasie, co pył, soli powstających w wyniku reakcji pomiędzy gazami kwaśnymi a odczynnikiem alkalicznymi.
- zastosowanie dodatkowego systemu oczyszczania spalin celem ostatecznego zmniejszenia emisji pyłów, ciągle obecnych po zastosowaniu FGC, przed ostatecznym uwolnieniem gazów przez komin.

Szczegóły techniczne

Głównym systemem stosowanym za suchym lub półmokrą etapem FGC jest filtr workowy.

Głównymi systemami stosowanymi do dodatkowego odpylania spalin są:

- filtry workowe;
- mokre ESP;
- elektrodynamiczne płuczki Venturiego;
- agresywne moduły filtrujące;
- jonizacyjne płuczki gazowe mokre. [74. TWG 2004]

Indywidualnie techniki te zostały przedstawione w sekcji 2.5.3.

Dodatkowy system mokrego przetwarzania spalin może być również uznany za "przetwarzanie polerujące" po innych systemach, które mają do czynienia z gazami kwaśnymi itp. System ten jest na ogół dodawany celem szczególnej kontroli emisji HCl i SO₂, w przypadku gdy są one bardzo zmienne. PCDD/F i rtęć mogą być również usuwane za pomocą odpowiednio impregnowanego węglem materiału polimerowego (tworzywa sztucznego) i z dodatkiem nadtlenu wodoru. Wymienione techniki dodatkowe opisano szczegółowo w sekcjach 4.5.5.7 i 4.5.6.5. [64. TWG 2003] [7. TWG 2017]

Systemy "polerujące" służą również do usuwania ciągle pozostających w spalinach zanieczyszczeń (drobinek). Zazwyczaj są one wdrażane celem zapobiegania zanieczyszczeniom w urządzeniach znajdujących się za nimi, takich jak system SCR. [74. TWG 2004]

Korzyści dla środowiska

Oprócz dodatkowej redukcji emisji pyłów, możliwe jest również zmniejszenie emisji do powietrza następujących substancji:

- metali - ponieważ ich stężenia w emisjach są zwykle związane ze skutecznością odpylania;
- rtęci oraz PCDD/F - gdzie węgiel (zwykle z odczynnikiem alkalicznym) dodawany jest jako absorbent w filtrach workowych;
- gazów kwaśnych - do których celem ochrony filtrów workowych dodawane są odczynniki alkaliczne.

Korzyści płynące z tych dodatkowych redukcji mogą być niewielkie w przypadku, gdy zastosowano przed nimi techniki, które już zdołały obniżyć do niskiego poziomu koncentracje zanieczyszczeń w spalinach.

Ponadto zastosowanie dwóch różnych systemów do usuwania substancji stałych z spalin umożliwia oddzielenie popiołu lotnego od pozostałości z FGC (soli z neutralizacji gazów kwaśnych). Może to następnie umożliwiać odzyskiwanie tej lub innej frakcji, jeśli istnieją odpowiednie rozwiązania.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Ogólnie rzecz biorąc, podobne poziomy emisji pyłów można osiągnąć za pomocą odpylania "przed" oraz "po".

W przypadku podwójnego odpylania, dalsza redukcja emisji do powietrza, poza już osiągniętą przez inne komponenty FGC, przedstawiona została w tabeli 4.14.

Tabela 4.14 Poziomy emisji związane ze stosowaniem systemów filtrów workowych "polerujących"

Substancja	Osiągnięte poziomy emisji			
	Średnie półgodzinne (mg/Nm ³)	Średnie dobowe (mg/Nm ³)	Średnie roczne (mg/Nm ³)	Emisje specyficzne (g/t wsadu odpadów)
Pył	< 15	< 1-5	< 0.4	< 2.5
Uwagi: Osiągnięty dokładny końcowy poziom emisji będzie zależał od poziomu na wlocie do końcowego etapu odpylania (zależy również od wydajności zastosowanych wcześniej etapów) oraz wydajności zastosowanego końcowego etapu odpylania. Podane tu dane liczbowe stanowią wskazówkę co do rodzaju poziomów emisji, które są zazwyczaj obserwowane po dodaniu etapu "polerowania". Źródło: [81. TWG 2016]				

Staranna konserwacja filtrów workowych jest bardzo ważna dla zapewnienia ich skutecznego działania, a tym samym niskiej emisji zanieczyszczeń. Aby utrzymać placek, monitorowany jest spadek ciśnienia w filtrach workowych. Monitoring filtra może być również wykorzystany do wykrycia jego uszkodzeń (np. nieodwracalnych zabrudzeń). Emisję pyłu można zazwyczaj kontrolować do bardzo niskiego poziomu, po prostu dokładniej obserwując spadek ciśnienia i przyjmując bardziej rygorystyczne kryteria (tj. mniejszą dopuszczalną "swobodę" przed podjęciem działań konserwacyjnych) przy wymianie materiału filtra. Analizę mediów filtracyjnych można również wykorzystać do oceny wymaganej dawki odczynnika oraz oceny jego stanu i pozostałego czasu eksploatacji.

Tabela 4.15 Dane operacyjne związane z zastosowaniem "polerowania" spalin

Kryteria	Opis czynników wpływających na kryteria	Wpływ (wysoki/średni/niski)	Komentarze
Złożoność	<ul style="list-style-type: none"> Wymagane dodatkowe elementy procesu Krytyczne aspekty operacyjne 	W	Dodatkowe jednostki procesowe zwiększają złożoność systemu
Elastyczność	<ul style="list-style-type: none"> Zdolność techniki do pracy przy różnych warunkach wejściowych 	Ś	Jako technika końcowa, proces ten będzie w mniejszym stopniu podlegał zmianom
Wymagane doświadczenie	<ul style="list-style-type: none"> Dodatkowe wymagania dotyczące treningu i doświadczenia 	W	Filtry workowe wymagają uważnej obsługi i konserwacji

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Oddziaływania na procesy i środowisko związane z podwójnym odpylaniem zostały określone w tabeli 4.16.

Tabela 4.16 Oddziaływanie na procesy i środowisko związane z dodatkowym "polerowaniem" spalin

Kryterium	Komentarze
Zapotrzebowanie na energię	Zwiększone na skutek spadku ciśnienia w obrębie jednostki procesowej
Zużycie odczynników	Zwiększone
Zużycie wody	Mokre ESP prowadzi do odprowadzenia wody, która może być poddana recyklingowi
Pozostałości - rodzaj	Popioły lotne i/lub inne substancje usunięte w filtry "polerującym" z reguły stają się dodatkowym strumieniem odpadów stałych
Pozostałości - ilość	Różni się w zależności od obciążenia wejściowego i zastosowanych technik FGC, ale generalnie będzie niska.
Widzialność emisji z komina	Systemy inne niż suche mogą zwiększyć widoczność emisji
<i>Źródło: [74. TWG 2004]</i>	

Dla tej techniki najbardziej znaczącym efektem oddziaływania jest zużycie energii spowodowane spadkiem ciśnienia w filtrach workowych.

W szczególności, w przypadku stosowania dwóch filtrów workowych w układzie szeregowym (nawet oddzielonych od siebie), potencjalne korzyści w zakresie lepszej kontroli zanieczyszczeń należy zestawić ze znacznie większą mocą wentylatora potrzebną do pokonania dodatkowego spadku ciśnienia spowodowanego przez drugi filtr workowy, a tym samym większego zużycia energii elektrycznej.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

"Polerowanie" spalin (podwójne odpylanie) wymaga miejsca na dodatkową jednostkę procesową, co może być czynnikiem ograniczającym w przypadku istniejących instalacji.

Ekonomika

Kluczowe aspekty podwójnego odpylania to:

- zwiększone koszty kapitałowe z uwagi na dodatkową jednostkę procesową;
- zwiększone koszty eksploatacji - głównie ze względu na zapotrzebowanie na energię przy spadku ciśnienia, dostarczenie sprężonego powietrza do pulsacji wstecznej filtra workowego (jeśli jest stosowane) oraz dodatkowe koszty konserwacji.

Siła napędowa wdrażania

Odpylanie "po" jest zasadniczo konieczne w przypadku stosowania suchych lub półmokrych systemów FGC. W szczególnym przypadku podwójnego odpylania, siły napędowe dla jego wdrożenia mogą obejmować:

- zgodność z przepisami prawa/warunkami pozwolenia lokalnego, które wymagają dodatkowej redukcji emisji pyłów, metali, dioksyn i/lub gazów kwaśnych;
- potrzeby skutecznego odpylania dla późniejszego procesu SCR;
- możliwości recyklingu soli powstających przy usuwaniu gazów kwaśnych;
- w przypadku stosowania podwójnej filtracji workowej, odzyskanie dodatkowego ciepła pomiędzy dwoma filtrami workowymi umożliwiające pracę drugiego filtra w niższej, optymalnej temperaturze (około 140 °C), celem wtrysku węgla aktywnego.

Przykładowe zakłady

Odpylanie "po" stosowane jest we wszystkich zakładach wyposażonych w suche lub półmokre systemy FGC.

Istnieją przykłady zakładów stosujących podwójne odpylanie w Niemczech, Austrii, Francji oraz Holandii.

Literatura źródłowa

[3. Austria 2002], [2. InfoMil 2002], [64. TWG 2003]

4.5.3 Techniki redukcji emisji gazów kwaśnych

Niniejsza sekcja obejmuje:

- opis oraz ocenę działania głównych technik stosowanych do redukcji gazów kwaśnych - w tym rozważenie możliwości ich zastosowania w różnych sytuacjach;
- opis oraz ocenę niektórych innych opcji technologicznych i proceduralnych związanych z usuwaniem gazów kwaśnych.

4.5.3.1 Systemy płukania na mokro

Opis

Technika została już opisana w sekcji 2.5.4.

Szczegóły techniczne

Płuczki gazowe mokre zawierają zazwyczaj co najmniej dwa etapy działania: pierwszy o niskim pH usuwa głównie HCl i HF oraz metale, w drugim etapie dodawane jest mleczko wapienne, zawiesina wapienna lub wodorotlenek sodu i działa on przy pH 6-8, głównie celem usunięcia SO₂. Płuczki można czasami opisać jako system trzech lub więcej etapów - dodatkowe etapy stanowią najczęściej podpodziały pierwszego etapu, o niskim pH, stosowane do określonych celów.

Korzyści dla środowiska

Mokre systemy FGC zapewniają najwyższą wydajność usuwania (dla rozpuszczalnych gazów kwaśnych) spośród wszystkich systemów FGC, przy najmniejszym nadmiarze czynników stechiometrycznych. [74. TWG 2004]

Podczas gdy jednoetapowe systemy FGC oparte na filtrach (np. półmokre, suche) łączą i zbierają pozostałości razem, zazwyczaj nie ma to miejsca w przypadku systemów mokrych. Systemy mokre mogą przetwarzać HCl, HF i SO₂ oddzielnie od pyłu, który zwykle jest usuwany wcześniej. Tak więc, systemy mokre zapewniają pewną dodatkową redukcję następujących substancji:

- Pył - tam, gdzie pojemność płuczki jest wystarczająco duża, aby zapobiec zapychaniu się (zazwyczaj przed płuczką gazową mokrą stosuje się etap wstępnego odpylania, aby zmniejszyć obciążenie pyłem nawet o 50%, oraz zapobiec problemom związanym z eksploatacją). [74. TWG 2004]
- PCDD/F - w przypadku stosowania materiałów opakowaniowych impregnowanych węglem Typowa redukcja osiągnięta przez typowy system płukania to 70%. Jednak wieloetapowe systemy płuczające wypełnione odpowiednią ilością materiałów impregnowanych węglem są w stanie zagwarantować poziom emisji w MSWI oraz HWI znacznie poniżej 0.1 ng I-TEQ/Nm³. Węgiel aktywny lub koks mogą być dodawane do płuczki w podobnym celu i z podobną skutecznością usuwania. W przypadku braku dodatków węglowych, współczynniki usuwania są pomijalne. [74. TWG 2004] [7. TWG 2017]
- Hg²⁺ - jeśli w pierwszym etapie płuczki stosuje się niskie pH (~1), a stężenie HCl w odpadach zapewnia zakwaszenie tego etapu, wówczas rtęć jest usuwana jako HgCl₂; zawartość rtęci elementarnej na ogół nie ulega zmianie. [64. TWG 2003]
- Inne zanieczyszczenia - gdy zanieczyszczenia rozpuszczalne w wodzie, takie jak brom i jod, są obecne w nieprzetworzonej gazie, mogą zostać skondensowane w niskich temperaturach w płuczce i w ten sposób dostać się do jej ścieków.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Poziomy emisji do powietrza ogólnie osiągnięte przez zakłady wyposażone w płuczki gazowe mokre zostały przedstawione w tabeli 4.17.

Tabela 4.17 Poziomy emisji związane z zastosowaniem płuczek gazowych mokrych

Substancja	Osiągane zakresy emisji				Komentarze
	Maksymalna roczna		Średnia roczna (mg/Nm ³)	Emisja specyficzna (g/t wsadu odpadów)	
	Średnich półgodzinnych (mg/Nm ³)	Średnich dobowych (mg/Nm ³)			
HCl	2–10	< 2–4	< 2	< 12	Bardzo stabilne koncentracje wyjściowe
HF	< 1	< 1	< 0.5	< 3	Bardzo stabilne koncentracje wyjściowe
SO ₂	10–50	5–30	< 10	< 60	Wymaga etapu reakcji oraz absorbentu (mleczka wapiennego, zawiesiny wapiennej lub wodorotlenku sodu)

Źródło: [81. TWG 2016]

Tabela 4.18 Dane operacyjne związane z zastosowaniem mokrych FGC

Kryteria	Opis czynników wpływających na kryteria	Wpływ (wysoki/średni/niski)	Komentarze
Złożoność	<ul style="list-style-type: none"> Wymagane dodatkowe elementy procesu Krytyczne aspekty operacyjne 	W	Liczba jednostek procesowych jest większa niż w innych systemach
Elastyczność	<ul style="list-style-type: none"> Zdolność techniki do pracy przy różnych warunkach wejściowych 	W	Bardzo solidna - najwyższa zdolność z wszystkich systemów do redukcji emisji HCl/HF przy zmieniających się koncentracjach na wejściu.
Wymagane doświadczenie	<ul style="list-style-type: none"> Dodatkowe wymagania dotyczące treningu i doświadczenia 	W	Obsługa powiązanej oczyszczalni ścieków wymaga dużego doświadczenia.

Główne kwestie związane z działalnością operacyjną są następujące.

Nagromadzenie PCDD/F w płuczkach gazowych mokrych może stanowić problem, w szczególności ze względu na okresy konserwacji i rozruchu, i wymagać podjęcia szczególnych środków.

Oczyszczanie ścieków wymaga wysoko wykwalifikowanej kadry pracowniczej celem osiągnięcia niskich poziomów emisji.

Do skutecznego działania, płuczki gazowe mokre wymagają spalin, które zostały już wstępnie odpylone np. za pomocą ESP lub filtra workowego. [\[64. TWG 2003\]](#)

Płukanie na mokro posiada pewną elastyczność w zakresie zmian stężeń HCl, HF, a także SO₂ na wlocie dzięki dużej pojemności buforowej. Czasami wymagana jest dodatkowa obróbka rtęci, na przykład: wstrzyknięcie odczynnika do części podstawowej płuczki; wstrzyknięcie węgla aktywnego do płuczki kwaśnej; wstrzyknięcie środka utleniającego lub redukującego do fazy gazowej za pomocą adsorbentu. [\[64. TWG 2003\]](#)

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Oddziaływanie to zostało omówione w tabeli 4.19.

Tabela 4.19 Oddziaływanie na procesy i środowisko związane z zastosowaniem płuczki gazowej mokrej FGC

Kryteria	Jednostki	Zakres wartości	Komentarze
Zapotrzebowanie na energię	kWh/t wsadu odpadów	19	Pompy zwiększają zużycie energii elektrycznej. Dodatkowa energia jest potrzebna do odparowania ścieków tam, gdzie istnieje potrzeba uniknięcia zrzutów wody.
Zużycie odczynnika	kg/t wsadu odpadów	W zależności od zastosowanego odczynnika: NaOH: 3–5 CaO: 2–4 Ca(OH) ₂ : 2–4 CaCO ₃ : 6–9	Najniższe z wszystkich systemów
Odczynnik - stechiometria	Stosunek	1.0–1.2	Najniższy z wszystkich systemów
Pozostałości - rodzaj			Ścieki - w niektórych przypadkach można odzyskać HCl lub gips
Pozostałości - ilość	kg (mokre)/t wsadu odpadów kg (suche)/t wsadu odpadów	10–15 3–5	Najniższe z wszystkich systemów. Ta liczba nie obejmuje oddzielnie usuniętych popiołów lotnych: ok. 16 kg/t wsadu.
Zużycie wody	l/t wsadu odpadów	100–500	Najwyższe z wszystkich systemów, ale może być jeszcze bardziej zredukowane przez przetwarzanie i recyrkulację / kondensację oraz niskie temperatury przed wlotem do płuczki.
Wytwarzanie ścieków	l/t wsadu odpadów	0–500	Przed odprowadzeniem lub ponownym użyciem wymagane jest przetwarzanie
Widzialność emisji	+/-	+	Wysoka zawartość wilgoci w gazie, ale może zostać zmniejszona przez ponowne podgrzewanie/kondensację.
Uwagi: Dane w tabeli mają na celu przedstawienie typowego zakresu operacyjnego. Dokładne ilości wytwarzanych pozostałości i ścieków zależą od wielu czynników, w tym od stężenia nieprzetworzonych gazów (związanych z odpadami), natężenia przepływu, koncentracji odczynników itp. Źródło: [1. UBA 2001], [2. InfoMil 2002], [12. Achtembosch, 2002], [81. TWG 2016]			

W porównaniu z innymi technikami najważniejsze oddziaływanie na procesy i środowisko tej techniki to:

- najniższe zużycie odczynników;
- najniższe wytwarzanie stałych pozostałości;
- najwyższe zużycie wody;
- produkcja ścieków, które wymagają zarządzania;
- zwiększona widzialność emisji z komina;
- Nagromadzenie PCDD/F (efekt pamięci) na plastikowych elementach płuczki wymaga dalszego postępowania;
- Jeśli temperatura wejściowa jest zbyt wysoka, materiał użyty w płuczce gazowej mokrej może zostać zniszczony. [74. TWG 2004]

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest ogólnie stosowana tak długo, jak długo istnieje wystarczające zaopatrzenie w wodę.

Ze względu na niską temperaturę wyjściową (około 70 °C), może zaistnieć potrzeba ponownego podgrzania spalin przed kolejnymi systemami FGC, np. filtrami workowymi i SCR.

Ekonomika

Szacunkowe koszty kapitałowe tej techniki zostały przedstawione w tabeli 4.20.

Tabela 4.20 Szacunkowe koszty inwestycyjne wybranych elementów mokrych systemów FGC

Element FGC	Szacunkowy koszt inwestycyjny (w milionach EUR)	Komentarze
Dwuetapowa płuczka gazowa mokra	5	W tym przetwarzanie ścieków
Trzyetapowa płuczka gazowa mokra	7	W tym przetwarzanie ścieków
Zewnętrzny zakład odparowywania ścieków z płuczek	1.5–2	
Rozpylany absorber do odparowywania ścieków na terenie zakładu	1.5	
Uwagi: Szacowane koszty odnoszą się do dwuliniowej MSWI o łącznej mocy 200 kt/rok. Źródło: [12. Achternbosch, 2002], [74. TWG 2004]		

Kluczowe aspekty finansowe tej techniki w porównaniu z alternatywami to:

- wyższe koszty inwestycji kapitałowych niż w przypadku innych systemów, głównie ze względu na oczyszczalnię ścieków i większą liczbę wymaganych jednostek procesowych, co może być czynnikiem ograniczającym, w szczególności w mniejszych spalarniach odpadów innych niż niebezpieczne;
- Koszty operacyjne związane z usuwaniem pozostałości mogą być niższe ze względu na ich mniejsze wytwarzanie [74. TWG 2004];
- Koszty pracownicze są wyższe ze względu na większą złożoność systemu.

Siła napędowa wdrażania

- Osiągnięcie szczególnie niskich oraz stabilnych poziomów emisji gazów kwaśnych.
- Redukcja kosztów unieszkodliwiania pozostałości z przetwarzania spalin.
- Możliwość odzysku HCl, soli, gipsu.
- Szczególnie trudny do przewidzenia/kontroli skład odpadów wejściowych.
- Odpady wejściowe mogą zawierać duże oraz zmienne ładunki prekursorów gazów kwaśnych lub metali (np. rtęci jonowej) [74. TWG 2004].
- Redukcja emisji amoniaku.

Przykładowe zakłady

Płukanie na mokro spalin jest szeroko stosowane w całej Europie, w odniesieniu do pełnego zakresu rodzajów odpadów.

Literatura źródłowa

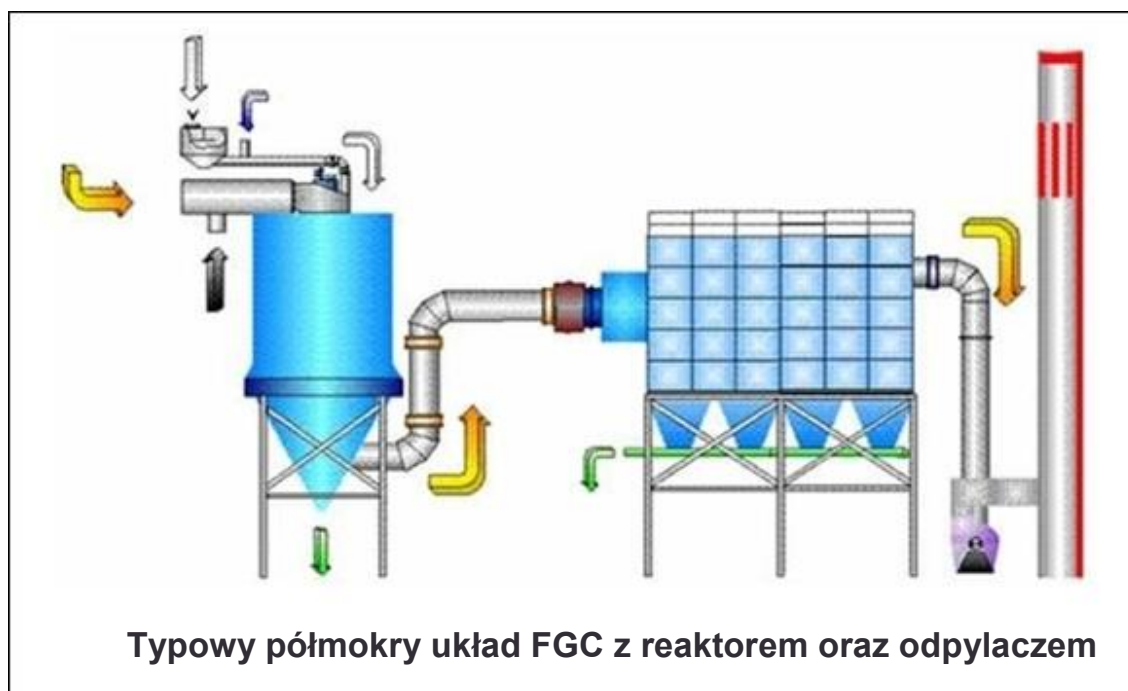
[1. UBA 2001], [2. InfoMil 2002], [12. Achternbosch, 2002], [64. TWG 2003]

4.5.3.2 Systemy płukania półmokrego**Opis**

Technika ta została opisana w sekcji 2.5.4.

Szczegóły techniczne

Poniższa ilustracja przedstawia typowy półmokry układ FGC, z reaktorem po lewej stronie oraz odpylaczem po stronie prawej.



Ilustracja 4.6 Typowa konstrukcja półmokrącego systemu FGC

Korzyści dla środowiska

Nie ma odprowadzania ścieków z płuczek półmokrących, ponieważ ilość zużytej wody jest zazwyczaj mniejsza niż w płuczkach mokrych i jest ona odparowywana wraz z spalinami. Jeśli jest to możliwe, do systemu FGC mogą być wysyłane inne ścieki o odpowiedniej jakości (np. woda deszczowa). [74. TWG 2004]

Półmokra systemy FGC zapewniają wysoką wydajność usuwania (dla gazów rozpuszczalnych w kwasach). Poziomy emisji mogą być zmniejszone poprzez dostosowanie szybkości dozowania odczynnika i punktu projektowego systemu, ale na ogół kosztem zwiększonego zużycia odczynnika oraz tempa produkcji pozostałości.

Systemy półmokra są stosowane z filtrami tkaninowymi, które usuwają dodawane odczynniki oraz produkty ich reakcji. Odczynniki niealkaliczne, mogą być również dodawane do adsorbowania innych składników spalin (np. węgiel aktywny celem adsorpcji rtęci i PCDD/F).

Systemy półmokra są najczęściej stosowane jako jednoetapowy reaktor/filtr do redukcji łącznej:

gazów kwaśnych - usuwanych przez odczynnik alkaliczny (zasadowy);

pyłów - filtrowanych przy użyciu filtra tkaninowego;

PCDD/F - adsorbowanych w przypadku wstrzyknięcia węgla aktywnego jak również odczynnika alkalicznego

Hg - adsorbowanych w przypadku wstrzyknięcia węgla aktywnego jak również odczynnika alkalicznego

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Poziomy emisji do powietrza osiągnęte na ogół przez zakłady wyposażone w płuczki półmokra podano w tabelach 4.21 oraz 4.22.

Tabela 4.21 Poziomy emisji związane ze stosowaniem płuczek półmokrych

Substancja	Osiągane zakresy emisji				Komentarze
	Maksymalna roczna		Średnia roczna (mg/Nm ³)	Emisja specyficzna (g/t wsadu odpadów)	
	Średnich półgodzinnych (mg/Nm ³)	Średnich dobowych (mg/Nm ³)			
HCl	12–25	2–8	< 6	< 33	"Szczytami" emisji można zajmować się za pomocą analizatora HCl znajdującego się w przed systemem. Proces półmokry może wychwytywać SO ₂ w tym samym czasie co HCl i HF, i w tej samej płuczce.
HF	< 2	< 1	< 0.5	< 3	
SO ₂	30–70	< 40	< 25	< 140	

Zródło: [81. TWG 2016]

Tabela 4.22 Dane operacyjne związane z zastosowaniem półmokrą FGC.

Kryteria	Opis czynników wpływających na kryteria	Wpływ (wysoki/średni/niski)	Komentarze
Złożoność	<ul style="list-style-type: none"> Wymagane dodatkowe elementy procesu Krytyczne aspekty operacyjne 	N	<ul style="list-style-type: none"> Liczba jednostek procesowych jest mniejsza niż przy systemach mokrych, ale większa niż w suchych. Temperatura wejściowa wymaga kontroli Wstępne odpylenie może ułatwić pracę systemu półmokrą
Elastyczność	<ul style="list-style-type: none"> Zdolność techniki do pracy przy różnych warunkach wejściowych 	N	<ul style="list-style-type: none"> Można osiągnąć niższe poziomy emisji w niemal wszystkich warunkach Szybkie zmiany warunków na wejściu mogą być problemem
Wymagane doświadczenie	<ul style="list-style-type: none"> Dodatkowe wymagania dotyczące treningu i doświadczenia 	N	<ul style="list-style-type: none"> Nie jest wymagane przetwarzanie ścieków Wymagane ostrożne dozowanie odczynników

Większość systemów składa się tylko z jednostki mieszającej odczynnik (odczynnik plus woda) i wieży natryskowej, a następnie filtra workowego - złożoność jest zatem mniejsza niż w przypadku mokrych systemów FGC.

Obsługa odczynników i ich dozowanie wymagają dobrego zarządzania celem zapewnienia skutecznego i optymalnego działania, szczególnie w przypadku przetwarzania niejednorodnych rodzajów odpadów, np. w komercyjnych zakładach spalania odpadów niebezpiecznych.

Wcześniejsze monitorowanie HCl (zob. Sekcja 4.5.3.9) poprawia optymalizację dozowania odczynnika w tych systemach oraz umożliwia zarządzanie szczytowymi wartościami ładowanych HCl, HF i SO₂ bez konieczności stosowania wysokich prędkości dozowania odczynnika.

Niektóre instalacje wytwarzają Ca(OH)₂ dla systemu FGC przez wytrącanie CaO. Skuteczne przygotowanie wapna może być krytyczne dla dobrego działania, podobnie jak kontrola ryzyka zanieczyszczenia urządzenia iniekcyjnego. Wtryskiwacze muszą być zlokalizowane i zaprojektowane w taki sposób, aby można je było łatwo konserwować i/lub wymieniać celem oczyszczenia. [74. TWG 2004]

Filtry workowe wymagają ścisłego monitorowania i zarządzania w celu zaradzenia uszkodzeniom materiału filtra i wynikającym z tego uwolnieniom. Różnicowe czujniki ciśnienia są powszechnie stosowane do wskazania uszkodzenia filtra oraz ogólnego monitoringu jego pracy.

Należy uważać, aby nie dopuścić do tzw. korozji punktu rosy w filtrze workowym - zwykle stosuje się temperatury gazów wlotowych powyżej 130-140 °C. Przy temperaturach poniżej 130 °C mogą wystąpić problemy związane z higroskopijnym charakterem powstającego CaCl₂. Odczynniki wymagają zazwyczaj określonej temperatury dla optymalnych warunków reakcji.

Poinformowano, że mogą wystąpić problemy eksploatacyjne w przypadku stosowania półmokrych systemów FGC z bardzo kwaśnymi, zanieczyszczonymi i nieprzetworzonymi gazami, ponieważ może to prowadzić do zwiększonego ryzyka zatkania filtrów.

Złożoność operacyjną reaktorów i filtrów workowych stosowanych w systemach półsuchych można dodatkowo zmniejszyć poprzez zastosowanie wstępnego odpylania, np. jednostopniowego ESP, lub poprzez zastosowanie nielepkich materiałów na filtr workowy (zob. sekcja 2.5.3.5). Pozwala to na uniknięcie problemów związanych z:

- przyklejaniem się związków cynku (i podobnych soli o niskiej temperaturze topnienia); oraz
- higroskopijnymi rodzajami soli tworzącymi lepkie warstwy na powierzchni reaktora. [64. TWG 2003]

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Oddziaływanie na procesy i środowisko zostało zidentyfikowane w tabeli 4.23.

Tabela 4.23 Oddziaływanie na procesy i środowisko związane z zastosowaniem półmokrego przetwarzania gazu kwaśnego

Kryteria	Jednostki	Zakres wartości	Komentarze
Zapotrzebowanie na energię	kWh/t wsadu odpadów	6–13	Spadek ciśnienia na filtrze workowym tworzy zapotrzebowanie na energię
Zużycie odczynnika	kg/t wsadu odpadów	7–10 (wapno palone)	Srednia ilość opcji możliwych do zastosowania w systemie
Odczynnik - stechiometria	Stosunek	1.4–2.5	Najniższe wartości osiąmane przy recyrkulacji / z odpadami o niskim ładunku zanieczyszczeń
Pozostałości - ilość	kg/t wsadu odpadów	25–50	Kombinacja – pyły lotne + pozostałości z FGC
Zużycie wody	l/t wsadu odpadów	< 300	Najniższe tam, gdzie temperatura na wlocie FGC jest niska; w przeciwnym razie konieczna jest również woda do chłodzenia
Widzialność emisji	+/-	0	Srednia liczba systemów możliwych do stosowania
Uwagi: Dane w tej tabeli mają na celu dostarczenie typowego zakresu operacyjnego. Dokładne ilości wytwarzanych pozostałości i ścieków zależą od wielu czynników, w tym od stężenia nieprzetworzonych gazów (związanych z odpadami), natężenia przepływu, koncentracji odczynników itp. Źródło: [3. Austria, 2002], [12. Achterbosch, 2002], [64. TWG 2003], [74. TWG 2004], [81. TWG 2016]			

Dla tej techniki najbardziej znaczącym efektem oddziaływania na procesy i środowisko jest wyższy poziom wytwarzania pozostałości niż w przypadku systemów mokrych.

Oddzielne zbieranie popiołu lotnego jest możliwe, jeżeli system jest poprzedzony ESP. Zwiększa to odseparowanie popiołu lotnego od pozostałości z FGC, co może być korzystne, jeśli dla tych pozostałości istnieją oddzielne opcje przetwarzania/recyklingu.

Półmokry system FGC jest często stosowany jako jednoetapowy multireaktor. Takie systemy mają zazwyczaj mniejsze zapotrzebowanie na energię niż bardziej złożone wielostopniowe systemy FGC.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest powszechnie stosowana.

Ze względu na temperaturę na wylocie (120-170 °C), w niektórych kolejnych systemach FGC, np. SCR, może zaistnieć potrzeba ponownego podgrzania spalin.

Ekonomika

Nakłady kapitałowe techniki pokazano w tabeli 4.24.

Tabela 4.24 Szacunkowe koszty inwestycyjne wybranych komponentów typowych półmokrych systemów FGC

Komponenty system FGC	Oczekiwany koszt inwestycji (w milionach EUR)
Filtr tkaninowy	2
Osuszacz rozpyłowy	1–1.5
Uwagi: Szacowane koszty odnoszą się do dwuliniowej MSWI o łącznej wydajności 200 kt/rok. Źródło: [12. Achternbosch, 2002]	

Kluczowe czynniki operacyjne tej techniki to:

- koszty inwestycyjne są niższe niż w przypadku mokrych FGC, zwłaszcza w przypadku stosunkowo niewielkich wydajności produkcyjnych [2. InfoMil 2002]; możliwe są wyższe koszty usuwania większej ilości wytwarzanych pozostałości (niż w przypadku systemów mokrych);
- niższe koszty pracownicze (w porównaniu z systemami mokrymi) ze względu na mniejszą złożoność, zwłaszcza że pozwala to uniknąć kosztów eksploatacji oczyszczalni ścieków;
- zwiększony koszt odczynników alkalicznych z powodu wyższych współczynników stechiometrycznych.

Siła napędowa wdrażania

- Zdolność do radzenia sobie z umiarkowanymi ilościami oraz średnio zmieniającymi się obciążeniami spalin na wejściu.
- Brak wytwarzania ścieków.
- Niższy koszt inwestycyjny niż w przypadku płuczki gazowej mokrej.
- Niższa konsumpcja wody niż w przypadku płuczki gazowej mokrej.
- Niższa widzialność emisji niż w przypadku systemów mokrych. [64. TWG 2003]

Przykładowe zakłady

Technika w Europie szeroko stosowana np. w Wielkiej Brytanii, Niemczech, Francji oraz Danii.

Literatura źródłowa

[1. UBA, 2001] [2. InfoMil 2002] [3. Austria, 2002] [12. Achternbosch, 2002] [26. RSP 1999], [54. dechefdebien, 2003] [64. TWG 2003]

4.5.3.3 Suche systemy FGC**Opis**

Technika ta została już opisana w sekcji 2.5.4.

Szczegóły techniczne

Wapno (np. wapno hydratyzowane, wapno o dużej powierzchni właściwej) i wodorowęglan sodu są powszechnie stosowane jako odczynniki alkaliczne (zasadowe). Dodatek węgla aktywnego pozwala na redukcję, poprzez adsorpcję, rtęci oraz emisji PCDD/F.

Drobno zmielony wodorowęglan sodu po wtłoczeniu do gorących gazów (temp. powyżej 160 °C) jest przekształcany w węglan sodu o wysokiej porowatości i dlatego jest skuteczny w absorpcji gazów kwaśnych. [59. CEFIC 2002], [7. TWG 2017]

Korzyści dla środowiska

Dzięki tej technice nie jest możliwe osiągnięcie tych samych, bardzo niskich poziomów emisji, co w przypadku innych systemów FGC, bez zwiększenia szybkości dozowania odczynnika i związanego z tym powstawania pozostałości. Recykling odczynników może do pewnego stopnia zredukować ich oddziaływanie na procesy i środowisko, ale może również prowadzić do trudności operacyjnych związanych z systemami ich dozowania.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Rozwój techniczny w ciągu ostatniej dekady umożliwił znaczną poprawę wydajności systemów suchych.

Poziomy emisji do powietrza osiągane zazwyczaj przez zakłady wyposażone w suche FGC podano w tabelach 4.25, 4.26 oraz 4.27.

Tabela 4.25 Poziomy emisji związane z zastosowaniem wapna hydratyzowanego w suchych procesach FGC

Substancja	Osiągane zakresy emisji			
	Maksymalna roczna		Średnia roczna (mg/Nm ³)	Emisja specyficzna (g/t wsadu odpadów)
	Średnich półgodzinnych (mg/Nm ³)	Średnich dobowych (mg/Nm ³)		
HCl	10-30	5-8	< 6	< 33
HF	< 0.6	< 0.3	< 0.2	< 1.2
SO ₂	20-70	10-40	< 15	< 85

Źródło: [81. TWG 2016]

Tabela 4.26 Poziomy emisji związane z zastosowaniem wodorowęglanu sodu w suchych procesach FGC

Substancja	Osiągane zakresy emisji			
	Maksymalna roczna		Średnia roczna (mg/Nm ³)	Emisja specyficzna (g/t wsadu odpadów)
	Średnich półgodzinnych (mg/Nm ³)	Średnich dobowych (mg/Nm ³)		
HCl	6-30	< 2-8	< 6	< 33
HF	< 1.2	< 1	< 0.5	< 3
SO ₂	30-50	5-25	< 15	< 85

Źródło: [81. TWG 2016]

Tabela 4.27 Dane operacyjne związane z użytkowaniem suchych FGC.

Kryteria	Opis czynników wpływających na kryteria	Wpływ (wysoki/średni/ niski)	Komentarze
Złożoność	<ul style="list-style-type: none"> Wymagane dodatkowe elementy procesu Krytyczne aspekty operacyjne 	N	<ul style="list-style-type: none"> Prosty proces składający się z kilku elementów
Elastyczność	<ul style="list-style-type: none"> Zdolność techniki do pracy przy różnych warunkach wejściowych 	Ś/N	<ul style="list-style-type: none"> Szeroki zakres temperatur pracy
Wymagane doświadczenie	<ul style="list-style-type: none"> Dodatkowe wymagania dotyczące treningu i doświadczenia 	Ś/N	<ul style="list-style-type: none"> System nieskomplikowany Filtr workowy wymaga odpowiedniej obsługi

Source: [59. CEFIC 2002]

Z suchymi odczynnikami należy obchodzić się w taki sposób, aby zapobiec emisji pyłu, np. emisji z wentylatorów silosu załadunkowego.

Niektóre instalacje wytwarzają Ca(OH)_2 dla systemu FGC drogą wytrącania CaO . Dobre przygotowanie wapna może mieć decydujące znaczenie dla prawidłowego działania, podobnie jak kontrola ewentualnego zabrudzenia urządzenia iniekcyjnego. Wtryskiwacze muszą być zlokalizowane i zaprojektowane w taki sposób, aby można je było łatwo konserwować i/lub wymieniać celem oczyszczenia. [74. TWG 2004], [7. TWG 2017]

Zgłoszono, że stosowanie temperatur roboczych powyżej około 210 °C może spowodować pogorszenie wydajności adsorpcji PCDD/F oraz rtęci przez wtryskiwane odczynniki węglowe. [7 TWG 2017]

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Oddziaływanie to zostało zidentyfikowane w tabeli 4.28.

Tabela 4.28 Oddziaływanie na procesy i środowisko związane z działaniem suchego FGC

Kryteria	Jednostki	Zakres wartości	Komentarze
Zapotrzebowanie na energię	kWh/t wsadu odpadów		Zależy głównie od spadku ciśnienia na filtrze workowym. Wyższa temperatura pracy może prowadzić do oszczędności przy ponownym podgrzewaniu spalin.
Zużycie odczynnika	kg/t wsadu odpadów	10–20 (CaO) 6–12 (NaHCO_3)	Średnia ilość opcji możliwych do zastosowania w systemie
Odczynnik - stechiometria	Stosunek	1.05–1.2 (NaHCO_3) 1.5–2.5 (Ca(OH)_2)	Optymalizacja techniki w ciągu ostatniej dekady pozwoliła na zmniejszenie, za pomocą wodorowęglanu sodu, tego parametru do 5-20%. Jeszcze niższe wartości osiąga się przy użyciu wapna hydratyzowanego z recyrkulacją.
Pozostałości - ilość	kg/t wsadu odpadów	7–25	Z 1 tony MSW (bez wliczania popiołów z kotła)
Zużycie wody	+/-	-	Najniższe z wszystkich systemów
Uwagi: Wartości eksploatacyjne <i>in situ</i> będą się różnić w zależności od lokalnych wahań w zakresie składu odpadów itp. Źródło: [64. TWG 2003]			

Najbardziej znaczącym oddziaływaniem tej techniki jest wytwarzanie stałych pozostałości, które, przy jednakowych innych parametrach, są na ogół większe niż w przypadku układów mokrych. Nadmiar może być nieco zmniejszony przez recyrkulację pozostałości.

W przypadku wodorowęglanu sodu, pozostałości stałe są bardziej rozpuszczalne niż w przypadku wapna hydratyzowanego, ale ich ilość jest znacznie mniejsza. Pozostałości z systemów wodorowęglanowych, jeżeli zostaną oddzielone od popiołów lotnych, mogą być przetwarzane i poddawane recyklingowi w przemyśle chemicznym (ustalona praktyka we Francji i Włoszech). [74. TWG 2004], [7. TWG 2017]

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest ogólnie stosowana.

Ekonomika

Koszty kapitałowe oraz kwestie związane z projektowaniem systemu:

- niższe koszty kapitałowe niż w przypadku systemów półmokrych;
- wyższe wartości temperatur roboczych mogą prowadzić do oszczędności przy ponownym ogrzewaniu spalin, np. w przypadku SCR;
- urządzenie do obsługi/mieszania szlamu nie jest wymagane w systemach suchych.

Koszty operacyjne w porównaniu z innymi technikami:

- w porównaniu z mokrym FGC, zwiększone zużycie odczynników;

- w porównaniu z innymi systemami FGC zwiększone koszty usuwania pozostałości;
- oszczędności na przetwarzaniu/unieszkodliwianiu z powodu braku ścieków.

Siła napędowa wdrażania

Prostota tych systemów jest głównym powodem ich stosowania.

Niższe zużycie energii w porównaniu z innymi wariantami systemu FGC oraz niższe możliwe temperatury na wyjściu z kotła, na które pozwala brak spadku temperatury w suchym FGC, czynią te systemy atrakcyjnymi również z punktu widzenia odzysku energii.

Ograniczenia w dopływie i odpływie wody sprawiają, że stosowanie suchych systemów FGC jest korzystne. Systemy suche (i półsuche) są preferowane, gdy zrzut wody jest zabroniony.

Systemy suche zapewniają dodatkowe korzyści tam, gdzie należy unikać widocznych emisji.

Przykładowe zakłady

Technika ta jest szeroko stosowana w całej Europie. Ponad 240 zakładów działa obecnie w 10 krajach europejskich, a także w Japonii i USA.

We Francji i w Niemczech istnieją przykłady komercyjnych HWI wykorzystujących systemy suche.

Literatura źródłowa

[\[59. CEFIC 2002\]](#), [\[2. InfoMil 2002\]](#), [\[64. TWG 2003\]](#)

4.5.3.4 Dodanie płukania na mokro jako systemu "polerowania" spalin po zastosowaniu innych technik FGC

Opis

Można uznać, że dodanie końcowego systemu przetwarzania mokrych spalin, lub kondensacja spalin, jest obróbką "polerującą" po innych systemach, które mają do czynienia z gazami kwaśnymi, itp. Ta dodatkowa technika jest zazwyczaj stosowana do kontroli emisji HCl i SO₂, gdy są one wysokie lub zmienne. [\[74. TWG 2004\]](#)

Szczegóły techniczne

"Polerowanie" spalin odbywa się zazwyczaj w płuczkach z wypełnieniem (czasami nazywanymi wieżą z wypełnieniem). Typową cechą płukania na mokro w fazie polerowania jest to, że HCl, SO₂, HF i ewentualnie rtęć mogą zostać usunięte na jednym wspólnym etapie, a nie dwóch oddzielnych. Celem poprawy usuwania SO₂ i HF można dodać NaOH. Woda technologiczna może być wtryskiwana do pieca lub do znajdującego się przed nim systemu oczyszczania suchych spalin, co pozwala na pracę bez ścieków. Odzysk energii poprzez kondensację może być zintegrowany z układem, a powstawania wilgotnych emisji z komina można uniknąć poprzez ponowne ogrzanie spalin przez dodatkowy podgrzewacz pary lub wymiennik gazowo-gazowy, bez konieczności dodatkowego zasilania w energię.

Korzyści dla środowiska

Zwiększona niezawodność w zakresie redukcji emisji gazów kwaśnych (HCl, HF, SO₂) aż do poziomu z dolnej granicy przedziału możliwego do osiągnięcia przy zastosowaniu płukania na mokro (zob. sekcja 4.5.3.1).

Zużycie sorbentu i związana z tym produkcja resztek w znajdującym się przed nią suchym systemie może zostać zmniejszona ze względu na wysoką wydajność oraz niski współczynnik stechiometryczny płuczki "polerującej".

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Zobacz sekcja 4.5.3.1

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Zobacz sekcja 4.5.3.1

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Zobacz sekcja 4.5.3.1

Ekonomika

Typowy koszt inwestycji zgłoszony dla płuczki (skrubera) o wielkości 100 000 Nm³/godz. przepływu gazu wynosi 2 mln EUR, włączając w to pompy cyrkulacyjne. Dodatkowa inwestycja w wysokości ok. 100 000 EUR może być wymagana w odniesieniu do podgrzewacza lub przewodu kominowego z tworzywa sztucznego wzmocnionego włóknem szklanym.

Koszty eksploatacyjne zostały podane na poziomie 10-15 EUR/godz. w przypadku energii elektrycznej (dodatkowy spadek ciśnienia w wentylatorach wynosi zazwyczaj 1 200 Pa) i pracy pompy cyrkulacyjnej. Koszt NaOH zależy od konstrukcji.

Zobacz także sekcja 4.5.3.1.

Siła napędowa wdrażania

Zob. sekcja 4.5.3.1 dla sił napędowych wdrażania mokrego FGC.

W przypadku gdy emisja gazów kwaśnych jest wysoka lub zmienna, dodanie etapu "polerowania" może wynikać z przepisów wymagających lepszego oczyszczania spalin w związku ze szczytowymi koncentracjami zanieczyszczeń. Technika ta jest zatem najbardziej odpowiednia dla odpadów o wysokim i zmiennym stężeniu chloru lub innych składników tworzących kwasy (np. odpady niebezpieczne lub komunalne obejmujące odpady przemysłowe).

Dodanie etapu "polerowania" może również wynikać z oszczędności na kosztach odczynników w poprzedzających suchych systemach oczyszczania spalin.

Przykładowe zakłady

Wiele zakładów w Skandynawii oraz WTE ACCAM Busto Arsizio (IT) (IT01); Usine de Fort-De-France (FR) (FR46); Halluin (FR) (FR92).

Literatura źródłowa

[64. TWG 2003], [97. Dania i inni 2015]

4.5.3.5 Recyrkulacja pozostałości z systemu FGC

Opis

Pozostałości zebrane w filtrach workowych stosowanych w suchych, półmokrych i podobnych (ale nie mokrych) układach FGC (zob. również sekcje 4.5.3.2, 4.5.3.3 i 4.5.3.8) zawierają zwykle znaczną część nieprzereagowanych odczynników do oczyszczania spalin, jak również popiół lotny i inne zanieczyszczenia usunięte ze strumienia gazów. Część nagromadzonych pozostałości może zostać reaktywowana i ponownie wprowadzona do obiegu w systemie FGC.

Szczegóły techniczne

Ze względu na recyrkulację, system FGC jest na ogół większy, aby pomieścić dodatkową objętość substancji do odzysku.

Metoda ta jest szczególnie korzystna w przypadku technik, które działają z większym nadmiarem stechiometrycznym, a mniej istotna w przypadku bardziej wydajnego systemu przepływu jednorazowego, w którym niewiele nieprzereagowanych odczynników pozostaje bez recyrkulacji. Analizy pozostałości z FGC mogą być przeprowadzane celem określenia proporcji pomiędzy odczynnikiem przereagowanym a nieprzereagowanym.

Reaktywacja nieprzereagowanych odczynników przed ich ponownym użyciem w procesie FGC może odbywać się poprzez:

- dodanie wody oraz wysoki stopień recyrkulacji pozostałości;
- dodawanie pary pod niskim ciśnieniem oraz średni stopień recyrkulacji pozostałości;
- leżakowanie nieprzereagowanych odczynników i popiołu lotnego przed ich ponownym wprowadzeniem do procesu FGC.

Korzyści dla środowiska

Recyrkulacja odczynników w systemie, w połączeniu z dodawaniem wody/gazu o niskim ciśnieniu lub leżakowaniem, ma następujące zalety:

- zmniejszone zużycie odczynników (w porównaniu do systemów suchych i półmokrych);
- zmniejszone wytwarzanie pozostałości stałych (mniejsza ilość nieprzereagowanych odczynników);
- lepsza kontrola wartości szczytowych gazów kwaśnych (recykulacja zwiększa buforowanie odczynnika).

Zgłoszono, że techniki te są w stanie poradzić sobie ze stężeniami wlotowymi związanymi z większością rodzajów odpadów, w tym ze zmiennymi koncentracjami mogącymi powstać na przykład podczas spalania niebezpiecznych odpadów przemysłowych.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Tabela 4.29 Dane operacyjne związane z zastosowaniem recykulacji pozostałości

Kryteria	Opis czynników wpływających na kryteria	Wpływ (wysoki/średni / niski)	Komentarze
Złożoność	<ul style="list-style-type: none"> • Wymagane dodatkowe elementy procesu • Krytyczne aspekty operacyjne 	Ś	<ul style="list-style-type: none"> • Wymagana niewielka ilość dodatkowego wyposażenia • Dbłość o skuteczną cyrkulację odczynnika oraz kontrola wilgotności
Elastyczność	<ul style="list-style-type: none"> • Zdolność techniki do pracy przy różnych warunkach wejściowych 	W/Ś	<ul style="list-style-type: none"> • Duża objętość buforowania odczynnika zwiększa elastyczność system • Nie jest tak elastyczny w odniesieniu do zmian na wejściu jak systemy mokre, ale znacznie bardziej elastyczny niż systemy suche bez recykulacji
Wymagane doświadczenie	<ul style="list-style-type: none"> • Dodatkowe wymagania dotyczące treningu i doświadczenia 	Ś/N	<ul style="list-style-type: none"> • Systemy proste w obsłudze
Źródło: [57. Alstom 2003], [64. TWG 2003]			

Szybkość wtrysku odczynnika oraz usuwania pozostałości wymaga optymalizacji celem zapobieżenia nadmiernemu obciążeniu adsorbentem i ewentualnemu przebiciu się substancji (np. rtęć i PCDD/F adsorbowane na węglu).

Poziomy wilgotności wymagają monitorowania i kontroli celem utrzymania skuteczności adsorpcji gazów kwaśnych. Monitorowanie przed zastosowaniem HCl i SO₂ służy do optymalizacji dawek odczynnika alkalicznego/wody/niskiego ciśnienia pary.

Niektóre elementy systemu FGC muszą być większe, aby dodatkowo pomieścić materiał recykulowany.

Redukcje emisji do powietrza oraz jej poziomy osiągnięte dzięki tej technice w połączeniu z filtrem workowym oraz dodawaniem odczynników podano w tabeli 4.30.

Tabela 4.30 Poziomy emisji związane z korzystaniem z systemów pośrednich

Substancja	Zakres efektywności redukcji (%)	Osiągane zakresy emisji				Komentarze
		Maksymalna roczna		Średnia roczna (mg/Nm ³)	Emisja specyficzna (g/t wsadu odpadów)	
		Średnich półgodzinnych (mg/Nm ³)	Średnich dobowych (mg/Nm ³)			
HCl	> 99	< 10	< 6	2.9	10–30	Stabilny z powodu wysokiej intensywności obiegu
HF	> 99.5	< 2	< 1	< 0.5	1–5	Stabilny z powodu wysokiej intensywności obiegu
SO ₂	> 99	< 50	< 5	< 1	5–50	Stabilny z powodu wysokiej intensywności obiegu

Źródło: [57. Alstom 2003], [64. TWG 2003], [74. TWG 2004]

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Technika ta pozwala na zmniejszenie ilości wytwarzanych pozostałości stałych w porównaniu z systemami bez recyrkulacji.

Podana stechiometria odczynnika mieści się w zakresie 1.5-2.5 w zależności od zastosowanej technologii. Niższy nadmiar stechiometryczny uzyskuje się przy zastosowaniu pary niskociśnieniowej niż przy dodawaniu wody lub leżakowaniu.

Zużycie wody/pary o niskim ciśnieniu zależy od temperatury spalin na wejściu.

Widzialność emisji jest bardzo niska ze względu na minimalną ilość wody/pary o niskim ciśnieniu używanej do kondycjonowania.

W związku z tym, aby zapewnić kontrolę nad tym zjawiskiem, konieczne może być rozważenie szybkości wprowadzania rtęci oraz zapewnienie wystarczającego jej usuwania.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest najczęściej stosowana w połączeniu z systemami FGC innymi niż systemy mokre.

Recyrkulacja pozostałości z FGC wymaga większego filtra workowego oraz dodatkowej przestrzeni na urządzenia do recyrkulacji/reaktywacji/leżakowania.

Ekonomika

Podaje się, że nakłady kapitałowe są nieco niższe niż w przypadku systemów mokrych i półmokrych, ze względu na zmniejszoną liczbę komponentów procesu, a co za tym idzie, mniejszą powierzchnię zajmowaną przez system, ale nieco wyższe niż w przypadku suchych FGS bez recyrkulacji.

Koszty operacyjne, w porównaniu z suchym FGC bez recyrkulacji, są zmniejszone dzięki mniejszemu zużyciu odczynników (lepszy stosunek stechiometryczny w porównaniu z suchymi systemami) oraz mniejszym kosztem usuwania pozostałości.

Siła napędowa wdrażania

- Zmniejszenie zużycia odczynników.
- Zmniejszone wytwarzanie pozostałości.
- Wymagana mniejsza ilość miejsca zajmowanego przez system.
- Mniejsza złożoność procesu.

Przykładowe zakłady

Istniejące zakłady spalające MSW, RDF i odpady drzewne we Francji, Wielkiej Brytanii, Włoszech, Szwecji, Norwegii, Niemczech, Danii i Hiszpanii.

Literatura źródłowa

[57. Alstom 2003], [64. TWG 2003], [7. TWG 2017]

4.5.3.6 Bezpośrednie dodawanie do odpadów odczynników alkalicznych (bezpośrednie odsiarczanie)**Opis**

Technika ta została opisana w sekcji 2.5.4.4. Zazwyczaj stosuje się ją tylko do pieców z złożem fluidalnym.

Alkaliczny odczynnik reaguje w piecu z kwaśnymi gazami, aby zredukować ilość kwasów w nieprzetworzonych spalinach przechodzących do kolejnych etapów ich oczyszczania.

Szczegóły techniczne

Adsorpcja w piecu w wysokich temperaturach jest znacznie bardziej efektywna dla SO_2 niż dla HCl. Główne zastosowania to procesy o stosunkowo wysokiej zawartości SO_2 , np. spalanie osadów ściekowych. [74. TWG 2004]

Korzyści dla środowiska

Korzyści obejmują pewną redukcję obciążenia nieprzetworzonym gazem oraz redukcję emisji i zużycia odczynników związanych z układem FGC znajdującym się za piecem.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Główną zaletą tej techniki jest to, że pozwala ona problemy z korozją w kotle. Ponieważ współczynnik stechiometryczny jest stosunkowo wysoki, nie poprawia ona ogólnej wydajności FGC. [64. TWG 2003]

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Oddziaływanie tej techniki na procesy i środowisko wiąże się z:

- zużyciem odczynników w piecu (ale jednocześnie zmniejszonym ich zużyciem na dalszych etapach);
- wpływem na jakość popiołu paleniskowego, ponieważ mieszają się z nim sole oraz nieprzereagowany nadmiar odczynnika;
- zmianą składu spalin (stosunek SO_2 do HCl) który może wpłynąć na wydajność dalszych układów FGC, może zmienić profil PCDD/F czy spowodować problemy z korozją w systemie FGC.

Dodatek wapna hydratyzowanego (gaszonego) wpłynie nie tylko na jakość popiołu paleniskowego, ale także na skład i rezystywność popiołu lotnego (tzn. pojawi się więcej związków Ca i siarki oraz większe rozcieńczenie zanieczyszczeń z rosnącą ilością pozostałości z FGC). [64. TWG 2003]

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest generalnie stosowana w systemach z złożem fluidalnym.

Ekonomika

Zmniejszone koszty oczyszczania spalin należy rozważyć w zestawieniu z kosztami dodawania odczynnika na wcześniejszym etapie.

Istnieją również dodatkowe koszty kapitałowe związane z dostarczaniem odczynników do pieca/odpadów.

Siła napędowa wdrażania

Technika ta jest wdrażana w istniejących zakładach jako modernizacja tam, gdzie w systemach FGC istnieje jedynie ograniczona możliwość zwiększenia wydajności oczyszczania gazów kwaśnych.

Przykładowe zakłady

SOGAMA, Cerceda (ES) (ES07.1/ES07.2); Area Impianti Bergamo (IT) (IT07); SNB, Moerdijk (NL) (NL06).

Literatura źródłowa

[1. UBA 2001], [64. TWG 2003]

4.5.3.7 Wtrysk odczynników alkalicznych do kotła (wtrysk wysokotemperaturowy)

Opis

Bezpośredni wtrysk dedykowanych odczynników do kotła w wysokiej temperaturze, w obszarze dopalania kotła, aby osiągnąć częściową redukcję kwaśnych gazów. Jako odczynniki stosuje się wapno hydratyzowane oraz dolomit kalcynowany.

Szczegóły techniczne

W tej technice wapno hydratyzowane jest wstrzykiwane i reaguje z gazami kwaśnymi bezpośrednio w piecu, w optymalnej temperaturze 800-1 200 °C, zmniejszając w ten sposób obciążenie nieprzetworzonym gazem kwaśnym przechodzącym do kolejnych etapów oczyszczania spalin. Ponieważ adsorpcja w wysokich temperaturach jest bardzo skuteczna w usuwaniu SO_x i HF, w reakcji tej zużywa się znacznie mniej odczynnika w porównaniu z osiągnięciem równej jakości usuwania przy niższej temperaturze na etapie filtra workowego. Technika ta spłaszcza również szczyty zanieczyszczeń, pozwalając na dalsze zmniejszenie zużycia odczynnika w dalszej części urządzenia do oczyszczania spalin.

Korzyści dla środowiska

Korzyści to redukcja obciążenia nieprzetworzonymi gazami, redukcja "szczytów" kwaśnych gazów oraz redukcja emisji i zużycia odczynników w dalszej części urządzenia do oczyszczania spalin.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Odnotowano zmniejszenie zawartości SO₂, SO₃ i HF o 80-96 % oraz HCl o 25-30 % (na wyjściu z kotła) przy wskaźniku wtrysku 3-8 kg wapna hydratyzowanego na tonę odpadów.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Ponieważ odnotowano ogólne ograniczenie stosowania odczynników w połączonych systemach oczyszczania spalin, w kotłach i za nimi, nie oczekuje oddziaływania techniki na środowisko.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest najczęściej stosowana w piecach rusztowych i obrotowych.

Ekonomika

Podane koszty nakładów inwestycyjnych mieszczą się w przedziale 100 000-300 000 EUR.

Koszty eksploatacyjne, w tym koszty konserwacji, energii dla systemu transportowego oraz koszty odczynników do wtrysku do kotła, wynoszą 0.4-2.20 EUR na tonę odpadów.

Uniknięte koszty operacyjne w przypadku wtrysku sorbentu NaHCO₃ na dalszych etapach procesu wynoszą 0.72-2.04 EUR na tonę odpadów.

Sila napędowa wdrażania

- Możliwość akceptacji odpadów o zwiększonej zawartości zanieczyszczeń kwasowych.
- Redukcja przestojów konserwacyjnych kotła.
- Redukcja ilości "szczytów" emisji gazów kwaśnych.
- Zwiększenie skuteczności systemu FGC poprzez dodanie dodatkowego etapu.
- Jako doposażenie, technika ta może zapewnić prosty sposób modernizacji istniejącego urządzenia FGC zwiększający szybkość usuwania zanieczyszczeń kwasowych przy jednoczesnym utrzymaniu umiarkowanego tempa dozowania odczynnika.

Przykładowe zakłady

ACSM S.p.A., Como (IT) (IT02); AMSA S.p.A. Milano (IT); REA Dalmine (IT) (IT10.1/IT10.2); Silea S.p.A, Valmadrera (IT) (IT11); Tecnoborgo S.p.A., Piacenza (IT) (IT12); Ambiente 2000 Trezzo Adda (IT); Brianza Energia Ambiente-Desio (IT) (IT03); AEM Gestioni Cremona (IT); ACCAM S.p.A., Busto Arsizio (IT) (IT01); Ecolombardia 4 Filago (IT); Schwandorf MWI (DE); Heringen RDF plant (DE) (DE50).

Literatura źródłowa

[\[99. EuLA 2015\]](#)

4.5.3.8 Kombinacja absorbera półmokrą oraz systemu wtrysku suchego**Opis**

Połączenie procesu półmokrą (zazwyczaj SDA) i wtrysku suchego sorbentu (DSI). Technika ta jest również znana jako system suchy w trzech czwartych.

Szczegóły techniczne

Technika ta polega na wtrysku suchego odczynnika (DSI) przed lub za półmokrą reaktorem.

Odczynnikiem DSI może być wapno hydratyzowane, wapno hydratyzowane o wysokiej powierzchni właściwej, wapno hydratyzowane o wysokiej porowatości lub mieszanka wapna hydratyzowanego i materiałów węglowych lub mineralnych.

Podstawową zasadą działania jest utrzymywanie stałej ilości mleczka wapiennego wtryskiwanego do reaktora z poziomem projektowym celem wychwycenia większej części zanieczyszczeń, podczas gdy DSI służy do usuwania pozostałości gazów kwaśnych, w tym szczytów, za pomocą bezpośredniej kontroli oraz regulacji procesu.

Korzyści dla środowiska

- Zmniejszenie całkowitej ilości zanieczyszczeń uwalnianych do powietrza w porównaniu z typowym procesem półmokrą.
- Zmniejszenie ilości generowanych pozostałości dzięki ulepszonej stechiometrii, w porównaniu z osiągnięciem tego samego poziomu usuwania przy zastosowaniu samego procesu półmokrą.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Podane efektywności usuwania wynoszą > 98 % dla SO₂ i > 99 % dla HCl.

Zgłaszane zalety to:

- ciągłość działania mleczka wapiennego;
- szybka i dokładna reakcja DSI na szczytowe ilości zanieczyszczeń;
- mniejsza ilość przerw konserwacyjnych;
- zmniejszenie całkowitego zużycia odczynnika (przy takim samym stopniu usuwania gazów kwaśnych) w porównaniu z samym procesem półmokrą.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Ponieważ taka sama redukcja zanieczyszczeń zgłaszana jest przy zmniejszonym zużyciu odczynnika, w porównaniu z stosowaniem tylko SDA, nie oczekuje się żadnych efektów dodatkowego oddziaływania tej techniki.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta ma zastosowanie do nowych i istniejących instalacji wykorzystujących SDA jako proces FGC.

Ekonomika

Koszty nakładów inwestycyjnych na system DSI wynoszą 100 000-200 000 EUR.

Koszty operacyjne, w tym koszty konserwacji, energii zużywanej przez system transportowy oraz koszty odczynników (1 kg wapna hydratyzowanego na tonę odpadów) dla DSI, wynoszą 0.17-0.29 EUR na tonę odpadów. Koszty operacyjne, których uniknięto dzięki zmniejszeniu zużycia odczynników w jednostce SDA, wynoszą 0.33-0.38 EUR na tonę odpadów, co wynika z ograniczenia zużycia wapna z 10 kg do 7.5 kg na tonę odpadów.

Siła napędowa wdrażania

- W ramach modernizacji, aby umożliwić zakładowi wyposażonemu w SDA dalszą redukcję poziomu emisji.
- Możliwość akceptacji odpadów o zwiększonej ilości zanieczyszczeń kwasowych.
- Oszczędności w kosztach operacyjnych.

Przykładowe zakłady

Intradel Uvelia-Herstal (BE) (BE04); SNVE, Rouen (FR); BSR, Berlin (DE); IPALLE, Thumaide (BE); Vattenfall IKW, Ruedersdorf (DE) (DE84); SWB MHKW, Bremen (DE) (DE39); SERTRID Usine de Bourgogne (FR); IBW, Virginal (BE); Amagerforbraending, Copenhagen (DK); Slagelse Forbrændings Anlæg, Slagelse (DK) (DK03).

Literatura źródłowa

[100. [EuLA 2015](#)]

4.5.3.9 Wykorzystanie monitoringu gazów kwaśnych do optymalizacji procesów FGC

Opis

Dzięki zastosowaniu szybko reagującego HCl, SO₂, a także ewentualnie monitoringu HF przed i/lub za suchymi i półmokrymi systemami FGC, możliwe jest dostosowanie działania systemu FGC w taki sposób, aby ilość stosowanego odczynnika alkalicznego w czasie eksploatacji była zoptymalizowana pod kątem żądanych wartości emisji.

Szczegóły techniczne

Technika ta jest zazwyczaj stosowana jako dodatkowa metoda kontroli koncentracji szczytowych, przy czym nagromadzenie warstwy odczynnika na filtrach workowych zapewnia również istotny efekt buforowania w przypadku wahań jego ilości.

Technika ta nie ma zastosowania w przypadku płuczek gazowych mokrych, ponieważ czynnikiem płuczącym jest woda, a dopływ wody do płuczki kontrolowany jest przez szybkość parowania i upustu, a nie przez stężenie nieprzetworzonego HCl. [64. [TWG 2003](#)]

Samo zapobieganie przenikaniu HCl nie zawsze wystarczy, aby zagwarantować wszystkim systemom FGC, że odczynnika wystarczy również do kontroli SO₂ i/lub HF, a tym samym do ograniczenia emisji szczytowych. [7. [TWG 2017](#)]

Korzyści dla środowiska

Zalety tej techniki to:

- szczytowe wartości zanieczyszczeń w nieprzetworzonych gazach są z góry przewidywane a zatem nie powodują zwiększonych emisji do powietrza;
- następuje zmniejszenie zużycia odczynnika poprzez dostosowanie jego ilości w systemie do zapotrzebowania;
- ilość nieprzereagowanego odczynnika w pozostałościach ulega zmniejszeniu.

Korzyści dla środowiska są największe tam, gdzie kontrola jakości odpadów na wejściu do pieca jest ograniczona, a mniejsze tam, gdzie odpady są homogenizowane i poddawane dobrej kontroli jakości poprzez selekcję, segregację, mieszanie lub przetwarzanie wstępne.

Mniejsze zakłady mogą odnosić największe korzyści, ponieważ odbiegające od normalnie akceptowanych odpady mogą mieć większy wpływ na systemy o mniejszej przepustowości.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Celem zapewnienia skutecznej reakcji, czas zadziałania urządzenia monitorującego musi być odpowiednio szybki, aby sygnał kontrolny został przekazany do urządzeń dozujących odczynnik na czas.

Tam, gdzie urządzenia monitorujące znajdują się przed systemem FGC, ich odporność na korozję jest niezbędna ze względu na bardzo agresywne środowisko. Problemem może być również zanieczyszczenie.

Zróznicowanie zdolności absorpcyjnej w systemie FGC można osiągnąć dzięki:

- zmianie natężenia przepływu za pomocą pomp lub ślimaków dozujących o zmiennej prędkości pracy;
- zmianie stężenia odczynnika w systemach półmokrych - gdy objętość zbiornika mieszającego jest wystarczająco mała, aby zapewnić odpowiednią szybkość zmiany stężenia;
- dostosowanie proporcji odczynników w systemach FGC, wieloetapowych lub w których stosuje się wiele odczynników.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Brak danych

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest ogólnie stosowana

Ekonomika

Nie dostarczono informacji.

Siła napędowa wdrażania

- W ramach modernizacji istniejących zakładów, aby uniknąć przekroczenia chwilowych limitów emisji.
- Przy projektowaniu nowych instalacji, celem optymalizacji zużycia odczynników przy jednoczesnym zapewnieniu zgodności z wymaganiami dotyczącymi emisji chwilowych.

Przykładowe zakłady

Technika stosowana w zakładach całej Europy np. Vitre (FR) (FR002); Cergy, Saint-Ouen L'Aumône (FR) (FR075); MHKW Bremerhaven, Breme (DE) (DE39); MKVA Krefeld (DE) (DE55.2R); UTE-TEM, Mataró (ES) (ES04); Allington Incinerator (UK) (UK07); Lincoln (UK) (UK12).

Literatura źródłowa

[17. ONYX 2000], [64. TWG 2003]

4.5.4 Techniki zmniejszania emisji tlenków azotu (NO_x)

Techniki podstawowe mają na ogół duże znaczenie dla ograniczenia powstawania NO_x na etapie spalania. Te bardziej ogólne opisane zostały w sekcjach 4.1 i 4.3 i odnoszą się głównie do zarządzania oraz przygotowywania odpadów, a w szczególności stosowanych technik przetwarzania termicznego. Ta część dokumentu BREF dotyczy technik stosowanych celem redukcji emisji NO_x poprzez zastosowanie bardziej specyficznych technik podstawowych, opisanych w sekcjach 4.5.4.1 i 4.5.4.2, oraz technik dodatkowych (zmniejszania emisji), opisanych w sekcjach 4.5.4.3, 4.5.4.4 i 4.5.4.5. Najczęściej stosuje się kombinacje technik podstawowych oraz dodatkowych.

4.5.4.1 Palniki o niskiej emisji NO_x do odpadów płynnych**Opis**

Technika ta opiera się na zasadach redukcji szczytowych wartości temperatur płomienia. Omawiane palniki mają na celu drogą opóźnienia poprawę spalania oraz zwiększenie wymiany

ciepła (zwiększenie emisyjności płomienia). Mieszanie powietrza z paliwem zmniejsza dostępność tlenu i obniża szczytową temperaturę płomienia, opóźniając w ten sposób konwersję azotu związanego w paliwie na NO_x oraz tworzenie się termicznego NO_x , przy zachowaniu wysokiej efektywności spalania. [\[110. COM 2016\]](#)

Szczegóły techniczne

Opisy palników o niskiej emisji NO_x stosowanych do paliw konwencjonalnych znajdują się w dokumencie BREF LCP (uwaga: mogą one wymagać specjalnych modyfikacji do stosowania z odpadami).

Korzyści dla środowiska

Redukcja emisji NO_x do powietrza.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Istnieje stosunkowo niewiele przykładów, w których z powodzeniem stosuje się palniki o niskiej emisji NO_x do odpadów. Szczególną uwagę należy zwrócić na zapewnienie odpowiedniej wydajności spalania (z odpadami). Technika ta ma zastosowanie tylko do określonych strumieni odpadów płynnych. Może być również odpowiednia dla niektórych płynnych odpadów niebezpiecznych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Stosowanie palników o niskiej emisji NO_x może zwiększyć ryzyko emisji produktów niepełnego spalania (CO oraz substancji organicznych).

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika stosowana tylko w przypadku spalania odpadów płynnych.

Ekonomika

Instalacja palników o niskiej emisji NO_x podczas budowy instalacji pomaga zmniejszyć wytwarzanie NO_x w niewielkim stopniu zwiększając koszty inwestycyjne. Koszt doposażenia istniejących instalacji w takie palniki może być jednak większy. [\[64. TWG 2003\]](#)

Siła napędowa wdrażania

Redukcja emisji NO_x .

Przykładowe zakłady

Drehrohrofenanlage Schkopau (DE) (DE22); Reststoffverwertungsanlage, Stade (DE) (DE23); Sonderabfallverbrennungsanlage, Brunsbüttel (DE) (DE28); Vantaan Jätevoimala, Vantaa (FI) (FI05); CIE, Creteil (FR) (FR087.3); Four d'incinération John Zink, Chalampé (FR) (FR106); WIP Sarpi Dąbrowa Górnicza, Dąbrowa Górnicza (PL) (PL03); Veolia Zakład Spalania Wysokotemperaturowego, Ellesmere Port (UK) (UK01).

Literatura źródłowa

[\[110. COM 2016\]](#)

4.5.4.2 Zastąpienie powietrza wtórnego spalinami z recyrkulacji

Zobacz sekcja 4.3.6.

4.5.4.3 Selektywna redukcja niekatalityczna (SNCR)

Opis

Zob. opis w sekcji 2.5.5.2.1.

Szczegóły techniczne

[\[2. InfoMil 2002\]](#) W procesie SNCR amoniak (NH_3) lub mocznik ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) wtryskiwany jest do pieca celem zmniejszenia emisji NO_x . NH_3 najskuteczniej reaguje z NO_x w zakresie od 850 °C do 950 °C, chociaż w przypadku stosowania mocznika efektywne są temperatury do 1 050 °C. Jeśli temperatura jest zbyt wysoka, konkurencyjna reakcja utleniania generuje niepożądany NO_x . Jeśli temperatura jest zbyt niska lub czas przebywania dla zajścia reakcji pomiędzy NH_3 i

NO_x niewystarczający, skuteczność redukcji NO_x spada, a emisja resztek amoniaku może wzrosnąć. Ze względu na chemię reakcji zawsze występuje pewna ucieczka amoniaku. Dodatkowa ucieczka amoniaku może zostać spowodowana przez nadmierne lub słabo zoptymalizowany wtrysk odczynnika. [74. TWG 2004]

W zaawansowanych konstrukcjach SNCR temperatura reakcji jest optymalizowana przez sterowany komputerowo system wtryskowy z wieloma lancami rozmieszczonymi w kotle na różnych poziomach. Profil temperaturowy mierzony jest za pomocą pirometru akustycznego lub działającego w podczerwieni i dzielony na sekcje, które mogą zostać przypisane do poszczególnych lanc lub ich grup, w zależności od zmierzonej temperatury gazu. Gwarantuje to, że odczynnik będzie zawsze wtryskiwany w najbardziej efektywnym miejscu w kotle, nawet przy szybko zmieniającym się i asymetrycznym profilu temperaturowym, co skutkuje niższym poziomem NO_x przy zoptymalizowanym zużyciu odczynnika oraz zminimalizowanej ucieczce amoniaku. [106. HWE 2015] [108. Szwecja 2016]

Korzyści dla środowiska

Korzyści obejmują redukcję emisji NO_x przy znacznie niższych kosztach niż w przypadku SCR.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Redukcja oraz poziomy emisji do powietrza osiągnęte zazwyczaj przez zakłady wyposażone w SNCR podano w tabeli 4.31.

Tabela 4.31 Poziomy emisji związane ze stosowaniem SNCR

Substancja	Osiągane zakresy emisji				Komentarze
	Maksymalna roczna		Średnia roczna (mg/Nm ³)	Emisja specyficzna (g/t wsadu odpadów)	
	Średnich półgodzinnych (mg/Nm ³)	Średnich dobowych (mg/Nm ³)			
NO _x	155–300	80–180	70–180	390–1 000	Wartość zależna od dawkowania, rodzaju odpadów i palnika
NH ₃	5–60	3–15	1–6	6–33	Wartość najniższa przy zastosowaniu płuczek gazowych mokrych

Źródło: [1. UBA 2001], [2. InfoMil 2002], [12. Achternbosch 2002], [60. Reimann 2002], [81. TWG 2016]

Głównym źródłem emisji N₂O w SNCR jest stosowanie mocznika zamiast amoniaku (co prowadzi do 2-2.5 razy większych emisji N₂O niż w przypadku redukcji przez amoniak). Aby ograniczyć powstawanie N₂O, ważne jest zatem, aby zoptymalizować wybór reaktora (amoniak lub mocznik) oraz kontrolować warunki procesu (zwłaszcza mieszanie gazów, temperaturę oraz ucieczkę amoniaku). [64. TWG 2003]

Tabela 4.32 Dane operacyjne związane z wykorzystaniem SNCR

Kryteria	Opis czynników wpływających na kryteria	Wpływ (wysoki/średni/niski)	Komentarze
Złożoność	<ul style="list-style-type: none"> Wymagane dodatkowe elementy procesu Krytyczne aspekty operacyjne 	Ś	<ul style="list-style-type: none"> Sprzęt do wtrysku odczynników wymagany, ale nie oddzielne reaktory (w porównaniu z SCR) Ważne są temperatura i optymalizacja wtrysku odczynnika
Elastyczność	<ul style="list-style-type: none"> Zdolność techniki do pracy przy różnych warunkach wejściowych 	Ś	<ul style="list-style-type: none"> Dobra redukcja NO_x w całym zakresie koncentracji wejściowych Temperatura to parametr krytyczny
Wymagane doświadczenie	<ul style="list-style-type: none"> Dodatkowe wymagania dotyczące treningu i doświadczenia 	Ś	<ul style="list-style-type: none"> Kontrola oraz optymalizacja wtryskiwanych dawek to ważna zasada

Źródło: [64. TWG 2003]

Główne czynniki wpływające na osiągnięte wyniki to:

- mieszanie reagentów z spalinami;
- temperatura; oraz
- wystarczający czas przebywania.

Zwiększenie dawki odczynnika powoduje na ogół zmniejszenie emisji NO_x . Może to jednak spowodować zwiększenie ucieczki amoniaku i emisji N_2O (szczególnie w przypadku mocznika). Dlatego w przypadku stosowania mocznika, optymalizacja procesu może stanowić dodatkowe wyzwanie.

Uciekający amoniak jest absorbowany w przypadku stosowania płuczek gazowych mokrych. Można go również usunąć ze strumienia ścieków za pomocą urządzenia do usuwania amoniaku - choć zwiększa to złożoność operacji oraz zwiększa koszty kapitałowe i operacyjne [74. TWG 2004]. Zregenerowany amoniak może być wykorzystany jako materiał wsadowy w procesie SNCR (zob. również komentarz w sekcji oddziaływanie na procesy i środowisko dotyczący zrzutu ścieków, jeżeli są one dokonywane).

Generalnie, stężenie N_2O wzrasta wraz ze spadkiem stężenia NO_x . W niekorzystnych warunkach można osiągnąć poziomy powyżej 50 mg/m^3 , natomiast w sprzyjających warunkach poziomy stężenia emisji będą poniżej 10 mg/m^3 . Aby ograniczyć powstawanie N_2O , ważne jest zatem, aby zoptymalizować oraz kontrolować warunki procesu.

Ilość wtryskiwanego NH_3 zależy od stężenia NO_x w nieprzetworzonych spalinach, jak również od wymaganej redukcji NO_x . NH_3 jest wprowadzany do spalin przez wstrzyknięcie roztworu wodnego. W niektórych szczególnych przypadkach odnotowano, że spalanie osadów ściekowych o wysokiej wilgotności prowadzi do znacznych stężeń NH_3 w nieprzetworzonych spalinach, co neguje potrzebę jego wstrzyknięcia. Najczęściej stosowanymi roztworami są (stężony lub rozcieńczony) żrący amoniak (NH_4OH) lub mocznik ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$). Stosowanie mocznika jest skuteczne w przypadku stosunkowo małych jednostek, ponieważ mocznik może być magazynowany w postaci stałej (w workach), a więc unika się wymogów operacyjnych i bezpieczeństwa związanych ze składowaniem amoniaku. W przypadku większych jednostek na ogół bardziej skuteczne jest stosowanie amoniaku.

Skuteczne mieszanie odczynników i NO_x w spalinach w optymalnej temperaturze jest niezbędne do osiągnięcia wysokiej skuteczności usuwania NO_x . Aby osiągnąć optymalną temperaturę i kompensować jej wahania, w piecu można zainstalować na różnych poziomach kilka zestawów dysz wtryskowych, zwykle w pierwszym przejściu.

Zasadniczo, SNCR może być stosowany tam, gdzie dostępne jest okno temperaturowe o zakresie $850\text{--}1050 \text{ }^\circ\text{C}$. W większości spalarni odpadów okno to występuje w górnej części pieca.

Systemy SNCR działają najlepiej w stałych warunkach pracy (równy rozkład amoniaku i koncentracji NO_x). Gdy warunki pracy nie są stabilne, może wystąpić ucieczka amoniaku (nadmierna emisja), nieodpowiednie przetwarzanie NO_x lub tworzenie się N_2O .

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Poziomy zużycia związane z SNCR zostały określone w tabeli 4.33.

Tabela 4.33 Poziomy zużycia związane z zastosowaniem SNCR

Kryteria	Jednostki	Zakres wartości	Komentarze
Zapotrzebowanie na energię	kWh/t wsadu odpadów	45–50 termiczna	Chłodzący efekt iniekcji do pieca
Zużycie odczynnika	kg/t wsadu odpadów	1–4	Amoniak, mocznik lub woda amoniakalna
Odczynnik - stechiometria	Stosunek	2–3	

Źródło: [60. Reimann 2002]

Najważniejsze aspekty oddziaływania tej techniki to:

- konsumpcja energii (niższa niż w przypadku SCR);
- możliwe wytwarzanie N_2O (wysoki współczynnik ocieplenia globalnego) oraz ucieczki amoniaku, jeśli proces SNCR nie jest dobrze kontrolowany;
- zużycie odczynnika (wyższe niż dla SCR);
- ucieczka amoniaku może zanieczyścić pozostałości oraz ścieki; odzysk amoniaku jest możliwy.

W uwodnionych systemach FGC na bazie wapna: półsuchych, pośrednich oraz suchych, ucieczka NH_3 jest absorbowana przez $CaCl_2$ powstały w wyniku usunięcia HCl . Jeśli pozostałość ta zostanie następnie wystawiona na działanie wody, NH_3 zostanie uwolniony. Może to mieć konsekwencje dla dalszego przetwarzania pozostałości lub stabilizacji cementem.

W celu zapewnienia zgodności z lokalnymi normami odprowadzania ścieków lub w celu zapewnienia odpowiedniego wytrącania, np. kadmu i niklu, ze ścieków procesowych może być konieczne stosowanie do usuwania amoniaku systemów mokrych. Dodanie takiego procesu zwiększa złożoność operacyjną oraz koszty.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest ogólnie stosowana.

Możliwe jest stosowanie wyższych dawek (co skutkuje niższą emisją NO_x), przy jednoczesnym utrzymaniu niskiego poziomu ucieczki amoniaku przy płukaniu na mokro. W takich przypadkach może być konieczne zastosowanie urządzenia do usuwania amoniaku celem zmniejszenia poziomu NH_3 w ściekach oraz ponownego wykorzystania odebranego NH_3 w SNCR.

Maksymalna wydajność redukcji tej techniki w warunkach normalnych wynosi około 75%. SNCR nie jest zatem powszechnie stosowana w przypadku, gdy wymagane są większe redukcje procentowe; zazwyczaj może to być zgodne z poziomami emisji NO_x poniżej 100 mg/Nm^3 (średnia dobowa). Wyższe dawki odczynnika wymagane do osiągnięcia poziomu redukcji powyżej 75% oznaczają, że osiągnięcie poziomu ucieczki amoniaku $< 10 \text{ mg/Nm}^3$ może wymagać zastosowania dodatkowych środków, takich jak płukanie na mokro, a następnie mogą być również wymagane techniki kontroli poziomu amoniaku w ściekach, np. usuwanie. [74. TWG 2004]

Ekonomika

Kluczowe aspekty tej techniki to:

- koszty kapitałowe są znacznie niższe niż w przypadku SCR;
- jeżeli celem usuwania zastosuje się amoniak, koszty kapitałowe będą nadal o 10-30% niższe niż w przypadku SCR;
- koszty użycia odczynnika są wyższe niż dla SCR;
- koszty operacyjne są niższe niż w przypadku SCR, głównie ze względu na mniejsze zapotrzebowanie na energię do ponownego podgrzania spalin.

Koszty inwestycji systemu SNCR dla dwóch linii zakładu MSWI o wydajności 200 000 t/rok szacuje się na 1 mln EUR. Dla porównania, dla SCR jest to około 4 mln EUR. [12. Achternbosch 2002]

Siła napędowa wdrażania

- Zgodność z wymogami prawnymi w zakresie emisji NO_x .
- Przewaga kosztowa w porównaniu z SCR.
- Brak miejsca na system SCR.

Jeśli dopuszczalne jest odprowadzanie ścieków bogatych w amoniak, zastosowanie tej techniki z mokrym systemem FGC będzie bardziej ekonomiczne, ponieważ nie będzie wymagało stosowania urządzenia do usuwania amoniaku. Nie dotyczy to systemów FGC, które nie wytwarzają ścieków.

Przykładowe zakłady

Technika ta jest w Europie szeroko stosowana.

Laanila WtE Plant-Oulu (FI) (FI4-1), Westenergy Oy Ab-Mustasaari (FI) (FI6-1), oraz Gärstadverket-Linköping (SE) (SE3) to przykłady zakładów stosujących zaawansowany system SNCR z systemem pomiarowym temperatury akustycznym lub na podczerwień.

Literatura źródłowa

[1. UBA 2001], [2. InfoMil 2002], [3. Austria 2002], [12. Achternbosch 2002], [60. Reimann 2002], [64. TWG 2003]

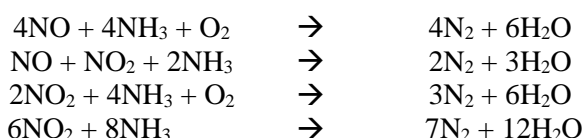
4.5.4.4 Selektowna redukcja katalityczna (SCR)

Opis

Technika ta została już opisana w sekcji 2.5.5.

Szczegóły techniczne

Najczęstszymi reakcjami SCR, które są przeprowadzane z udziałem katalizatorów są:



W spalaniu odpadów SCR jest zazwyczaj stosowany po odpyleniu i oczyszczeniu z kwaśnych gazów (przykłady stosowania tej techniki w przypadku wysokiego zapylenia/zabrudzenia gazu są rzadkie). Spaliny wymagają zazwyczaj ponownego podgrzania, po wcześniejszych etapach FGC (zwykle temperatura na wyjściu z FGC wynosi 70 °C dla układów mokrych i 120-180 °C dla większości filtrów workowych), aby osiągnąć temperaturę roboczą systemu SCR (patrz poniżej). Lokalizacja systemu SCR bezpośrednio po instalacji odpylania na gorąco nie jest powszechna, ale jest stosowana w niektórych zakładach w Europie i może zapobiec wadom związanym z ponownym podgrzewaniem spalin wzdłuż całej linii FGC. [74. TWG 2004]

Zakres temperatur roboczych dla systemów SCR [64. TWG 2003] wynosi 150 - 320 °C. Najczęściej jednak systemy pracują w zakresie 180 - 240 °C. Najniższe temperatury robocze wymagają zazwyczaj czystszych spalin na wlocie do SCR. Stężenie SO₂ w spalinach może być krytyczne i może powodować zatrucie katalizatora. Materiał katalityczny składa się zazwyczaj z nośnika (TiO₂) z dodatkiem substancji czynnych (V₂O₅ oraz WO₃).

Korzyści dla środowiska

Stosowanie SCR skutkuje na ogół niższą emisją NO_x niż pozostałe techniki. Głównymi wadami są wyższe koszty inwestycyjne oraz wyższe zużycie energii (zwykle gazu ziemnego, oleju lekkiego lub pary pod wysokim ciśnieniem), która jest niezbędna do wspomaganie ponownego podgrzania spalin do temperatury reakcji katalizatora. Wybór systemów, które działają efektywnie w dolnej części dozwolonego zakresu temperatur oraz zastosowanie wymiany ciepła zmniejsza dodatkowe zapotrzebowanie na energię.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Redukcja oraz poziomy emisji do powietrza osiągnięte zazwyczaj przez zakłady wyposażone w SCR podano w tabeli 4.34.

Tabela 4.34 Poziomy emisji związane z zastosowaniem SCR

Substancja	Osiągane zakresy emisji			
	Maksymalna roczna		Średnia roczna (mg/Nm ³)	Emisja specyficzna (g/t wsadu odpadów)
	Średnich półgodzinnych (mg/Nm ³)	Średnich dobowych (mg/Nm ³)		
NO _x	50–200	40–150	40–120	220–660
NH ₃	3–30	3–10	< 3	< 17

Źródło: [81. TWG 2016]

Ponadto, jeżeli jest odpowiednio zaprojektowany (dodatkowa warstwa katalizatora, wyższa temperatura robocza), SCR może niszczyć katalitycznie również PCDD/F (zob. sekcja 4.5.5.3). Efektywność niszczenia wynosi 98- 99.9 %, co daje emisje PCDD/F w zakresie 0.05-0.002 ng/Nm³ TEQ.

Tabela 4.35 Dane operacyjne związane z zastosowaniem SCR

Kryteria	Opis czynników wpływających na kryteria	Wpływ (wysoki/średni/niski)	Komentarze
Złożoność	<ul style="list-style-type: none"> Wymagane dodatkowe elementy procesu Krytyczne aspekty operacyjne 	W	
Elastyczność	<ul style="list-style-type: none"> Zdolność techniki do pracy przy różnych warunkach wejściowych 	W	Osiągnięto wysokie stopy redukcji. System wrażliwy na wejściu na stężenie SO ₂ , SO ₃ oraz P. Wielofunkcyjna redukcja NO _x i PCDD/F.
Wymagane doświadczenie	<ul style="list-style-type: none"> Dodatkowe wymagania dotyczące treningu i doświadczenia 	W/Ś	
<i>Źródło: [64. TWG 2003]</i>			

Temperatura katalizatora ma istotny wpływ na (względną szybkość) reakcji. Optymalny zakres temperatur dla redukcji katalitycznej zależy od typu zastosowanego katalizatora, ale zazwyczaj wynosi 180 - 240 °C. [7. TWG 2017]

Niższa temperatura robocza katalizatora powoduje wolniejsze tempo reakcji (tempo redukcji NO jest relatywnie bardziej spowolnione przez niższe temperatury niż NO₂) i możliwą ucieczkę amoniaku. Wyższa temperatura powoduje skrócenie żywotności katalizatora i może prowadzić do utleniania się NH₃ oraz wytwarzania dodatkowych NO_x. [2. InfoMil 2002]

Niższe temperatury układów SCR są na ogół mniej skuteczne w niszczeniu PCDD/F i mogą być wymagane dodatkowe warstwy katalizatorów. Układy niskotemperaturowe potrzebują najczęściej czystszych gazów spalinowych na wlocie - w szczególności o niskich wartościach SO₂. [64. TWG 2003]

Niska temperatura pracy SCR wymaga zastosowania automatycznego urządzenia czyszczącego (np. dmuchawy sadzy).

Konieczna jest regularna regeneracja celem usunięcia soli amoniaku. Częstotliwość regeneracji w systemach niskotemperaturowych może wynosić nawet co 1 000 godzin. Przy takiej częstotliwości może się ona stać operacyjnie krytyczna, gdyż prowadzi do powstania szczytów emisji NH₃ i SO₂, jeśli spaliny nie będą recyrkulowane (zob. sekcja 4.3.6). Częstotliwość regeneracji może być znacznie zmniejszona poprzez utrzymanie niskich poziomów SO_x na wejściu do katalizatora. [74. TWG 2004] [7. TWG 2017]

Osiągnięte korzyści środowiskowe zależą od umiejscowienia w całym systemie FGC. W przypadku, gdy SCR znajduje się przed płuczką, skuteczność redukcji NO_x może zostać zmniejszona, prowadząc do uzyskania wartości emisji NO_x większych niż te przedstawione w tabeli 4.26. [74. TWG 2004]

Katalizatory:

[2. InfoMil 2002] Kryteria określające typ zastosowanego katalizatora:

- temperatura spalin;
- wymagana redukcja NO_x;
- dopuszczalna ucieczka amoniaku;
- dopuszczalne utlenianie dwutlenku siarki;
- koncentracja zanieczyszczeń;

- żywotność katalizatora;
- wymagania dodatkowej destrukcji PCDD/F;
- koncentracja pyłu w spalinach. [\[74. TWG 2004\]](#)

Następujące rodzaje degradacji ograniczają żywotność katalizatorów:

- zatrucie: gdy miejsce aktywności katalizatora jest zablokowane przez silnie wiążący związek;
- osadzanie: gdy pory są zablokowane przez małe cząsteczki lub skondensowane sole, takie jak wodorosiarczan amonu (NH_4HSO_4); może to zostać zredukowane przez obniżenie SO_x na wlocie a także jest częściowo odwracalne przez ponowne ogrzanie katalizatora;
- spiekanie: gdy w zbyt wysokich temperaturach dochodzi do zniszczenia mikrostruktury katalizatora;
- erozja: z powodu uszkodzeń fizycznych spowodowanych przez ciała i cząstki stałe.

Typowa żywotność katalizatora wynosi od 3 do 5 lat, chociaż w niektórych przypadkach odnotowano dłuższe okresy życia, przekraczające nawet 10 lat.

Kropelki na wlocie układu płuczącego, które powodują osadzanie się soli, uważane są za czynnik krytyczny, który zwiększa szybkość degradacji katalizatora.

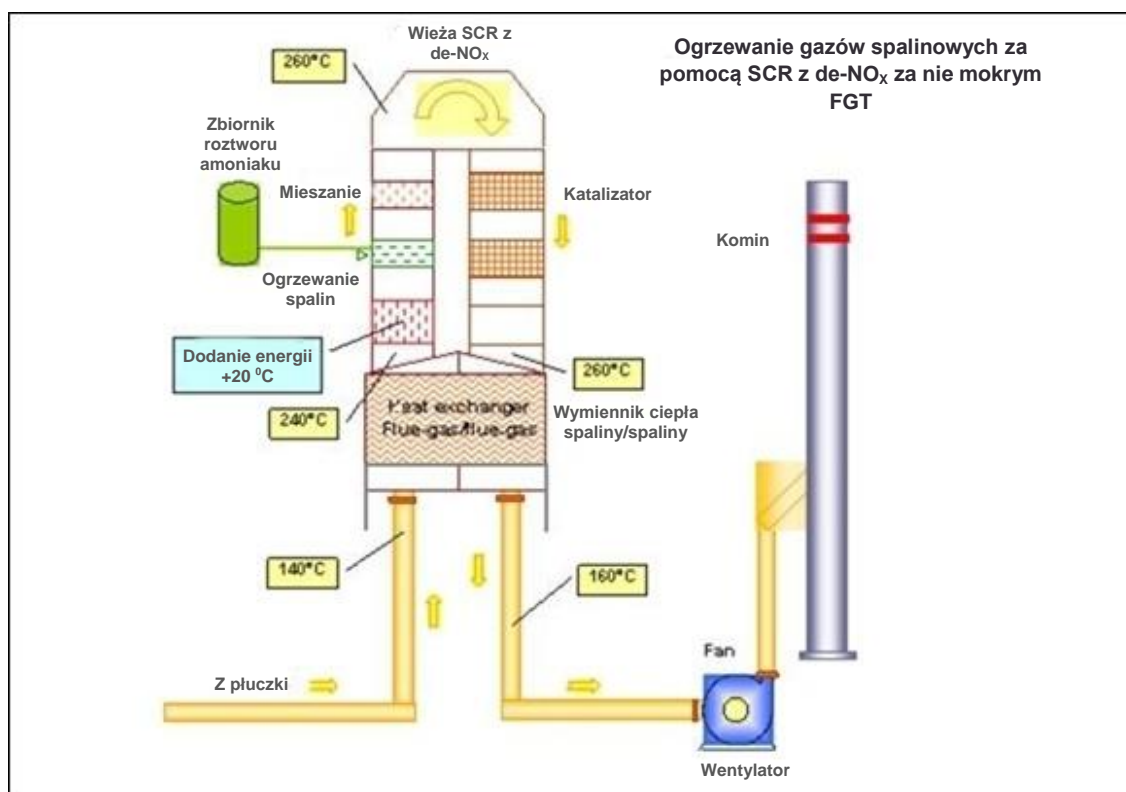
Uwaga: Żywotność katalizatora to liczba godzin, podczas których katalizator nie może już zapewnić wymaganej redukcji NO_x bez przekroczenia ustalonej maksymalnej wartości ucieczki NH_3 .

Oddziaływanie na procesy i środowisko

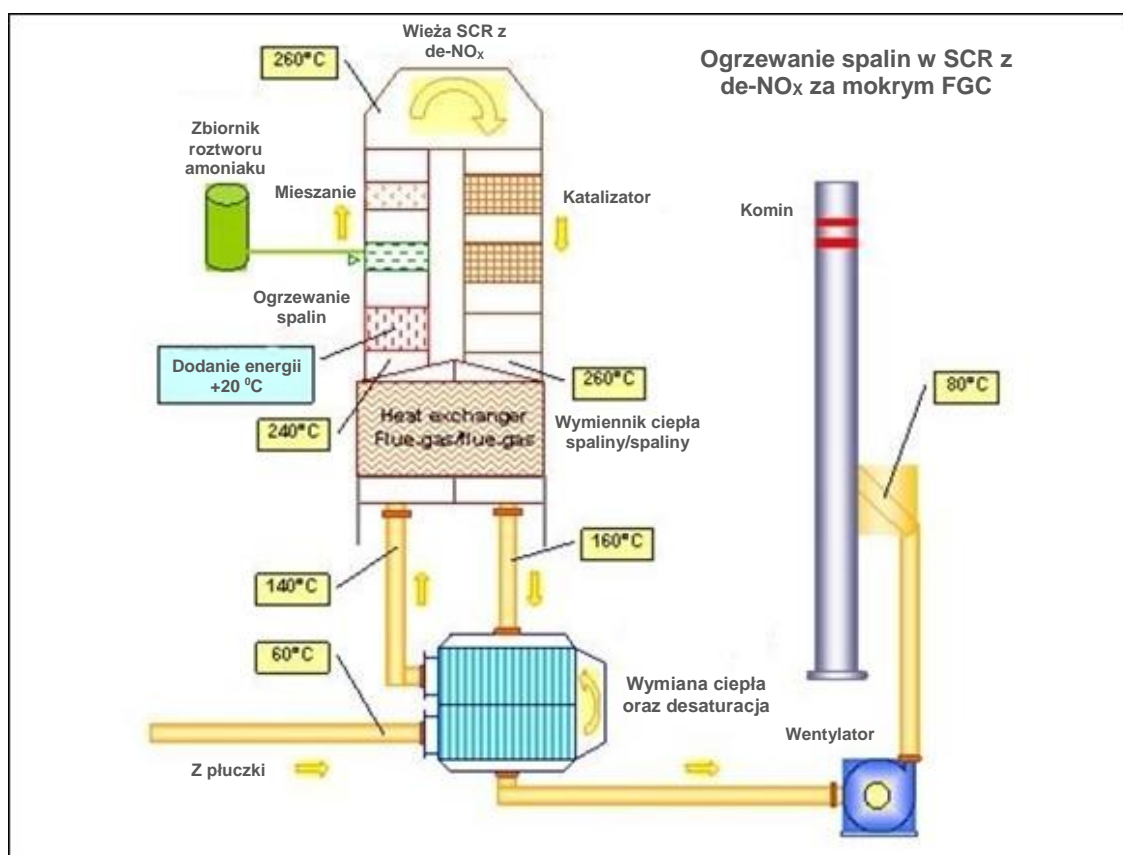
Dla tej techniki najbardziej znaczącym efektem oddziaływania jest zapotrzebowanie na energię do ogrzewania spalin. Można je zminimalizować przy niskiej temperaturze roboczej katalizatora. Jednak w takich przypadkach regeneracja katalizatora (zwykle na terenie zakładu) wymaga dodatkowej energii do sublimacji osadzonych soli. [\[74. TWG 2004\]](#)

Zapotrzebowanie na energię (i koszty) do ponownego ogrzewania jest na ogół znacznie zmniejszone poprzez zastosowanie wymiennika ciepła wykorzystującego ciepło spalin z SCR do ogrzewania wlotu SCR. Straty energii, a tym samym dodatkowe zapotrzebowanie, są w ten sposób redukowane do strat związanych z wymianą ciepła i promieniowaniem. W przypadkach, gdy istnieje zapotrzebowanie na ciepłą wodę o średnim stopniu czystości, dalsze oszczędności można uzyskać poprzez zainstalowanie dodatkowego wymiennika ciepła aby odzyskać energię wylotową z SCR. Taki system został zastosowany w SYSAV, Malmö, Szwecja. [\[64. TWG 2003\]](#)

Poniższe ilustracje pokazują zastosowanie SCR za niemokrym (tj. suchym lub półsuchym) oraz mokrym systemem FGC. Podane zostały profile temperaturowe. Widać, że drugi system (z mokrym FGC) zawiera dodatkowy stopień wymiany ciepła. Taka konfiguracja zmniejsza zapotrzebowanie na dodatkową energię, ale powoduje chłodniejszą temperaturę spalin na wlocie. Chłodniejsze wyładowanie z komina może wymagać specjalnych środków zapobiegających jego korozji oraz zwiększać widoczność emisji.



Ilustracja 4.7 Schemat systemu SCR za nie mokrym systemem FGC przedstawiający typowe profile wymiany ciepła oraz temperatury.



Ilustracja 4.8 Schemat systemu SCR za mokrym systemem FGC przedstawiający dodatkową wymianę ciepła oraz profile temperaturowe

Przy równych poziomach redukcji NO_x, zużycie odczynnika (zwykle roztworu amoniaku) jest niższe w przypadku SCR niż w przypadku SNCR, z powodu niższego poziomu nieprzereagowanego amoniaku (ucieczka amoniaku).

Tabela 4.36 ilustruje oddziaływanie techniki na procesy i środowisko.

Tabela 4.36 Efekty oddziaływania związane z zastosowaniem SCR

Kryteria	Jednostki	Zakres wartości	Komentarze
Zapotrzebowanie na energię	kWh/t wsadu odpadów	65-100 e. termicznej w wysokotemperaturowym SCR, 3-5 w niskotemperaturowym SCR 10-15 e. elektrycznej	E. termiczna na dogrzewanie, e. elektryczna na dodatkowy spadek ciśnienia w całym katalizatorze.
Zużycie odczynnika	kg/t wsadu odpadów	1-3	25% roztwór amoniaku
Odczynniki - stechiometria	Stosunek	1-1.1	Dane odnoszą się do koncentracji zanieczyszczeń na wlocie
Pozostałości - rodzaj			Zużyty katalizator po wymianie
Pozostałości - ilość	kg/t wsadu odpadów	0.01	
Zużycie wody	l/t wsadu odpadów		Nieistotne
Wpływ na widoczność emisji	+/-	-	Zmniejszona w związku z dodatkowym podgrzewaniem w SCR
Uwagi: Dane podane w tabeli mają na celu zobrazowanie typowych warunków pracy. Dokładne ilości wytwarzanych pozostałości i ścieków zależą od wielu czynników, w tym od koncentracji nieprzetworzonego gazu (związanego z odpadami), natężenia przepływu, koncentracji odczynników itp. Źródło: [1. UBA 2001] [2. InfoMil 2002] [13. JRC(IoE) 2001] [60. Reimann 2002] [74. TWG 2004] [81. TWG 2016]			

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest ogólnie stosowana tak długo, jak długo dostępna jest wystarczająca ilość miejsca (co może być czynnikiem ograniczającym w przypadku istniejących zakładów).

Jednostka procesowa SCR jest najczęściej instalowana na końcu, ponieważ spaliny wymagają zwykle wstępnego odpylenia i mogą również wymagać usunięcia SO₂/SO₃, a czasami także HCl. Osiągnięcie minimalnej temperatury wlotowej wymaganej przez SCR może zatem wymagać ponownego podgrzania spalin.

Ekonomika

Koszt inwestycji w system SCR dla dwóch linii zakładu MSWI o wydajności 200 000 t/rok oszacowano na 4 mln EUR. Dla porównania, w przypadku SNCR jest to około 1 mln EUR. [12. Achternbosch 2002]

W innym badaniu dotyczącym de-NO_x przedstawiono koszt kapitałowy jednostki SCR dla zakładu o wydajności 100 000 t/rok w przedziale 7.5 - 9.5 mln EUR. [74. TWG 2004]

Koszty operacyjne są na ogół o 25-40 % niższe dla SNCR niż dla SCR (zależy to od odczynnika stosowanego w SNCR, temperatury w SCR, podgrzewania wstępnego itp.) [13. JRC(IoE) 2001] [74. TWG 2004]

Duże zakłady o większym przepływie gazu i korzyściach wynikających ze skali są w stanie lepiej sprostać dodatkowym kosztom związanym z SCR.

Do ponownego podgrzania SCR można użyć pary wysokociśnieniowej, co ma wpływ ekonomiczny proporcjonalny do ceny, jaką można uzyskać za eksportowaną energię (w postaci ciepła, lub po przetworzeniu energii elektrycznej).

Siła napędowa wdrażania

- Osiągnięcie poziomu NO_x poniżej 100 mg/Nm^3 .
- Podatki od emisji NO_x ustalone na poziomie, który czyni tę technikę korzystną ekonomicznie.
- Dostępność wysokociśnieniowej pary do dogrzewania spalin (obniża to koszty operacyjne w przypadku uzyskiwania niskich przychodów z produkowanej energii).

Przykładowe zakłady

SCR jest szeroko stosowany w przemyśle spalania odpadów. Istnieją przykłady w Niemczech, Austrii, Holandii, Belgii, Francji, Japonii i innych krajach.

Około 150 na 350 linii spalania działających w instalacjach, które uczestniczyły w gromadzeniu danych w roku 2016, stosuje SCR. Obejmują one spalarnie odpadów innych niż niebezpieczne, a także komercyjne i przemysłowe instalacje HW.

Literatura źródłowa

[1. UBA 2001] [2. InfoMil 2002] [13. JRC(IoE) 2001] [60. Reimann 2002] [61. SYSAV 2002] [64. TWG 2003]

4.5.4.5 SCR w katalitycznym filtrze workowym**Opis**

Technika ta została opisana w sekcji 2.5.8.3. Filtry katalityczne de- NO_x to filtry workowe, które są instalowane w filtrze workowym do redukcji pyłu, ale posiadają również warstwę katalizatora, która spełnia funkcję SCR.

Szczegóły techniczne

Technika ta może być stosowana jako katalizator ucieczkowy (*slip catalyst*) w połączeniu z SNCR, z dodatkowym stopniem wtrysku NH_3 bezpośrednio przed filtrem workowym.

Korzyści dla środowiska

W przypadku instalacji WI wyposażonych w filtr workowy, ale nie w SCR, wymiana worków filtracyjnych na worki katalityczne de- NO_x może zmniejszyć emisję NO_x do wartości charakterystycznych dla SCR, przy niskich kosztach inwestycyjnych oraz przy minimalnej zmianie istniejącej konfiguracji instalacji. Zgłaszane są poziomy emisji NO_x w zakresie $50\text{--}75 \text{ mg/Nm}^3$.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Zakłady wyposażone w tę technikę zgłosiły następujące poziomy emisji.

Tabela 4.37 Poziomy emisji związane ze stosowaniem SCR w katalitycznych filtrach workowych

	Przed modernizacją	Z katalitycznym filtrem workowym
NO_x (średnia dobową, 11 % O_2)	$135\text{--}200 \text{ mg/Nm}^3$	$50\text{--}120 \text{ mg/Nm}^3$
NH_3 (średnia dobową, 11 % O_2)	$1\text{--}10 \text{ mg/Nm}^3$	$1\text{--}5 \text{ mg/Nm}^3$

Temperatura pracy wynosi $190\text{--}210 \text{ }^\circ\text{C}$ w przypadku filtrów workowych na bazie PTFE i może być zwiększona do $260 \text{ }^\circ\text{C}$ w przypadku filtrów workowych na bazie włókna szklanego.

W porównaniu z systemem SNCR, konsekwencje operacyjne związane z tą techniką mogą obejmować:

- pewien wzrost zużycia wody amoniakalnej lub roztworu mocznika celem dalszej redukcji emisji NO_x ;
- potencjalny wzrost zużycia odczynników alkalicznych celem zapewnienia poziomów SO_2 poniżej 5 mg/Nm^3 , zgodnie z wymogami techniki (podobnie jak w przypadku innych końcowych systemów SCR).

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Żadne istotne oddziaływania nie zostały zgłoszone.

Ucieczka NH₃ jest mniejsza w porównaniu z techniką SNCR.

Zużycie energii wynikające ze spadku ciśnienia na filtrze jest podobne do konwencjonalnych filtrów workowych.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta ma zastosowanie do nowych oraz do istniejących instalacji wyposażonych w filtr workowy, z lub bez wcześniejszego SNCR.

Ekonomika

Całkowity koszt inwestycji związanych z instalacją tej techniki na istniejącej linii wyniósł 273 000 EUR, w przypadku modyfikacji, oraz 416 000 EUR w przypadku specjalnych filtrów workowych.

Siła napędowa wdrażania

- Osiągnięcie poziomu emisji NO_x poniżej 100 mg/ Nm³ przy zachowaniu niskiego poziomu ucieczki NH₃.
- Brak miejsca na system SCR.
- Mniejsze koszty inwestycyjne w porównaniu z konwencjonalnym systemem SCR.

Przykładowe zakłady

Acegas w Padua (IT) (IT18), od września 2011; CEDLM Limoges (FR) (FR052), od stycznia 2014; Villefranche (FR), od września 2013.

Literatura źródłowa

[\[102. CEFIC 2015\]](#)

4.5.5 Techniki redukcji związków organicznych, w tym polichlorowanych dibenzo-p-dioksyn i furanów (PCDD/F), oraz emisja polichlorowanych bifenyli (PCB)

4.5.5.1 Podstawowe techniki zapobiegania lub redukcji emisji związków organicznych, w tym PCDD/F oraz PCB

Dobrze kontrolowany proces spalania, zapobiegający powstawaniu prekursorów, ma w spalarniach odpadów kluczowe znaczenie w zapobieganiu wytwarzaniu PCDD/F. Techniki mające zastosowanie do poprawy aspektów związanych ze spalaniem, prowadzące do ogólnej poprawy wydajności spalania, w tym zmniejszenia ryzyka produkcji PCDD/F, zostały omówione w kolejnych sekcjach niniejszego dokumentu

Techniki operacyjne mające na celu poprawę efektów środowiskowych

Techniki kontroli i przygotowania odpadów przed ich spaleniem prowadzą do poprawy jakości spalania oraz wiedzy na temat odpadów, co pozwala na lepszą kontrolę spalania i tym samym zmniejsza ryzyko powstawania PCDD/F.

Procesy termiczne

Dobrze kontrolowane spalanie wspomaga niszczenie PCDD/F i jego prekursorów, które mogą znajdować się w odpadach, oraz zapobiega tworzeniu się tych prekursorów.

Techniki zwiększające odzysk energii

W strefach odzysku energii w instalacji spalania najważniejszą kwestią z punktu widzenia PCDD/F jest zapobieganie reformingowi. Szczególne znaczenie ma obecność prekursorów oraz szczegółowy rozkład stref temperaturowych, mogących zwiększać ryzyko powstawania PCDD/F. Opisy technik mających na celu zwiększenie odzysku energii uwzględniają aspekty PCDD/F.

4.5.5.2 Unikanie reformingu PCDD/F w systemie FGC

Opis

Skrócenie czasu przebywania gazu obciążonego pyłem w strefie temperaturowej od 450 °C do 200 °C zmniejsza ryzyko powstawania PCDD/F oraz podobnych związków.

Szczegóły techniczne

W przypadku zastosowania etapów odpylania w podanym wyżej zakresie temperatur, czas przebywania popiołu lotnego wydłuża się, zwiększając ryzyko powstania PCDD/F. Urządzenia do odpylania w strefach wysokiego zapylenia (zazwyczaj elektrofiltry i niektóre filtry workowe) pracujące w temperaturach powyżej 200 °C zwiększają ryzyko formowania się PCDD/F. Dlatego też temperatury na wlocie do urządzenia odpylającego powinny być utrzymywane na poziomie poniżej 200 °C. Można to osiągnąć dzięki:

- dodatkowemu chłodzeniu w kotle (konstrukcja kotła w zakresie 450-200 °C sama w sobie powinna ograniczać osadzanie się pyłu, unikając w ten sposób przenoszenia problemu dalej);
- dodaniu wieży natryskowej celem obniżenia temperatury na wyjściu z kotła poniżej 200 °C dla kolejnych etapów oczyszczania z pyłu;
- schłodzeniu od temperatury spalania do około 70 °C - przeprowadzane w zakładach, w których nie ma chłodzenia kotłów i zazwyczaj tylko tam, gdzie istnieje zwiększone zagrożenie dioksynami ze względu na charakter spalanych odpadów (np. wysoki wsad PCB); schładzanie do 70 °C jest powszechne w obiektach HWI eksploatowanych przez przemysł chemiczny;
- zastosowaniu wymiany ciepła gaz-gaz (gaz z płuczki wlotowej - gaz z płuczki wylotowej).

[74. TWG 2004]

Synteza *de novo* może potencjalnie powodować wysokie obciążenia emisyjne PCDD/F podczas zimnych rozruchów. Można to zminimalizować, unikając stosowania bypassu przed filtrem workowym przy rozruchu. Wstępne podgrzanie filtra workowego przed uruchomieniem lub wstępne podgrzanie spalin podczas rozruchu to techniki zapobiegające zatykaniu się filtra workowego w niskiej temperaturze.

Korzyści dla środowiska

Ryzyko związane z wytwarzaniem w procesie PCDD/F, a tym samym z późniejszymi emisjami, jest ograniczone.

W przypadku gdy odpady stałe i spaliny przeznaczone są do dalszego przetwarzania, które skutecznie zniszczy wytworzone dioksyny (np. SCR w przypadku gazu oraz przetwarzanie termiczne w przypadku popiołu lotnego), korzyści możliwe do osiągnięcia dzięki zastosowaniu tej techniki są ograniczone.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Zgłoszono, że systemy chłodzenia stosowane w niektórych HWI skutecznie eliminują powstawanie PCDD/F. [46. Cleanaway 2002]

Tam, gdzie do odzysku ciepła stosowane są kotły, ale unika się odpylania w zakresie 450-200 °C, przed usunięciem/zniszczeniem dioksyn obserwuje się koncentrację nieprzetworzonych gazów w zakresie 1-30 ng TEQ/Nm³. Tam, gdzie w zakresie 450-200 °C przeprowadzane jest odpylanie, gaz za kotłem może zawierać od 10 ng TEQ/Nm³ do > 100 ng TEQ/Nm³ PCDD/F.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Istniejące zakłady, posiadające wysokotemperaturowe etapy odpylania, mogą wykorzystywać takie systemy celem zatrzymania ciepła w spalinach, tak aby można je było następnie wykorzystać do innych celów, np. do przenoszenia, poprzez wymianę, ciepła do późniejszych systemów oczyszczania spalin. Jeśli gazy zostaną schłodzone do temperatury poniżej 200 °C, może to prowadzić do konieczności dostarczenia dodatkowego ciepła do spalin, aby utrzymać wymagany profil temperaturowy następnych systemów przetwarzania. Zmniejszenie strat

możliwe jest również poprzez wykorzystanie ciepła odebranego przed etapem odpylania do ponownego ogrzania za pomocą systemów wymiany ciepła.

Systemy schładzające posiadają na ogół ograniczone możliwości odzysku energii (kotły nie są zazwyczaj spotykane tam, gdzie stosuje się pełne schładzanie). Tworzą one również bardzo wilgotną smugę, która zwiększa widoczność i kondensację oraz wymagają dużych ilości wtryskiwanej wody, aby zapewnić wystarczające chłodzenie gorących spalin. Wytworzone ścieki mogą być do pewnego stopnia recykulowane, ale zazwyczaj wymagane jest ich odprowadzanie oraz uzdatnianie wody. Woda recykulowana może wymagać chłodzenia, aby zapobiec stratom w kominie oraz utrzymać pracę FGC.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest ogólnie stosowana w nowych zakładach.

Modernizacja istniejących instalacji wymaga szczegółowej oceny procesu przetwarzania spalin, ze zwróceniem szczególnej uwagi na dystrybucję oraz wykorzystanie ciepła.

Ekonomika

Technika nie ma znaczącego wpływu na koszty nowo projektowanych procesów.

W przypadku niektórych istniejących procesów, na wymianę kotłów oraz systemów oczyszczania spalin mogą być potrzebne znaczne nakłady inwestycyjne. Inwestycje takie mogą osiągać wartości nawet 10-20 mln EUR.

Obniżenie kosztów operacyjnych można osiągnąć poprzez:

- sprzedaż dodatkowo wytworzonej w kotle energii (ciepło);
- w przypadku zastosowania adsorpcji, obniżenie kosztów usuwania pozostałości stałych ze względu na ich mniejsze zanieczyszczenie PCDD/F;
- zmniejszoną zawartość dioksyn która może mieć pozytywny wpływ na FGC na dalszych etapach: niższy wskaźnik użycia węgla aktywnego i/lub mniejszą ilość stosowanego katalizatora. [\[74. TWG 2004\]](#)

Siła napędowa wdrażania

- Obawy dotyczące ewentualnej produkcji przez proces PCDD/F.
- Obawy dotyczące koncentracji PCDD/F w absorbentach z FGC wymagających unieszkodliwienia.
- Odpady o wysokim ryzyku powstania PCDD/F.

Przykładowe zakłady

Systemy schładzania są szeroko stosowane w Europie, np. w Belgii, Niemczech, Francji, Holandii, Norwegii, Szwecji i Wielkiej Brytanii.

Niskie temperatury na wyjściu z kotła plus schładzanie gazu za kotłem jest szeroko stosowane w Europie.

Literatura źródłowa

[\[46. Cleanaway 2002\]](#) [\[64. TWG 2003\]](#) [\[74. TWG 2004\]](#)

4.5.5.3 Niszczenie PCDD/F za pomocą SCR

Opis

Niszczenie PCDD/F poprzez utlenianie katalityczne nad katalizatorem SCR.

Szczegóły techniczne

Podczas gdy systemy SCR stosowane są głównie do redukcji NOX (zob. opis w sekcjach 2.5.5.2.2 i 4.5.4.1), jeśli są wystarczająco duże, mogą również niszczyć fazę gazową PCDD/F, poprzez utlenianie katalityczne. Zazwyczaj do zapewnienia jednoczesnej redukcji NOX i PCDD/F wymagane są dwie lub trzy warstwy katalizatora SCR.

Należy zauważyć, że podczas spalania odpadów większość unoszących się w powietrzu PCDD/F przylega do pyłu, a reszta będzie stanowić fazę gazową. Techniki, które usuwają pył, usuwają zatem unoszące się w powietrzu PCDD/F, podczas gdy SCR (i inne metody katalityczne) zniszczą tylko mniejszą, gazową fazę związku. Połączenie usuwania pyłu z niszczeniem daje na ogół najniższą emisję PCDD/F do powietrza.

Korzyści dla środowiska

Technologia jest bardzo przydatna, zmniejszając emisje dioksyn do wszystkich mediów w przypadku, gdyby pozostałości po "polerowaniu" spalin były wysyłane/odprowadzane poza teren zakładu. Natomiast jeżeli pozostałości dioksyn są zbierane oddzielnie (np. przy użyciu węgla) od innych pozostałości z FGC i ponownie spalane (o ile jest to dozwolone) w instalacji, wówczas ogólna redukcja produkcji, jaką można uzyskać poprzez zastosowanie SCR jako dodatkowej metody niszczenia, jest mniej znacząca.

NO_x jest przetwarzany przez SCR w tym samym czasie co PCDD/F, aby uzyskać bardzo niskie wartości jego emisji (zob. sekcja 4.5.4.1).

W nielicznych przypadkach, gdy SCR jest stosowany przed innymi składnikami systemu FGC, niegazowe (związane z pyłem) PCDD/F mogą nie być przetwarzane w jednostce SCR i dlatego mogą wymagać późniejszego usunięcia pyłu celem jego redukcji.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Dane operacyjne zostały podane w sekcji 4.5.4.1.

Efektywność niszczenia dla PCDD/F w fazie gazowej wynosi 98-99.9%, co daje najczęściej emisje PCDD/F (w połączeniu z innymi technikami FGC) w zakresie 0.005-0.05 ng/Nm³ TEQ.

SCR jest z reguły stosowany po wstępnym odpyleniu. Pył, który jest usuwany na etapie wstępnego odpylenia, niesie ze sobą adsorbowane PCDD/F (czasami nawet większość). Pozostałości z etapu wstępnego odpylenia będą zatem zanieczyszczone PCDD/F w takim samym stopniu, niezależnie od tego, czy stosowany jest SCR, czy też nie. Zatem SCR zmniejsza pochodzące z FGC zanieczyszczenie pozostałościami PCDD/F tylko wtedy, gdy stosuje się również dalsze "polerowanie" pyłem.

Ponieważ normalnym jest, że większość PCDD/F związana jest z pyłem, dla ogólnej redukcji PCDD/F najważniejsze jest zazwyczaj stosowanie technik usuwania pyłu oraz SCR. Gwarantuje to, że związane z pyłem PCDD/F, które nie zostałyby zniszczone w urządzeniu SCR, zostaną usunięte z spalin.

Pojedyncza warstwa katalizatora może mieć dramatyczny wpływ na poziom NO_x, dlatego aby zapewnić skuteczne niszczenie PCDD/F, konieczne są większe rozmiary. Im większa liczba warstw katalizatora, tym większy będzie efekt redukcji PCDD/F.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Oddziaływanie tej techniki zostało już opisane w sekcji 4.5.4.1.

Najważniejsze aspekty oddziaływania to:

- zużycie energii potrzebnej do podgrzania spalin celem osiągnięcia temperatury reakcji systemu SCR;
- PCDD/F nie są przenoszone na pozostałości stałe (jak w przypadku niektórych procesów adsorpcji).

Na ogół niszczenie jest lepsze niż przenoszenie na inne media. Jednakże wielkość korzyści związanych z niszczeniem, a nie adsorpcją PCDD/F, będzie zależała od unikniętego ryzyka związanego z późniejszym zarządzaniem pozostałościami.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Zostały już opisane w sekcji 4.5.4.1.

Ekonomia

Względy ekonomiczne zostały już opisane w sekcji 4.5.4.1.

Siła napędowa wdrażania

Wdrożenie tej techniki preferowane jest tam, gdzie wymagana jest kombinacja wysokiej redukcji NO_x z dodatkową redukcją PCDD/F, ciągle występującego po SCR.

Przykładowe zakłady

SCR jest szeroko stosowany w przemyśle spalania odpadów. Istnieją przykłady w Austrii, Belgii, Niemczech, Francji, Holandii, Japonii oraz innych krajach.

SCR jest również stosowany w komercyjnych HWI, w szczególności w Niemczech, w ES11 oraz PL03.

Literatura źródłowa

[1. UBA 2001] [2. InfoMil 2002] [3. Austria 2002] [13. JRC(IoE) 2001] [27. Belgia 2002] [61. SYSAV 2002] [64. TWG 2003]

4.5.5.4 Niszczenie PCDD/F przy użyciu katalitycznych filtrów workowych**Opis**

Technika ta została już opisana w sekcji 2.5.8.3.

Szczegóły techniczne

Zob. sekcja 2.5.8.3.

Korzyści dla środowiska

Efektywność niszczenia PCDD/F wprowadzanego do katalitycznych filtrów workowych wynosi w MSWI powyżej 99%. Stężenia emisji PCDD/F poniżej 0,02 ng/Nm³ TEQ wynikały z koncentracji PCDD/F na wejściu 1.9 ng/Nm³. [27. Belgia 2002]

Filtry usuwają również pył. W podanym przykładzie MSWI zastosował ESP do wstępnego odpylania i z dodatkiem filtrów zgłosił poziom emisji pyłu w zakresie 0.2-0.6 mg/Nm³. Filtry zredukowały również ilość NO_x. [64. TWG 2003]

Całkowite uwalnianie dioksyn z instalacji (do wszystkich mediów) zostało również zmniejszone, poprzez zniszczenie a nie adsorpcję (za pomocą węgla aktywnego). Równocześnie ze zmniejszeniem emisji do powietrza, jak to opisano powyżej, próbki pyłu z filtrów workowych wykazały średnie stężenie spadające z 3 659 ng I-TEQ/kg pyłu (przy zastosowaniu węgla aktywnego) do 283 ng I-TEQ/kg pyłu (przy zastosowaniu katalitycznych filtrów workowych).

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Dane operacyjne są podobne jak w przypadku innych filtrów workowych.

Zakres temperatur niezbędny do wystąpienia reakcji katalitycznej wynosi od 180 - 260 °C. [27. Belgia 2002] [74. TWG 2004]

Testy wejściowych oraz wyjściowych koncentracji PCDD/F przeprowadzone w zakładzie MSWI w ciągu 21 miesięcy (bez usuwania gazów kwaśnych, ale z wstępnym odpylaniem ESP) dały wyniki podane w tabeli 4.38.

Tabela 4.38 Dane dotyczące efektywności niszczenia dla katalitycznych filtrów workowych w ciągu 21 miesięcy eksploatacji

Czas działania (w miesiącach)	0.25	1.5	3	4.8	8	13	18	21
PCDD/F na wejściu (ng TEQ/Nm ³)	3.4	7	11	10.5	11.9	11.8	8.1	5.9
PCDD/F na wyjściu (ng TEQ/Nm ³)	0.01	0.0035	0.005	0.004	0.01	0.011	0.002	0.023
Skalkulowana efektywność	99.7 %	99.9 %	99.9 %	99.9 %	99.9 %	99.9 %	99.9 %	99.6 %

Źródło: [27. Belgia 2002]

Media katalityczne nie przetwarzają rtęci, więc wymagana jest dodatkowa technika, taka jak wtrysk węgla aktywnego lub podobna.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Najbardziej znaczącym oddziaływaniem związanym z katalitycznymi filtrami workowymi jest zużycie energii w wyniku spadku ciśnienia, ale jego wartość jest podobna jak w przypadku innych typów filtrów workowych.

Katalityczne filtry workowe są zazwyczaj stosowane jako zamiennik dla innych filtrów workowych. Mogą one adsorbować dioksyny poprzez wtryskiwanie węgla aktywnego. W przypadku gdy w zastępowanym systemie to właśnie wtrysk węgla aktywnego zapewniał główną absorpcję rtęci metalicznej, jego usunięcie może spowodować wzrost emisji rtęci do powietrza, chyba że stosowane są alternatywne techniki usuwania rtęci.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest generalnie stosowana w nowych zakładach oraz w istniejących zakładach wyposażonych w filtr workowy.

Ekonomika

W przypadku MSWI obejmującego dwie linie o wydajności 27 500 t/rok każda zgłoszono dodatkowy koszt stosowania katalitycznych filtrów workowych wynoszący od 2 do 3 EUR na tonę przetworzonych odpadów. [\[27. Belgia 2002\]](#)

Kluczowe aspekty finansowe tej techniki to:

- zwiększony koszt inwestycji w worki w porównaniu filtrów niekatalitycznych;
- niższe koszty inwestycyjne niż w przypadku SCR o podobnej wydajności niszczenia;
- konieczność wprowadzenia dodatkowych przepisów dotyczących usuwania rtęci. [\[74. TWG 2004\]](#)

Siła napędowa wdrażania

- Redukcja emisji PCDD/F do poziomu znacznie poniżej 0,1 ng/Nm³ TEQ.
- Brak miejsca na zainstalowanie SCR.

Przykładowe zakłady

Niektóre instalacje w Belgii oraz Francji.

Literatura źródłowa

[\[27. Belgia 2002\]](#) [\[64. TWG 2003\]](#)

4.5.5.5 Adsorpcja PCDD/F poprzez wtrysk węgla aktywnego lub innych adsorbentów

Opis

Technika ta została już opisana w sekcji 2.5.8.1.

Szczegóły techniczne

Podsumowując, węgiel aktywny jest wtryskiwany do strumienia gazu, gdzie miesza się z spalinami.

Węgiel aktywny wtryskiwany jest samodzielnie lub w połączeniu z odczynnikiem alkalicznym, takim jak (zazwyczaj) wapno hydratyzowane lub wodorowęglan sodu. Wtryskiwany odczynnik alkaliczny, produkty jego reakcji i adsorbent węglowy są następnie zbierane do odpylacza, zwykle filtra workowego. Adsorpcja PCDD/F zachodzi w strumieniu gazu i na warstwie odczynnika powstającej podczas stosowania filtrów zaporowych (np. filtrów workowych).

Zaadsorbowany PCDD/F usuwany jest wraz z innymi odpadami stałymi z filtra workowego, ESP lub innych urządzeń odpylających stosowanych dalej.

Zgłoszono, że adsorbenty mineralne (np. mordenit, zeolit, mieszaniny minerałów ilastych, filokrzemian i dolomit) mogą być również stosowane do adsorpcji PCDD/F, w temperaturze do 260 °C, bez zagrożenia pożarem w hali filtrów workowych. Odnotowano również stosowanie koksu z węgla brunatnego. [\[64. TWG 2003\]](#) [\[74. TWG 2004\]](#)

Odnotowano wpływ katalitycznego zniszczenia PCDD/F na powierzchnię koksu aktywnego. [\[74. TWG 2004\]](#)

Korzyści dla środowiska

Korzyścią jest redukcja emisji PCDD/F. Rtęć metaliczna jest również adsorbowana (zob. sekcja 4.5.6.2).

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Wskaźniki zużycia węgla wynoszące 0.5-3 kg/t odpadów zgłaszane są jako typowe dla MSWI. Wyższe poziomy wtrysku mogą zapewnić dodatkową redukcję PCDD/F. [\[64. TWG 2003\]](#)

Aby osiągnąć poziom emisji poniżej 0,06 ng I-TEQ/Nm³, dawka węgla aktywnego powinna zwykle wynosić od 0.5 kg/t do 2 kg/t.

Różne rodzaje węgla mają różną efektywność adsorpcji.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Oddziaływanie wynikające z zastosowania filtrów workowych lub innych systemów ograniczania zapylenia tej techniki opisano w sekcji 4.5.2.

Powstają stałe pozostałości zawierające adsorbowane zanieczyszczenia.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest ogólnie stosowana najczęściej w połączeniu z filtrem workowym.

Ekonomika

Podaje się, że koks z węgla brunatnego jest bardziej ekonomiczny niż węgiel aktywny. Stwierdzono również, że zużycie koksu z węgla brunatnego jest wyższe niż zużycie węgla aktywnego (nawet dwukrotnie). [\[74. TWG 2004\]](#)

Siła napędowa wdrażania

Siłą napędową jest zgodność z wymogami prawnymi w zakresie poziomów emisji PCDD/F.

Przykładowe zakłady

Technika szeroko stosowana w wielu krajach.

Literatura źródłowa

[\[64. TWG 2003\]](#)

4.5.5.6 Adsorpcja PCDD/F z użyciem złoża stałego (*fixed-bed*)

Opis

Technika ta została już opisana w sekcji 2.5.8.6.

Szczegóły techniczne

Stosuje się mokre oraz suche stałe złoża z koksem/węglem. W systemach mokrych stosuje się płukanie przeciwwązowe wodą.

Korzyści dla środowiska

Korzyści obejmują zmniejszenie emisji do powietrza PCDD/F oraz rtęci, o wysokim poziomie skuteczności. Technika ta, jeżeli zdolność adsorpcji złoża jest wystarczająco wysoka, może również skutecznie zapobiegać powstawaniu szczytów emisji.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

PCDD/F są adsorbowane celem uzyskania emisji czystych gazów, z wartością PCDD/F poniżej 0.03 ng I-TEQ/Nm³.

Temperatura na wlocie do suchego złoża stałego z koksem wynosi zazwyczaj 80-150 °C, a w przypadku mokrego złoża stałego 60-70 °C. W przypadku zastosowania następnie systemu SCR wymagane podgrzewanie byłoby zatem większe w przypadku systemu mokrego.

W systemach suchych należy zwrócić szczególną uwagę na równomierne rozproszczenie spalin, ponieważ zmniejsza to ryzyko pożaru. Temperatura w całym złożu wymaga ścisłego monitorowania i kontroli aby zmniejszyć ryzyko pożaru, np. kilka pomiarów CO równomiernie wzdłuż całego filtra w celu pomiaru gorących punktów. [74. TWG 2004] Może być wymagane stosowanie gazów obojętnych.

Mokre złoża stałe dają znacznie mniejsze ryzyko pożaru. Nie jest wymagane ani jego gaszenie, ani stosowanie koców gaśniczych. Dodatek częściowo wody zasilającej, pochodzącej częściowo z recyklingu, pozwala również na usunięcie nagromadzonego pyłu, który może prowadzić do zapchania złoża.

Ocenia się szybkość nasycenia złoża celem określenia wymaganej szybkości uzupełniania odczytnika. [74. TWG 2004]

Brak ruchomych części zapewnia wysoką niezawodność.

W tabeli 4.39 przedstawiono skróconą ocenę skutków operacyjnych związanych ze stosowaniem adsorpcji z złożem stałym.

Tabela 4.39 Dane operacyjne związane z zastosowaniem filtrów z koksowym stałym złożem adsorpcyjnym

Kryteria	Opis czynników wpływających na kryteria	Wpływ (wysoki/średni/niski)	Komentarze
Złożoność	<ul style="list-style-type: none"> Wymagane dodatkowe elementy procesu Krytyczne aspekty operacyjne 	Ś	<ul style="list-style-type: none"> Ryzyko pożaru wymaga starannej kontroli (systemy suche)
Elastyczność	<ul style="list-style-type: none"> Zdolność techniki do pracy przy różnych warunkach wejściowych 	W	<ul style="list-style-type: none"> Bardzo wysoka wydajność adsorpcji
Wymagane doświadczenie	<ul style="list-style-type: none"> Dodatkowe wymagania dotyczące treningu i doświadczenia 	W/Ś	<ul style="list-style-type: none"> Wytrzymały, ale wymagający szczególnej ostrożności pod względem zagrożenia pożarowego (systemy suche)

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Oddziaływanie tej techniki zostało omówione w tabeli 4.40.

Tabela 4.40 Oddziaływanie na procesy i środowisko związane z wykorzystaniem filtrów z stałym złożem adsorpcyjnym

Kryteria	Jednostki	Zakres wartości	Komentarze
Zapotrzebowanie na energię	kWh/t wsadu odpadów	30–35	Spadek ciśnienia wzdłuż filtra
Zużycie odczytnika	kg/t wsadu odpadów	1	Koks
Pozostałości	kg/t wsadu odpadów	0–1	Nic, jeżeli koks może być spalony w piecu
Wpływ na widoczność emisji	+/-	+/-	System mokry zwiększa widoczność emisji
Źródło: [12. Achternbosch 2002]			

Dla tej techniki najbardziej znaczącym efektem oddziaływania jest energia potrzebna do przezwyciężenia spadku ciśnienia w filtrze.

W jednej linii przetwarzania zakładu HWI z piecem obrotowym o wydajności 50 000 t/rok, wraz z zainstalowaniem filtra z złożem stałym, zainstalowano nowy wentylator wyciągowy o mocy 550 kW, który zastąpił wentylator 355 kW (ΔP na złożu stałym 25 - 40 mbar). [\[64. TWG 2003\]](#)

W zależności od konstrukcji całej linii FGC, ryzyko pożaru może ulec zwiększeniu w przypadku zastosowania suchych złożów stałych. [\[74. TWG 2004\]](#)

Po nasyceniu zużyty węgiel aktywny jest często składowany jako pozostałość toksyczna. Jeśli jest to dozwolone, można go ponownie spalić w spalarni celem zniszczenia zaadsorbowanego PCDD/F. Ponieważ adsorber węglowy będzie adsorbował zarówno rtęć, jak i PCDD/F, jeśli zużyty koks ma być ponownie spalony, należy dokładnie rozważyć problem z rtęcią. Praktyka ponownego spalania doprowadzi bowiem do nagromadzenia się rtęci w procesie, chyba że istnieją dodatkowe techniki, które zapewniają odprowadzenie rtęci, np. płukanie na mokro przy niskim pH. [\[74. TWG 2004\]](#)

Następujące dane dotyczące oddziaływania techniki zostały zgłoszone przez zakład HWI przetwarzający około 11 000 ton odpadów rocznie, w odniesieniu do stosowania mokrego złoża stałego z koksem [\[64. TWG 2003\]](#):

- zużycie koksu z węgla brunatnego: 0,5 kg/t wsadu odpadów;
- wyeksploatowany węgiel brunatny jest spalany w instalacji - w tym przypadku zapobiega się gromadzeniu rtęci poprzez kwaśny system płukania na mokro o niskim pH;
- do okresowego płukania złoża z węglem brunatnym używana jest woda; w ten sposób powstają kwaśne ścieki, które są przekazywane do fizyczno-chemicznego procesu przetwarzania na terenie zakładu;
- system mokry zwiększa wilgotność spalin oraz widzialność emisji.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest generalnie stosowana w przypadku nowych zakładów.

W przypadku modernizacji istniejących instalacji wymagana jest odpowiednia ilość miejsca na dodatkową jednostkę procesową.

Szczególnie w zakładach wyposażonych już w filtr workowy, skumulowany spadek ciśnienia spowodowany przez system oczyszczania spalin może być czynnikiem ograniczającym.

Ekonomika

Koszt inwestycji w filtr z stałym złożem na koks w przypadku MSWI o wydajności 100 000 t/rok został oszacowany w 2002 r. na 1.2 mln EUR. [\[12. Achternbosch 2002\]](#)

Koszt inwestycji w jeden mokry filtr z złożem stałym (pustym) (linia spalania o wydajności 50 000 t/rok) wynosi około 1 mln EUR (sprzęt + instalacja).

Koszt zastosowania koksu z węgla brunatnego jest trzy do czterech razy niższy niż w przypadku węgla aktywnego.

Zużycie koksu z węgla brunatnego jest na tyle niskie, że można go uzupełniać podczas planowych przestojów.

Siła napędowa wdrażania

Siłą napędową wdrażania jest zgodność z przepisami dotyczącymi dopuszczalnych wielkości emisji PCDD/F oraz rtęci, zwłaszcza w przypadku odpadów wysoce niejednorodnych i niebezpiecznych, w których PCDD/F może być wysoki ze względu na utrudnione warunki spalania.

Przykładowe zakłady

Spalarnie odpadów niebezpiecznych w Austrii, Belgii, Niemczech i Holandii. Spalarnie odpadów komunalnych w Austrii i Niemczech.

Literatura źródłowa

[\[1. UBA 2001\]](#) [\[3. Austria 2002\]](#) [\[12. Achternbosch 2002\]](#) [\[64. TWG 2003\]](#)

4.5.5.7 Zastosowanie materiałów impregnowanych węglem do adsorpcji PCDD/F w płuczkach gazowych mokrych

Opis

Dodanie w płuczce wypełnienia zawierającego tworzywa sztuczne osadzone w sorbencie węglowym.

Szczegóły techniczne

Technika ta została już opisana w sekcji 2.5.8.5.

Korzyści dla środowiska

PCDD/F są silnie adsorbowane na cząsteczkach węgla znajdujących się w materiale. W związku z tym emisja jest zredukowana, a efekt pamięciowy PCDD/F unikany. [74. TWG 2004] Uwolnienia w czasie rozruchu mogą zostać zmniejszone. Podsumowanie korzyści:

- zapobieganie efektowi pamięci w płuczkach gazowych mokrych i związanemu z tym ryzyku przebiecia i uwolnień związanych z desorpcją;
- redukcja obciążeń PCDD/F podczas kolejnych operacji FGC (zwłaszcza w czasie rozruchu);
- jeżeli zużyty odczynnik zostanie ponownie spalony w piecu, nastąpi ogólne zmniejszenie bilansu masy dioksyn ze względu na zniszczenie (co jest ułatwione dzięki oddzieleniu etapu absorpcji rtęci) a nie przeniesienie PCDD/F na pozostałości stałe.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Przy wejściowej koncentracji 1-5 ng TEQ/Nm³ efektywność usuwania fazy gazowej w płuczce gazowej mokrej wynosi 99-99.8%. Dodatkowe aspekty operacyjne podsumowano w tabeli 4.41.

Tabela 4.41 Dane dotyczące aspektów operacyjnych związanych z zastosowaniem w płuczkach gazowych mokrych materiałów impregnowanych węglem

Kryteria	Opis czynników wpływających na kryteria	Wpływ (wysoki/średni/niski)	Komentarze
Złożoność	<ul style="list-style-type: none"> • Wymagane dodatkowe elementy procesu • Krytyczne aspekty operacyjne 	N/Ś	Dostosowanie do istniejącej techniki (płukanie na mokro)
Elastyczność	<ul style="list-style-type: none"> • Zdolność techniki do pracy przy różnych warunkach wejściowych 	Ś	
Wymagane doświadczenie	<ul style="list-style-type: none"> • Dodatkowe wymagania dotyczące treningu i doświadczenia 	N	Brak istotnych dodatkowych wymagań

Technika ta, stosowana jako główna technika redukcji PCDD/F w połączeniu z elektrofiltrami, wymaga bardziej rozbudowanej instalacji wieży z wypełnieniem. [74. TWG 2004]

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Zużyte wypełnienia są w niektórych przypadkach składowane jako pozostałości toksyczne. Mogą być również spalane w spalarni o ile pozwalają na to lokalne przepisy. [74. TWG 2004]

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest generalnie stosowana w przypadku zakładów wyposażonych w płuczkę gazową mokrą. W płuczkach wieżowych z wypełnieniem stosowanie jej jest proste.

Technika ta została również zademonstrowana w systemach suchych i półmokrych (gaz nasycony). [109. Szwecja 2016]

Ekonomika

Przybliżony koszt inwestycji w zakresie wstępnej instalacji wypełnienia w wieży o dwóch płuczkach gazowych mokrych wynosi 30 000 - 150 000 EUR łącznie (dla spalarni o wydajności 5-20 t/godz.).

Koszt wymiany materiału szacuje się na 0.1-0.2 EUR na tonę spalonych odpadów. Nie przewiduje się dodatkowego zużycia energii, z wyjątkiem dodatkowego spadku ciśnienia. [74. TWG 2004]

Siła napędowa wdrażania

- Zmniejszenie gromadzenia się dioksyn w płucce gazowej mokrej oraz ograniczenie emisji PCDD/F podczas rozruchu, szczególnie w przypadku, gdy nie ma kolejnego etapu FGC do kontroli desorbowanych w płucce gazowej mokrej PCDD/F.
- Zastosowanie jako filtr wstępny redukcji dioksyn zmniejszający obciążenie spalin PCDD/F przed głównym układem redukcji.

Przykładowe zakłady

Technika ta została wdrożona w około 120 spalarniach odpadów komunalnych i niebezpiecznych na całym świecie, w większości w Europie.

Literatura źródłowa

[\[58. Andersson 2002\]](#) [\[64. TWG 2003\]](#)

4.5.5.8 Stosowanie zawiesin węglowych w płuczkach gazowych mokrych

Opis

Zastosowanie zawiesiny węgla aktywnego w płucce gazowej mokrej może zarówno zmniejszyć poziom emisji dioksyn w strumieniu spalin, jak i zapobiec gromadzeniu się dioksyn w materiale płuczki ("efekt pamięci").

Szczegóły techniczne

Przy pH zbliżonym do neutralnego, węgiel aktywny o koncentracji wahającej się od kilku g/l do 50 g/l dodawany jest do układu za pomocą dekantera celem odpowietrzenia cieczy, przy jednoczesnym zatrzymaniu węgla.

Ponieważ węgiel aktywny posiada punkty czynne, cząsteczki PCDD/F przenoszone są do cieczy rozpylanych w płucce, a dioksyny adsorbowane na węglu, gdzie zachodzi reakcja katalityczna.

Korzyści dla środowiska

Oprócz redukcji PCDD/F, węgiel aktywny adsorbuje również rtęć.

Węgiel aktywny usuwany z układu nie jest zanieczyszczony przez PCDD/F.

Ponieważ węgiel aktywny przekształca SO_2 w kwas siarkowy, proces ten jest również etapem "polerowania" usuwającego SO_2 .

Zgłoszone koncentracje PCDD/F w odprowadzanych ściekach wynoszą poniżej 0.1 ng TEQ/l. [\[74. TWG 2004\]](#)

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Emisja PCDD/F z komina wynosi poniżej 0.06 ng TEQ/Nm³.

Emisje rtęci są zazwyczaj znacznie poniżej 50 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ w przypadku spalania odpadów komunalnych. Do kontroli pH w urządzeniu, w którym stosowana jest zawiesina z węgla aktywnego, należy stosować NaOH.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Użycie węgla.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Stosuje się do płuczek gazowych mokrych z sodą kaustyczną do kontroli pH na poziomie zbliżonym do neutralnego.

Ekonomika

Koszty są ograniczone do kosztów odczynników, jeśli są stosowane do "polerowania" lub likwidacji "efektu pamięci". Aby umożliwić stosowanie tej techniki, konieczne są jedynie drobne modyfikacje w systemie płukania.

Celem skutecznego usuwania PCDD/F technika ta może wymagać zastosowania specjalnej płuczki wieżowej, aby umożliwić dobry kontakt spalin z wodą płuczącą. [\[74. TWG 2004\]](#)

Siła napędowa wdrażania

Siłą napędową wdrożenia jest zgodność z przepisami dotyczącymi dopuszczalnych wielkości emisji PCDD/F.

Przykładowe zakłady

Około 100 spalarni odpadów zostało wyposażonych w tę technikę.

Literatura źródłowa

[64. TWG 2003]

4.5.6 Techniki redukcji emisji rtęci**4.5.6.1 Płukanie na mokro o niskim pH z wtryskiem dodatków****Opis**

Technika płukania na mokro została opisana w sekcji 2.5.4.

Szczegóły techniczne

[63. Langenkamp 1999] Zastosowanie płuczek gazowych mokrych do usuwania kwaśnych gazów powoduje obniżenie pH płuczki. Większość płuczek gazowych mokrych ma co najmniej dwa etapy. Pierwszy z nich usuwa głównie HCl, HF oraz niektóre SO₂. Drugi etap, utrzymywany na poziomie pH 6-8, służy do usuwania SO₂.

Zdolność do usuwania rtęci może zostać zwiększona poprzez zastosowanie dodatków do płynu płuczającego, takich jak związki siarki, węgiel aktywny i/lub utleniacze, które albo wiążą rtęć w stabilne i nierozpuszczalne związki HgS, albo adsorbują ją do węgla aktywnego.

Wprowadzanie dodatków może być automatycznie kontrolowane za pomocą sygnału z monitorowania emisji rtęci lub za pomocą specjalnego monitoringu koncentracji rtęci w nieprzetworzonych spalinach, zapewniając w ten sposób skuteczną kontrolę wartości szczytowych. Zastosowanie monitorowania nieprzetworzonych spalin zapewnia dodatkową korzyść w postaci wykrywania wartości szczytowych w najkrótszym czasie, ponieważ rtęć dociera do komina w przypadku wyczerpania pojemności buforowej urządzeń FGC, co może prowadzić do zanieczyszczenia niektórych składników systemu.

Korzyści dla środowiska

Korzyścią dla środowiska jest redukcja emisji rtęci do powietrza poprzez jej przeniesienie do fazy wodnej, a następnie wychwycenie na etapie przetwarzania ścieków.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Jeżeli w pierwszym etapie płuczki gazowej mokrej wartość pH jest utrzymywana na poziomie poniżej 1, skuteczność usuwania rtęci jonowej w postaci HgCl₂, która jest na ogół głównym związkiem rtęci po spalaniu odpadów, wynosi ponad 95%. Jednak wydajność usuwania rtęci metalicznej jest zaledwie rzędu 0-10 %, głównie w wyniku kondensacji zachodzącej w temperaturze roboczej płuczki wynoszącej około 60-70 °C.

Adsorpcję rtęci metalicznej można poprawić, maksymalnie o 20-30%, za pomocą następujących środków:

- Dodania związków siarki do płynu płuczającego.
- Dodania węgla aktywnego do płynu płuczającego
- Dodania utleniaczy, np. nadtlenu wodoru, do płynu płuczającego. Technika ta przekształca rtęć metaliczną w formę jonową HgCl₂, aby ułatwić jej wytrącenie i ma najbardziej znaczący wpływ. Zob. również sekcja 4.5.6.5.

Ogólna wydajność usuwania rtęci (zarówno metalicznej, jak i jonowej) wynosi około 85%.

Podaje się, że efektywność usuwania powyżej 90% można również osiągnąć poprzez dodanie odpadów zawierających brom lub poprzez wtrysk do komory spalania substancji chemicznych zawierających brom. [74. TWG 2004]

Koncentracja rtęci w spalanych odpadach oraz zawartość chlorków są decydujące dla określenia ostatecznego poziomu emisji.

Tak czy inaczej, w zależności od koncentracji wejściowej rtęci, może zaistnieć konieczność dodania kolejnego urządzenia redukującego Hg, np.:

- wtrysk węgla przed systemem filtrów workowych;
- filtr z stałym złożem adsorpcyjnym.

(zob. sekcje 4.5.6.2 oraz 4.5.6.7.) [74. TWG 2004]

Zróznicowanie ilości rtęci zawartej w MSW może być bardzo duże i w związku z tym prowadzi do znacznych różnic w poziomach emisji. Wartości zmierzone przez austriacki MWI dały wartości pomiędzy 0.6 mg/kg a 4 mg/kg. Zróznicowanie to może być znacznie większe w przypadku innych rodzajów odpadów, np. niektórych odpadów niebezpiecznych.

Stosowanie płuczek kwaśnych mokrych do redukcji emisji rtęci może być wystarczające do osiągnięcia wymaganych poziomów emisji w przypadkach, gdy:

- wartość pH będzie niższa niż 1;
- stężenia chlorków będą na tyle wysokie, że czysta rtęć w spalinach będzie prawie całkowicie jonowa (i tym samym usuwalna jako chlorek).

W przypadku wprowadzania dodatków do płuczki o niskim pH, przy zazwyczaj niskich poziomach rtęci we wsadzie odpadów, chociaż wzrastających sporadycznie, np. podczas spalania odpadów komunalnych, ilość dodatków będzie utrzymywana na niskim poziomie (np. 0,5-2 l/h), i zwiększana tylko w przypadku przebiecia rtęci (np. do 10-20 l/h). Typowe współczynniki efektywności redukcji emisji rtęci od 90% do ponad 99% zgłaszane w przypadku stosowania dodatków pozwalają na osiągnięcie średniej krótkoterminowej koncentracji rtęci na wylocie poniżej 30 µg/Nm³. [111. Germany 2016]

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Oddziaływanie płukania na mokro zostało omówione w sekcji 4.5.3.1.

Należy również wziąć pod uwagę zużycie wszelkich dodanych odczynników.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

W przypadku stosowania płuczki gazowej mokrej technika ta ma na ogół charakter przetwarzania wstępnego prowadzonego celem kontroli emisji rtęci do powietrza (w połączeniu z innymi technikami). Może być też stosowana samodzielnie, gdy stężenie rtęci w odpadach jest wystarczająco niskie (np. poniżej 4 mg/kg). Zob. sekcja 4.5.3.1 dotycząca możliwości zastosowania systemów płukania na mokro.

Ekonomika

Nie dostarczono danych.

Siła napędowa wdrażania

Redukcja emisji rtęci.

Przykładowe zakłady

Kilka zakładów stosuje płukanie na mokro wzbogacone wtryskiem dodatków, np. DE29 jest przykładem zakładu stosującego siarczki.

Literatura źródłowa

[1. UBA 2001] [2. InfoMil 2002] [3. Austria 2002] [12. Achternbosch 2002] [55. EIPPCB 2002] [63. Langenkamp 1999], [64. TWG 2003] [111. Niemcy 2016]

4.5.6.2 Adsorpcja rtęci poprzez wtrysk węgla aktywnego

Opis

Technika ta polega na wstrzyknięciu węgla aktywnego przed filtr workowy (zob. również sekcja 4.5.5.5, filtry workowe opisano w sekcji 2.5.3.5) lub inne urządzenie odpylające.

Rtęć jest adsorbowana tam, gdzie stosowane są filtry odcinające, takie jak filtry workowe, a także na odczynniku, który jest zatrzymywany na powierzchni materiału filtracyjnego.

Szczegóły techniczne

Węgiel aktywny działa przy wychwytywaniu rtęci jako adsorbent. W typowych temperaturach spalin szybkość adsorpcji rtęci elementarnej przez nieprzetworzony węgiel aktywny jest znacznie niższa niż rtęci utlenionej. Dlatego w celu zwiększenia całkowitego usuwania rtęci stosuje się techniki utleniania rtęci elementarnej. Bromowany węgiel aktywny utlenia rtęć pierwiastkową do postaci jonowej, która jest następnie adsorbowana przez węgiel aktywny. Rtęć jonowa usuwana jest poprzez chemiczną adsorpcję wzmocnioną siarką zawartą w spalinach lub impregnowaną w niektórych rodzajach węgla aktywnego z domieszką siarki. [74. TWG 2004] [7. TWG 2017]

Dalszy rozwój tej techniki polega na oddzielnym wtrysku wysoce skutecznego węgla aktywnego (np. węgla impregnowanego 25% siarką) w momencie wystąpienia szczytów zawartości rtęci, wychwytywanych drogą ciągłego monitoringu nieprzetworzonych spalin. Stwierdzono, że system ten jest bardzo efektywny, ponieważ łączy w sobie skuteczną redukcję emisji rtęci z obniżeniem kosztów operacyjnych, dzięki mniejszemu zużyciu sorbentów.

Korzyści dla środowiska

Korzyści obejmują redukcję emisji rtęci do powietrza poprzez jej adsorpcję przez węgiel aktywny.

Węgiel adsorbuje również dioksyny (zob. sekcja 4.5.5.5). Filtry workowe zapewniają możliwość usuwania pyłu i metali. Filtry workowe zostały opisane w sekcji 2.5.3.5. Normalnym jest, że odczynniki alkaliczne dodawane są wraz z węglem. Pozwala to na redukcję na tym samym etapie procesu również gazów kwaśnych. [74. TWG 2004]

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Aspekty operacyjne są podobne do innych przypadków, w których stosowane są filtry workowe (zob. sekcja 4.5.2.2).

Skuteczna konserwacja filtra workowego oraz systemu wtrysku odczynników jest szczególnie ważna dla osiągnięcia niskich poziomów emisji.

Rtęć jest adsorbowana (zwykle przy około 95% wydajności usuwania), co powoduje emisje do powietrza poniżej 30 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$. [74. TWG 2004]

Emisje rtęci w zakresie od 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ do 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (średnia roczna) zostały zgłoszone w odniesieniu do stosowania oddzielnie wtryskiwanego, impregnowanego siarką węgla aktywnego, w warunkach stałego monitorowania rtęci w nieprzetworzonych spalinach. [112. EEB 2015]

W niektórych systemach, w których usuwanie rtęci odbywa się w płuczkach kwaśnych mokrych ($\text{pH} < 1$) mających na celu zmniejszenie koncentracji wejściowej, obserwuje się końcowe poziomy emisji Hg poniżej 1 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

Różne rodzaje węgla aktywnego mają różne zdolności adsorpcyjne. Inną możliwością poprawy usuwania rtęci jest domieszkowanie adsorbentu (np. siarką lub bromem). [74. TWG 2004]

W doświadczeniach prowadzonych przez HWI wykorzystywano różne rodzaje węgla aktywnego, a jego zużycie na godzinę wymagane do uzyskania określonego poziomu emisji rtęci było następujące:

- koks z łupin orzecha kokosowego: 8-9 kg/godz.;
- koks z torfu: 5.5-6 kg/godz.;
- węgiel brunatny: 8-8.5 kg/godz.
- Torf: 4-4.5 kg/godz.

[64. TWG 2003]

Zużycie węgla jest podobne do tego, o którym mowa w przypadku PCDD/F, ponieważ ten adsorbent jest zazwyczaj stosowany zarówno do usuwania rtęci, jak i PCDD/F. Wskaźniki zużycia węgla w zakresie od 0.5 kg/t do 3 kg/t odpadów są typowe dla MSWI. Odnotowano poziomy od 0.3 kg/t do 20 kg/t w przypadku odpadów niebezpiecznych [\[41. EURITS 2002\]](#). Zdolność adsorpcji przez odczynnik, koncentracja rtęci na wejściu oraz wymagany poziom emisji decydują o wielkości dozowania odczynnika.

Ryzyko pożaru w przypadku węgla aktywnego jest znaczne. Aby zmniejszyć to ryzyko pożaru, adsorbent może być mieszany z innymi odczynnikiemami. W niektórych przypadkach stosuje się 90% wapna hydratyzowanego i 10% węgla. Udział węgla jest na ogół wyższy, gdy istnieją dodatkowe etapy procesu, które przeprowadzają usuwanie gazów kwaśnych (np. płuczki gazowe mokre).

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Oddziaływania są podobne do tych, które występują w innych sytuacjach, w których stosowane są filtry workowe (zob. sekcja 4.5.2.2). Zużycie energii przez filtry workowe jest istotnym elementem.

Ponadto, dla tej techniki najbardziej znaczącym efektem oddziaływania jest wytwarzanie pozostałości zanieczyszczonych usuniętą rtęcią.

W przypadkach, gdy stały odczynnik jest ponownie spalany (celem zniszczenia PCDD/F) w spalarni, ważne jest aby:

- instalacja posiadała alternatywne ujęcie dla rtęci zapobiegające gromadzeniu się wewnętrznych zanieczyszczeń (oraz ewentualnemu uwolnieniu drogą ich przebiccia się);
- alternatywne ujęcie usuwało substancję zanieczyszczającą w wystarczającym tempie;
- w przypadku stosowania płuczek gazowych mokrych rtęć mogła przedostać się do strumienia ścieków, skąd następnie zostałyby wytrącona do pozostałości stałych za pomocą technik przetwarzania.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Możliwość zastosowania filtrów workowych oceniono w sekcji 4.5.2.2. Wtrysk węgla aktywnego stosuje się zarówno w nowych, jak i istniejących zakładach.

Ekonomika

Dodatkowe koszty kapitałowe tej techniki w procesach, w których stosuje się już wtrysk odczynnika oraz filtry workowe, są minimalne. Zobacz również sekcja 4.5.5.5.

Dodatkowe koszty operacyjne pochodzą z:

- zużycia odczynnika;
- unieszkodliwiania pozostałości.

Koszty operacyjne (koszt emisji dwutlenku węgla) wynoszą około 125 000 EUR/rok dla zakładu przetwarzającego 65 000 ton odpadów niebezpiecznych rocznie.

Odnotowano oddzielny wtrysk węgla impregnowanego siarką, kontrolowany za pomocą ciągłego monitoringu rtęci w nieprzetworzonych spalinach, co pozwoliło na oszczędności kosztów operacyjnych wynikające ze zmniejszonego zużycia sorbentu.

Siła napędowa wdrażania

Efektywna pod względem kosztów redukcja emisji rtęci do powietrza.

Przykładowe zakłady

Technika szeroko stosowana w całej Europie. W kilku zakładach w Niemczech, w tym MWI w Hahn od 2012 r. oraz MWI w Rugenberger Damm (Hamburg) (DE46), stosuje się oddzielny wtrysk węgla impregnowanego siarką, kontrolowany przez ciągły monitoring rtęci.

Literatura źródłowa

[\[1. UBA 2001\]](#)[\[2. InfoMil 2002\]](#)[\[3. Austria 2002\]](#)[\[12. Achternbosch 2002\]](#)[\[55. EIPPCB 2002\]](#)[\[63.Langenkamp 1999\]](#)[\[41.EURITS 2002\]](#)[\[64. TWG 2003\]](#)[\[112. EEB 2015\]](#)[\[126. EIPPCB 2017\]](#)

4.5.6.3 Zastosowanie do "polerowania" spalin kondensatora (skraplacza)

Opis

Technika ta została już opisana w sekcjach 2.4.4.5 i 4.4.11, głównie z punktu widzenia odzysku energii.

Szczegóły techniczne

Oprócz potencjalnych korzyści wynikających z zastosowania tego typu systemów odzysku energii, efekt kondensacji wynikający z zastosowania zimnej płuczki może powodować skraplanie się niektórych zanieczyszczeń. Pozwala to ograniczyć uwalnianie się zanieczyszczeń do powietrza, ale w istotnym stopniu tylko w przypadku, gdy płuczka pracuje w szczególnie niskiej temperaturze, np. 40 °C.

Korzyści dla środowiska

Kondensacja zanieczyszczeń z spalin zapewnia dodatkową redukcję emisji do powietrza.

Kondensacja wody ze spalin, w przypadku zastosowania jej za ich podgrzaniem, znacznie zmniejsza widoczność emisji oraz zużycia wody w płuczce.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

W przypadku rtęci, sama tylko ta technika nie jest w stanie zagwarantować poziomu emisji poniżej 50 µg/Nm³. Jest ona zatem uważana jedynie za dodatkowy etap "polerujący".

Temperatura ścieków z płuczki ma decydujące znaczenie dla niektórych zanieczyszczeń, np. dla zapewnienia kondensacji rtęci, która w ten sposób nie przejdzie przez płuczkę i nie zostanie uwolniona do powietrza. Kluczowe znaczenie ma zatem dostarczenie wystarczająco zimnego czynnika chłodniczego. Aby rtęć metaliczna mogła być skutecznie usuwana, konieczne są temperatury na wylocie z płuczki poniżej 40 °C (w niektórych przypadkach zgłaszane są nawet niższe temperatury - zob. poniżej).

Zgłoszono, że chłodzenie gazu za pomocą chłodnicy gazowej (tj. bez wtrysku cieczy) do temperatury wynoszącej zaledwie 5 °C nie daje wystarczająco dobrych wyników w zakresie redukcji rtęci (DE17).

Niska temperatura spalin może powodować kondensację a tym samym korozję w kominie, jeśli nie jest on zabezpieczony odpowiednią wykładziną.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Skroplona woda będzie zawierać zanieczyszczenia, które wymagają oczyszczenia w zakładzie uzdatniania wody przed jej odprowadzeniem. W przypadku zastosowania poprzedzającego systemu płukania na mokro, ścieki z płuczki kondensacyjnej mogą być oczyszczane w tym samym zakładzie.

Technikę tę stosuje się z reguły tylko wtedy, gdy istnieje łatwo dostępne źródło chłodzenia, na przykład szczególnie zimny (40 °C) powrót wody grzewczej, który zwykle występuje tylko w chłodniejszym klimacie. Zastosowanie tej techniki w innych okolicznościach (co nie jest zgłaszane) prowadziłoby do wysokich kosztów energii potrzebnej do chłodzenia.

Niska temperatura na wylocie z komina zmniejsza pływalność emisji, a tym samym jej rozpraszanie. Można to przezwyciężyć stosując wyższy komin lub komin o zmniejszonej średnicy.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest stosowana przede wszystkim jako technika odzysku energii oraz tam, gdzie dodatkowe etapy usuwania zanieczyszczeń zostały już włączone do instalacji (np. absorpcja węglem, płukanie na mokro o niskim pH).

Technika ta nie jest na ogół stosowana sama w sobie jako środek kontroli zanieczyszczeń, ale może być skuteczna jako etap "polerujący", w połączeniu z innymi systemami.

W tabeli 4.42 wyszczególniono konkretne zagadnienia związane z zastosowaniem płuczek kondensacyjnych.

Tabela 4.42 Ocena możliwości zastosowania płuczek kondensacyjnych do usuwania rtęci

Kryterium	Ocena/komentarz
Rodzaj odpadów	Ponieważ technika ta jest stosowana po etapach oczyszczania spalin, można ją w zasadzie stosować do każdego rodzaju odpadów.
Wielkość zakładu	Technika ta została zastosowana w zakładach MSWI o wydajności od 175 000 t do 400 000 t rocznie.
Zakład nowobudowany/istniejący	Technika ta jest stosowana przy końcu/na końcu systemu FGC i dlatego może być stosowana zarówno w nowych jak i istniejących zakładach.
Kompatybilność z innymi procesami	Brak ograniczeń
Lokalizacja	Prawdopodobnie będzie mieć zastosowanie jedynie w przypadku, gdy do dodatkowego chłodzenia płuczek nie jest wymagana energia, czyli w zimniejszym klimacie północnym, gdzie chłodniejsze powroty ciepła z sieci ciepłowniczej stanowią energetyczną siłę napędową.

Ekonomika

Całkowitą dodatkową inwestycję w płuczkę kondensacyjną szacuje się na około 3 mln EUR. [5. RVF 2002]

Sila napędowa wdrażania

Dodatkowa sprzedaż ciepła jest głównym czynnikiem decydującym o stosowaniu tej techniki. Dodatkowe usuwanie zanieczyszczeń jest dodatkową korzyścią.

Przykładowe zakłady

Kilka przykładów MWI w Szwecji oraz zakład SSI w Holandii (NL06).

Literatura źródłowa

[5. RVF 2002] [64. TWG 2003]

4.5.6.4 Wstrzyknięcie chlorynu celem kontroli rtęci elementarnej**Opis**

Dodanie chlorynu jako środka utleniającego celem przekształcenia, na wejściu płuczki gazowej mokrej, rtęci elementarnej w rozpuszczalną w wodzie utlenioną rtęć.

Szczegóły techniczne

Wtrysk silnego środka utleniającego przekształca rtęć pierwiastkową w rtęć utlenioną i umożliwia jej płukanie w płuczce gazowej mokrej. Aby zapobiec zużyciu tego środka w wyniku reakcji z innymi związkami (np. dwutlenkiem siarki), jest on wprowadzany tuż przed dyszami natryskowymi pierwszej płuczki kwaśnej. pH płuczki jest utrzymywane w zakresie od 0.5 do 2.

Kiedy rozpylana ciecz wchodzi w kontakt z kwaśnymi oparami zawierającymi chlorowodór, chloryn jest przekształcany w dwutlenek chloru, który jest związkiem aktywnym. Należy zauważyć, że w przeciwieństwie do innych utleniaczy, takich jak podchloryn (wybielacz), chloryn lub dwutlenek chloru nie ma zdolności do wprowadzenia atomu chloru do pierścienia aromatycznego, a zatem nie może zmienić bilansu dioksyn.

Korzyści dla środowiska

Korzyści z tej techniki obejmują zmniejszenie emisji rtęci.

Jako korzyść uboczną, zastosowanie utleniaczy sprzyja usuwaniu NO w płuczce poprzez utlenianie go do bardziej rozpuszczalnego NO₂. Prowadzi to do zmniejszenia emisji NO_x do powietrza.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Nie dostarczono danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Ponieważ stosowanie utleniaczy sprzyja utlenianiu NO do bardziej rozpuszczalnego gatunku (NO_2) w płucce gazowej mokrej, może to prowadzić do problemów związanych z wysoką zawartością azotu w ściekach. [74. TWG 2004]

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta ma zastosowanie tylko wtedy, gdy koncentracja chlorku wodoru w nieprzetworzonych spalinach wynosi co najmniej 400 mg/Nm^3 .

Technika ta jest kompatybilna tylko z systemami płukania na mokro.

Ekonomika

Koszt odczynnika jest czynnikiem ograniczającym zastosowanie.

Siła napędowa wdrażania

Nie dostarczono danych.

Przykładowe zakłady

Spalarnie odpadów w Bottrop oraz Ludwigshafen (DE).

Literatura źródłowa

[64. TWG 2003]

4.5.6.5 Dodawanie do płuczek gazowych mokrych nadtlenu wodoru**Opis**

Głównym celem systemu płukania na mokro jest oddzielenie Hg, HCl i SO_2 od spalin. W procesie tym, poprzez dodanie nadtlenu wodoru jako czynnika utleniającego, SO_2 jest utleniany do H_2SO_4 i wchłaniany przez płuczkę, a większość rtęci elementarnej jest utleniana do rozpuszczalnego w wodzie Hg^{2+} .

Szczegóły techniczne

Pierwszym krokiem jest schładzanie umieszczone za filtrem workowym (z wtryskiem węgla - który pochłonie dużą część rtęci). W chłodnicy spaliny są schładzane co powoduje ich nasycenie. Po schłodzeniu spaliny wchodzi w kontakt z płynem płuczającym, który zawiera nadtlenek wodoru oraz dodatki. Płyn do płukania reaguje z spalinami, a kwaśne ścieki są przekazywane do neutralizacji i wytrącania rtęci.

Korzyści dla środowiska

Korzyścią jest zwiększona redukcja koncentracji wszystkich rodzajów rtęci w spalinach.

Płuczka gazowa mokra redukuje również HCl, HF i SO_2 .

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Kwestie operacyjne są podobne do tych opisanych dla innych płuczek gazowych mokrych (zob. tabela 4.18).

Maksymalna wydajność usuwania rtęci wynosi zazwyczaj około 99.9 %. W dłuższych okresach wysokiej koncentracji na wlocie, stężenie rtęci w cieczy płuczającej i oczyszczonym gazie będzie stopniowo wzrastać. Średnia skuteczność usuwania rtęci zależy od liczby etapów oraz od szybkości odprowadzania cieczy. W instalacji o niskim natężeniu wypływu średnia wydajność usuwania rtęci mieści się zazwyczaj w zakresie 90-95%.

Poziomy emisji rtęci poniżej $10 \text{ } \mu\text{g/Nm}^3$ mogą być stale osiąganym, w zasadzie niezależnie od stężenia na wlocie, dzięki bardzo dużej pojemności buforowej.

W przypadku procesu z wykorzystaniem węgla aktywnego, efektywność usuwania rtęci wynosi zazwyczaj około 99.5%.

Technika ta jest również bardzo skuteczna jako etap "polerowania" SO_2 , HCl i HF.

Praca bez emisji ścieków jest możliwa dzięki recyklingowi ścieków do systemu FGC.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Zużycie odczynnika H_2O_2 (35 wt-%) wynosi 4-5 kg/t odpadów niebezpiecznych. Zużycie może wzrosnąć, ponieważ H_2O_2 reaguje nie tylko z rtęcią, ale także ze wszystkimi innymi utleniającymi się związkami, takimi jak żelazo czy metale ciężkie. [74. TWG 2004]

Rtęć zaabsorbowana w płynie płuczącym jest wytrącana na etapie oczyszczania ścieków, wytwarzając niewielkie ilości ustabilizowanego osadu zawierającego rtęć, który wymaga usunięcia.

Zużycie energii będzie się różnić w zależności od parametrów projektowych. W zależności od konstrukcji i niezależnie od dodanego H_2O_2 można oczekiwać spadku ciśnienia w płuczce gazowej mokrej w przedziale 1 200 - 2 400 Pa.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Metoda ta ma zastosowanie do wszystkich rodzajów spalarni odpadów, w których stosuje się płukanie na mokro. Najlepszy efekt osiąga się tam, gdzie płuczka umieszczona jest za filtrem workowym z wtryskiem węgla.

Ekonomika

Koszty inwestycji mogą się wahać w szerokim zakresie, od bardzo niskich, jeśli odpowiedni etap płukania stanowi już część projektu, do około 3 mln EUR, jeśli wymagany jest całkowicie nowy system płukania (koszty oparte na przepływie gazu 100 000 Nm^3/h).

Koszty operacyjne obejmują koszty środków chemicznych oraz, jeśli wymagany jest dodatkowy stopień płukania, zużycie energii elektrycznej w celu skompensowania dodatkowego spadku ciśnienia. Szacuje się, że koszty te mieszczą się w przedziale 20-35 EUR/godz. w zakładzie o wydajności 130 000 $Nm^3/godz.$

Siła napędowa wdrażania

Technika ta może być stosowana zarówno w nowych, jak i istniejących obiektach potrzebujących:

- osiągnąć niskie poziomy emisji Hg, HCl oraz SO_2 ;
- zredukować wysokie wartości szczytowe emisji rtęci.

Przykładowe zakłady

Zakład Sakab Ekokem w Kumli (SE) (SE21) wdraża system MercOx jako płuczki "polerującą".

Literatura źródłowa

[64. TWG 2003] [113. Szwecja 2015] [128. Löthgren i inni 2007] [129. Andersson i Paur 2005]

4.5.6.6 Dodanie bromku do kotła

Opis

Wtrysk bromku do paleniska lub dodanie do go odpadów celem zwiększenia utleniania rtęci podczas przechodzenia spalin przez kocioł, wspierając w ten sposób przemianę nierozpuszczalnej rtęci elementarnej w gazową rtęć rozpuszczalną w wodzie i adsorbowlaną $HgBr_2$. Usuwanie rtęci w dalszych urządzeniach, takich jak płuczki gazowe mokre lub systemy z wtryskiem suchego węgla aktywnego, jest w ten sposób skuteczniejsze.

Szczegóły techniczne

Wodny roztwór bromku, taki jak $CaBr_2$, jest dodawany do odpadów lub wstrzykiwany do pieca podczas spalania, gdy wykryte zostanie wystąpienie wartości szczytowej rtęci. W wysokiej temperaturze bromek jest utleniany do bromku dimolekularnego (Br_2) lub atomowych rodników bromu i hydrolizowanego bromu, które utleniają rtęć w spalinach. Wykazano, że sole bromkowe są znacznie skuteczniejsze w utlenianiu rtęci niż sole chlorkowe, ponieważ podczas gdy chlor jest usuwany przez konwersję SO_2 do SO_3 , ta sama reakcja nie jest entalpicznie korzystna z bromem. Powoduje to, że do całkowitego utlenienia rtęci wystarcza znacznie mniejsza ilość bromu niż ilość odczynnika halogenowego potrzebna w przypadku użycia chloru.

Korzyści dla środowiska

Korzyści polegają na ograniczeniu emisji rtęci do powietrza oraz na skutecznej kontroli szczytów emisji rtęci związanych z niekiedy wysokimi jej ilościami w odpadach.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Technika ta poprawia skuteczność usuwania rtęci w systemach stosowanych na dalszych etapach, pozwalając na osiągnięcie ogólnej efektywności redukcji emisji na poziomie > 90% aż do 99.8% w połączeniu z wielostopniowymi płuczkami gazowymi mokrymi. Podaje się, że skuteczność redukcji emisji > 99.5 % jest również osiągalna w przypadku systemów wtrysku suchego węgla aktywnego.

Stosunek masy bromu do rtęci > 300 wymagany jest do całkowitego utlenienia rtęci zawartej w spalinach.

W celu kontrolowania sporadycznych szczytów wejściowej zawartości rtęci, objętościowe natężenie przepływu bromku w postaci CaBr_2 (52 wt-%) można na przykład ustawić w zakresie od 15 do 75 ltr CaBr_2 (52%) na godzinę, w zależności od wielkości zakładu i wielkości szczytów zawartości rtęci. Szybkość wtrysku bromku może być automatycznie regulowana w odpowiedzi na poziomy rtęci zmierzone w spalinach.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Zużycie wodnego roztworu bromku jest głównym oddziaływaniem.

Stosowanie bromu w procesie może prowadzić do powstawania polibromowanych dioksyn i/lub polichlorowanych dioksyn i furanów.

Brom może również spowodować uszkodzenie filtra workowego.

Zakres oddziaływań tej techniki jest ograniczany poprzez stosowanie jej tylko w odpowiedzi na wykryte szczyty zawartości rtęci, a nie poprzez wstrzykiwanie bromku przez cały czas.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta nie ma zastosowania do zakładów działających przy poziomie tlenu bliskim zeru, takich jak zakłady pirolizy lub niskociśnieniowe zakłady zgazowania, ale może być stosowana w dalszych częściach instalacji (np. w komorach dopalania, gdzie zawartość O_2 jest już wystarczająca).

Technika ta nie ma zastosowania w przypadku zakładów spalających odpady o wysokiej zawartości chloru.

Ekonomika

Podaje się, że koszty inwestycji są niskie i wahają się od 10 000 do około 250 000 EUR w zależności od lokalnych norm dotyczących instalacji, oraz obejmują odpowiedni zbiornik na roztwór bromku, pompy dozujące i lance wtryskowe.

Koszty operacyjne są zasadniczo związane ze zużyciem bromku jako utleniacza i zależą od ogólnej zawartości rtęci w odpadach, a zatem są zmienne. Podawane są one na poziomie od poniżej 20 000 do 120 000 EUR rocznie.

W przypadku obszaru, na którym działają dwie spalarnie odpadów niebezpiecznych i jeden piec wielopaliwowy do spalania osadów ściekowych, zgłoszone zużycie w okresie 13 lat wynosi od 25 do 125 m³ roztworu bromku rocznie.

Siła napędowa wdrażania

- zgodność z przepisami dotyczącymi emisji;
- tłumienie szczytów wartości rtęci w odpadach;
- potencjał oszczędności kosztów w porównaniu z wykorzystaniem innych utleniaczy.

Przykładowe zakłady

Technika ta jest stosowana od 2002 roku w Niemczech w czterech piecach obrotowych do spalania odpadów niebezpiecznych w firmie Currenta GmbH&Co OHG; od 2004 roku w dwóch piecach ze stałym złożem fluidalnym do spalania komunalnych osadów ściekowych w Emschergenossenschaft - Lippeverband w Bottrop; a od 2008 roku w dwóch kolejnych piecach ze stałym złożem fluidalnym do spalania komunalnych osadów ściekowych w oczyszczalni ścieków Karlsruhe-Neureuth w Karlsruhe.

Technika została niedawno wdrożona również w trzech piecach obrotowych do spalania odpadów niebezpiecznych zakładu SARPI-VEOLIA we Francji, które są wyposażone w trzy różne systemy oczyszczania spalin: suchy system FGC na bazie węgla aktywnego i wapna hydratyzowanego, podobny półsuchy system FGC jako pierwszy stopień z dodatkową płuczką końcową oraz wielostopniowy system mokrego FGC.

Literatura źródłowa

[\[115. Vosteen i inni 2015\]](#) [\[127. EIPPCB 2017\]](#)

4.5.6.7 Adsorpcja rtęci na złożu stałym

Stosowanie tej techniki oraz jej korzyści w zakresie redukcji rtęci, oddziaływania na inne procesy oraz środowisko opisano w sekcji 4.5.5.6.

Rtęć jest adsorbowana, co daje emisje do powietrza zwykle poniżej 20 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$.

4.5.6.8 Systemy z stałym sorbentowym katalizatorem polimerowym (SPC)

Opis

System z stałym sorbentowym katalizatorem polimerowym (SPC), który wychwytuje zarówno rtęć pierwiastkową jak i utlenioną oraz usuwa SO_2 . Może być stosowany w płuczce gazowej mokrej lub jako samodzielne urządzenie.

Szczegóły techniczne

Za odpylaczem zainstalowane są moduły o otwartym kanale i niskim spadku ciśnienia, które w sposób ciągły usuwają rtęć z spalin. Rtęć jest chemisorbowana w strukturze, tworząc stabilny związek, który nie ulega desorpcji ani wymywaniu.

Moduły są wymieniane po kilku latach użytkowania, po wypełnieniu ich rtęcią chemisorbowaną. Do strumienia gazu nie są wtryskiwane żadne sorbenty ani chemikalia, dzięki czemu powstaje bardzo mało odpadów stałych w porównaniu z typowym systemem z wtryskiem węgla. Dodatkową korzyścią jest usuwanie SO_2 poprzez utlenianie do kwasu siarkowego, który jest zwykle poddawany obróbce w płuczce gazowej mokrej.

Moduły mogą być instalowane wewnątrz istniejącej płuczki gazowej mokrej nad eliminatorami mgły na wylocie płuczki. Jako samodzielne rozwiązanie, zazwyczaj będą instalowane bezpośrednio przed kominem, albo na wylocie płuczki gazowej mokrej, albo bezpośrednio za płuczką gazową mokrą lub za mokrym ESP.

Korzyści dla środowiska

- Zmniejszenie emisji rtęci do powietrza, a tym samym uniknięcie zanieczyszczenia pyłem lub ściekami procesowymi.
- Minimalne wytwarzanie odpadów stałych (moduły wymieniane co kilka lat eksploatacji).
- Niskie zużycie energii, ponieważ niski spadek ciśnienia eliminuje konieczność stosowania dodatkowego wentylatora wyciągowego.
- Redukcja emisji SO_2 do powietrza jako korzyść dodatkowa.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Technika ta jest wdrażana jako konstrukcja modułowa, przy czym każdy moduł usuwa w przybliżeniu taki sam procent rtęci w spalinach, który zależy od ich prędkości przepływu. Ogólny procent usuwania jest określany na podstawie liczby modułów ułożonych szeregowo. W przypadku prędkości przepływu spalin 4 m/s, stos o wysokości 60 cm usuwa 40-50% rtęci w spalinach, co oznacza, że 80-90% rtęci jest usuwane przez stos o wysokości 180 cm.

Technika ta przewiduje zatem stałe procentowe usuwanie rtęci z spalin, ale nie zapewnia znaczącej elastyczności operacyjnej ani zdolności buforowej. Może ona być wystarczająca jako jedyna technika redukcji rtęci w zakładach, w których ładunek rtęci i jego zmienność są stosunkowo niewielkie, np. w spalarniach osadów ściekowych, ale nie w przypadku komercyjnych spalarni odpadów niebezpiecznych.

Zgłaszana jest maksymalna temperatura pracy wynosząca 80 °C. W razie potrzeby można zastosować urządzenie chłodzące, takie jak chłodnica parowa. Wymagane jest wstępne odpylanie, choć technika ta jest odporna na umiarkowane obciążenia pyłem występujące np. po ESP. Moduły kanału otwartego można myć w trakcie użytkowania, a pył technologiczny spłukiwać z powierzchni wodą.

Technika ta nie obejmuje żadnych ruchomych części ani nie wymaga wtryskiwania substancji chemicznych lub sorbentów. Wymagana jest minimalna ilość wody procesowej do mycia.

Na sześciu liniach spalania osadów ściekowych w Stanach Zjednoczonych obsługiwanych przez regionalną firmę *Northeast Ohio Regional Sewer District of Greater Cincinnati* zgłoszono redukcję emisji rtęci w zakresie od 60 do 97%, w wyniku czego stężenie emisji wynosiło od $< 1 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ do $9 \mu\text{g}/\text{Nm}^3$ (w przeliczeniu na 11% O_2). W tych samych zakładach zgłoszono również redukcję emisji SO_2 wynoszącą od 78 do 98%.

Zaobserwowano spadek ciśnienia wynoszący 0.25–0.5 kPa.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Głównym efektem oddziaływania jest wytwarzanie, po kilku latach użytkowania, zużytego katalizatora polimerowego obciążonego rtęcią. Biorąc pod uwagę, że moduł 20 kg może wychwycić około 1 kg rtęci, zanim konieczna będzie jego wymiana, ilość wytwarzanych odpadów jest znacznie mniejsza niż w przypadku systemów wtrysku z węglem aktywnym.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest ogólnie stosowana w nowych zakładach.

Zdolność adaptacji do istniejących instalacji może być ograniczona przez wymagania przestrzenne dla dodatkowej jednostki procesowej oraz, w instalacjach wyposażonych wyłącznie w suche techniki FGC, przez dodatkowe wymagania dotyczące chłodzenia spalin.

Ekonomika

Podaje się, że koszty inwestycji są w dużej mierze zależne od lokalizacji, ale na ogół znacznie niższe niż w przypadku adsorpcji na złożu stałym. W przypadku dwóch spalarni osadów ściekowych w USA wyposażonych już w płuczkę gazową mokrą zgłoszono koszty inwestycyjne w wysokości 225 000 - 450 000 USD, które obejmowały koszty osobnego zbiornika zbudowanego do magazynowania modułów, umieszczonego za płuczką. Koszty operacyjne są zazwyczaj niskie.

Siła napędowa wdrażania

Zmniejszenie emisji rtęci przy jednoczesnym ograniczeniu efektu oddziaływania na procesy i środowisko.

Przykładowe zakłady

W USA, 16 spalarni osadów ściekowych wykorzystuje technikę Gore Mercury Control System.

Literatura źródłowa

[119. EEB 2015] [120. Smith i inni 2017]

4.5.7 Techniki ograniczania emisji innych substancji

4.5.7.1 Stosowanie specjalnych odczynników do redukcji jodu oraz bromu

Opis

Technika ta została już krótko opisana w sekcji 2.5.4.1.

Odczynniki specjalne, np. tiosiarczany sodu lub wodorosiarczyny sodu, mogą być dodawane, w zależności od potrzeb, do istniejącego systemu płukania na mokro celem przetworzenia poszczególnych partii odpadów (gdy wiedza na temat zawartości odpadów jest kluczowa) lub dodawane rutynowo do dodatkowego etapu systemu płukania na mokro (gdy zużycie odczynnika może być większe).

Szczegóły techniczne

W płuczce halogenowej wszelkie wolne halogeny (fluorowce) redukowane są do wodorków halogenowych w reakcji z alkalicznym roztworem $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$. Wraz z pozostałymi SO_2 , wodorki halogenowe są następnie usuwane z spalin poprzez ich rozpuszczenie.

Halogenami, o których mowa, są brom i jod, pochodzące głównie z substancji zmniejszających palność oraz z odpadów medycznych. Ponieważ fluor i chlor są silniejszymi czynnikami utleniającymi, oba zostają całkowicie zredukowane do wodorków.

Możliwe jest również zmniejszenie emisji jodu i bromu do powietrza poprzez wtryskiwanie do pieca odpadów zawierających siarkę lub SO_2 . [\[64. TWG 2003\]](#)

Korzyści dla środowiska

Żółto-brązowe lub fioletowe spaliny mogą być widoczne w niektórych przypadkach, gdy znaczne stężenia bromu lub jodu (odpowiednio) przechodzą przez układ FGC. Zapobiega się temu poprzez ukierunkowane lub regularne dodawanie $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Nie udało się kontrolować procesu poprzez pomiar on-line reakcji redoks, ze względu na mieszanie kilku zakłócających procesów redoks (utleniania-redukcji) zachodzących w wodzie płuczki. Dodatek jest zatem kontrolowany przez stężenie SO_2 w nieprzetworzonym gazie. Jeżeli odpady zawierają wystarczającą ilość siarki, nie jest wymagana dodatkowa redukcja halogenów - odzwierciedla to alternatywne rozwiązanie polegające na pomiarze spalania odpadów o wyższej zawartości siarki, lub wtrysku SO_2 , o którym mowa powyżej.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Zużycie $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ zależy od zawartości siarki w odpadach, a jego dodawanie kontrolowane jest w zależności od stężenia SO_2 w nieprzetworzonym gazie. Jeśli odpad zawiera wystarczającą ilość siarki, nie jest wymagana dodatkowa redukcja halogenów.

Usunięte zanieczyszczenia są przenoszone do ścieków. W związku z tym może być wymagane ich późniejsze przetwarzanie.

W przypadku gdy dodawane są odpady siarki SO_2 lub wyższej, będzie to wymagało zmiany w konfiguracji operacyjnej kolejnych etapów FGC, aby umożliwić zmianę standardowej chemii odpadów. Zmiany w bilansie siarki/chloru mogą również wpłynąć na tempo reformingu PCDD/F.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest generalnie stosowana w każdym zakładzie wyposażonym w płuczkę gazową mokrą.

Technika ta odnosi się to głównie do HWI lub innych instalacji, w których stężenie jodu i bromu w spalanych odpadach jest bardzo zmienne i/lub trudne do przewidzenia/kontroli, np. odpady z laboratoriów lub odpady chemiczne/farmaceutyczne. Ogólnie rzecz biorąc, są to instalacje z przetwarzaniem HW.

Ekonomika

Roczne zużycie $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ dla każdej z trzech linii spalania wynosi średnio około 50 ton. Przy cenie 0.5 EUR/tonę łączne koszty eksploatacji tego etapu (z wyłączeniem zapotrzebowania na moc) dla pomp do płuczek itp. wynoszą 25 000 EUR/rok na linię.

Koszty celowego dodawania odczynnika będą prawdopodobnie niższe, ale mogą być wymagane dodatkowe środki na kontrolę i zarządzanie napływającymi odpadami.

Koszty dodawania odczynnika do istniejącego systemu płukania na mokro są ograniczone głównie do kosztów odczynnika, a zatem są znacznie niższe niż koszty dodania osobnego etapu płukania.

Koszty wtrysku SO_2 to koszty gazu. Dodanie odpadów o większej zawartości siarki będzie zależało od dostępności takich odpadów.

W przypadku HWI w Danii dodano trzeci etap płukania, którego koszt wyniósł około 600 000 EUR (w 2000 r.).

Siła napędowa wdrażania

- Wymagana jest kontrola emisji jodu oraz bromu.
- Przypadki, w których stężenia jodu i bromu w spalanych odpadach są bardzo zmienne i/lub trudne do przewidzenia/kontroli.

Przykładowe zakłady

Ukierunkowane dozowanie jest stosowane w wielu europejskich HWI. Dodatkowy etap płukania został zainstalowany w HWI w Danii.

Literatura źródłowa

[\[25. Kommunikemi 2002\]](#) [\[64. TWG 2003\]](#)

4.6 Oczyszczanie i kontrola ścieków

Ogólne zasady, które należy stosować w odniesieniu do wyboru i eksploatacji systemów oczyszczania ścieków, przedstawiono w dokumencie BREF dotyczącym wspólnych systemów oczyszczania/zagospodarowywania ścieków i gazów odlotowych w sektorze chemicznym (CWW). W związku z tym niniejsza część tego dokumentu dotyczy wyłącznie kwestii, które zostały określone jako ważne lub specyficzne dla sektora WI.

Optymalny proces spalania jest ważnym warunkiem skutecznej kontroli emisji do wody. Niekompletne spalanie ma negatywny wpływ na skład spalin i popiołu lotnego, poprzez zwiększoną obecność związków organicznych o charakterze zanieczyszczającym i/lub toksycznym. Te z kolei mogą mieć wpływ na zawartość ścieków z płuczek.

Techniki, które należy rozważyć w odniesieniu do zmniejszenia zawartości zanieczyszczeń w spalinach (a tym samym zmniejszenia potencjalnego ryzyka przedostania się ich do ścieków z płuczek), zostały przedstawione w sekcjach 4.1 i 4.3.

4.6.1 Stosowanie technik oczyszczania spalin bez odprowadzania ścieków

Opis

Techniki do rozważenia to:

- stosowanie wtrysku suchego sorbentu lub półmokrego absorbera;
- stosowanie płuczki gazowej mokrej, po której następuje odparowanie wytworzonych ścieków;
- recykling ścieków z mokrego systemu oczyszczania spalin.

Szczegóły techniczne

Oczyszczanie spalin bez odprowadzania ścieków można osiągnąć poprzez:

- stosowanie procesów suchych i półmokrych: nie powodują one powstawania ścieków;
- stosowanie procesów mokrych, w których wykorzystuje się odparowywanie: mokre FGC powodują powstawanie ścieków; jednakże w pewnych warunkach ścieki te mogą być ponownie wprowadzone do procesu i odparowane.

Procesy te zostały omówione w sekcji 4.5.3.

Korzyści dla środowiska

- Brak zrzutu (odprowadzenia ścieków).
- Unikanie zużycia zasobów na przetwarzanie ścieków.
- Odzysk soli przez odparowanie.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Suche i półsuche systemy FGC nie generują ścieków. Natomiast ścieki z innych procesów prowadzonych na terenie zakładu lub deszczówka mogą być poddawane recyklingowi w systemach półmokrych lub mokrych.

Procesy mokre generują ścieki, które zamiast być odprowadzane po oczyszczeniu, mogą być poddane recyklingowi lub odparowane na bieżąco lub w specjalnej jednostce odparowywania. Ilość ścieków z procesów mokrych wynosi zazwyczaj 0.2 m³/t. Ścieki z płuczki gazowej mokrej są neutralizowane (np. za pomocą wapna hydratyzowanego lub mleczka wapiennego). Czynniki kompleksujące są również wtryskiwane celem oczyszczenia z związków metali ciężkich. Następnie przetworzone ścieki są rozpylane w wieży chłodniczej wyparnej i odparowują z wykorzystaniem energii spalin na wylocie z kotła.

Odparowanie ścieków może powodować ryzyko zabrudzenia wieży chłodniczej wyparnej. [\[74. TWG 2004\]](#)

Oddziaływanie na procesy i środowisko

- Wzrost zużycia energii. Koszty zużycia energii przez jednostkę odparowującą mogą nie być znaczące, jeżeli pochodzi ona z odzysku w ramach instalacji.
- Zwiększone wytwarzanie pozostałości.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest ogólnie stosowana.

Ekonomika

W przypadku, gdy dopuszczalne jest odprowadzanie ścieków, istnieje mniejsza zachęta do wprowadzania systemów, które eliminują taki zrzut. Przykładem może być środowisko morskie, które może wchłonąć słone ścieki po przetworzeniu.

Koszty energii potrzebnej dla oddzielnej instalacji odparowywania mogą być wysokie.

W przypadku gdy koszty unieszkodliwiania odpadów stałych są wysokie, korzyści może przynieść zastosowanie mokrej metody przetwarzania spalin z odparowaniem (lub bez odparowania, jeżeli możliwe jest odprowadzenie) ze względu na zmniejszenie ilości powstających odpadów stałych.

Możliwość zbicia odzyskanej soli powstającej w oddzielnych systemach odparowania pozwoli na uniknięcie konieczności uiszczania opłat za usunięcie tej frakcji. Zanieczyszczenia komplikowały to w niektórych przypadkach. [\[74. TWG 2004\]](#)

Siła napędowa wdrażania

Kluczowym czynnikiem jest brak możliwości odprowadzenia wody.

Przykładowe zakłady

Odprowadzenie jest przeprowadzane w wielu instalacjach w Niemczech i prowadzi do powstawania mokrych instalacji FGC, które nie odprowadzają ścieków.

Systemy FGC nie wytwarzające ścieków (np. nie mokre FGC) są szeroko stosowane w całej Europie. FR56 (proces mokry + parokondensacja ścieków) czy FR33 (proces półmokry + proces mokry). [\[74. TWG 2004\]](#)

Literatura źródłowa

[\[2. InfoMil 2002\]](#) [\[64. TWG 2003\]](#) [\[74. TWG 2004\]](#)

4.6.2 Postępowanie z suchym popiołem paleniskowym**Opis**

Suchy, gorący popiół paleniskowy spada z rusztu na system transportowy i jest chłodzony powietrzem z otoczenia. W procesie tym nie używa się wody. Użyteczna energia jest odzyskiwana poprzez wykorzystanie do spalania powietrza chłodzącego.

Szczegóły techniczne

Urządzenie odprowadzające pracuje bez wody, a popiół paleniskowy jest odprowadzany z układu spalania w postaci suchej. Odpylacz popiołu dennego typu popychającego (ram-type) jest ciągle stosowany w niezmienionej formie, ale z separatorem powietrza i systemem odpylania (np. odpylaczem cyklonowym).

Uszczelnienie powietrza w komorze spalania uzyskuje się poprzez spiętrzenie popiołu paleniskowego w dole popielnika. Suchy, odprowadzany popiół paleniskowy przekazywany jest bezpośrednio do separatora powietrznego.

Drobna frakcja i pył z popiołu paleniskowego odsysane są w określony sposób. W zależności od prędkości odsysania frakcja drobna i wielkość cząstek pyłu zostaje ustawiona na wartości ≤ 1 mm do ≤ 5 mm.

Strefa separacji powietrznej jest zamknięta w obudowie, stale utrzymywanej w warunkach podciśnienia, co zapobiega również przedostawaniu się "złego" powietrza do pieca lub pyłu do kotłowni.

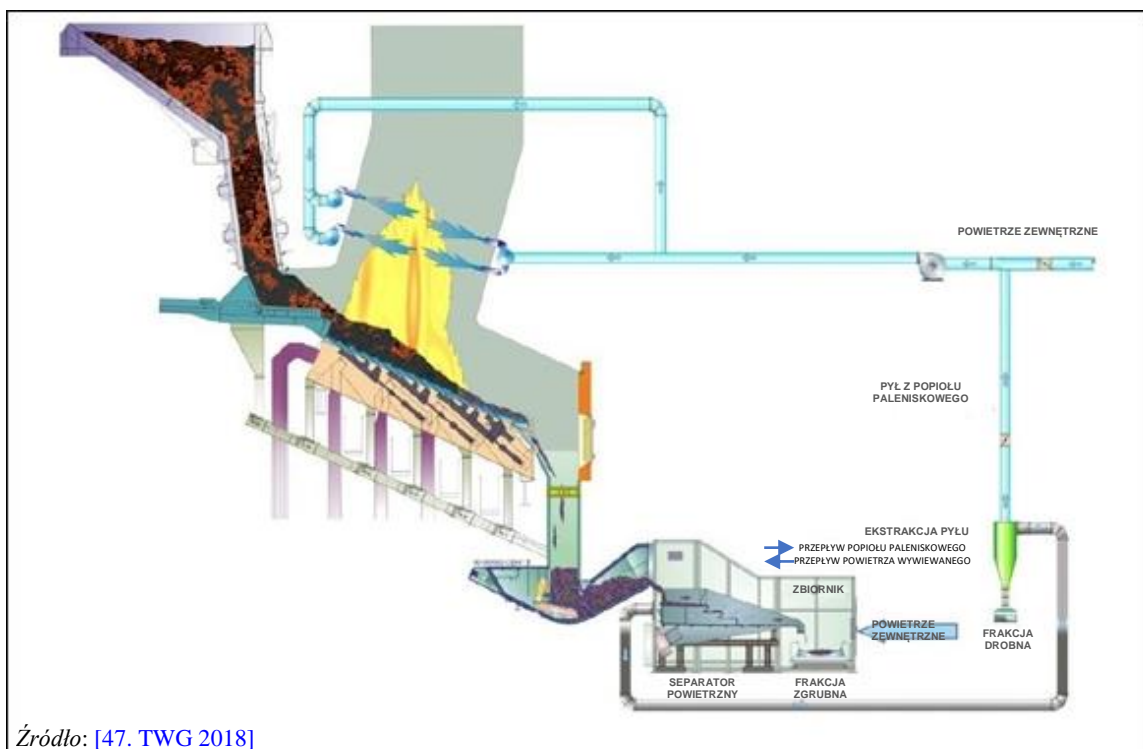
Temperatura powierzchniowa urządzenia odprowadzającego jest w tym samym zakresie (40-60 °C) co w przypadku urządzenia odprowadzającego w systemie mokrym.

Zazwyczaj następujące trzy strumienie materii oddzielane są od suchego popiołu paleniskowego za pomocą separacji powietrznej oraz odpylania:

- frakcja zgrubna (> 1 mm), wzbogacona o odzyskiwalne metale;
- frakcja drobna (≤ 1 mm), prawie bez metali;
- pył z popiołu paleniskowego (≤ 100 μm).

Dwie ostatnie frakcje są odprowadzane z separatora powietrznego wraz ze strumieniem powietrza i przekazywane do instalacji odpylającej, co zapewnia ich oddzielenie od strumienia powietrza. Nieobciążone powietrze, zawierające minimalny ładunek resztkowy pyłów z popiołu paleniskowego, odprowadzane jest do układu powietrza do spalania lub dalej odpylane przed jego uwolnieniem.

Ilustracja 4.9 przedstawia ogólny schemat systemu odprowadzania suchego popiołu paleniskowego.



Ilustracja 4.9 Schemat systemu odprowadzania suchego popiołu paleniskowego

Zobacz także LCP BREF.

Korzyści dla środowiska

- Zmniejszona konsumpcja wody.
- Zwiększona efektywność energetyczna.
- Lepsze odzyskiwanie metali, ponieważ są one łatwiejsze do oddzielenia od suchych popiołów paleniskowych niż od mokrych.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Nie używa się wody. Użyteczna energia odzyskiwana jest poprzez wykorzystanie do spalania powietrza chłodzącego. Ilość odzyskanego ciepła zależy głównie od następujących parametrów eksploatacyjnych:

- wskaźnika produkcji popiołu paleniskowego;

- temperatury popiołu paleniskowego na odprowadzeniu rusztu (generalnie od 350 do 500 °C) i na końcowym odprowadzeniu (generalnie < 100 °C).

W razie potrzeby (np. ze względu na bezpieczeństwo przeciwpożarowe) w każdej chwili można zalać wodą system odprowadzania popiołu paleniskowego.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Odprowadzanie suchego popiołu paleniskowego powoduje powstawanie dużej ilości pyłu i wymaga odpowiedniej obudowy oraz urządzeń odpylających.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika stosowana tylko do pieców rusztowych.

Mogą istnieć ograniczenia techniczne, które uniemożliwiają modernizację istniejących pieców rusztowych.

Ekonomika

Odprowadzanie suchego popiołu paleniskowego umożliwia bardziej efektywną separację metali w połączeniu z lepszą jakością ich odzysku, co skutkuje wzrostem osiąganych cen metali oraz przychodów. Dodatkową korzyścią jest obniżenie kosztów transportu dzięki redukcji wagi o około 20 wt-% z powodu braku wody.

Wewnętrzna stopa zwrotu z inwestycji związana ze zwiększoną ilością odzyskanych metali nieżelaznych mieści się w przedziale 15-26% dla zakładu o wydajności 100 000 t/rok, oraz 35-50% dla zakładu o wydajności 160 000 t/rok. [\[130. Martin i Hanenkamp 2017\]](#)

Siła napędowa wdrażania

- Poprawa jakości popiołu.
- Zwiększony odzysk metali nieżelaznych.

Przykładowe zakłady

ACEA San Vittore del Lazio (IT), GESPI Augusta (IT), KEBAG AG Zuchwil (CH), KVA Horgen (CH), ERZ Zurich (CH), KEZO Hinwil (CH), SATOM Monthey (CH).

Literatura źródłowa

[\[130. Martin i Hanenkamp 2017\]](#) [\[131. Magaldi 2017\]](#)

4.6.3 Wykorzystanie wody z kotła

Opis

Techniki do rozważenia to:

- podawanie wody kotłowej do płuczki półmokrej lub mokrej, albo do systemu chłodzenia;
- uzdatnianie wody kotłowej celem ponownego wykorzystania w procesie spalania.

Szczegóły techniczne

Woda z kotła wymaga regularnego opróżniania celem zmniejszenia w niej poziomu rozpuszczonych substancji stałych. Ten strumień ścieków może być doprowadzany bezpośrednio do płuczek (półsuchych i mokrych) lub do chłodnicy, zamiast oddzielnego przetwarzania/zrzutu.

Inną możliwością jest przetworzenie wody i odesłanie jej z powrotem do kotła. Woda pochodząca z kotła jest schładzana w wymienniku ciepła, gdzie następuje wymiana ciepła z zimną zdemineralizowaną wodą (zdemineralizowana woda trafia potem do odgazowywacza - w ten sposób odzyskiwane jest również ciepło odpadowe), celem osiągnięcia przez wodę kotłową temperatury umożliwiającej jej dalsze przetwarzanie. Schłodzona woda trafia do zbiornika buforowego, gdzie zostaje tymczasowo zmagazynowana. Woda o temperaturze poniżej 40 °C jest przesyłana ze zbiornika do filtra z węglem aktywnym (celem usunięcia zawartości amoniaku), a następnie do kolumny jonowymiennej (z żywicami anionowymi i kationowymi) aby osiągnąć docelową zawartość krzemu. Tak przetworzona woda jest gotowa do przesłania do odgazowywacza i poddania recyklingowi. [\[96. Włochy 2016\]](#)

Korzyści dla środowiska

Zmniejszenie zużycia wody poprzez zastąpienie wody zasilającej płuczki wodą z kotła.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Brak informacji na temat podawania ścieków z kotłów do płuczek.

Ważnym jest, aby sprawdzić, czy jakość ścieków jest odpowiednia dla danego procesu, w szczególności aby zapobiec ryzyku zanieczyszczenia na skutek wytrącania się soli (np. fosforanu wapnia). [74. TWG 2004]

W zakładzie IT10 zbiornik na wodę otrzymuje wodę z kotła. Gdy zbiornik jest pełny, rozpoczyna się proces przetwarzania. Zakres roboczy przepływu wynosi od 0.7 do 2 m³/godz. System wykorzystuje pompę o mocy 1.1 kW. Do sterowania zaworami wykorzystuje się sprężone powietrze w ilości 20 l/min. Zużycie HCl i NaOH do regeneracji żywic w złożu jonowymiennym wynosi 30 l/miesiąc.

Wytwarzane pozostałości to:

- filtr z węglem aktywnym: 50 kg (wymiana co 8 lat);
- kwarc: 50 kg przez 8 lat;
- żywice anionowe i kationowe: 100 kg przez 8 lat;
- ścieki powstające podczas regeneracji (co 2 tygodnie): 4 m³/miesiąc. Cała woda z ciągłego przedmuchu kotłów jest odzyskiwana.

Temperatura wody na wlocie do filtra z węglem aktywnym musi być niższa niż 40 °C.

Sprzęt wykorzystywany w tej technice ma bardzo długą żywotność (wymiana filtrów i żywic co 8 lat).

Przewodność cieplna wody i stężenie krzemionki są sprawdzane za złożem jonowymiennym.

Energia, której wymaga przetwarzanie, jest rekompensowana przez zmniejszone zapotrzebowanie na energię potrzebną do zaopatrzenia w wodę słodką. [96. Włochy 2016]

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Niewielki wzrost zużycia energii oraz surowców.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Podawanie ścieków z kotłów do płuczek ma zastosowanie tylko do systemów oczyszczania gazów, które wymagają wsadu wody (tj. nie do systemów suchych, chyba że doda się wodę zasilającą do kondycjonowania). Przetwarzanie ścieków kotłowych jest ogólnie stosowaną techniką.

Ekonomika

Nie podano informacji na temat podawania ścieków z kotłów do płuczek.

Koszt inwestycji w zakresie oczyszczania ścieków z kotłów wynosi około 40 000 EUR (2006 r.), natomiast koszt eksploatacji, w tym konserwacji, wynosi 1 600 EUR rocznie.

Oszczędności to:

- około 294 000 EUR rocznie ze względu na uniknięcie kosztów związanych z odprowadzaniem ścieków;
- około 650 EUR rocznie dzięki zaoszczędzonej energii zużywanej na zasysanie do instalacji wód gruntowych; [96. Włochy 2016]

Sila napędowa wdrażania

Oszczędności finansowe.

Przykładowe zakłady

MHKW Bamberg (DE), Rea Dalmine (IT) oraz wiele innych MWI w Europie.

Literatura źródłowa

[2. InfoMil 2002] [96. Włochy 2016]

4.6.4 Recyrkulacja ścieków zamiast ich odprowadzania

Opis

Ponieważ sam proces spalania stanowi środek do koncentracji i usuwania zanieczyszczeń ze strumieni odpadów, możliwe jest doprowadzenie w odpowiednich miejscach, do procesu spalania lub oczyszczania spalin, ścieków o małej lub średniej objętości. Prawidłowe wdrożenie tej techniki nie ma negatywnego wpływu na działanie spalarni ani na jej efektywność środowiskową.

Praktyki te mogą obejmować:

- wykorzystanie wody pochodzącej z kotła jako źródła wody dla płuczek gazowych mokrych (zob. rozdział 4.6.3);
- wykorzystanie niektórych laboratoryjnych strumieni ścieków zawierających niewielkie ilości zanieczyszczeń jako wody uzupełniającej do płuczek;
- przesyłanie odcieku z popiołu paleniskowego lub innych miejsc składowania do mokrego odprowadzenia popiołu paleniskowego;
- wykorzystanie zebranej deszczówki jako medium do płuczki;
- recyrkulację kondensatów;
- ponowne użycie wody chłodzącej pochodzącej z produkcji energii elektrycznej;
- wtrysk permeatu pochodzącego z przygotowania wody kotłowej. [\[74. TWG 2004\]](#)

Korzyści dla środowiska

Jeśli system jest dobrze zaprojektowany i eksploatowany, może umożliwiać spalarni:

- koncentrację zanieczyszczeń nieorganicznych w odpadach stałych (np. pozostałości z FGC lub z WWT);
- redukcję konsumpcji wody;
- eliminację lub ograniczenie konieczności odprowadzania ścieków.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Tam, gdzie konieczne jest oczyszczanie strumienia ścieków celem poprawy ich jakości tak, aby umożliwić recyrkulację, wystąpi dodatkowe zużycie energii i materiałów (oraz koszty), które mogą być na tyle duże, aby zniweczą korzyści wynikające z ewentualnej recyrkulacji. Taka analiza będzie w dużej mierze zależała od szczegółowych informacji na temat warunków lokalnych.

Istotne jest, aby recyrkulacji materiałów w instalacji towarzyszyły odprowadzenia dla tych materiałów, które mogą ulegać kumulacji. Kumulowanie się niektórych substancji (zwłaszcza Hg) może prowadzić do ich zbytniego nagromadzenia, a w konsekwencji do przebicia się oraz uwolnienia. Aby tego uniknąć, konieczna jest prawidłowa ocena i zapewnienie takim substancjom odpowiedniego odprowadzenia.

Techniki te zwykle powodują koncentrację zanieczyszczeń w strumieniu odpadów stałych.

Dane operacyjne

Możliwe jest zidentyfikowanie opcji recyrkulacji częściowo zanieczyszczonych strumieni odpadów celem innych zastosowań w ramach instalacji, poprzez ocenę przepływów i wymiany masy. Takie oceny są czasami nazywane "*Pinch Assessments*" lub "*Materials Exchange Networks*". Narzędzia te, gdy są stosowane do ścieków, dostarczają środków potrzebnych do oceny możliwości ich recyrkulacji, biorąc pod uwagę wymagania jakościowe wsadów do samych jednostek przetwórczych oraz ogólny cel systemu, jakim jest redukcja emisji.

Zastosowanie

Technika ta jest ogólnie stosowana.

Ekonomika

Koszty wzrosną, jeśli konieczne będzie wstępne przetwarzanie ścieków.

Oszczędności można uzyskać poprzez zmniejszenie zużycia wody i kosztów rzutu/odprowadzenia.

Siła napędowa wdrażania

- brak możliwości odprowadzania wody;
- zaopatrzenie w wodę jest limitowane ze względu na suchy klimat.

Przykładowe zakłady

MSWI z zerowym odprowadzaniem/zrzutem: Azalys, Ouarville. [\[74. TWG 2004\]](#)

Literatura źródłowa

[\[64. TWG 2003\]](#) [\[72. El-Halwagi 1997\]](#) [\[74. TWG 2004\]](#)

4.6.5 Rozdzielenie strumieni ścieków i ich oddzielne przetwarzanie, w zależności od zawartości zanieczyszczeń

Opis

Strumienie ścieków (np. ścieki zebrane z powierzchni, wody chłodzące, ścieki z przetwarzania spalin czy IBA) są rozdzielane celem ich osobnego przetwarzania, w zależności od zawartości w nich zanieczyszczeń oraz kombinacji wymaganych technik. Nieskażone strumienie ścieków (np. czysta deszczówka, woda chłodząca) są oddzielane od strumieni ścieków, które wymagają przetworzenia.

Szczegóły techniczne

Technika ta polega na oddzieleniu odpływów czystej deszczówki tak, aby nie mieszała się ze strumieniami, które są potencjalnie lub faktycznie zanieczyszczone.

Korzyści dla środowiska

- Redukcja ilości ścieków wymagających przetworzenia.
- Pozostała po rozdzieleniu frakcja ma większą koncentrację zanieczyszczeń i dlatego może być przetwarzana bardziej efektywnie.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Jeżeli spalarnia zlokalizowana jest w miejscu, w którym znajduje się tylko jeden kanał zarówno dla ścieków zanieczyszczonych, jak i wód opadowych (deszczówki), oddzielna zbiórka niezanieczyszczonych strumieni przynosi ograniczone korzyści, chyba że można ją odpowiednio oczyścić celem bezpośredniego odprowadzenia do środowiska. [\[74. TWG 2004\]](#)

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Brak danych.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest generalnie stosowana w przypadku nowych zakładów.

Ma ona zastosowanie do istniejących instalacji w ramach ograniczeń wynikających z konfiguracji systemów zbierania wody.

Ekonomika

Koszty modernizacji mogą być znaczne w istniejących zakładach, ale technika ta może być skutecznie instalowana w zakładach nowych.

Oszczędności mogą wynikać ze zmniejszenia wymaganej na danym terenie zdolności do magazynowania wody.

Siła napędowa wdrażania

W niektórych krajach mieszanie niezanieczyszczonej deszczówki z innymi ściekami jest zabronione.

Przykładowe zakłady

Stosowane w całej Europie.

Literatura źródłowa

[\[64. TWG 2003\]](#) [\[74. TWG 2004\]](#)

4.6.6 Stosowanie przetwarzania fizyczno-chemicznego do ścieków z układu oczyszczania mokrych spalin i innych zanieczyszczonych strumieni

Opis

Konwersja rozpuszczonych zanieczyszczeń na związki nierozpuszczalne poprzez dodanie chemicznych środków strącających. Osady te są następnie oddzielane przez sedymentację, flotację lub filtrację. Jeśli to konieczne, można po tym przeprowadzić mikrofiltrację lub ultrafiltrację. Typowe substancje chemiczne stosowane do strącania metali to wapno, dolomit, wodorotlenek sodu, węglan sodu, siarczki sodu oraz siarczki organiczne. Sole wapnia (inne niż wapno) są używane do wytrącania siarczanów lub fluorków.

Szczegóły techniczne

Opis techniki znajduje się w sekcji 2.6.3.1 (przetwarzanie fizyczno-chemiczne w ogólności) oraz w sekcji 2.6.3.2 (stosowanie siarczków).

Generalnie za niezbędne uznaje się zapewnienie systemu przetwarzania ścieków dla mokrych ścieków z płuczek, jak również dla ścieków zbieranych w zakładzie. [\[64. TWG 2003\]](#) [\[74. TWG 2004\]](#)

Korzyści dla środowiska

Zmniejszenie emisji wody.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Dzięki zastosowaniu siarczków do zwiększenia wytrącania metali ciężkich z mokrych ścieków z płuczek, można osiągnąć 99.9% redukcję poziomów rtęci w ściekach oczyszczonych. Emisja rtęci do wody może być mniejsza niż 0.003 mg/l. Inne substancje również ulegają redukcji.

Mogą wystąpić problemy z inkrustacją i zatykaniem się rur związane z osadzaniem. [\[74. TWG 2004\]](#)

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Zużycie energii i surowców w WWTP.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta ma zastosowanie do wszystkich instalacji spalania z płukaniem na mokro. Może być również stosowana do innych strumieni ścieków, które wymagają takiego przetwarzania przed ich odprowadzeniem. [\[74. TWG 2004\]](#)

Ekonomika

Dotatki i odczynniki mogą być kosztowne. [\[74. TWG 2004\]](#)

Siła napędowa wdrażania

Wymagania lokalnych przepisów ochrony środowiska.

Przykładowe zakłady

Szeroko stosowana w europejskich instalacjach z płukaniem na mokro.

Literatura źródłowa

[\[2. InfoMil 2002\]](#) [\[1. UBA 2001\]](#) [\[64. TWG 2003\]](#) [\[74. TWG 2004\]](#) [\[101. Szwecja 2016\]](#)

4.6.7 Usuwanie amoniaku z ścieków pochodzących z płuczek gazowych mokrych

Opis

Techniki do rozważenia to:

- Usuwanie: Wytrącanie amoniaku ze ścieków poprzez kontakt z parą wodną celem przeniesienia go do fazy gazowej. Amoniak jest usuwany z gazu w procesie dalszego przetwarzania i może być ponownie wykorzystany.
- Odwrócona osmoza: Proces membranowy, w którym różnica ciśnień pomiędzy przedziałami oddzielonymi przez membranę powoduje przepływ wody z roztworu o większej koncentracji do roztworu o mniejszej.

Szczegóły techniczne

Technika ta została już opisana w sekcji 2.6.3.4.

Ucieczka amoniaku może wynikać z zastosowania odczynników amoniakalnych do redukcji NO_x. Ucieczka jest większa, gdy dozowanie odczynników jest wysokie lub słabo zoptymalizowane, oraz w przypadku SNCR jest zazwyczaj większa niż w przypadku systemów SCR. Amoniak jest wysoce rozpuszczalny w wodzie i gromadzi się w ściekach z kolejnych płuczek mokrych. Poprzez wytrącenie lub odwróconą osmozę, możliwe jest usunięcie amoniaku z takich ścieków. Zebrany w ten sposób amoniak jest zawracany do pieca, aby uniknąć przeniesienia tego zanieczyszczenia z wody do powietrza i umożliwić jego ponowne wykorzystanie jako odczynnika redukującego NO_x. [\[74. TWG 2004\]](#)

Korzyści dla środowiska

- Redukcja amoniaku w odprowadzanych z płuczek ściekach.
- Zmniejszenie zużycia amoniaku w przypadku recyrkulacji do ponownego użycia jako odczynnika redukującego NO_x.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Technika ta jest stosowana w instalacjach WI z płuczkami gazowymi mokrymi za wtryskiem odczynnika amoniakowo-mocznikowego służącego do redukcji NO_x. Efektywność usuwania amoniaku w normalnych warunkach pracy wynosi około 99%. [\[101. Szwecja 2016\]](#)

Technika ta jest szczególnie korzystna, gdy poziom ucieczki amoniaku za kotłem jest większy. Ma to tendencję do występowania tam, gdzie:

- istnieją szczególne trudności techniczne związane z optymalizacją wtrysku/mieszania/temperatury odczynnika do SNCR;
- poziomy wtrysku odczynnika są stosunkowo wysokie (np. tam, gdzie wymagana jest wysoka redukcja NO_x). [\[74. TWG 2004\]](#)

Celem zmniejszenia ryzyka wypadku obchodzenie się z roztworami amoniaku wymaga dużej ostrożności.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Usuwanie amoniaku wymaga dodatkowego zużycia energii do tej operacji i wiąże się z ryzykiem zanieczyszczenia. [\[74. TWG 2004\]](#) [\[101. Szwecja 2016\]](#)

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest ogólnie stosowana.

Ekonomika

Koszty operacyjne i kapitałowe urządzenia do usuwania amoniaku mogą być częściowo zrekompensovane przez obniżenie kosztów odczynnika, gdy odzyskany amoniak jest ponownie wprowadzany jako odczynnik do SNCR.

Siła napędowa wdrażania

Główną siłą napędową tej techniki jest ograniczenie poziomu amoniaku w ściekach

odprowadzanych z terenu zakładu.

Przykładowe zakłady

SE02, SE03.

Literatura źródłowa

[55. EIPPCB 2002] [64. TWG 2003] [74. TWG 2004] [101. Szwecja 2016]

4.6.8 Separacja rtęci drogą wymiany jonowej

Opis

Usuwanie zanieczyszczeń jonowych ze ścieków oraz zastąpienie ich niezanieczyszczającymi jonami poprzez przeniesienie ich na żywicę jonowymienną. Zanieczyszczenia są tymczasowo zatrzymywane, a następnie uwalniane celem regeneracji lub płukania zwrotnego.

Szczegóły techniczne

Nieprzetworzone kwasy i metale związane jonowo w ściekach pochodzących z pierwszego kwaśnego etapu płuczki gazowej mokrej przepuszczane są przez rtęciowy wymiennik jonowy. Rtęć jest oddzielana w filtrze żywicznym. Następnie kwas jest neutralizowany przy użyciu mleczka wapiennego.

Korzyści dla środowiska

Wysoce niezawodna redukcja rtęci.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

W tabeli 4.43 przedstawiono efektywność środowiskową zakładów spalających odpady inne niż niebezpieczne i stosujących celem redukcji emisji rtęci wymianę jonową.

Tabela 4.43 Emisje rtęci do wody z zakładów stosujących wymianę jonową

Zakład	Technika	Emisje				Zrzut bepośredni/pośredni
		Maks. (mg/l)	Śr. (mg/l)	Min. (mg/l)	Przepływ (kg/rok)	
AT04	A, CPs, IE Se, Fi, Fl	NA	0.001	NA	0.044	Bezpośredni
AT05	A, CPh, CPs, IE, C, Se, Fi Fl	0.004	0.00175	0.001	0.318	Bezpośredni
AT09	A, CPs, IE, Se, Fi, Fl	NA	0.0006	NA	0.003	Pośredni
DE44	IE	NE	NE	NE	NE	Brak emisji
DE54	IE	NE	NE	NE	NE	Brak emisji
DE58	A, CPh, CPs, IE, Se, Fi	NE	NE	NE	NE	Brak emisji
DE80	CPh, IE, Fi	0.001	0.0002	0.0001	0.009	Bezpośredni
DK01	A, CPs, IE, Fi, Fl	NA	0.00082	NA	0.04	Bezpośredni
NO01	A, CPh, CPs, IE	0.0002	0.0001	0.00001	0.001	Bezpośredni

Uwagi: NA = nie dotyczy, NE = brak emisji do wody, A = adsorpcja z udziałem węgla aktywnego, C = koagulacja, CPh = strącanie chemiczne z użyciem wodorotlenku, CPs = strącanie chemiczne z użyciem siarczków, F = filtracja, Fl = flokulacja, IE = wymiana jonowa, RP = odwrócona osmoza, Se = sedimentacja (osadzanie)
Źródło: [81. TWG 2016]

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Filtr żywiczny wymaga regeneracji, w wyniku której następuje przeniesienie zredukowanej rtęci.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest ogólnie stosowana.

Ekonomika

Podaje się, że technika ta jest kosztowna w stosunku do alternatywnych rozwiązań.

Siła napędowa wdrażania

Brak danych.

Przykładowe zakłady

AT04, AT05, AT09, DE44, DE 54; DE58, DE80, DK01, NO01, SE20.

Literatura źródłowa

[\[64. TWG 2003\]](#) [\[81. TWG 2016\]](#)

4.6.9 Oddzielne przetwarzanie ścieków pochodzących z różnych etapów płukania na mokro

Opis

Technika ta polega na oddzieleniu od siebie strumieni pochodzących z płuczek mokrych kwaśnych i zasadowych, co pozwala na lepszą optymalizację ścieków oraz zwiększenie możliwości odzysku składników tych strumieni.

Szczegóły techniczne

Technika ta została już opisana w sekcji 2.6.3.5.

Korzyści dla środowiska

- Emisje do wody mogą być zmniejszone bardziej niż w przypadku łączonego przetwarzania.
- Optymalizacja strumieni oddzielnie zmniejsza zużycie odczynników oraz pozwala na bardziej ukierunkowane przetwarzanie.
- Gips może być odzyskany z płuczek siarkowych (zob. sekcja 4.6.11). Zmniejsza to zrzuty siarki wraz ze ściekami oraz zawartość siarki w stałych pozostałościach z oczyszczalni.
- HCl z pierwszego etapu płuczek kwaśnych może być regenerowany (zob. sekcja 4.6.10).

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Dodatkowe utrudnienia wynikają z eksploatacji dwóch linii oczyszczalni. Większa złożoność oznacza wyższe koszty inwestycyjne i eksploatacyjne oraz wymaga większej powierzchni.

Potrzebne jest ujście dla odzyskanych materiałów. Może to być skomplikowane z powodu zanieczyszczeń. [\[74. TWG 2004\]](#) Na przykład, mogą pojawić się problemy z odzyskiem HCl, ponieważ HF może być źródłem zanieczyszczeń.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Zużycie energii.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest generalnie stosowana w nowych zakładach. Do istniejących zakładów stosuje się ją w ramach ograniczeń związanych z konfiguracją systemu odwadniania.

Ekonomika

Koszt zastąpienia istniejących systemów przetwarzania jest prawdopodobnie bardzo wysoki.

Koszty operacyjne i kapitałowe drugiej WWTP mogą być częściowo zrekomensowane zmniejszonymi kosztami usuwania gipsu i soli, takich jak NaCl lub CaCl. [\[74. TWG 2004\]](#)

Siła napędowa wdrażania

Istnienie rynku zbytu dla odzyskiwanych materiałów może być motorem wprowadzenia tego systemu.

Głównym powodem jest najczęściej wymóg szczególnie niskich limitów emisji zanieczyszczeń w odprowadzanych ściekach, stosowany celem ochrony medium odbierającego (np. zbiornika wodnego).

Przykładowe zakłady

AT03, AT04, AT08, AT09, DE30, DE40, DE43, DE51, DE58, DE62, DE74, DE78, DK01, DK02.

Literatura źródłowa[\[64. TWG 2003\]](#)**4.6.10 Odzysk kwasu solnego ze ścieków pochodzących z płuczek gazowych mokrych****Opis**

Odzysk HCl z ścieków pochodzących z pierwszego etapu płuczki.

Szczegóły techniczne

Opis tego procesu znajduje się w sekcji 2.6.3.8.

Korzyści dla środowiska

- Odzysk HCl.
- Redukcja pozostałości stałych.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Technika ta jest najbardziej odpowiednia dla tych zakładów, które spalają duże ilości odpadów chlorowanych. [\[74. TWG 2004\]](#)

W procesie odzyskiwania HCl z nieprzetworzonego kwasu o stężeniu około 10% wytwarzany jest produkt o stężeniu około 30%.

Dane z dwóch zakładów w Niemczech zostały przedstawione w tabeli 4.44.

Tabela 4.44 Ilość odzyskanego HCl (30 %) na tonę odpadów

Rok	Odzysk HCl w kg na tonę wsadu odpadów	
	DE47	DE48
2000	10	10
2001		12.5
2002	10.6	13

Źródło: [\[64. TWG 2003\]](#) [\[74. TWG 2004\]](#)

Istotne jest, aby systemy i materiały były odpowiednie dla uniknięcia/ograniczenia korozji w systemie odzysku.

Odzysk HCl zmniejsza o około 50% ilość stałych pozostałości soli powstających w instalacji. [\[73. Rijpkema 2000\]](#)

Zgłoszono, że zaprzestano w jednym zakładzie korzystania z tej techniki z powodu zanieczyszczenia odzyskanego HCl przez HF.

Odzyskany kwas solny może być stosowany np. do kontroli pH.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

- Dodatkowe zapotrzebowanie na energię.
- Stosowanie chemikaliów w procesie odzysku.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest ogólnie stosowana.

Ekonomika

Niezbędne są znaczne inwestycje, dlatego też procedury te mają zastosowanie tylko wtedy, gdy dostępna jest wystarczająca ilość spalin zawierających chlor. Koszty utrzymania i eksploatacji mogą być również duże, głównie ze względu na wysoce korozyjny charakter odzyskiwanego materiału. [\[74. TWG 2004\]](#)

Korzyści płynące z tej techniki mogą nie być tak znaczące (istnieją wahania rynkowe), ale koszty usuwania odpadów zostają zmniejszone. Analizy ekoefektywności wykazały, że w pewnych okolicznościach technika ta jest ekonomiczniejsza w porównaniu z innymi procedurami.

Siła napędowa wdrażania

- Odzysk kwasu solnego do ponownego użycia.
- Oszczędność na kosztach neutralizacji.

Przykładowe zakłady

Spalarnie odpadów niebezpiecznych wykorzystujące piece obrotowe (DE22, DE23) oraz komunalna spalarnia odpadów stałych DE30.

Literatura źródłowa

[64. TWG 2003] [132. Stultz i inni 1992]

4.6.11 Odzysk gipsu ze ścieków pochodzących z płuczek gazowych mokrych

Opis

Optymalizacja jakości pozostałości po reakcji na bazie wapnia generowanych przez płuczkę gazową mokrą, tak aby mogły one być wykorzystane jako substytut wydobytego w kopalni gipsu.

Szczegóły techniczne

Technika ta obejmuje oddzielne oczyszczanie ścieków o wysokim pH (6-8) oraz etap usuwania dwutlenku siarki w płuczkach gazowych mokrych. Pozwala to na wytwarzanie gipsu nadającego się do sprzedaży.

W wielostopniowej płuczce gazowej mokrej, na wcześniejszych etapach pył i HCl zostają usunięte z spalin. Następnie spaliny przekazywane są do urządzenia oczyszczającego je z SO₂, gdzie SO₂ jest absorbowany przez utlenianie do siarczanu, poprzez dodanie mlecza wapiennego lub zawiesiny wapiennej.

Powstała zawiesina gipsu jest usuwana i zagęszczana w hydrocyklonie a dalej przekazywana do zbiornika. Zawiesina gipsowa jest następnie odwadniana w wirówce. Potem gips jest oczyszczany z kondensatu celem usunięcia pozostałych zanieczyszczeń rozpuszczalnych. Dalsze wirowanie przeprowadza się aż do wilgotności poniżej 10 wt-%, a w razie potrzeby aż do uzyskania jakości gipsu wymaganej do wprowadzenia go do obrotu. [74. TWG 2004]

Korzyści dla środowiska

- Odzysk gipsu.
- Zmniejszenie poprzez usunięcie zawartości siarczanów w odprowadzanych ściekach.
- Możliwość ponownego zastosowania gipsu ogranicza jego usuwanie, zarówno samodzielnie, jak i razem z innymi pozostałościami.
- Redukcja ilości stałych pozostałości.
- Przy mieszaniu z wodorotlenkiem i osadem z pierwszego etapu oczyszczania ścieków, który jest bardzo trudny do odwodnienia, efekt odwodnienia takiej mieszanki ulega znacznej poprawie, aż do 70% suchej masy. [74. TWG 2004]

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Dane otrzymane z dwóch zakładów w Niemczech (DE47 i DE48) przedstawiono w tabeli 4.45.

Tabela 4.45 Ilość odzyskanego gipsu na tonę przetworzonych odpadów

Rok	Odzysk gipsu w kg na tonę wsadu odpadów	
	DE47	DE48
2000	3.5	1.7
2001		3.9
2002	3.5	3.3

Źródło: [64. TWG 2003]

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Zużycie energii i materiałów w zakładzie przetwarzania/odzysku.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest generalnie stosowana ale w ramach ograniczeń związanych z wymaganą jakością gipsu.

Ekonomika

Niezbędne są znaczne inwestycje, dlatego też procedury te mają zastosowanie tylko wtedy, gdy dostępna jest wystarczająca ilość spalin zawierających siarkę.

Korzyści ekonomiczne z tytułu dochodów z odzyskanych substancji mogą być ograniczone (ze względu na wahania rynkowe cen), ale koszty usuwania odpadów zostają zmniejszone. Analizy efektywności wykazały, że zakłady stosujące tę technikę są bardziej ekonomiczne w porównaniu z innymi. [\[64. TWG 2003\]](#)

Siła napędowa wdrażania

Dostępność rynków zbytu dla odzyskanego materiału.

Przykładowe zakłady

AT03, AT04, AT08, AT09, DE30, DE40, DE43, DE51, DE58, DE62, DE74, DE78, DK01, DK02.

Literatura źródłowa

[\[1. UBA 2001\]](#) [\[64 TWG 2003\]](#)

4.6.12 Krystalizacja**Opis**

Usuwanie ze ścieków zanieczyszczeń jonowych poprzez ich krystalizację na materiale siewnym, takim jak działający w złożu fluidalnym piasek lub minerały.

Szczegóły techniczne

Urządzenie do krystalizacji składa się głównie z:

- reaktora cylindrycznego z dolnym dopływem i górnym odpływem;
- materiału siewnego, tj. granulatu piasku filtracyjnego lub minerałów, umieszczonego w złożu fluidalnym;
- systemu cyrkulacyjnego z pompą obiegową.

Zasada działania systemu cyrkulacji polega na mieszanii dopływających ścieków ze strumieniem o niższym stężeniu anionów lub metali. Ze względu na system cyrkulacji reaktor może pracować bardziej elastycznie, np.:

- wahania w szybkości przepływu i składzie wprowadzanej substancji są łatwe do wyeliminowania;
- wszystkie rodzaje ścieków o stężeniu w zakresie 10-100 000 ppm mogą być oczyszczane poprzez proste dostosowanie współczynnika cyrkulacji (ścieki o wyższym stężeniu wymagają większego współczynnika cyrkulacji);
- fluidyzacja materiału jest utrzymywana, nawet jeśli do reaktora nie są doprowadzane żadne ścieki.

Korzyści dla środowiska

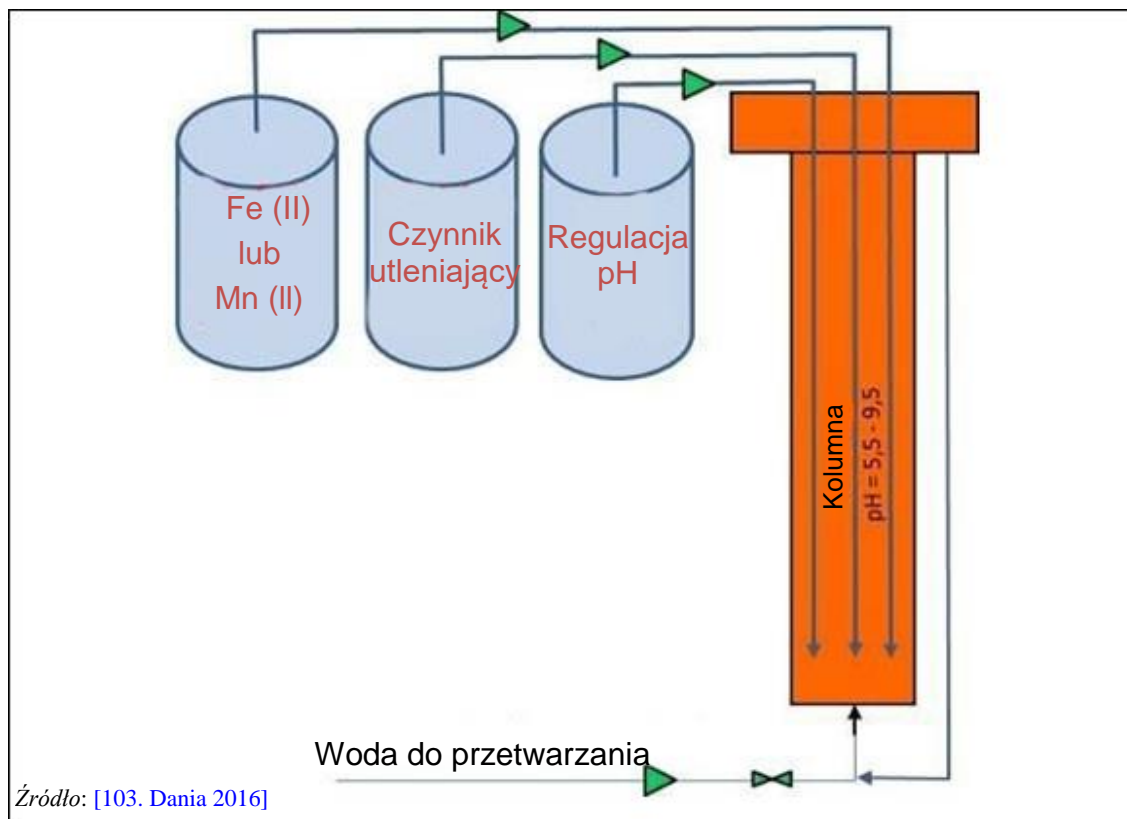
Redukcja metali i metaloidów, siarczanów (SO_4^{2-}) i fluorków (F^-) w odprowadzanych ściekach.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Krystalizacja została przetestowana przez trzy spalarnie w Danii (Karanoveren, w pełnej skali w roku 2006; Esbjerg, w pełnej skali w roku 2010; RenoNord, test pilotażowy w pełnej skali w roku 2008) celem dalszego zmniejszenia stężenia metali po etapie chemicznego strącania. [\[103. Denmark 2016\]](#)

Oczyszczana woda jest wprowadzana do reaktora przez dyszę w dnie. Środki chemiczne są również wtryskiwane na dno reaktora. Produkt granulowany, wewnątrz reaktora, utrzymywany jest w stanie ciekłym przez płynący do góry strumień wody przeznaczony do przetwarzania oraz

strumień wody recyrkulacyjnej (zob. ilustracja 4.10). Żelazo lub mangan jest adsorbowany na powierzchni granulatu i za pomocą środków utleniających przekształcany w granulowany materiał budujący (FeOOH lub MnO_2). W tym samym czasie metale rozpuszczalne są usuwane z wody i włączane do warstwy powierzchniowej FeOOH lub MnO_2 . Opisany proces został przetestowany pod kątem usuwania kationów Al, Ba, Cd, Co, Cr(III), Cu, Hg, Ni, Pb, Ra i Zn, a także metaloidów anionotwórczych As, Cr^{VI} , Mo, Sb, Se(IV), U i V. W szczególności metaloidy anionotwórcze są często trudne do usunięcia przez konwencjonalne strącanie, bez wytworzenia ogromnej ilości osadu. [103. Denmark 2016]



Ilustracja 4.10 Schemat przepływu w procesie krystalizacji stosowanym w trzech spalarniach odpadów w Danii

Tabela 4.46 przedstawia wyniki badań (prowadzonych od kwietnia do sierpnia 2013 r.) w spalarni odpadów Esbjerg w Danii (zakład związku gmin Jutlandii, numer kodowy L90) przeprowadzonych celem usunięcia antymonu i molibdenu, które nie mogły być usunięte przez strącanie.

Tabela 4.46 Wyniki badań przeprowadzonych celem usunięcia Mo i Sb w spalarni Esbjerg w Danii

Data pobrania próbki	Przepływ (m^3/h)	Woda nieprzetworzona		Zastosowany odczynnik		Ścieki przetworzone			Procent wychwytu	
		Mo	Sb	FeSO_4	H_2O_2	pH	Mo	Sb	Mo	Sb
		($\mu\text{g}/\text{l}$)	($\mu\text{g}/\text{l}$)	mg/l	mg/l		($\mu\text{g}/\text{l}$)	($\mu\text{g}/\text{l}$)	%	%
24/04/13	2.38	230.00	170.00	236	484	6.29	7.40	7.60	96.78	95.53
29/04/13	2.09	78.00	160.00	234	484	6.31	7.70	12.00	90.13	92.50
01/05/13	2.02	74.00	230.00	230	508	6.30	6.00	12.00	91.89	94.78
17/06/13	3.10	77.00	100.00	170	491	6.33	19.00	37.00	75.32	63.00
19/06/13	2.58	90.00	110.00	185	497	6.30	7.00	23.00	92.22	79.09
24/06/13	2.57	110.00	88.00	179	461	6.31	8.30	15.00	92.45	82.95
26/06/13	2.80	110.00	77.00	180	461	6.31	14.00	15.00	87.27	80.52
15/08/13	2.77	160.00	220.00	102	1185	6.46	25.00	16.00	84.38	92.73

Źródło: [103. Dania 2016]

W wyniku krystalizacji otrzymuje się stałą pozostałość w postaci granulatu piaskowego. Powierzchnia tego granulatu składa się albo z FeOOH albo MnO₂ plus metale usunięte z wody. Zawartość metali wynosi zazwyczaj 1 - 8% całkowitej masy suchego granulatu. Granulat pobierany jest z dna reaktora podczas pracy instalacji, w ilości około pięćdziesiątej części całkowitej objętości złoża fluidalnego lub z wydajnością około 10-20 l/tydzień na 1 m³/godz.. Granulat jest łatwo opróżniany. Badania przeprowadzone na otrzymanej stałej pozostałości wykazały, że można ją zaklasyfikować do odpadów innych niż niebezpieczne. [\[103. Dania 2016\]](#)

Oddziaływanie na procesy i środowisko

- Zużycie energii.
- Postępowanie oraz unieszkodliwianie pozostałości.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest ogólnie stosowana.

Ekonomika

Koszt inwestycji wynosi od 0.2 do 2 mln EUR w zależności od wielkości/wydajności. Koszt operacyjny zależy od stężenia i rodzaju metali, które mają zostać usunięte i waha się od 0.01 do 2 EUR za m³ przetworzonych ścieków. [\[103. Dania 2016\]](#)

Siła napędowa wdrażania

Przepisy dotyczące ochrony środowiska.

Przykładowe zakłady

DE63, DE66, DK02, FR017.

Literatura źródłowa

[\[85. COM 2014\]](#) [\[103. Dania 2016\]](#)

4.7 Techniki przetwarzania pozostałości stałych

Możliwości w zakresie odzysku oraz ponownego wykorzystania pozostałości stałych zależą od:

- zawartości związków organicznych;
- całkowitej zawartości metali ciężkich; zdolności do wmywania metali, soli i metali ciężkich;
- cech fizycznych, np. wielkości i wytrzymałości cząstek.

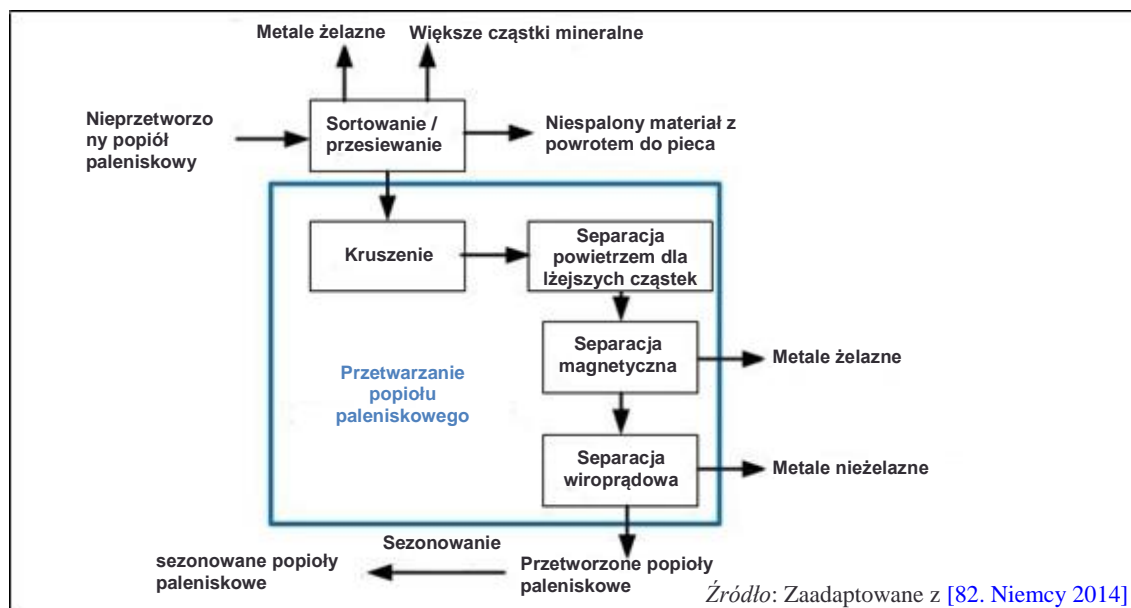
Ponadto czynniki rynkowe, regulacje i polityki dotyczące stosowania, a także specyficzne lokalne kwestie środowiskowe mają również duży wpływ na zakres, w jakim można odzyskać pozostałości. Podjęto znaczne wysiłki celem poprawy jakości środowiskowej pozostałości oraz recyklingu lub ponownego wykorzystania przynajmniej ich części. Stosowane są zarówno techniki przetwarzania w trakcie procesu, jak i po nim. Środki stosowane w trakcie procesu obejmują zmianę parametrów spalania celem poprawy wypalenia lub zmiany rozkładu metali w pozostałościach. Techniki przetwarzania końcowego obejmują: dojrzewanie, przetwarzanie mechaniczne, mycie, przetwarzanie termiczne czy stabilizację. Poniżej omówiono niektóre z tych technik.

Istnieje szereg zasad, które należy uwzględnić przy ocenie korzyści, ale również trudności związanych z danym procesem przetwarzania:

- Czy proces doprowadzi do widocznej poprawy jakości?
- Czy proces ma znaczący wpływ na zdrowie, bezpieczeństwo lub środowisko naturalne?
- Czy istnieją pozostałości wtórne i kiedy się kończą?
- Czy można otrzymać produkt końcowy wysokiej jakości?
- Jakie są koszty procesu?

W przypadkach, w których prawodawstwo wymaga przesłania pewnych pozostałości do usunięcia, istnieje mniejsza zachęta do przyjęcia technik, które poprawiłyby ich jakość i zdolność do recyklingu. [64. TWG 2003]

Ilustracja 4.11 przedstawia niektóre opcje mechanicznego przetwarzania popiołu paleniskowego. Kombinacja zastosowanych opcji zależy od składu materiału wsadowego oraz końcowego wykorzystania przetworzonego popiołu.



Ilustracja 4.11 Schemat blokowy przykładowego procesu przetwarzania popiołu paleniskowego z mechanicznymi etapami separacji

4.7.1 Segregacja popiołu paleniskowego pochodzącego z pozostałości po oczyszczeniu spalin.

Opis

Popiół paleniskowy jest zagospodarowany i przetwarzany oddzielnie od innych pozostałości powstałych w wyniku spalania odpadów.

Szczegóły techniczne

Fizyczne i chemiczne właściwości popiołu paleniskowego sprawiają, że jest on bardziej odpowiedni do pożytecznego wykorzystania niż pozostałości z FGC. Mieszanie pozostałości z FGC z popiołem paleniskowym ogranicza możliwości późniejszego wykorzystania popiołu paleniskowego, a zatem należy tego unikać.

Pozostałości z FGC mają wyższą zawartość metali, większą zdolność do wymywania tych metali oraz wyższą zawartość substancji organicznych niż popiół paleniskowy. Mieszanie pozostałości z FGC z popiołem paleniskowym obniża środowiskową jakość popiołu paleniskowego, dlatego też należy tego unikać.

Odseparowanie pozostałości z FGC od popiołu paleniskowego umożliwia dalsze przetwarzanie popiołu (np. przetwarzanie na sucho, wyflukiwanie rozpuszczalnych w wodzie soli czy separacja metali ciężkich w odpylaczu) celem odzyskania materiału odpowiedniego do zamierzonego zastosowania.

Odseparowanie popiołu paleniskowego od pozostałości z FGC wymaga oddzielnej zbiórki, magazynowania i transportu obu strumieni pozostałości. Wiąże się to z dedykowanymi silosami i pojemnikami do składowania oraz specyficznymi systemami transportu drobnoziarnistych i pylistych pozostałości z FGC.

Mieszany strumień popiołu paleniskowego i pozostałości z FGC nie może zostać przetworzony w materiał nadający się do odzysku i nie pozostawia innego wyjścia dla całego strumienia pozostałości niż składowanie [74. TWG 2004], lub wykorzystanie w zastosowaniach podziemnych, takich jak zasypywanie kopalni.

Korzyści dla środowiska

Mniejsze zużycie surowców naturalnych, takich jak piasek i żwir, gdy popiół paleniskowy, po przetworzeniu, jest odzyskiwany celem wykorzystania go jako materiału zastępującego. [74. TWG 2004]

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Wymagane są oddzielne systemy transportu, magazynowania oraz przeładunku.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Brak danych.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest ogólnie stosowana.

Ekonomika

Obniżenie kosztów można zaobserwować tam, gdzie istnieją rynki zbytu popiołu paleniskowego.

Popiół paleniskowy stanowi zazwyczaj 20-30% suchej masy wsadu odpadów, a pozostałości z FGC około 2-3%. Wymieszanie tych dwóch strumieni oznacza wysłanie całego materiału na składowisko, podczas gdy zachowanie ich odrębności może pozwolić na ponowne wykorzystanie większości popiołów paleniskowych (metali i frakcji mineralnych), zapewniając w ten sposób dodatkowe źródła przychodów oraz zmniejszając koszty składowania.

Siła napędowa wdrażania

- Zwiększone możliwości recyklingu popiołu paleniskowego i możliwa redukcja kosztów.
- Przepisy dotyczące ochrony środowiska.

Przykładowe zakłady

Technika szeroko stosowana w europejskich spalarniach.

Literatura źródłowa

[64. TWG 2003]

4.7.2 Przesiewanie/odsiewanie oraz kruszenie popiołu paleniskowego

Opis

Operacje przetwarzania mechanicznego mające na celu przygotowanie materiałów do późniejszego wykorzystania, np. w budownictwie jako materiał fundamentowy lub do budowy dróg jako materiał wypełniający.

Szczegóły techniczne

Operacje mechanicznego przetwarzania popiołu paleniskowego mają na celu przygotowanie materiałów do budowy dróg i robót ziemnych, posiadających zadowalające właściwości geotechniczne oraz nie powodujących uszkodzeń w robotach drogowych. Operacje przetwarzania, które mogą być zastosowane, to:

- sortowanie ręczne;
- granulometryczna separacja przez przesiewanie/odsiewanie;
- zmniejszenie rozmiarów cząstek drogą kruszenia;
- usuwanie niespalonych frakcji o niskiej gęstości przez separację powietrzną.

Sortowanie ręczne służy do usuwania dużych elementów (np. metali nieżelaznych, stali nierdzewnej czy niespalonych elementów) z popiołu paleniskowego przed jego dalszym przetwarzaniem.

Sortowanie ręczne wymaga zazwyczaj obecności pracowników stojących wzdłuż wolno poruszającego się przenośnika taśmowego i segregujących przepływający materiał. [82. Niemcy 2014]

Istnieje kilka rodzajów przesiewaczy:

- przesiewacze rotacyjne (bębnowe);
- przesiewacze płaskie (wibrujące lub nie);
- przesiewacze palcowe (z rusztem palcowym);
- przesiewacze gwiaździste: przesiewanie odbywa się poprzez ruch po serii rolek wyposażonych w ramiona w kształcie gwiazdy na każdej osi.

Przesiewacze pierwotne używane do wyodrębnienia kruszywa z popiołu paleniskowego mają zazwyczaj oczka o średnicy 40 mm i oddzielają kruszywo o wielkości 0-40 mm.

Połowa instalacji wyposażona jest w kruszarkę do rozdrabniania dużych kawałków, która zazwyczaj znajduje się za pierwszym przesiewaczem. Korzyści z zastosowania kruszarki obejmują:

- redukuje ilość odrzutów;
- zwiększa udział zgrubnie rozdrobnionego materiału w surowcu, który stanowi podstawę kruszywa; oraz
- poprawia właściwości geotechniczne kruszywa.

Separacja powietrzna odbywa się poprzez przedmuch lub zasysanie. Separacja powietrzna wykorzystuje różnice w gęstości, wielkości i kształcie cząstek sortowanych strumieni. Te cechy często nakładają się na siebie i oznaczają, że materiał wsadowy musi być przygotowany w taki sposób, aby parametr separacji był wystarczająco jasno określony. Ponadto do skutecznej separacji potrzebny jest wąski zakres rozmiarów cząstek. Separacja powietrzna pomaga również w poprawieniu frakcji mineralnej. [82. Germany 2014]

Korzyści dla środowiska

Główną korzyścią dla środowiska wynikającą z zainstalowania procesu mechanicznego przetwarzania jest zmniejszenie ilości odrzutów, a tym samym wyższy ogólny wskaźnik odzysku w procesie przygotowania oraz późniejszego wykorzystania przetwarzanych substancji.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Nie dostarczono danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

- Dodatkowe zużycie energii.
- Hałas oraz emisja pyłów.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest ogólnie stosowana, pod warunkiem że istnieje zapotrzebowanie na przetworzony popiół paleniskowy.

Ekonomika

Efektywność kosztowa zainstalowania systemu kruszenia dużych odrzutów zależy od ich ilości oraz od kosztów unieszkodliwiania, których się unika.

Siła napędowa wdrażania

Przyczyny wdrażania są natury ekonomicznej oraz prawnej.

Przykładowe zakłady

Zobacz tabela 3.24.

Literatura źródłowa

[\[133. ADEME 2002\]](#) [\[64. TWG 2003\]](#)

4.7.3 Oddzielanie metali od popiołu paleniskowego

Opis

Metale żelazne oddzielane są za pomocą separacji magnetycznej, a metale nieżelazne za pomocą separacji wiropądowej.

Czasami stosuje się do wszystkich metali separację indukcyjną.

Szczegóły techniczne

Z popiołów paleniskowych można pozyskać zarówno metale żelazne, jak i nieżelazne.

Oddzielanie metali żelaznych odbywa się za pomocą magnesu. Popiół jest rozprawdany na ruchomym przenośniku taśmowym lub wibracyjnym, a wszystkie cząstki magnetyczne przyciągane są przez zawieszony powyżej magnes. Separacja metali żelaznych może być przeprowadzana na nieprzetworzonym popiele po opuszczeniu odpylacza. Skuteczna separacja metali żelaznych wymaga wieloetapowego procesu z pośrednią redukcją wielkości oraz przesiewaniem.

Oddzielanie metali nieżelaznych odbywa się za pomocą separatora wiropądowego. Gwałtownie obracająca się cewka indukuje pole magnetyczne w cząsteczkach metali nieżelaznych, co powoduje ich wyrzucenie z przepływającego materiału. Technika ta wymaga dobrego rozprawdania materiału na ruchomej taśmie i jest generalnie skuteczna w przypadku cząstek o wielkości 4-30 mm, chociaż zakres ten można rozszerzyć do < 1 mm w przypadku zastosowań specjalnych. Separacja przeprowadzana jest po oddzieleniu metali żelaznych, redukcji wielkości cząstek i przesiewaniu.

Separatory wszystkich metali zwykle wykrywają cząsteczki metalu poprzez wzbudzenie przez nie zakłóceń w zmiennym polu magnetycznym cewki detekcyjnej. Cząstki metalu są następnie oddzielane przez jedną lub więcej dysz powietrznych umieszczonych w pobliżu cewki. Więcej szczegółów można znaleźć w dokumencie BREF dotyczącym przetwarzania odpadów.

Większe fragmenty zarówno metali żelaznych, jak i nieżelaznych mogą być usunięte przed dalszym przetwarzaniem drogą ręcznego sortowania.

Korzyści dla środowiska

Separacja metali jest niezbędnym krokiem umożliwiającym odzysk różnych związków popiołu. Frakcja żelazna może być poddana recyklingowi, zazwyczaj po oddzieleniu zanieczyszczeń (np. pyłu), jako złom stalowy do elektrycznych pieców łukowych. Metale nieżelazne przetwarzane są poza zakładem poprzez dalsze rozdzielanie w zależności od rodzaju metalu, a następnie mogą być topione celem ponownego wykorzystania. Otrzymana po oddzieleniu metali frakcja popiołu ma niższą ich zawartość i jest bardziej odpowiednia do przetwarzania celem uzyskania obojętnego, wtórnego materiału budowlanego.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Ilość odzyskanych metali zależy od składu wsadu odpadów. W przypadku metali żelaznych możliwy jest wskaźnik odzysku wynoszący około 80% (masa odzyskanego metalu/masa wsadu metalu). [\[134. EdDE 2015\]](#)

W przypadku metali nieżelaznych, zastosowanie separacji wiroprądowej po zmniejszeniu rozmiaru cząstek i przesiewaniu pozwala na odzyskanie 50% (odzyskana masa/masa wsadowa). Rzeczywista wartość jest zależna od metalu i warunków pracy pieca. Metale nieżelazne, takie jak ołów i cynk, znajdują się w popiołach kotła oraz w pozostałościach po oczyszczeniu spalin. Aluminium, miedź, chrom i nikiel pozostają na ogół w popiele paleniskowym. Utlenianie tych metali (np. Al do Al_2O_3) podczas spalania będzie utrudniać skuteczne ich oddzielenie przez separatory wiroprądowe. Oddzielona frakcja nieżelazna ma następujący skład: 60% Al, 25% innych metali, 15% pozostałości. Inne metale to głównie miedź, mosiądz, cynk oraz stal nierdzewna. [\[39. Vrancken 2001\]](#)

Specyfikacje popiołu paleniskowego przeznaczonego do recyklingu mogą obejmować całkowitą zawartość metali. Metale najbardziej problematyczne z punktu widzenia ich wymywania z popiołu paleniskowego to miedź, molibden, cynk i chrom sześciowartościowy.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Zwiększenie zużycia energii.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Separacja magnetyczna metali żelaznych jest techniką ogólnie stosowaną.

Możliwość zastosowania separacji metali nieżelaznych może być ograniczona przez brak miejsca lub niską przepustowość. Technika ta może być wykonywana poza zakładem, w specjalnej instalacji do przetwarzania popiołu paleniskowego.

Możliwość zastosowania tej techniki jest silnie związana z zawartością metalu w odpadach podawanych do pieca. To z kolei w dużym stopniu zależy od systemu zbiórki i wstępnego przetwarzania, jakiego poddano odpady przed ich wprowadzeniem do pieca. Na przykład obszary, na których stosuje się szeroko zakrojone i dobrze funkcjonujące programy segregacji odpadów komunalnych, mogą usuwać znaczne ilości metali z wsadu do pieca jeszcze przed ich dotarciem na teren spalarni, co sprawia, że odzyskiwanie metali z popiołów paleniskowych jest mniej opłacalne finansowo. Podobny efekt będzie miało wstępne przetwarzanie MSW celem wytworzenia RDF.

W niektórych spalarniach odpadów niebezpiecznych, przed spaleniem, rozdrobnione beczki usuwa się za pomocą magnesów.

Ekonomika

Frakcje metalowe mogą być sprzedawane handlarzom złomem. Ceny zależą od czystości (metale żelazne) i składu (metale nieżelazne) materiału.

Cena rynkowa złomu żelaznego mieści się zazwyczaj w przedziale 0.01-0.05 EUR/kg.

Złom nieżelazny wymaga dalszego przetwarzania na frakcje przedmetalowe. Ceny złomu nieżelaznego zależą od ilości zanieczyszczeń (tj. ilości potrzebującej dalszego przetwarzania) oraz od składu (tj. cen produktów końcowych). Zawartość miedzi i aluminium oraz cena rynkowa miedzi i aluminium wtórnego są głównymi czynnikami decydującymi. Cena frakcji nieżelaznej z przetwarzania popiołu paleniskowego pochodzącego z MSW mieści się w przedziale 0.10-1.00 EUR/kg. [\[39. Vrancken 2001\]](#) [\[7. TWG 2017\]](#)

Siła napędowa wdrażania

Siły napędowe dla wdrożenia są natury ekonomicznej:

- Przychody z tytułu eksportu różnych wytworzonych frakcji.
- Po oddzieleniu metali, otrzymana frakcja popiołu ma niższą zawartość metali i jest bardziej odpowiednia do przetwarzania, aby uzyskać wystarczająco obojętny wtórny materiał budowlany. Na przykład, pozostałości metali nieżelaznych mogą powodować uszkodzenia podczas ponownego wykorzystania popiołu paleniskowego w robotach drogowych ze względu na pęcznienie.

Przykładowe zakłady

Separacja metali żelaznych jest przeprowadzana w większości europejskich spalarni, na miejscu lub w zewnętrznych zakładach przetwarzania popiołu paleniskowego. [\[74. TWG 2004\]](#)

Separacja metali nieżelaznych przeprowadzana jest w różnych zakładach przetwarzania popiołu paleniskowego w Holandii, Niemczech, Francji oraz Belgii.

Literatura źródłowa

[\[39. Vrancken 2001\]](#) [\[4. IAWG 1997\]](#) [\[64. TWG 2003\]](#) [\[74. TWG 2004\]](#)

4.7.4 Przetwarzanie popiołu paleniskowego z wykorzystaniem sezonowania

Opis

Po oddzieleniu metali, popiół paleniskowy ze spalania odpadów innych niż niebezpieczne magazynowany jest na wolnym powietrzu lub w określonych budynkach celem zmniejszenia zarówno reaktywności resztkowej jak i wymywalności metali. Zapasy są regularnie zwilżane i obracane, aby ułatwić wymywanie soli i karbonatyzację. CO₂ z powietrza i woda z wilgoci, deszczu lub zraszania wodą są głównymi reagentami.

Szczegóły techniczne

Karbonatyzacja (reakcja pomiędzy CO₂ a wodorotlenkami w alkalicznym popiele paleniskowym) jest jedną z kluczowych reakcji w procesie sezonowania popiołu paleniskowego. Celem sezonowania jest zatem zmniejszenie pozostałej reaktywności oraz poprawa właściwości technicznych. Wypłukiwanie popiołu paleniskowego zmniejsza się po sezonowaniu, szczególnie w przypadku wymywania takich metali jak Cu, Cr, Pb i Zn. [\[89. COM 2015\]](#)

Magazynowanie odbywa się z reguły w magazynach na podłożu betonowym lub innym podłożu nieprzepuszczalnym. W razie potrzeby, jeżeli popiół nie jest wystarczająco mokry, zapasy można zwilżyć za pomocą zraszacza lub systemu węży, aby zapobiec tworzeniu się pyłu i emisji oraz sprzyjać wymywaniu soli i karbonatyzacji. Woda wypłukiwana i odpływowa jest zbierana i przesyłana do oczyszczalni ścieków lub wykorzystywana do nawilżania zapasów, jeżeli jakość odcieku jest odpowiednia.

Popioły mogą być regularnie obracane, aby zapewnić jednorodność procesów, które zachodzą podczas sezonowania (pobieranie CO₂ z powietrza z uwagi na wilgoć, odprowadzanie nadmiaru wody, utlenianie itp.) oraz skrócić czas przebywania każdej partii popiołu paleniskowego w wydzielonych pomieszczeniach.

W praktyce często obserwuje się (lub zaleca się) okres sezonowania wynoszący 6 - 20 tygodni dla przetworzonego popiołu paleniskowego przed jego wykorzystaniem jako materiału budowlanego lub w niektórych przypadkach przed jego usunięciem. [74. TWG 2004] Czas niezbędny do przeprowadzenia sezonowania różni się w zależności od takich czynników jak wielkość składowiska, temperatura otoczenia, wilgotność początkowa czy infiltracja wodą deszczową.

W niektórych przypadkach cały proces odbywa się wewnątrz zamkniętego budynku. Pomaga to w kontroli pyłu, odoru, hałasu (z maszyn i pojazdów) oraz odcieku. W innych przypadkach proces ten jest całkowicie lub częściowo przeprowadzany na wolnym powietrzu. Na ogół pozwala to na łatwiejszą obsługę popiołu paleniskowego i może zapewnić większą cyrkulację powietrza umożliwiając szybsze "dojrzewanie" popiołu [64. TWG 2003], oraz pozwala uniknąć uwalniania się mieszanki wybuchowej wodoru w kombinacji z aluminium w trakcie sezonowania. [74. TWG 2004] Aluminium w popiele paleniskowym będzie reagować z $\text{Ca}(\text{OH})_2$ i wodą, tworząc wodorotlenek glinu oraz wodór, powodując wzrost objętości i pęcznienie materiału, co spowodowałoby problemy techniczne, gdyby do budowy użyto świeżego popiołu paleniskowego bez sezonowania.

Korzyści dla środowiska

Zwiększona efektywność wykorzystania zasobów, w przypadku gdy popiół paleniskowy zastępuje surowce.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

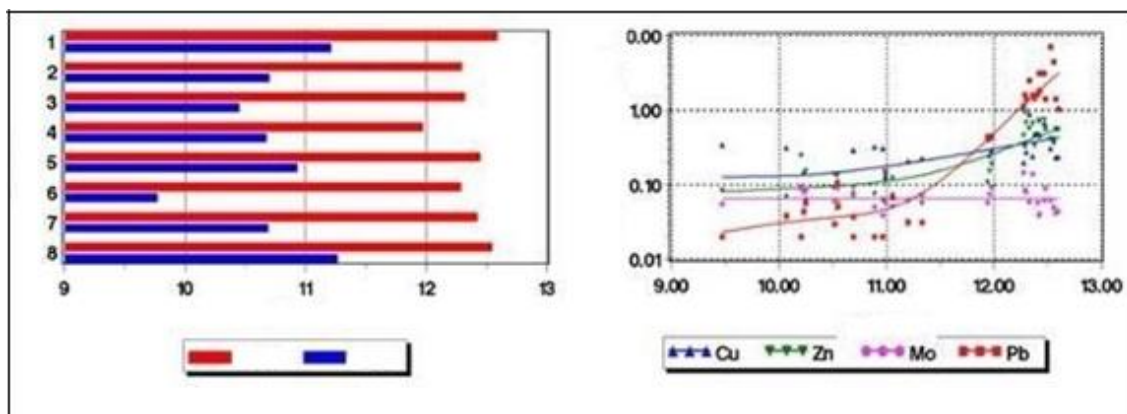
Wpływ sezonowania na wyflukiwanie można scharakteryzować jako:

- obniżenie pH w wyniku absorpcji CO_2 z powietrza lub aktywności biologicznej;
- ustanowienie warunków beztlenowych, ograniczających skutki biodegradacji pozostałości substancji organicznych lub ewolucji wodoru;
- spójność cząstek i innych zmian w fazach mineralnych w wyniku nawodnienia. [4. IAWG 1997.]

Wszystkie te efekty zmniejszają wymywalność metali i powodują stabilizację popiołu paleniskowego. Sprawia to, że popiół paleniskowy jest bardziej przydatny do odzysku lub unieszkodliwiania (składowanie). [74. TWG 2004]

Dane z programu badań w działającej w pełnym wymiarze niemieckiej spalarni odpadów ilustrują wpływ 12 tygodni sezonowania na pH popiołów paleniskowych oraz na wyniki testów uzyskanych metodą DEV S4. Lewa strona ilustracji 4.12 pokazuje, że pH niesezonowanych popiołów paleniskowych w teście DEV S4 zwykle przekracza 12 i spada o około dwie jednostki w czasie sezonowania.

Jak widać po prawej stronie ilustracji 4.12, zmiana pH nie ma wpływu na właściwości wymywania molibdenu, który jest obecny głównie jako molibdenian. Stabilność wymywania miedzi i cynku w sezonowanym materiale jest umiarkowanie poprawiona, podczas gdy wymywanie ołowiu jest zmniejszone o prawie dwa rzędy wielkości.



Ilustracja 4.12 Wpływ sezonowania na wymywalność wybranych metali: (po lewej) wpływ na pH; (po prawej) wymywanie w funkcji pH

Francuskie Biuro ds. Kopalń przeprowadziło w ciągu 18 miesięcy badanie na temat sezonowania (i jego wpływu na wymywanie) 400-tonowego zasobnika popiołów paleniskowych i wyciągnęło wnioski podobne do wynikających z badań niemieckich. [64. TWG 2003]

W przypadku zastosowania dłuższych okresów sezonowania (np. > 20 tygodni) dla bezżelaznych popiołów paleniskowych bez obracania, sezonujący popiół paleniskowy będzie się coraz bardziej zestalał. [74. TWG 2004]

Oddziaływanie na procesy i środowisko

- Spływająca woda z deszczu lub systemu zraszającego może zawierać sole lub metale i wymagać przetworzenia. Woda ta może być recykulowana lub wykorzystywana w spalarni jako woda procesowa.
- Może być wymagana kontrola odorów oraz pyłu.
- Hałas pojazdów i maszyn może stanowić problem w niektórych lokalizacjach.
- Mogą być wymagane urządzenia przeciwwybuchowe w zamkniętych obiektach sezonujących.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest ogólnie stosowana.

Ekonomika

Koszt sezonowania jest niski w porównaniu z pozostałą częścią instalacji przetwarzania. [74. TWG 2004]

Oszczędności w kosztach unieszkodliwiania uzyskuje się poprzez recykling. [74. TWG 2004]

Siła napędowa wdrażania

Ustawodawstwo określające dopuszczalne wartości odcieku dla recyklingu popiołu paleniskowego jako surowca wtórnego lub dla jego unieszkodliwienia na składowiskach odpadów. [74. TWG 2004]

Przykładowe zakłady

Różne zakłady przetwarzania popiołu paleniskowego w Holandii, Niemczech, Francji i Belgii.

Literatura źródłowa

[38. Vehlow 2002] [4. IAWG 1997] [64. TWG 2003]

4.7.5 Przetwarzanie popiołu paleniskowego przy użyciu systemów suchych

Opis

Przetwarzanie popiołu paleniskowego techniką suchą łączy w sobie proces rozdzielania metali, redukcję rozmiaru cząstek plus przesiewanie, a także może być połączone z sezonowaniem

przetworzonego popiołu paleniskowego. Produkt jest suchym kruszywem o kontrolowanej wielkości ziarna (np. 0-4 mm, 0-10 mm, 4-10 mm), które może być stosowane jako wtórny materiał budowlany.

Szczegóły techniczne

Proces składa się z:

- kruszenia frakcji gruboziarnistej;
- przesiewania;
- separacji metali żelaznych;
- separacji metali nieżelaznych;
- sezonowania. [74. TWG 2004]

Korzyści dla środowiska

W wyniku tej techniki powstaje suche kruszywo, które może być wykorzystywane jako wtórny materiał budowlany oraz frakcje złomu, które mogą być sprzedawane do recyklingu, co zmniejsza ilość pozostałości wysyłanych do unieszkodliwienia.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Dane dotyczące jakości popiołu paleniskowego po zakończeniu procesu przetwarzania przedstawiono w tabelach 4.47 oraz 4.48, dla instalacji wykorzystującej następujące etapy procesu :

- magazynowanie nieprzetworzonego popiołu paleniskowego w suchym miejscu przez 4-6 tygodni;
- wstępne przesiewanie cząstek > 150 mm;
- odzysk metali żelaznych z frakcji < 150 mm;
- dalsze przesiewanie (< 22 mm, 22-32 mm, > 32 mm);
- sprzedaż frakcji < 22 mm jako substytutu piasku;
- wysyłanie frakcji > 32 mm do ręcznego komisjonowania i separatorów celem usunięcia frakcji nieszczepialnych i żelaznych, kruszenia i recyrkulacji;
- poddanie frakcji 22-32 mm separacji powietrznej oraz usunięcie metali żelaznych;
- przesiewanie, czyszczenie i magazynowanie rozdzielonych frakcji metalowych przed ponownym całkowitym przejściem procesu przez frakcje oddzielone od żużla.

Tabela 4.47 Dane dotyczące wyjściowych koncentracji substancji w popiele paleniskowym zgłaszane przez przykładowy zakład przetwarzania popiołu

	Popiół paleniskowy na wyjściu (mg/kg)
As	150
Cd	10
Cr	600
Cu	600
Pb	1 000
Ni	600
Zn	1
Hg	0.01
Źródło: [64. TWG 2003]	

Tabela 4.48 Dane dotyczące eluatu wyjściowego popiołu paleniskowego podawane dla przykładowego systemu przetwarzania

	Dane wyjściowe dotyczące eluatu popiołu paleniskowego (µg/l)
As	
Cd	5
Cr	200
Cu	300
Pb	50
Ni	40
Zn	300
Hg	1
Źródło: [64. TWG 2003]	

Innym przykładem procesu przetwarzania IBA jest poniższy proces (przeprowadzany przez

zakład w Danii):

- przesiewanie IBA celem uzyskania dwóch frakcji o rozmiarach cząstek powyżej i poniżej 50 mm;
- usunięcie metali żelaznych za pomocą magnesu;
- usunięcie metali nieżelaznych z użyciem separatora wiropędowego;
- ręczne sortowanie i kruszenie pozostałości > 50 mm;
- powrót materiały palnego do spalarki jako wsad.

Wydajność zakładu wynosi 80 ton popiołu paleniskowego na godzinę (co odpowiada 350 tonom odpadów spalanych w ciągu godziny). Zakład wykorzystuje olej napędowy jako źródło energii, zużywając 0.3 l na tonę wytworzonych popiołów paleniskowych (co odpowiada 0.05 l na tonę spalonych odpadów). Zakład odzyskuje 90 wt-% metali obecnych w popiołach paleniskowych, co stanowi 8 wt-% przetworzonych popiołów paleniskowych. [\[104, Dania 2015\]](#)

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Hałas oraz emisje pyłu.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest ogólnie stosowana.

Ekonomika

Aby technika była ekonomicznie opłacalna, potrzebna jest określona minimalna wydajność przetwarzania. Dlatego w przypadku małych spalarni odpadów można zastosować scentralizowane przetwarzanie popiołu paleniskowego w zakładzie zewnętrznym.

Główna korzyść wynika z unikania kosztów unieszkodliwiania. Poza tym, opłacalność operacji przetwarzania popiołu paleniskowego zależy od ceny rynkowej produkowanych frakcji. Przetworzony popiół paleniskowy będzie na ogół sprzedawany, z uwzględnieniem transportu, przy zerowym zysku. Przychody będą tworzone przez jakość frakcji metali nieżelaznych i żelaznych. Metale nieżelazne, takie jak miedź i aluminium, są produktami o najwyższej wartości rynkowej. Ilość i czystość produkowanych metali nieżelaznych jest więc ważnym czynnikiem w ogólnej ekonomice instalacji.

Dane z zakładu MSWI w Szwecji wykorzystującego różne etapy przetwarzania suchego popiołu oraz sezonowanie

- Stawka za składowanie w przypadku popiołu to około 40 EUR/tonę.
- Kamień i żwir, który jest oddzielany na wcześniejszych etapach procesu przetwarzania, ma wartość handlową wynoszącą około 6 EUR/t.
- Wartość rynkowa przetworzonych pozostałości popiołu paleniskowego jako materiału budowlanego wynosi około 2.5 EUR/t.

Siła napędowa wdrażania

Prawodawstwo dotyczące recyklingu pozostałości jako surowców wtórnych.

Przykładowe zakłady

Szereg obiektów w Danii, Holandii, Niemczech, Belgii i Francji.

Literatura źródłowa

[\[4. IAWG 1997\]](#) [\[39. Vrancken 2001\]](#) [\[64. TWG 2003\]](#) [\[104. Dania 2015\]](#)

4.7.6 Przetwarzanie popiołu paleniskowego przy użyciu systemów mokrych

Opis

Zastosowanie przetwarzania popiołu paleniskowego przy użyciu systemów mokrych pozwala na produkcję materiału do recyklingu o znacznie zmniejszonej wymywalności metali i anionów (np. soli). Popioły ze spalania są przetwarzane poprzez redukcję rozmiaru, przesiewanie, płukanie oraz oddzielanie metali. Główną cechą charakterystyczną tej techniki jest separacja na mokro frakcji

0-2 mm.

Szczegóły techniczne

Przetwarzanie popiołu paleniskowego "na mokro" ma na celu usunięcie metali tak, aby zredukować zarówno ich zawartość, jak i wymywanie. Inne składniki budzące obawy to sole rozpuszczalne, głównie chlorki oraz siarczany metali alkalicznych, w tym ziem rzadkich. Około 50% zawartości chlorków można zredukować poprzez przemywanie popiołów.

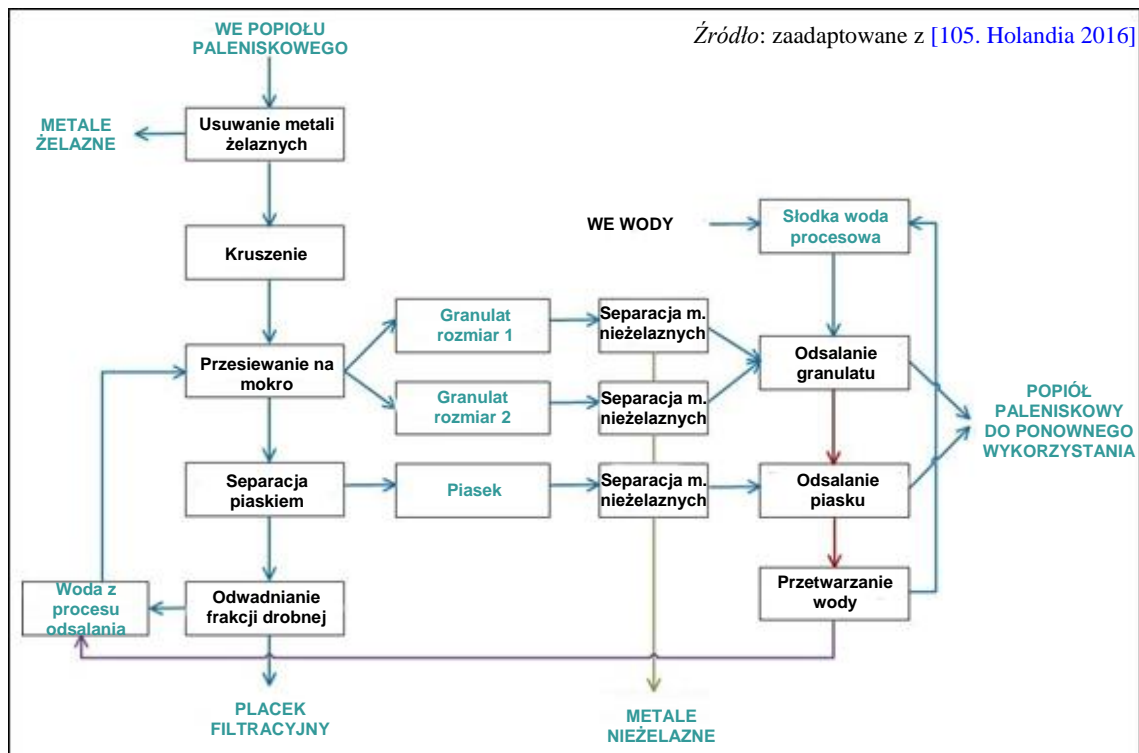
Zazwyczaj system mokrego przetwarzania składa się z suchego etapu, w którym popioły paleniskowe powstające w wyniku spalania odpadów przetwarzane są celem usunięcia dużych ilości metali żelaznych oraz rozdrabnianie na sucho, aby osiągnąć rozmiar wymagany przez proces mokry.

Po tym pierwszym etapie IBA jest płukany i rozdzielany wodą na różne frakcje za pomocą obracającego się bębna lub jiggera. Oddzielona lekka część, składająca się głównie z niespalonych materiałów, plastiku i papieru, jest zazwyczaj zawracana do pieca.

Frakcja granulowana jest przetwarzana celem usunięcia metali żelaznych i nieżelaznych, a pozostała wypłukana część mineralna może zostać odzyskana.

Drobna frakcja zawierająca większość zanieczyszczeń jest usuwana.

Przykład procesu "mokrego" przetwarzania popiołu paleniskowego przedstawiono na ilustracji 4.13.



Ilustracja 4.13 Schemat blokowy systemu przetwarzania popiołu paleniskowego "na mokro"

Korzyści dla środowiska

Technika ta pozwala na uzyskanie materiału, który nadaje się do użycia i zmniejsza ilość pozostałości do usunięcia.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Względny uzysk różnych frakcji zależy od składu wejściowego odpadów. Dane eksploatacyjne z pracującej instalacji podano w tabeli 4.49.

Tabela 4.49 Względny uzysk różnych frakcji wyjściowych z przetwarzania popiołu paleniskowego "na mokro"

Rodzaj pozostałości	Uzysk [%] (wyjście/wejście – popiół paleniskowy)
Pozostałości do unieszkodliwienia (0–2 mm)	47
Produkt do ponownego użytku (2–60 mm)	34
Metale żelazne	12
Metale nieżelazne	2
Niespalone produkty wyjściowe zawrócone do pieca	5
<i>Zródło: [39. Vrancken 2001]</i>	

Tabela 4.50 przedstawia przykładowe wartości wymywania wyprodukowanych granulatów.

Tabela 4.50 Przykładowe wyniki wymywania wytworzonych granulatów

	Wartość wymywania (mg/kg)	
	Granulaty 2–6 mm	Granulaty 6–50 mm
As	0–0.1	< 0.05
Cd	0–0.025	< 0.01
Cr	0.005–0.053	< 0.053
Cu	0.19–0.85	0.24–0.55
Pb	0.04–0.12	< 0.10
Ni	0.0007–0.005	< 0.057
Zn	0.61–1.27	< 0.16
Uwagi: Dane wymywania pochodzą z kolumny „test wymywania” NEN7343 Stosunek L/S=10 (skumulowany) <i>Zródło: [64. TWG 2003] [74. TWG 2004]</i>		

Inne dane dotyczące jakości popiołu paleniskowego po przetworzeniu przedstawiono w tabelach 4.51 i 4.52, dla instalacji wykorzystującej następujące techniki:

- płukanie wodą popiołu paleniskowego w odpylaczu na wyjściu z pieca (woda obniża poziom soli w popiele paleniskowym);
- usuwanie metali żelaznych oraz dużych cząstek przez przesiewanie i separację ręczną;
- składowanie przez > 1 dzień dla reakcji z CO₂ (sezonowanie);
- dalsze przesiewanie, kruszenie, oddzielanie (np. oddzielne mielenie frakcji > 32 mm);
- usuwanie metali żelaznych i nieżelaznych;
- recyrkulacja frakcji > 10 mm po separacji powietrznej frakcji lekkiej (np. tworzywa sztuczne);
- 3-miesięczne składowanie produktu.

Tabela 4.51 Dane dotyczące wyjściowych koncentracji substancji w popiele paleniskowym zgłaszane przez przykładowy zakład przetwarzania popiołu

	Popiół paleniskowy na wyjściu (mg/kg)	
	Zakres	Średnio
As	25–187	74
Cd	1.1–16.7	3.7

Cr	84–726	172
Cu	1 676–29 781	6 826
Pb	404–4 063	1 222
Ni	61–661	165
Zn	788–14 356	2 970
Hg	0.01–0.37	0.7
Źródło: [64. TWG 2003]		

Tabela 4.52 Dane dotyczące eluatu wyjściowego popiołu paleniskowego podawane dla przykładowego systemu przetwarzania

	Dane wyjściowe dotyczące eluatu popiołu paleniskowego ($\mu\text{g/l}$)	
	Zakres	Średnio
As	< 6.0–16.1	5.3
Cd	< 0.5–2.5	0.8
Cr	1–113	15.2
Cu	14–262	60.7
Pb	8–59	11.4
Ni	< 4.0–11.6	2.9
Zn	< 5.0–230	19.4
Hg	< 0.2–< 0.2	< 0.2
Źródło: [64. TWG 2003]		

Zakład w Holandii stosuje następujący proces przetwarzania na mokro:

- Usuwanie na sucho dużych przedmiotów z metali żelaznych za pomocą magnesów, przesiewanie IBA celem usunięcia dużych kawałków, kruszenie dużych kawałków do mniejszych niż 20 mm, usuwanie małych przedmiotów z metali żelaznych za pomocą magnesów.
- Separacja na różne frakcje za pomocą wody przy użyciu obrotowego sita bębnowego. Po tej separacji głównymi frakcjami są piasek IBA (0-4 mm) i granulaty IBA (4-20 mm).
- Pompowanie frakcji piasku IBA do hydrocyklonów celem oddzielenia frakcji drobnej (< 0.063 mm). Po wagowej separacji, kolejnym etapem przetwarzania jest oddzielenie według gęstości. Piasek jest poddawany działaniu słupa wody wznoszącej, w której następuje separacja frakcji drobnej i organicznej, zbieranej następnie w tym samym zbiorniku z frakcją drobną z hydrocyklonów.
Piasek IBA jest odwadniany na sicie, a następnie przepuszczany przez separator wiropływowy celem usunięcia metali nieżelaznych. Potem jest schładzany w ślimaku odwadniającym celem usunięcia resztek wody słonej oraz drobnych cząstek. Zbiornik schładzający zasilany jest wodą słodką, o stosunku cieczy do ciała stałego wynoszącym co najmniej 1 m³ na tonę, co pozwala na usunięcie wszystkich pozostałych zanieczyszczeń. Piasek IBA jest następnie odwadniany za pomocą sita i może być magazynowany w stanie gotowym do użycia lub połączony z granulatem IBA.
- Granulaty IBA poddawany jest obróbce w płuczce, gdzie w procesie oczyszczania usuwana jest frakcja organiczna oraz wszystkie drobiny przyklejone do powierzchni frakcji mineralnej. Drobinki i frakcja organiczna są zbierane razem z drobną frakcją z oczyszczalni piasku IBA.
Granulaty IBA jest odwadniany aby oddzielić go od wody słonej, a następnie przepuszczany przez separator wiropływowy celem usunięcia metali nieżelaznych. Następnie jest płukany słodką wodą w sicie odwadniającym, aby usunąć ostatnie przylegające sole oraz drobiny. Stosunek cieczy do ciała stałego w wodzie słodkiej wynosi co najmniej 1 m³ na tonę. Następnie granulaty IBA jest odwadniany za pomocą sita i może być magazynowany w stanie gotowym do użycia lub połączony z piaskiem IBA.
- Drobna frakcja (0-0.063 mm) (osad IBA) składa się zarówno z materiału organicznego, jak i bardzo drobnych cząstek mineralnych, a także zawiera wysokie stężenie zanieczyszczeń. Drobna frakcja oczyszczana jest za pomocą flokulantów i oddzielana od strumienia wody

w zagęszczaczu wstępnym. Osad jest odwadniany na prasie taśmowej lub komorowej prasie filtracyjnej i wysyłany na składowisko odpadów.

Inny przykład procesu mokrego, stosowany w austriackim zakładzie, wygląda następująco:

Wstępne etapy przetwarzania to: przesiewanie IBA i/lub FBA celem usunięcia kawałków dużych (> 55 mm) oraz długich, takich jak rury czy kable; usunięcie dużych przedmiotów metalowych z obu frakcji (> 55 mm i < 55 mm) za pomocą podwieszonych przenośników z magnesem; kruszenie frakcji < 55 mm jest opcją, która może być wykorzystana do zwiększenia stopnia odzysku metalu w kolejnym etapie przetwarzania na mokro.

W procesie przetwarzania na mokro za pomocą jiggera rozdziela się < 55 mm IBA/FBA na cztery frakcje o różnych gęstościach:

- **Materiały pływające (papier, tworzywa sztuczne oraz lekkie minerały):** frakcja ta jest odwadniana i albo transportowana z powrotem do spalarni jako surowiec albo składowana na składowiskach.
- **Frakcja ciężka (metale i minerały o gęstości > 4 kg/dm³):** ta frakcja jest mieszaniną różnych metali (miedź, mosiądz, stal nierdzewna, cynk, cyna, metale szlachetne) i minerałów. Frakcja ta jest płukana, zagęszczana i transportowana do huty miedzi.
- **Frakcja lekka (metale i minerały o gęstości < 4 kg/dm³):** ta frakcja jest mieszaniną minerałów (popiół, kamienie i beton), aluminium oraz śladowych ilości niektórych innych metali. Frakcja ta jest wprowadzana do magnesu bębnowego celem oddzielenia metali żelaznych, a następnie do separatora wiropądowego celem usunięcia metali nieżelaznych, takich jak aluminium czy stal nierdzewna. Koncentrat aluminiowy może być stosowany w hucie aluminium lub w zakładzie przetwarzania złomu. Pozostała frakcja mineralna może być składowana na składowiskach odpadów, wykorzystywana jako materiał budowlany przy budowie dróg lub jako kruszywo w betonie, pod warunkiem, że spełnia odpowiednie normy i przepisy dotyczące produktu.
- **Osad:** osad z jiggera jest odwadniany za pomocą wirówki i mieszany z frakcją mineralną. Możliwe jest dalsze wykorzystanie tego materiału przy budowie dróg.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

W wyniku przetwarzania na mokro może powstać drobna frakcja (0-2 mm) do unieszkodliwienia. Dodatkowo wytwarzana jest frakcja ściekowa. Ścieki mogą być odprowadzane z powrotem do spalarni jako ścieki procesowe, jeśli ich jakość jest zgodna z wymaganiami procesu. [\[74. TWG 2004\]](#)

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest ogólnie stosowana.

Jej stosowanie może być ograniczone, gdy temperatura otoczenia jest niższa niż 5 °C, chyba że podjęte zostaną środki ostrożności, aby zapobiec zamarzaniu wody. [\[107. Austria 2015\]](#)

Ekonomika

Aby technika była ekonomicznie opłacalna, potrzebna jest określona minimalna wydajność przetwarzania. Dlatego w przypadku małych spalarni odpadów można zastosować scentralizowane przetwarzanie popiołu paleniskowego w zakładzie zewnętrznym. Opłacalność przetwarzania popiołu paleniskowego zależy od ceny rynkowej wytwarzanych frakcji. Przetworzony popiół będzie na ogół sprzedawany po zerowych zyskach. Przychody będą generowane przez jakość frakcji metali nieżelaznych i żelaznych. Metale nieżelazne, takie jak miedź i aluminium, są produktami o najwyższej wartości rynkowej. Tak więc ilość i czystość wytworzonych metali nieżelaznych jest ważnym czynnikiem w ogólnej ekonomice instalacji.

Dla austriackiego zakładu przetwarzającego 40 t/dobę popiołu paleniskowego:

- koszt kapitałowy wynosi 2 mln EUR, co odpowiada kosztowi kapitałowemu w wysokości 5-10 EUR/tonę przetworzonego popiołu;
- koszt operacyjny wynosi 5-10 EUR/tonę;
- całkowity koszt wynosi 10-20 EUR/tonę przetworzonego popiołu.

Siła napędowa wdrażania

Prawodawstwo dotyczące recyklingu pozostałości jako surowców wtórnych.

Przykładowe zakłady

AT.B-01, BE.B-02, HVC Groep, Dordrecht MWI linia 5 (NL).

Literatura źródłowa

[\[38. Vehlow 2002\]](#) [\[39. Vrancken 2001\]](#) [\[4. IAWG 1997\]](#) [\[64. TWG 2003\]](#) [\[105. Holandia 2016\]](#) [\[107. Austria 2015\]](#)

4.7.7 Techniki zmniejszania emisji do powietrza pochodzących z przetwarzania żużli i popiołów paleniskowych

Opis

Techniki do rozważenia to:

- nawilżanie pryzm i głównych źródeł rozproszonej emisji pyłów;
- ograniczenie wielkości emisji;
- ochrona pryzm przed silnym wiatrem;
- przeprowadzanie operacji w zamkniętych pomieszczeniach/budynkach;
- zabudowanie urządzeń takich jak: rozdrabniacz, sito, przenośnik taśmowy, separator powietrzny;
 - utrzymywanie podciśnienia w w/w sprzęcie;
 - przetwarzanie odessanego powietrza w filtrach workowych.

Szczegóły techniczne

Emisje do powietrza z zakładów przetwarzania popiołu paleniskowego to głównie pył i metale pochodzące z postępowania z popiołami paleniskowymi, rozdrabniania, przesiewania i separacji powietrznej.

Zastosowanie technik, które utrzymują zawartość wody w popiele paleniskowym na poziomie około 20% ogranicza emisje rozproszone pyłu. Ponadto utrzymanie optymalnej zawartości wilgoci, z jednej strony pozwala na efektywny odzysk metali i materiałów mineralnych, a z drugiej strony utrzymuje niski poziom emisji.

Systemy zraszania wodą mogą być instalowane przy głównych źródłach emisji rozproszonej pyłów. Emisje rozproszone pyłów na pryzmach redukowane są poprzez zapewnienie odpowiedniego nawilżenia punktów załadunku i rozładunku lub samych pryzm.

Uwalnianie pyłu jest również minimalizowane poprzez dopasowanie wysokości pryzmy do obszaru zajmowanego przez dno pryzmy (np. za pomocą przenośników taśmowych z regulowaną wysokością) oraz poprzez ochronę pryzm i odpadów magazynowanych luzem pokrywami lub osłonami wiatrowymi, takimi jak sita, ścianki lub pionowa zieleń.

Celem uniknięcia emisji rozproszonych do środowiska, magazynowanie i przetwarzanie popiołów paleniskowych może być również prowadzone w budynkach zamkniętych.

Aby zapobiec emisji do powietrza stosuje się urządzenia zamknięte pracujące w warunkach podciśnienia. Odessane powietrze jest przekazywane do filtra workowego. W celu zmniejszenia obciążenia filtrów workowych pyłem, w niektórych przypadkach jako pierwszy stopień odpylania stosowany jest cyklon.

Korzyści dla środowiska

- Zmniejszenie emisji rozproszonych.
- Zmniejszenie emisji pyłów.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

W tabeli 3.29 przedstawiono poziomy emisji pyłu w niektórych zakładach UE przy zastosowaniu technik stosowanych celem ograniczenia emisji oraz źródeł emisji.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Zwiększenie zużycia energii oraz wody.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Eksploatacja w warunkach podciśnienia z filtracją odsysanego powietrza ma zastosowanie tylko w przypadku suchego opróżniania oraz innych nisko wilgociowych technik przetwarzania popiołów paleniskowych. Inne opisane techniki są ogólnie stosowane.

Ekonomika

Brak danych.

Siła napędowa wdrażania

Wymagania przepisów dotyczących ochrony środowiska i zdrowia.

Przykładowe zakłady

CZ B-01, DE B-05, DE.B-10, DE.B-11, IT.B-01, IT.B-02

Literatura źródłowa

[\[81. TWG 2016\]](#) [\[126. EIPPCB 2017\]](#)

4.7.8 Oczyszczanie ścieków

Ścieki pochodzą głównie z procesów mokrych, procesów płukania, magazynów i zanieczyszczonej wody deszczowej, gdy żużle i popiół paleniskowy składowane są na zewnątrz.

Ścieki procesowe zawierają sole i metale, a także zawiesiny i substancje organiczne, w tym PCDD/F.

Techniki, które należy rozważyć przy oczyszczaniu ścieków pochodzących z zakładów przetwarzania IBA to:

- separacja olejów;
- neutralizacja;
- sedimentacja (osadzanie);
- strącanie chemiczne;
- filtracja.

Techniki te zostały opisane w sekcji 3.3.2.3 dokumentu BREF CWW.

Tabela 3.30 podsumowuje poziomy emisji do wody zgłoszone w 2016 r. w ramach gromadzenia danych.

4.8 Hałas

Problem hałasu w spalarniach odpadów jest porównywalny z innymi gałęziami przemysłu oraz elektrowniami. Powszechnym jest, że spalarnie odpadów komunalnych instalowane są w całkowicie zamkniętych budynkach. Najczęściej obejmuje to odbiór i rozładunek odpadów, mechaniczne przetwarzanie wstępne, przetwarzanie spalin, przetwarzanie pozostałości itp. Jedynymi działaniami, które zazwyczaj zlokalizowane są na wolnym powietrzu, są urządzenia chłodnicze oraz długoterminowe składowanie popiołu paleniskowego (sezonowanie). Przetwarzanie popiołu paleniskowego może odbywać się w zamkniętych budynkach lub na wolnym powietrzu.

Najważniejsze źródła hałasu to:

- pojazdy transportujące odpady, chemikalia i pozostałości;
- operacje dźwigiem w bunkrze;
- mechaniczne wstępne przetwarzanie odpadów;
- wentylatory wyciągowe, odprowadzające spaliny z procesu spalania oraz powodujące hałas na wylocie z komina;
- hałas związany z układem chłodzenia (w przypadku chłodzenia parowego, a w szczególności chłodzenia powietrzem);
- hałas związany z transportem oraz przetwarzaniem popiołów paleniskowych;
- hałas pochodzący z turbogeneratorów. [\[74. TWG 2004\]](#)

Pozostałe działania nie powodują zazwyczaj znacznego hałasu, ale mogą przyczyniać się do ogólnego hałasu wytwarzanego przez instalację.

W tabeli 3.38 przedstawiono główne źródła, poziomy oraz niektóre szczególne techniki ochrony przed hałasem.

Stopień ochrony przed hałasem oraz podejmowane środki są często bardzo zależne od lokalizacji i oddziaływania.

5. KONKLUZJE DOTYCZĄCE NAJLEPSZYCH DOSTĘPNYCH TECHNIK (BAT) W ODNIESIENIU DO SPALANIA ODPADÓW

Zakres

Niniejsze konkluzje dotyczące BAT odnoszą się do następujących rodzajów działalności określonych w załączniku I do dyrektywy 2010/75/UE:

- 5.2 Unieszkodliwianie lub odzysk odpadów w spalarniach odpadów:
- (a) innych niż niebezpieczne o wydajności przekraczającej 3 tony na godzinę;
 - (b) niebezpiecznych o wydajności przekraczającej 10 ton dziennie.
- 5.2 Unieszkodliwianie lub odzysk odpadów we współspalarniach odpadów:
- (a) innych niż niebezpieczne o wydajności przekraczającej 3 tony na godzinę;
 - (b) niebezpiecznych o wydajności przekraczającej 10 ton dziennie.

których głównym celem nie jest wytwarzanie produktów materialnych i w przypadku gdy spełniony jest co najmniej jeden z poniższych warunków

- o spalane są wyłącznie odpady, inne niż odpady określone w art. 3(31)(b) Dyrektywy.
- o ponad 40 % nominalnej mocy cieplnej pochodzi ze spalania odpadów niebezpiecznych;
- o spalane są zmieszane odpady komunalne.

5.3 (a) Unieszkodliwianie odpadów innych niż niebezpieczne, o wydajności przekraczającej 50 ton dziennie, obejmujące obróbkę żużli lub popiołów paleniskowych ze spalania odpadów.

5.3 (b) Odzysk, lub kombinacja odzysku i unieszkodliwiania, odpadów innych niż niebezpieczne o wydajności przekraczającej 75 ton dziennie, obejmujące przetwarzanie żużli lub popiołów paleniskowych ze spalania odpadów.

5.1 Przetwarzanie lub odzysk odpadów niebezpiecznych o wydajności przekraczającej 10 ton dziennie obejmujące przetwarzanie żużli i/lub popiołów paleniskowych pochodzących ze spalania odpadów.

Niniejsze konkluzje BAT nie odnoszą się do:

- Wstępnego przetwarzania odpadów przed ich spalaniem. Działalność ta może wchodzić w zakres stosowania konkluzji dotyczących BAT w odniesieniu do przetwarzania odpadów (WT).
- Przetwarzania popiołów lotnych pochodzących ze spalania oraz innych pozostałości po oczyszczaniu spalin (FGC). Działalność ta może wchodzić w zakres stosowania konkluzji dotyczących BAT w odniesieniu do przetwarzania odpadów (WT).
- Spalania lub współspalania wyłącznie odpadów gazowych, innych niż powstałe w wyniku termicznego przetwarzania odpadów.
- Przetwarzania odpadów w zakładach objętych art. 42(2) Dyrektywy 2010/75/UE.

Inne konkluzje dotyczące BAT oraz dokumenty referencyjne, które mogą być istotne dla działań objętych niniejszymi konkluzjami to:

- Przetwarzanie odpadów (WT);
- Efekty Ekonomiczne oraz Oddziaływanie na Procesy i Środowisko (ECM);
- Emisje z Magazynowania (EFS);
- Efektywność Energetyczna (ENE);
- Przemysłowe Systemy Chłodzenia (ICS);
- Monitorowanie Emisji do Powietrza i Wody przez Instalacje IED (ROM);
- Duże Obiekty Energetycznego Spalania (LCP);

- Wspólne Systemy Oczyszczania/Zagospodarowywania Ścieków i Gazów Odlotowych w Sektorze Chemicznym (CWW).

Definicje

Do celów niniejszych konkluzji dotyczących BAT stosuje się następujące **definicje**:

Termin	Definicja
Terminy ogólne	
Efektywność kotła	Stosunek energii wytworzonej na wyjściu z kotła (np. para, gorąca woda) do energii z odpadów i paliwa pomocniczego dostarczonej do pieca (jako wartości opałowych).
Zakład przetwarzania popiołu paleniskowego	Zakład przetwarzający żużle i/lub popioły paleniskowe pochodzące ze spalania odpadów w celu oddzielenia i odzyskania cennych frakcji oraz umożliwienia korzystnego wykorzystania pozostałej frakcji. Działalność ta nie obejmuje wyłącznie separacji metali gruboziarnistych w spalarni.
Odpady medyczne	Odpady zakaźne lub w inny sposób niebezpieczne, pochodzące z zakładów opieki zdrowotnej (np. szpitali).
Emisje zorganizowane	Emisje zanieczyszczeń do środowiska przez wszelkiego rodzaju kanały, rury, kominy, przewody kominowe itp.
Pomiar (monitoring) ciągły	Pomiar z wykorzystaniem "zautomatyzowanego systemu pomiarowego" zainstalowanego na stałe w zakładzie.
Emisje rozproszone	Emisje inne niż emisje zorganizowane tzw. emisje nieskanalizowane (np. pyłów, związków organicznych, odorów), które mogą pochodzić ze źródeł "obszarowych" (np. zbiorniki) lub źródeł "punktowych" (np. kołnierze do rur).
Istniejący zakład/zespół urządzeń/instalacja	Zespół urządzeń który nie jest nowo wybudowanym zakładem
Popioły lotne	Cząstki pochodzące z komory spalania lub uformowane w strumieniu spalin i przenoszone w spalinach
Odpady niebezpieczne	Odpady określone jako niebezpieczne w art. 3(2) Dyrektywy 2008/98/WE.
Spalanie odpadów	Spalanie odpadów w spalarni, osobno lub w połączeniu z paliwami wspomagającymi.
Spalarnia (zakład spalania odpadów)	Spalarnia odpadów zgodnie z definicją art. 3(40) Dyrektywy 2010/75/UE albo współspalarnia odpadów zdefiniowana w art. 3(41) Dyrektywy 2010/75/UE, objęta zakresem niniejszych konkluzji dotyczących BAT.
Znacząca modernizacja zakładu/zespołu urządzeń/instalacji	Istotna zmiana pod względem konstrukcji lub technologii zespołu urządzeń połączona z wprowadzeniem istotnych korekt w procesie lub technikach redukcji emisji i w powiązanych urządzeniach, lub z ich wymianą.
Stałe odpady komunalne	Odpady stałe z gospodarstw domowych (zmieszane lub zbierane selektywnie), jak również odpady stałe z innych źródeł, które są porównywalne z odpadami z gospodarstw domowych pod względem charakteru i składu.
Nowy zakład/zespół urządzeń/instalacja	Zespół urządzeń, który po raz pierwszy uzyskał pozwolenie po opublikowaniu niniejszych konkluzji dotyczących BAT lub został całkowicie wymieniony po opublikowaniu niniejszych konkluzji dotyczących BAT
Odpady inne niż niebezpieczne	Odpady niebędące odpadami niebezpiecznymi, które nie są ani stałymi odpadami komunalnymi, ani osadami ściekowymi.
Część spalarni (zakładu spalania odpadów)	W celu określenia efektywności elektrycznej brutto lub efektywności energetycznej brutto, "część spalarni" może np. oznaczać: <ul style="list-style-type: none"> • linię spalania i jej system parowy; • część systemu parowego, podłączoną do co najmniej jednego kotła, kierującego parę do turbiny kondensacyjnej; • reszty tego samego systemu parowego, używanego do innych celów, np. bezpośredniego eksportu pary.
Pomiar okresowy	Pomiar w określonych odstępach czasu z zastosowaniem metod ręcznych lub zautomatyzowanych.
Pozostałości	Wszelkie odpady płynne lub stałe wytwarzane przez spalarnię lub zakład zajmujący się przetwarzaniem popiołu paleniskowego.
Obiekt wrażliwy	Obszar wymagający szczególnej ochrony, taki jak: <ul style="list-style-type: none"> • obszary mieszkalne; • obszary, na których prowadzona jest działalność człowieka (np. miejsca pracy w sąsiedztwie, szkoły, ośrodki opieki dziennej, tereny rekreacyjne, szpitale lub domy opieki).

Osady ściekowe (osady)	Osady pozostałe po składowaniu, obsłudze i przetwarzaniu ścieków domowych, komunalnych lub przemysłowych. Do celów niniejszych konkluzji dotyczących BAT wyklucza się osady stanowiące odpady niebezpieczne.
Żużel i/lub popioły paleniskowe	Pozostałości stałe usunięte z pieca po spaleniu odpadów.
Ważne średnie wartości półgodzinne	Średnią wartość półgodzinną uznaje się za ważną, jeżeli nie jest prowadzona konserwacja ani nie wystąpi niesprawność automatycznego systemu pomiarowego.

Termin	Definicja
Zanieczyszczenia i parametry	
As	Suma arsenu i jego związków, wyrażona jako As.
Cd	Suma kadmu i jego związków, wyrażona jako Cd.
Cd+Tl	Suma kadmu, talu i ich związków, wyrażona jako Cd+Tl.
CO	Tlenek węgla
Cr	Suma chromu i jego związków, wyrażona jako Cr.
Cu	Suma miedzi i jej związków, wyrażona jako Cu.
Dioksynopodobne PCB	Według Światowej Organizacji Zdrowia PCB wykazujące podobną toksyczność do 2,3,7,8-podstawionych PCDD/PCDF
Pył	Całkowita masa cząstek stałych (w powietrzu)
HCl	Chlorowodór
HF	Fluorowodór
Hg	Suma rtęci i jej związków, wyrażona jako Hg.
Strata przy prażeniu	Zmiana masy w wyniku ogrzewania próbki w określonych warunkach.
N ₂ O	Podtlenek azotu
NH ₃	Amoniak
NH ₄ -N	Azot amonowy, wyrażony jako N, obejmuje amoniak wolny (NH ₃) i amon (NH ₄ ⁺)
Ni	Suma niklu i jego związków, wyrażona jako Ni.
NO _x	Suma tlenku azotu (NO) i dwutlenku azotu (NO ₂), wyrażona jako NO ₂ .
Pb	Suma ołowiu i jego związków, wyrażona jako Pb.
PBDD/F	Polibromowane dibenzodioksyny/furany
PCB	Polichlorowane bifenyle
PCDD/F	Polichlorowane dibenzo-p-dioksyny i furany
POP (TZO)	Trwałe zanieczyszczenia organiczne wymienione w załączniku IV do rozporządzenia (WE) nr 850/2004 Parlamentu Europejskiego i Rady (wraz ze zmianami).
Sb	Suma antymonu i jego związków, wyrażona jako Sb.
Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V	Suma antymonu, arsenu, ołowiu, chromu, kobaltu, miedzi, manganu, niklu, wanadu i ich związków, wyrażona jako Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V.
SO ₂	Dwutlenek siarki
Siarczany (SO ₄ ²⁻)	Siarczany rozpuszczalne wyrażone jako SO ₄ ²⁻
TOC (OWO)	Ogólny węgiel organiczny, wyrażony jako C (w wodzie); obejmuje wszystkie związki organiczne.
Zawartość TOC (OWO) (w stałych pozostałościach)	Ogólny węgiel organiczny. Ilość węgla przekształcana w procesie spalania w dwutlenek węgla, która na skutek poddania działaniu kwasu nie uwalnia się w postaci dwutlenku węgla
TSS	Zawiesina ogólna. Stężenie masowe zawiesiny ogólnej (w wodzie) mierzone metodą filtracji przez sączki z włókna szklanego i metodą grawimetryczną
Tl	Suma talu i jego związków, wyrażona jako Tl.
TVOC (całkowite LZO)	Całkowita zawartość lotnych związków organicznych, wyrażona jako C (w powietrzu)
Zn	Suma cynku i jego związków, wyrażona jako Zn.

Akronimy

Do celów niniejszych konkluzji dotyczących BAT stosuje się następujące **akronimy**:

Akronim	Definicja
EMS	System zarządzania środowiskowego.
FDBR	Fachverband Anlagenbau (od poprzedniej nazwy organizacji: Fachverband Dampfkessel-, Behälter- und Rohrleitungsbau)
FGC	Oczyszczanie spalin
OTNOC	Inne niż normalne warunki pracy
SCR	Selektywna redukcja katalityczna
SNCR	Selektywna redukcja niekatalityczna
I-TEQ	Międzynarodowy równoważnik toksyczności zgodnie z definicją Paktu Północnoatlantyckiego (NATO)
WHO-TEQ	Równoważnik toksyczności TEQ zgodnie z definicją Światowej Organizacji Zdrowia (WHO)

Uwagi Ogólne

Najlepsza Dostępna technika (BAT)

Techniki wymienione i opisane w niniejszych konkluzjach dotyczących BAT nie są ani nakazowe, ani wyczerpujące. Można stosować inne techniki, które zapewniają co najmniej równoważny poziom ochrony środowiska.

O ile nie stwierdzono inaczej, konkluzje dotyczące BAT mają ogólne zastosowanie.

Poziomy emisji powiązane z najlepszymi dostępnymi technikami (BAT-AEL) dla emisji do powietrza (atmosfery)

Poziomy emisji powiązane z najlepszymi dostępnymi technikami (BAT-AEL) w odniesieniu do emisji do powietrza przedstawione w niniejszych konkluzjach dotyczących BAT odnoszą się do stężeń wyrażonych jako masa wyemitowanych substancji na objętość spalin lub powietrza wylotowego w następujących znormalizowanych warunkach: w suchym gazie o temperaturze 273.15 K i pod ciśnieniem 101.3 kPa oraz wyrażonych w jednostkach mg/Nm³, µg/Nm³, ng I-TEQ/Nm³ lub ng WHO-TEQ/Nm³.

W przypadku okresów uśredniania BAT-AEL dla emisji do atmosfery stosuje się następujące definicje.

Działanie	Referencyjny poziom tlenu (OR)
Spalanie odpadów	11 % obj. w suchym gazie
Przetwarzanie popiołu paleniskowego	W odniesieniu do poziomu tlenu korekta nie ma zastosowania.

Równanie do obliczania koncentracji emisji przy referencyjnym poziomie tlenu:

$$E_R = \frac{21 - O_R}{21 - O_M} \times E_M$$

Gdzie:

E_R : koncentracja (stężenie) emisji przy referencyjnym poziomie tlenu O_R ;

O_R : referencyjny poziom tlenu wyrażony w % objętości;

E_M : zmierzona koncentracja (stężenie) emisji;

O_M : zmierzony poziom tlenu wyrażony w % obj.

Dla okresów uśredniania stosuje się następujące definicje:

Rodzaj pomiaru	Okres uśredniania	Definicja
Ciągły	Średnia półgodzinna	Średnia wartość pomiaru prowadzonego przez 30 minut
	Średnia dobową	Średnia wartość w okresie jednej doby (dnia) w oparciu o ważne średnie półgodzinne
Okresowy	Średnia z okresu pobierania próbek	Średnia wartość uzyskana na podstawie trzech kolejnych pomiarów, z których każdy trwa co najmniej 30 minut . ⁽¹⁾
	Długoterminowe pobieranie próbek	Wartość z okresu pobierania próbek trwającego od 2 do 4 tygodni.
⁽¹⁾ Dla każdego parametru, w przypadku którego, ze względu na ograniczenia w pobieraniu próbek lub ograniczenia analityczne, 30-minutowy pomiar jest niewłaściwy, można zastosować bardziej odpowiedni okres pomiaru (np. dla stężenia odoru). W przypadku PCDD/F lub dioksynopodobnych PCB stosuje się jeden okres pobierania próbek wynoszący od 6 do 8 godzin.		

W przypadku współspalania odpadów razem z paliwami wyłączonymi z kategorii odpadów wartości poziomów emisji powiązanych z najlepszymi dostępnymi praktykami w odniesieniu do emisji do powietrza podane w niniejszych konkluzjach mają zastosowanie do całej objętości wytworzonych spalin.

Poziomy emisji powiązane z najlepszymi dostępnymi technikami (BAT-AEL) w odniesieniu do emisji do wody

O ile nie stwierdzono inaczej, poziomy emisji powiązane z najlepszymi dostępnymi technikami (BAT-AEL) w odniesieniu do emisji do wody przedstawione w niniejszych konkluzjach dotyczących BAT odnoszą się do stężeń (masa wyemitowanych substancji na objętość ścieków) wyrażonych w mg/l lub ng I-TEQ/l.

W przypadku ścieków z FGC wartości BAT-AEL odnoszą się albo do pobierania próbek chwilowych (tylko w przypadku zawiesiny ogólnej), albo do średnich dobowych, czyli 24-godzinnych próbek złożonych proporcjonalnych do przepływu. Proporcjonalne do czasu pobieranie próbek złożonych może być stosowane pod warunkiem wykazania wystarczającej stabilności przepływu.

W przypadku ścieków pochodzących z przetwarzania popiołów paleniskowych, BAT-AEL odnoszą się do jednego z dwóch poniższych przypadków:

- w przypadku zrzutu ciągłego – do średnich dobowych, czyli 24-godzinnych próbek złożonych proporcjonalnych do przepływu;
- w przypadku zrzutu partiami – do wartości średnich w trakcie zrzutu, pobieranych jako próbki złożone proporcjonalne do przepływu lub jako próbka chwilowa pobrana przed zrzutem, pod warunkiem że ścieki oczyszczone są odpowiednio wymieszane i jednorodne.

Wszystkie wartości BAT-AEL dla emisji do wody mają zastosowanie do punktu, w którym emisja opuszcza instalację.

Poziomy efektywności energetycznej powiązane z najlepszymi dostępnymi technikami (BAT-AEEL)

BAT-AEEL przedstawione w niniejszych konkluzjach dotyczących BAT w odniesieniu do spalania odpadów innych niż niebezpieczne, z wyłączeniem osadów ściekowych i odpadów drzewnych stanowiących odpady niebezpieczne wyrażono w następujący sposób:

- efektywność elektryczna brutto w przypadku spalarni lub części spalarni wytwarzającej energię elektryczną z wykorzystaniem turbiny kondensacyjnej;
- efektywność energetyczna brutto w przypadku spalarni lub części spalarni, która:
 - wytwarza wyłącznie ciepło, lub
 - wytwarza energię elektryczną z wykorzystaniem turbiny przeciwprężnej oraz ciepło, przy czym para wodna opuszcza turbinę.

Poziomy te wyraża się w następujący sposób:

Efektywność elektryczna brutto	$\eta_e = (W_e/Q_{th}) \times (Q_b/(Q_b - Q_i))$
Efektywność energetyczna brutto	$\eta_h = (W_e + Q_{he} + Q_{de} + Q_i)/Q_{th}$

Gdzie:

- W_e : wygenerowana energia elektryczna, wyrażona w MW;
- Q_{he} : wygenerowana moc cieplna na wejściu do wymienników ciepła, w MW;
- Q_{de} : bezpośrednio wyeksportowana moc cieplna (w postaci pary lub gorącej wody) pomniejszona o moc cieplną strumienia (przepływu) powrotnego, w MW;
- Q_b : moc cieplna wyprodukowana przez kocioł, w MW;
- Q_i : moc cieplna (w postaci pary lub gorącej wody) na własny użytek (np. powtórne podgrzanie spalin), w MW;
- Q_{th} : moc cieplna jednostek przetwarzania termicznego (np. pieców), w tym odpadów i paliw pomocniczych, które są wykorzystywane w sposób ciągły (z wyłączeniem na przykład rozruchu), w MW_{th}, wyrażona jako wartość opałowa.

BAT-AEEL przedstawione w niniejszych konkluzjach dotyczących BAT w odniesieniu do spalania osadów ściekowych i odpadów niebezpiecznych innych niż odpady drzewne stanowiące odpady niebezpieczne wyrażono jako efektywność kotła.

BAT-AEEL są wyrażane w procentach.

Monitorowanie związane z BAT-AEEL zostało podane w BAT 2.

Zawartość niespalonych substancji w popiołach paleniskowych/żuźłach

Zawartość niespalonych substancji w żuźłach lub w popiołach paleniskowych wyraża się jako wartość procentową suchej masy – lub jako stratę przy prażeniu, lub jako m/m TOC.

5.1 Konkluzje dotyczące BAT

5.1.1 Systemy zarządzania środowiskowego (EMS)

BAT 1. W celu poprawy ogólnej efektywności środowiskowej, BAT ma na celu wdrożenie i przestrzeganie systemu zarządzania środowiskowego (EMS), który zawiera wszystkie poniższe cechy:

- i zaangażowanie, przywództwo i odpowiedzialność kierownictwa, łącznie z kierownictwem wyższego szczebla, za wdrożenie skutecznego EMS;
- ii analizę obejmującą określenie uwarunkowań organizacji, określenie potrzeb i oczekiwań zainteresowanych stron, określenie właściwości instalacji, które wiążą się z ewentualnymi zagrożeniami dla środowiska (lub zdrowia ludzkiego), jak również mających zastosowanie przepisów prawa dotyczących środowiska;
- iii opracowanie polityki środowiskowej, która obejmie ciągłą poprawę efektywności środowiskowej instalacji;
- iv ustanowienie celów i wskaźników efektywności w odniesieniu do istotnych aspektów środowiskowych, w tym zapewnienie zgodności z obowiązującymi wymogami prawnymi;
- v planowanie i wdrażanie niezbędnych procedur oraz działań (w tym, w razie potrzeby, działań korygujących i zapobiegawczych), aby osiągnąć cele środowiskowe a także uniknąć zagrożeń dla środowiska;
- vi określenie struktur, ról i obowiązków w odniesieniu do aspektów i celów środowiskowych oraz zapewnienie potrzebnych zasobów finansowych oraz ludzkich;
- vii zapewnienie niezbędnej wiedzy oraz umiejętności personelu, którego praca może mieć wpływ na efektywność środowiskową instalacji (np. poprzez dostarczenie informacji i przeprowadzanie szkoleń);
- viii wewnętrzną oraz zewnętrzną wymianę informacji;
- ix wspieranie rozwoju przez pracowników dobrych praktyk w zakresie zarządzania środowiskiem;
- x ustanowienie oraz aktualizowanie podręcznika zarządzania oraz pisemnych procedur kontroli działań mających znaczący wpływ na środowisko, jak również odpowiednich w nich zapisów;
- xi efektywne planowanie oraz kontrola procesów;
- xii wdrożenie odpowiednich programów konserwacji;
- xiii protokoły przygotowania i reagowania na sytuacje kryzysowe, w tym zapobieganie niekorzystnym skutkom (środowiskowym) sytuacji kryzysowych i/lub ich łagodzenie;
- xiv podczas (ponownego) projektowania (nowej) instalacji lub jej części, uwzględnienie wpływu projektu na środowisko w całym okresie eksploatacji, co obejmuje budowę, utrzymanie, eksploatację oraz likwidację (wycofanie z eksploatacji);
- xv wdrożenie programu monitorowania i pomiarów; w razie potrzeby informacje można znaleźć w sprawozdaniu referencyjnym na temat monitorowania emisji do powietrza i wody z instalacji IED;
- xvi regularne stosowanie sektorowej analizy porównawczej (*benchmarking*);
- xvii okresowe niezależne (na ile jest to możliwe) audyty wewnętrzne i zewnętrzne celem oceny wyników w zakresie ochrony środowiska oraz ustalenia, czy EMS jest zgodny z planowanymi rozwiązaniami i czy został prawidłowo wdrożony oraz jest utrzymywany;
- xviii ocena przyczyn niezgodności, wdrożenie działań naprawczych w odpowiedzi na niezgodności, przegląd skuteczności działań naprawczych oraz ustalenie, czy podobne niezgodności istnieją lub mogą potencjalnie wystąpić;
- xix okresowy przegląd, dokonywany przez kierownictwo wyższego szczebla, EMS i jego ciągłej przydatności, adekwatności oraz skuteczności;
- xx śledzenie i uwzględnianie rozwoju "czystszych" technik.

Szczególnie w przypadku spalarni i zakładów przetwarzania IBA, do EMS można również włączyć następujące elementy:

- xxi dla spalarni, zarządzanie strumieniem odpadów (zob. BAT 9);
- xxii dla zakładów przetwarzania popiołu paleniskowego, zarządzanie jakością produktu wyjściowego (zob. BAT 10);
- xxiii plan zarządzania pozostałościami, w tym środki do tego służące;
 - a. minimalizacja powstawania pozostałości;
 - b. optymalizacja ponownego wykorzystania, regeneracja, recykling i/lub odzysk energii z pozostałości;
 - c. pilnowanie poprawnego unieszkodliwieniapozostałości.
- xxiv plan zarządzania OTNOC dla spalarni (zob. BAT 18);
- xxv w przypadku spalarni - plan zarządzania wypadkami (zob. sekcja 5.2.4);
- xxvi dla zakładów przetwarzania popiołu paleniskowego, zarządzanie emisjami rozproszonymi pyłami (zob. BAT 23);
- xxvii plan zarządzania odorem, w którym przewiduje się lub uzasadniono uciążliwość zapachu dla tzw. obiektów wrażliwych (zob. sekcja 5.2.4);
- xxviii plan zarządzania hałasem (zob. także BAT 37), w którym przewiduje się lub uzasadniono uciążliwość hałasu dla tzw. obiektów wrażliwych (zob. sekcja 5.2.4).

Uwagi

W rozporządzeniu Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1221/2009 ustanowiono system ekozarządzania i audytu w Unii Europejskiej, który stanowi przykład systemu zarządzania środowiskowego spójnego z niniejszymi BAT.

Możliwość zastosowania

Poziom szczegółowości oraz stopień formalizacji systemu zarządzania środowiskowego będzie zasadniczo zależeć od charakteru, skali i złożoności instalacji oraz od zasięgu jej ewentualnego wpływu na środowisko (uwarunkowanego również rodzajem i ilością przetwarzanych odpadów).

5.1.2 Monitorowanie

BAT 2. W ramach BAT należy określić efektywność elektryczną brutto, efektywność energetyczną brutto albo efektywność kotła spalarni jako całości bądź efektywność wszystkich odpowiednich części spalarni.

Opis

W przypadku nowej spalarni lub po każdej modyfikacji istniejącej spalarni, która mogłaby znacząco wpłynąć na efektywność energetyczną, efektywność elektryczną brutto, efektywność energetyczną brutto lub efektywność kotła określa się, przeprowadzając badanie efektywności przy pełnym obciążeniu.

W przypadku istniejącej spalarni, w odniesieniu do której nie przeprowadzono badania efektywności, lub w przypadku gdy z przyczyn technicznych nie można przeprowadzić takiego badania przy pełnym obciążeniu, efektywność elektryczną brutto, efektywność energetyczną brutto lub efektywność kotła można określić, uwzględniając wartości projektowe w warunkach badania efektywności.

W przypadku badania efektywności nie jest dostępna norma EN dotycząca określania efektywności kotłów w spalarniach. W przypadku spalarni rusztowych można zastosować wytyczne FDBR RL 7.

BAT 3. W ramach BAT należy monitorować kluczowe parametry procesu mające zastosowanie w przypadku emisji do powietrza i wody, łącznie z tymi przedstawionymi poniżej.

Strumień/lokalizacja	Parametry	Monitorowanie
Spaliny ze spalania odpadów	Przepływ, zawartość tlenu, temperatura, ciśnienie, zawartość pary wodnej	Pomiar ciągły
Komora spalania	Temperatura	
Ścieki z mokrego FGC	Przepływ, pH, temperatura	
Ścieki z zakładów przetwarzania popiołów paleniskowych	Przepływ, pH, konduktywność (przewodność właściwa)	

BAT 4. W ramach BAT należy monitorować emisje zorganizowane do powietrza co najmniej z podaną poniżej częstotliwością i zgodnie z normami EN. Jeżeli normy EN nie są dostępne, w ramach BAT należy stosować normy ISO, normy krajowe lub inne międzynarodowe normy zapewniające uzyskanie danych o równoważnej jakości.

Substancja/ parametr	Proces	Norma ⁽¹⁾	Minimalna częstotliwość monitoringu ⁽²⁾	Monitorowanie powiązane z
NO _x	Spalanie odpadów	Ogólne normy EN	Pomiar ciągły	BAT 29
NH ₃	Spalanie odpadów w przypadku stosowania SNCR lub SCR	Ogólne normy EN	Pomiar ciągły	BAT 29
N ₂ O	<ul style="list-style-type: none"> • Spalanie odpadów w piecu ze złożem fluidalnym • Spalanie odpadów w przypadku stosowania SNCR z moczniakiem 	EN 21258 ⁽³⁾	Raz w roku	BAT 29
CO	Spalanie odpadów	Ogólne normy EN	Pomiar ciągły	BAT 29
SO ₂	Spalanie odpadów	Ogólne normy EN	Pomiar ciągły	BAT 27
HCl	Spalanie odpadów	Ogólne normy EN	Pomiar ciągły	BAT 27
HF	Spalanie odpadów	Ogólne normy EN	Pomiar ciągły ⁽⁴⁾	BAT 27
Pył	Przetwarzanie popiołu paleniskowego	EN 13284-1	Raz w roku	BAT 26
	Spalanie odpadów	Ogólne normy EN oraz EN 13284-2	Pomiar ciągły	BAT 25
Metale i metaloidy oprócz rtęci (As, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Tl, V)	Spalanie odpadów	EN 14385	Raz na 6 miesięcy	BAT 25
Hg	Spalanie odpadów	Ogólne normy EN oraz EN 14884	Pomiar ciągły ⁽⁵⁾	BAT 31
TVOC (całkowite LZO)	Spalanie odpadów	Ogólne normy EN	Pomiar ciągły	BAT 30
PBDD/F	Spalanie odpadów ⁽⁶⁾	Brak normy EN	Raz na 6 miesięcy	BAT 30
PCDD/F	Spalanie odpadów	EN 1948-1, EN 1948-2, EN 1948-3	Raz na sześć miesięcy w przypadku krótkoterminowego pobierania próbek	BAT 30

PCDD/F	Spalanie odpadów	Brak normy EN dla długoterminowego pobierania próbek EN 1948-2, EN 1948-3	Raz w miesiącu w przypadku długoterminowego pobierania próbek ⁽⁷⁾	BAT 30
Dioksynopodobne PCB	Spalanie odpadów	EN 1948-1, EN 1948-2, EN 1948-4	Co 6 miesięcy dla krótkoterminowego pobierania próbek ⁽⁸⁾	BAT 30
		Brak dostępnej normy EN dla długoterminowego pobierania próbek, EN 1948-2, EN 1948-4	Raz w miesiącu w przypadku długoterminowego pobierania próbek ⁽⁷⁾⁽⁸⁾	BAT 30
Benzo[a]piren	Spalanie odpadów	Brak normy EN	Raz w roku	BAT 30

(¹) Ogólne normy EN dla pomiarów ciągłych to EN 15267-1, EN 15267-2, EN 15267-3 i EN 14181. Normy EN do celów pomiarów okresowych są podane w tabeli lub w przypisach.

(²) Jeżeli chodzi o monitorowanie okresowe, częstotliwość monitorowania nie ma zastosowania w przypadku, gdy jedynym celem funkcjonowania zespołu urządzeń byłby pomiar emisji.

(³) W przypadku ciągłego monitorowania N₂O zastosowanie mają ogólne normy EN dla pomiarów ciągłych.

(⁴) Pomiar ciągły HF można ograniczyć do pomiarów okresowych przeprowadzanych co najmniej raz na sześć miesięcy, jeżeli poziomy emisji HCl okażą się wystarczająco stabilne. Brak normy EN dla pomiarów okresowych HF.

(⁵) W przypadku zespołów urządzeń spalających odpady o udowodnionej niskiej i stabilnej zawartości rtęci (np. pojedyncze strumienie odpadów o kontrolowanym składzie) ciągle monitorowanie emisji można zastąpić długoterminowym pobieraniem próbek (brak normy EN dla długoterminowego pobierania próbek Hg) lub pomiarami okresowymi przeprowadzanymi co najmniej raz na sześć miesięcy. W tym ostatnim przypadku odpowiednią normą jest norma EN 13211.

(⁶) Monitorowanie ma zastosowanie wyłącznie do spalania odpadów zawierających bromowane środki zmniejszające palność lub do zakładów stosujących BAT 31 d z ciągłym wtryskiem bromu.

(⁷) Monitorowanie nie ma zastosowania, jeżeli poziomy emisji okażą się wystarczająco stabilne.

(⁸) Monitorowanie nie ma zastosowania w przypadku, gdy emisje dioksynopodobnych PCB okażą się mniejsze niż 0.01 ng WHO-TEQ/Nm³.

BAT 5. W ramach BAT należy odpowiednio monitorować emisje zorganizowane do powietrza ze spalarni w warunkach innych niż normalne warunki eksploatacji.

Opis

Monitorowanie może być przeprowadzone na podstawie bezpośredniego pomiaru emisji (np. zanieczyszczeń monitorowanych w sposób ciągły) lub poprzez monitorowanie parametrów zastępczych, jeżeli ma ono równoważną lub lepszą jakość niż bezpośredni pomiar emisji. Emisje podczas rozruchu i wyłączenia, podczas gdy żadne odpady nie są spalane, w tym emisje PCDD/F, szacuje się na podstawie kampanii pomiarowych przeprowadzanych na przykład co trzy lata podczas planowanego rozruchu/wyłączenia.

BAT 6. W ramach BAT należy monitorować emisje do wody z oczyszczania spalin (FGC) lub z obróbki popiołów paleniskowych co najmniej z podaną poniżej częstotliwością i zgodnie z normami EN. Jeżeli normy EN nie są dostępne, w ramach BAT należy stosować normy ISO, normy krajowe lub inne międzynarodowe normy zapewniające uzyskanie danych o równoważnej jakości naukowej.

Substancja/ parametr	Proces	Norma	Minimalna częstotliwość monitorowania	Monitorowanie powiązane z
Ogólny węgiel organiczny (TOC, OWO)	FGC	EN 1484	Raz w miesiącu	BAT 34
	Przetwarzanie popiołu paleniskowego		Raz w miesiącu ⁽¹⁾	
Zawiesina ogólna (TSS)	FGC	EN 872	Raz na dobę ⁽²⁾	
	Przetwarzanie popiołu paleniskowego		Raz w miesiącu ⁽¹⁾	
As	FGC	Dostępne są różne normy EN (np. EN ISO 11885, EN ISO 15586 lub EN ISO 17294-2)	Raz w miesiącu	
Cd	FGC			
Cr	FGC			
Cu	FGC			
Mo	FGC			
Ni	FGC			
Pb	FGC		Raz w miesiącu	
	Przetwarzanie popiołu paleniskowego		Raz w miesiącu ⁽¹⁾	
Sb	FGC	Raz w miesiącu		
Tl	FGC			
Zn	FGC			
Hg	FGC	Dostępne są różne normy EN (np. EN ISO 12846 lub EN ISO 17852)	Raz w miesiącu	
Azot amonowy (NH ₄ -N)	Przetwarzanie popiołu paleniskowego	Dostępne są różne normy EN (np. EN ISO 11732, EN ISO 14911)	Raz w miesiącu ⁽¹⁾	
Chloride (Cl ⁻)	Przetwarzanie popiołu paleniskowego	Dostępne są różne normy EN (np. EN ISO 10304-1, EN ISO 15682)		
Sulphate (SO ₄ ²⁻)	Przetwarzanie popiołu paleniskowego	EN ISO 10304-1		
PCDD/F	FGC	Brak dostępnej normy EN	Raz w miesiącu ⁽¹⁾	
	Przetwarzanie popiołu paleniskowego		Raz na 6 miesięcy	
<p>⁽¹⁾ (1) Minimalną częstotliwość monitorowania można ograniczyć do monitorowania raz na sześć miesięcy, jeżeli poziomy emisji okażą się wystarczająco stabilne.</p> <p>⁽²⁾ (2) Dobowe pomiary z 24-godzinnych próbek złożonych proporcjonalnych do przepływu można zastąpić dobowymi pomiarami z próbek chwilowych.</p>				

BAT 7. W ramach BAT należy monitorować zawartość niespalonych substancji w żużlach oraz w popiołach paleniskowych w spalarni co najmniej z podaną poniżej częstotliwością i zgodnie z normami EN.

Parametr	Norma	Minimalna częstotliwość monitorowania	Monitorowanie powiązane z
Straty przy prażeniu ⁽¹⁾	EN 14899 oraz EN 15169 albo EN 15935	Raz na 3 miesiące	BAT 14
Ogólny węgiel organiczny ⁽¹⁾ ⁽²⁾	EN 14899 oraz EN 13137 albo EN 15936		
⁽¹⁾ (1) Monitoruje się stratę przy prażeniu albo ogólny węgiel organiczny.			
⁽²⁾ (2) Od wyniku pomiaru można odjąć węgiel elementarny (np. określony zgodnie z DIN 19539).			

BAT 8. W przypadku spalania odpadów niebezpiecznych zawierających POP (TZO), w ramach BAT należy określić zawartość POP w strumieniach wyjściowych (np. w żużlach i popiołach paleniskowych, spalinach, ściekach) po oddaniu spalarni do użytkowania oraz po każdej zmianie, która może znacząco wpłynąć na zawartość POP w strumieniach wyjściowych.

Opis

Zawartość POP w strumieniach wyjściowych określa się na podstawie bezpośrednich pomiarów lub metod pośrednich (np. skumulowaną ilość POP w popiołach lotnych, suchych pozostałościach z oczyszczania spalin, ściekach z oczyszczania spalin i w związanych z nimi osadach ściekowych można określić poprzez monitorowanie zawartości POP w spalinach przed systemem oczyszczania spalin i po nim) lub na podstawie badań reprezentatywnych danego zespołu urządzeń.

Zastosowanie

Zastosowanie tylko w przypadku zespołu urządzeń:

- w którym spalane są odpady niebezpieczne o zawartości POP przekraczającej przed spaleniem wartości stężeń (koncentracji) określone w załączniku IV do rozporządzenia (WE) nr 850/2004 Parlamentu Europejskiego i Rady ze zmianami; oraz
- które nie spełniają specyfikacji dotyczących opisu procesu zawartych w rozdziale IV sekcja G pkt 2 lit. g) wytycznych technicznych UNEP/CHW.13/6/Add.1/Rev.1.

5.1.3 Ogólna efektywność środowiskowa oraz efektywność spalania

BAT 9. Aby poprawić ogólną efektywność środowiskową spalarni poprzez zarządzanie strumieniem odpadów (zob. BAT 1), w ramach BAT należy stosować wszystkie wymienione poniżej techniki a)–c) oraz, w stosownych przypadkach, również techniki d), e) i f).

	Technika	Opis
a.	Określenie rodzajów odpadów, które można spalać	Na podstawie charakterystyki spalarni, identyfikacji rodzajów odpadów, które można spalać, na przykład biorąc pod uwagę stan skupienia, właściwości chemiczne, niebezpieczne właściwości i dopuszczalne zakresy wartości opałowej, wilgotność, zawartość popiołu i wielkość.
b.	Opracowanie i wdrożenie procedur określania charakterystyki odpadów i procedur poprzedzających ich przyjęcie	Procedury te mają na celu zapewnienie technicznej (i prawnej) przydatności operacji przetwarzania odpadów dla poszczególnych odpadów przed ich przybyciem do danego zespołu urządzeń. Obejmują one procedury gromadzenia informacji o odpadach dostarczonych do przetworzenia i mogą obejmować pobieranie próbek i charakterystykę odpadów w celu uzyskania wystarczającej wiedzy na temat składu odpadów. Procedury poprzedzające przyjęcie odpadów są oparte na ocenie ryzyka, przy uwzględnieniu np. niebezpiecznych właściwości odpadów, ryzyka stwarzanego przez odpady pod względem bezpieczeństwa procesowego, bezpieczeństwa pracy i wpływu na środowisko, a także informacji dostarczonych przez poprzednich posiadaczy odpadów.
c.	Opracowanie i wdrożenie procedur przyjęcia odpadów	Procedury przyjęcia mają na celu potwierdzenie charakterystyki odpadów określonej na etapie poprzedzającym przyjęcie. Procedury te umożliwiają określenie elementów, które należy zweryfikować przy przybyciu odpadów do danego zespołu urządzeń, a także kryteriów przyjęcia i odmowy przyjęcia odpadów. Procedury te mogą obejmować pobieranie próbek, inspekcję i analizę odpadów. Procedury przyjęcia odpadów są oparte na ocenie ryzyka, przy uwzględnieniu np. niebezpiecznych właściwości odpadów, ryzyka stwarzanego przez odpady pod względem bezpieczeństwa procesowego, bezpieczeństwa pracy i wpływu na środowisko, a także informacji dostarczonych przez poprzednich posiadaczy odpadów. Elementy, które należy monitorować w odniesieniu do każdego rodzaju odpadów, przedstawiono w BAT 11.
d.	Opracowanie i wdrożenie systemu śledzenia oraz ewidencjonowania odpadów	System śledzenia oraz ewidencjonowania odpadów mają na celu określenie lokalizacji i ilości odpadów w danym zespole urządzeń. Ewidencja ta zawiera wszystkie informacje uzyskane w czasie stosowania procedur poprzedzających przyjęcie odpadów (np. data przybycia do obiektu i niepowtarzalny numer referencyjny odpadów, informacje o poprzednich posiadaczach odpadów, wyniki analizy poprzedzającej przyjęcie oraz analizy przyjęcia, rodzaj i ilość odpadów magazynowanych w obiekcie, w tym wszystkie zidentyfikowane zagrożenia), przyjęcia, magazynowania, przetwarzania lub przenoszenia poza obiekt. System śledzenia odpadów jest oparty na ocenie ryzyka, przy uwzględnieniu np. niebezpiecznych właściwości odpadów, ryzyka stwarzanego przez odpady pod względem bezpieczeństwa procesowego, bezpieczeństwa pracy i wpływu na środowisko, a także informacji dostarczonych przez poprzednich posiadaczy odpadów. System śledzenia odpadów obejmuje wyraźne oznakowanie odpadów magazynowanych w miejscach innych niż bunkier na odpady lub zbiornik do magazynowania osadów ściekowych (np. odpadów w pojemnikach, bębnach, belach lub innych formach opakowania), dzięki czemu można je w każdej chwili zidentyfikować.
e.	Segregacja odpadów	Odpady są magazynowane selektywnie, w zależności od ich właściwości, aby umożliwić łatwiejsze i bezpieczniejsze dla środowiska magazynowanie i spalanie. Segregacja odpadów polega na fizycznym oddzieleniu różnych odpadów oraz na procedurach umożliwiających określenie czasu i miejsca magazynowania odpadów.
f.	Weryfikacja zgodności odpadów przed zmieszaniem lub połączeniem odpadów niebezpiecznych	Zgodność zapewnia się dzięki zestawowi środków weryfikacyjnych i testów w celu wykrycia wszelkich niepożądanych lub potencjalnie niebezpiecznych reakcji chemicznych (np. polimeryzacji, powstawania gazu, reakcji egzotermicznej, rozkładu) między odpadami podczas mieszania lub łączenia. Testy zgodności są oparte na ocenie ryzyka, przy uwzględnieniu np. niebezpiecznych właściwości odpadów, ryzyka stwarzanego pod względem bezpieczeństwa procesowego, bezpieczeństwa pracy i skutków dla środowiska, a także informacji dostarczanych przez poprzednich posiadaczy odpadów.

BAT 10. Aby poprawić ogólną efektywność środowiskową zakładu zajmującego się obróbką popiołów paleniskowych, w ramach BAT należy w systemie zarządzania środowiskowego uwzględnić funkcje zarządzania jakością odpadów z przetworzenia (zob. BAT 1).

Opis

W systemie zarządzania środowiskowego uwzględniono funkcje zarządzania jakością odpadów z przetworzenia, aby zapewnić zgodność odpadów z przetworzenia uzyskanych w wyniku obróbki popiołów paleniskowych z oczekiwaniami na podstawie norm EN (o ile są dostępne). System zarządzania pozwala również monitorować i optymalizować efektywność obróbki popiołów paleniskowych.

BAT 11. Aby poprawić ogólną efektywność środowiskową spalarni, w ramach BAT należy monitorować dostawy odpadów jako część procedur przyjęcia odpadów (zob. BAT 9 c), w tym – w zależności od ryzyka stwarzanego przez dostarczane odpady – przedstawione poniżej elementy.

Rodzaj odpadów	Monitorowanie dostaw odpadów
Stałe odpady komunalne oraz pozostałe odpady inne niż niebezpieczne	<ul style="list-style-type: none"> • Wykrywanie promieniotwórczości • Ważenie dostaw odpadów • Kontrola wzrokowa • Okresowe pobieranie próbek dostaw odpadów i analiza kluczowych właściwości/substancji (np. wartości opałowej, zawartości halogenów i metali/metaloidów). W przypadku stałych odpadów komunalnych wiąże się to z oddzielnym rozładunkiem.
Osady ściekowe	<ul style="list-style-type: none"> • Ważenie dostaw odpadów (lub pomiar przepływu, jeżeli osady ściekowe dostarcza rurociąg) • Kontrola wzrokowa – w miarę możliwości technicznych • Okresowe pobieranie próbek i analiza kluczowych właściwości/substancji (np. wartości opałowej, zawartości wody, popiołu i rtęci)
Odpady niebezpieczne inne niż odpady medyczne	<ul style="list-style-type: none"> • Wykrywanie promieniotwórczości • Ważenie dostaw odpadów • Kontrola wzrokowa – w miarę możliwości technicznych • Kontrola i porównanie poszczególnych dostaw odpadów z oświadczeniem wytwórcy odpadów • Pobieranie próbek; <ul style="list-style-type: none"> ○ z wszystkich cystern oraz przyczep, ○ odpadów opakowanych (np. w beczkach, zbiornikach IBC lub mniejszych opakowaniach), oraz analiza: <ul style="list-style-type: none"> ○ parametrów spalania (w tym wartości opałowej i punktu zapłonu), ○ zgodności odpadów w celu wykrycia możliwych niebezpiecznych reakcji po połączeniu odpadów lub ich zmieszaniu przed magazynowaniem (BAT 9 f), ○ kluczowych substancji, w tym POP, halogenów, siarki, metali/metaloidów
Odpady medyczne	<ul style="list-style-type: none"> • Wykrywanie promieniotwórczości • Wykrywanie promieniotwórczości • Kontrola wzrokowa szczelności opakowania

BAT 12. Aby ograniczyć ryzyko środowiskowe związane z przyjmowaniem, magazynowaniem odpadów oraz postępowaniem z nimi, w ramach BAT należy stosować wszystkie poniższe techniki.

	Technika	Opis
a.	Powierzchnie nieprzepuszczalne z odpowiednią infrastrukturą odwadniającą	W zależności od ryzyka, jakie stwarzają odpady pod względem zanieczyszczenia gleby lub wody, powierzchnia obszaru przyjmowania odpadów, postępowania z nimi oraz ich magazynowania jest nieprzepuszczalna dla określonych cieczy i wyposażona w odpowiednią infrastrukturę odwadniającą (zob. BAT 32). Integralność tej powierzchni jest okresowo weryfikowana, o ile jest to technicznie możliwe.
b.	Odpowiednia pojemność magazynowa dla odpadów	Wdrażane są środki w celu uniknięcia nagromadzenia odpadów, takie jak: <ul style="list-style-type: none"> • wyraźnie ustalona i nieprzekraczana maksymalna pojemność magazynowania odpadów, z uwzględnieniem charakterystyki odpadów (np. w odniesieniu do ryzyka pożaru) i zdolności przetwarzania; • ilość magazynowanych odpadów jest regularnie monitorowana pod kątem maksymalnej dopuszczalnej pojemności magazynowania; • w przypadku odpadów, które nie są mieszane podczas magazynowania (np. odpady medyczne, odpady opakowane) jednoznacznie określony jest maksymalny czas ich przebywania .

BAT 13. Aby ograniczyć ryzyko środowiskowe związane z magazynowaniem odpadów medycznych i postępowaniem z nimi, w ramach BAT należy zastosować kombinację poniższych technik.

	Technika	Opis
a.	Zautomatyzowane lub na wpeł zautomatyzowane postępowanie z odpadami	Odpady medyczne są wyladowywane z samochodów ciężarowych na obszary magazynowania za pomocą zautomatyzowanego lub ręcznego systemu w zależności od ryzyka, jakie stwarza ta operacja. Odpady medyczne z obszaru magazynowania są wprowadzane do pieca za pomocą zautomatyzowanego systemu podawania.
b.	Spalanie jednorazowych szczelnych pojemników, jeżeli są wykorzystywane	Odpady medyczne są dostarczane w szczelnie zamkniętych i wytrzymałych palnych pojemnikach, które nie są otwierane podczas działań związanych z magazynowaniem odpadów i postępowaniem z nimi. Pojemniki, w których dostarczane są do unieszkodliwiania igły i ostre przedmioty, powinny być również odporne na przebicie.
c.	Czyszczenie i dezynfekcja pojemników wielokrotnego użytku, jeżeli są wykorzystywane	Pojemniki wielokrotnego użytku na odpady czyści się w wyznaczonych miejscach i dezynfekuje w obiektach specjalnie przeznaczonych do dezynfekcji. Wszelkie pozostałości po czyszczeniu są spalane.

BAT 14. Aby poprawić ogólną efektywność środowiskową spalania odpadów, zmniejszyć zawartość niespalonych substancji w żużlach i popiołach paleniskowych oraz ograniczyć emisje do powietrza ze spalania odpadów, w ramach BAT należy zastosować odpowiednią kombinację poniższych technik.

	Technika	Opis	Zastosowanie
a.	Łączenie i mieszanie odpadów	<p>Łączenie i mieszanie odpadów przed spalaniem obejmuje na przykład następujące działania:</p> <ul style="list-style-type: none"> • mieszanie za pomocą chwytaka w bunkrze; • stosowanie systemu wyrównywania wsadu; • łączenie kompatybilnych płynów oraz odpadów półpłynnych. <p>W niektórych przypadkach przed zmieszaniem odpady stałe są rozdrabniane.</p>	<p>Nie ma zastosowania w przypadkach, gdy ze względu na kwestie bezpieczeństwa lub właściwości odpadów (np. zakaźne odpady medyczne, odpady wydzielające odór lub odpady, które mogą wydzielać substancje lotne) wymagany jest bezpośredni załadunek pieca. Nie ma zastosowania w przypadkach, gdy między różnymi rodzajami odpadów mogą zajść niepożądane reakcje (zob. BAT 9 f).</p>
b.	Zaawansowany system kontroli	Zob. sekcja 5.2.1	Ogólnie stosowana.
c.	Optymalizacja procesu spalania	Zob. sekcja 5.2.1	Optymalizacja konstrukcji nie ma zastosowania w przypadku istniejących pieców.

Tabela 5.1 Związane z BAT poziomy efektywności środowiskowej dla niespalonych substancji w żużlach i popiołach paleniskowych pochodzących ze spalania odpadów.

Parametr	Unit	BAT-AEPL
Zawartość TOC (OWO) w żużlach i popiołach paleniskowych ⁽¹⁾	% suchych wagowo	1–3 ⁽²⁾
Strata przy prażeniu żużli i popiołów paleniskowych ⁽¹⁾	% suchych wagowo	1–5 ⁽²⁾
⁽¹⁾ Zastosowanie ma BAT-AEPL w odniesieniu do zawartości OWO albo BAT-AEPL w odniesieniu do straty przy prażeniu.		
⁽²⁾ Dolną granicę zakresu BAT-AEPL można osiągnąć przy zastosowaniu pieców ze złożem fluidalnym lub pieców obrotowych w trybie żużlowania .		

Powiązane monitorowanie określono w BAT 7.

BAT 15. Aby poprawić ogólną efektywność środowiskową spalarni i ograniczyć emisje do powietrza, w ramach BAT należy opracować i wdrożyć procedury regulacji ustawień spalarni, np. poprzez zaawansowany system kontroli (zob. opis w sekcji 2.1), w miarę potrzeb i możliwości, na podstawie charakterystyki i kontroli odpadów (zob. BAT 11).

BAT 16. Aby poprawić ogólną efektywność środowiskową spalarni i ograniczyć emisje do powietrza, w ramach BAT należy opracować i wdrożyć procedury eksploatacyjne (np. organizację łańcucha dostaw, zastosowanie systemu załadunku ciągłego zamiast wsadowego) w celu ograniczenia w miarę możliwości liczby rozruchów i wyłączeń.

BAT 17. Aby ograniczyć emisje ze spalarni do powietrza oraz, w stosownych przypadkach, do wody, w ramach BAT należy zapewnić, aby system oczyszczania spalin oraz oczyszczalnia ścieków były odpowiednio zaprojektowane (np. z uwzględnieniem maksymalnego natężenia przepływu i stężeń zanieczyszczeń), eksploatowane w zaprojektowanym zakresie oraz utrzymywane, tak aby zapewnić optymalną dostępność.

BAT 18. Aby ograniczyć częstość występowania warunków innych niż normalne warunki użytkowania (OTNOC) oraz emisje ze spalarni do powietrza oraz, w stosownych przypadkach, do wody, w warunkach OTNOC, w ramach BAT należy opracować i wdrożyć oparty na ocenie ryzyka plan zarządzania w warunkach OTNOC będący częścią systemu zarządzania środowiskowego (zob. BAT 1), który obejmuje wszystkie następujące elementy:

- identyfikację potencjalnych OTNOC (np. awaria urządzeń o krytycznym znaczeniu dla ochrony środowiska („urządzenia o krytycznym znaczeniu”)), ich przyczyn i potencjalnych konsekwencji oraz regularny przegląd i aktualizację wykazu zidentyfikowanych warunków innych niż normalne warunki eksploatacji po przeprowadzeniu poniższej oceny okresowej;
- odpowiednie zaprojektowanie urządzeń o krytycznym znaczeniu (np. podział filtra workowego, techniki podgrzewania spalin, eliminacja potrzeby pominięcia filtra workowego podczas rozruchu i wyłączenia itp.);
- opracowanie i wdrożenie zapobiegawczego planu utrzymania dla urządzeń o kluczowym znaczeniu (zob. BAT 1 xii);
- monitorowanie i rejestrowanie emisji w warunkach OTNOC i związanych z nimi okoliczności (zob. BAT 5);
- okresowa ocena emisji w warunkach OTNOC (np. częstość występowania zdarzeń, czas ich trwania, ilość wyemitowanych zanieczyszczeń) oraz, w stosownych przypadkach, wdrażanie działań naprawczych

5.1.4 Efektywność energetyczna

BAT 19. Aby zwiększyć efektywność gospodarowania zasobami w spalarniach, w ramach BAT należy wykorzystać kocioł odzyskujący.

Opis

Energię zawartą w spalinach odzyskuje się w kotle odzyskującym, w którym podgrzewana jest woda oraz produkowana para, które mogą być wysyłane na zewnątrz, wykorzystywane wewnętrznie lub mogą służyć do wytwarzania energii elektrycznej.

Zastosowanie

W przypadku zespołów urządzeń, w których spalane są odpady niebezpieczne, możliwość zastosowania może być ograniczona ze względu na:

- lepkość popiołów lotnych,
- działanie korozyjne spalin.

BAT 20. Aby zwiększyć efektywność energetyczną spalarni, w ramach BAT należy wykorzystać odpowiednią kombinację poniższych technik.

	Technika	Opis	Zastosowanie
a.	Suszenie osadów ściekowych	Po mechanicznym odwodnieniu przed podaniem do pieca osady ściekowe są dalej suszone z wykorzystaniem na przykład ciepła niskotemperaturowego. To, w jakim stopniu osady mogą być wysuszone, zależy od systemu podawania odpadów do pieca.	Zastosowanie z zastrzeżeniem ograniczeń związanych z dostępnością ciepła niskotemperaturowego.
b.	Zmniejszenie natężenia przepływu spalin	Natężenie przepływu spalin można zmniejszyć np. poprzez: <ul style="list-style-type: none"> poprawę dystrybucji dostarczanego do paleniska powietrza podczas spalania pierwotnego i wtórego (dopalania); recyrkulację spalin (zob. sekcja 5.2.2). Niższe natężenie przepływu spalin zmniejsza zapotrzebowanie na energię spalarni (np. dla wentylatorów wyciągowych).	W przypadku istniejących zespołów urządzeń możliwości zastosowania recyrkulacji spalin mogą być ograniczone ze względu na utrudnienia techniczne (np. ładunek zanieczyszczeń w spalinach, warunki spalania).
c.	Minimalizacja strat ciepła	Straty ciepła minimalizuje się np. poprzez: <ul style="list-style-type: none"> wykorzystanie kotłów paleniskowych, co umożliwia odzyskiwanie ciepła również z boków pieca; izolację cieplną pieców i kotłów; recyrkulację spalin (zob. sekcja 5.2.2); odzysk ciepła z chłodzenia żużła oraz popiołów paleniskowych (zob. BAT 20 i). 	Kotłów paleniskowych (kocioł zintegrowany z piecem) nie stosuje się w przypadku pieców obrotowych lub innych pieców przeznaczonych do spalania odpadów niebezpiecznych w wysokiej temperaturze.
d.	Optymalizacja konstrukcji kotła	Transfer ciepła w kotle można poprawić poprzez optymalizację np.: <ul style="list-style-type: none"> prędkości przepływu i rozkładu spalin, cyrkulacji wody/pary; wiązek konwekcyjnych; technik czyszczenia wyłączzonego i pracującego kotła w celu zminimalizowania zanieczyszczenia wiązek konwekcyjnych. 	Technika ta ma zastosowanie do nowych zespołów urządzeń i znaczących modernizacji istniejących zespołów urządzeń.
e.	Niskotemperaturowe wymienniki ciepła	Aby odzyskać dodatkową energię ze spalin na wylocie kotła, po elektrofiltrze lub po systemie wtrysku suchego sorbentu, stosowane są specjalne odporne na korozję wymienniki ciepła.	Zastosowanie z zastrzeżeniem ograniczeń związanych z roboczym profilem temperaturowym systemu oczyszczania spalin (FGC). W przypadku istniejących zespołów urządzeń możliwość zastosowania może być ograniczona ze względu na brak miejsca.
f.	Wysokie parametry pary	Im wyższe są parametry pary (temperatura i ciśnienie), tym wyższa jest efektywność przetwarzania energii, na jaką pozwala obieg parowy. Praca przy wysokich parametrach pary (np. powyżej 45 barów, 400 °C) wymaga zastosowania specjalnych stopów stali lub okładziny ogniotrwałej, aby chronić części kotła poddawane działaniu najwyższych temperatur.	Technika ta ma zastosowanie do nowych zespołów urządzeń i znaczących modernizacji istniejących zespołów urządzeń, które są nastawione głównie na wytwarzanie energii elektrycznej. Możliwość zastosowania tej techniki może być ograniczona ze względu na: <ul style="list-style-type: none"> lepkość popiołów lotnych; działanie korozyjne spalin.

g.	Kogeneracja	Kogeneracja ciepła i energii elektrycznej, w przypadkach gdy ciepło (pochodzące głównie z pary opuszczającej turbinę) jest wykorzystywane do wytwarzania gorącej wody/pary stosowanej w procesach/działaniach przemysłowych lub w lokalnej sieci ogrzewania/chłodzenia.	Zastosowanie z zastrzeżeniem ograniczeń związanych z lokalnym zapotrzebowaniem na ciepło i energię lub dostępnością sieci.
h.	Kondensator spalin	Wymiennik ciepła lub płuczka z wymiennikiem ciepła, gdzie para wodna ze spalin kondensuje się i przekazuje ciepło utajone wodzie o wystarczająco niskiej temperaturze (np. strumień powrotny lokalnej sieci ogrzewania). Kondensator spalin zapewnia również dodatkowe korzyści w postaci redukcji emisji do powietrza (np. pyłu i gazów kwaśnych). Zastosowanie pomp ciepła może zwiększyć ilość energii odzyskanej z kondensacji spalin.	Zastosowanie z zastrzeżeniem ograniczeń związanych z zapotrzebowaniem na ciepło niskotemperaturowe, np. ze względu na dostępność sieci ciepłowniczej o wystarczająco niskiej temperaturze powrotu.
i.	Postępowanie z osuszonym popiołem paleniskowym	Suchy, gorący popiół paleniskowy wypada z rusztu na system transportujący i jest schładzany przez powietrze. Energię odzyskuje się poprzez wykorzystanie chłodzącego powietrza do spalania.	Możliwość zastosowania wyłącznie do pieców rusztowych. Mogą istnieć ograniczenia techniczne uniemożliwiające modernizację w istniejących piecach.

Tabela 5.2 Związane z BAT poziomy efektywności energetycznej (BAT-AEELs) dla spalania odpadów

BAT-AEEL (%)				
Zakład (zespół urządzeń)	Stale odpady komunalne, pozostałe odpady inne niż niebezpieczne oraz odpady drzewne stanowiące odpady niebezpieczne		Odpady niebezpieczne inne niż niebezpieczne odpady drzewne ⁽¹⁾	Osady ściekowe
	Efektywność elektryczna brutto ⁽²⁾ ⁽³⁾	Efektywność energetyczna brutto ⁽⁴⁾	Efektywność kotła	
Nowy zakład	25–35	72–91 ⁽⁵⁾	60–80	60–70 ⁽⁶⁾
Istniejący zakład	20–35			

⁽¹⁾ BAT-AEEL ma zastosowanie wyłącznie w przypadku wykorzystania kotła odzyskującego.
⁽²⁾ BAT-AEEL w przypadku efektywności elektrycznej brutto ma zastosowanie do zespołów urządzeń lub części zespołów urządzeń wytwarzających energię elektryczną przy użyciu turbin kondensacyjnych.
⁽³⁾ Górną granicę zakresu BAT-AEEL można osiągnąć przy zastosowaniu BAT 20 f.
⁽⁴⁾ BAT-AEELs w przypadku efektywności energetycznej brutto ma zastosowanie do zespołów urządzeń lub części zespołów urządzeń wytwarzających wyłącznie ciepło lub energię elektryczną przy użyciu turbin przeciwprężnych oraz ciepło z wykorzystaniem pary opuszczającej turbinę.
⁽⁵⁾ Efektywność energetyczną brutto przekraczającą górną granicę zakresu BAT-AEEL (nawet powyżej 100 %) można osiągnąć, jeżeli wykorzystywany jest kondensator spalin.
⁽⁶⁾ W przypadku spalania osadów ściekowych efektywność kotła w dużym stopniu zależy od zawartości wody w osadach ściekowych podawanych do pieca.

Powiązane monitorowanie określono w BAT 2.

5.1.5 Emisje do powietrza

5.1.5.1 Emisje rozproszone

BAT 21. Aby zapobiec emisjom rozproszonym, w tym emisjom wydzielającym odór, ze spalarni, lub je ograniczyć, w ramach BAT należy:

- magazynować stałe i półpłynne odpady, które wydzielają odór lub mogą uwalniać substancje lotne, w budynkach zamkniętych w warunkach kontrolowanego podciśnienia oraz wykorzystywać odciągane z nich powietrze do spalania lub kierować je do innego odpowiedniego systemu redukcji emisji w przypadku ryzyka wybuchu;
- magazynować odpady płynne w zbiornikach pod odpowiednim ciśnieniem i połączyć kanałami zawory zbiornika z systemem doprowadzania powietrza do spalania lub innym odpowiednim systemem redukcji emisji;
- kontrolować ryzyko emisji odorów podczas okresów całkowitego wyłączenia, gdy nie jest dostępna przepustowość spalania, np. poprzez:
 - kierowanie odprowadzanego kanałami lub odciąganego powietrza do alternatywnego systemu redukcji emisji, takiego jak płuczka gazowa mokra lub stałe złożo adsorpcyjne,
 - zminimalizowanie ilości magazynowanych odpadów, np. poprzez przerywanie, ograniczanie lub przekierowywanie dostaw odpadów w ramach gospodarowania strumieniami odpadów (zob. BAT 9),
 - magazynowanie odpadów w prawidłowo uszczelnionych belach.

BAT 22. Aby zapobiec emisjom rozproszonym substancji lotnych wynikającym z postępowania z odpadami gazowymi i płynnymi, które wydzielają odory lub mogą uwalniać substancje lotne w spalarniach, w ramach BAT należy wprowadzić te odpady do pieca za pomocą bezpośredniego załadunku.

Opis

W przypadku odpadów gazowych i płynnych dostarczanych w pojemnikach do przewozu odpadów (np. w cysternach) bezpośredni załadunek polega na połączeniu pojemnika z linią podawania odpadów do pieca. Pojemnik ten jest następnie opróżniany za pomocą azotu pod ciśnieniem lub, jeżeli lepkość jest wystarczająco niska, poprzez wpompowanie cieczy.

W przypadku odpadów gazowych i płynnych dostarczanych w pojemnikach na odpady nadających się do spalania (np. w beczkach) bezpośredni załadunek polega na wprowadzeniu pojemników bezpośrednio do pieca.

Zastosowanie

Techniki tej nie można stosować w przypadku spalania osadów ściekowych w zależności od np. zawartości wody oraz konieczności wstępnego suszenia lub mieszania z innymi odpadami.

BAT 23. Aby zapobiec rozproszonej emisji pyłu do powietrza pochodzącej z obróbki żużli i popiołów paleniskowych, lub ją ograniczyć, w ramach BAT w systemie zarządzania środowiskowego (zob. BAT 1) należy uwzględnić następujące elementy związane z rozproszoną emisją pyłu:

- identyfikację najbardziej odpowiednich źródeł rozproszonej emisji pyłu (np. z wykorzystaniem EN 15445);
- określenie i wdrożenie odpowiednich działań i technik w celu zapobiegania emisjom rozproszonym lub redukcji ich przez określony czas.

BAT 24. Aby zapobiec rozproszonej emisji pyłu do powietrza pochodzącej z obróbki żużli i popiołów paleniskowych, lub ją ograniczyć, w ramach BAT należy zastosować odpowiednią kombinację poniższych technik.

	Technika	Opis	Zastosowanie
a.	Zamykanie lub zabudowanie urządzeń	Zamknięcie lub obudowanie potencjalnie pyłących operacji (takich jak mielenie lub przesiewanie) i/lub przykrywanie przenośników i podnośników. Za obudowanie można również uznać zainstalowanie wszystkich urządzeń w zamkniętym budynku.	Zainstalowanie urządzeń w zamkniętym budynku może nie mieć zastosowania do urządzeń mobilnych.
b.	Ograniczenie wysokości zrzutu	Dopasowanie wysokości zrzutu do zróżnicowanej wysokości magazynów, w miarę możliwości automatycznie (np. taśmociągi o regulowanej wysokości).	Do powszechnego stosowania
c.	Ochrona pryzm przed podmuchami wiatru z przeważającego kierunku	Ochrona obszarów magazynowania luzem lub pryzm za pomocą przykryć lub barier wiatrowych, ścian osłonowych lub pasa zieleni, jak również poprzez właściwe usytuowanie pryzm względem przeważającego kierunku wiatru.	Do powszechnego stosowania
d.	Stosowanie systemów zraszających	Instalacja systemów natrysków wodnych przy głównych źródłach rozproszonej emisji pyłu. Zwilżenie cząstek pyłu wspomaga ich zlepianie się i osadzanie się pyłu. Rozproszone emisje pyłu w pryzmach redukuje się poprzez zapewnienie odpowiedniej wilgotności punktów wprowadzania i odprowadzania odpadów oraz samych pryzm.	Do powszechnego stosowania
e.	Optymalizacja zawartości wilgoci	Optymalizacja zawartości wilgoci w żużlach lub popiołach paleniskowych do poziomu wymaganego do skutecznego odzyskiwania metali i materiałów mineralnych przy jednoczesnym zminimalizowaniu uwalniania pyłu.	Do powszechnego stosowania
f.	Działanie w warunkach podciśnienia	Obróbka żużli i popiołów paleniskowych w zamkniętym urządzeniu lub budynkach (zob. technika a) w warunkach podciśnienia, aby umożliwić oczyszczanie odciąganego powietrza z wykorzystaniem technik redukcji emisji (zob. BAT 26) jako emisji zorganizowanych.	Ma zastosowanie wyłącznie w przypadku popiołów paleniskowych odprowadzanych na sucho i innych popiołów paleniskowych o niskiej wilgotności.

5.1.5.2 Emisje zorganizowane

5.1.5.2.1 Emisja pyłu, metali i metaloidów

BAT 25. Aby ograniczyć emisje zorganizowane pyłu, metali i metaloidów ze spalania odpadów do powietrza, w ramach BAT należy zastosować jedną z poniższych technik lub ich kombinację.

	Technika	Opis	Zastosowanie
a.	Filtr workowy	Zob. sekcja 5.2.2	Do powszechnego stosowania w nowych zespołach urządzeń W przypadku istniejących zespołów urządzeń zastosowanie z zastrzeżeniem ograniczeń związanych z roboczym profilem temperaturowym systemu oczyszczania spalin (FGC).
b.	Filtr elektrostatyczny (elektrofiltr)	Zob. sekcja 5.2.2	Do powszechnego stosowania
c.	Wtrysk suchego sorbentu	Zob. sekcja 5.2.2. Nie ma zastosowania w przypadku redukcji emisji pyłu. Adsorpcja metali poprzez wtrysk węgla aktywnego lub innych odczynników w połączeniu z systemem wtrysku suchego sorbentu lub absorberem półmokrym wykorzystywanym do redukcji emisji gazów kwaśnych.	Do powszechnego stosowania
d.	Płuczka gazowa mokra	Zob. sekcja 5.2.2. Systemy oczyszczania na mokro nie są wykorzystywane do usuwania podstawowego ładunku emisji pyłu, tylko są instalowane po zastosowaniu innych technik redukcji emisji na potrzeby dalszej redukcji stężenia pyłu, metali i metaloidów w spalinach.	Możliwość zastosowania może być ograniczona ze względu na niską dostępność wody, np. na obszarach suchych.
e.	Adsorpcja na złożu stałym lub ruchomym	Zob. sekcja 5.2.2. System ten jest stosowany głównie do adsorpcji rtęci oraz innych metali i metaloidów, a także związków organicznych, w tym PCDD/F; jest on również skuteczny w doczyszczaniu pyłu.	Możliwość zastosowania tej techniki może być ograniczona ze względu na ogólny spadek ciśnienia związany z konfiguracją systemu oczyszczania spalin (FGC). W przypadku istniejących zespołów urządzeń możliwość zastosowania może być ograniczona ze względu na brak miejsca.

Tabela 5.3 Poziomy emisji powiązane z najlepszymi dostępnymi technikami (BAT-AEL) w odniesieniu do zorganizowanych emisji do powietrza pyłu, metali i metaloidów ze spalania odpadów

Parametr	BAT-AEL (mg/Nm ³)	Okres uśredniania
Pył	< 2–5 ⁽¹⁾	Średnia dobową
Cd+Tl	0.005–0.02	Średnia z okresu pobierania próbek
Sb+As+Pb+Cr+Co+Cu+Mn+Ni+V	0.01–0.3	Średnia z okresu pobierania próbek

⁽¹⁾ W przypadku istniejących zespołów urządzeń przeznaczonych do spalania odpadów niebezpiecznych i w odniesieniu do których filtr workowy nie ma zastosowania górna granica zakresu BAT-AEL wynosi 7 mg/Nm³.

Powiązane monitorowanie określono w BAT 4.

BAT 26. Aby ograniczyć zorganizowane emisje do powietrza pyłu z zamkniętej obróbki żużli i popiołów paleniskowych poprzez odsysanie powietrza (zob. BAT 24 f), w ramach BAT należy stosować filtr workowy odpylający system wyciągu powietrza (zob. sekcja 5.2.2).

Tabela 5.4 Poziomy emisji powiązane z BAT (BAT-AEL) w odniesieniu do zorganizowanych emisji pyłu do powietrza z zamkniętej obróbki żużli i popiołów paleniskowych przy użyciu systemu wyciągu powietrza

Parametr	BAT-AEL (mg/Nm ³)	Okres uśredniania
Pył	2–5	Średnia z okresu pobierania próbek

Powiązane monitorowanie określono w BAT 4.

5.1.5.2.2 Emisje HCl, HF oraz SO₂

BAT 27. Aby ograniczyć emisje zorganizowane HCl, HF oraz SO₂ do powietrza ze spalania odpadów, w ramach BAT należy stosować jedną z poniższych technik lub ich kombinację.

	Technika	Opis	Zastosowanie
a.	Płuczka gazowa mokra	Zob. sekcja 5.2.2	Możliwość zastosowania może być ograniczona ze względu na niską dostępność wody, np. na obszarach suchych.
b.	Absorber półmokry	Zob. sekcja 5.2.2	Do powszechnego stosowania
c.	Wtrysk suchego sorbentu	Zob. sekcja 5.2.2	Do powszechnego stosowania
d.	Bezpośrednie odsiarczanie	Zob. sekcja 5.2.2. Służy do częściowej redukcji emisji gazów kwaśnych przed zastosowaniem innych technik.	Możliwość zastosowania wyłącznie do pieców ze złożem fluidalnym
e.	Wtrysk sorbentu do kotła	Zob. sekcja 5.2.2. Służy do częściowej redukcji emisji gazów kwaśnych przed zastosowaniem innych technik.	Do powszechnego stosowania

BAT 28. Aby ograniczyć szczytowy poziom zorganizowanej emisji HCl, HF i SO₂ do powietrza ze spalania odpadów przy jednoczesnym ograniczeniu zużycia odczynników oraz ilości pozostałości wytworzonych z wtrysku suchego sorbentu i absorberów półmokrych, w ramach BAT należy stosować technikę a) lub obydwie poniższe techniki.

	Technika	Opis	Zastosowanie
a.	Zoptymalizowane i zautomatyzowane dawkowanie odczynników	Zastosowanie ciągłych pomiarów HCl lub SO ₂ (lub innych parametrów, które mogą okazać się przydatne do tego celu) przed systemem oczyszczania spalin (FGC) lub za nim w celu optymalizacji automatycznego dawkowania odczynników.	Do powszechnego stosowania
b.	Recykulacja odczynników	Recykulacja części zgromadzonych substancji stałych z oczyszczania spalin (FGC) w celu zmniejszenia ilości nieprzereagowanych odczynników w pozostałościach. Technika ta ma szczególne znaczenie w przypadku technik oczyszczania spalin (FGC) wykorzystujących nadmiar stechiometryczny.	Do powszechnego stosowania w nowych zespołach urządzeń W przypadku istniejących zespołów urządzeń zastosowanie z zastrzeżeniem ograniczeń związanych z rozmiarem filtra workowego.

Tabela 5.5 Poziomy emisji powiązane z BAT (BAT-AEL) w odniesieniu do emisji zorganizowanych HCl, HF i SO₂ do powietrza ze spalania odpadów

Parametr	BAT-AEL (mg/Nm ³)		Okres uśredniania
	Nowy zakład	Istniejący zakład	
HCl	< 2–6 ⁽¹⁾	< 2–8 ⁽¹⁾	Średnia dobową
HF	< 1	< 1	Średnia dobową lub średnia z okresu pobierania próbek
SO ₂	5–30	5–40	Średnia dobową

⁽¹⁾ Dolną granicę zakresu BAT-AEL można osiągnąć przy zastosowaniu płuczki gazowej mokrej; wyższa granica zakresu może być związana ze stosowaniem wtrysku suchego sorbentu.

Powiązane monitorowanie określono w BAT 4.

5.1.5.2.3 Emisje NO_x, N₂O, CO oraz NH₃

BAT 29. Aby ograniczyć zorganizowane emisje NO_x do powietrza przy jednoczesnym ograniczaniu emisji CO and N₂O ze spalania odpadów oraz emisji NH₃ ze stosowania SNCR lub SCR, w ramach BAT należy stosować odpowiednią kombinację poniższych technik.

	Technika	Opis	Zastosowanie
a.	Optymalizacja procesu spalania	Zob. sekcja 5.2.1	Do powszechnego stosowania
b.	Recyrkulacja spalin	Zob. sekcja 5.2.2	W przypadku istniejących zespołów urządzeń możliwości zastosowania mogą być ograniczone ze względu na ograniczenia techniczne (np. ładunek zanieczyszczeń w spalinach, warunki spalania).
c.	Selektywna redukcja niekatalityczna (SNCR)	Zob. sekcja 5.2.2	Do powszechnego stosowania
d.	Selektywna redukcja katalityczna (SCR)	Zob. sekcja 5.2.2	W przypadku istniejących zespołów urządzeń możliwość zastosowania może być ograniczona ze względu na brak miejsca.
e.	Katalityczne filtry workowe	Zob. sekcja 5.2.2	Technika ta może być stosowana wyłącznie w zespołach urządzeń wykorzystujących filtr workowy.
f.	Optymalizacja metod projektowania i działania SNCR/ SCR	Optymalizacja stosunku odczynnika do NO _x w przekroju poprzecznym pieca lub kanału, wielkości kropeł odczynnika i okna temperaturowego, w którym wstrzykiwany jest odczynnik.	Technika ta ma zastosowanie wyłącznie w przypadku, gdy do redukcji emisji NO _x wykorzystuje się SNCR lub SCR.
g.	Płuczka gazowa mokra	Zob. sekcja 5.2.2. W przypadku stosowania płuczki gazowej mokrej do redukcji emisji gazów kwaśnych, w szczególności w połączeniu z SNCR, absorbent absorbuje nieprzereagowany amoniak, który po usunięciu można poddać recyklingowi i wykorzystać jako odczynnik w SNCR lub SCR.	Możliwość zastosowania może być ograniczona ze względu na niską dostępność wody, np. na obszarach suchych.

Tabela 5.6 Poziomy emisji powiązane z BAT (BAT-AEL) w odniesieniu do zorganizowanych emisji NO_x i CO do powietrza ze spalania odpadów oraz w odniesieniu do zorganizowanych emisji NH₃ do powietrza ze stosowania SNCR lub SCR

Parametr	BAT-AEL (mg/Nm ³)		Okres uśredniania
	Nowy zakład	Istniejący zakład	
NO _x	50–120 ⁽¹⁾	50–150 ⁽¹⁾ ⁽²⁾	Średnia dobową
CO	10–50	10–50	
NH ₃	2–10 ⁽¹⁾	2–10 ⁽¹⁾ ⁽³⁾	

(1) Dolną granicę zakresu BAT-AEL można osiągnąć przy zastosowaniu SCR. Osiągnięcie dolnej granicy zakresu BAT-AEL może być niemożliwe przy spalaniu odpadów o wysokiej zawartości azotu (np. pozostałości z produkcji organicznych związków azotowych).

(2) W przypadku gdy SCR nie ma zastosowania, górna granica zakresu BAT-AEL wynosi 180 mg/Nm³.

(3) W przypadku istniejących zespołów urządzeń wyposażonych w SNCR bez stosowania technik redukcji emisji metodą mokrą górna granica zakresu BAT-AEL wynosi 15 mg/Nm³.

Powiązane monitorowanie określono w BAT 4.

5.1.5.2.4 Emisje związków organicznych

BAT 30. Aby ograniczyć zorganizowane emisje związków organicznych do powietrza, w tym PCDD/F oraz PCB ze spalania odpadów, w ramach BAT należy stosować techniki a), b), c), d) oraz jedną z poniższych technik lub kombinację technik e)–i).

	Technika	Opis	Zastosowanie
a.	Optymalizacja procesu spalania	Zob. sekcja 5.2.1. Optymalizacja parametrów spalania sprzyjająca utlenianiu związków organicznych, w tym PCDD/F i PCB obecnych w odpadach, oraz zapobiegająca (ponownemu) powstawaniu tych związków oraz ich prekursorów.	Do powszechnego stosowania
b.	Kontrola podawania odpadów	Znajomość i kontrola właściwości paliwowych odpadów wprowadzanych do pieca w celu zapewnienia optymalnych oraz, w miarę możliwości, jednorodnych i stabilnych warunków spalania.	Technika ta nie ma zastosowania do odpadów medycznych ani stałych odpadów komunalnych.
c.	Czyszczenie pracującego i wyłączzonego z eksploatacji kotła	Skuteczne czyszczenie wiązek kotła w celu zmniejszenia czasu przebywania i gromadzenia się pyłu w kotle, co ogranicza tworzenie się PCDD/F wewnątrz kotła. Stosuje się kombinację technik czyszczenia pracującego i wyłączzonego z eksploatacji kotła.	Do powszechnego stosowania
d.	Szybkie chłodzenie spalin	Szybkie chłodzenie spalin z temperatury powyżej 400 °C do temperatury poniżej 250 °C przed usunięciem pyłu w celu uniknięcia ponownej syntezy PCDD/F. Dokonuje się tego dzięki odpowiedniej konstrukcji kotła lub przy zastosowaniu systemu chłodzenia. Ostatni wariant ogranicza ilość energii, którą można odzyskać ze spalin, i stosuje się go w szczególności w przypadku spalania odpadów niebezpiecznych o wysokiej zawartości halogenów.	Do powszechnego stosowania
e.	Wtrysk suchego sorbentu	Zob. sekcja 5.2.2. Adsorpcja na skutek wtryskiwania węgla aktywnego lub innych odczynników, na ogół w połączeniu z filtrem workowym, w którym w placku filtracyjnym tworzy się warstwa reakcyjna, a powstające substancje stałe są usuwane.	Do powszechnego stosowania
f.	Adsorpcja na złożu stałym lub ruchomym	Zob. sekcja 5.2.2.	Zastosowanie tej techniki może być ograniczone ze względu na ogólny spadek ciśnienia związany z systemem oczyszczania spalin (FGC). W przypadku istniejących zespołów urządzeń możliwość zastosowania może być ograniczona ze względu na brak miejsca.
g.	SCR	Zob. sekcja 5.2.2. W przypadku gdy do redukcji emisji NO _x stosuje się SCR, odpowiednia powierzchnia katalityczna w systemie SCR zapewnia również częściową redukcję emisji PCDD/F oraz PCB. Technikę tę stosuje się na ogół w kombinacji z technikami e), f) lub i).	W przypadku istniejących zespołów urządzeń możliwość zastosowania może być ograniczona ze względu na brak miejsca.
h.	Katalityczne filtry workowe	Zob. sekcja 5.2.2	Technika ta może być stosowana wyłącznie w zespołach urządzeń wykorzystujących filtr workowy.
i.	Sorbent węglowy w płuczkach gazowych mokrych	PCDD/F i PCB są adsorbowane przez sorbent węglowy dodawany do płuczki gazowej mokrej jako składnik cieczy zraszającej albo w postaci impregnowanych elementów wypełnienia. Technikę tę stosuje się na ogół do usuwania PCDD/F, a także aby zapobiegać ponownej emisji PCDD/F nagromadzonych w płuczce (tzw. efekt pamięci) lub ją zredukować; emisja ta występuje zwłaszcza w okresach wyłączeń i rozruchów.	Technika ta może być stosowana wyłącznie w zespołach urządzeń wyposażonych w płuczkę gazową mokrą.

Tabela 5.7 Poziomy emisji powiązane z najlepszymi dostępnymi technikami (BAT-AEL) w odniesieniu do zorganizowanych emisji do powietrza całkowitego LZO, PCD/F oraz dioksynopodobnych PCB ze spalania odpadów

Parametr	Jednostka	BAT-AEL		Okres uśredniania
		Nowy zakład	Istniejący zakład	
TVOC	mg/Nm ³	< 3–10	< 3–10	Średnia dobowa
PCDD/F ⁽¹⁾	ng I-TEQ/Nm ³	< 0.01–0.04	< 0.01–0.06	Średnia z okresu pobierania próbek
		< 0.01–0.06	< 0.01–0.08	Długoterminowe pobieranie próbek ⁽²⁾
PCDD/F + dioksynopodobne PCB ⁽¹⁾	ng WHO-TEQ/Nm ³	< 0.01–0.06	< 0.01–0.08	Średnia z okresu pobierania próbek
		< 0.01–0.08	< 0.01–0.1	Długoterminowe pobieranie próbek ⁽²⁾
(1) Zastosowanie ma BAT-AEL w odniesieniu do PCDD/F albo BAT-AEL w odniesieniu do PCDD/F + dioksynopodobnych PCB.				
(2) BAT-AEL nie ma zastosowania, jeżeli poziomy emisji okażą się wystarczająco stabilne.				

Powiązane monitorowanie określono w BAT 4.

5.1.5.2.5 Emisje rtęci

BAT 31. Aby ograniczyć zorganizowane emisje rtęci do powietrza (w tym szczytowe poziomy emisji rtęci) ze spalania odpadów, w ramach BAT należy stosować jedną z poniższych technik lub ich kombinację.

	Technika	Opis	Zastosowanie
a.	Płuczka gazowa mokra (niskie pH)	Zob. sekcja 5.2.2. Płuczka gazowa mokra eksploatowana przy wartości pH około 1. Szybkość usuwania rtęci w tej technice można zwiększyć dzięki dodaniu do absorbentu odczynników lub adsorbentów, np.: - utleniaczy takich jak nadtlenek wodoru w celu przekształcenia rtęci pierwiastkowej w postać utlenioną rozpuszczalną w wodzie, - związków siarki w celu utworzenia związków złożonych lub soli z rtęcią, - sorbentu węglowego w celu adsorpcji rtęci, w tym rtęci pierwiastkowej. Technika ta, o ile jest opracowana z myślą o wystarczająco dużej pojemności buforowej do wychwytywania rtęci, pozwala skutecznie zapobiegać występowaniu szczytowych poziomów emisji rtęci.	Możliwość zastosowania może być ograniczona ze względu na niską dostępność wody, np. na obszarach suchych.
b.	Wtrysk suchego sorbentu	Zob. sekcja 5.2.2. Adsorpcja na skutek wtryskiwania węgla aktywnego lub innych odczynników, na ogół w połączeniu z filtrem workowym, w którym w płacku filtracyjnym tworzy się warstwa reakcyjna, a powstające substancje stałe są usuwane.	Do powszechnego stosowania.
c.	Wtrysk specjalnego, wysoce reaktywnego węgla aktywnego	Wtrysk wysoce reaktywnego węgla aktywnego z domieszką siarki lub innych odczynników w celu zwiększenia reaktywności z rtęcią. Ten specjalny węgiel aktywny zwykle nie jest wtryskiwany w sposób ciągły, tylko wyłącznie w przypadku wykrycia szczytowej wartości stężenia rtęci. W tym celu technikę tę można stosować w połączeniu z ciągłym monitorowaniem stężenia rtęci w spalinach nieoczyszczonych.	Techniki tej nie można stosować do zespołów urządzeń przeznaczonych do spalania osadów ściekowych.
d.	Dodanie bromu do kotła	Brom dodany do odpadów lub wtryskiwany do pieca w wysokiej temperaturze przekształca się w brom pierwiastkowy, który utlenia rtęć pierwiastkową do rozpuszczalnego w wodzie i ulegającego w dużym stopniu adsorpcji HgBr ₂ . Technikę tę stosuje się w połączeniu z technikami oczyszczania na dalszym etapie, takimi jak płuczka gazowa mokra lub system wtrysku węgla aktywnego. Zwykle brom nie jest wtryskiwany w sposób ciągły, tylko dopiero po wykryciu szczytowego poziomu stężenia rtęci. W tym celu technikę tę można stosować w połączeniu z ciągłym monitorowaniem stężenia rtęci w spalinach nieoczyszczonych.	Do powszechnego stosowania.
e.	Adsorpcja na złożu stałym lub rucho- mym	Zob. sekcja 5.2.2. Technika ta, o ile została opracowana z wystarczająco wysokimi pojemnościami adsorpcyjnymi, skutecznie zapobiega występowaniu szczytowych emisji rtęci.	Zastosowanie tej techniki może być ograniczone ze względu na ogólny spadek ciśnienia związany z systemem oczyszczania spalin (FGC). W przypadku istniejących zespołów urządzeń możliwość zastosowania może być ograniczona ze względu na brak miejsca.

Tabela 5.8 Poziomy emisji powiązane z BAT (BAT-AEL) w odniesieniu do emisji zorganizowanych rtęci do powietrza ze spalania odpadów

Parametr	BAT-AEL ($\mu\text{g}/\text{Nm}^3$) ⁽¹⁾		Okres uśredniania
	Nowy zakład	Istniejący zakład	
Hg	< 5–20 ⁽²⁾	< 5–20 ⁽²⁾	Średnia dobowa lub średnia z okresu pobierania próbek
	1–10	1–10	Długoterminowe pobieranie próbek

⁽¹⁾ Zastosowanie ma BAT-AEL w odniesieniu do średniej dobowej lub średniej z okresu pobierania próbek albo BAT-AEL w odniesieniu do długoterminowego pobierania próbek. BAT-AEL w odniesieniu do długoterminowego pobierania próbek może mieć zastosowanie w przypadku spalarni odpadów o udowodnionej niskiej i stałej zawartości rtęci (np. jednorodnych strumieni odpadów o kontrolowanym składzie).

⁽²⁾ (2) Dolną granicę zakresu BAT-AEL można osiągnąć w przypadku:

- spalania odpadów o udowodnionej niskiej i stałej zawartości rtęci (np. jednorodnych strumieni odpadów o kontrolowanym składzie), lub
- stosowania specjalnych technik pozwalających zapobiegać powstawaniu szczytowych emisji rtęci lub ograniczać je podczas spalania odpadów innych niż niebezpieczne.

Górna granica zakresu BAT-AEL może być związana ze stosowaniem wtrysku suchego sorbentu.

Orientacyjne średnie półgodzinne poziomy emisji rtęci będą zazwyczaj wynosić:

- < 15–40 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ w przypadku istniejących zespołów urządzeń;
- < 15–35 $\mu\text{g}/\text{Nm}^3$ w przypadku nowych zespołów urządzeń.

Powiązane monitorowanie określono w BAT 4.

5.1.6 Emisje do wody

BAT 32. Aby zapobiec zanieczyszczeniu niezanieczyszczonej wody, ograniczać emisję do wody i zwiększyć efektywne gospodarowanie zasobami, w ramach BAT należy rozdzielić strumienie ścieków i traktować je osobno, w zależności od ich charakterystyki.

Opis

Strumienie ścieków (np. spływ powierzchniowy, woda chłodząca, ścieki z oczyszczania spalin i obróbki popiołów paleniskowych, woda odpływowa zebrana z obszaru przyjęcia odpadów, w ramach postępowania z nimi oraz ich magazynowania (zob. BAT 12 a)) rozdziela się i oczyszcza osobno w oparciu o ich charakterystykę oraz kombinację technik oczyszczania. W szczególności niezanieczyszczone wody oddziela się od ścieków, które wymagają oczyszczenia.

Podczas odzyskiwania kwasu chlorowodorowego lub gipsu ze ścieków z płuczki ścieki powstające na różnych etapach (kwasowym i alkalicznym) systemu oczyszczania na mokro oczyszcza się osobno.

Zastosowanie

Do powszechnego stosowania w zakładach nowych.

W przypadku istniejących zakładów zastosowanie z zastrzeżeniem ograniczeń związanych z układem systemu zbierania wody.

BAT 33. Aby ograniczyć zużycie wody oraz zapobiec lub ograniczyć wytwarzanie ścieków ze spalarni, w ramach BAT należy stosować jedną z poniższych technik lub ich kombinację.

	Technika	Opis	Zastosowanie
a.	Techniki oczyszczania spalin (FGC) bez ścieków	Stosowanie technik oczyszczania spalin (FGC), które nie wytwarzają ścieków (np. wtrysk suchego sorbentu lub absorber półmokry, zob. sekcja 5.2.2).	Technika ta może nie mieć zastosowania w przypadku spalania odpadów niebezpiecznych o wysokiej zawartości halogenów.
b.	Wtrysk ścieków z oczyszczania spalin (FGC)	Ścieki z oczyszczania spalin (FGC) wtryskuje się do cieplejszych części systemu FGC.	Technika ta ma zastosowanie wyłącznie do spalania stałych odpadów komunalnych.
c.	Ponownie użycie/ recykling wody	Pozostałe strumienie wód są ponownie wykorzystywane lub poddawane recyklingowi. Stopień ponownego użycia/recyklingu ograniczają wymagania dotyczące jakości procesu, do którego kierowana jest woda.	Do powszechnego stosowania
d.	Postępowanie z suchym popiołem paleniskowym	Suchy, gorący popiół paleniskowy wypada z rusztu na system transportujący i jest schładzany przez powietrze. Woda w tym procesie nie jest używana.	Możliwość zastosowania wyłącznie do pieców rusztowych. Mogą istnieć ograniczenia techniczne uniemożliwiające modernizację w istniejących spalarniach.

BAT 34. Aby ograniczyć emisje do wody z systemu oczyszczania spalin (FGC) lub magazynowania i obróbki żużli i popiołów paleniskowych, w ramach BAT należy stosować odpowiednią kombinację poniższych technik oraz techniki wtórne możliwie jak najbliżej źródła w celu uniknięcia rozcieńczenia.

	Technika	Typowe docelowe zanieczyszczenia
Techniki podstawowe		
a.	Optymalizacja procesu spalania (zob. BAT 14) lub systemu oczyszczania spalin (FGC) (np. SNCR/SCR, zob. BAT 29(f)).	Związki organiczne, w tym PCDD/F, amoniak lub amon
Techniki dodatkowe⁽¹⁾		
<i>Przetwarzanie wstępne i pierwotne</i>		
b.	Wyrównywanie	Wszystkie zanieczyszczenia
c.	Neutralizacja	Kwasy, zasady
d.	Rozdzielanie fizyczne, np. kraty, sita, piaskowniki, osadniki wstępne	Substancje stałe, zawiesiny
<i>Przetwarzanie fizyczno-chemiczne</i>		
e.	Adsorpcja na węglu aktywnym	Związki organiczne, w tym PCDD/F, rtęć
f.	Strącanie	Rozpuszczone metale/metaloidy, siarczany
g.	Utlenianie	Siarczki, siarczyny, związki organiczne
h.	Wymiana jonowa	Rozpuszczone metale/metaloidy
i.	Odpędzanie	Dające się wyeliminować zanieczyszczenia (np. amoniak lub amon)
j.	Osmoza odwrócona	Amoniak/amon, metale/metaloidy, siarczany, chlorki, związki organiczne
<i>Ostateczne usuwanie substancji stałych</i>		
k.	Koagulacja i flokulacja	Zawiesiny oraz metale/metaloidy zawarte w pyłe
l.	Sedymentacja	
m.	Filtracja	
n.	Flotacja	

⁽¹⁾ Opis przedmiotowych technik przedstawiono w sekcji 5.2.3.

Tabela 5.9 Poziomy emisji powiązane z BAT (BAT-AEL) w odniesieniu do emisji bezpośrednich do odbiornika wodnego

Parametr		Proces	Jednostka	BAT-AEL ⁽¹⁾
Zawiesina ogólna (TSS)		FGC Przetwarzanie popiołów paleniskowych	mg/l	10–30
Ogólny węgiel organiczny (TOC)		FGC Przetwarzanie popiołów paleniskowych		15–40
Metale i metaloidy	As	FGC		0.01–0.05
	Cd	FGC		0.005–0.03
	Cr	FGC		0.01–0.1
	Cu	FGC		0.03–0.15
	Hg	FGC		0.001–0.01
	Ni	FGC		0.03–0.15
	Pb	FGC Przetwarzanie popiołów paleniskowych		0.02–0.06
	Sb	FGC		0.02–0.9
	Tl	FGC		0.005–0.03
Zn	FGC	0.01–0.5		
Azot amonowy (NH ₄ -N)		Przetwarzanie popiołów paleniskowych		10–30
Siarczany (SO ₄ ²⁻)		Przetwarzanie popiołów paleniskowych		400–1 000
PCDD/F		FGC		ng I-TEQ/l

⁽¹⁾ Okresy uśrednienia określono w części *Uwagi ogólne*.

Powiązane monitorowanie określono w BAT 6.

Tabela 5.10 Poziomy emisji powiązane z najlepszymi dostępnymi technikami w odniesieniu do emisji pośrednich do odbiornika wodnego

Parametr		Proces	Jednostka	BAT-AEL ⁽¹⁾ ⁽²⁾
Metale i metaloidy	As	FGC	mg/l	0.01–0.05
	Cd	FGC		0.005–0.03
	Cr	FGC		0.01–0.1
	Cu	FGC		0.03–0.15
	Hg	FGC		0.001–0.01
	Ni	FGC		0.03–0.15
	Pb	FGC Przetwarzanie popiołów paleniskowych		0.02–0.06
	Sb	FGC		0.02–0.9
	Tl	FGC		0.005–0.03
	Zn	FGC		0.01–0.5
PCDD/F		FGC	ng I-TEQ/l	0.01–0.05

(1) Okresy uśrednienia określono w części *Uwagi ogólne*.
(2) Wskazane poziomy emisji powiązane z najlepszymi dostępnymi technikami mogą nie mieć zastosowania, gdy oczyszczalnia ścieków jest odpowiednio zaprojektowana i wyposażona do usuwania danych zanieczyszczeń, o ile nie prowadzi to do wyższego poziomu zanieczyszczenia środowiska.

Powiązane monitorowanie określono w BAT 6.

5.1.7 Efektywność wykorzystania materiałów

BAT 35. Aby zwiększyć efektywność gospodarowania zasobami, w ramach BAT postępowanie z popiołami paleniskowymi i ich obróbka muszą odbywać się osobno od pozostałości z oczyszczania spalin (FCG).

BAT 36. Aby zwiększyć efektywność gospodarowania zasobami w przypadku obróbki żużli i popiołów paleniskowych, w ramach BAT należy stosować odpowiednią kombinację poniższych technik na podstawie oceny ryzyka, w zależności od niebezpiecznych właściwości żużli i popiołów paleniskowych..

	Technika	Opis	Zastosowanie
a.	Metoda przesiewania	Przed dalszym przetwarzaniem do wstępnej klasyfikacji popiołów paleniskowych pod względem wielkości stosuje się przesiewacze oscylacyjne, przesiewacze wibracyjne i przesiewacze rotacyjne.	Do powszechnego stosowania
b.	Kruszenie	Czynności związane z mechanicznym przetwarzaniem mające na celu przygotowanie materiałów do odzysku metali lub do późniejszego wykorzystania tych materiałów, np. w budownictwie drogowym oraz w budowlach ziemnych.	Do powszechnego stosowania
c.	Separacja powietrzna	Separację powietrzną stosuje się do sortowania lekkich, niespalonych frakcji, które na skutek odwiewania lekkich fragmentów wymieszały się z popiołami paleniskowymi. Stół wibracyjny stosuje się do transportowania popiołów paleniskowych do zsuwni, do której materiał spada pod wpływem strumienia powietrza wydmuchującego niespalone materiały lekkie, takie jak drewno, papier lub tworzywa sztuczne, na przenośnik lub do pojemnika, tak aby materiały te można było zwrócić do spalania.	Do powszechnego stosowania
d.	Odzysk metali żelaznych i nieżelaznych	Stosowane są różne techniki, w tym: - separacja magnetyczna metali żelaznych, - oddzielanie metali nieżelaznych za pomocą separatorów wirowych, - oddzielanie indukcyjne wszystkich metali.	Do powszechnego stosowania
e.	Sezonowanie	Sezonowanie stabilizuje frakcję mineralną popiołów paleniskowych na skutek poboru CO ₂ atmosferycznego (karbonatyzacji), odprowadzania nadmiaru wody i utleniania. Po odzyskaniu metali popioły paleniskowe magazynuje się przez kilka tygodni na wolnym powietrzu lub w zadaszonych budynkach, na ogół na nieprzepuszczalnym podłożu zgromadzenie wody i wód opadowych do oczyszczania. Pryzmy można zwilżyć, aby zoptymalizować zawartość wilgoci, co sprzyja wymywaniu soli i karbonatyzacji. Zwilżanie popiołów paleniskowych pozwala również zapobiegać emisjom pyłu.	Do powszechnego stosowania
f.	Płukanie	Płukanie popiołów paleniskowych umożliwia wytwarzanie materiału do recyklingu, charakteryzującego się minimalną zdolnością do wymywania rozpuszczalnych substancji (np. soli).	Do powszechnego stosowania

5.1.8 Hałas

BAT 37. Aby zapobiec emisjom hałasu lub, jeżeli jest to niemożliwe, ograniczyć je, w ramach BAT należy stosować jedną z poniższych technik lub ich kombinację.

Technika		Opis	Zastosowanie
a.	Właściwa lokalizacja urządzeń i budynków	Poziomy hałas można obniżyć, zwiększając odległość między źródłem emisji a odbiornikiem oraz wykorzystując budynki jako ekrany chroniące przed hałasem.	W przypadku istniejących zespołów urządzeń możliwość zmiany położenia urządzeń może być ograniczona ze względu na brak miejsca lub nadmierne koszty.
b.	Środki operacyjne	Środki te obejmują: <ul style="list-style-type: none"> • udoskonaloną kontrolę i konserwację urządzeń; • w miarę możliwości, zamykanie drzwi i okien na terenach zamkniętych; • obsługę urządzeń przez doświadczony personel; • w miarę możliwości, unikanie przeprowadzania hałaśliwych czynności w nocy; • ograniczanie emisji hałasu podczas czynności konserwacyjnych. 	Do powszechnego stosowania
c.	Mało hałaśliwy sprzęt	Zaliczają się do niego sprężarki, pompy i wentylatory o obniżonej emisji hałasu.	Do powszechnego stosowania w przypadku wymiany istniejącego sprzętu lub instalacji nowego sprzętu
d.	Redukcja hałasu	Propagację hałasu można ograniczyć dzięki umieszczeniu barier między źródłami emisji a odbiornikami. Do odpowiednich barier należą na przykład chroniące przed hałasem ściany, wały i budynki.	W przypadku istniejących zespołów urządzeń możliwość umieszczenia barier może być ograniczona ze względu na brak miejsca.
e.	Sprzęt/infrastruktura do ograniczania emisji hałasu	Obejmuje: <ul style="list-style-type: none"> • tłumiki, • izolację urządzeń, • obudowanie hałaśliwych urządzeń, • zastosowanie izolacji akustycznej budynków. 	W przypadku istniejących zespołów urządzeń możliwość zastosowania może być ograniczona ze względu na brak miejsca.

5.2 Opisy technik

5.2.1 Techniki ogólne

Technika	Opis
Zaawansowany system kontroli	Użycie automatycznego systemu komputerowego do kontroli sprawności spalania oraz zapobiegania emisjom i/lub ograniczania emisji. System ten obejmuje również stosowanie wysoce wydajnego monitorowania parametrów eksploatacyjnych i emisji.
Optymalizacja procesu spalania	Optymalizacja szybkości podawania odpadów i ich składu, temperatury oraz natężenia przepływu i punktów wtrysku pierwotnego i wtórnego powietrza do spalania w celu skutecznego utleniania związków organicznych przy jednoczesnym zmniejszeniu wytwarzania NO _x .

5.2.2 Techniki redukcji emisji do powietrza

Technika	Opis
Filtr workowy	Filtry workowe lub tkaninowe są wykonane z porowatej tkaniny lub filcu, przez które przepuszcza się gazy w celu usunięcia cząsteczek stałych. Zastosowanie filtra workowego wiąże się z koniecznością doboru tkaniny, która będzie odpowiadała właściwościom spalin i maksymalnej temperaturze pracy.
Wtrysk sorbentu do kotła	Wtrysk absorbentów na bazie magnezu lub wapnia do komory wtórnego spalania w wysokiej temperaturze w celu osiągnięcia częściowej redukcji emisji gazów kwaśnych. Technika ta jest bardzo skuteczna w usuwaniu SO _x i HF oraz zapewnia dodatkowe korzyści w postaci zmniejszenia szczytowych poziomów emisji.
Katalityczne filtry workowe	Filtry workowe są impregnowane katalizatorem albo katalizator jest bezpośrednio mieszany z materiałem organicznym przy wytwarzaniu włókien stosowanych do produkcji materiału filtracyjnego. Takie filtry można wykorzystywać do redukcji emisji PCDD/F, a także, w połączeniu ze źródłem NH ₃ , do redukcji emisji NO _x .
Bezpośrednie odsiarczanie	Dodawanie absorbentów na bazie magnezu lub wapnia do pieca ze złożem fluidalnym.
Wtrysk suchego sorbentu	Wtrysk i dyspersja sorbentu w postaci suchego proszku w strumieniu spalin. Sorbenty alkaliczne (np. wodorowęglan sodu, wapno hydratyzowane) są wtryskiwane, aby reagowały z gazami kwaśnymi (HCl, HF i SO _x). Węgiel aktywny jest wtryskiwany lub współwtryskiwany w celu adsorpcji w szczególności PCDD/F i rtęci. Powstałe substancje stałe są usuwane – najczęściej za pomocą filtra workowego. Nadmiar reagentów można zawrócić do obiegu, aby zmniejszyć ich zużycie – po ewentualnej reaktywacji na skutek dojrzewania lub wtrysku pary (zob. BAT 28 b).
Filtr elektrostatyczny (elektrofiltr0)	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. Skuteczność redukcji może zależeć od liczby pól, czasu przebywania (rozmiaru) oraz urządzeń do usuwania cząsteczek przed filtrem. Elektrofiltry zazwyczaj obejmują od dwóch do pięciu pól. Elektrofiltry mogą być typu suchego lub mokrego, w zależności od techniki stosowanej do zbierania pyłu z elektrod. Elektrofiltry mokre zwykle stosuje się na etapie polerowania w celu usunięcia pozostałości pyłu i kropelek po oczyszczaniu na mokro.
Adsorpcja na złożu stałym lub ruchomym	Spaliny przepuszcza się przez filtr ze złożem stałym lub ruchomym, w którym do adsorbowania zanieczyszczeń stosuje się adsorbent (np. koks aktywny, węgiel aktywny z węgla brunatnego lub polimer impregnowany węglem).
Recyrkulacja spalin	Recyrkulacja części spalin do pieca w celu zastąpienia części świeżego powietrza do spalania, o podwójnym efekcie obniżenia temperatury i ograniczenia zawartości O ₂ do utleniania azotu, co w rezultacie ogranicza wytwarzanie NO _x . Technika polega na wprowadzeniu spalin z pieca do płomienia w celu zmniejszenia zawartości tlenu, a tym samym temperatury płomienia. Technika ta zmniejsza również straty energii spalin. Oszczędności energii uzyskuje się także w przypadku zwracania do obiegu spalin przed ich oczyszczeniem (FGC), co pozwala na zmniejszenie przepływu gazu przez system oczyszczania spalin oraz wielkości wymaganego systemu oczyszczania spalin.

Technika	Opis
Selektywna redukcja katalityczna (SCR)	Selektywna redukcja tlenków azotu z zastosowaniem amoniaku lub mocznika w obecności katalizatora. Technika ta opiera się na redukcji NOX do azotu cząsteczkowego w złożu katalitycznym w wyniku reakcji z amoniakiem w optymalnej temperaturze roboczej zwykle wynoszącej około 200–450 °C w przypadku systemu wysokopyłowego oraz 170–250 °C w przypadku systemu wylotowego. Na ogół amoniak wtryskuje się w postaci roztworu wodnego; źródłem amoniaku może być także amoniak bezwodny lub roztwór mocznika. Można stosować kilka warstw katalizatora. Większą redukcję NOX osiąga się dzięki zastosowaniu większej powierzchni katalitycznej w postaci co najmniej jednej warstwy. Technika „w kanale” lub SCR z efektem „slip” jest techniką, która łączy SNCR z późniejszą SCR, która ogranicza ucieczkę amoniaku z jednostki SNCR.
Selektywna redukcja niekatalityczna (SNCR)	Selektywna redukcja tlenków azotu do azotu cząsteczkowego z amoniakiem lub mocznikiem w wysokich temperaturach i bez katalizatora Przedział temperatur roboczych utrzymuje się w granicach 800–1 000 °C, aby zapewnić optymalne warunki reakcji. Wydajność systemu SNCR można zwiększyć, sterując wtryskiem odczynnika z wielu lanc za pomocą (szybko reagującego) dźwiękowego systemu pomiaru temperatury lub systemu pomiaru temperatury w podczerwieni w celu zapewnienia, aby odczynnik był każdorazowo wprowadzany w optymalnej temperaturze.
Absorber półmokry	Zwany także absorberem półsuchym. Do strumienia spalin dodaje się alkaliczny roztwór wodny lub zawiesinę (np. mleko wapienne) w celu wychwytywania gazów kwaśnych. Woda odparowuje, a produkty reakcji są suche. Powstałe substancje stałe można zawrócić do obiegu, aby zmniejszyć zużycie odczynnika (zob. BAT 28 b). Technika ta obejmuje szereg różnych metod, w tym suszenie pneumatyczne, które polega na wtryskiwaniu wody (co zapewnia szybkie chłodzenie gazu) i odczynnika przy wlocie filtra.
Płuczka gazowa mokra	Wykorzystanie cieczy, zazwyczaj wody lub roztworu wodnego/ zawiesiny, w celu wychwytywania poprzez absorpcję zanieczyszczeń ze spalin, w szczególności gazów kwaśnych, jak również innych rozpuszczalnych związków i substancji stałych. W celu adsorpcji rtęci lub PCDD/F do płuczki gazowej mokrej można dodać sorbent węglowy (w postaci zawiesiny lub wypełnienia z tworzyw sztucznych impregnowanych węglem). Stosuje się różne rodzaje konstrukcji płuczek, np. płuczki strumieniowe, płuczki wirowe, płuczki Venturiego, płuczki natryskowe i płuczki wieżowe z wypełnieniem.

5.2.3 Techniki redukcji emisji do wody

Technika	Opis
Adsorpcja na węglu aktywnym	Usuwanie substancji rozpuszczonych ze ścieków poprzez przeniesienie ich na powierzchnię stałych, wysoce porowatych cząstek (adsorbent). Węgiel aktywny zwykle stosuje się do adsorpcji związków organicznych i rtęci.
Strącanie	Przekształcenie rozpuszczonych zanieczyszczeń w nierozpuszczalne związki poprzez dodawanie środków strącających. Powstałe osady stałe następnie rozdziela się metodami sedymentacji, flotacji lub filtracji. Typowymi substancjami chemicznymi wykorzystywanymi do strącania metali są wapno, dolomit, wodorotlenek sodu, węglan sodu, siarczek sodu i siarczki organiczne. Sole wapniowe (inne niż wapno) wykorzystuje się do strącania siarczanów lub fluorków.
Koagulacja i flokulacja	Koagulację i flokulację wykorzystuje się do oddzielenia zawiesin ze ścieków; często realizuje się je jako kolejne etapy. Koagulacja jest przeprowadzana poprzez dodawanie koagulantów (np. chlorku żelaza) o ładunkach przeciwnych do zawiesin. Flokulacja polega na dodaniu polimerów, tak aby kolizje mikrocząstek powodowały ich łączenie się w większe kłaczkę. Powstałe kłaczkę następnie rozdziela się metodami sedymentacji, flotacji za pomocą powietrza lub filtracji.
Wyrównywanie	Równoważenie przepływów i ładunków zanieczyszczeń przy użyciu zbiorników lub innych technik gospodarowania.
Filtracja	Oddzielenie substancji stałych od ścieków przez przepuszczanie ich przez porowaty materiał filtracyjny. Obejmuje ona różne rodzaje technik, np. filtrowanie przez piasek, mikrofiltrację lub ultrafiltrację.
Flotacja	Oddzielenie cząstek stałych lub ciekłych od ścieków przez przyłączanie ich do drobnych pęcherzyków gazu, zwykle powietrza. Pływające cząstki gromadzą się na powierzchni wody i są zbierane przez zgarniacze.
Wymiana jonowa	Retencja zanieczyszczeń jonowych ze ścieków i zastąpienie ich bardziej akceptowalnymi jonami z wykorzystaniem żywicy jonowymiennej. Zanieczyszczenia są czasowo zatrzymywane, a następnie splukiwane w płynie regeneracyjnym lub płynie do płukania zwrotnego.
Neutralizacja	Doprowadzenie pH ścieków do neutralnego poziomu (około 7) w wyniku dodania substancji chemicznych. W celu zwiększenia pH zazwyczaj stosuje się wodorotlenek sodu (NaOH) lub wodorotlenek wapnia (Ca(OH) ₂); z kolei w celu obniżenia poziomu pH stosuje się zwykle kwas siarkowy (H ₂ SO ₄), kwas chlorowodorowy (HCl) lub dwutlenek węgla (CO ₂). Podczas neutralizacji może nastąpić strącanie niektórych zanieczyszczeń.
Utlenianie	Przekształcenie zanieczyszczeń za pomocą chemicznych utleniaczy w podobne związki, które są mniej niebezpieczne lub łatwiejsze do wyeliminowania. W przypadku ścieków pochodzących z płuczek gazowych mokrych do utleniania siarczynu (SO ₃ ²⁻) do siarczanu (SO ₄ ²⁻) można wykorzystywać powietrze.
Odwrócona osmoza	Proces filtracji membranowej, w którym różnica ciśnień stosowanych w komorach oddzielonych membraną powoduje, że woda przepływa z roztworu o większym stężeniu do roztworu o mniejszym stężeniu.
Sedymentacja	Rozdzielanie zawiesin przez osadzanie grawitacyjne.
Odpędzanie	Usuwanie dających się wyeliminować zanieczyszczeń (np. amoniaku) ze ścieków w wyniku kontaktu z szybko przepływającym strumieniem gazu w celu przeniesienia ich do fazy gazowej. Następnie są one odzyskiwane (np. metodą kondensacji) do dalszego wykorzystania lub unieszkodliwiania. Skuteczność usuwania można poprawić, podwyższając temperaturę lub obniżając ciśnienie.

5.2.4 Techniki zarządzania

Technika	Opis
Plan zarządzania odorami	<p>Plan zarządzania odorami stanowi część systemu zarządzania środowiskowego (zob. BAT 1) i obejmuje:</p> <ol style="list-style-type: none"> protokół monitorowania odorów zgodnie z normami EN (np. metodą olfaktometrii dynamicznej zgodnie z EN 13725 w celu określenia stężenia odoru); protokół ten można uzupełnić pomiarem/oszacowaniem ekspozycji na odór (np. zgodnie z EN 16841-1 lub EN 16841-2) lub oszacowaniem oddziaływania odorów; protokół reagowania na stwierdzone przypadki wystąpienia odorów, np. skargi; program zapobiegania występowaniu odorów i ich ograniczania, mający na celu określenie ich źródeł i udziału poszczególnych źródeł oraz wdrożenie środków zapobiegawczych lub ograniczających.
Plan zarządzania hałasem	<p>Plan zarządzania hałasem stanowi część systemu zarządzania środowiskowego (zob. BAT 1) i obejmuje:</p> <ol style="list-style-type: none"> protokół monitorowania hałasu; protokół reagowania na stwierdzone przypadki wystąpienia hałasu, np. skargi; program redukcji hałasu mający na celu identyfikację jego źródeł, pomiar lub szacowanie ekspozycji na hałas, określenie udziału poszczególnych źródeł i wdrożenie środków zapobiegawczych lub ograniczających..
Plan zarządzania w przypadku awarii	<p>Plan zarządzania w przypadku awarii stanowi część systemu zarządzania środowiskowego (zob. BAT 1); w planie tym określa się zagrożenia stwarzane przez instalację i powiązane ryzyko oraz środki mające zaradzić tym zagrożeniom. Uwzględnia on wykaz zanieczyszczeń obecnych lub prawdopodobnych, które mogą mieć konsekwencje środowiskowe w przypadku wydostania się. Można go sporządzić na przykład na podstawie FMEA (analizy przyczyn i skutków awarii) lub FMECA (analizy przyczyn, skutków i krytyczności awarii). Plan zarządzania w przypadku awarii obejmuje opracowanie i wdrożenie planu zapobiegania pożarom, wykrywania i postępowania w razie pożarów, który jest oparty na ocenie ryzyka i obejmuje stosowanie automatycznych systemów wykrywania pożarów i systemów ostrzegawczych oraz ręcznych lub automatycznych systemów interwencji i ochrony przeciwpożarowej. Plan zapobiegania pożarom, wykrywania i postępowania w razie pożarów ma szczególne znaczenie dla:</p> <ul style="list-style-type: none"> obszarów magazynowania i obróbki wstępnej odpadów, — obszarów załadunku pieca, elektrycznych systemów sterowania, filtrów workowych, stałych złóż adsorpcyjnych. <p>Plan zarządzania w przypadku awarii obejmuje również, w szczególności w odniesieniu do instalacji, w których przyjmowane są odpady niebezpieczne, programy szkoleń personelu w zakresie:</p> <ul style="list-style-type: none"> zapobiegania wybuchom i pożarom, gaszenia pożarów, znajomości zagrożeń chemicznych (oznakowanie, substancje rakotwórcze, toksyczność, korozja, pożary).

6. NOWE TECHNIKI

Artykuł 3(14) Dyrektywy 2010/75/UE definiuje "nową technikę" jako nową technikę stosowaną w działalności przemysłowej, która mogłaby zapewnić ogólny wyższy poziom ochrony środowiska lub co najmniej ten sam poziom ochrony środowiska, a zarazem większą oszczędność kosztów niż obecnie istniejące najlepsze dostępne techniki, o ile zostanie ona rozwinięta w celach komercyjnych. Niniejszy rozdział zawiera te techniki, które mogą pojawić się w najbliższej przyszłości i które mogą mieć zastosowanie w sektorze spalania odpadów.

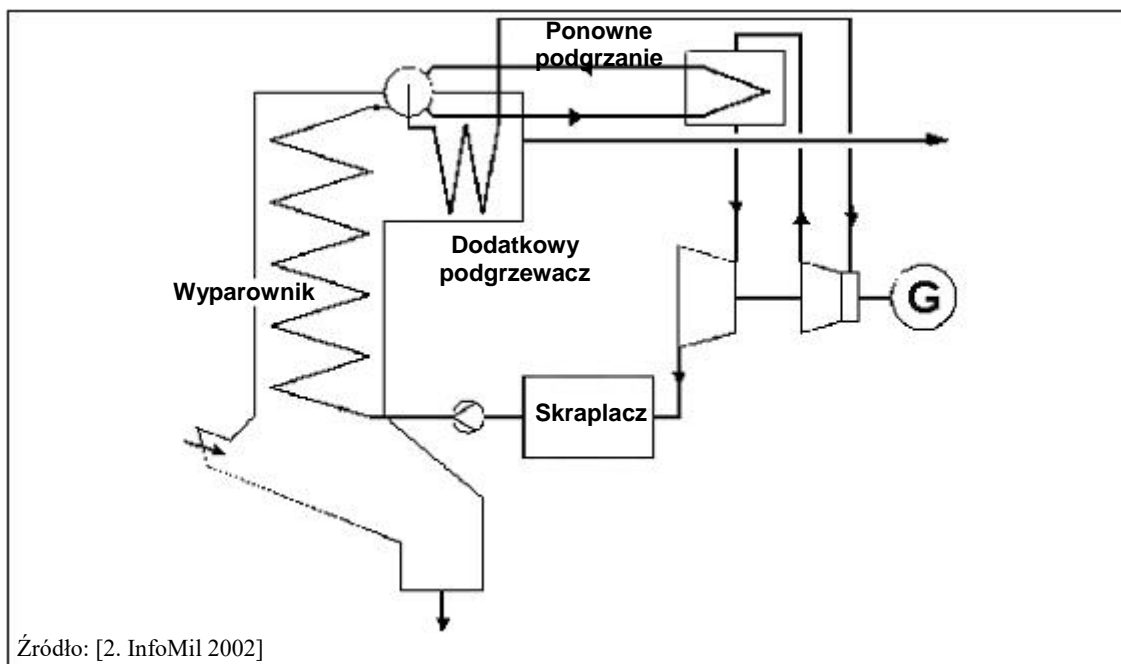
6.1 Podgrzewanie pary z turbiny

Opis

Ponowne podgrzewanie pary po pierwszym przejściu przez turbinę parową celem podniesienia parametrów pary wodnej oraz zwiększenia produkcji energii elektrycznej.

Szczegóły techniczne [\[2. InfoMil 2002\]](#)

Opcją zwiększenia efektywności produkcji energii elektrycznej jest ponowne podgrzanie pary po jej pierwszym przejściu przez turbinę. Dla tego zastosowania temperatura pary jest zwykle ograniczona do mniej niż 430 °C, ale ciśnienie pary wzrasta. Na ilustracji 6.1. przedstawiono uproszczony schemat procesu dla tej opcji.



Ilustracja 6.1 Przykład systemu ponownego podgrzewania pary

Po pierwszym przejściu przez sekcję wysokociśnieniową turbiny powstająca para jest ponownie przegrzewana, a następnie wykorzystywana w sekcji średnio- i niskociśnieniowej turbiny.

Zazwyczaj, po rozprężeniu w turbinie wysokociśnieniowej, para ma niższe ciśnienie (zwykle 10-20% ciśnienia, które miała na wejściu) i jest ponownie podgrzewana spalinami w kotle do tej samej temperatury. Zgodnie z uproszczonym rysunkiem (zob. ilustracja 6.1), para jest podgrzewana albo wodą kotłową, albo parą nasyconą.

Korzyści dla środowiska

Typowe wzrosty efektywności elektrycznej mieszczą się w przedziale około 2-3%. Ostatnio jednak odnotowano większy wzrost wydajności, sięgający nawet 4,7%. [\[151. AEB Amsterdam 2017\]](#)

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Technika ta, w pełni sprawdzona w dużych zakładach produkcji energii elektrycznej, jest uważana za ograniczoną w stosowaniu. Ze względu na czynniki ekonomiczne istnieje tylko kilka przykładów zastosowań w sektorze spalania odpadów.

W Holandii, tą technikę stosuje jeden duży zakład działający od 2007 roku. Instalacja ta posiada dwie linie spalania o wydajności 90 MWth i 269 000 t/rok każda, dostarczające parę do jednej wspólnej turbiny. Osiągnięta średnia roczna wydajność (sprawność) elektryczna netto wynosi około 30.7%. [\[151. AEB Amsterdam 2017\]](#)

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Brak danych.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Brak danych.

Ekonomika

Na zastosowanie tej techniki może mieć wpływ opłacalność, która jest zdeterminowana głównie przez dodatkowe koszty inwestycyjne oraz ceny energii elektrycznej.

Dodatkowe koszty inwestycyjne związane z realizacją koncepcji dogrzewania w istniejącym zakładzie holenderskim zostały zgłoszone jako bardzo wysokie, przy czym dostępność dotacji miała decydujące znaczenie dla decyzji inwestycyjnej.

Siła napędowa wdrażania

Zwiększenie wydajności wytwarzania energii elektrycznej.

Przykładowe zakłady

Jeden zakład WI w Holandii o wydajności 538 000 t/rok. [\[151. AEB Amsterdam 2017\]](#)

Literatura źródłowa

[\[2. InfoMil 2002\]](#) [\[151. AEB Amsterdam 2017\]](#) [\[152. AEB Amsterdam 2007\]](#)

6.2 Płuczka olejowa redukująca wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne i poliaromatyczne (PAH, WWA) w spalinach pochodzących ze spalarni.

Opis

Olej stosowany jest jako płyn do płukania w płuczce gazowej mokrej celem absorpcji związków organicznych.

Szczegóły techniczne

Dioksyny i furany mają bardzo niską rozpuszczalność w wodzie i dlatego nie są w znacznym i niezawodnym stopniu usuwane w płuczce gazowych mokrych. Każde usunięcie, które ma miejsce, jest z reguły spowodowane usuwaniem PCDD/F, które są adsorbowane na pyłe usuwane w płuczce. W najlepszym przypadku następuje pewne uszczuplenie w wyniku kondensacji tych substancji, głównie gatunków o wyższej masie cząsteczkowej od hekso do oktawy, z fazy gazowej do stosunkowo zimnego płynu płuczającego. Ponieważ dioksyny i furany (oraz wiele innych gatunków organicznych) są bardziej lipofilne, wysoce wrzący, częściowo nienasycony olej, lub emulsja olejowo-wodna takiego oleju, zapewnia odpowiednie ich wypłukanie.

Korzyści dla środowiska

Redukcja emisji do powietrza związków organicznych.

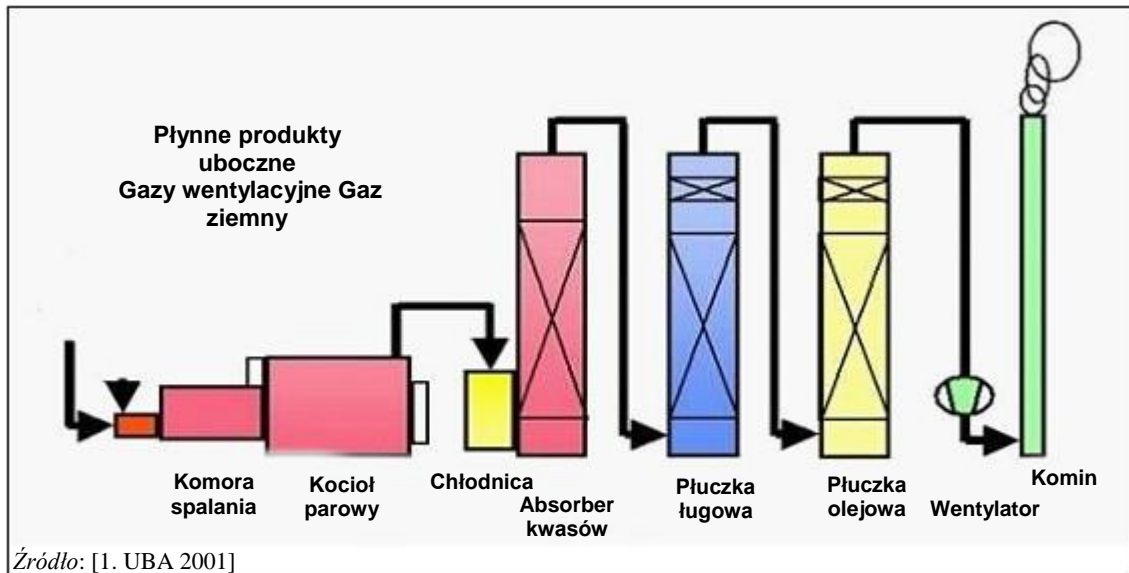
Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Olej/emulsja oraz wchłonięte dioksyny i furany są wymieniane i usuwane, gdy tylko osiągną wartość 0.1 mg/kg. Ilość oleju jest określana tak, aby wymiana miała miejsce trzy do czterech razy w roku. Pomaga to zapobiec nadmiernemu starzeniu się oleju. Zanieczyszczony płyn jest spalany w piecu. W tym celu olej przepompowywany jest do "wagonu pochyłego" (mobilnego

zbiornika z instalacjami bezpieczeństwa), a stamtąd podawany bezpośrednio do palnika w spalarni.

Proces ten obejmuje kolumnę płuczki przeciwpływowej jako trzeciorzędny etap oczyszczania z zamkniętym obiegiem oleju (zob. ilustracja 6.2).

Aby zminimalizować liczbę elementów instalacji transportujących olej, jako zbiornik mediów do płukania stosuje się wannę ściekową. Szybkość przepływu jest określana w zależności od przekroju uszczelnienia. Olej/emulsja jest podgrzewana przez wymiennik ciepła do temperatury około 15-20 °C powyżej temperatury spalin, aby zapobiec skraplaniu się wody z nasyconych parą gazów.



Ilustracja 6.2 Schemat spalarni odpadów z płuczką olejową do wytrącania dioksyn

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Brak danych.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest ogólnie stosowana.

Ekonomika

Brak danych.

Siła napędowa wdrażania

Ograniczenie emisji związków organicznych.

Przykładowe zakłady

Brak danych.

Literatura źródłowa

[1. UBA 2001]

6.3 Bezpłomieniowe spalanie tlenowe pod ciśnieniem

Opis

Odpady są spalane bezpłomieniowo w atmosferze o wysokim ciśnieniu tlenu, dwutlenku węgla i pary wodnej, w temperaturze 1 250-1 500 °C.

Szczegóły techniczne

Warunki pracy wewnątrz reaktora utleniającego (czas przebywania: > 2,5 sekundy, temperatura 1 250-1 500 °C, ciśnienie bezwzględne 4-15 barów) umożliwiają całkowite spalanie wlotowych związków organicznych (przy nieznacznym wytwarzaniu niepożądanych organicznych produktów ubocznych, takich jak PAH, PCDD/F i PCB). Wysoka temperatura spalania topi materiały niepalne, tworząc kamienny żużel. Tak wysoka temperatura stanowi również warunek, który termodynamicznie i kinetycznie hamuje przemianę dwutlenku siarki w trójtlenek siarki.

W warunkach stanu ustalonego, spaliny opuszczające reaktor mają temperaturę w granicach 1 250 - 1 500 °C. Frakcja spalin jest zawracana do reaktora w celu kontrolowania temperatury spalania. Inna frakcja jest mieszana przez chłodnicę z gorącymi spalinami pochodzącymi z reaktora w celu uzyskania jednolitej temperatury na wlocie do kotła (600-750 °C).

Żużel przepływa wzdłuż dna reaktora, wychodząc przez podgrzewany przewód zapobiegający jego zestaleniu. Stopiony materiał spada do chłodnicy (wygaszarki) wodnej, gdzie krzepnie do postaci szklistej, rozpadając się na ziarna o wielkości 0.1-3 mm.

Spaliny są przetwarzane celem zmniejszenia ilości pyłów oraz kwasów. Ilość spalin jest mniejsza dzięki wykorzystaniu czystego tlenu, a nie powietrza.

Do reaktora mogą być doprowadzane ciecze i ciała stałe z wodą oraz osadami.

Odzysk ciepła odbywa się poprzez wytwarzanie pary o wysokim ciśnieniu i temperaturze (do 600 °C i 240 barów) oraz wykorzystanie kondensacji pary wodnej z spalin, która stanowi około 10-15% ogólnego bilansu cieplnego. Generalnie efektywność (sprawność) cieplna instalacji może wynosić nawet 95-99% (wejściowa energia odpadowa jako LHV).

Korzyści dla środowiska

Redukcja emisji do powietrza oraz produkcja żużli obojętnych.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Do oczyszczania spalin stosuje się dwustopniową płuczkę gazową moką, a następnie płuczkę kondensacyjną, która odzyskuje ciepło utajone spalin. Skroplona woda również zostaje odzyskana w tym procesie. W drugim etapie pracy płuczki stosowany jest kamień wapienny. Emisje do powietrza z tego procesu przedstawiono w tabeli 6.1, w odniesieniu do przetwarzania trzech różnych przykładowych odpadów (odpady z oczyszczania gleby i wód gruntowych zawierające substancje niebezpieczne - EWC19.13.01*, odpady komunalne - EWC 19.12.12, oraz odpady organiczne zawierające substancje niebezpieczne - EWC 16.03.05*).

Tabela 6.1 Emisje do powietrza w procesie bezpłomieniowego, ciśnieniowego spalania tlenowego z wykorzystaniem trzech różnych rodzajów odpadów

Parametr	Jednostka	Wartości emisji		
		19.13.01*	19.12.12	16.03.05*
Pył	mg/Nm ³	0.8	9.6	4.6
Hg	mg/Nm ³	0.001	0.003	
Sb + As + Pb + Cr + Co + Cu + Mn + Ni + V	mg/Nm ³	0.08	0.1	0.07
Cd + Tl	mg/Nm ³	< 0.001	< 0.001	0.00001
PCDD/F	ng I-TEQ/Nm ³	0.001	0.001	< 0.0008
Dioksynopodobne PCB	ng WHO-TEQ/Nm ³	0.0001	0.0001	0.00006
PAH	ng/Nm ³	< 10	< 10	< 25
HCl	mg/Nm ³	0.9	NA	< 0.008
NO _x	mg/Nm ³	141	180	21.5
SO _x	mg/Nm ³	< 7	1.1	< 5
HF	mg/Nm ³	0.2	NA	0.55
Źródło: [93. Włochy 2015]				

Tabela 6.2 przedstawia wyniki testu wymywania przeprowadzonego na żużlu wytworzonym w procesie bezpłomieniowego ciśnieniowego spalania tlenowego (te same odpady).

Tabela 6.2 Próba wymywania żużla wytworzonego w procesie bezplomieniowego, ciśnieniowego spalania tlenowego z wykorzystaniem trzech różnych rodzajów odpadów

Parametr	Jednostka	Wartości emisji		
		19.13.01*	19.12.12	16.03.05*
pH (finalny)		NA	3.32	NA
Całkowicie rozpuszczone substancje stałe	mg/l	25	36	< 100
Rozpuszczony węgiel organiczny (DOC)	mg/l	< 0.125	0.615	< 10
Chlorki	mg/l	< 0.004	0.357	0.003
Fluorki	mg/l	0.001	< 0.0105	0.01
Siarczany	mg/l	0.047	0.283	0.04
Antymon	mg/l	0.000144	0.00123	0.002
Arsen	mg/l	0.000187	0.000392	< 0.01
Bar	mg/l	< 0.001 2	0.00307	< 0.001
Kadm	mg/l	0.000087	< 0.000072	< 0.001
Chrom	mg/l	0.00498	0.017	0.02
Rtęć	mg/l	< 0.000044	< 0.000054	0.005
Molibden	mg/l	0.00187	0.00305	0.04
Nikiel	mg/l	0.00181	0.00319	< 0.003
Ołów	mg/l	0.000235	0.00604	0.05
Miedź	mg/l	0.00306	0.0206	< 0.05
Selen	mg/l	0.000158	< 0.000324	NA
Cynk	mg/l	< 0.004	0.0144	NA
Indeks fenolowy	mg/l	< 0.0497	< 0.0493	NA

Źródło: [93. Włochy 2015]

Pasożytnicze zużycie energii waha się od 50 do 110 kWh na tonę odpadów (co odpowiada 10-20% odzyskanej energii brutto).

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Brak danych.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta jest ogólnie stosowana.

Ekonomika

Koszt inwestycji: 25–30 milionów EUR.

Koszty operacyjne: 5.5 mln EUR rocznie (dla zakładu o mocy 15 MW_{th} i nominalnej wydajności 80 000 ton/rok stałych odpadów komunalnych, co odpowiada kosztowi operacyjnemu w wysokości 68.75 EUR na tonę).

Ewentualne oszczędności obliczane są przy uwzględnieniu wartości referencyjnej 0.26 m³/tonę oczyszczonych odpadów, która jest sumą wytwarzanych osadów i ścieków. Biorąc pod uwagę 80 000 ton odpadów wejściowych rocznie, ogólny koszt usuwania ścieków i osadów szacuje się na 1 456 000 EUR rocznie.

Ustalając ilość odpadów do przetworzenia (80 000 ton rocznie) oraz koszt usunięcia odpowiadający 70 EUR za tonę odpadów, oszacowano następujące możliwe oszczędności:

- Ścieki: 410 000 EUR rocznie.
- Wytwarzanie ścieków dla zakładu o mocy 15 MW_{th} wynosi 1 300 ton rocznie, co odpowiada 0.016 m³/tonę przetworzonych odpadów. W związku z tym koszty usuwania ścieków wynoszą 91 000 EUR rocznie, a szacowane oszczędności wynoszą 410 000 EUR rocznie.
- Osad: 790 000 EUR rocznie.

- Produkcja osadów dla zakładu o mocy 15 MWth wynosi 2 600 ton rocznie i odpowiada 0.032 m³/tonę przetworzonych odpadów. W związku z tym koszty unieszkodliwiania osadów wynoszą 182 000 EUR rocznie, a szacowane oszczędności wynoszą 790 000 EUR rocznie.
- Woda chłodząca.
- W przeciwieństwie do tradycyjnych spalarni, proces ten nie wykorzystuje wody chłodzącej.
- Produkcja energii netto: 2.2-3.5 euro rocznie.
- Produkcja energii netto wynosi 31 000 MWh/rok, co odpowiada 0.39 MW/tonę przetworzonych odpadów.

Siła napędowa wdrażania

Brak danych.

Przykładowe zakłady

Isotherm Gioia del Colle (IT).

Literatura źródłowa

[\[93. Italy 2015\]](#)

6.4 Odzyskiwanie fosforu z popiołów pochodzących ze spalania osadów ściekowych

Opis

Odzyskiwanie fosforu (i innych surowców) zawartego w popiołach pochodzących ze spalania w złożu fluidalnym komunalnych osadów ściekowych.

Szczegóły techniczne

[\[150. Huygens i inni 2019\]](#)

W ostatnim czasie opracowano i przetestowano różne techniki odzyskiwania fosforu zawartego w popiołach z monospalania komunalnych osadów ściekowych. Procesy te mogą również pozwolić na odzyskiwanie dodatkowych surowców zawartych w popiołach.

Wśród omawianych tu procesów można wyróżnić procesy chemiczne mokre oraz procesy termiczne. Podczas gdy procesy termiczne są w momencie pisania niniejszego dokumentu nadal w fazie pilotażowej, niektóre procesy chemiczne mokre zbliżają się do etapu wejścia na rynek.

Procesy chemiczne mokre

Zawartość fosforu zostaje prawie całkowicie rozpuszczona w wyniku zakwaszenia. Procesowi temu nieuchronnie towarzyszy częściowe rozpuszczenie metali zawartych w popiele. Gatunek i ilość rozpuszczonych metali zależy od składu surowca (bogatego w Fe lub Al), a także od rodzaju i ilości dodanego kwasu (H₂SO₄ lub HCl).

Niektóre procesy skutecznie oddzielają i usuwają toksyczne zanieczyszczenia nieorganiczne (np. Pb, Cd, Hg itp.) celem podniesienia jakości odzyskanego produktu bogatego w fosfor. Dodatkowo można również oddzielić Al i Fe, ponieważ te pierwiastki mogą obniżać jakość i biodostępność roślinną odzyskanego produktu. Kationy mogą być usuwane z kwaśnych odcieków za pomocą różnych metod, w tym wytrącania sekwencyjnego, ekstrakcji ciecz-ciecz i wymiany jonowej.

W zależności od konkretnego procesu, fosfor może być odzyskiwany jako kwas fosforowy lub bezpośrednio jako mineralne nawozy P, takie jak wodorofosforan wapniowy (CaHPO₄, DCP).

Niektóre procesy polegają również na częściowym bezpośrednim zastąpieniu fosforytów do gruntu (do ok. 10-20% całkowitej zawartości P) popiołami bogatymi w P w procesie zakwaszania stosowanym w przemyśle nawozowym. [\[147. Langeveld oraz Ten Wolde 2014\]](#)

Proces termiczny

Składniki odżywcze mogą być odzyskiwane z popiołów poprzez przetwarzanie w wysokiej temperaturze. Opracowano procesy, które przenoszą P do żuźla metalurgicznego poprzez wytopianie redukcyjne w bardzo wysokiej temperaturze, w piecu szybowym [148. Scheidig 2009] lub które redukują P do elementarnego P, który jest oddzielany poprzez fazę gazową w indukcyjnie ogrzewanym piecu szybowym [149. Schönberg i in. 2014]. Ogólna zasada jest taka, że lotne metale ciężkie, takie jak Zn, Pb, Cd i Hg, są oddzielane od produktu przez fazę gazową i dalej gromadzone w pyłe spalinowym, a metale ciężkie o wysokiej temperaturze wrzenia, takie jak Fe, Cu, Ni i Cr, są oddzielane w postaci ciekłego stopu.

Korzyści dla środowiska

Korzyści obejmują zmniejszenie ilości odpadów do unieszkodliwiania, odzysk nadających się do sprzedaży produktów fosforowych, produkcję chemikaliów do strącania, które mogą być poddane recyklingowi w oczyszczalniach ścieków, detoksykację popiołów poprzez oddzielenie metali ciężkich jako chemicznie stabilnych siarczków.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Podany zakres odzysku P wynosi od 60 do 98% dla procesów chemicznych mokrych (można go również nazwać procesem moko-chemicznym) oraz od 80 do 98% dla procesów termicznych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Brak danych.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Brak danych.

Ekonomika

Brak danych.

Siła napędowa wdrażania

Zwiększanie efektywności wykorzystania zasobów.

Przykładowe zakłady

Procesy chemiczne mokre zostały przetestowane w zakładach pilotażowych w Szwecji, Niemczech i Holandii. Procesy termiczne były testowane w Europie i w Japonii.

Literatura źródłowa

[138. [Bezak-Mazur i inni 2014](#)] [140. [Biswas i inni 2009](#)] [141. [Egle i inni 2016](#)], [142. [Amann i inni 2018](#)] [143. [Healy i inni 2015](#)] [145. [Easymining 2019](#)] [146. [Phos4you 2019](#)] [147. [Langeveld oraz Ten Wolde 2014](#)] [148. [Scheidig 2009](#)] [149. [Schönberg i inni 2014](#)].

7. UWAGI KOŃCOWE ORAZ ZALECENIA DOTYCZĄCE PRZYSZŁYCH PRAC

Harmonogram procesu przeglądu

Kluczowe etapy procesu przeglądu zostały podsumowane w tabeli 7.1.

Tabela 7.1 Kamienie milowe procesu przeglądu dokumentu BREF WI

Kamień milowy	Data
Reaktywowanie TWG	12 maj 2014
Wezwanie do przedstawienia początkowych stanowisk (poglądów)	20 czerwiec 2014
Spotkanie inauguracyjne	19 - 22 styczeń 2015
Przygotowanie kwestionariuszy	kwiecień - grudzień 2015
Zbieranie informacji oraz danych	Marzec 2015 - kwiecień 2016
Pierwsza propozycja dokumentu BREF WI	maj 2017
Koniec fazy komentowania pierwszej propozycji dokumentu (otrzymano 2901 komentarzy)	8 wrzesień 2017
Finalne spotkanie grupy TWG	23 - 27 kwiecień 2018

W trakcie procesu przeglądu BREF odwiedziono łącznie 13 spalarni odpadów i 4 spalarnie popiołu paleniskowego w Austrii, Francji, Niemczech i Szwecji (w roku 2016 i 2017).

Ponadto zorganizowano dwa wydarzenia mające na celu usprawnienie wymiany informacji:

- webinarium w listopadzie 2016 r. na temat danych zebranych za pośrednictwem kwestionariuszy (zob. poniżej);
- nieformalne posiedzenie technicznej grupy roboczej (TWG) w grudniu 2017 r. celem wymiany poglądów na temat niektórych kluczowych aspektów przeglądu dokumentu BREF WI przed ostatecznym posiedzeniem.

Źródła informacji i luki informacyjne

Głównymi źródłami informacji dla procesu przeglądu były:

- wydawnictwa naukowe i techniczne;
- ponad 300 wypełnionych kwestionariuszy otrzymanych od operatorów spalarni odpadów i zakładów przetwarzania popiołu paleniskowego;
- dodatkowe informacje od członków TWG;
- około 2 900 uwag do projektu 1 zmienionego dokumentu BREF;
- informacje zebrane podczas wizyt w zakładach WI;
- wyniki warsztatów i wspomnianego wyżej webinaru;
- wkład wniesiony przez trzy podgrupy tematyczne (zob. poniżej).

Podczas spotkania inauguracyjnego podjęto decyzję o utworzeniu trzech tematycznych podgrup grupy roboczej w celu wsparcia przeglądu dokumentu BREF WI w następujących kwestiach:

- zbieranie danych oraz przygotowanie kwestionariusza;
- energia;
- pozostałości.

W sumie w systemie BATIS umieszczono ponad 400 dokumentów, a większość z nich została uwzględniona w zmienionym dokumencie BREF WI.

W odniesieniu do emisji do powietrza pyłów, HCl, HF, CO, TVOC, SO₂, metali i metaloidów, w tym rtęci, NH₃, a także PCDD/F i dioksynopodobnych PCB, techniczna grupa robocza zwróciła uwagę na potencjalną trudność w czasie, gdy dokonywany był przegląd dokumentu BREF dotyczącego spalania odpadów, w ocenie zgodności z dopuszczalnymi wielkościami emisji, gdy są one ustalone wokół dolnej granicy zakresu BAT- AEL, ze względu na prawdopodobny wzrost względnej niepewności pomiaru (tj. niepewności wyrażonej jako procent zmierzonej wartości)

przy malejących poziomach emisji.

W tym kontekście TWG uznała trwające prace CEN nad przeglądem i aktualizacją norm pomiarowych, które są istotne dla wdrożenia wniosków dotyczących BAT, odnoszących się do spalania odpadów.

Stopień zgodności osiągnięty w trakcie wymiany informacji

Na końcowym posiedzeniu TWG w kwietniu 2018 r. osiągnięto wysoki stopień porozumienia w sprawie większości konkluzji dotyczących BAT. Wyrażono jednak 16 oddzielnych opinii (dotyczących 9 z łącznej liczby 35 konkluzji BAT), które spełniają warunki określone w pkt 4.6.2.3.2 decyzji wykonawczej Komisji 2012/119/UE. Zostały one podsumowane w tabeli 7.2.

Tabela 7.2 Omówienie "zdań odrębnych".

No	Numer konkluzji BAT	"Zdanie odrębne"	Opinia zgłoszona przez	Propozycja alternatywna
1	Uwagi ogólne	Usunąć współczynnik $(Q_b/(Q_b-Q_i))$ ze wzoru na efektywność (sprawność) elektryczną brutto.	AT, EEB	NA
2	BAT 4	Dodanie przypisu (⁶) stwierdzającego, że mieszane odpady komunalne nie mogą być uznawane za odpady o udowodnionej niskiej i stabilnej zawartości rtęci	EEB	NA
3		Ustalenie długoterminowego pobierania próbek PCDD/F i PCDD/F + dioksynopodobne PCB tylko jako opcjonalnej alternatywy dla krótkoterminowego pobierania próbek w pomiarach okresowych	DE	NA
4		Skreślić przypis (⁷), który pozwala na skreślenie zapisu dotyczącego długoterminowego pobierania próbek PCDD/F lub dioksynopodobnych PCB	BE	NA
5	BAT 11	Dodanie POP (TZO) do przykładów substancji monitorowanych okresowo przy dostawie stałych odpadów komunalnych i pozostałych odpadów innych niż niebezpieczne	SE, EEB	NA
6	Zmienić następujące BAT-AEL w celu uwzględnienia niepewności pomiaru:		CEWEP, ESWET, Euroheat&Power, FEAD	
	BAT 25 Tabela 5.3	pył		10 mg/Nm ³
	BAT 27, BAT 28 Tabela 5.5	SO ₂ dla nowych zakładów SO ₂ dla istniejących zakładów		30 mg/Nm ³ 30–40 mg/Nm ³
	BAT 29 Tabela 5.6	NH ₃ CO		30 mg/Nm ³ 50 mg/Nm ³
	BAT 30 Tabela 5.7	TVOC		10 mg/Nm ³
	BAT 31 Tabela 5.8	Hg (wyrażone jako średnia dobowa oraz jako średnia w okresie pobierania próbek).		50 µg/Nm ³
7	BAT 25 Tabela 5.3	Zmienić przypis (¹) na: W przypadku istniejących zakładów górna granica zakresu BAT-AEL wynosi 7 mg/Nm ³ do czasu modernizacji/ przebudowy istniejącego filtra.	AT	NA

8	BAT 29	Zastosowanie techniki d (SNCR): nie dotyczy spalarni odpadów niebezpiecznych o wydajności poniżej 6 t/godz., w których temperatura w komorze spalania wtórnego wynosi powyżej 1 000 °C i które wyposażone zostały w bezpośrednie chłodzenie w zakresie od co najmniej 1 000 do 75/80 °C.	HWE, Eurits, FEAD	NA
		Zastosowanie techniki e (SCR): nie stosuje się do spalarni odpadów niebezpiecznych o wydajności poniżej 6 t/h, gdzie gazy mają temperaturę 75/80 °C i są nasycone wodą po bezpośrednim wygaszeniu/schłodzeniu.	HWE, Eurits, FEAD	NA
9	BAT 29 Tabela 5.6	Obniżyć górną granicę zakresu NO _x w BAT-AEL	BE, NL, SE, EEB	110 mg/Nm ³ dla istniejących obiektów (SE), 100 mg/Nm ³ dla istniejących obiektów (NL, EEB), 100 mg/Nm ³ dla nowych obiektów (BE, NL, SE, EEB)
		Skreślić przypis ⁽²⁾	NL, SE, EEB	NA
		Zmienić przypis (2) na: "W przypadku gdy SCR nie ma zastosowania, górną granicę zakresu BAT- AEL wynosi 180 mg/Nm ³ do momentu, gdy system De- NOX zostanie zmodernizowany/przebudowany."	AT	NA
10	BAT 29 Tabela 5.6	Obniżenie górnej wartości zakresu BAT-AEL dla emisji NH ₃ do powietrza	AT, EEB	5 mg/Nm ³
11	BAT 30 Tabela 5.7	Obniżenie dolnej wartości zakresu BAT-AEL dla emisji TVOC do powietrza	EEB	< 2 mg/Nm ³
12	BAT 30 Tabela 5.7	Obniżenie górnej granicy zakresu BAT-AEL dla emisji PCDD/F do powietrza mierzonych za pomocą długoterminowego pobierania próbek	AT, BE, EEB	0.04 ng I-TEQ/Nm ³ dla nowych zakładów, 0.06 ng I-TEQ/Nm ³ dla istniejących zakładów
		Obniżenie górnej granicy zakresu BAT-AEL dla emisji PCDD/F + dioksynopodobnych PCB do powietrza mierzonych za pomocą długoterminowego pobierania próbek	AT, BE	0.06 ng I-TEQ/Nm ³ dla nowych zakładów, 0.08 ng I-TEQ/Nm ³ dla istniejących zakładów
		Skreślić przypis ⁽²⁾	BE	NA
13	BAT 31 Tabela 5.8	Ustalić BAT AEL dla emisji Hg do powietrza wyrażony jako średnia roczna	EEB	NA
		Usunąć półgodzinne orientacyjne poziomy emisji i ustalić BAT AEL dla emisji Hg do powietrza wyrażony jako średnia półgodzinna	EEB	NA
14	BAT 34 Tabele 5.9 i 5.10	Podnieść górną granicę zakresu BAT-AEL dla Ni	CEWEP, ESWET, FEAD, Eurits, HWE and Cefic	0.5 mg/l
15	BAT 34 Tabele 5.9 i 5.10	Obniżyć górną granicę zakresu BAT-AEL dla emisji Cd, Hg, Ni i Sb do wody	EEB	Cd: 0.01 mg/l Hg: 0.003 mg/l Ni: 0.1 mg/l
			AT	Sb: 0.2 mg/l
16	BAT 35	Zmienić oświadczenie BAT na: BAT dotyczą postępowania i przetwarzania popiołów paleniskowych oddzielnie od popiołów lotnych oraz innych pozostałości z FGC".	EEB	NA

Konsultacje na forum oraz późniejsza formalna procedura przyjęcia konkluzji dotyczących BAT

Zgodnie z art. 13(3) Dyrektywy forum wydało opinię na temat projektu dokumentu referencyjnego dotyczącego najlepszych dostępnych technik (BAT) w zakresie spalania odpadów, przedstawionego na posiedzeniu forum w dniu 27 lutego 2019 r:

1. [Forum z zadowoleniem](#) przyjęło przedstawiony przez Komisję projekt dokumentu referencyjnego dotyczącego najlepszych dostępnych technik (BAT) w zakresie spalania odpadów.
2. Forum uznało dyskusje przeprowadzone na posiedzeniu w dniu 27 lutego 2019 r. i uzgodniło, że zmiany w projekcie dokumentu referencyjnego dotyczącego najlepszych dostępnych technik (BAT) dla dużych obiektów energetycznego spalania, zaproponowane w [załączniku A do opinii Forum](#), powinny zostać włączone do dokumentu końcowego.
3. Forum potwierdziło uwagi zawarte w [załączniku B do opinii Forum](#) jako przedstawiające poglądy niektórych członków Forum, w sprawie których nie osiągnięto jednak w ramach Forum porozumienia co do włączenia ich do dokumentu końcowego.

Następnie, przygotowując projekt decyzji wykonawczej Komisji ustanawiającej najlepsze dostępne techniki (BAT) w zakresie spalania odpadów, Komisja uwzględniła opinię forum ustanowionego na mocy art. 13 dyrektywy IED. Komitet IED (art. 75) na posiedzeniu w dniu 17 czerwca 2019 r. wydał [pozytywną opinię w sprawie tego projektu decyzji wykonawczej Komisji](#).

Następnie w dniu 12 listopada 2019 r. przyjęto decyzję wykonawczą Komisji (UE) 2019/7987 ustanawiającą konkluzje dotyczące najlepszych dostępnych technik (BAT) w zakresie spalania odpadów, która została opublikowana w Dzienniku Urzędowym Unii Europejskiej ([Dz.U. L 312 z 3.12.2019, s. 55](#)).

Rekomendacje dla przyszłych prac

Wymiana informacji ujawniła szereg kwestii, którymi należy się zająć podczas kolejnego przeglądu dokumentu BREF WI. Zalecenia na potrzeby kolejnego przeglądu obejmują następujące kwestie:

- związane z zakresem kolejnego przeglądu dokumentu BREF WI:
 - gromadzenie informacji na temat zakładów zgazowania, spalarni stosujących do spalania plazmę i pirolizę (działających w UE-28);
- związane z efektywnością (sprawnością) kotła osiąganą przez spalarnie odpadów spalające odpady niebezpieczne lub osady ściekowe:
 - gromadzenie informacji o efektywności (sprawności) kotłów i jej zmienności w zależności np. od zastosowania paliw pomocniczych lub rodzaju i zakresu wstępnego przetwarzania osadów ściekowych, w przypadku spalania osadów ściekowych;
- związane z metodą monitoringu emisji PCDD/F:
 - gromadzenie informacji na temat emisji PCDD/F mierzonych na podstawie krótkoterminowego i długoterminowego pobierania próbek;
- związane z mieszaniem różnych pozostałości spalania celem ich późniejszego przetworzenia:
 - zbieranie informacji o składzie popiołów paleniskowych i kotłowych oraz o możliwych skutkach ich mieszania pod względem zagrożeń stwarzanych przez materiał wyjściowy (nie tylko z uwzględnieniem efektu rozcieńczenia), a także o ogólnym stopniu odzysku materiału.

Proponowane tematy przyszłych prac badawczo-rozwojowych

Komisja uruchamia i wspiera, poprzez swoje programy badań i rozwoju technologicznego, szereg projektów dotyczących czystych technologii, nowych technologii oczyszczania ścieków i recyklingu oraz strategii zarządzania. Potencjalnie projekty te mogłyby stanowić użyteczny wkład w przyszłe przeglądy dokumentów BREF. Czytelników zachęca się zatem do informowania Europejskiego Biura IPPC o wszelkich wynikach badań, które są istotne dla zakresu niniejszego dokumentu (zob. również piątą część wstępu do niniejszego dokumentu).

8. ZAŁĄCZNIKI

8.1 Koszty niektórych systemów monitorowania emisji do powietrza

Monitorowanie PCDD/F i PCB

Dane dotyczące kosztów długoterminowego pobierania próbek PCDD/F i PCB (z Indaver):

Inwestycja:	110 000-140 000 EUR
Testowanie systemu:	4 900 EUR (szacunkowe)
Analizy (26 próbek/rok):	20 000 EUR/rok
Koszty konserwacji przez dostawcę/producenta:	2 500 EUR/rok

Monitorowanie rtęci (Hg)

Dane dotyczące kosztów ciągłego pomiaru rtęci (szacunkowe):

Inwestycja :	Około 100 000 EUR/instrument jako koszt zainstalowania
Roczny koszt obsługi i konserwacji:	20 000 EUR/linię produkcyjną

Koszt inwestycji w długoterminowy system pobierania próbek rtęci jest znacznie tańszy niż w przypadku pomiarów ciągłych i szacowany na około 10-20% AMS. Zakłada się, że dla obu tych metod koszt operacyjny jest w przybliżeniu taki sam. [\[80. Dania 2015\]](#)

8.2 Przykłady obliczeń efektywności (sprawności) energetycznej

Niniejszy załącznik zawiera szereg przykładów, jak można obliczać efektywność energetyczną spalarni odpadów lub ich części zgodnie z pojęciami stosowanymi do wyrażania efektywności (sprawności) elektrycznej brutto i efektywności (sprawności) energetycznej brutto podanymi w sekcjach 3.5.1, 3.5.2.1, 3.5.2.2 oraz w rozdziale 5. Przykłady obejmują głównie zakłady, które były częścią gromadzenia danych w 2016 r. i które spalają głównie odpady inne niż niebezpieczne, inne niż osady ściekowe, lub niebezpieczne odpady drzewne.

Podpunkty poniżej zawierają praktyczne przykłady informacji używanych do określenia różnych terminów używanych we wzorach przedstawionych w pkt 3.5.1 i w rozdziale 5. Ostatni podrozdział, 8.2.3, stanowi przykład bardziej złożonego przypadku, w którym właściwe może być wyrażenie efektywności energetycznej w kategoriach efektywności elektrycznej brutto i efektywności energetycznej brutto, dla różnych części tego samego zakładu.

8.2.1 Efektywność (sprawność) elektryczna brutto

Przykład 1.a – Zakład generujący tylko energię elektryczną

Zakład UK03 posiada tylko jedną linię i wysyła całą wyprodukowaną w kotle parę do turbiny kondensacyjnej. Zakład nie raportuje zużycia pary we własnym zakresie.

Odpowiedni wzór na efektywność energetyczną (zob. również sekcja 3.5.1) jest następujący:

$$\eta_e = (W_e/Q_{th}) \times (Q_b/(Q_b - Q_i))$$

Podsumowanie informacji z badania wydajności zakładu przedstawiono w tabeli 8.1 (dane zaznaczone kursywą są podane dla celów informacyjnych i nie są ściśle niezbędne do obliczeń):

Tabela 8.1 Podsumowanie informacji z badania eksploatacyjnego instalacji wytwarzającej tylko energię elektryczną

Parametr		Termin pokrewny
Wsad odpadów [t/h]	18.36	
Wsad odpadów [kg/s]	5.1	
NCV w MJ/kg	8.59	
Razem energia na wejściu w MW	43.8	Q_{th}
Produkcja pary:		
<i>Temperatura [°C]</i>	<i>407.4</i>	
<i>Ciśnienie [bar]</i>	<i>41.1</i>	
<i>Ilość [kg/s]</i>	<i>14.2</i>	
<i>Entalpia właściwa na wyjściu [kJ/kg]</i>	<i>3 229.97</i>	
<i>Entalpia właściwa wsadu wody [kJ/kg]</i>	<i>591.63</i>	
Turbogenerator: Turbina kondensacyjna		
<i>Ilość [kg/s]</i>	14.2	
<i>Temperatura referencyjna cieczy chłodzącej [°C]</i>	10	
Moc generatora po korekcie [MWe]:	10.66	W_e
Efektywność elektryczna brutto [%]:	24.33	

Ponieważ nie zgłoszono żadnego własnego zużycia pary, uznaje się, że cała wyprodukowana para jest wysyłana do turbiny kondensacyjnej i $Q_i = 0$.

Na podstawie powyższych informacji, odpowiednie wartości we wzorze na efektywność elektryczną brutto są następujące:

$$W_e = 10.66 \text{ MW}_e$$

$$Q_{th} = 43.8 \text{ MW}$$

$$\eta_e = 24.33 \%$$

Przykład 1.b - Zakład CHP zorientowany na wytwarzanie energii elektrycznej

Zakład FR33 posiada dwie linie o równej wydajności, które wysyłają parę do turbiny kondensacyjnej z upustem o ciśnieniu 4 barów, przesyłającej parę do wymiennika ciepła i dalej na potrzeby ogrzewania komunalnego. Upust ten może być jednak zamknięty, a para wodna w pełni rozprężona w turbinie. Dlatego obliczenie efektywności energetycznej wykonywane jest przy pełnym obciążeniu i zamkniętym upuście.

Dodatkowo część pary jest wykorzystywana we własnym zakresie zakładu. Ilość ta jest równa różnicy pomiędzy parą produkowaną przez kocioł a parą wprowadzaną do turbiny.

Odpowiedni wzór na efektywność energetyczną (zob. również sekcja 3.5.1) jest następujący:

$$\eta_e = (W_e/Q_{th}) \times (Q_b/(Q_b - Q_i))$$

Podsumowanie informacji z badania wydajności zakładu przedstawiono w tabeli 8.2 (dane zaznaczone kursywą są podane dla celów informacyjnych i nie są ściśle niezbędne do obliczeń):

Tabela 8.2 Podsumowanie informacji z badania eksploatacyjnego zakładu CHP zorientowanego na produkcję energii elektrycznej

Parametr	Kocioł 1	Kocioł 2	Razem	Termin pokrewny
Wsad odpadów [t/h]	5.51	5.51	11.02	
Wsad odpadów [kg/s]	1.53	1.53	3.06	
NCV w MJ/kg	9.21	9.21		
Razem energia na wejściu w MW	14.07	14.07	28.14	Q_{th}
<i>Temperatura [°C]</i>	<i>362.7</i>	<i>368.5</i>		
<i>Ciśnienie [bar]</i>	<i>45</i>	<i>44.9</i>		
<i>Ilość [kg/s]</i>	<i>4.69</i>	<i>4.67</i>	<i>9.36</i>	
<i>Entalpia właściwa [kJ/kg]</i>	<i>3 113.8</i>	<i>3 128.6</i>		
Turbogenerator: Turbina kondensacyjna				
<i>Ilość pary na wejściu [kg/s]</i>			9.17	
Moc generatora [MWe]:			5.97	W_e
<i>Wymienniki ciepła na potrzeby komunalnej sieci ciepłowniczej: nie są uwzględniane w obliczeniach, ponieważ podczas badania eksploatacyjnego upust był zamknięty.</i>				
<i>Ciśnienie [bar]</i>			4	
<i>Moc nominalna (MW_{th})</i>			9	
Efektywność elektryczna brutto [%]:			21.65	

Część pary wysokociśnieniowej (0.19 kg/s) została podczas próby eksploatacyjnej pobrana na użytek własny (dmuchawy sadzy) bezpośrednio z kotła. Jest to związane z wartością Q_i .

Na podstawie powyższych informacji, odpowiednie wartości we wzorze na efektywność elektryczną brutto są następujące:

$$W_e = 5.97 \text{ MW}_e$$

$$Q_{th} = 28.14 \text{ MW}$$

$$Q_b = (9.36) \times \Delta h$$

$$Q_i = (9.36 - 9.17) \times \Delta h$$

$$\eta_e = 21.65 \%$$

Gdzie Q_i wyraża się w tym przypadku jako różnicę pomiędzy ilością wyprodukowanej pary a ilością pary wprowadzonej do turbiny, pomnożoną przez zmianę entalpii (Δh) pomiędzy parą a wodą zasilającą. Obliczanie Δh nie jest konieczne, ponieważ termin ten jest upraszczany w obliczeniach.

8.2.2 Efektywność (sprawność) energetyczna brutto

Przykład 2.a – Zakład generujący tylko ciepło

Zakład FR18 posiada dwie linie o różnej wydajności. Ponieważ kotły tych linii zostały uruchomione i przetestowane w różnych momentach, NCV odpadów jest inna. Kotły wytwarzają również parę o różnym ciśnieniu, ponieważ jeden z nich ma być w przyszłości podłączony do turbiny parowej. Wyprodukowana para jest w całości wykorzystywana do bezpośredniego eksportu (ale nie jest do komunalna sieć ciepłownicza). Nie zgłasza się zużycia ciepła na własne potrzeby (Q_i).

Odpowiedni wzór na efektywność energetyczną (zob. również sekcja 3.5.1) jest następujący:

$$\eta_h = (W_e + Q_{he} + Q_{de} + Q_i)/Q_{th}$$

Podsumowanie informacji z badania wydajności zakładu przedstawiono w tabeli 8.3 (dane zaznaczone kursywą są podane dla celów informacyjnych i nie są ściśle niezbędne do obliczeń).

Tabela 8.3 Podsumowanie informacji z badania eksploatacyjnego instalacji wytwarzającej wyłącznie ciepło

Parametr	Kocioł 1	Kocioł 2	Razem	Termin pokrewny
Wsad odpadów [t/h]	3.2	4	7.2	
Wsad odpadów [kg/s]	0.89	1.11	2.00	
NCV w MJ/kg	8.17	9.18		
Razem energia na wejściu w MW	7.27	10.18	17.45	Q_{th}
Produkcja pary				
Temperatura [°C]	220	350		
Ciśnienie [bar]	20	40		
Ilość [kg/s]	1.94	3.47	5.42	
Entalpia właściwa [kJ/kg]	2 798.4	2 800.9		
Turbogenerator: brak				
Eksport pary/gorącej wody				
bezpośrednio wyeksportowana moc cieplna pomniejszona o moc cieplną strumienia (przepływu) powrotnego, w MW			13.2	Q_{de}
Efektywność energetyczna brutto [%]:			75.6%	

Na podstawie powyższych informacji odpowiednie wartości we wzorze na efektywność energetyczną brutto są następujące:

$$W_e = 0 \text{ (brak turbiny)}$$

$$Q_{de} = 13.2 \text{ MW}$$

$$Q_{he} = 0 \text{ (brak wymiennika ciepła do ogrzewania bezpośredniego)}$$

$$Q_i = 0 \text{ (brak zużycia własnego ciepła)}$$

$$Q_{th} = 17.45 \text{ MW}$$

$$\eta_h = 75.6 \%$$

Przykład 2.b - Zakład CHP zorientowany na wytwarzanie ciepła

Zakład FR53 posiada dwie linie o równej wydajności, które wysyłają parę do turbiny przeciwprężnej, skąd para o ciśnieniu 1.7 bara jest przesyłana do wymiennika ciepła celem zasilania komunalnej sieci ciepłowniczej.

Odpowiedni wzór na efektywność energetyczną (zob. również sekcja 3.5.1) jest następujący:

$$\eta_h = (W_e + Q_{he} + Q_{de} + Q_i)/Q_{th}$$

Podsumowanie informacji z badania wydajności zakładu przedstawiono w tabeli 8.4 (dane zaznaczone kursywą są podane dla celów informacyjnych i nie są ściśle niezbędne do obliczeń):

Tabela 8.4 Podsumowanie informacji z badania eksploatacyjnego zakładu CHP zorientowanego na produkcję energii ciepła

Parametr	Kocioł 1	Kocioł 2	Razem	Termin pokrewny
Wsad odpadów [t/h]	7.5	7.5	15	
Wsad odpadów [kg/s]	2.08	2.08	4.16	
NCV w MJ/kg	8.36	8.36		
Razem energia na wejściu w MW			34.85	Q_{th}
<i>Produkcja pary:</i>				
<i>Temperatura [°C]</i>			410	
<i>Ciśnienie [bar]</i>			40.6	
<i>Ilość [kg/s]</i>	5.67	5.67	11.34	
<i>Entalpia właściwa [kJ/kg]</i>			3236.94	
Turbogenerator: przeciwpiężny				
<i>Ilość [kg/s]</i>			10.56	
Moc generatora [MWe]:			5.8	W_e
Wymiennik ciepła				
<i>Ciśnienie [bar]</i>			1.7	
Moc nominalna			26.2	Q_{he}
Efektywność energetyczna brutto [%]:			91.82	

Na podstawie powyższych informacji odpowiednie wartości we wzorze na efektywność energetyczną brutto są następujące:

$$W_e = 5.8 \text{ MW}$$

$$Q_{de} = 0 \text{ (brak bezpośredniego punktu eksportu)}$$

$$Q_{he} = 26.2 \text{ MW}$$

$$Q_i = 0 \text{ (brak zużycia własnego)}$$

$$Q_{th} = 34.85 \text{ MW}$$

$$\eta_h = 91.82 \%$$

Tabela 8.5 Podsumowanie informacji z badania wydajności zakładu o konfiguracji hybrydowej

#	Parametr	Kocioł 1	Kocioł 2	Razem
A	Wsad odpadów [t/h]	24.72	25.18	49.90
B	Wsad odpadów [kg/s]	6.87	6.99	13.86
C	NCV w MJ/kg	12.33	12.33	
D	Razem energia na wejściu w MW	84.652	86.242	170.894
<i>E</i>	<i>Produkcja pary [t/h]</i>	<i>100.41</i>	<i>102.95</i>	<i>203.36</i>
<i>F</i>	<i>Temperatura [°C]</i>	<i>399.99</i>	<i>400.06</i>	
<i>G</i>	<i>Ciśnienie [bar]</i>	<i>53.1</i>	<i>53.2</i>	
<i>H</i>	<i>Entalpia właściwa</i>	<i>3190.9</i>	<i>3191.0</i>	
<i>I</i>	<i>Entalpia wsadu wody [kJ/kg]</i>	<i>454.8</i>	<i>455.2</i>	
<i>Turbina: Turbina kondensacyjna</i>				
J	Moc wyjściowa brutto [MW]:			33.745
K	Moc wyjściowa brutto (po korekcje) [MW]:			34.476
<i>Eksport pary</i>				
L	Ilość [kg/s]			64.36
M	Temperatura [°C]			236.5
N	Ciśnienia [bar(a)]			14.863
O	Entalpia właściwa [kJ/kg]			2892.1

W oparciu o te parametry, Tabele 8.6 i 8.7 przedstawiają podsumowanie obliczeń efektywności energetycznej i elektrycznej brutto obliczonych dla odpowiednich części spalarni odpadów. [\[144. Podgrupa ds. Energii 2019\]](#)

Tabela 8.6 Sumaryczne obliczenie sprawności energetycznej brutto części zakładu opisanej jako wirtualna CHP zorientowana na produkcję ciepła

Wirtualna CHP zorientowana na produkcję ciepła				
#	Parametr	Wartość	Sposób wyliczenia	Termin pokrewny
P	Przepływ pary do odbiorcy [t/h]	64.36	= Performance test	
Q	Energia wejściowa brutto [MW]	54.085	= D * P / E	Q_{th}
R	Wyjściowa moc termiczna [MW _{th}]	43.574	= P * (O-I) / 3.6	Q_{de}
S	Entalpia po turbinie HP	2956.7	= Performance test	
T	Wyprodukowana moc [MW _{el}]	4.189	= P * (H-S)	W_e
$\eta_h = (W_e + Q_{he} + Q_{de} + Q_i) / Q_{th} = 88.31\%$ $Q_i = 0, Q_{he} = 0$				

Tabela 8.7 Sumaryczne obliczenie efektywności elektrycznej brutto części instalacji opisanej jako wirtualna instalacja elektryczna.

Część zakładu – wirtualna instalacja elektryczna				
#	Parametr	Wartość	Sposób wyliczenia	Termin pokrewny
U	Przepływ pary do turbiny [t/h]	139	= E - P	
V	Energia wejściowa brutto [MW]	116.809	= D * U / E	Q_{th}
W	Ciśnienie na kondensatorze [bar]	0.072	= Performance test	
Y	Moc na wyjściu [MW]	30.287	= K - T	W_e
$\eta_e = (W_e/Q_{th}) \times (Q_b / (Q_b - Q_i)) = 25.93\%$				
$Q_i = 0$				

8.3 Przykładowe metody stosowane przy wyborze systemu FGC

Poniższe tabele przedstawiają przykład, w jaki sposób w rzeczywistym projekcie dotyczącym spalarni o wydajności 200 000 ton odpadów (tw) rocznie, przeprowadzono ocenę oraz wybór zastosowanego systemu FGC.

Tabela 8.8 Przykład metody wyboru systemu FGC z uwzględnieniem wielu kryteriów

		Kryteria		
Proces		Półmokry	Podwójna sucha filtracja	Pojedyncza sucha filtracja
1- ZASOBY NATURALNE – ZUŻYCIE I OCHRONA				
a- surowiec				
woda		0.2	-	-
odczynnik	m ³ /tw			
typ		wapno	wodorowęglan	wodorowęglan
ilość		18	26	26
typ 2 (amoniak)	kg/tw	5	5	5
typ 3 (węgiel aktywny)	kg/tw	0.6	0.6	0.6
zużycie energii	kg/tw			
paliwo pomocnicze		-	-	-
energia elektryczna		25	30	20
b- odzysk i recykling	kg/tw			
odzysk energii				
odzysk metali	kg/tw			
odzysk materiałów konstrukcyjnych				
odzysk soli		-	możliwy	-
2- EMISJE				
a- techniki niskoodpadowe				
ścieki				
pozostałości stałe				
Pozostałości z FGC (ilość)				
Popioły lotne		-	-	-
Sole				
Jakość pozostałości z FGC/soli		54	-	45
b- emisje oraz ich wpływ				
emisje do atmosfery	kg/tw	-	25	-
zanieczyszczenia		wapienne	sodowe	sodowe
hałas				
odory				
emisje do wody				
emisje pozostałości				
3- RYZYKA				
związane z substancjami niebezpiecznymi (chemikalia)		małe	brak	brak
związane z emisjami		znikome	znikome	znikome
związane z wypadkami				
4- EKONOMIKA				
koszty i korzyści (inwestycyjne oraz operacyjne).	EUR	4.1	5.1	3.9
koszty operacyjne		19.9	19.7	20.6
KOSZTY OGÓLEM		24.0	24.8	24.5

Tabela 8.9 Przykład oceny kosztów (z uwzględnieniem wielu kryteriów) wykorzystanej do porównania opcji systemu FGC

200 000 t _w /rok								
Proces Odczynnik		Półmokry Wapno			Suchy Podwójna filtracja Wodorowęglany		Suchy Pojedyncza filtracja Wodorowęglany	
D) Koszty zmienne:								
<u>Odczynniki:</u>	Jedn. (u)	Koszt (€/u)	Ilość (u/t _w)	Koszt (€/t _w)	Ilość (u/t _w)	Koszt (€/t _w)	Ilość (u/t _w)	Koszt (€/t _w)
Wapno	kg	0.1	18	1.8				
Wodorowęglan sodu	kg	0.2			26	5.2	26	5.2
Amoniak	kg	0.15	5	0.8	5	0.8	5	0.8
Węgiel aktywny	kg	1.5	0.6	0.9	0.6	0.9	0.6	0.9
Media:								
Woda	m ³	0.5	0.2	0.1				
Energia elektryczna	kWh	0.04	25	1.0	30	1.2	20	0.8
1- Razem – odczynniki + media		€/t_w		4.6		8.1		7.7
Pozostałości oraz ścieki								
Popioły lotne	kg	0.27			25	6.8		
Pozostałości z FGC	kg	0.27						
Sole	kg	0.20	54	14.6	20	4.0	45	12.2
2- Razem – pozostałości + ścieki		€/t_w		14.6		10.8		12.2
RAZEM 1+2		€/t_w		19.2		18.9		19.9
3- Razem – siła robocza								
		€/t_w		0.2		0.2		0.2
4- Razem – dzienna konserwacja/obsługa								
		€/t_w		0.5		0.6		0.5
II) Koszty stałe:								
5- Zasady dotyczące konserwacji oraz wymiany		€/t_w		1.3		1.6		1.2
6 Roczna (odpowiadająca kapitałowi inwestycyjnemu + odsetki)*		€/t_w		2.8		3.5		2.7
Razem – koszty zmienne (1+2+3+4)		€/t_w		19.9		19.7		20.6
Razem – koszty stałe (5+6)		€/t_w		4.1		5.1		3.9
RAZEM – WSZYSTKIE KOSZTY		€/t_w		24		24.8		24.5

* Stała stawka 6% - czas trwania 20 lat.

8.4 Lista europejskich spalarni odpadów uczestniczących w gromadzeniu danych w roku 2016.

Linia referencyjna	Nazwa instalacji/zakładu	Miasto	Państwo	Główna aktywność	Wydajność	Główny rodzaj spalanych odpadów	Stosowana technika oczyszczania spalin
AT01R	MVA Floetzersteig	Vienna	AT	5.2. (a)	27.9 t/h	M	SCR BF WS2s DSI
AT02R	MVA Spittelau	Vienna	AT	5.2. (a)	32 t/h	M	SCR BF WS2s
AT03R	MVA Pfaffenau	Vienna	AT	5.2. (a)	32 t/h	M	SCR ESPd WS2s Bed
AT04.1R	WAV Wels	Wels	AT	5.2. (a)	8 t/h	O	SCR ESPd WS2s Bed
AT04.2R	WAV Wels	Wels	AT	5.2. (a)	28.9 t/h	O	Prim SCR ESPd BF WS2s DSI
AT05.1R	MVA Duernrohr	Zwentendorf	AT	5.2. (a)	150 000 t/rok	M	Prim SCR BF WS2s DS_rcy DSI
AT05.2R	MVA Duernrohr	Zwentendorf	AT	5.2. (a)	150 000 t/rok	M	Prim SCR BF WS2s DS_rcy DSI
AT05.3R	MVA Duernrohr	Zwentendorf	AT	5.2. (a)	225 000 t/rok	M	Prim SCR BF WS2s DS_rcy DSI
AT06R	TBA Arnoldstein	Arnoldstein	AT	5.2. (a)	96 000 t/rok	M	SCR BF Bed sWS Other
AT07R	MVA Zistersdorf	Zistersdorf	AT	5.2. (a)	19.8 t/h	M	SCR BF DS_rea
AT08.1R	Simmeringer Haide	Vienna	AT	5.2. (a)	30 t/h	S	SCR ESPd WS2s Bed
AT08.2R	Simmeringer Haide	Vienna	AT	5.2. (a)	16.2 t/h	M	SCR ESPd WS2s Bed
AT09R	RVL Lenzing	Lenzing	AT	5.2. (a)	37 t/h	O	SCR BF Cyc WS2s DSI
AT11R	RHKW Linz-Mitte	Linz	AT	5.2. (a)	28 t/h	M	SCR BF Cyc WS2s DSI
BE01R	BIONERGA VERBRANDING	Houthalen-Helchteren	BE	5.2. (a)	6.1 t/h	M	SCR ESPd Cyc sWS DS_rea DSI

Linia referencyjna	Nazwa instalacji/zakładu	Miasto	Państwo	Główna aktywność	Wydajność	Główny rodzaj spalanych odpadów	Stosowana technika oczyszczania spalin
BE02R	Brussel-Energie	Brussels	BE	5.2. (a)	75 t/h	M	SCR ESPd ESPw WS2s
BE03R	IMOG	Harelbeke	BE	5.2. (a)	8 t/h	M	SCR ESPd BF WS2s DSI
BE04.1	Intradel-Uvelia	Herstal	BE	5.2. (a)	67.08 MW	M	SCR ESPd BF sWS DSI
BE04.2	Intradel-Uvelia	Herstal	BE	5.2. (a)	67.08 MW	M	SCR ESPd BF sWS DSI
BE05R	Ipalle	Beloelil	BE	5.2. (a)	51.94 t/h	O	SNCR ESPd BF WS2s sWS DSI Qch
BE06R	Biostoom Oostende nv	Ostend	BE	5.2. (a)	31.25 t/h	O	SNCR BF Qch
BE07R	Grate furnace Indaver	Beveren	BE	5.2. (a)	50 t/h	M	SNCR BF WS2s DS_rea DSI
BE08.1R	Sleco	Beveren	BE	5.2. (a)	71 t/h	O	SNCR ESPd BF WS1s DS_rcy DSI
BE08.2R	Sleco	Beveren	BE	5.2. (a)	71 t/h	O	SNCR ESPd BF WS1s DS_rcy DSI
BE08.3R	Sleco	Beveren	BE	5.2. (a)	71 t/h	O	SNCR ESPd BF WS1s DS_rcy DSI
BE09.1R	Rotary Kiln Indaver	Antwerp	BE	5.2. (a)	16.67 t/h	H	SNCR ESPd WS2s Bed
BE09.2R	Rotary Kiln Indaver	Antwerp	BE	5.2. (a)	16.67 t/h	H	SNCR ESPd WS2s Bed
BE09.3R	Rotary Kiln Indaver	Antwerp	BE	5.2. (a)	16.67 t/h	H	SNCR ESPd WS2s Bed
BE10R	ISVAG	Antwerp	BE	5.2. (a)	8.5 t/h	M	Prim SNCR ESPd BF WS1s WS2s sWS Bed Qch
BE12	MIROM	Roeselare	BE	5.2. (a)	4 t/h	M	SCR ESPd DSI

Linia referencyjna	Nazwa instalacji/zakładu	Miasto	Państwo	Główna aktywność	Wydajność	Główny rodzaj spalanych odpadów	Stosowana technika oczyszczania spalin
BE13	IVBO	Bruges	BE	5.2. (a)	200 000 t/rok	M	Prim SCR WS2s DSI Qch
BE14	IVM	Eeklo	BE	5.2. (b)	95 152 t/rok	M	SCR ESPd sWS DS_rcy
CZ01.1R	Zakład odzysku energii SAKO Brno, a.s.	Brno	CZ	5.2. (a)	32	M	SNCR sWS DSI
CZ01.2R	Zakład odzysku energii SAKO Brno, a.s.	Brno	CZ	5.2. (a)	32	M	SNCR sWS DSI
DE01	Danpower Biomassekraftwerk	Delitzsch	DE	5.2. (a)	163 000 t/rok	O	SNCR BF Cyc
DE02	Heizkraftwerk Altstadt	Altstadt	DE	5.2. (a)	104 000 t/rok	O	Prim BF DSI
DE03	biotherm Hagenow GmbH	Hagenow	DE	5.2. (a)	67 765 t/rok	O	BF Cyc
DE04	Biomasseheizkraftwerk Zolling GmbH	Zolling	DE	5.2. (b)	21 0240 t	H	SNCR BF Cyc DS_rea
DE05	BHZ Zapfendorf	Zapfendorf	DE	5.2. (a)	60 000 t/rok	H	SCR BF DSI
DE15.1R	Spalarnia osadów ściekowych BASF SE	Ludwigshafen	DE	5.2. (b)	200 000 t/rok	S	ESPd BF WS3s DSI
DE15.2R	Spalarnia osadów ściekowych BASF SE	Ludwigshafen	DE	5.2. (b)	200 000 t/rok	S	ESPd BF WS3s DSI
DE16R	INNOVATHERM GmbH	Lünen	DE	5.2. (a)	265 000 t/rok	S	ESPd BF WS2s DSI Qch
DE17R	Currenta	Dormagen	DE	5.2. (a)	65 000 t/rok	H	Prim SCR ESPw WS3s
DE18.1	GSB Ebenhausen	Baar-Ebenhausen bei Ingolstadt	DE	5.2. (a)	105 000 t/rok	H	SNCR ESPd BF WS3s DSI Bed
DE18.2	GSB Ebenhausen	Baar-Ebenhausen bei Ingolstadt	DE	5.2. (a)	105 000 t/rok	H	SNCR ESPd BF WS3s DSI Bed
DE19R	AGV	Trostberg	DE	5.2. (a)	30 t/dobę	H	SCR WS2s Qch
DE20.1R	Wacker Chemie AG, Burghausen	Burghausen	DE	4	16 000 Nm ³ /h	H	SCR ESPw WS1s WS2s PC Qch

Linia referencyjna	Nazwa instalacji/zakładu	Miasto	Państwo	Główna aktywność	Wydajność	Główny rodzaj spalanych odpadów	Stosowana technika oczyszczania spalin
DE20.2R	Wacker Chemie AG, Burghausen	Burghausen	DE	4	26 000 Nm ³ /h	H	SCR ESPw WS1s WS2s PC Qch
DE21.1R	Wacker Chemie AG, Nünchritz	Nünchritz	DE	4	37 000 t/rok	H	ESPw WS3s Bed Qch
DE21.2R	Wacker Chemie AG, Nünchritz	Nünchritz	DE	4	37 000 t/rok	H	ESPw Cyc WS3s Bed Qch
DE22R	Drehrohrofenanlage Schkopau	Schkopau	DE	5.2. (a)	124 t/dobę	H	ESPw WS1s Bed Qch
DE23R	Reststoffverwertungsanlage (RVA)	Stade	DE	5.2. (b)	150 t/dobę	H	Prim ESPw WS2s Bed Qch
DE24	Chemiepark Marl	Marl	DE	5.2. (a)	17 000 t/rok	H	SNCR BF WS2s Bed
DE25R	TRV Thermische Rückstandsverwertung GmbH & Co KG	Wesseling	DE	5.2. (b)	41 MW _{th}	H	SCR ESPd WS2s Bed
DE26.1R	BASF Ludwigshafen	Ludwigshafen	DE	5.2. (b)	23 t/h	H	SCR ESPd WS3s Qch
DE26.2R	BASF Ludwigshafen	Ludwigshafen	DE	5.2. (b)	23 t/h	H	SCR ESPd WS3s Qch
DE26.3R	BASF Ludwigshafen	Ludwigshafen	DE	5.2. (b)	23 t/h	H	SCR ESPd WS3s Qch
DE27.1	InfraServ Höchst	Frankfurt	DE	5.2. (a)	NI	NI	NI
DE27.2	InfraServ Höchst	Frankfurt	DE	5.2. (a)	NI	NI	NI
DE28	Sonderabfallverbrennungsanlage Brunsbüttel	Brunsbüttel	DE	5.2. (a)	55 000 t/yr	H	SCR ESPd BF WS3s DSI PC
DE29.1R	SAV Biebesheim	Biebesheim	DE	5.2. (b)	35 MW	H	SNCR ESPd BF WS3s DSI PC Qch
DE29.2R	SAV Biebesheim	Biebesheim	DE	5.2. (b)	35 MW	H	SNCR ESPd BF WS3s DSI PC Qch
DE30.1R	SAV Hamburg	Hamburg	DE	5.2. (b)	130 000 t/rok	H	SCR ESPd WS2s Bed PC Qch

Linia referencyjna	Nazwa instalacji/zakładu	Miasto	Państwo	Główna aktywność	Wydajność	Główny rodzaj spalanych odpadów	Stosowana technika oczyszczania spalin
DE30.2R	SAV Hamburg	Hamburg	DE	5.2. (b)	69.4 MW	H	SCR ESPd WS2s Bed PC Qch
DE31R	BMHKW Flohr	Neuwied	DE	5.2. (b)	30.2 MW _{th}	H	Prim SNCR BF Cyc sWS
DE32R	BMK Biomassekraftwerk Lünen GmbH	Lünen	DE	5.2. (b)	68.4 MW _{th}	H	Prim SNCR BF Cyc sWS
DE33R	BMHKW Buchen	Buchen / Odenwald	DE	5.2. (b)	29.7 MW	H	Prim SNCR BF Cyc sWS
DE34	AVA	Augsburg	DE	5.2. (a)	240 000 t/rok	M	SCR ESPd WS2s DSI
DE35R	MHKW	Berlin	DE	5.2. (a)	88.2 t/h	M	SCR BF DSI
DE36.1R	PD energy GmbH	Bitterfeld-Wolfen	DE	5.3. (a)	134 400 t/rok	O	SNCR BF DS_rcy
DE36.2R	PD energy GmbH	Bitterfeld-Wolfen	DE	5.3. (a)	134 400 t/rok	O	SNCR BF DS_rcy
DE37R	TREA Breisgau	Eschbach	DE	5.2. (a)	22 t/h	M	SCR ESPd WS2s DSI Bed
DE38	Müllheizkraftwerk Bremen	Bremen	DE	5.2. (a)	580 000 t/rok	M	SNCR ESPd BF sWS DS_rcy DSI
DE39.1	MHKW Bremerhaven	Bremerhaven	DE	5.2. (a)	401 500 t/rok	M	SNCR ESPd BF WS2s DSI
DE39.2	MHKW Bremerhaven	Bremerhaven	DE	5.2. (a)	401 500 t/rok	M	SNCR ESPd BF WS2s DSI
DE39.3	MHKW Bremerhaven	Bremerhaven	DE	5.2. (a)	401 500 t/rok	M	SNCR ESPd BF WS2s DSI
DE40.1	Müllheizkraftwerk Burgkirchen	Burgkirchen	DE	5.2. (a)	230 000 t/rok	M	SCR ESPd BF WS3s DSI
DE40.2	Müllheizkraftwerk Burgkirchen	Burgkirchen	DE	5.2. (a)	230 000 t/rok	M	SCR ESPd BF WS3s DSI
DE41.1R	Müllheizkraftwerk Darmstadt	Darmstadt	DE	5.2. (a)	217 000 t/rok	M	SCR ESPd WS3s
DE41.2R	Müllheizkraftwerk Darmstadt	Darmstadt	DE	5.2. (a)	217 000 t/rok	M	SCR ESPd WS3s
DE41.3R	Müllheizkraftwerk Darmstadt	Darmstadt	DE	5.2. (a)	217 000 t/rok	M	SCR ESPd WS3s

Linia referencyjna	Nazwa instalacji/zakładu	Miasto	Państwo	Główna aktywność	Wydajność	Główny rodzaj spalanych odpadów	Stosowana technika oczyszczania spalin
DE42R	Müllverbrennungsanlage Düsseldorf	Düsseldorf	DE	5.2. (a)	75 t/h	M	SCR ESPd sWS DSI Bed
DE43R	Spalarnia odpadów Karnap	Essen	DE	5.2. (a)	180 237 t/rok	M	SCR ESPd WS1s Bed
DE44R	MHKW - Frankfurt	Frankfurt Main	DE	5.2. (a)	525 600 t/rok	M	SNCR BF DSI
DE45R	Müllheizkraftwerk Göppingen	Göppingen	DE	5.2. (a)	19.8 t/h	M	SCR BF WS1s WS2s DSI Qch
DE46R	Zakład odzysku energii z odpadów EEW Großräschen GmbH	Großräschen	DE	5.2. (a)	28.6 t/h	O	SNCR BF DSI
DE47.1R	MVB Müllverwertung Borsigstraße GmbH	Hamburg	DE	5.2. (a)	320 000 t/rok	M	SNCR BF WS3s DSI
DE47.2R	MVB Müllverwertung Borsigstraße GmbH	Hamburg	DE	5.2. (a)	320 000 t/rok	M	SNCR BF WS3s DSI
DE48.1	MVR Müllverwertung Rugenberger Damm GmbH & Co. KG	Hamburg	DE	5.2. (a)	320 000 t/rok	M	SNCR BF WS3s
DE48.2	MVR Müllverwertung Rugenberger Damm GmbH & Co. KG	Hamburg	DE	5.2. (a)	320 000 t/rok	M	SNCR BF WS3s
DE49.1R	NA	Hannover	DE	5.2. (a)	28 t/h	M	SNCR BF sWS DSI
DE49.2R	NA	Hannover	DE	5.2. (a)	28 t/h	M	SNCR BF sWS DSI
DE50.1R	ETN Heringen	Heringen / Werra	DE	5.2. (a)	35 t/h	O	SNCR BF sWS DS_rea
DE50.2R	ETN Heringen	Heringen / Werra	DE	5.2. (a)	35 t/h	O	SNCR BF sWS DS_rea
DE51R	Abfallentsorgungszentrum (AEZ) Asdonkshof	Kamp-Lintfort	DE	5.2. (a)	260 000 t/rok	O	SCR ESPd WS1s WS2s Bed Qch
DE52.1	MHKW Kassel	Kassel	DE	5.2. (a)	200 000 t/rok	M	SCR BF DSI Bed
DE52.2	MHKW Kassel	Kassel	DE	5.2. (a)	200 000 t/rok	M	SCR BF DSI Bed

Linia referencyjna	Nazwa instalacji/zakładu	Miasto	Państwo	Główna aktywność	Wydajność	Główny rodzaj spalanych odpadów	Stosowana technika oczyszczania spalin
DE53.1	Müllverbrennung Kiel	Kiel	DE	5.2. (a)	140 000 t/rok	M	SCR ESPd WS2s WS3s Bed Qch
DE53.2	Müllverbrennung Kiel	Kiel	DE	5.2. (a)	140 000 t/rok	M	SCR ESPd WS2s WS3s Bed Qch
DE54.1	AVG Köln mbH	Cologne	DE	5.2. (a)	780 000 t/rok	O	SCR BF WS1s WS2s Bed
DE54.2	AVG Köln mbH	Cologne	DE	5.2. (a)	780 000 t/rok	O	SCR BF WS1s WS2s Bed
DE54.3	AVG Köln mbH	Cologne	DE	5.2. (a)	780 000 t/rok	O	SCR BF WS1s WS2s Bed
DE54.4	AVG Köln mbH	Cologne	DE	5.2. (a)	780 000 t/rok	O	SCR BF WS1s WS2s Bed
DE55.1R	MKVA Krefeld	Krefeld	DE	5.2. (a)	80.29 t/h	M	SNCR BF WS2s WS3s DSI Qch
DE55.2R	MKVA Krefeld	Krefeld	DE	5.2. (a)	80.29 t/h	M	SNCR BF DSI
DE55.3R	MKVA Krefeld	Krefeld	DE	5.2. (a)	80.29 t/h	M	SCR BF WS2s WS3s DSI Qch
DE56R	Zakład spalania odpadów	Lauta	DE	5.2. (a)	225 000 t/rok	M	SCR BF DS_rcy DSI Bed Qch
DE57	MVV TREA Leuna	Leuna	DE	5.2. (a)	400 000 t/rok	O	SNCR BF sWS DS_rcy DS_rea DSI Qch
DE58.1R	MHKW Leverkusen	Leverkusen	DE	5.2. (a)	680 t/dobę	M	SCR ESPd WS2s Bed
DE58.2R	MHKW Leverkusen	Leverkusen	DE	5.2. (a)	680 t/dobę	M	SCR ESPd WS2s Bed
DE58.3R	MHKW Leverkusen	Leverkusen	DE	5.2. (a)	680 t/dobę	M	SCR ESPd WS2s Bed
DE59	MHKW Ludwigshafen	Ludwigshafen	DE	5.2. (a)	200 t	M	SCR BF DS_rcy Qch
DE60	MHKW Mainz	Mainz	DE	5.2. (a)	NI	O	SNCR BF WS2s DSI

Linia referencyjna	Nazwa instalacji/zakładu	Miasto	Państwo	Główna aktywność	Wydajność	Główny rodzaj spalanych odpadów	Stosowana technika oczyszczania spalin
DE61R	Abfallheizkraftwerk Neunkirchen	Neunkirchen	DE	5.2. (a)	17 t/h	O	SCR ESPd ESPw BF WS3s Bed
DE62	Müllverbrennungsanlage Nürnberg	Nuremberg	DE	5.2. (a)	105 MW _{th}	M	SCR ESPd WS1s DS_rea
DE63R	GMVA Gemeinschafts-Müll-Verbrennungsanlage Niederrhein GmbH	Oberhausen	DE	5.2. (a)	96 t/h	M	SNCR ESPd BF WS2s DSI
DE64.1R	Müllheizkraftwerk Pirmasens	Pirmasens	DE	5.2. (a)	24 t/h	O	SNCR ESPd BF WS3s
DE64.2R	Müllheizkraftwerk Pirmasens	Pirmasens	DE	5.2. (a)	24 t/h	O	SNCR ESPd BF WS3s
DE65.1	Müllheizkraftwerk Solingen	Solingen	DE	5.2. (a)	53 123 t/rok	O	SNCR ESPd BF sWS DSI
DE65.2	Müllheizkraftwerk Solingen	Solingen	DE	5.2. (a)	53 123 t/rok	O	SNCR ESPd BF sWS DSI
DE66.1	Zakład odzysku energii EEW Stapelfeld GmbH	Stapelfeld	DE	5.2. (a)	350 000 t/rok	M	SCR ESPd WS2s
DE66.2	Zakład odzysku energii EEW Stapelfeld GmbH	Stapelfeld	DE	5.2. (a)	350 000 t/rok	M	SCR ESPd WS2s
DE67.1	REMONDIS Thermische Abfallverwertung GmbH	Staßfurt	DE	5.2. (a)	380 000 t	M	SNCR BF sWS
DE67.2R	REMONDIS Thermische Abfallverwertung GmbH	Staßfurt	DE	5.2. (a)	380 000 t	M	SNCR BF sWS
DE68R	EBS-Kraftwerk Witzenhausen - DSS Paper	Witzenhausen	DE	5.2. (a)	326 000 t/rok	O	SNCR ESPd BF Cyc DS_rcy DSI Qch
DE69	Abfallwirtschaftsgesellschaft mbH Wuppertal	Wuppertal	DE	5.2. (a)	406 933 t/rok	M	SCR ESPd BF DS_rcy DS_rea DSI Bed Qch
DE70	MHKW Würzburg	Würzburg	DE	5.2. (a)	NI	M	SCR BF DS_rcy DSI Qch
DE71.1	Abfallverwertung Zorbau	Lützen	DE	5.2. (a)	107.2 MW _{th}	M	SNCR BF DS_rcy DSI
DE71.2	Abfallverwertung Zorbau	Lützen	DE	5.2. (a)	107.2 MW _{th}	M	SNCR BF DS_rcy DSI
DE72R	IHKW Andernach GmbH	Andernach	DE	5.2. (a)	17.5 t/h	M	SNCR BF DS_rcy

Linia referencyjna	Nazwa instalacji/zakładu	Miasto	Państwo	Główna aktywność	Wydajność	Główny rodzaj spalanych odpadów	Stosowana technika oczyszczania spalin
DE73R	EEW Stavenhagen GmbH & Co. KG	Stavenhagen	DE	5.2. (a)	11.5 t/h	M	Prim SNCR BF sWS DS_rcy
DE74.1R	MVA Bielefeld-Herford	Bielefeld	DE	5.2. (a)	56.4 t/h	O	SCR ESPd WS2s DSI
DE74.2R	MVA Bielefeld-Herford	Bielefeld	DE	5.2. (a)	56.4 t/h	O	SCR ESPd WS2s DSI
DE74.3R	MVA Bielefeld-Herford	Bielefeld	DE	5.2. (a)	56.4 t/h	O	SCR ESPd WS2s DSI
DE76.1R	MVA Hameln	Hameln	DE	5.2. (a)	50.2 t/h	O	SNCR SCR ESPd DS_rcy Bed Qch
DE76.2R	MVA Hameln	Hameln	DE	5.2. (a)	50.2 t/h	NI	SNCR SCR ESPd DS_rcy Bed
DE76.3R	MVA Hameln	Hameln	DE	5.2. (a)	50.2 t/h	O	SNCR SCR ESPd DS_rcy Bed Qch
DE76.4R	MVA Hameln	Hameln	DE	5.2. (a)	50.2 t/h	O	SCR BF DS_rea
DE78R	Siedlungsmüllverbrennungsanlage (Linien 1 bis 4)	Herten	DE	5.2. (a)	600 000 t/rok	O	SCR ESPd BF WS2s Bed
DE80.1R	Zweckverband MVA Ingolstadt Ersatzverbrennungslinie I	Ingolstadt	DE	5.2. (a)	34 t/h	M	Prim SCR BF WS3s DSI
DE80.2R	Zweckverband MVA Ingolstadt Ersatzverbrennungslinie I	Ingolstadt	DE	5.2. (a)	34 t/h	M	Prim SCR BF WS3s DSI
DE80.3R	Zweckverband MVA Ingolstadt Ersatzverbrennungslinie I	Ingolstadt	DE	5.2. (a)	34 t/h	M	Prim SCR ESPd BF WS3s DSI
DE84R	NA	Rüdersdorf	DE	5.2. (a)	36.8 t/h	M	SNCR BF sWS DSI Bed
DE86R	4.BimSchV Anhang 1 unter 8.1 Müllverbrennungsanlage	Iserlohn	DE	5.2. (a)	295 000 t/rok	M	SCR ESPd BF WS2s DS_rea
DE87.1R	Klärwerk Ruhleben - Klärschlammverbrennungsanlage	Berlin	DE	5.1. (a)	43 t/h	S	ESPd WS1s
DE87.2R	Klärwerk Ruhleben - Klärschlammverbrennungsanlage	Berlin	DE	5.1. (a)	43 t/h	S	ESPd WS1s
DE87.3R	Klärwerk Ruhleben - Klärschlammverbrennungsanlage	Berlin	DE	5.1. (a)	43 t/h	S	ESPd WS1s
DE89R	Restmüllheizkraftwerk Stuttgart Münster	Stuttgart	DE	5.2. (a)	420 000 t/rok	M	SCR ESPd WS3s Qch

Linia referencyjna	Nazwa instalacji/zakładu	Miasto	Państwo	Główna aktywność	Wydajność	Główny rodzaj spalanych odpadów	Stosowana technika oczyszczania spalin
DK01R	I/S Reno-Nord WTE plant	Aalborg	DK	5.2. (a)	161 500 t/rok	M	SNCR Cyc WS3s
DK02.1R	Spalarnia odpadów przemysłowych i z gospodarstw domowych	Glostrup	DK	5.2. (a)	32 t/h	O	SNCR ESPd BF WS2s DSI Inne
DK02.2R	Spalarnia odpadów przemysłowych i z gospodarstw domowych	Glostrup	DK	5.2. (a)	37.4 t/h	M	SNCR BF WS2s DSI
DK03R	Slagelse Forbrændings Anlæg	Slagelse	DK	5.2. (a)	50 000 t/rok	M	SNCR BF Cyc DS_rcy DSI
DK04R	I/S REFA	Nykøbing Falster	DK	5.2. (a)	22 000 t/rok	O	SNCR BF DS_rcy DSI
DK05R	EKOKEM	Nyborg	DK	5.2. (b)	64 000 t/rok	H	SNCR ESPd BF WS3s DSI Qch
DK06R	BIOFOS Lynetten	Copenhagen	DK	5.2. (a)	18 800 t	S	SNCR ESPd BF WS3s DS_rcy DS_rea DSI Qch
ES01.1	TIRMADRID	Madrid	ES	5.2. (a)	300 000 t/rok	M	SCR BF Cyc sWS DSI
ES01.2	TIRMADRID	Madrid	ES	5.2. (a)	300 000 t/rok	M	SCR BF Cyc sWS DSI
ES01.3	TIRMADRID	Madrid	ES	5.2. (a)	300 000 t/rok	M	SCR BF Cyc sWS DSI
ES02.1R	TIRME	Palma de Mallorca	ES	5.2. (a)	91.5 t/h	M	SCR BF sWS DS_rcy DSI
ES02.2R	TIRME	Palma de Mallorca	ES	5.2. (a)	91.5 t/h	M	SCR BF sWS DS_rcy DSI
ES02.3R	TIRME	Palma de Mallorca	ES	5.2. (a)	91.5 t/h	M	SCR BF DS_rcy DS_rea
ES02.4R	TIRME	Palma de Mallorca	ES	5.2. (a)	91.5 t/h	M	SCR BF DS_rcy DS_rea
ES03.1R	SIRUSA	Tarragona	ES	5.2. (a)	9.6 t/h	M	SNCR BF sWS DS_rcy
ES03.2R	SIRUSA	Tarragona	ES	5.2. (a)	9.6 t/h	M	SNCR BF sWS DS_rcy
ES04.1	UTE-TEM	Mataró	ES	5.2. (a)	160 000 t	O	SCR BF sWS DSI
ES04.2	UTE-TEM	Mataró	ES	5.2. (a)	160 000 t	O	SCR BF sWS DSI

Linia referencyjna	Nazwa instalacji/zakładu	Miasto	Państwo	Główna aktywność	Wydajność	Główny rodzaj spalanych odpadów	Stosowana technika oczyszczania spalin
ES05R	TERSA	Sant Adrià de Besòs (Barcelona)	ES	5.2. (a)	45 t/h	M	SNCR ESPd BF sWS DSI
ES06	TIRCANTABRIA, S.L.U.	Meruelo	ES	5.2. (a)	115 351 t/rok	M	SNCR BF DS_ryc
ES07.1	SOGAMA	Cerceda	ES	5.2. (a)	360 000 t/rok	M	SNCR BF FSI sWS Bed
ES07.2	SOGAMA	Cerceda	ES	5.2. (a)	360 000 t/rok	M	SNCR BF FSI sWS Bed
ES08R	ZABALGARBI	Bilbao	ES	5.2. (a)	30 t/h	M	SNCR BF sWS Bed
ES10R	SAICA PVE	El Burgo de Ebro (Zaragoza)	ES	5.2. (a)	57 t/h	O	Prim SNCR BF Cyc DSI
ES11	SARPI CONSTANTÍ S.L.U.	Constanti-Tarragona	ES	5.2. (a)	8 t/h	H	SCR ESPd WS3s Qch
FI01.1R	Ekokem Oyj	Riihimäki	FI	5.2. (a)	33 t/h	M	Prim SNCR ESPd BF WS2s DSI
FI01.2R	Ekokem Oyj	Riihimäki	FI	5.2. (a)	33 t/h	M	Prim SNCR ESPd BF WS2s DSI
FI01.3R	Ekokem Oyj	Riihimäki	FI	5.2. (a)	33 t/h	M	Prim SNCR BF DS_rea DSI
FI02	Kotka Wte	Kotka	FI	5.2. (a)	102 863 t/rok	M	Prim SNCR BF sWS
FI03	Kymijärvi II	Lahti	FI	5.2. (a)	249 056 t/rok	M	SCR BF DSI
FI04R	Zakład odzysku energii Laanila	Oulu	FI	5.2. (a)	150 000 t/rok	M	SNCR BF WS1s DS_ryc DS_rea Qch
FI05	Vantaan Jätevoimala	Vantaa	FI	5.2. (a)	116 MWth	M	SNCR ESPd BF WS1s DS_rea
FI06R	Westenergy Oy Ab	Mustasaari	FI	5.2. (a)	20 t/h	M	SNCR BF DS_rea
FR002R	VITRE	Vitre	FR	5.2. (a)	4 t/h	M	BF DSI
FR003R	Meuse Energie	Tronville en Barrois	FR	5.2. (a)	4 t/h	M	ESPd BF WS2s DSI PC
FR010R	Cluses	Marignier	FR	5.2. (a)	5 t/h	M	SNCR ESPd BF DSI

Linia referencyjna	Nazwa instalacji/zakładu	Miasto	Państwo	Główna aktywność	Wydajność	Główny rodzaj spalanych odpadów	Stosowana technika oczyszczania spalin
FR012R	Egletons	Rosiers d'Egletons	FR	5.2. (a)	5.3 t/h	M	BF DSI
FR015	Fourchambault	Fourchambault	FR	5.2. (a)	6 t/h	M	SCR BF DSI
FR017	UVE PLUZUNET	Pluzunet	FR	5.2. (a)	7 t/h	O	SCR ESPd WS2s
FR018.1R	SMECO	Pontmain	FR	5.2. (a)	7 t/h	M	SNCR BF DSI Qch
FR018.2R	SMECO	Pontmain	FR	5.2. (a)	7 t/h	M	Prim BF DSI Qch
FR019R	SET Mont Blanc (Passy)	Passy	FR	5.2. (a)	7.5 t/h	M	SNCR BF DSI Qch
FR023R	La Rochelle	La Rochelle	FR	5.2. (a)	8 t/h	M	SNCR BF DSI
FR027R	BAYET	Bayet	FR	5.2. (a)	9 t/h	M	SCR ESPd BF WS1s sWS
FR028R	Montereau-Fault-Yonne	Montereau-Fault-Yonne	FR	5.2. (a)	9 t/h	M	SCR BF DSI
FR029.1R	HAGUENAU	Schweighouse sur Moder	FR	5.2. (a)	10 t/h	M	SNCR BF sWS DSI
FR029.2R	HAGUENAU	Schweighouse sur Moder	FR	5.2. (a)	10 t/h	M	SNCR BF sWS DSI
FR033.1R	ARCANTE	Blois	FR	5.2. (a)	11 t/h	M	SNCR BF WS3s sWS DSI
FR033.2R	ARCANTE	Blois	FR	5.2. (a)	11 t/h	M	SNCR BF WS3s sWS DSI
FR034R	VILLEJUST	Villejust	FR	5.2. (a)	12.9 t/h	M	SCR BF DSI
FR040R	ARQUES	Arques	FR	5.2. (a)	12.5 t/h	M	SCR ESPd BF DSI
FR046.1R	Usine de Fort-De-France	Fort de France	FR	5.2. (a)	14 t/h	M	SNCR BF WS1s WS2s sWS Other
FR046.2R	Usine de Fort-De-France	Fort de France	FR	5.2. (a)	14 t/h	M	SNCR BF WS1s WS2s sWS Inne

Linia referencyjna	Nazwa instalacji/zakładu	Miasto	Państwo	Główna aktywność	Wydajność	Główny rodzaj spalanych odpadów	Stosowana technika oczyszczania spalin
FR052.1R	Limoges	Limoges	FR	5.2. (a)	15 t/h	M	SNCR BF WS1s DSI Qch
FR052.2R	Limoges	Limoges	FR	5.2. (a)	15 t/h	M	SNCR BF WS1s DSI Qch
FR052.3R	Limoges	Limoges	FR	5.2. (a)	15 t/h	M	SNCR BF DSI Qch
FR053R	Ludres	Ludres	FR	5.2. (a)	15 t/h	M	SCR ESPd BF DSI
FR054.1R	ORISANE	Mainvilliers	FR	5.2. (a)	15 t/h	M	SNCR BF sWS DSI
FR054.2R	ORISANE	Mainvilliers	FR	5.2. (a)	15 t/h	M	SNCR BF sWS DSI
FR056.1R	AZALYS	Carrières sous Poissy	FR	5.2. (a)	15 t/h	M	SCR ESPd Cyc WS2s Qch
FR056.2R	AZALYS	Carrières sous Poissy	FR	5.2. (a)	15 t/h	M	SCR ESPd Cyc WS2s Qch
FR057.1R	UVE (unité de valorisation énergétique des déchets)	Metz	FR	5.2. (a)	8 t/h	M	SNCR BF DSI
FR057.2R	UVE (unité de valorisation énergétique des déchets)	Metz	FR	5.2. (a)	8 t/h	M	SNCR BF DSI
FR059.1R	OCREAL	Lunel-Viel	FR	5.2. (a)	16 t/h	M	SCR ESPd BF DSI
FR059.2R	OCREAL	Lunel-Viel	FR	5.2. (a)	16 t/h	M	SCR ESPd BF DSI
FR062.1R	VALORYELE	Ouarville	FR	5.2. (a)	16 t/h	M	SNCR BF WS3s sWS DSI Qch
FR062.2R	VALORYELE	Ouarville	FR	5.2. (a)	16 t/h	M	SNCR BF WS3s sWS DSI Qch
FR064R	RUNGIS	Rungis	FR	5.2. (a)	17 t/h	M	SCR ESPd BF DSI
FR070	ALCEA - Nantes	Nantes	FR	5.2. (a)	19 t/h	M	SCR BF DS_rea
FR071.1R	Carrières Sur Seine	Carrières Sur Seine	FR	5.2. (a)	20 t/h	M	SCR BF DSI

Linia referencyjna	Nazwa instalacji/zakładu	Miasto	Państwo	Główna aktywność	Wydajność	Główny rodzaj spalanych odpadów	Stosowana technika oczyszczania spalin
FR071.2R	Carrières Sur Seine	Carrières Sur Seine	FR	5.2. (a)	20 t/h	M	SCR BF DSI
FR072.1R	Lagny	Saint Thibault des Vignes	FR	5.2. (a)	20 t/h	M	SNCR ESPd BF DSI
FR072.2R	Lagny	Saint Thibault des Vignes	FR	5.2. (a)	20 t/h	M	SNCR ESPd BF DSI
FR073.1R	ESIANE	Villers St Paul	FR	5.2. (a)	20 t/h	M	SNCR ESPd BF DSI
FR073.2R	ESIANE	Villers St Paul	FR	5.2. (a)	20 t/h	M	SNCR ESPd BF DSI
FR075R	Cergy	Saint Ouen l'Aumone	FR	5.2. (a)	21 t/h	M	SCR BF WS1s WS2s
FR076.1R	MULHOUSE	Sausheim	FR	5.2. (a)	21 t/h	M	SCR ESPd ESPw Cyc WS2s
FR076.2R	MULHOUSE	Sausheim	FR	5.2. (a)	21 t/h	M	SCR ESPd ESPw Cyc WS2s
FR077R	SARCELLES	Sarcelles	FR	5.2. (a)	20 t/h	M	SCR BF DSI
FR078R	Bourgoin-Jallieu	Bourgoin-Jallieu	FR	5.2. (a)	22 t/h	M	SCR BF sWS
FR080.1R	W-T-E Plant Thiverval-Grignon	Thiverval Grignon	FR	5.2. (a)	27.8 t/h	M	SNCR ESPd WS2s DSI Qch
FR080.2R	W-T-E Plant Thiverval-Grignon	Thiverval Grignon	FR	5.2. (a)	27.8 t/h	M	SNCR ESPd WS2s DSI Qch
FR080.3	W-T-E Plant Thiverval-Grignon	Thiverval Grignon	FR	5.2. (a)	243000 t/rok	M	SNCR BF WS1s WS2s DSI Qch
FR082.1R	NOVALIE	Vedene	FR	5.2. (a)	26.8 t/h	M	SNCR BF sWS DSI
FR082.2R	NOVALIE	Vedene	FR	5.2. (a)	26.8 t/h	M	SNCR BF sWS DSI
FR082.3R	NOVALIE	Vedene	FR	5.2. (a)	26.8 t/h	M	SNCR BF sWS DSI
FR082.4R	NOVALIE	Vedene	FR	5.2. (a)	26.8 t/h	M	SNCR BF sWS DSI

Linia referencyjna	Nazwa instalacji/zakładu	Miasto	Państwo	Główna aktywność	Wydajność	Główny rodzaj spalanych odpadów	Stosowana technika oczyszczania spalin
FR083.1R	OREADE	Saint Jean de Folleville	FR	5.2. (a)	24 t/h	M	SCR ESPd BF DSI
FR083.2R	OREADE	Saint Jean de Folleville	FR	5.2. (a)	24 t/h	M	SCR ESPd BF DSI
FR084.1R	ARGENTEUIL	Argenteuil	FR	5.2. (a)	24 t/h	M	SCR ESPd WS3s
FR084.2R	ARGENTEUIL	Argenteuil	FR	5.2. (a)	24 t/h	M	SCR ESPd WS3s
FR087.1R	CIE (CRETEIL)	Creteil	FR	5.2. (a)	30 t/h	M	SCR ESPd WS2s
FR087.2R	CIE (CRETEIL)	Creteil	FR	5.2. (a)	30 t/h	M	SCR ESPd WS2s
FR087.3R	CIE (CRETEIL)	Creteil	FR	5.2. (a)	30 t/h	M	SNCR ESPd BF WS2s PC Inne
FR091R	GRAND QUEVILLY	Grand Quevilly	FR	5.2. (a)	43.5 t/h	M	Prim SCR ESPd BF sWS
FR092R	HALLUIN	Halluin	FR	5.2. (a)	43.5 t/h	M	Prim SCR BF WS2s sWS
FR096.1R	IVRY	Paris	FR	5.2. (a)	100 t/h	M	SCR ESPd WS3s Qch
FR096.2R	IVRY	Paris	FR	5.2. (a)	100 t/h	M	SCR ESPd WS3s Qch
FR098R	Saint-Thibault des Vignes	Saint-Thibault des Vignes	FR	5.2. (a)	3.75 t/h	S	SNCR ESPd BF DS_rea DSI
FR104R	incinerateur fos sur mer kem one	Fos/MER	FR	4.1. (f)	400 000 t/rok	H	WS3s Qch
FR106R	Four d'incinération John Zink	Chalampé	FR	5.2. (b)	325 t/dobę	H	Prim BF WS3s DSI Qch
FR107R	Four John ZINK	Chalampé	FR	5.2. (b)	744 t/dobę	H	ESPd
FR108	TREDI Saint-Vulbas	Saint-Vulbas (F-01155 Lagnieu)	FR	5.1. (b)	12 000 t/rok	H	ESPw WS1s WS2s WS3s Bed PC Qch
FR109	Trédi Salaise	Salaise-sur-Sanne (F-38150)	FR	5.2. (b)	74 000 t/rok	H	SNCR ESPd Cyc WS1s WS2s WS3s DSI PC

Linia referencyjna	Nazwa instalacji/zakładu	Miasto	Państwo	Główna aktywność	Wydajność	Główny rodzaj spalanych odpadów	Stosowana technika oczyszczania spalin
FR110	Sotrenor	Courrières	FR	5.2. (a)	140 000 t/yr	H	BF DSI
FR111.1	SEDIBEX	Sandouville	FR	5.2. (a)	33 t/d	H	ESPd WS2s
FR111.2	SEDIBEX	Sandouville	FR	5.2. (a)	33 t/d	H	ESPd WS2s
FR111.3	SEDIBEX	Sandouville	FR	5.2. (a)	33 t/d	H	ESPd WS2s
HU01	Dorogi hulladékégető	Dorog	HU	5.2. (b)	5 t/h	H	BF WS2s DSI Bed PC
HU02R	FKF nonprfit Zrt.	Budapest	HU	5.2. (a)	60 t/h	M	SNCR BF Cyc sWS
IT01.1R	WTE ACCAM BUSTO ARSIZIO	Busto Arsizio (VA)	IT	5.2. (a)	30.5 MW	M	SNCR BF WS1s WS2s
IT01.2R	WTE ACCAM BUSTO ARSIZIO	Busto Arsizio (VA)	IT	5.2. (a)	30.5 MW	M	SNCR BF WS1s WS2s
IT02R	ACSM-AGAM.S.p.A.	Como	IT	5.2. (a)	39 MW _{th}	M	Prim SCR ESPd BF FSI DS_rea DSI
IT03	Brianza Energia Ambiente SpA	Desio	IT	5.2. (a)	73 370 t/y	M	SNCR ESPd BF Cyc DS_rcy DS_rea PC
IT05.1R	Termovalorizzatore Silla2	Milan	IT	5.2. (a)	24.17 t/h	M	SNCR SCR ESPd BF DS_rea PC
IT05.2R	Termovalorizzatore Silla2	Milan	IT	5.2. (a)	24.17 t/h	M	SNCR SCR ESPd BF DS_rea PC
IT05.3R	Termovalorizzatore Silla2	Milan	IT	5.2. (a)	24.17 t/h	M	SNCR SCR ESPd BF DS_rea PC
IT06.1R	Termoutilizzatore di Brescia	Brescia	IT	5.2. (a)	21.8–43.6 t/h	O	Prim SNCR SCR BF DSI
IT06.2R	Termoutilizzatore di Brescia	Brescia	IT	5.2. (a)	21.8–43.6 t/h	O	Prim SNCR SCR BF DSI
IT06.3R	Termoutilizzatore di Brescia	Brescia	IT	5.2. (a)	21.8–43.6 t/h	O	Prim SNCR SCR BF DSI
IT07R	Area Impianti Bergamo	Bergamo	IT	5.2. (a)	10.5 t/h	O	SCR BF FSI DS_rea

Linia referencyjna	Nazwa instalacji/zakładu	Miasto	Państwo	Główna aktywność	Wydajność	Główny rodzaj spalanych odpadów	Stosowana technika oczyszczania spalin
IT09.1R	Lomellina Energia	Parona (PV)	IT	5.2. (a)	43.4 t/h	O	SNCR BF FSI DS_rea
IT09.2R	Lomellina Energia	Parona (PV)	IT	5.2. (a)	43.4 t/h	O	SNCR BF FSI DSI
IT10.1R	Rea Dalmine	Dalmine	IT	5.2. (a)	9.2 t/h	O	SCR ESPd BF DS_rea Bed PC
IT10.2R	Rea Dalmine	Dalmine	IT	5.2. (a)	9.2 t/h	O	SCR ESPd BF DS_rea Bed PC
IT11.1R	SILEA S.p.A.	Valmadrera	IT	5.2. (a)	15.6 t/h	M	SCR BF WS1s DS_rea PC
IT11.2R	SILEA S.p.A.	Valmadrera	IT	5.2. (a)	15.6 t/h	M	SCR BF WS1s WS2s DS_rea PC
IT12.1R	Tecnoborgo	Piacenza	IT	5.2. (a)	15 t/h	M	SNCR SCR ESPd BF DSI Other
IT12.2R	Tecnoborgo	Piacenza	IT	5.2. (a)	15 t/h	M	SNCR SCR ESPd BF DSI Other
IT13.1	PAIP- Polo Ambientale Integrato Provinciale	Parma	IT	5.2. (a)	130 000 t/rok	O	SNCR SCR BF DSI
IT13.2	PAIP- Polo Ambientale Integrato Provinciale	Parma	IT	5.2. (a)	130 000 t/rok	O	SNCR SCR BF DSI
IT14R	WTE MODENA	Modena	IT	5.2. (a)	27.08 t/h	M	SNCR SCR ESPd BF DS_rea DSI
IT15R	wte rimini	Coriano (RN)	IT	5.2. (a)	20 t/h	M	SNCR SCR BF DS_rea DSI
IT16R	WTE IRE Ravenna	Ravenna	IT	5.2. (a)	6 t/h	O	SNCR BF Cyc WS2s DSI PC Qch
IT17.1R	WTE FEA	Granarolo dell' Emilia, Bologna	IT	5.2. (a)	218 500 t/rok	O	Prim SCR BF WS2s DS_rcy DSI Qch
IT17.2R	WTE FEA	Granarolo dell' Emilia, Bologna	IT	5.2. (a)	218 500 t/rok	O	Prim SCR BF WS2s DS_rcy DSI Qch

Linia referencyjna	Nazwa instalacji/zakładu	Miasto	Państwo	Główna aktywność	Wydajność	Główny rodzaj spalanych odpadów	Stosowana technika oczyszczania spalin
IT18R	WTE Padova S. Lazzaro	Padova	IT	5.2. (a)	600 t/dobę	M	Prim SNCR SCR BF DSI
IT19	Waste to Energy San Zeno	Arezzo	IT	5.3. (b)	86 000 t/rok	M	SNCR PC BF DS_rea Bed
IT21.1R	TRM - IMPIANTO TERMOVALORIZZAZIONE DI TORINO	Turin	IT	5.2. (a)	421 000 t/rok	M	SCR ESPd BF DS_rea
IT21.2R	TRM - IMPIANTO TERMOVALORIZZAZIONE DI TORINO	Turin	IT	5.2. (a)	421 000 t/rok	M	SCR ESPd BF DS_rea
IT21.3R	TRM - IMPIANTO TERMOVALORIZZAZIONE DI TORINO	Turin	IT	5.2. (a)	421 000 t/rok	M	SCR ESPd BF DS_rea
IT22R	wte isernia	Pozzilli (IS)	IT	5.2. (a)	13.4 t/h	O	SNCR BF DS_rea DSI
IT23	WTE TRIESTE	Trieste	IT	5.2. (a)	223 000 t/rok	M	SNCR BF DS_rea DSI Qch
NL01R	Zakład odzysku energii EEW Delfzijl BV	Farmsum	NL	5.2. (a)	46.4 t/h	O	SCR BF DS_rcy DSI
NL02R	Twence Holding B.V.	Hengelo	NL	5.2. (a)	99.6 t/h	O	SCR ESPd BF WS2s DSI Qch
NL03R	Zakład odzysku energii HVC Dordrecht	Dordrecht	NL	5.2. (a)	38.3 t/h	M	SCR ESPd ESPw WS2s Qch
NL04R	ZAVIN C.V.	Dordrecht	NL	5.2. (b)	30 t/dobę	C	SCR BF WS2s DSI
NL05R	Zakład spalania osadów ściekowych HVC Dordrecht	Dordrecht	NL	5.2. (a)	46 t/h	S	Prim SNCR PC ESPd WS3s Bed BF
NL06R	SNB	Moerdijk	NL	5.2. (a)	56 t/h	S	Prim SNCR ESPd BF FSI WS2s DSI
NO01.1R	BIR Avfallsenergi AS	Bergen	NO	5.2. (a)	28.7 t/h	M	SNCR ESPd BF WS2s DSI
NO01.2R	BIR Avfallsenergi AS	Bergen	NO	5.2. (a)	28.7 t/h	M	SNCR BF WS3s DS_rea

Linia referencyjna	Nazwa instalacji/zakładu	Miasto	Państwo	Główna aktywność	Wydajność	Główny rodzaj spalanych odpadów	Stosowana technika oczyszczania spalin
NO02R	Returkraft AS	Kristiansand S	NO	5.2. (a)	408 t/dobę	M	SCR BF WS1s DS_rcy DS_rea DSI Qch
NO03.1R	Heimdal Varmesentral	Trondheim	NO	5.2. (a)	6 t/h	M	Prim SNCR ESPd WS1s WS2s WS3s DSI Qch
NO03.2R	Heimdal Varmesentral	Trondheim	NO	5.2. (a)	6 t/h	M	Prim SNCR ESPd WS1s WS2s WS3s DSI Qch
NO03.3R	Heimdal Varmesentral	Trondheim	NO	5.2. (a)	18 t/h	M	Prim SNCR BF WS1s WS2s WS3s DSI Qch
PL01.1R	Spalarnia odpadów innych niż niebezpieczne (STUOŚ)	Warszawa	PL	5.2. (a)	671 t/d	S	Prim BF SNCR SCR Cyc DSI
PL01.2R	Spalarnia odpadów innych niż niebezpieczne (STUOŚ)	Warszawa	PL	5.2. (a)	671 t/d	S	Prim BF SNCR SCR Cyc DSI
PL02R	Spalarnia odpadów innych niż niebezpieczne (STUOŚ)	Kraków	PL	5.2. (a)	73 124 t/rok	S	SNCR ESPd BF Cyc DS_rea
PL03R	SPALARNIA SARPI DABROWA GORNICZA	Dąbrowa Górnicza	PL	5.2. (b)	6.25 t/h	H	Prim SNCR SCR ESPd BF FSI WS1s WS2s DS_rcy DSI Bed Qch
PL04	Spalarnia odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne	Warszawa	PL	5.2. (a)	60 000 t/rok	M	Prim SNCR BF DS_rcy DSI Bed
PL05	Spalarnia odpadów innych niż niebezpieczne i obojętne	Nowiny, gmina Sitkówka - Nowiny	PL	5.2. (a)	28 780 t/rok	S	SNCR BF Cyc DS_rcy
PL06	Instalacja odzysku chlorowodoru z odpadowych związków chloroorganicznych	Włocławek	PL	4.3.	35 280 t/rok	H	ESPd ESPw WS3s
PL07.1R	Instalacja Termicznego Przekształcania Osadów i Skratek (ITPOS)	Łódź	PL	6.11.	84 000 t/rok	S	SNCR BF DSI

Linia referencyjna	Nazwa instalacji/zakładu	Miasto	Państwo	Główna aktywność	Wydajność	Główny rodzaj spalanych odpadów	Stosowana technika oczyszczania spalin
PL07.2R	Instalacja Termicznego Przekształcania Osadów i Skratek (ITPOS)	Łódź	PL	6.11.	84 000 t/rok	S	SNCR BF DSI
PT01.1	Central de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos	Loures - S. João Talha	PT	5.2. (a)	84 t/h	M	SNCR BF sWS
PT01.2	Central de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos	Loures - S. João Talha	PT	5.2. (a)	84 t/h	M	SNCR BF sWS
PT01.3	Central de Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos	Loures - S. João Talha	PT	5.2. (a)	84 t/h	M	SNCR BF sWS
PT02.1	Lipor	Maia	PT	5.2. (a)	380 000 t/rok	M	SNCR BF sWS DSI
PT02.2	Lipor	Maia	PT	5.2. (a)	380 000 t/rok	M	SNCR BF sWS DSI
PT03.1	Estação de Tratamento de Resíduos Sólidos da Meia Serra	Santa Cruz	PT	5.2. (a)	8 t/h	M	SNCR BF sWS
PT03.2	Estação de Tratamento de Resíduos Sólidos da Meia Serra	Santa Cruz	PT	5.2. (a)	8 t/h	M	SNCR BF sWS
SE02R	Umeå Energi AB	Umeå	SE	5.2. (a)	20 t/h	M	Prim SNCR BF WS2s DSI Inne
SE03R	Gärstadverket	Linköping	SE	5.2. (a)	26.4 t/h	O	SNCR BF WS2s DSI Qch Inne
SE06R	Avfallskraftvärmeverket Renova	Gothenburg	SE	5.2. (a)	73 t/h	O	Prim SCR ESPd ESPw WS3s Qch
SE09R	Filbornaverket	Helsingborg	SE	5.2. (a)	25 t/h	O	SNCR BF WS1s
SE15	NA	NA	SE	1.1	45 MW	O	SNCR BF DSI
SE20R	Bristaverket	Märsta	SE	5.2. (a)	36 t/h	M	SNCR BF WS1s WS2s DSI Qch
SE21R	Ekokem Sweden	Kumla	SE	5.2. (b)	200 000 t/rok	H	SNCR BF WS2s DSI Inne
UK01R	Veolia - zakład spalania wysokotemperaturowego	Ellesmere Port	UK	5.2. (b)	277 t/dobę	H	SNCR BF WS2s Qch

Linia referencyjna	Nazwa instalacji/zakładu	Miasto	Państwo	Główna aktywność	Wydajność	Główny rodzaj spalanych odpadów	Stosowana technika oczyszczania spalin
UK02R	Tradebe Fawley Limited	Southampton	UK	5.2. (a)	124 t/dobę	H	ESPw WS1s Bed Qch
UK03R	Kirklees Energy from Waste plant	Huddersfield	UK	5.2. (a)	17 t/h	M	SNCR BF WS1s
UK04R	Bolton Thermal Recovery Facility	Bolton	UK	5.2. (a)	13 t/h	M	SNCR BF DS_rcy
UK05.1R	Stoke EfW	Stoke-on-Trent	UK	5.2. (a)	12 t/h	M	SNCR BF WS1s DSI
UK05.2R	Stoke EfW	Stoke-on-Trent	UK	5.2. (a)	12 t/h	M	SNCR BF WS1s DSI
UK06.1R	Integra South East ERF Portsmouth	Portsmouth	UK	5.3. (b)	12 t/h	M	SNCR BF sWS
UK06.2R	Integra South East ERF Portsmouth	Portsmouth	UK	5.3. (b)	12 t/h	M	SNCR BF sWS
UK07.1R	ALLINGTON INCINERATOR	Allington, Maidstone	UK	5.2. (a)	3 t/h	M	Prim SNCR ESPd BF DS_rea
UK07.2R	ALLINGTON INCINERATOR	Allington, Maidstone	UK	5.2. (a)	3 t/h	M	Prim SNCR ESPd BF DS_rea
UK07.3R	ALLINGTON INCINERATOR	Allington, Maidstone	UK	5.2. (a)	3 t/h	M	Prim SNCR ESPd BF DS_rea
UK08.1R	CSWDC Ltd	Coventry	UK	5.2. (a)	36 t/h	M	SNCR BF DS_rcy
UK08.2R	CSWDC Ltd	Coventry	UK	5.2. (a)	36 t/h	M	SNCR BF DS_rcy
UK08.3R	CSWDC Ltd	Coventry	UK	5.2. (a)	36 t/h	M	SNCR BF DS_rcy
UK09.1R	NA	London	UK	5.2. (a)	90 t/h	M	SNCR BF sWS DSI
UK09.2R	NA	London	UK	5.2. (a)	90 t/h	M	SNCR BF sWS DSI
UK09.3R	NA	London	UK	5.2. (a)	90 t/h	M	SNCR BF sWS DSI
UK10.1R	MES Environmental Ltd Wolverhampton	Wolverhampton	UK	5.2. (a)	7 t/h (na strumień)	M	SNCR BF WS1s DSI
UK10.2R	MES Environmental Ltd Wolverhampton	Wolverhampton	UK	5.2. (a)	7 t/h (na strumień)	M	SNCR BF WS1s DSI

Linia referencyjna	Nazwa instalacji/zakładu	Miasto	Państwo	Główna aktywność	Wydajność	Główny rodzaj spalanych odpadów	Stosowana technika oczyszczania spalin
UK11.1R	Dudley EfW	Dudley	UK	5.2. (a)	6 t/h	M	SNCR WS1s Inne BF DSI
UK11.2R	Dudley EfW	Dudley	UK	5.2. (a)	6 t/h	M	SNCR WS1s Inne BF DSI
UK12R	NA	Lincoln	UK	5.2. (a)	19.2 t/h	M	SNCR DS_rea BF PC
UK13.1R	NA	Nottingham	UK	5.2. (a)	11.3 t/h	M	SNCR DSI BF
UK13.2R	NA	Nottingham	UK	5.2. (a)	11.3 t/h	M	SNCR DSI BF
UK14.1R	Spalarnia odpadów medycznych Knostrop	Leeds	UK	5.2. (b)	2 t/h	C	BF DS_rea DSI
UK14.2R	Spalarnia odpadów medycznych Knostrop	Leeds	UK	5.2. (b)	2 t/h	C	BF DS_rea DSI
UK15R	Thames Water Utilities Ltd	Barking, Essex	UK	5.2. (a)	13.5 t/h	S	Prim WS2s ESPd BF Other
UK17R	Blackburn Meadows Renewable Energy Plant	Sheffield	UK	5.2. (a)	25 t/h	O	SNCR DSI BF
UK18	Kemsley CHP Plant K2 Incinerator	Kemsley, Sittingbourne, Kent	UK	5.2. (a)	29 MW Wejście term.	O	SNCR BF DSI

Uwagi:

Główna aktywność: 1.1 Energetyka – Spalanie // 4 Przemysł chemiczny // 4.1(f) Chemiczna - Produkcja chemikaliów organicznych - Halogenopochodne // 4.3 Chemiczna - Produkcja nawozów na bazie fosforu, azotu lub potasu // 5.1 (a) Odpady - Unieszkodliwianie lub odzysk odpadów niebezpiecznych - Przetwarzanie biologiczne // 5.1 (b) Odpady - Unieszkodliwianie lub odzysk odpadów niebezpiecznych - Przetwarzanie fizyczno-chemiczne // 5.2 (a) Waste – Unieszkodliwianie lub odzysk odpadów w współspalarniach - Odpady inne niż niebezpieczne // 5.2 (b) Odpady - Unieszkodliwianie lub odzysk odpadów w współspalarniach - Odpady niebezpieczne // 5.3 (a) Odpady - Unieszkodliwianie odpadów innych niż niebezpieczne // 5.3 (b) Odpady - Odzysk lub mieszanka odzysku i unieszkodliwiania odpadów innych niż niebezpieczne // 6.11 Other – Niezależnie prowadzone przetwarzanie ścieków

Główny rodzaj spalanych odpadów: M = stałe odpady komunalne; S = osady ściekowe; O = odpady inne niż niebezpieczne; C = odpady medyczne; H = odpady niebezpieczne.

Wydajność: wydajność podana w kwestionariuszu dotyczącym głównej działalności zakładu. Wydajność może zostać zgłoszona dla linii referencyjnej lub dla całego zakładu. Niespójne lub brakujące informacje zostały uzupełnione o ilość odpadów spalanych w 2014 r.

Techniki redukcji emisji do powietrza: Bed = Złoże adsorpcyjne // BF = Filtr workowy // Cyc = Multicyklon // DS_rcy = System recyrkulacji z użyciem płuczki suchej // DS_rea = Reaktor mieszający z płuczką suchą // DSI = Wtrysk suchego sorbentu // ESPd = Filtr elektrostatyczny suchy // ESPw = Filtr elektrostatyczny mokry // FSI = Odsiarczanie w piecu // PC = Dopalanie // Prim = Techniki podstawowe // Qch = System schładzania/wygaszania // SCR = Selektywna redukcja katalityczna // SNCR = Selektywna redukcja niekatalityczna // sWS = Płuczka półmokra // WS1s = Płuczka gazowa mokra (1-etapowa) // WS2s = Płuczka gazowa mokra (2-etapowa) // WS3s = Płuczka gazowa mokra (3-etapowa).

NI = Brak danych.

Źródło: [81. TWG 2016]

8.5 Wykaz europejskich zakładów przetwarzania popiołu paleniskowego, które uczestniczyły w gromadzeniu danych w roku 2016.

Linia referencyjna	Nazwa instalacji/zakładu	Miasto	Państwo	Główna aktywność (Aneks I-D 2010/75/EU)	Wydajność przetwarzania IBA (t/rok)	Rodzaj sortowania/separacji	Czy instalacja do przetwarzania IBA działa w ramach tego samego zakładu co spalarnia?
AT.B-01	NUA-Abfallwirtschaft Anlage Hohenrappersdorf	Hohenrappersdorf	AT	5.3. (b)	NI	M,F,E,Dw,SS	Nie
BE.B-01	Ipalle	Beloeil	BE	5.2. (a)	NI	F,E,A,B,SS	Tak
BE.B-02	Indaver Doel	Beveren	BE	5.2. (a)	NI	M,F,E,S,Dw,SS	Tak
CZ.B-01R	WtE Plant -SAKO Brno, a.s.	Brno	CZ	5.2. (a)	120 000	M,F,E,	Tak
DE.B-01	Schlackenaufbereitungsanlage Würzburg	Würzburg	DE	NA	NI	M,F,E,A,SS	Nie
DE.B-02	MDSU Reesen	Burg OT Reesen	DE	5.3. (a)	NI	M,F,E,A,Dw,SS	NI
DE.B-03	Slagreatment Facility Kochendorf	Bad Friedrichshall-Kochendorf	DE	5.1. (f)	300 000	M,F,E,SS	Nie
DE.B-04	STORK Umweltdienste GmbH	Magdeburg	DE	5.3. (b)	600 000	M,F,E,I,N,O,A,SS	Nie
DE.B-05	RAA Sandersdorf-Brehna	Sandersdorf-Brehna	DE	5.3. (b)	NI	M,F,E,A,SS	Nie
DE.B-06	Schlackenaufbereitungsanlage Krefeld	Krefeld	DE	NA	NI	M,F,E,A,SS	Nie
DE.B-07	MAV Lünen GmbH, Buchenberg 70	Lünen	DE	5.3. (b)	NI	M,F,E,A,SS	Nie
DE.B-08	Heidemann Bremen	Bremen	DE	5.3. (b)	250 000	M,F,E,I,A,SS	Nie
DE.B-09	AVA Augsburg GmbH	Augsburg	DE	5.2. (a)	70 000	M,F,E,SS	Tak
DE.B-10	Müllverwertung Borsigstrasse GmbH	Hamburg	DE	5.3. (b)	90 000	M,F,E,	Tak
DE.B-11	Müllverwertung Rugenberger Damm GmbH & Co. KG	Hamburg	DE	5.3. (b)	90 000	M,F,E,A	Tak
DE.B-12	AEZ Asdonkshof	Kamp-Lintfort	DE	5.3. (b)	79 000	F,E,A,SS	Tak

Linia referencyjna	Nazwa instalacji/zakładu	Miasto	Państwo	Główna aktywność (Aneks I-D 2010/75/EU)	Wydajność przetwarzania IBA (t/rok)	Rodzaj sortowania/separacji	Czy instalacja do przetwarzania IBA działa w ramach tego samego zakładu co spalarnia?
DE.B-13	WVW Wertstoffverwertung Wuppertal GmbH	Wuppertal	DE	5.2. (a)	140 000	M,F,E,I,A,B,SS	Tak
DE.B-14	ZV MVA Ingolstadt	Ingolstadt	DE	5.2. (a)	NI	M,F,E,B,SS	Tak
DK.B-01	Zakład przetwarzania popiołu paleniskowego	Copenhagen	DK	5.3. (b)	125 000	M,F,E,I,A,SS	Nie
DK.B-02	Meldgaard Recycling A/S	NA	DK	5.3. (b)	750 000	M,F,E,I,A,SS	Nie
DK.B-03	Jørgen Rasmussen Gruppen A/S Restproduktplads	Aalborg	DK	5.3. (b)	NI	M,F,E,A,SS	Nie
ES.B-01R	TIRME	Palma de Mallorca	ES	5.2. (a)	200 000	M,F,E,A,SS	Tak
FR.B-01	SMECO	PONTMAIN	FR	5.3. (b)	5 500	F,E,SS	Tak
FR.B-02	SET Mont Blanc (Passy)	Passy	FR	5.3. (b)	12 000	F,E,SS	Tak
FR.B-03	SCOREL	Ouarville	FR	5.3. (b)	90 000	F,E,A,SS	Tak
FR.B-04	NA	VEDENE	FR	5.3. (b)	87 000	M,F,E,SS	Tak
FR.B-05	ARGENTEUIL	ARGENTEUIL	FR	5.2. (a)	54 250	F,E,A,SS	Tak
FR.B-06	Routière de l'Est Parisien (REP) IME Clayes - Souilly	Claye Souilly	FR	5.3. (b)	200 000	M,F,E,A,SS	Nie
FR.B-07	BEDEMAT	BEDENAC	FR	5.3. (b)	120 000	M,F,E,A,SS	Nie
FR.B-08	RECYDEM	LOURCHES	FR	5.3. (b)	100 000	M,F,E,SS	Nie
FR.B-09	PLANGUENOUAL	PLANGUENOUAL	FR	5.3. (b)	7 000	F,SS	Tak
FR.B-10	PAU	LESCAR	FR	5.3. (b)	20 000	F,E,SS	Nie
IT.B-01	Officina dell'Ambiente S.p.A.	Lomello (PV)	IT	5.3. (b)	NI	M,F,E,A,SS	Nie
IT.B-02	RMB S.p.A.	Polpenazze del Garda (BS)	IT	5.3. (b)	NI	M,F,E,I,A,S,Dw ,Dd,SS	Nie

Linia referencyjna	Nazwa instalacji/zakładu	Miasto	Państwo	Główna aktywność (Aneks I-D 2010/75/EU)	Wydajność przetwarzania IBA (t/rok)	Rodzaj sortowania/separacji	Czy instalacja do przetwarzania IBA działa w ramach tego samego zakładu co spalarnia?
NL.B-01	Twence bv SOI	Hengelo	NL	5.3. (b)	NI	F,E,A,B,SS	Tak
NL.B-02	Zakład przetwarzania odpadów na energię HVC Dordrecht	Alkmaar	NL	5.3. (b)	320 000	F,E,A,B,SS	Nie
NL.B-03	Centrale Bodemas Opwerk Installatie (CBOI)	Sluiskil	NL	5.3. (b)	700 000	M,F,E,A,B,SS	Nie
PT.B-01	Instalação de Tratamento e Valorização de Escórias	Vila Franca de Xira	PT	5.3. (b)	200 000	M,F,E,A,SS	Nie
PT.B-02	Estação de Tratamento de Resíduos Sólidos da Meia Serra	Santa Cruz	PT	NI	NI	F	Tak
SE.B-01	Gärstad – zakład przetwarzania odpadów	Linköping	SE	5.3. (b)	87 000	F,E,SS	Tak
SE.B-02	Spillepeng – zakład przetwarzania odpadów	Malmö	SE	5.3. (b)	129 905	F,E,A,SS	Nie
SE.B-03	Sävenäs – spalarnia odpadów	Göteborg	SE	5.3. (b)	100 000	M,F,E,I,SS	Nie
UK.B-01	Riverside Resource Recovery Limited	Tilbury	UK	5.3. (b)	200 000	F,E,A,B,SS	Nie

Uwagi:

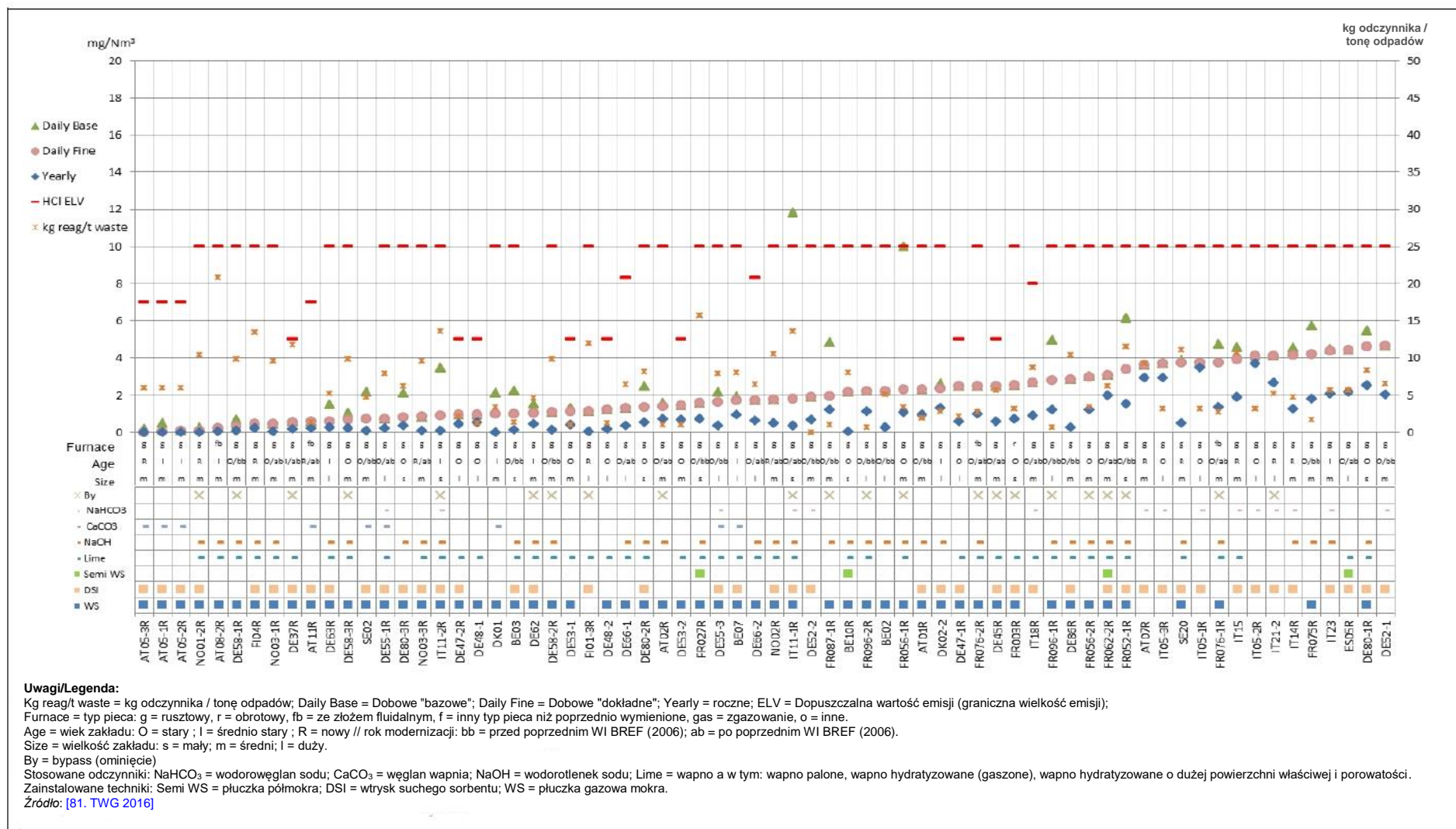
Główna aktywność: 5.1. (f) Odpady - Unieszkodliwianie lub odzysk odpadów niebezpiecznych - Recykling lub odzysk materiałów nieorganicznych innych niż metale lub związki metali // 5.2 (a) Waste – Unieszkodliwianie lub odzysk odpadów w współspalarniach - Odpady inne niż niebezpieczne // 5.3 (a) Odpady - Unieszkodliwianie odpadów innych niż niebezpieczne // 5.3 (b) Odpady - Odzysk lub mieszanka odzysku i unieszkodliwiania odpadów innych niż niebezpieczne.

Rodzaj sortowania/separacji: A = Przesiewacz wiatrowy /powietrze/ - separacja powietrzna // B = separacja balistyczna (grawimetryczna) // Dd = Separacja densymetryczna (sucha) // Dw = Separacja densymetryczna (mokra) // E = Separacja wiroprądowa // F = Separacja ferromagnetyczna // I = Separacja indukcyjna wszystkich metali // M = Sortowanie ręczne // N = Separacja w bliskiej podczerwieni // O = separacja optyczna inna niż NIRS // S = Separacja flotacyjno-sedymentacyjna // SS = Przesiewanie/odsiewanie.

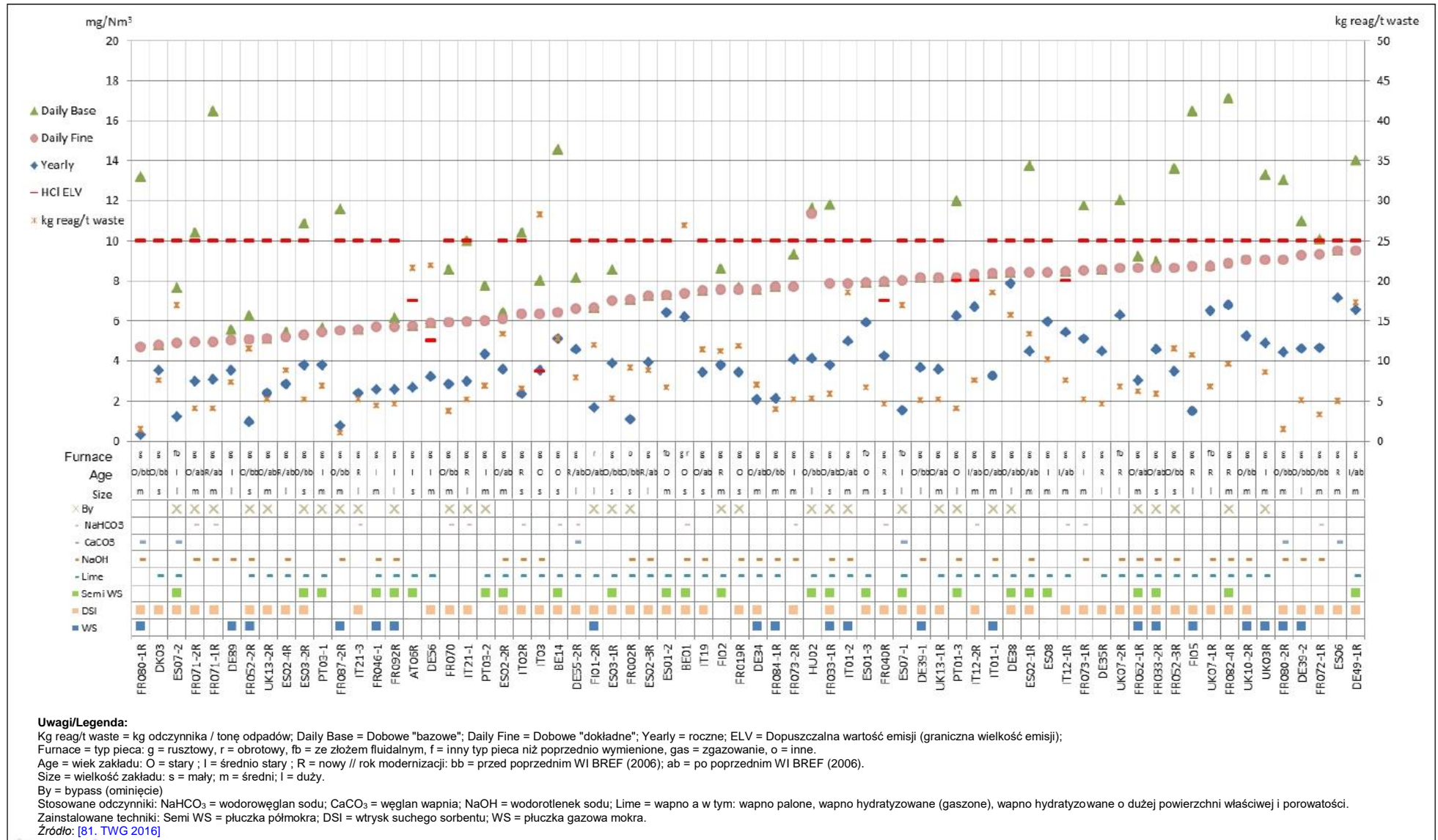
NI = Brak danych.

Źródło: [81, TWG 2016]

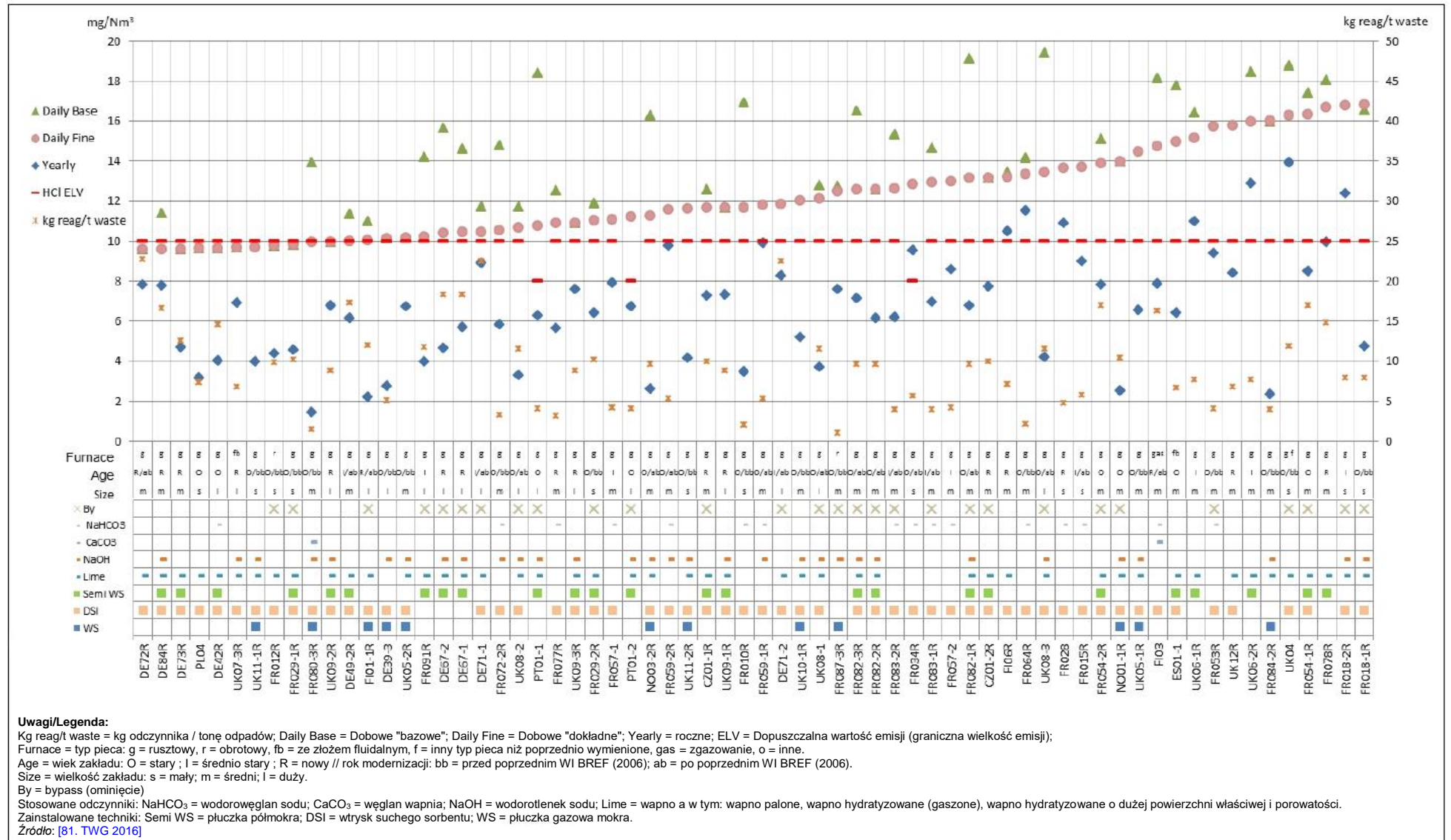
8.6 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji osiągnięte przez spalarnie odpadów zgłaszające, w ramach gromadzenia danych za rok 2016, monitoring ciągły - wykresy szczegółowe



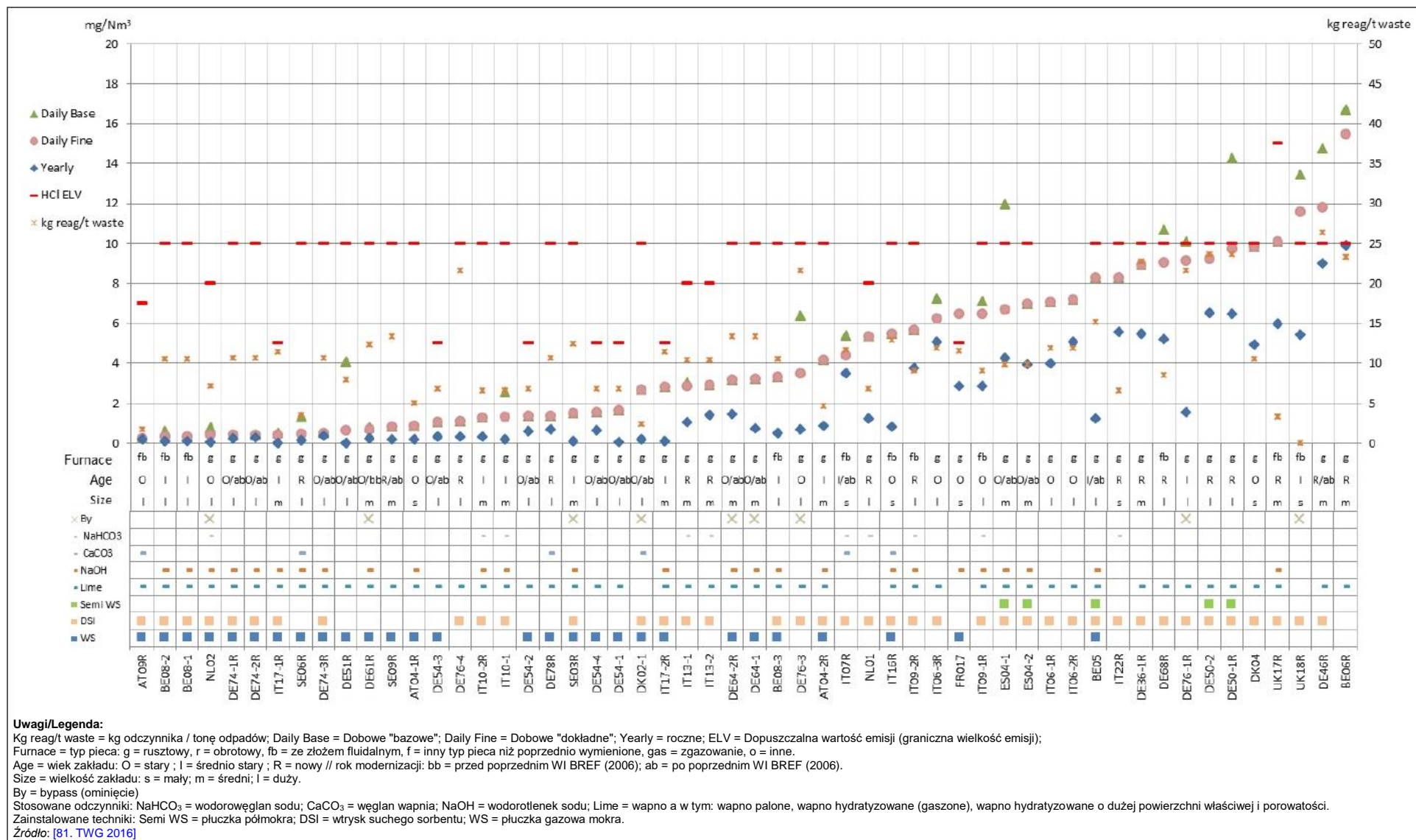
Ilustracja 8.2 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji HCl do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (1/3).



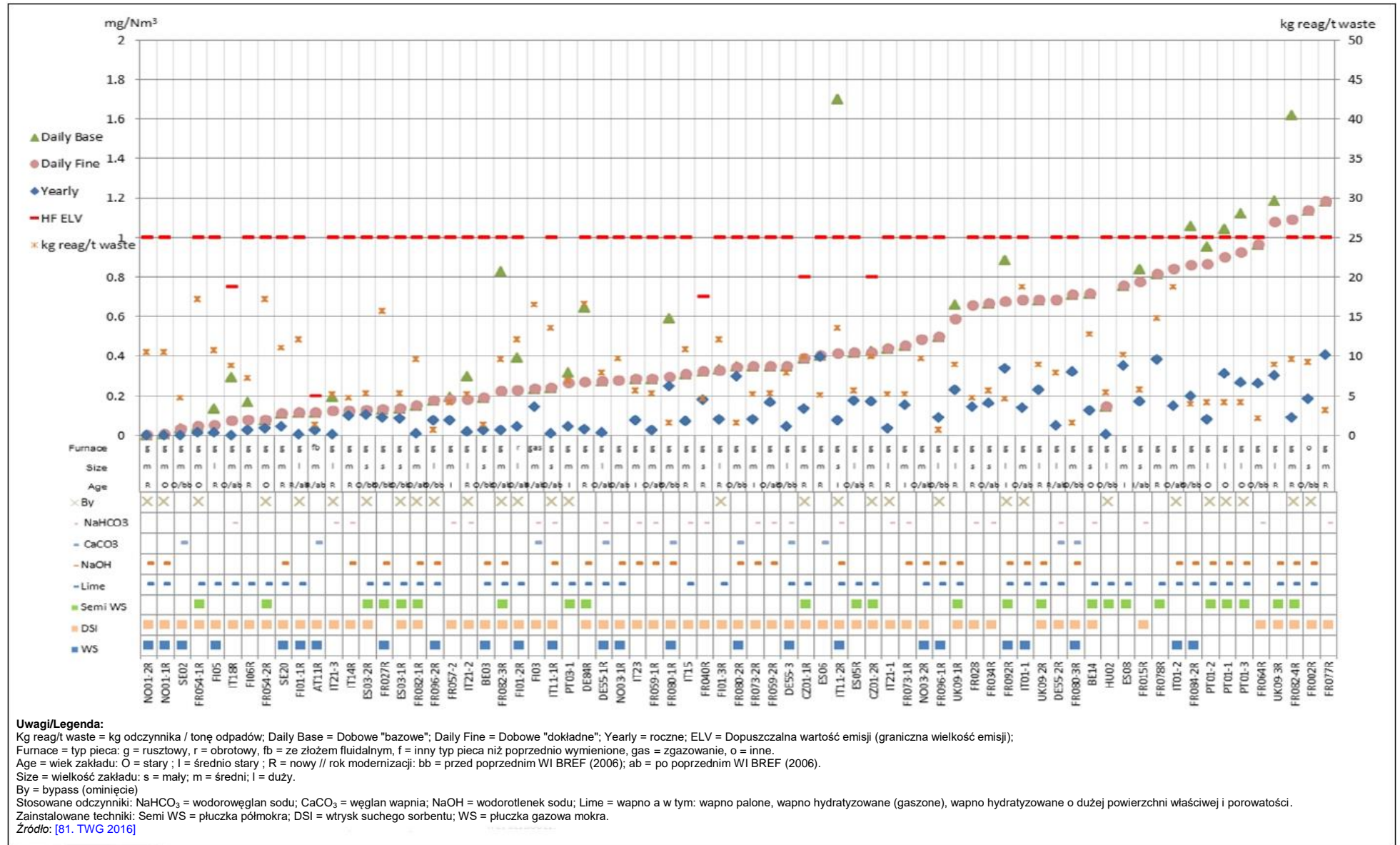
Ilustracja 8.3 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji HCl do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (2/3).



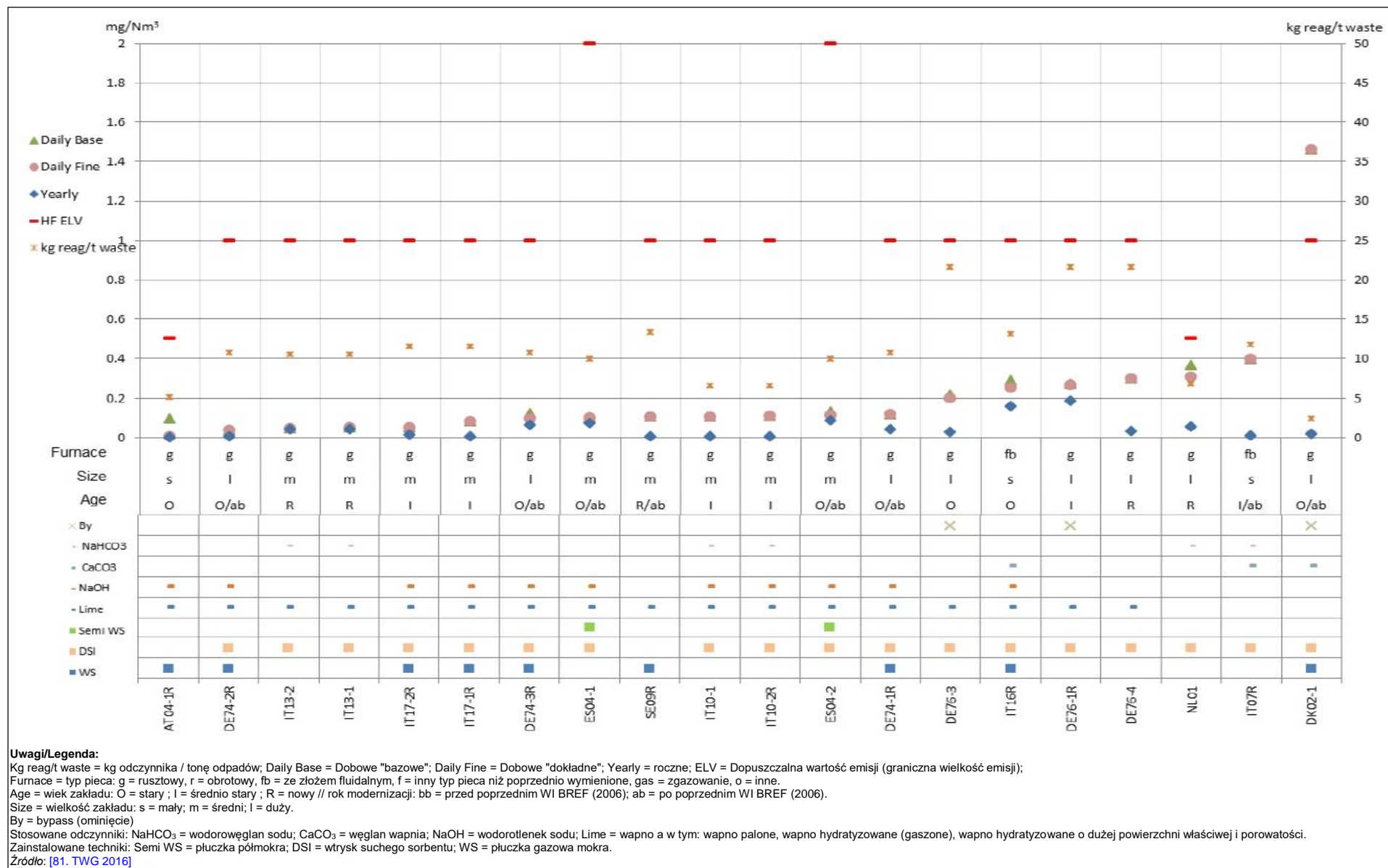
Ilustracja 8.4 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji HCl do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (3/3).



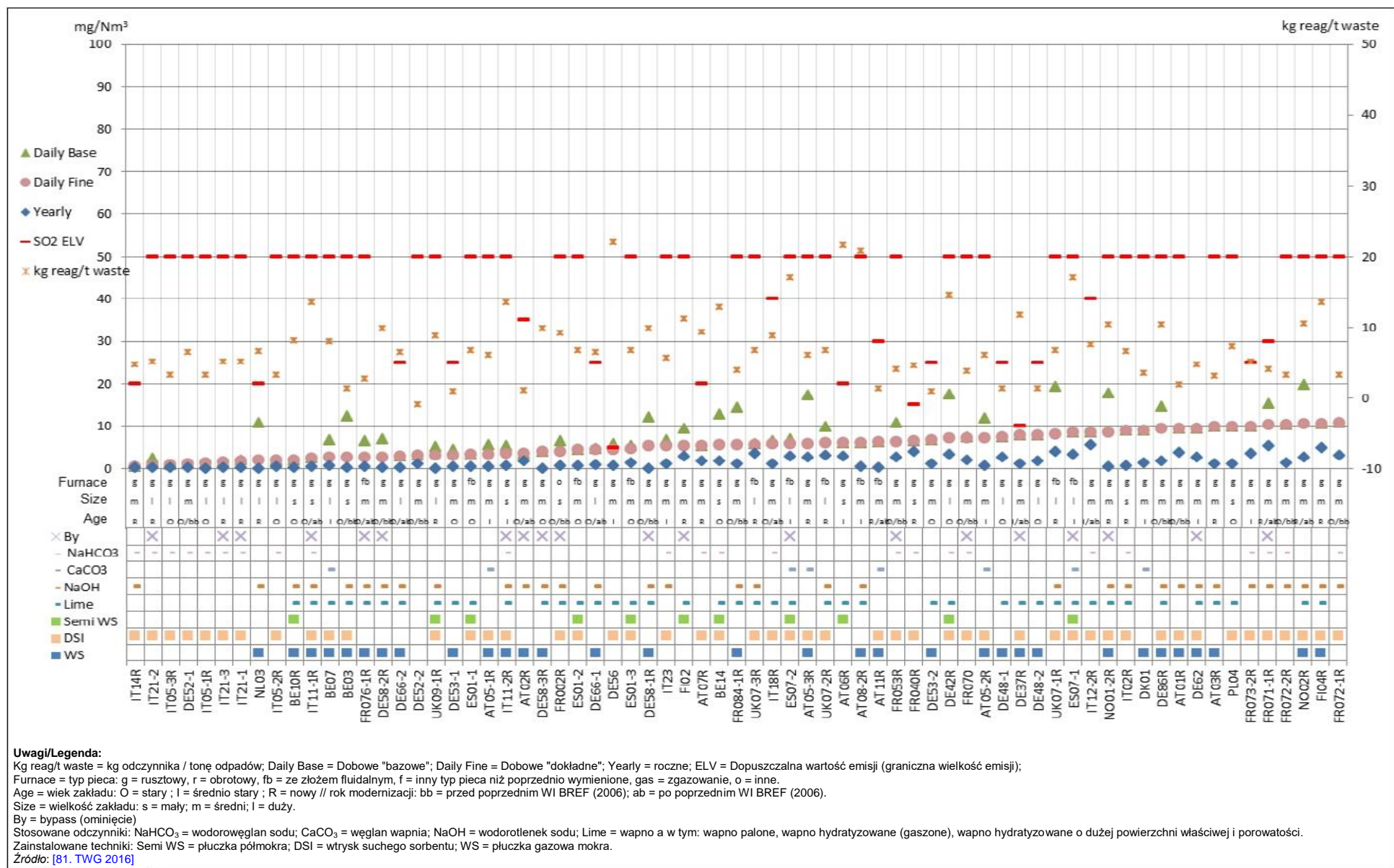
Ilustracja 8.5 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji HCl do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie odpady inne niż niebezpieczne (ONHW).



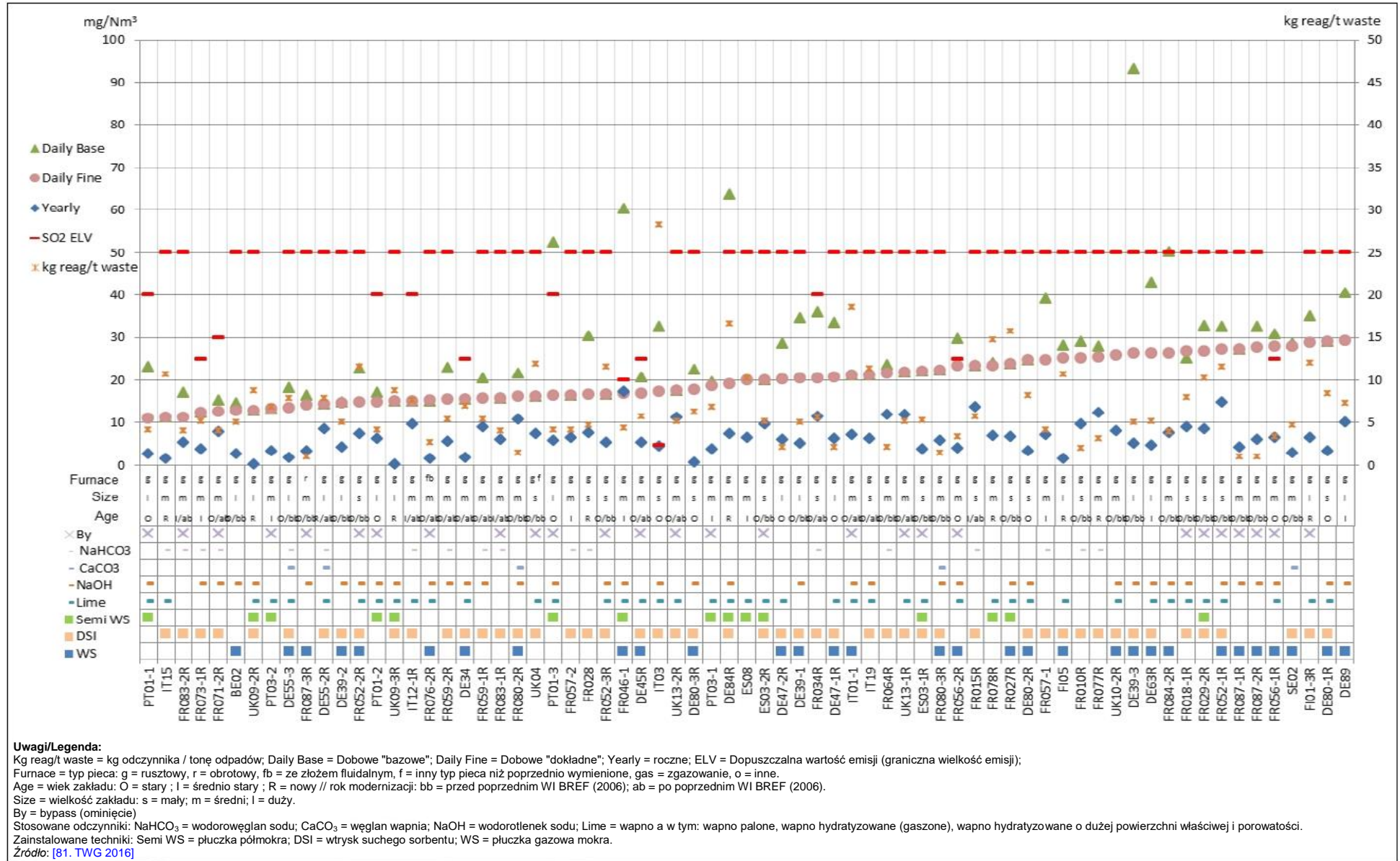
Ilustracja 8.6 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji HF do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW.



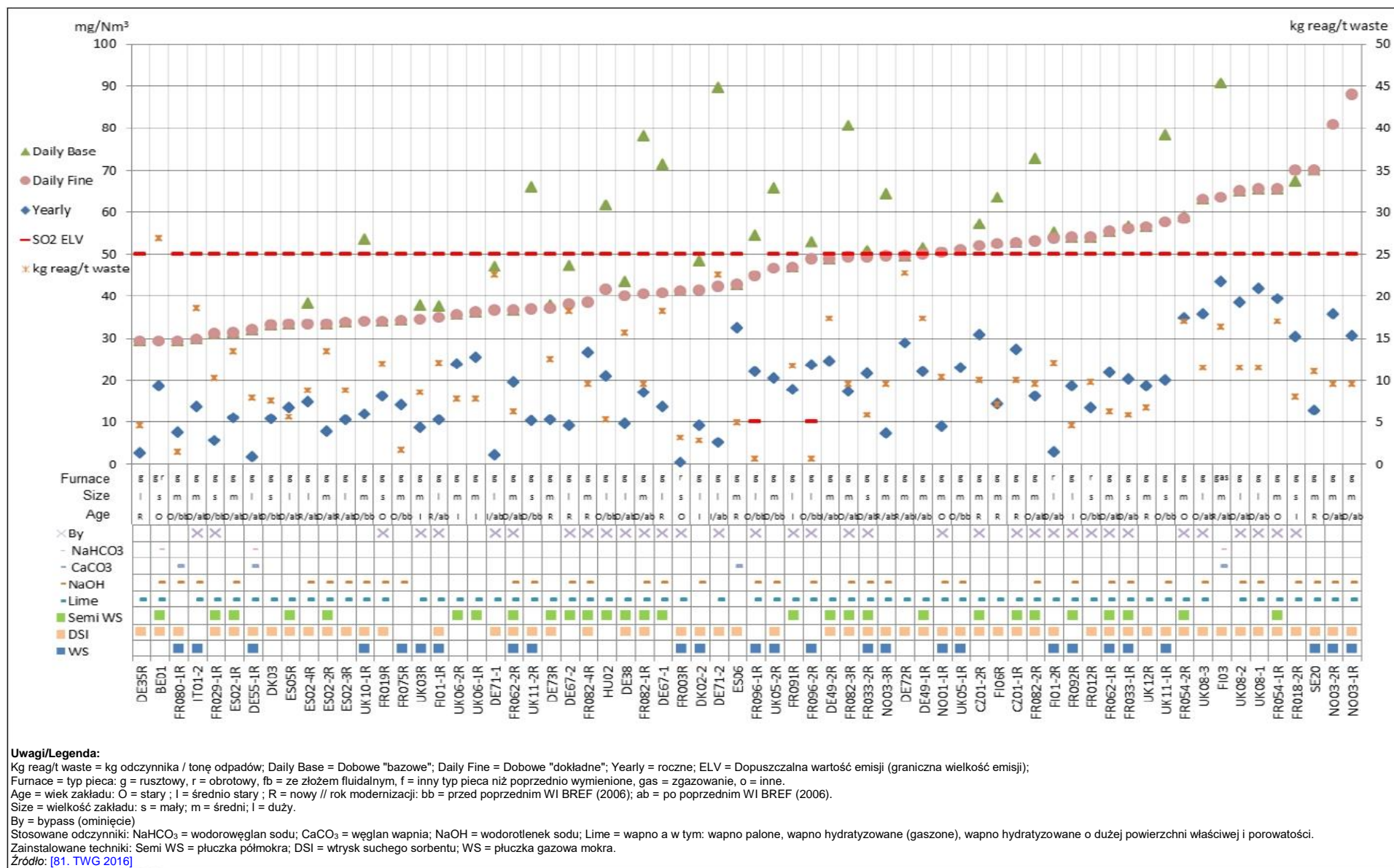
Ilustracja 8.7 Dobbowe oraz roczne średnie poziomy emisji HF do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie ONHW.



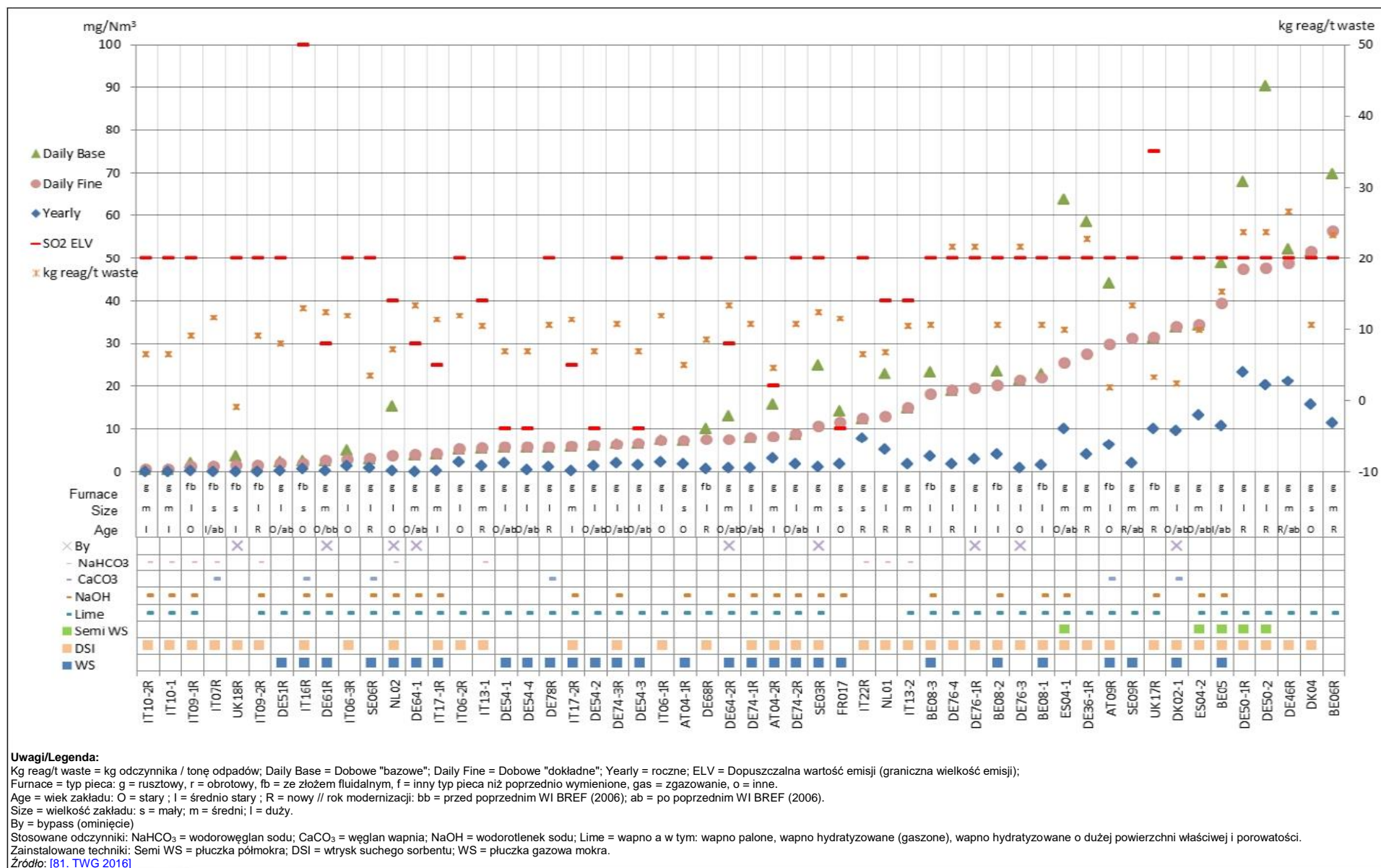
Ilustracja 8.8 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji SO₂ do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (1/3).



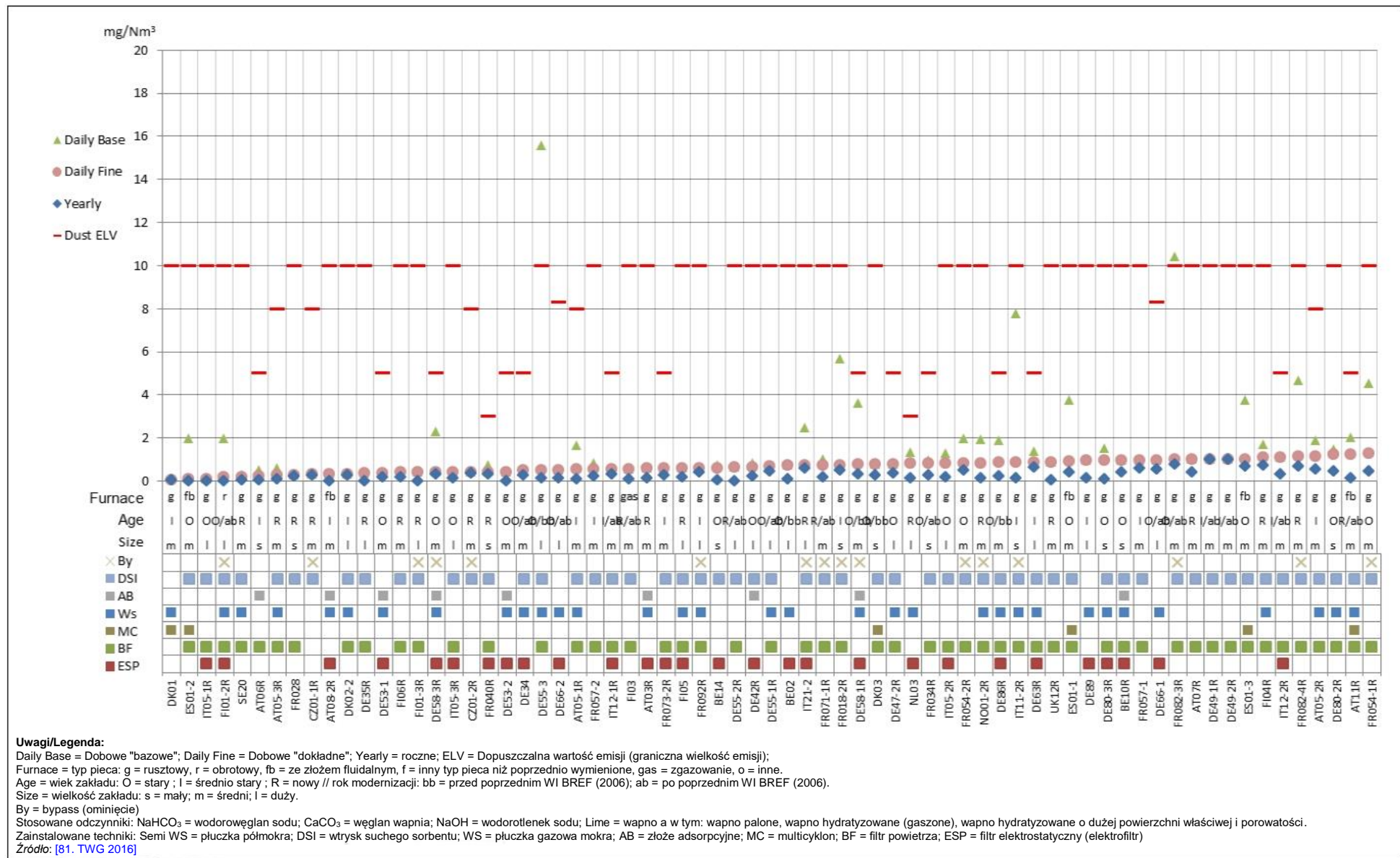
Ilustracja 8.9 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji SO₂ do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (2/3).



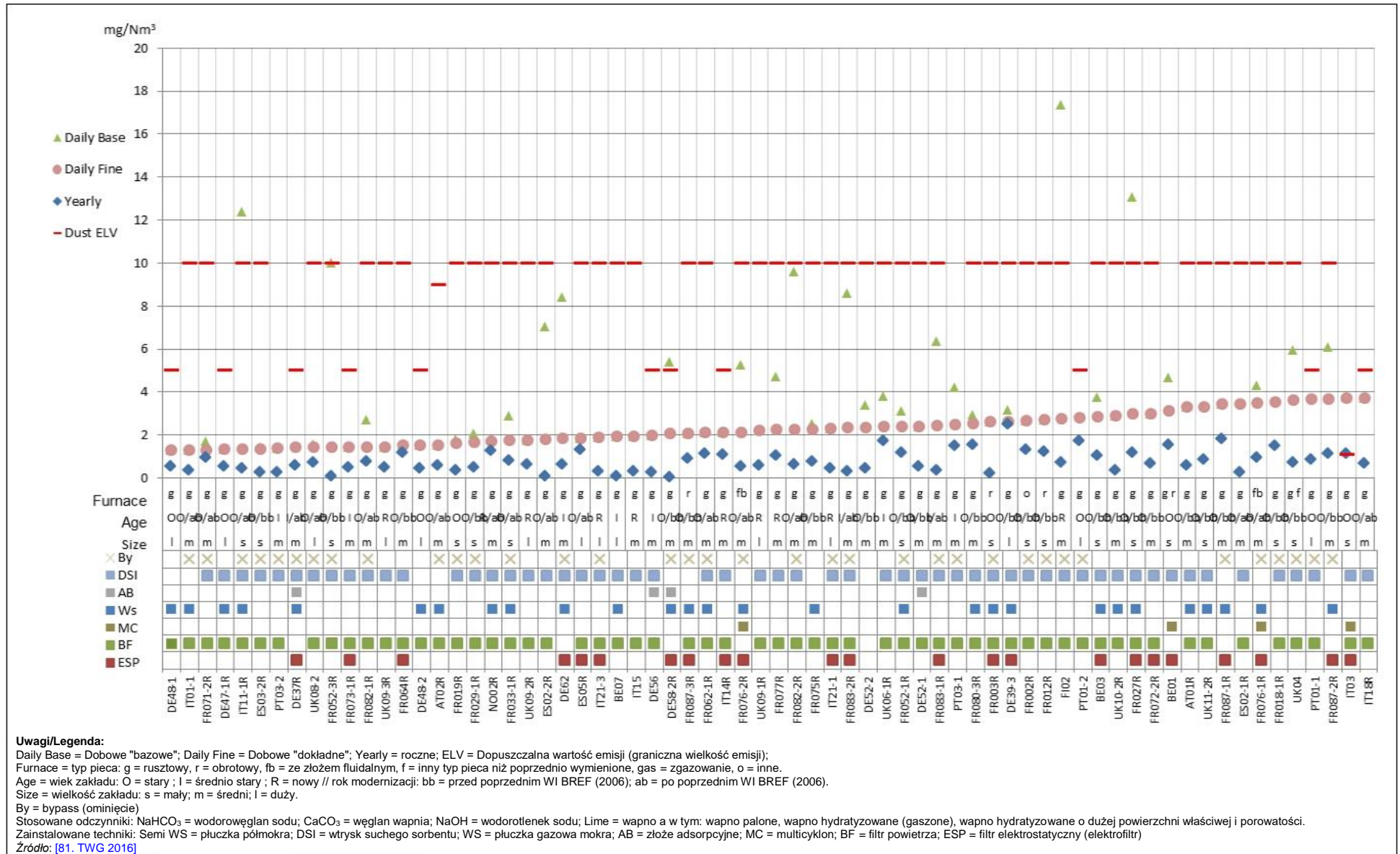
Ilustracja 8.10 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji SO₂ do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (3/3).



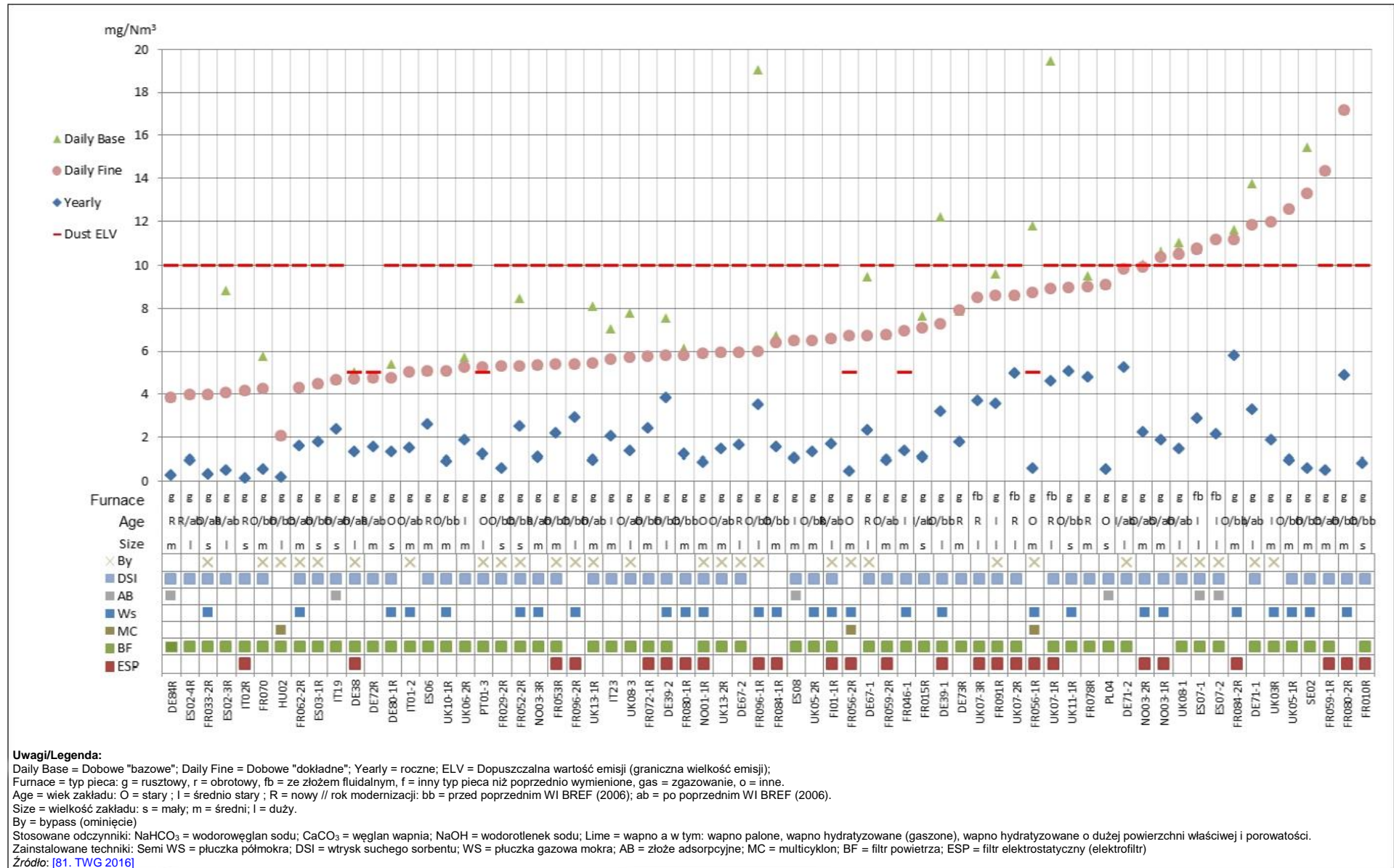
Ilustracja 8.11 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji SO₂ do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie ONHW.



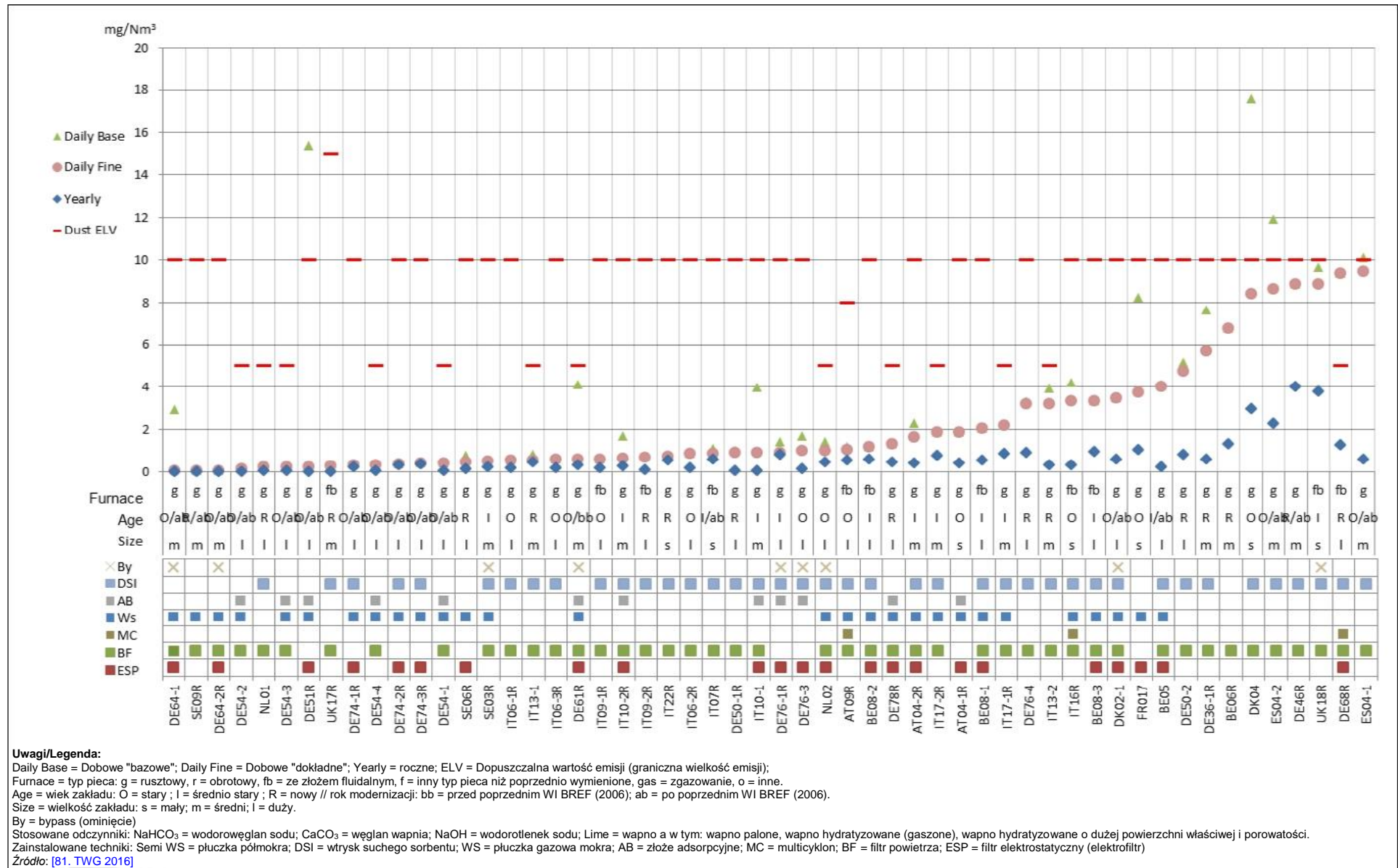
Ilustracja 8.12 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji pyłu do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (1/3).



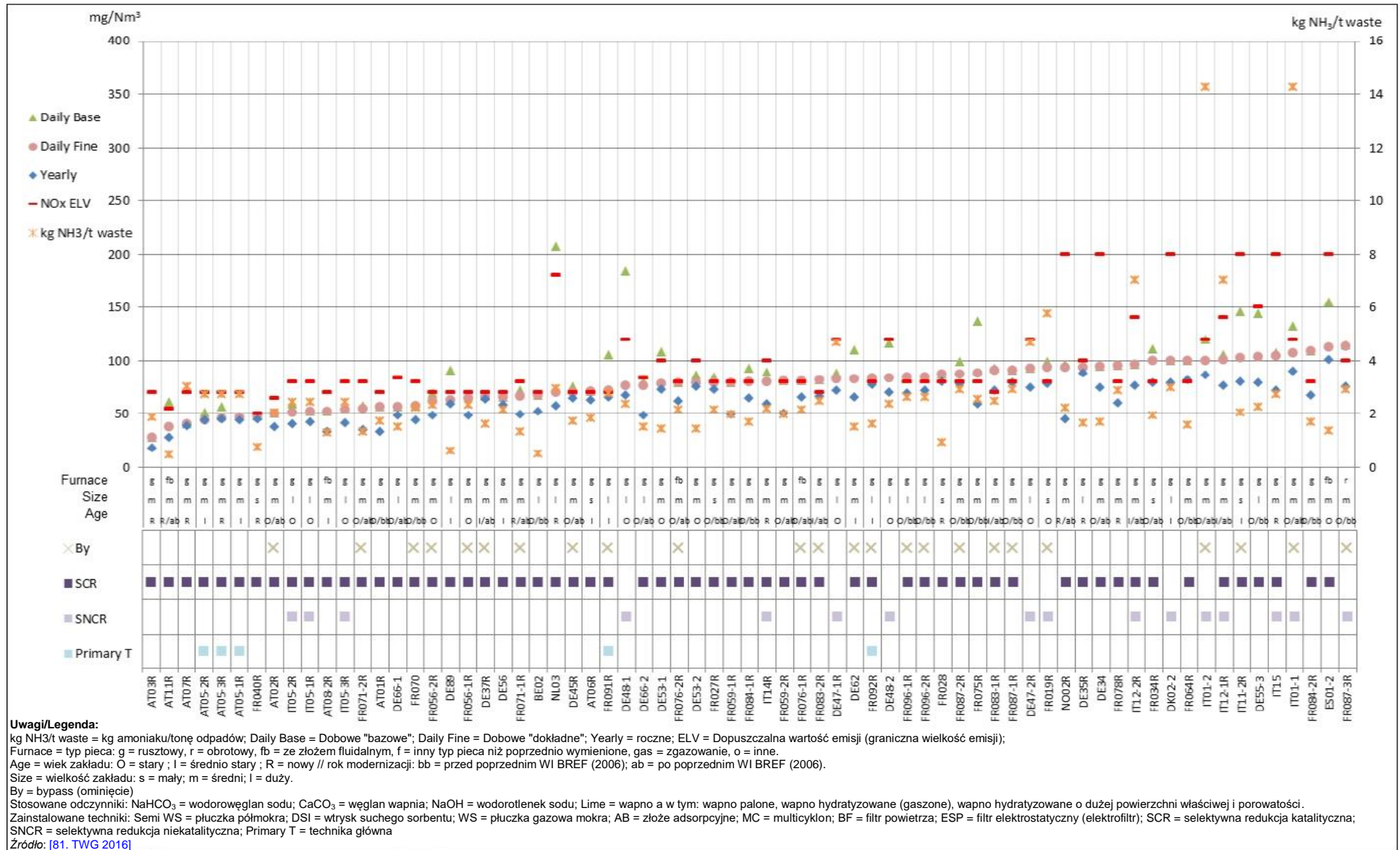
Ilustracja 8.13 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji pyłu do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (2/3).



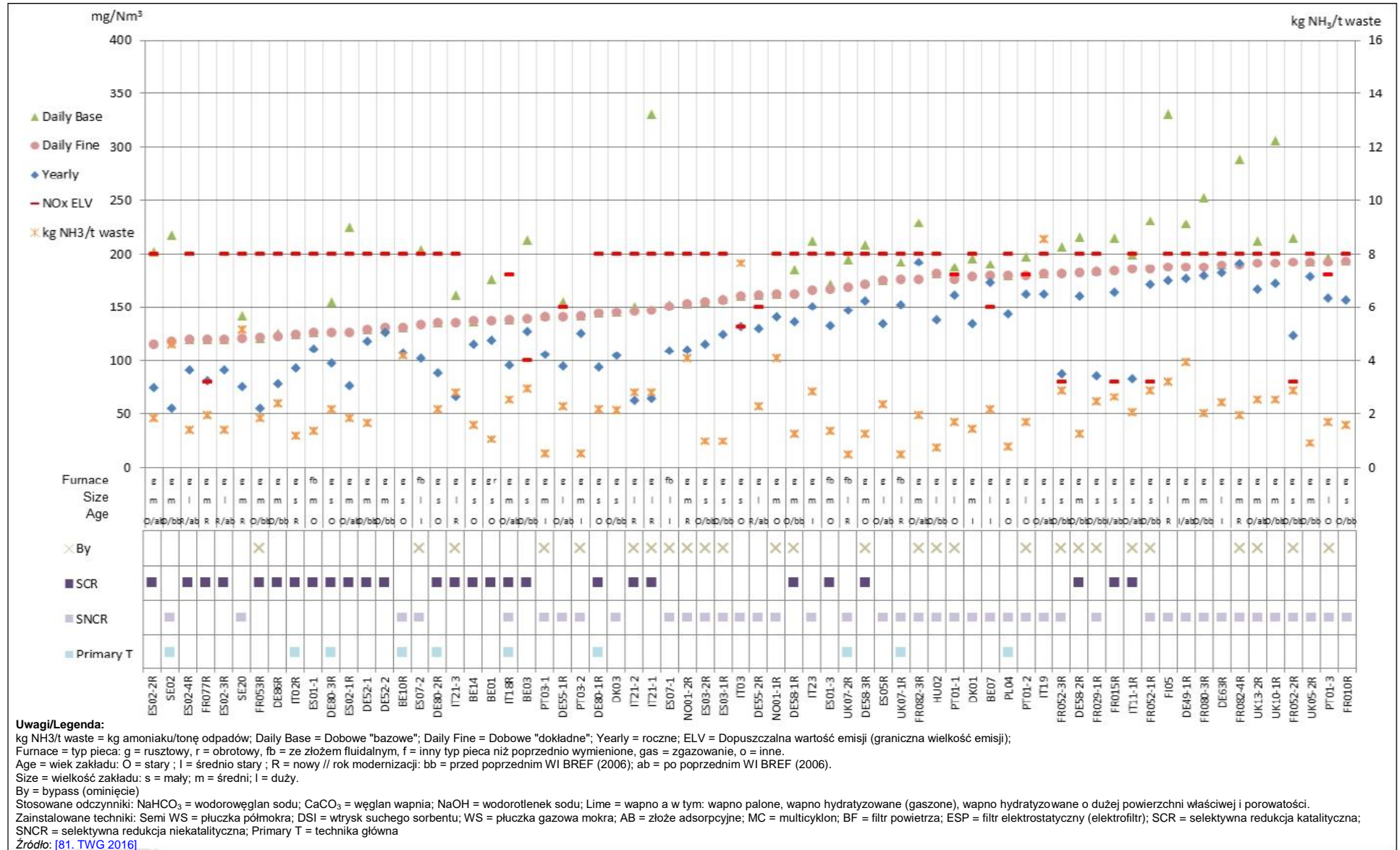
Ilustracja 8.14 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji pyłu do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (3/3).



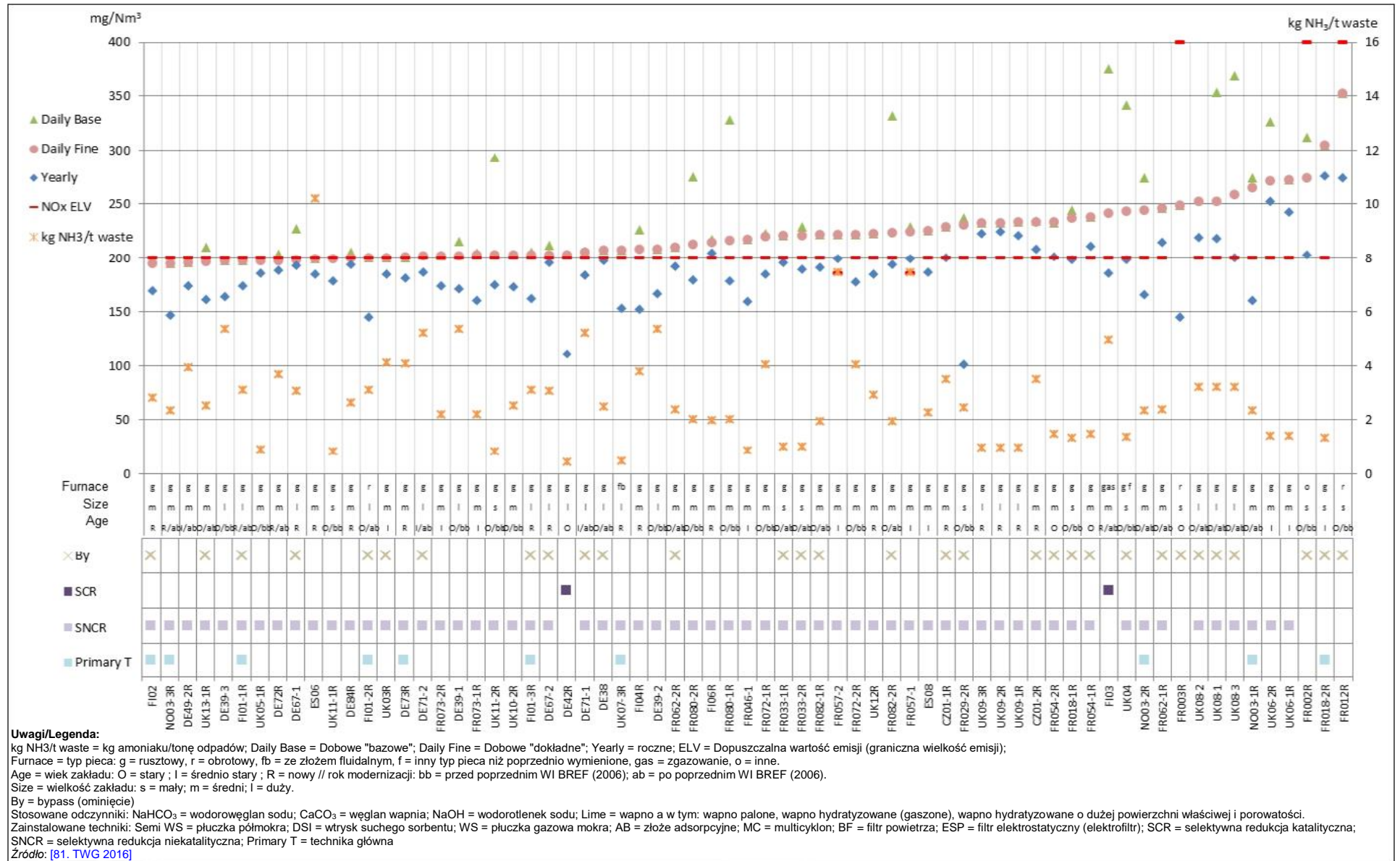
Ilustracja 8.15 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji pyłu do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie ONHW.



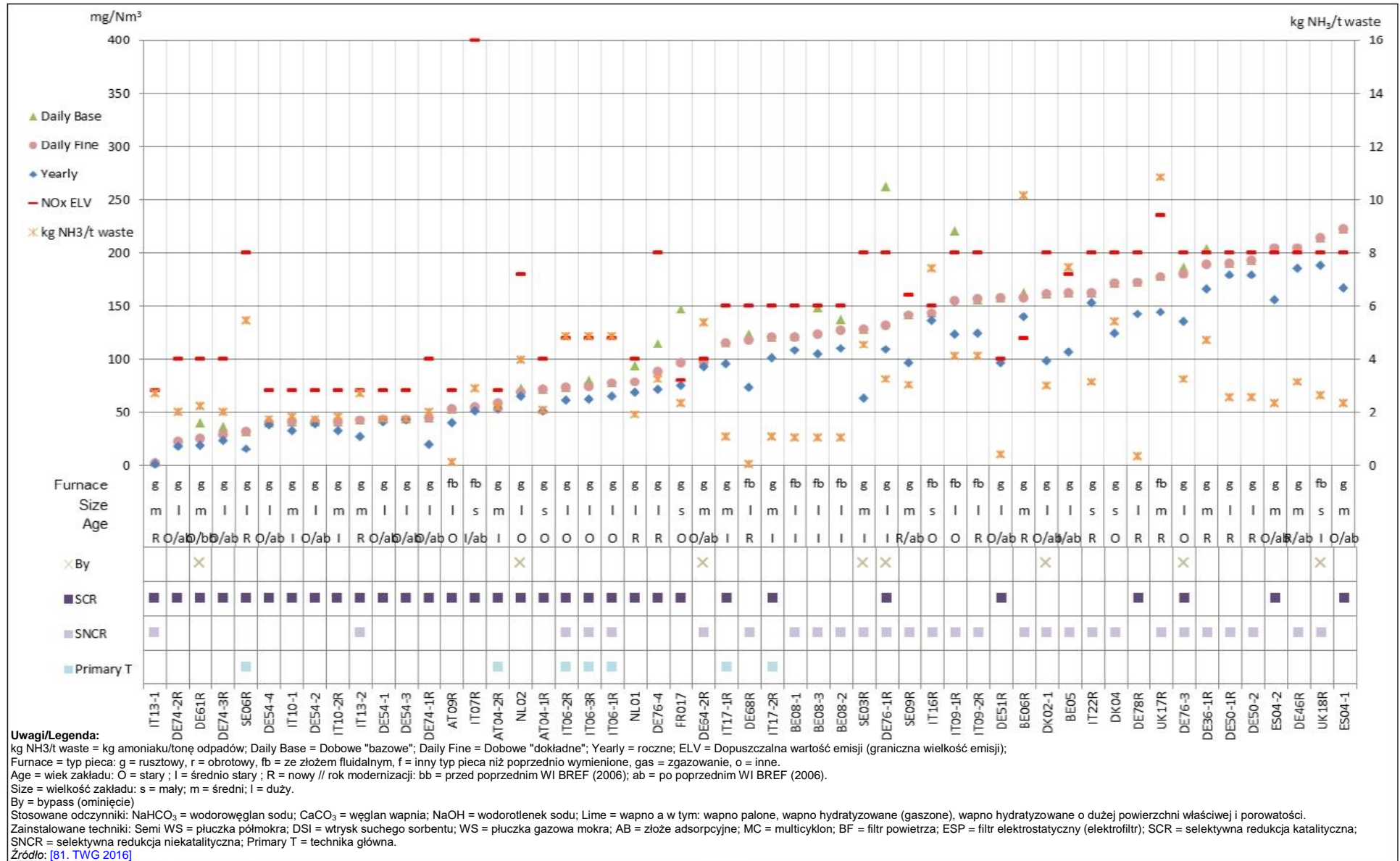
Ilustracja 8.16 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji NO_x do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (1/3).



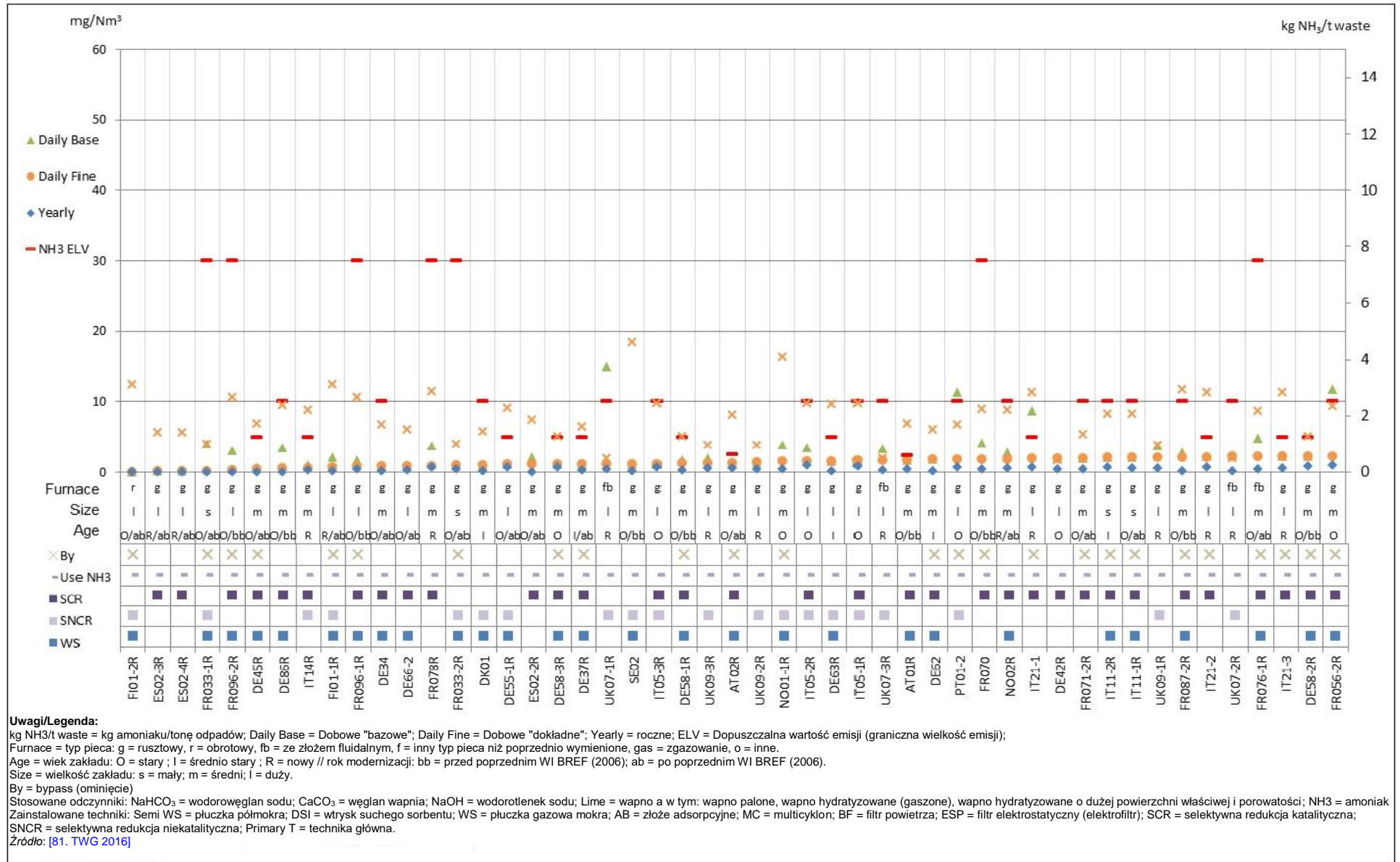
Ilustracja 8.17 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji NO_x do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (2/3).



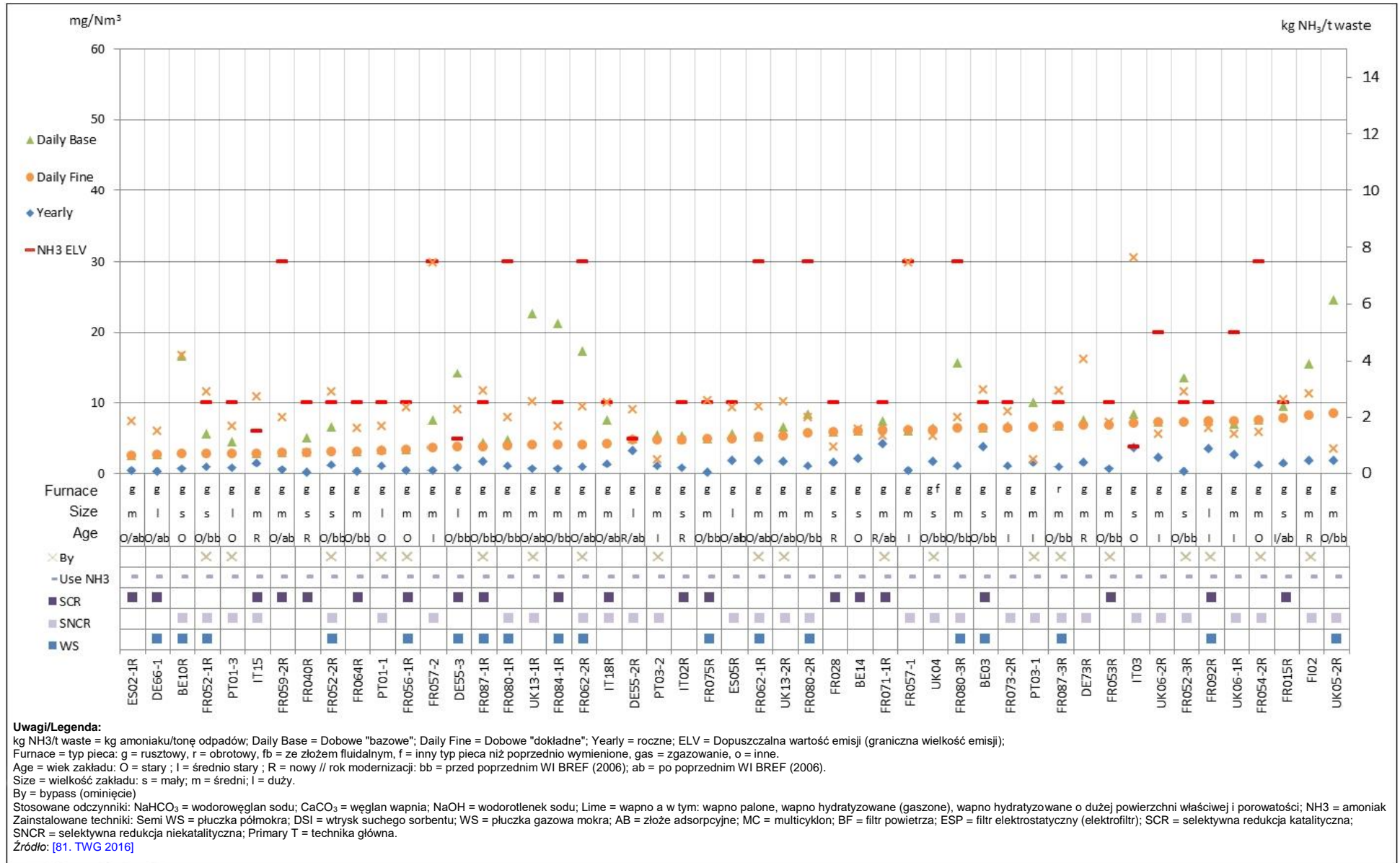
Ilustracja 8.18 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji NO_x do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (3/3).



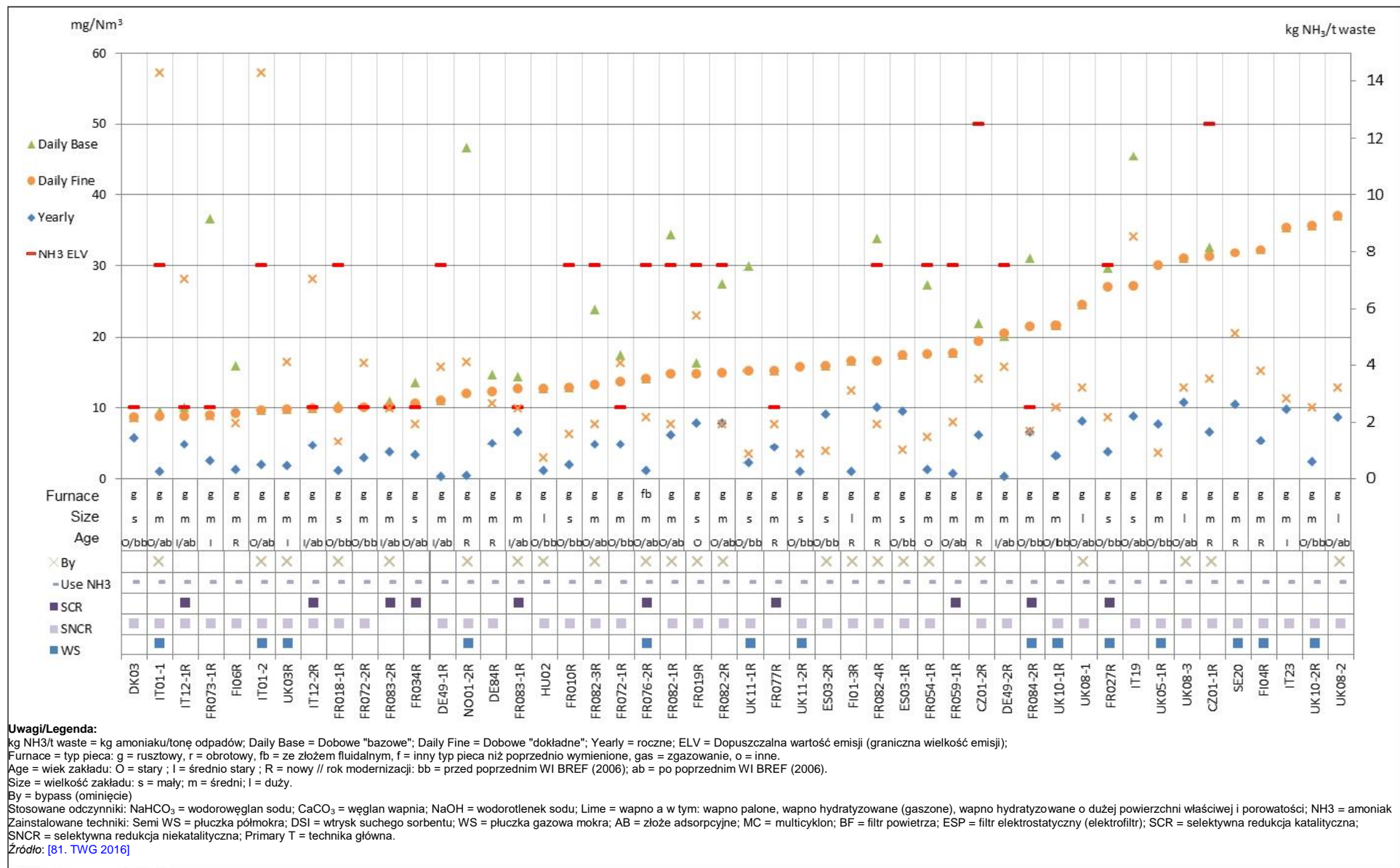
Ilustracja 8.19 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji NO_x do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie ONHW.



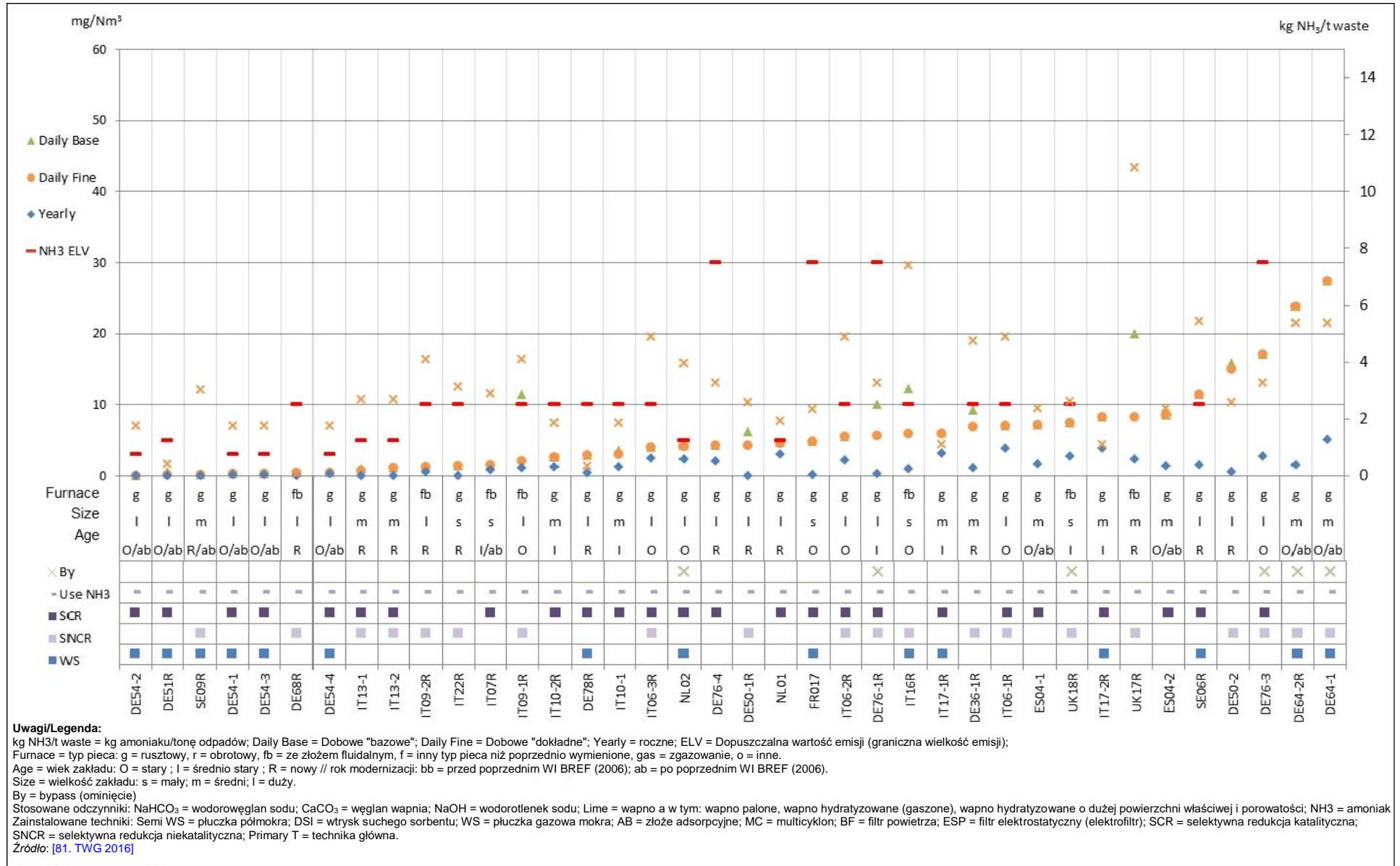
Ilustracja 8.20 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji NH₃ do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (1/3).



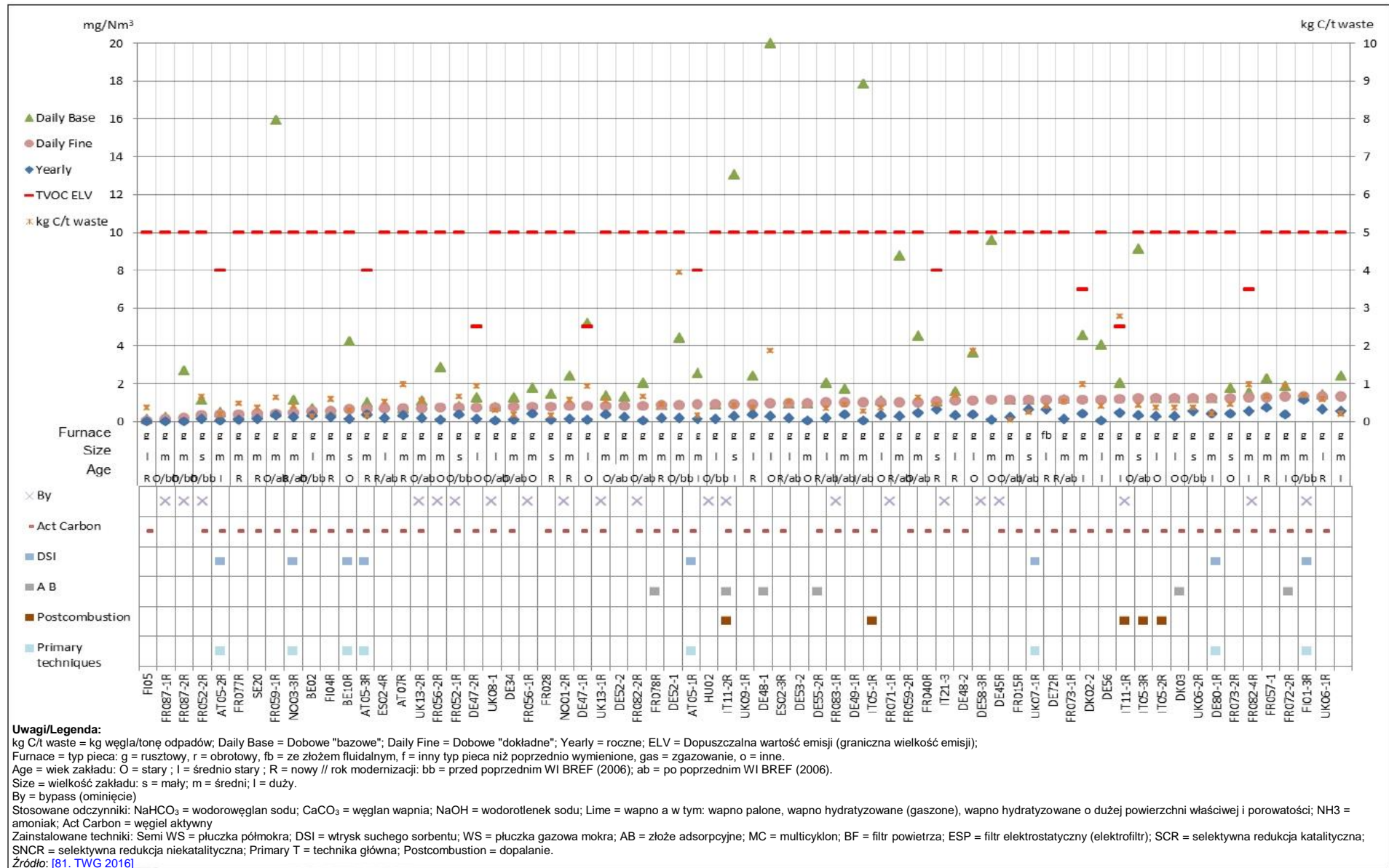
Ilustracja 8.21 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji NH₃ do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (2/3).



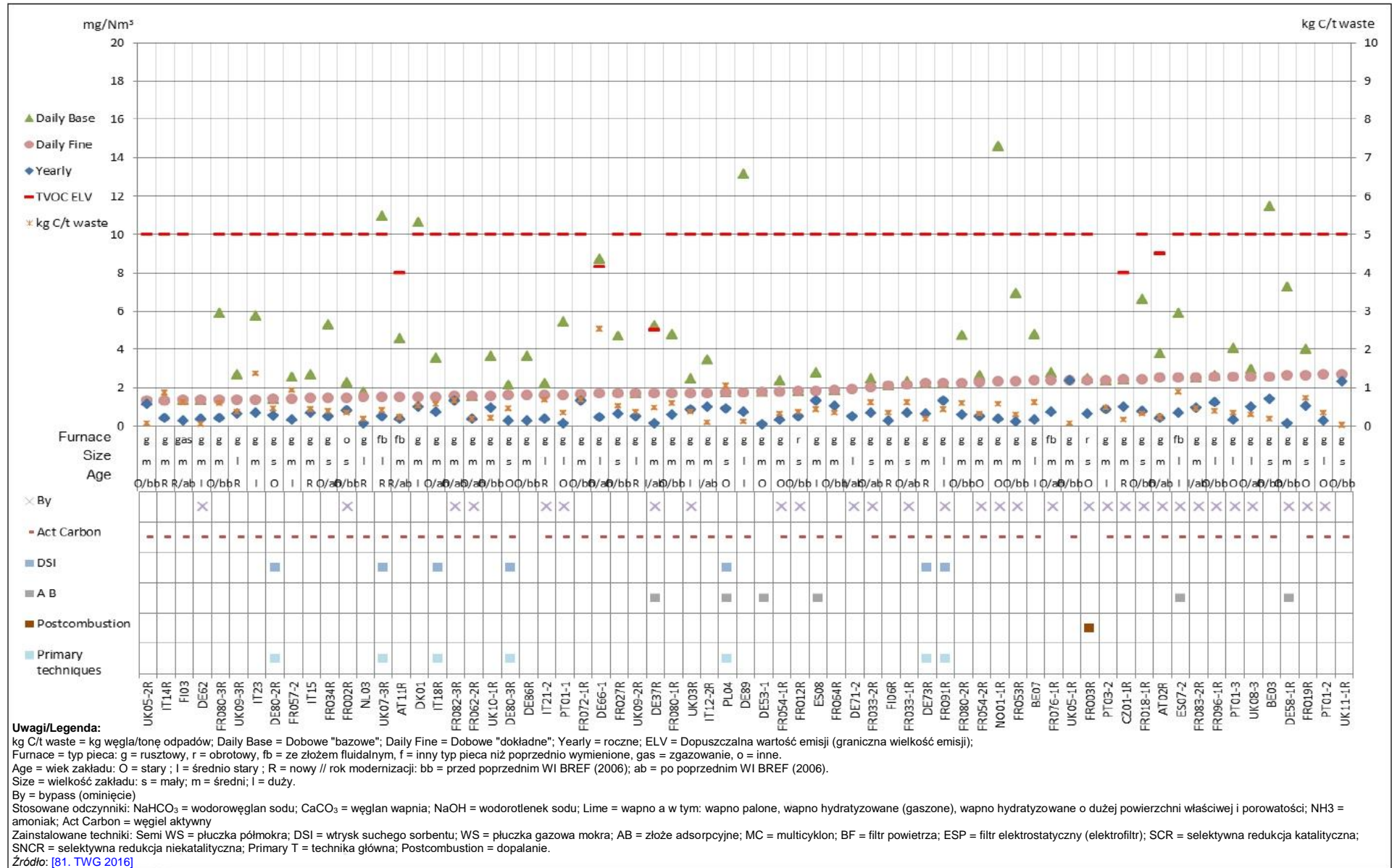
Ilustracja 8.22 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji NH₃ do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (3/3).



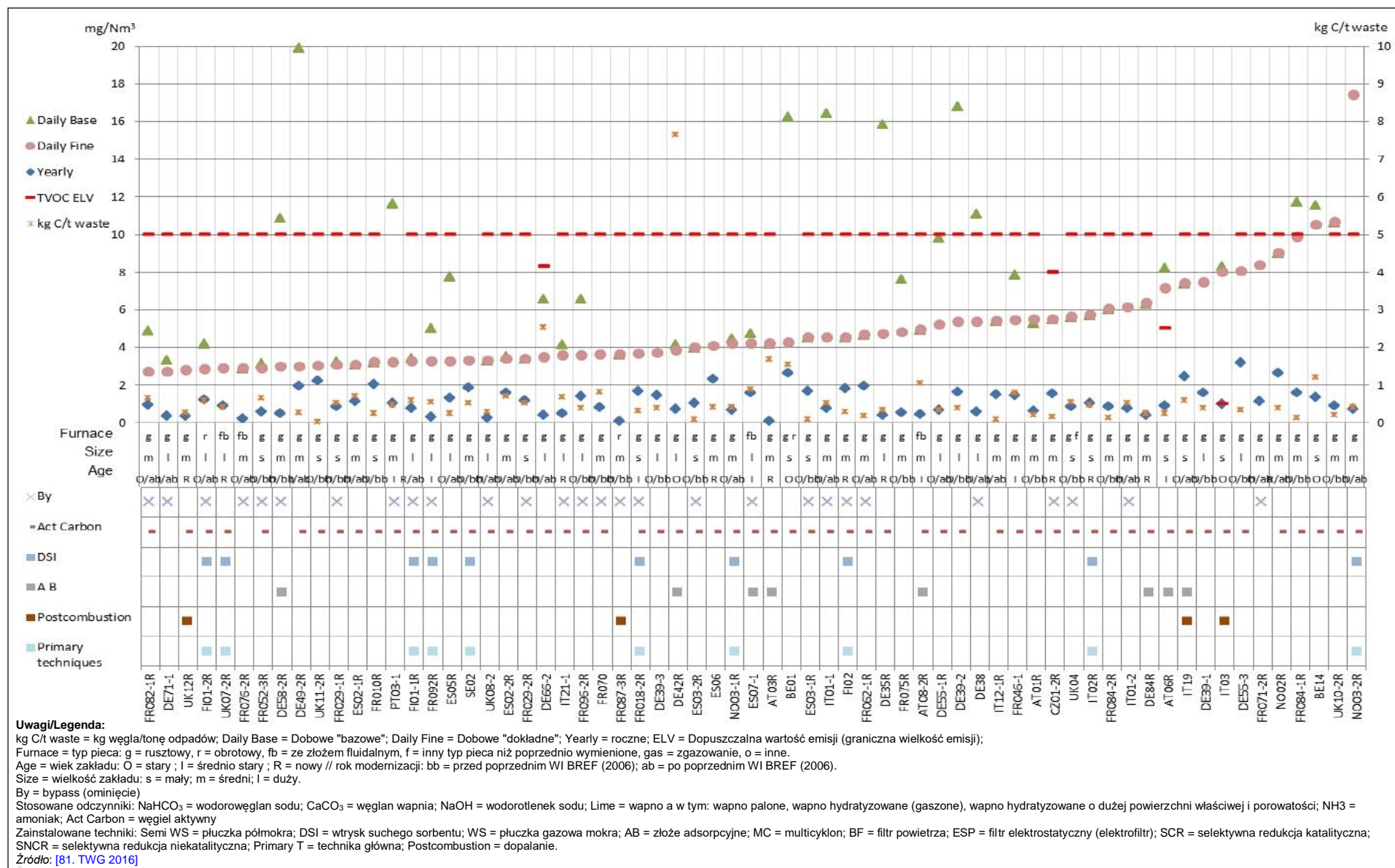
Ilustracja 8.23 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji NH₃ do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie ONHW.



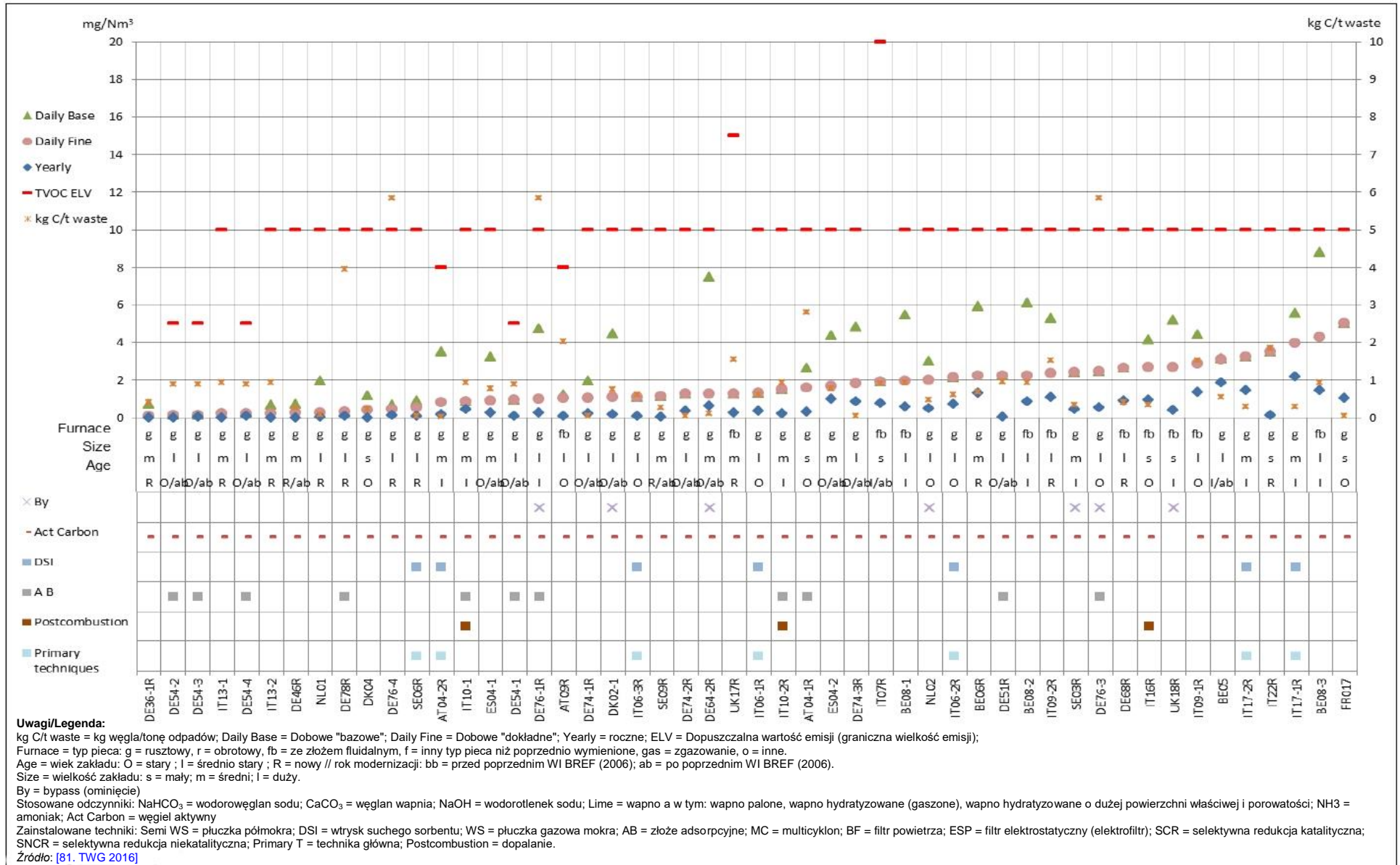
Ilustracja 8.24 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji TVOC do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (1/3).



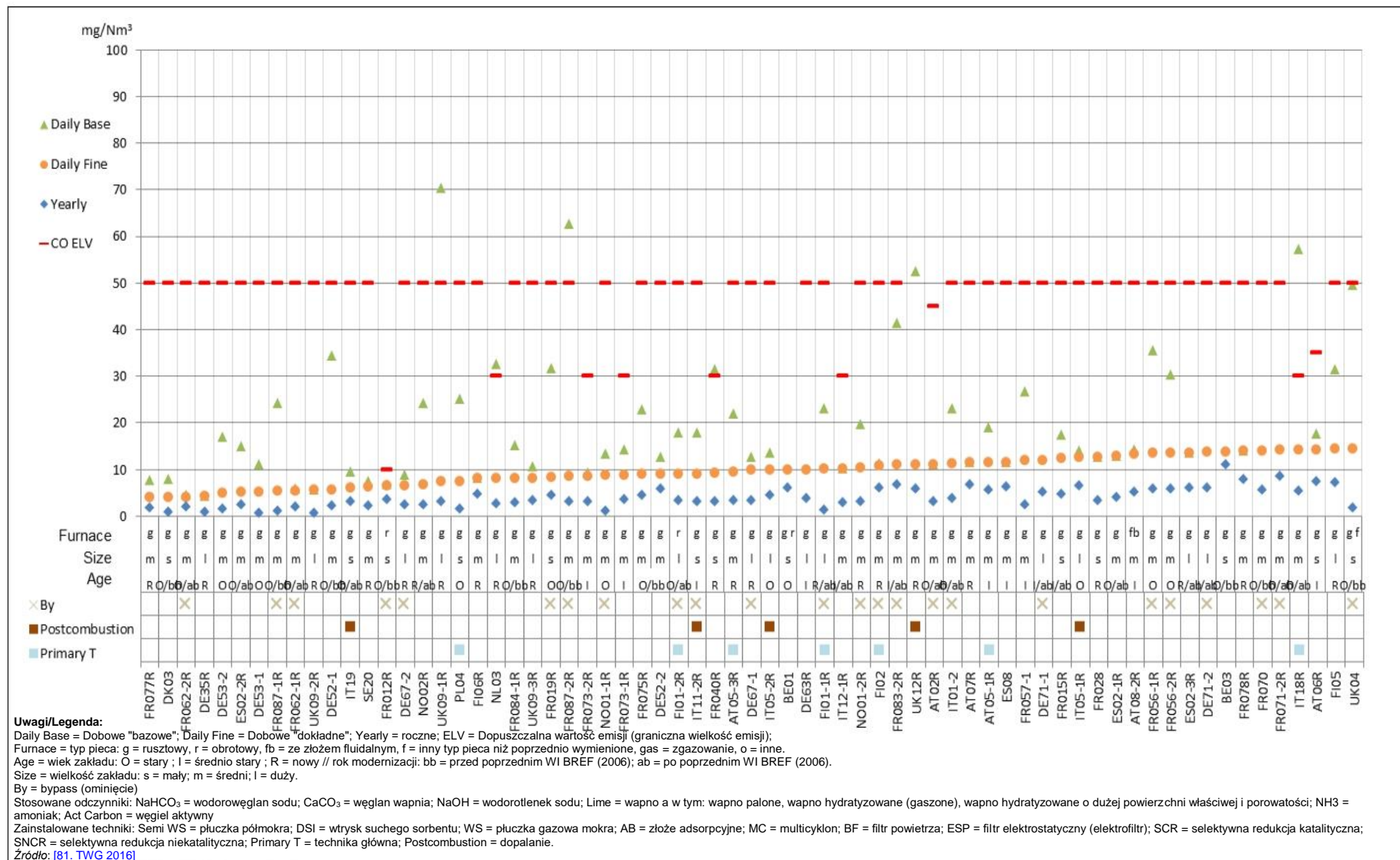
Ilustracja 8.25 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji TVOC do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (2/3).



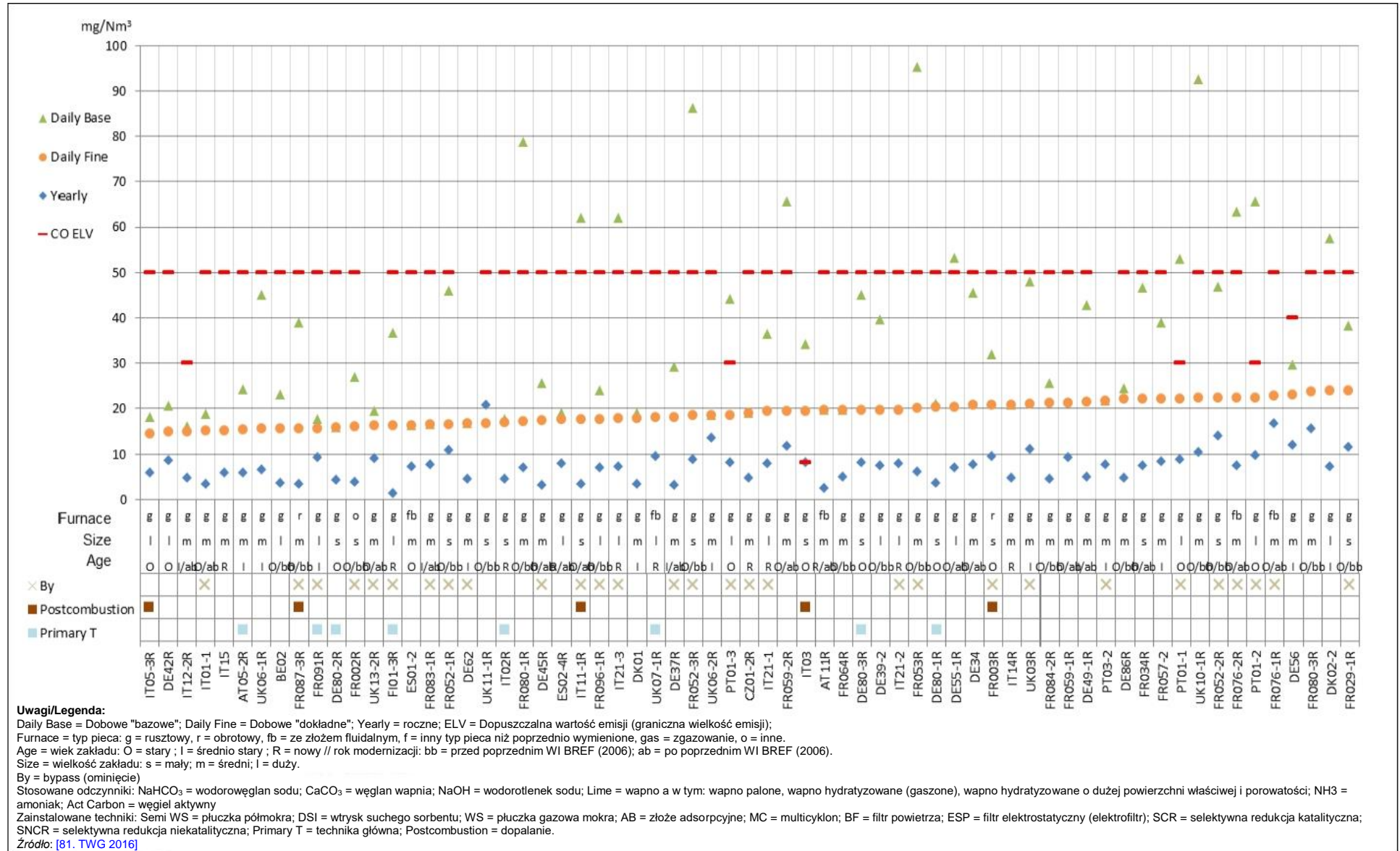
Ilustracja 8.26 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji TVOC do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (3/3).



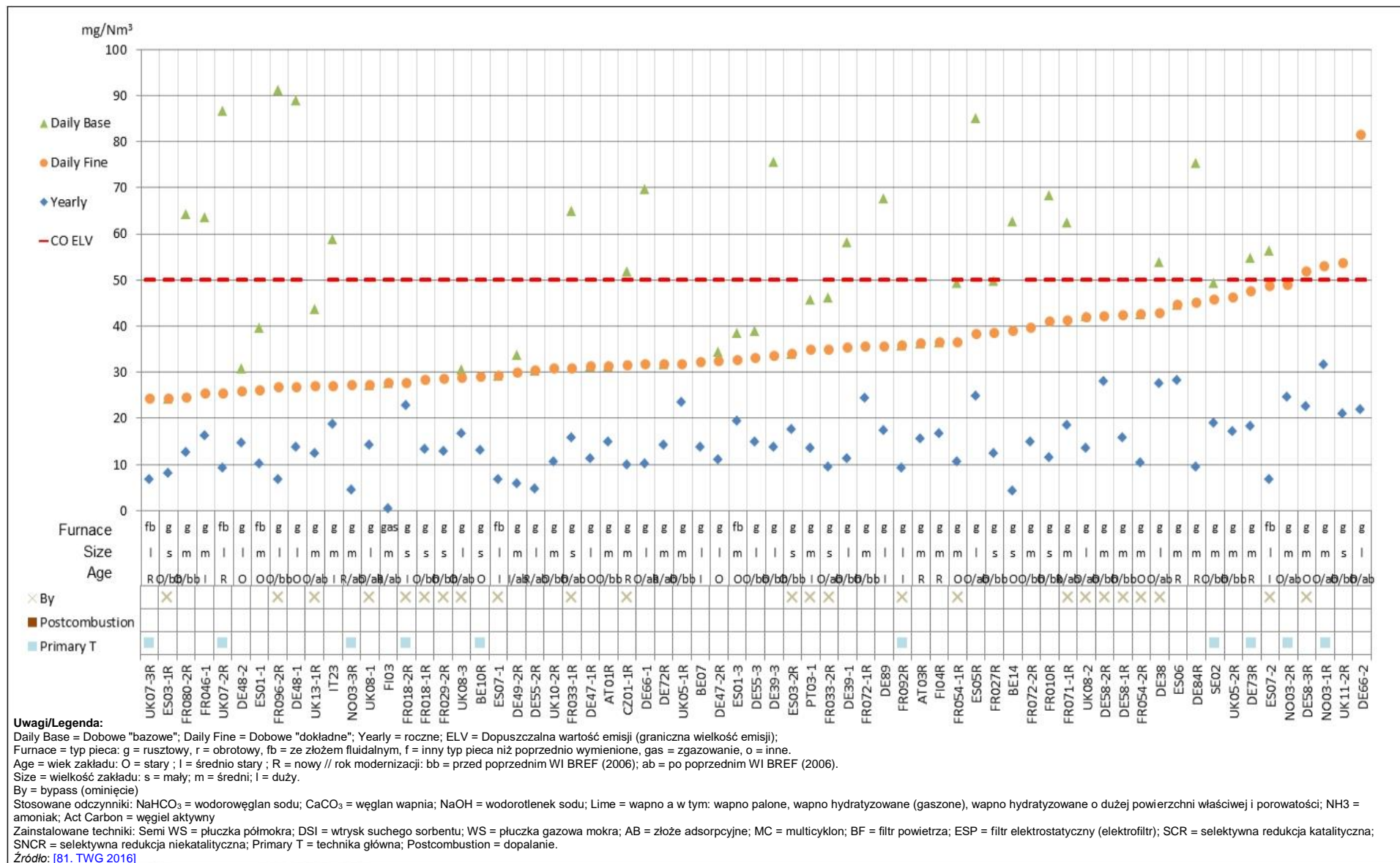
Ilustracja 8.27 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji TVOC do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie ONHW.



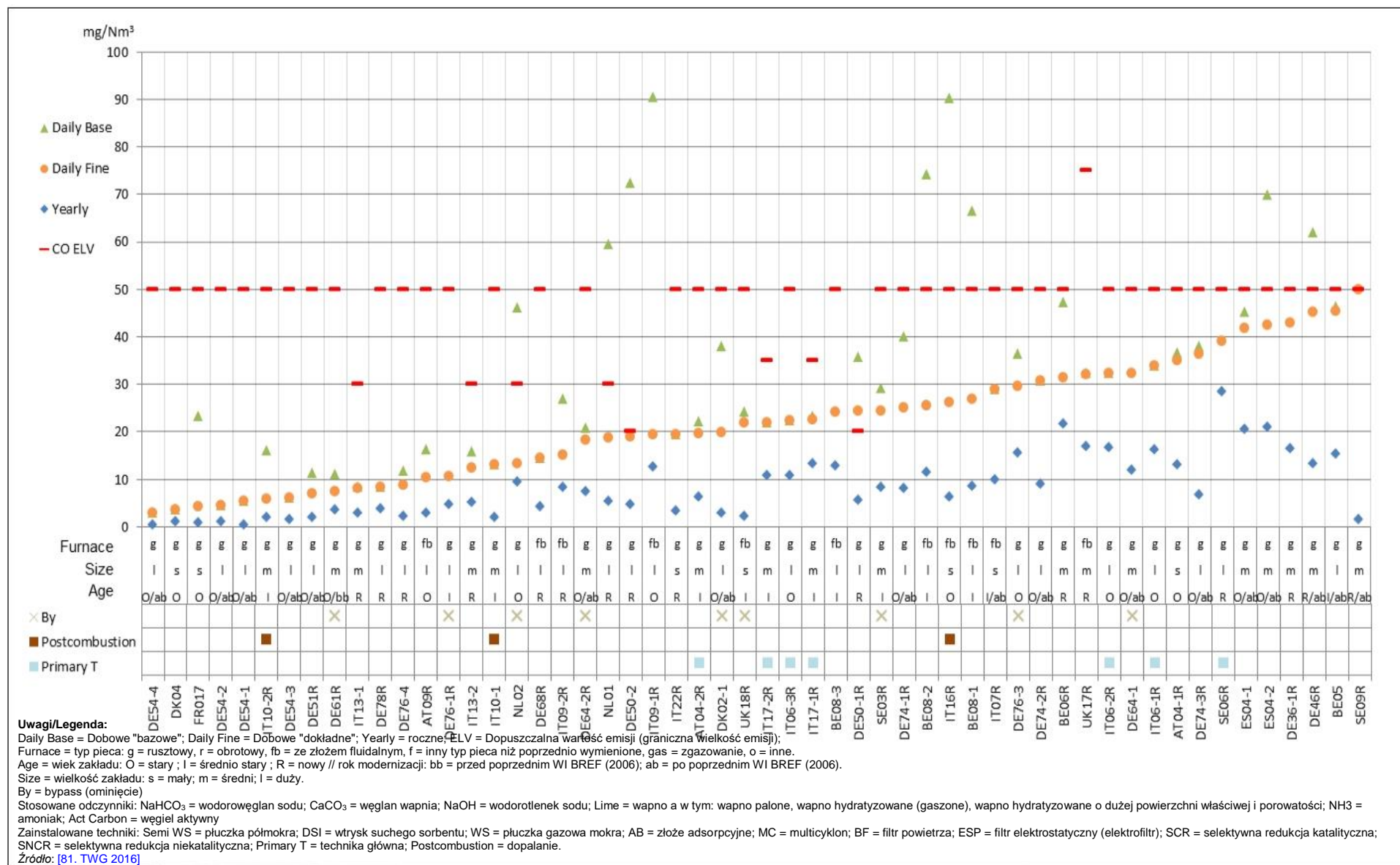
Ilustracja 8.28 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji CO do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (1/3).



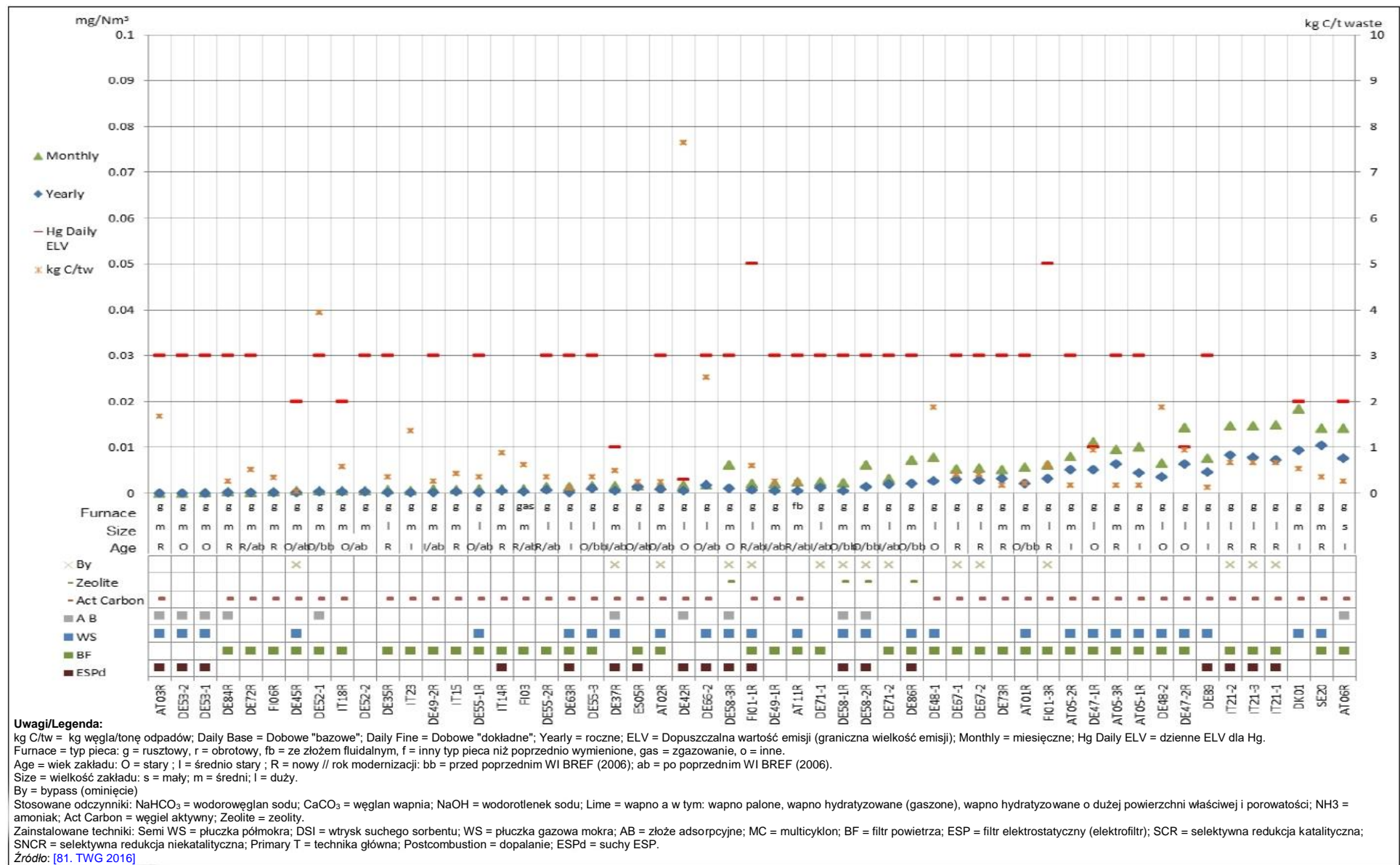
Ilustracja 8.29 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji CO do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (2/3).



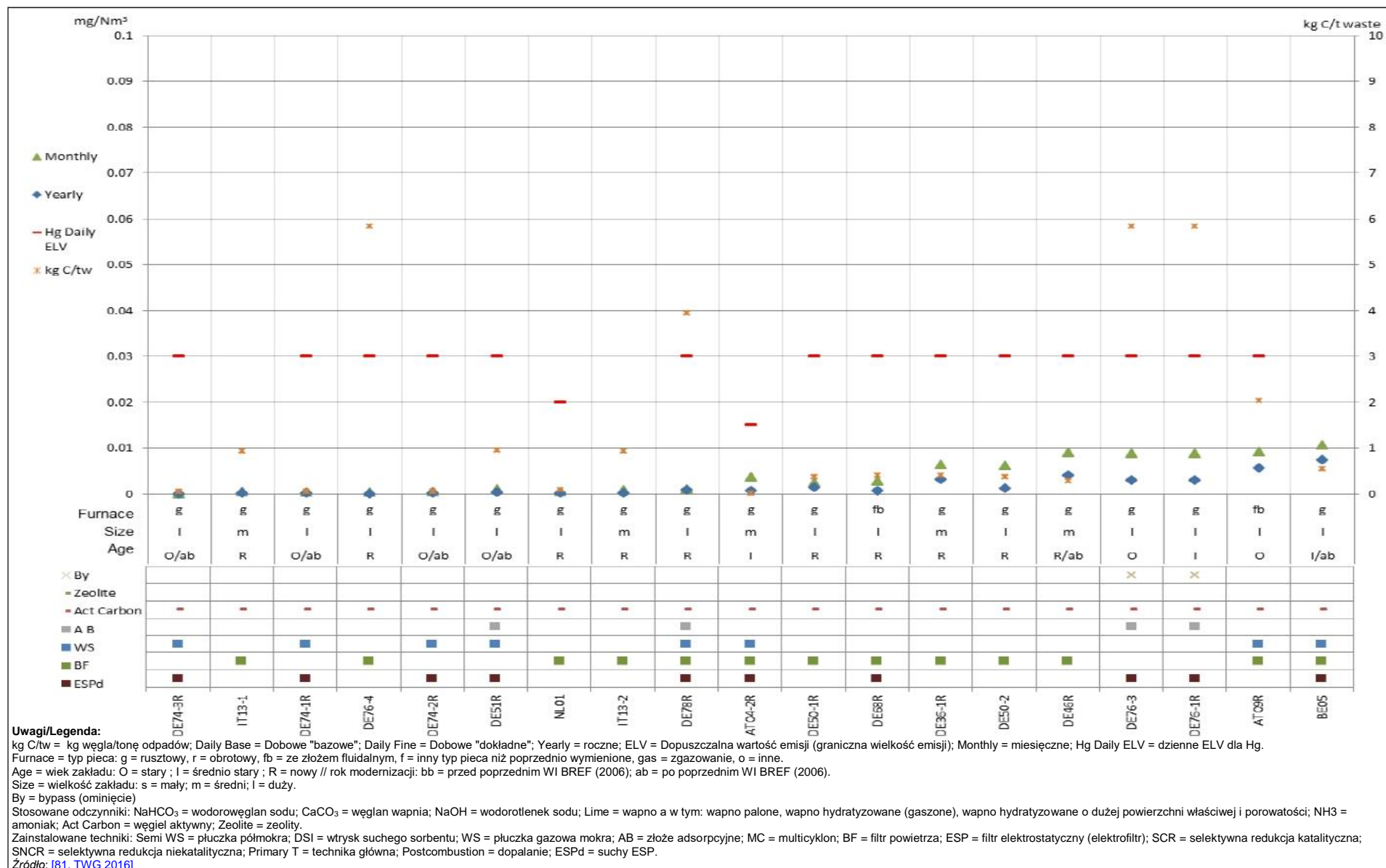
Ilustracja 8.30 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji CO do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (3/3).



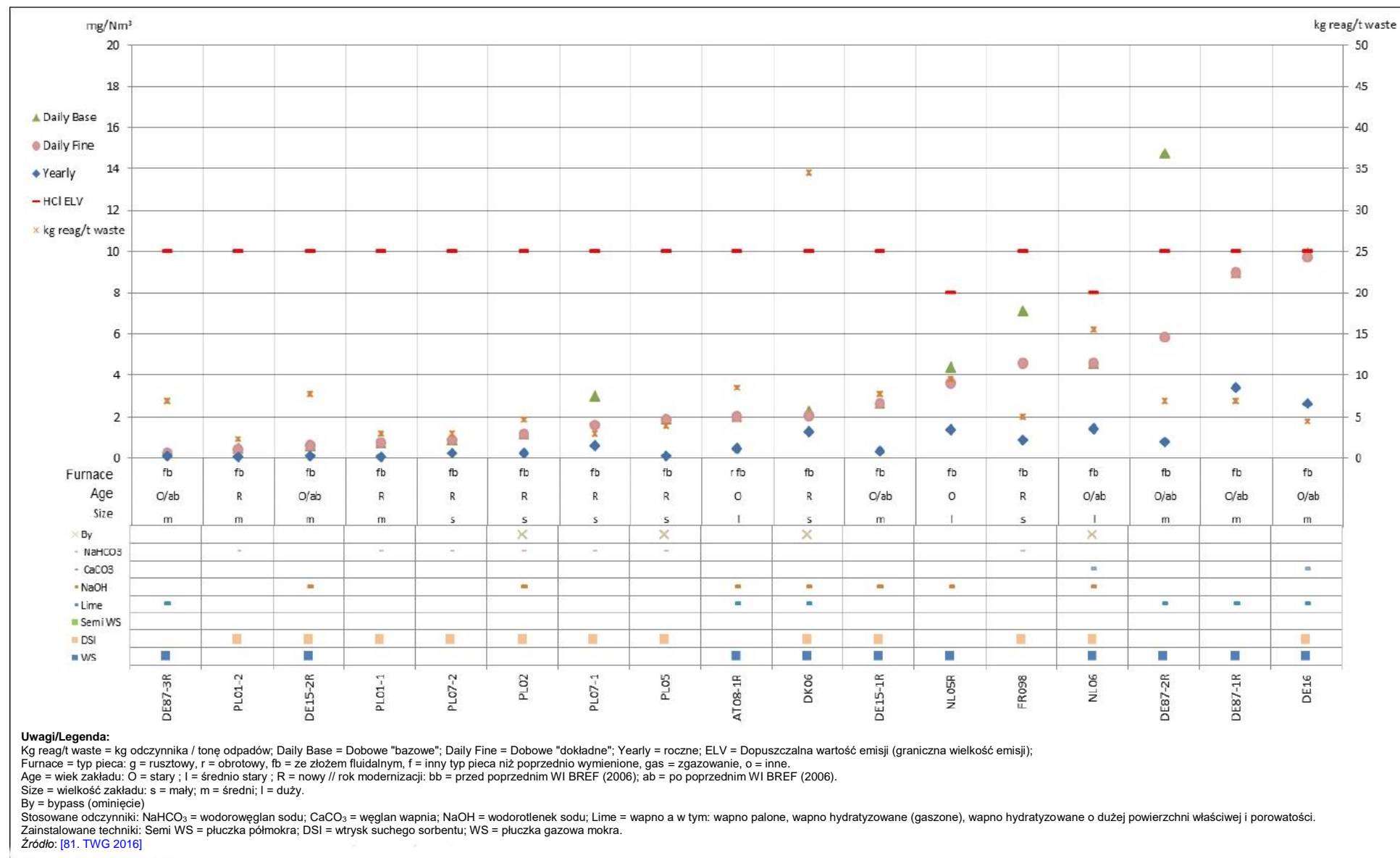
Ilustracja 8.31 Dobbowe oraz roczne średnie poziomy emisji CO do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie ONHW.



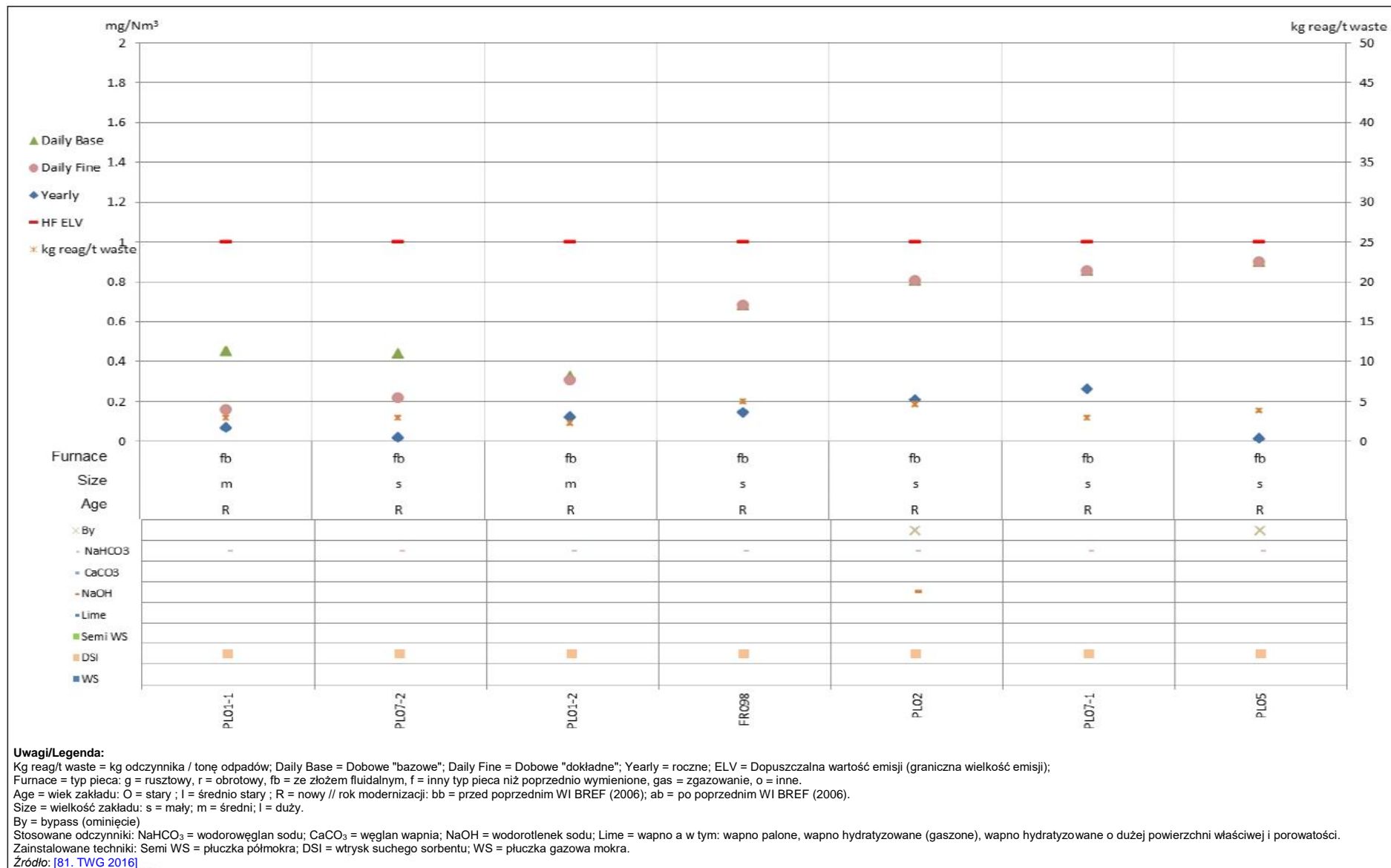
Ilustracja 8.32 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji Hg do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW.



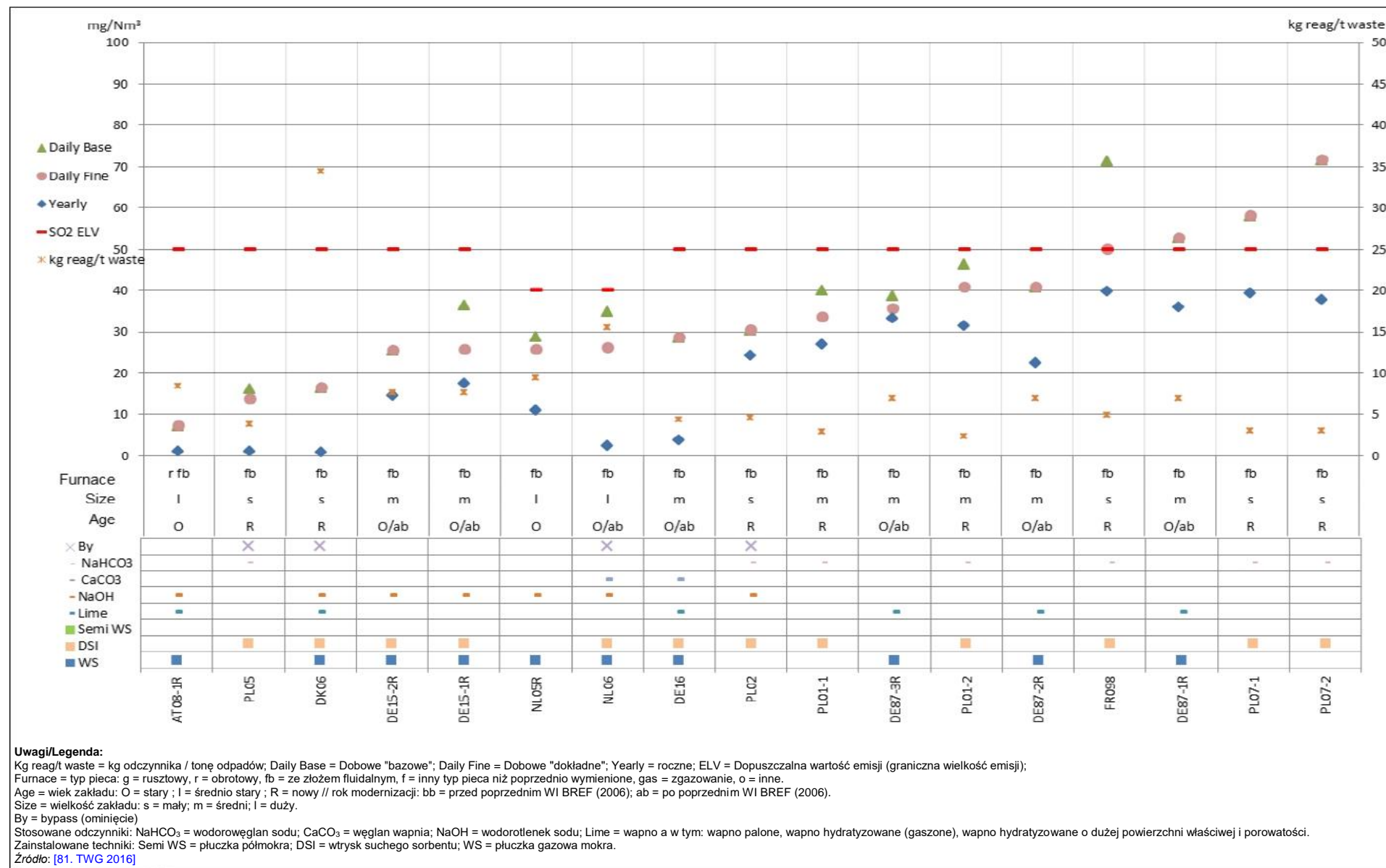
Ilustracja 8.33 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji Hg do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie ONHW.



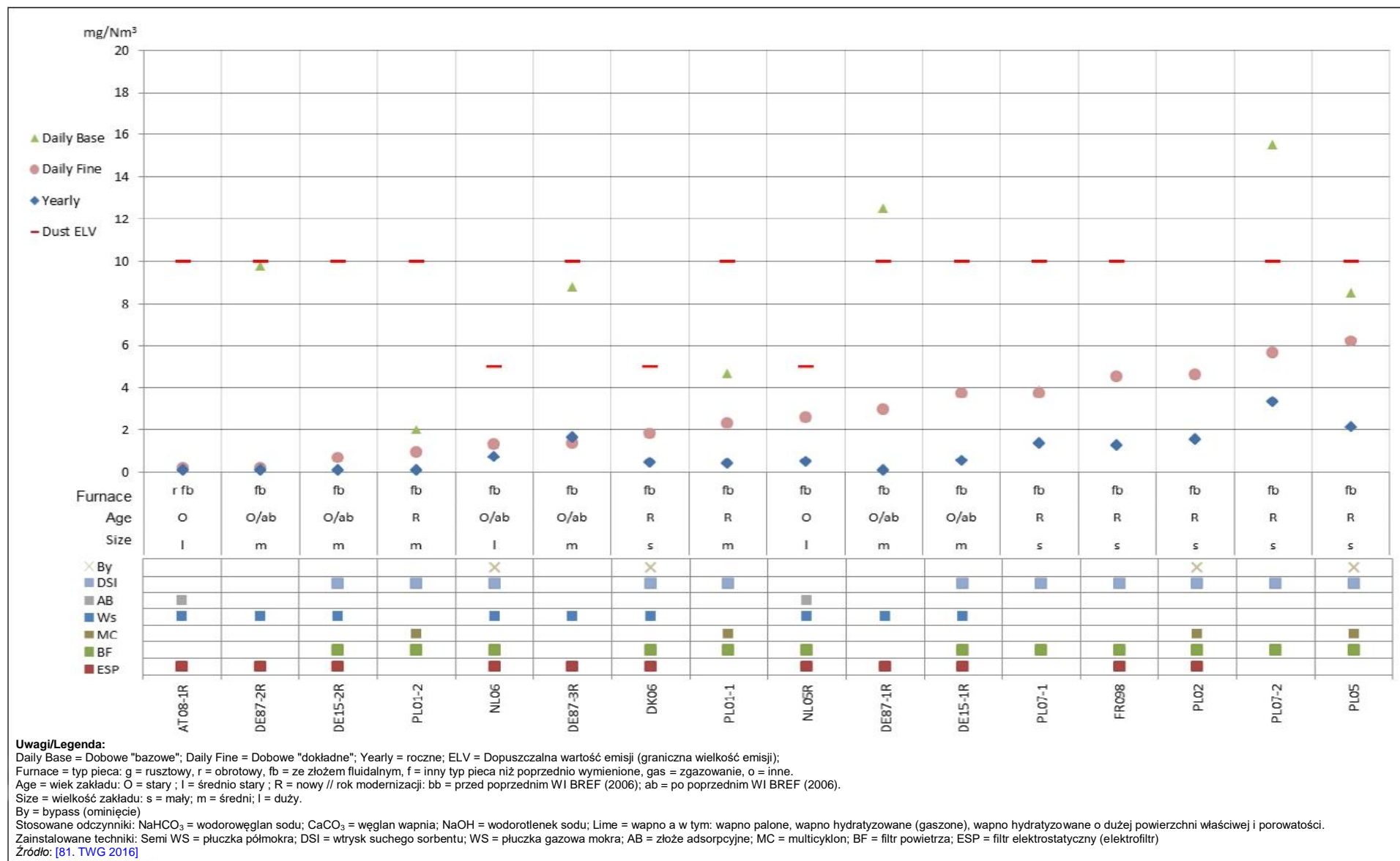
Ilustracja 8.34 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji HCl do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie osady ściekowe (SS).



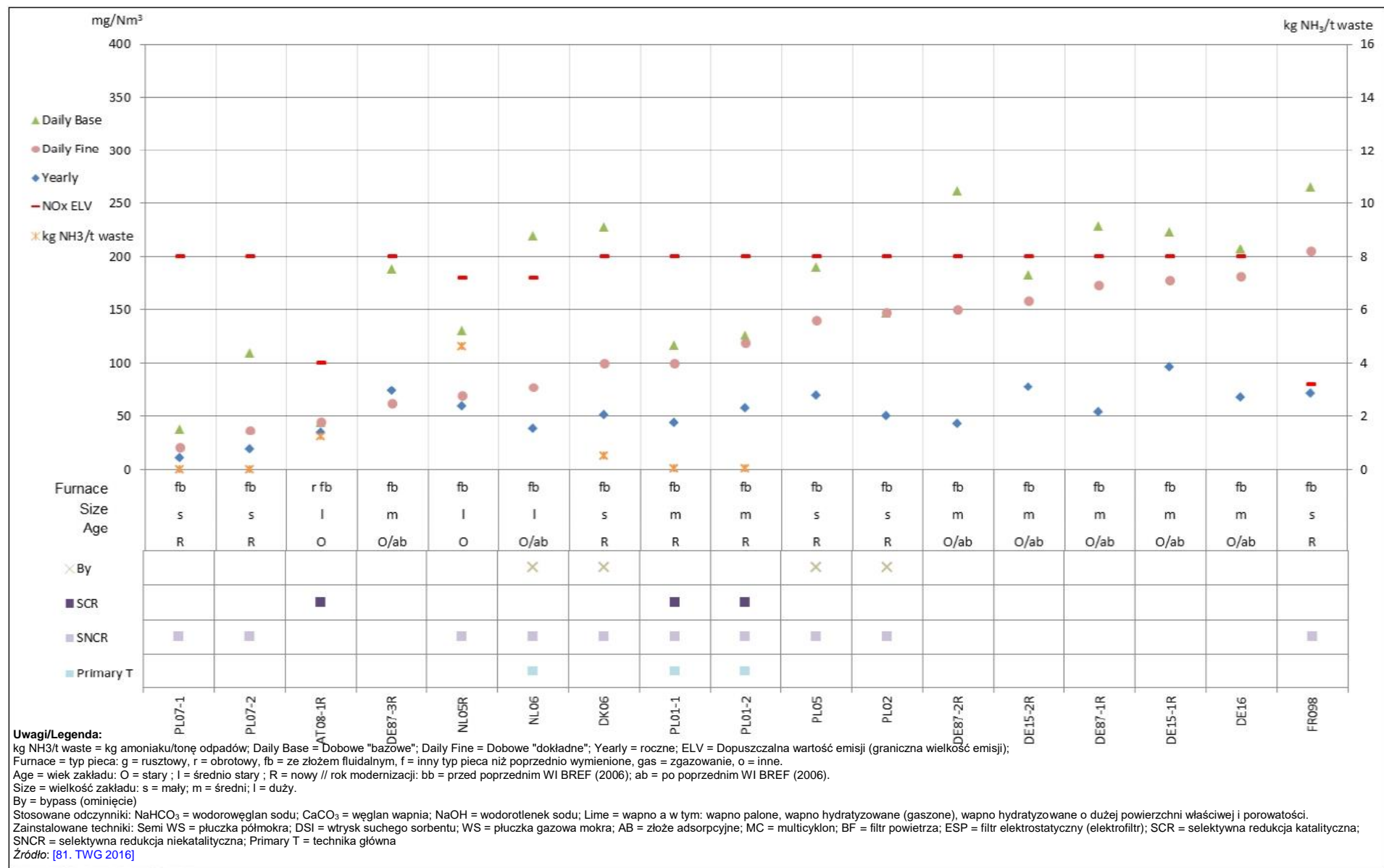
Ilustracja 8.35 Dobbowe oraz roczne średnie poziomy emisji HF do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie SS.



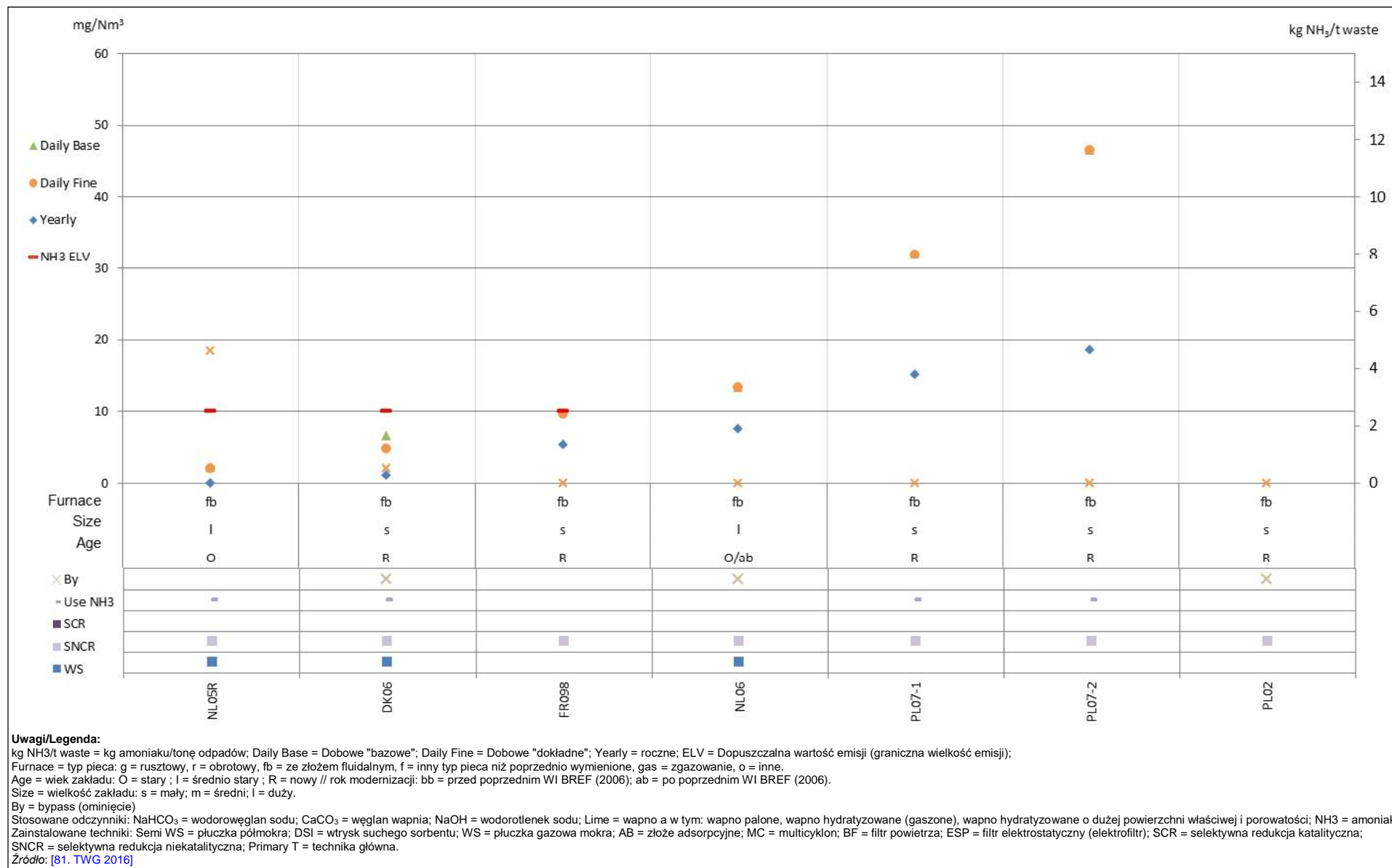
Ilustracja 8.36 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji SO₂ do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie SS.



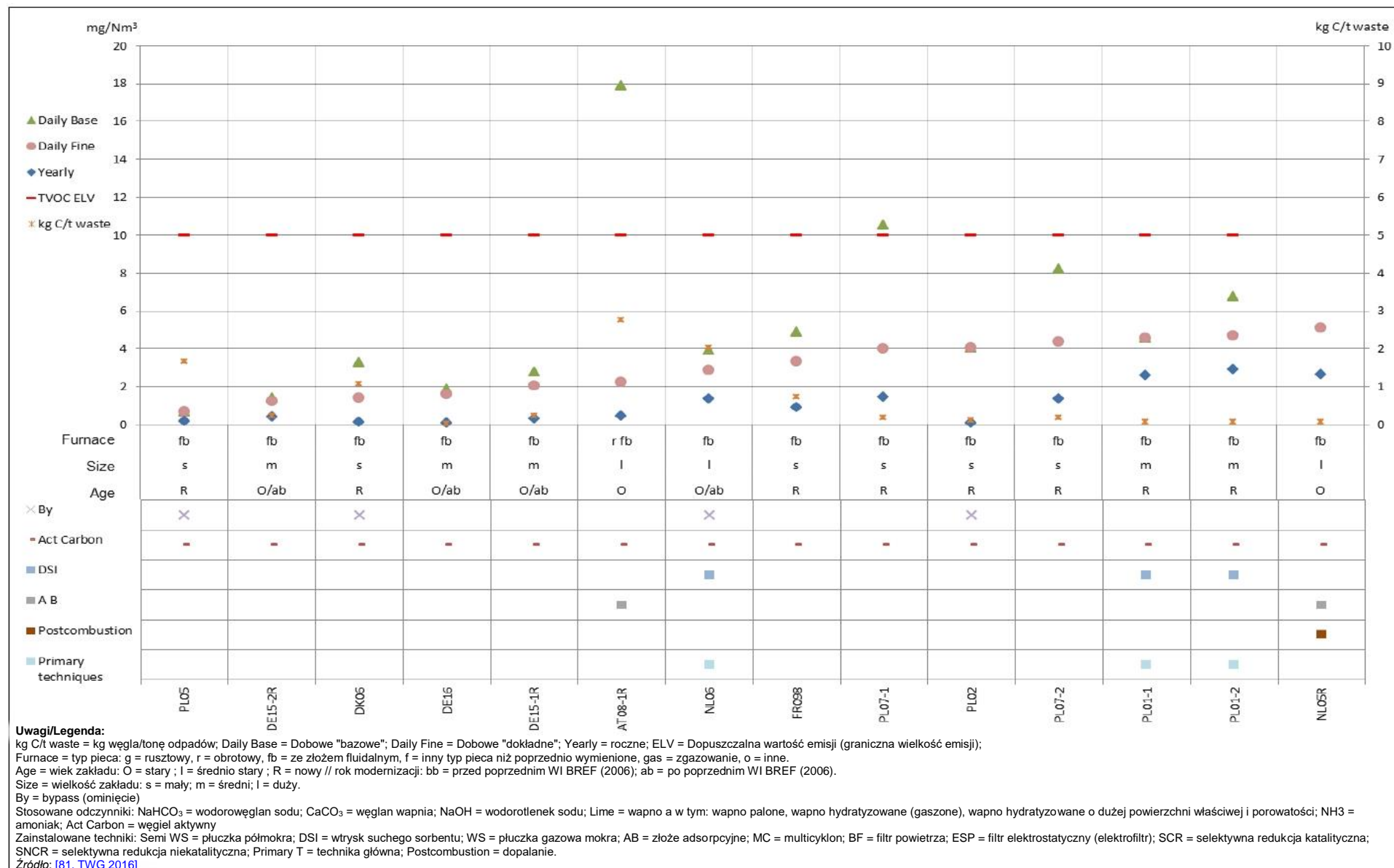
Ilustracja 8.37 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji pyłu do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie SS.



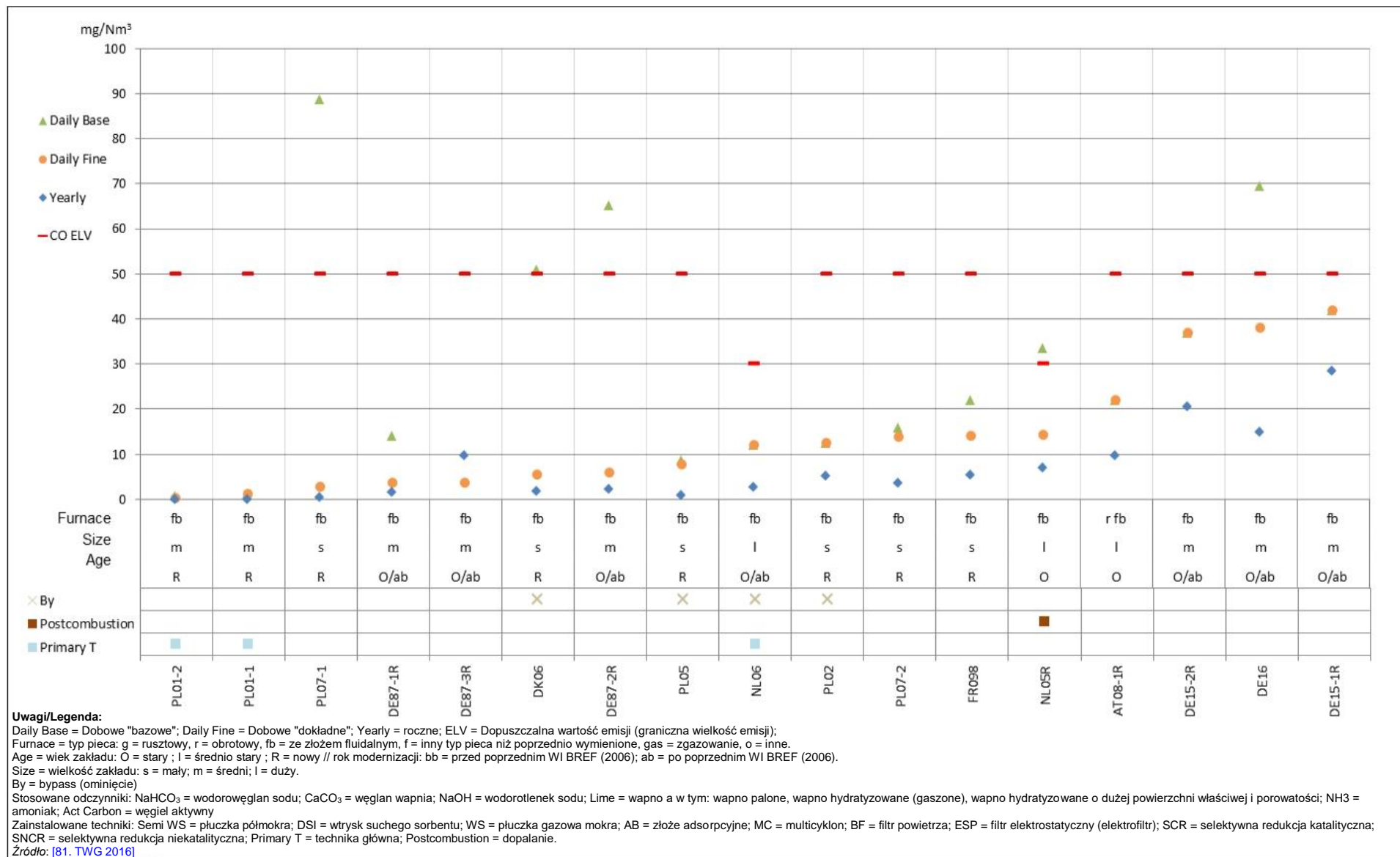
Ilustracja 8.38 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji NO_x do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie SS.



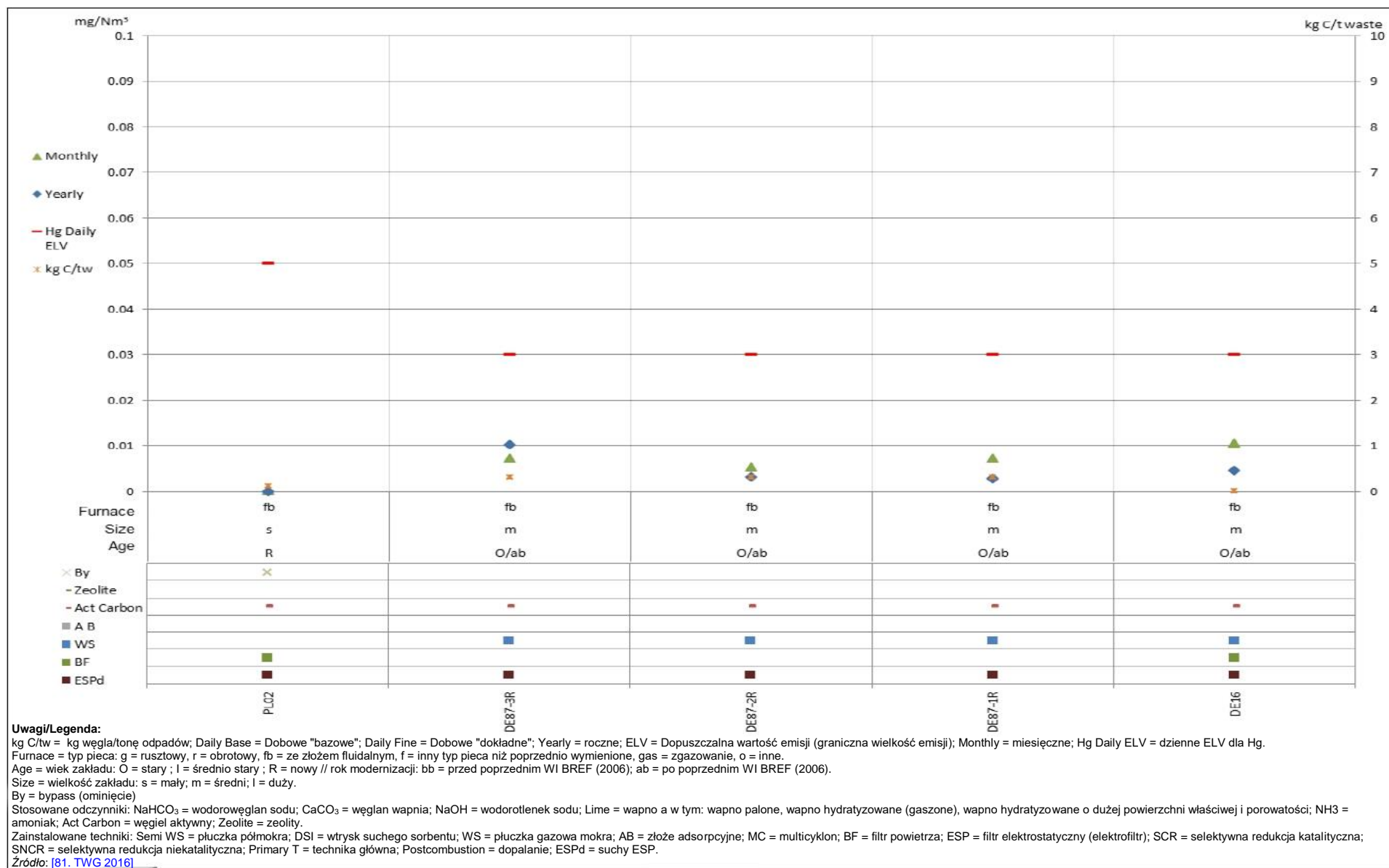
Ilustracja 8.39 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji NH₃ do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie SS.



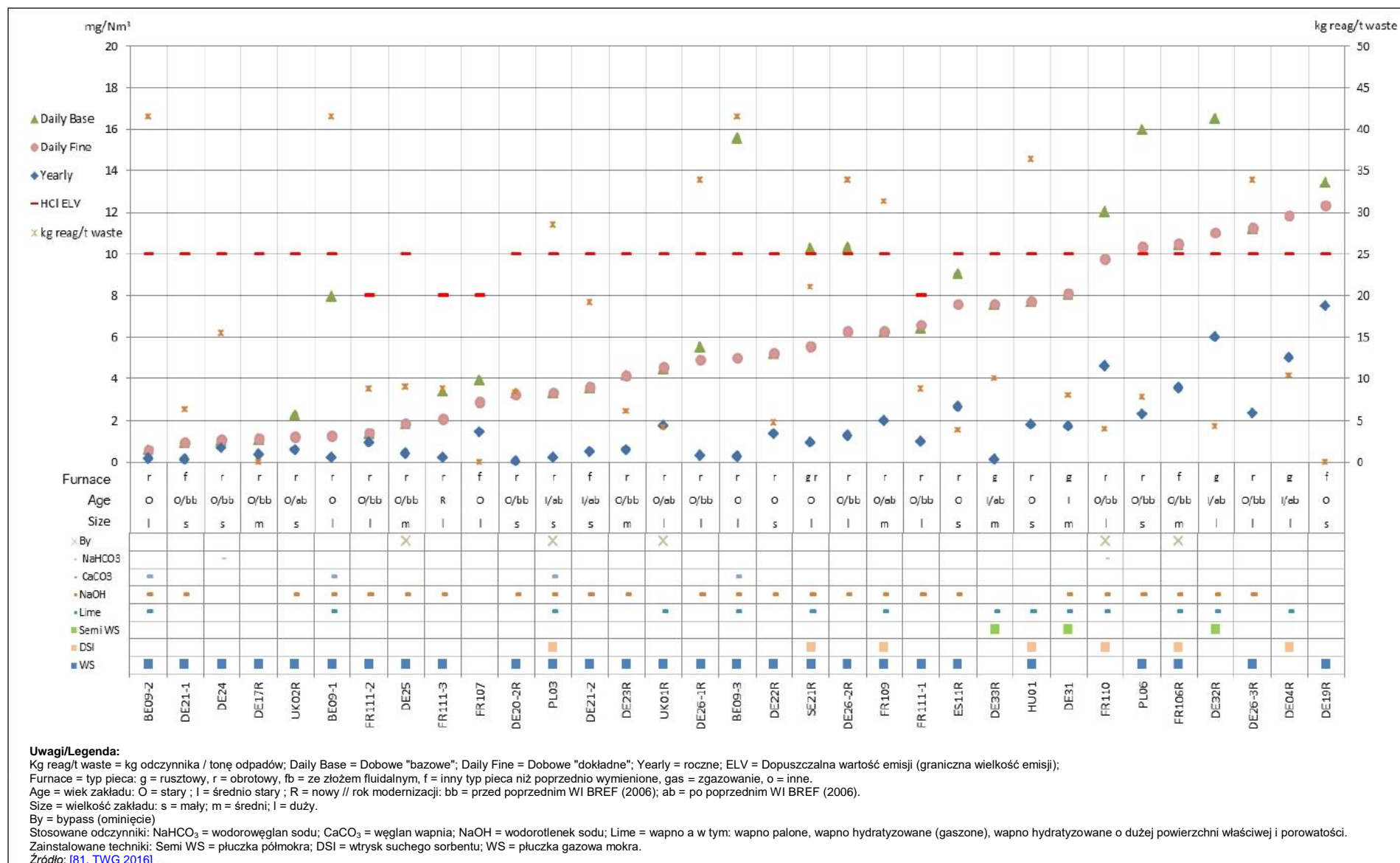
Ilustracja 8.40 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji TVOC do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie SS.



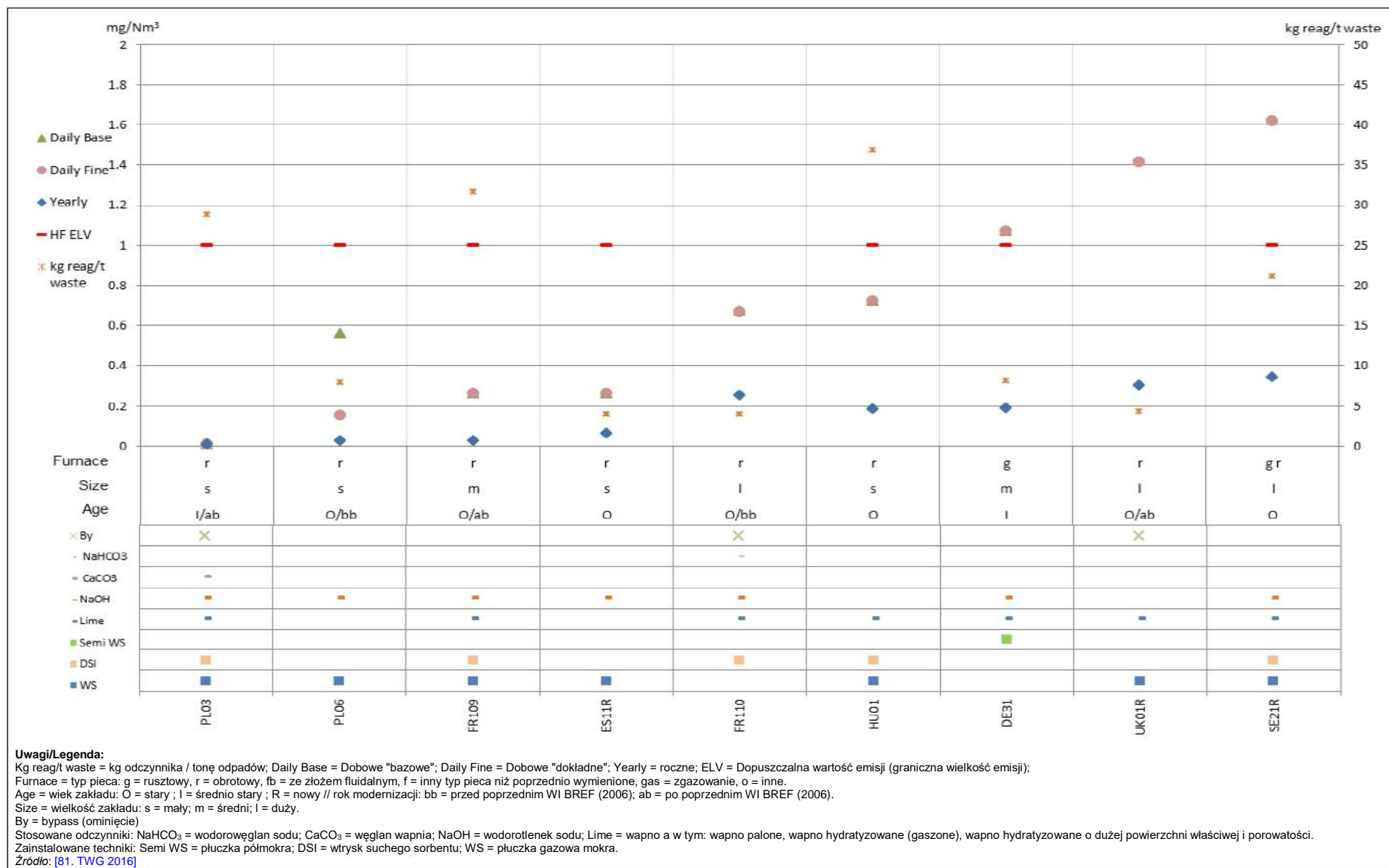
Ilustracja 8.41 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji CO do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie SS.



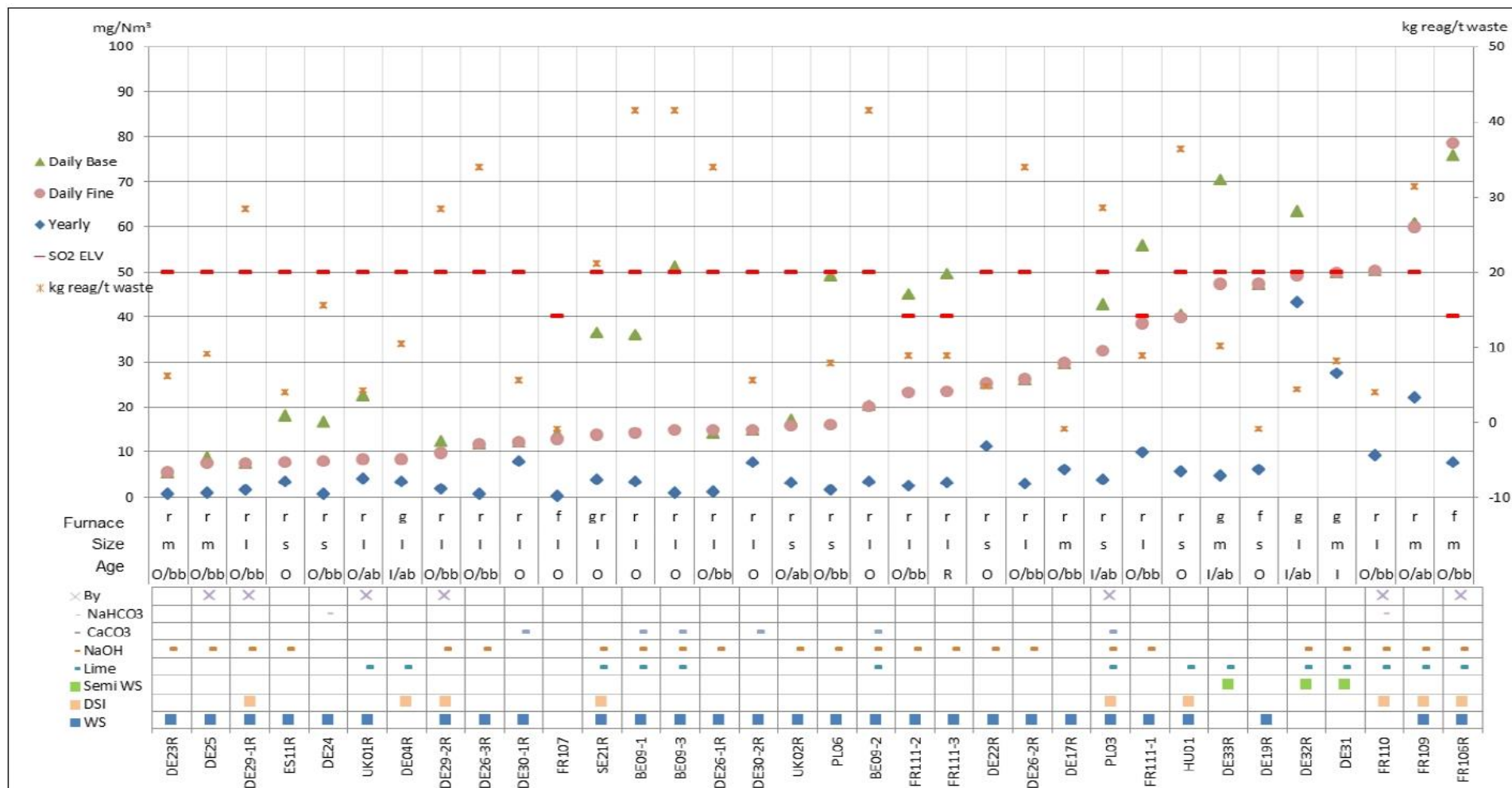
Ilustracja 8.42 Dobbowe oraz roczne średnie poziomy emisji Hg do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie SS.



Ilustracja 8.43 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji HCl do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie odpady niebezpieczne (HW).



Ilustracja 8.44 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji HF do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie HW.

**Uwagi/Legenda:**

Kg reag/t waste = kg odczynnika / tonę odpadów; Daily Base = Dobowe "bazowe"; Daily Fine = Dobowe "dokładne"; Yearly = roczne; ELV = Dopuszczalna wartość emisji (graniczna wielkość emisji);

Furnace = typ pieca: g = rusztowy, r = obrotowy, fb = ze złożem fluidalnym, f = inny typ pieca niż poprzednio wymienione, gas = zgazowanie, o = inne.

Age = wiek zakładu: O = stary; I = średnio stary; R = nowy // rok modernizacji: bb = przed poprzednim WI BREF (2006); ab = po poprzednim WI BREF (2006).

Size = wielkość zakładu: s = mały; m = średni; l = duży.

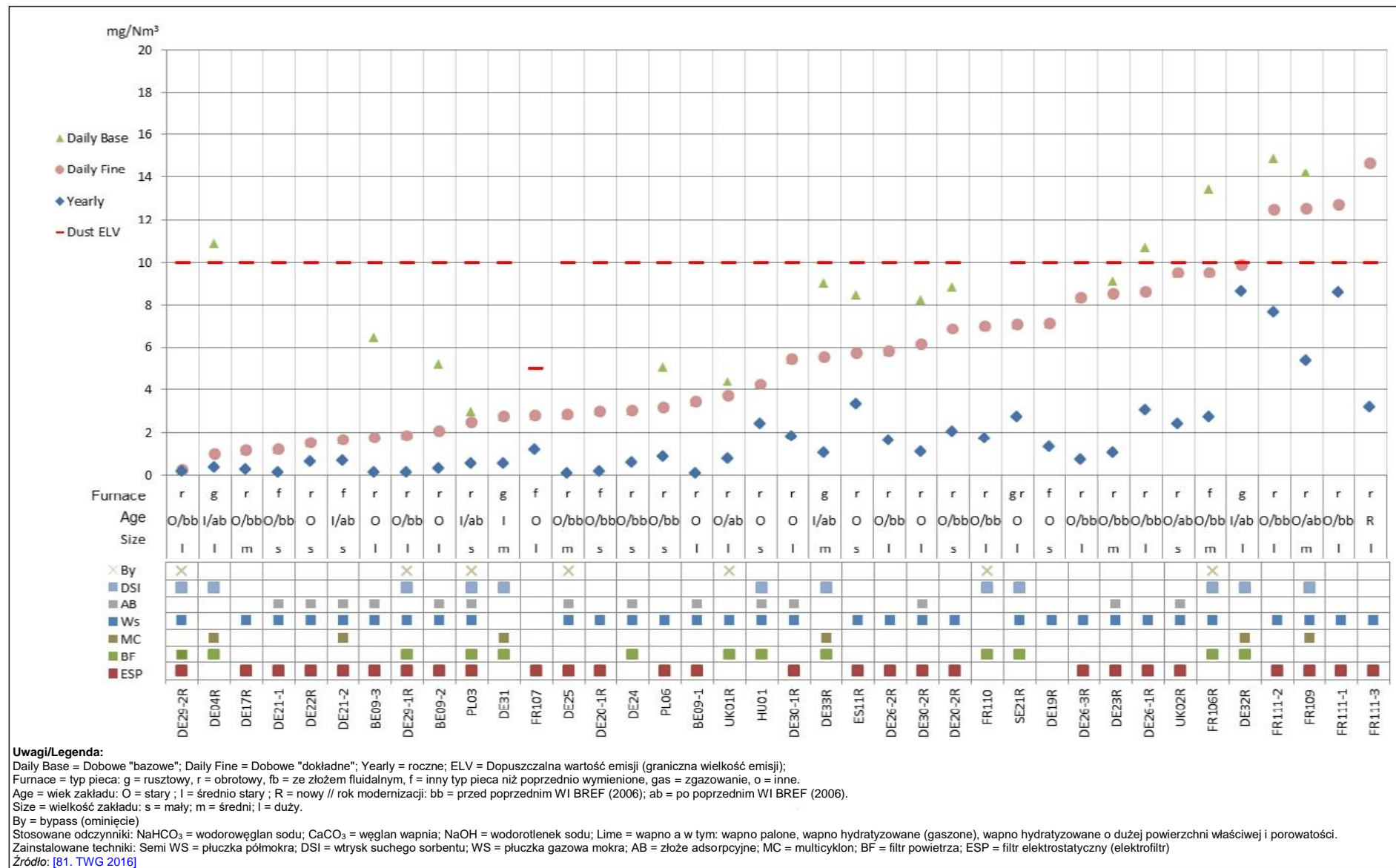
By = bypass (ominięcie)

Stosowane odczynniki: NaHCO₃ = wodorowęglan sodu; CaCO₃ = węglan wapnia; NaOH = wodorotlenek sodu; Lime = wapno a w tym: wapno palone, wapno hydratyzowane (gaszone), wapno hydratyzowane o dużej powierzchni właściwej i porowatości.

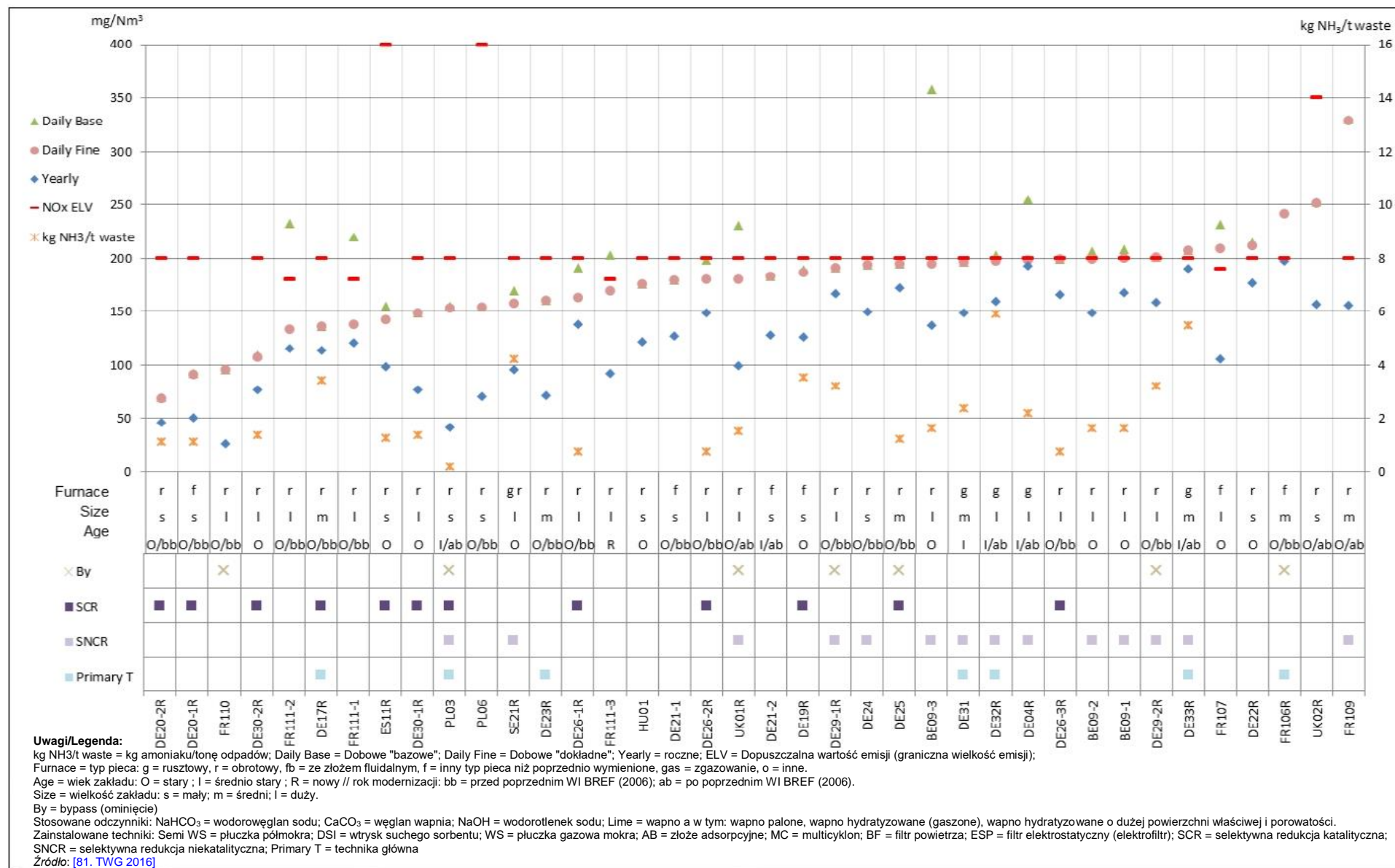
Zainstalowane techniki: Semi WS = płuczka półmokra; DSI = wtrysk suchego sorbentu; WS = płuczka gazowa mokra.

Źródło: [81. TWG 2016]

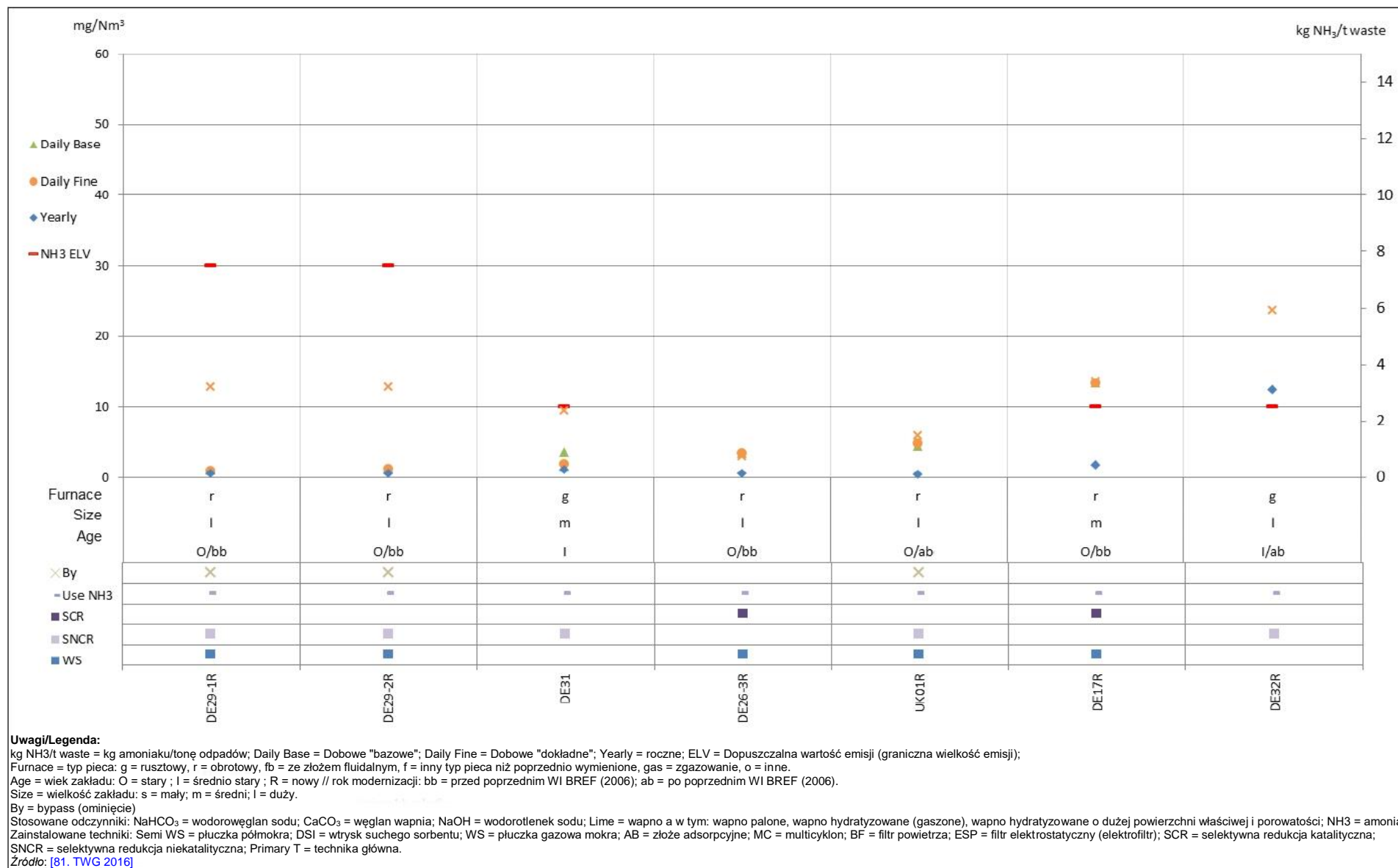
Ilustracja 8.45 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji SO₂ do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie HW.



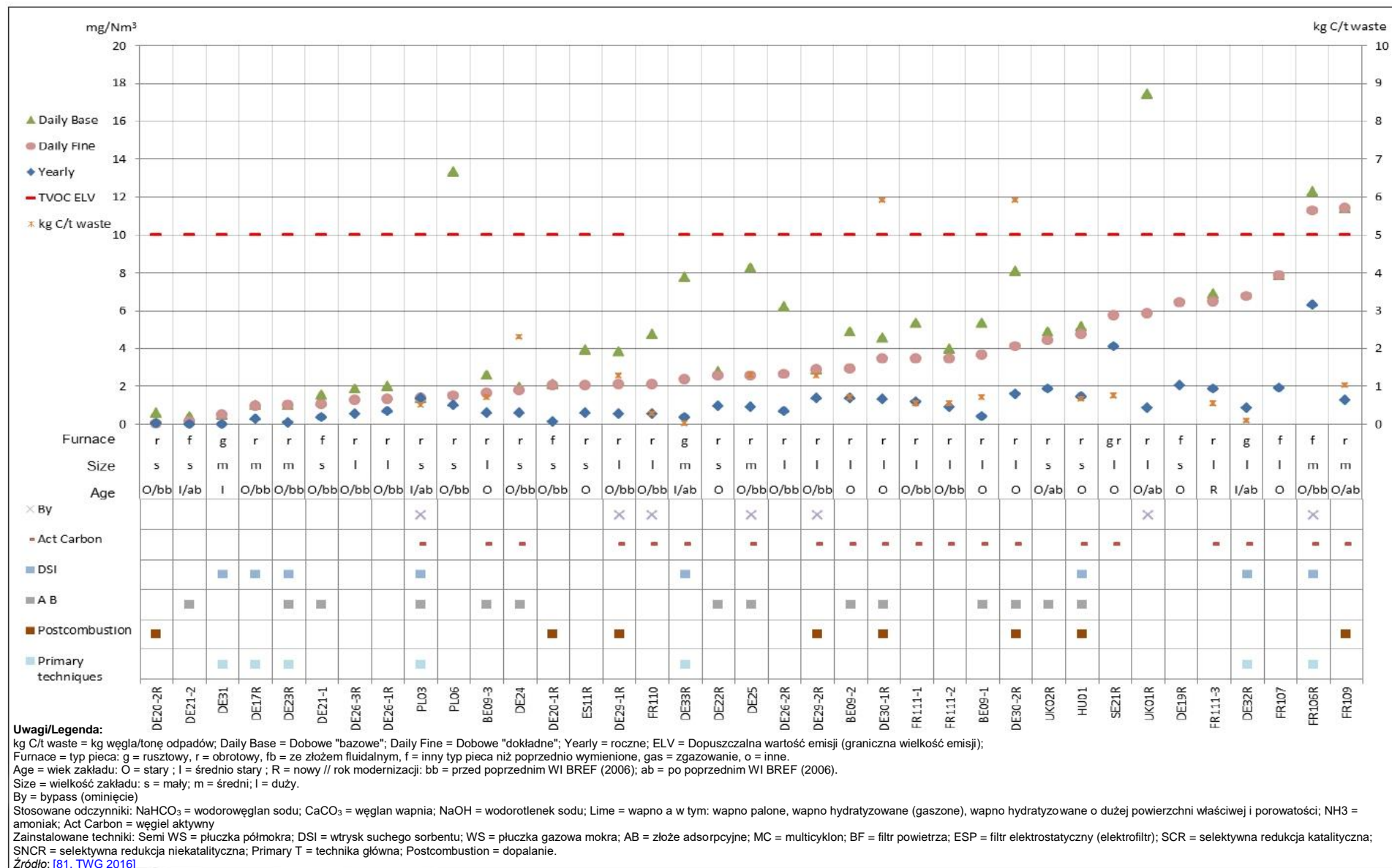
Ilustracja 8.46 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji pyłu do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie HW.



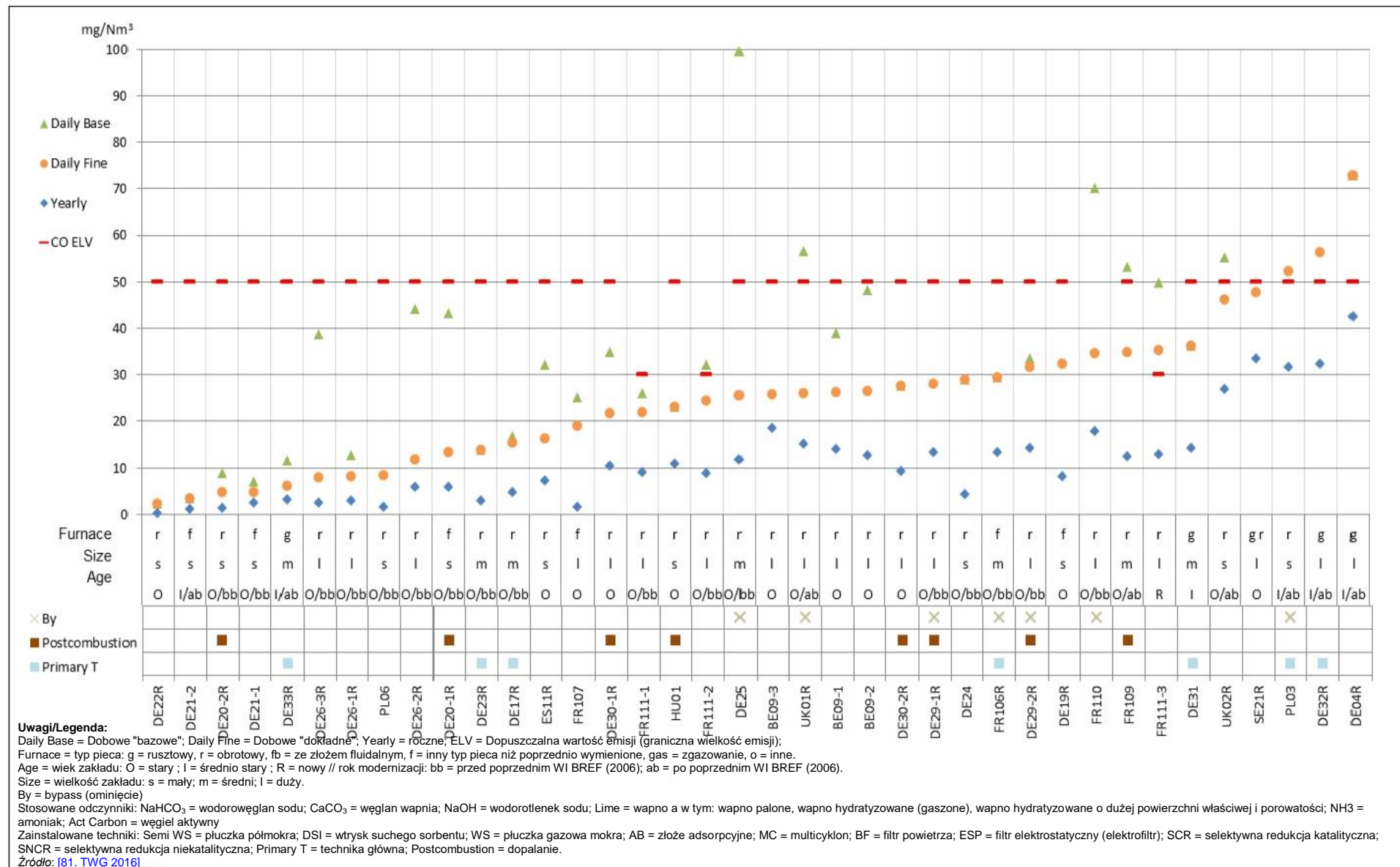
Ilustracja 8.47 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji NO_x do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie HW.



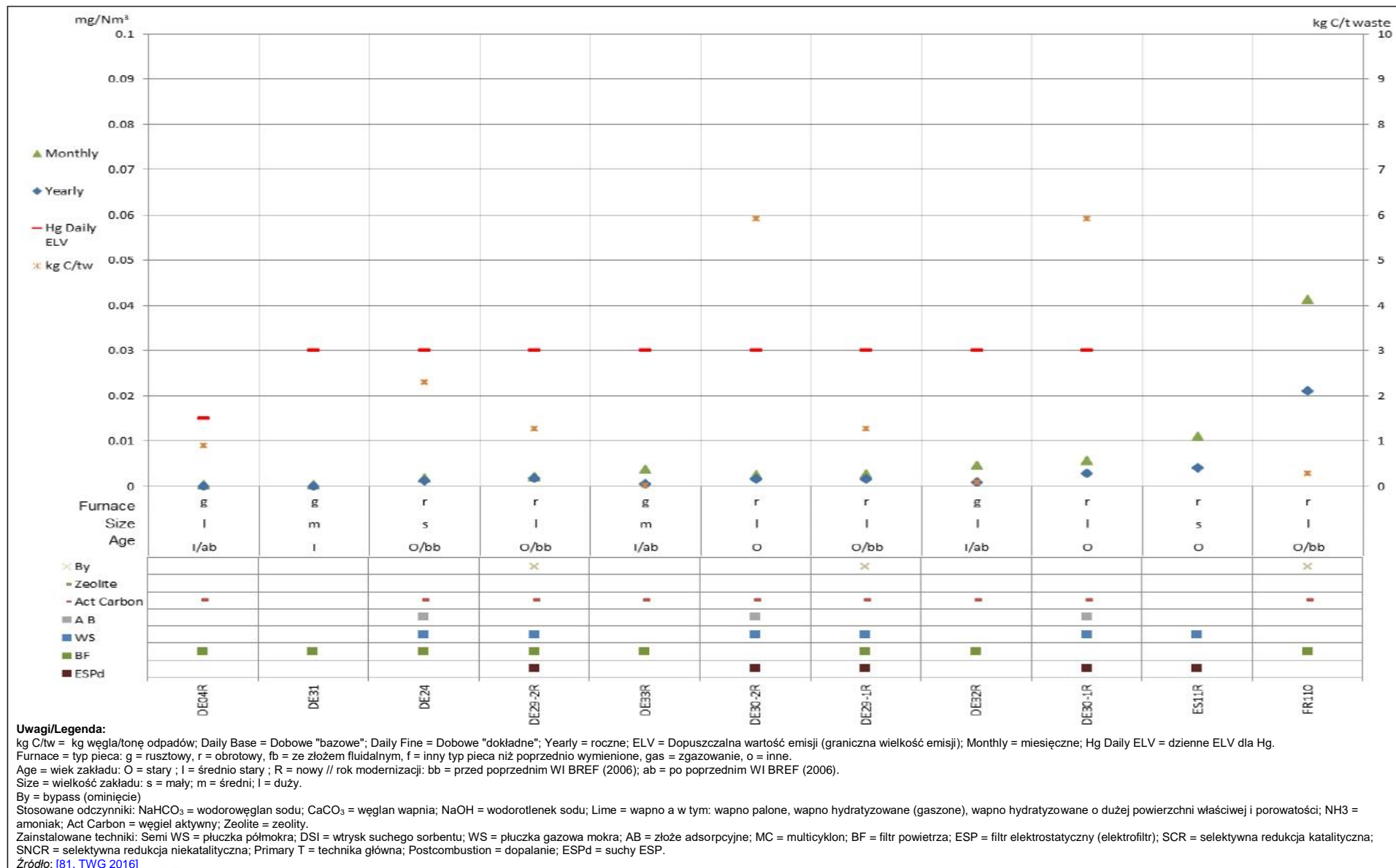
Ilustracja 8.48 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji NH₃ do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie HW.



Ilustracja 8.49 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji TVOC do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie HW.

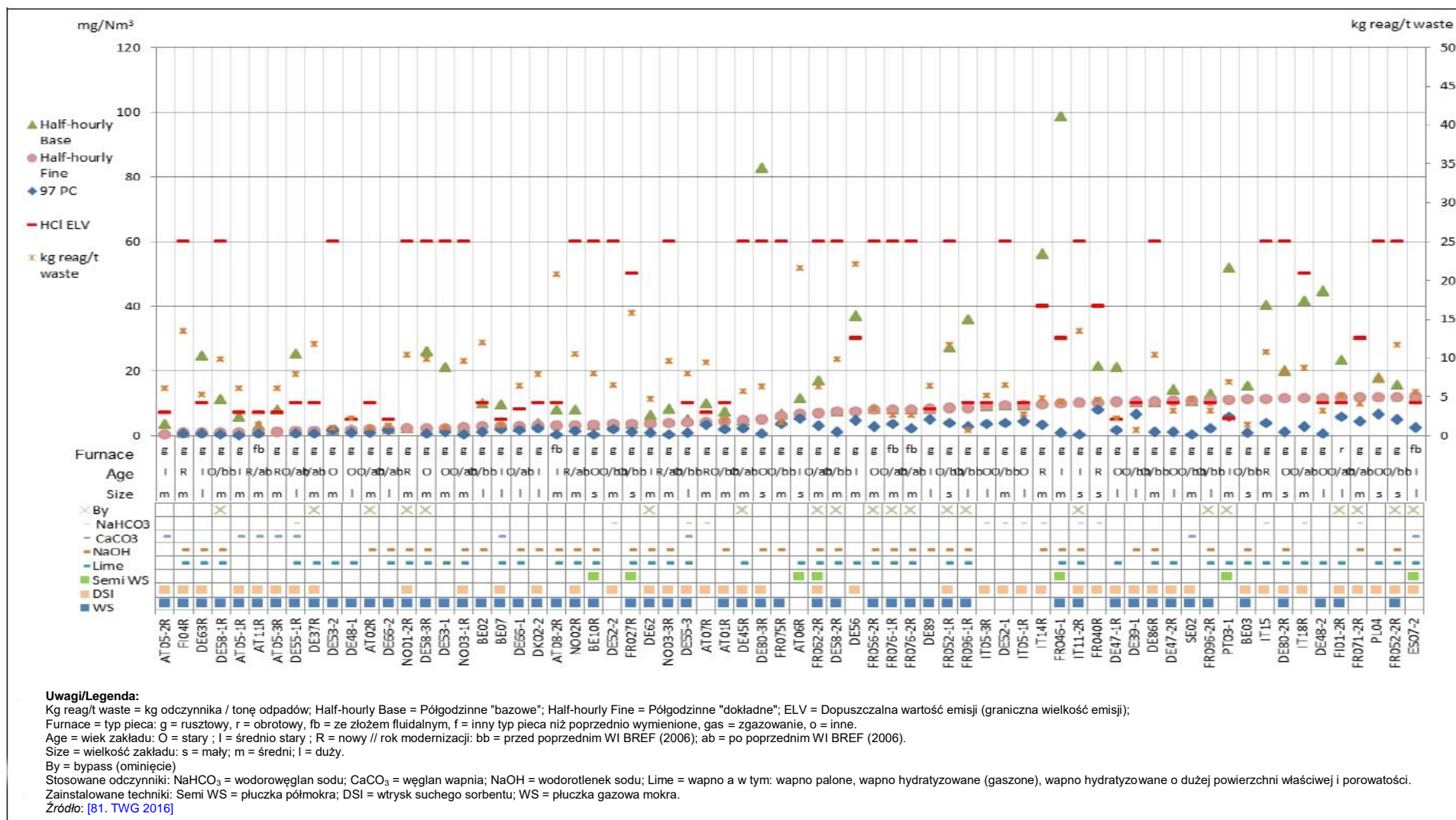


Ilustracja 8.50 Dobowe oraz roczne średnie poziomy emisji CO do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie HW.

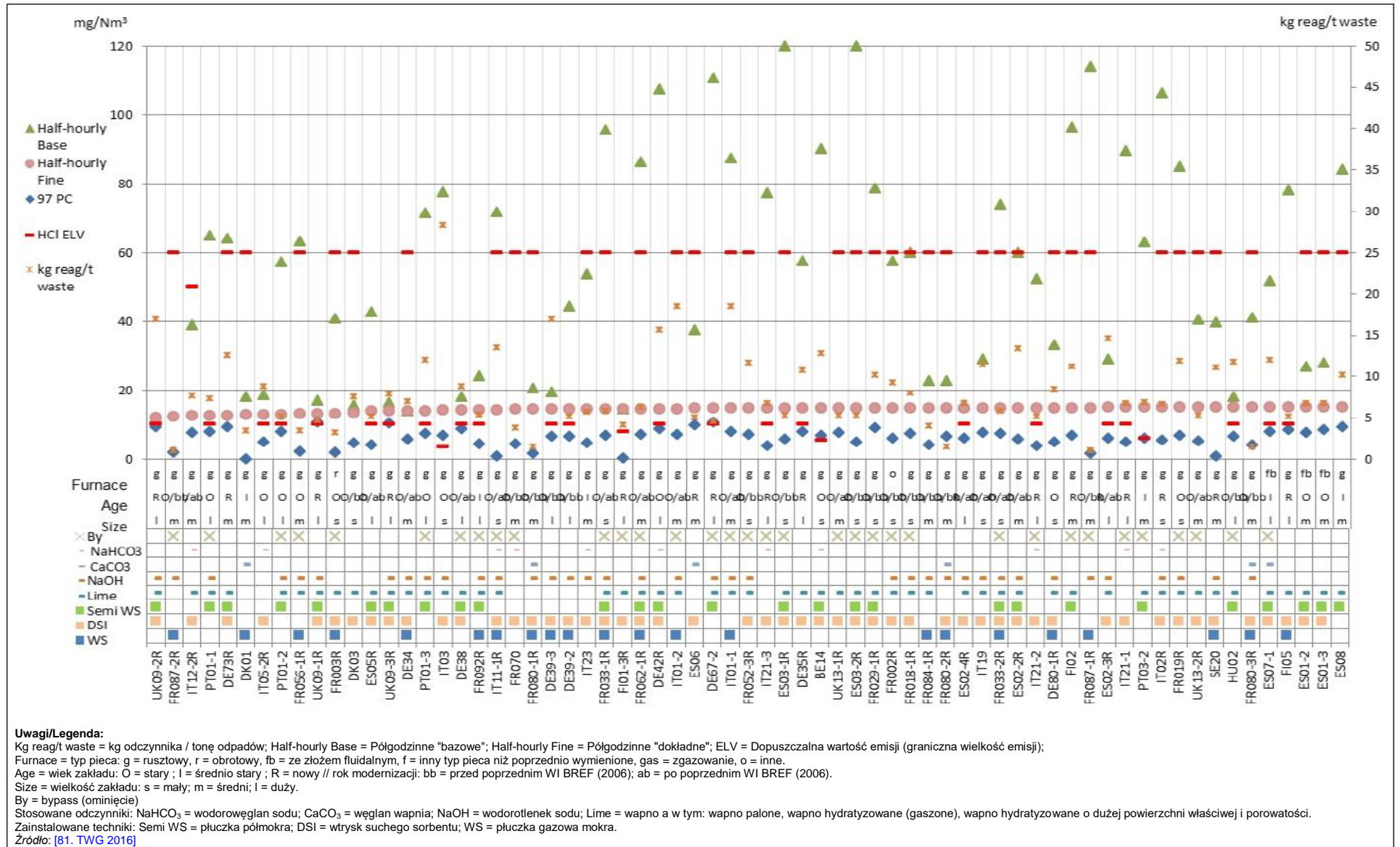


Ilustracja 8.51 Dobbowe oraz roczne średnie poziomy emisji Hg do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie HW.

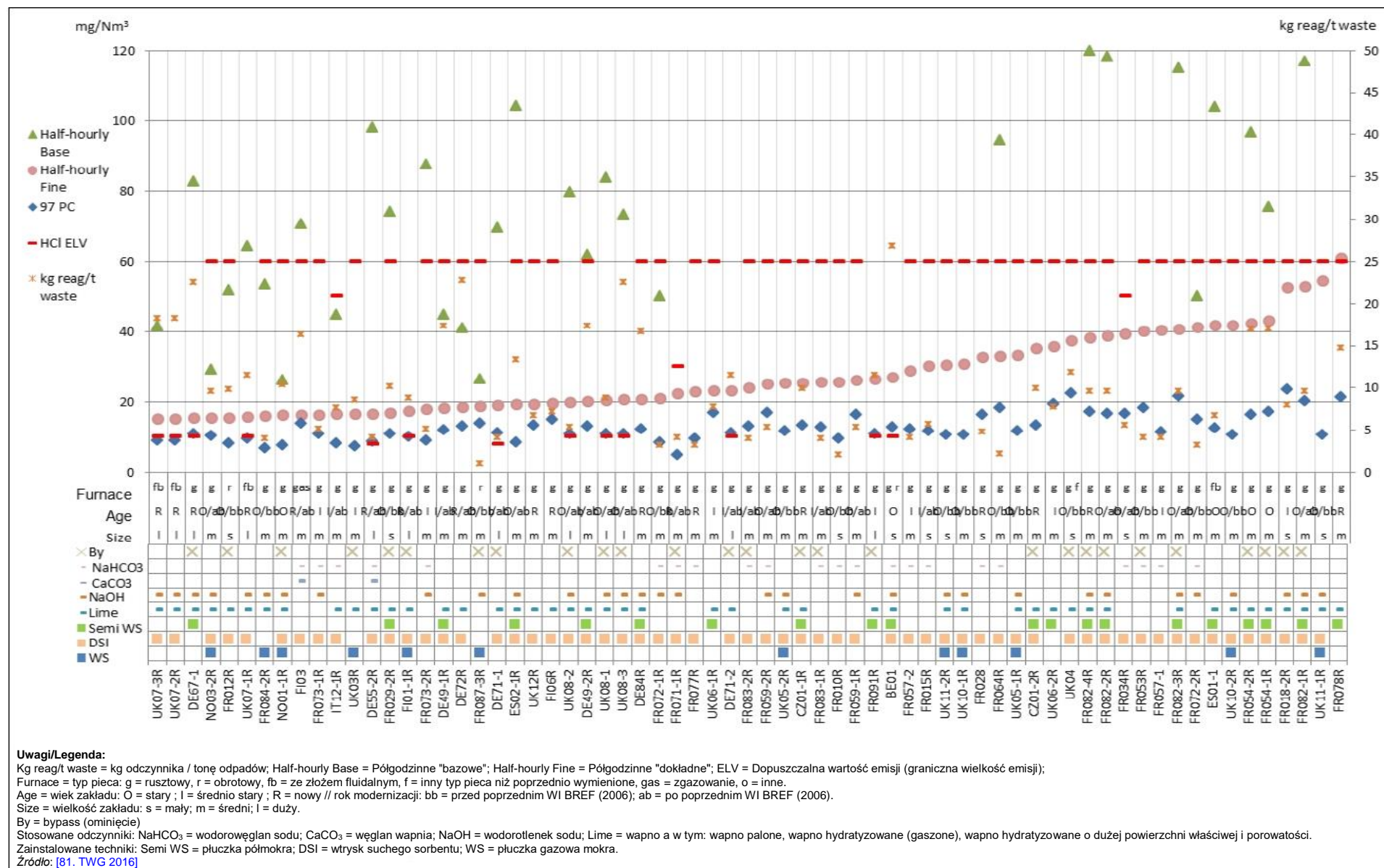
8.7 Półgodzinne oraz miesięczne średnie poziomy emisji osiągnęte przez spalarnie odpadów zgłaszające, w ramach gromadzenia danych za rok 2016, monitoring ciągły - wykresy szczegółowe.



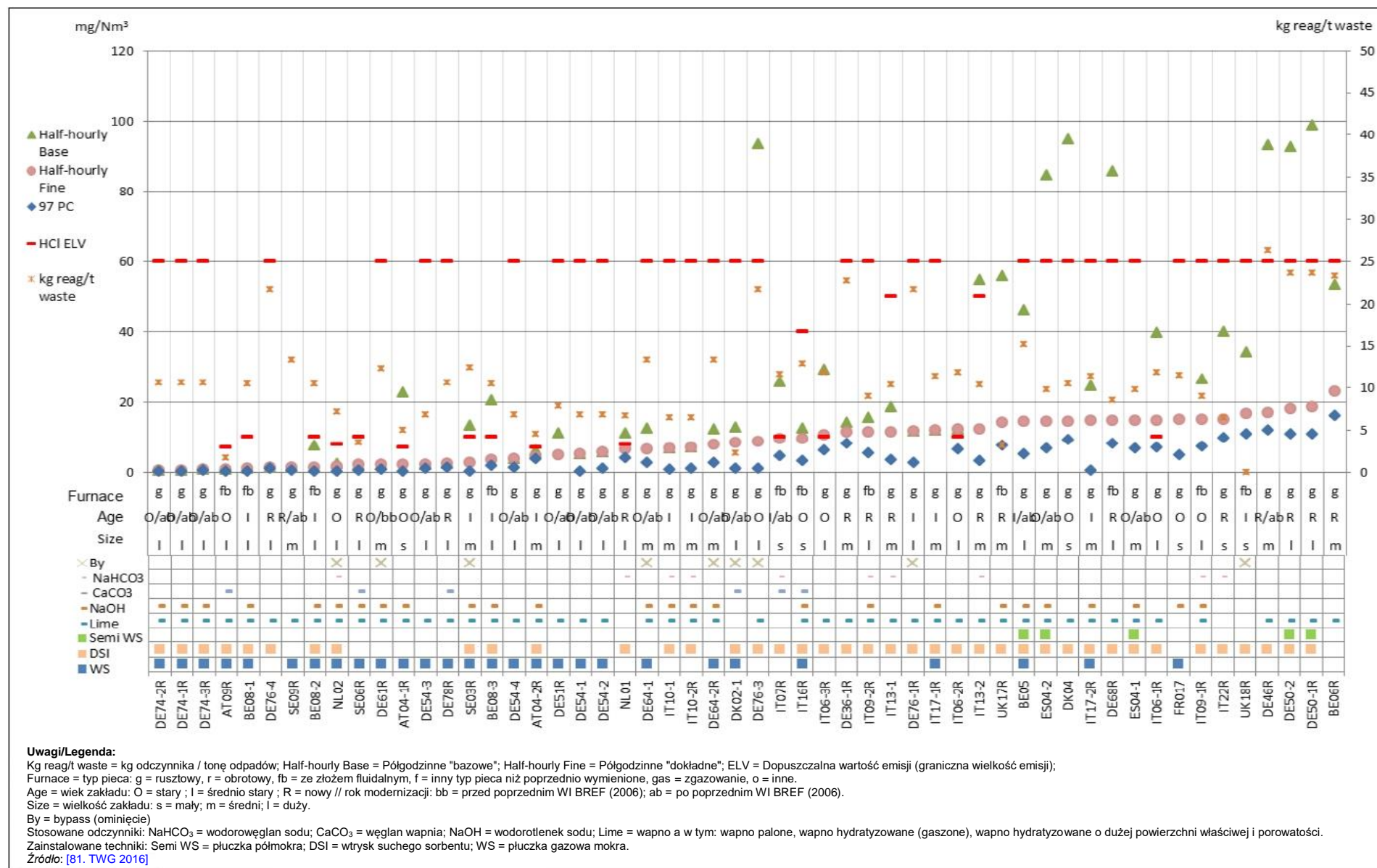
Ilustracja 8.52 Półgodzinne średnie poziomy emisji HCl do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie stale odpady komunalne MSW (1/3).



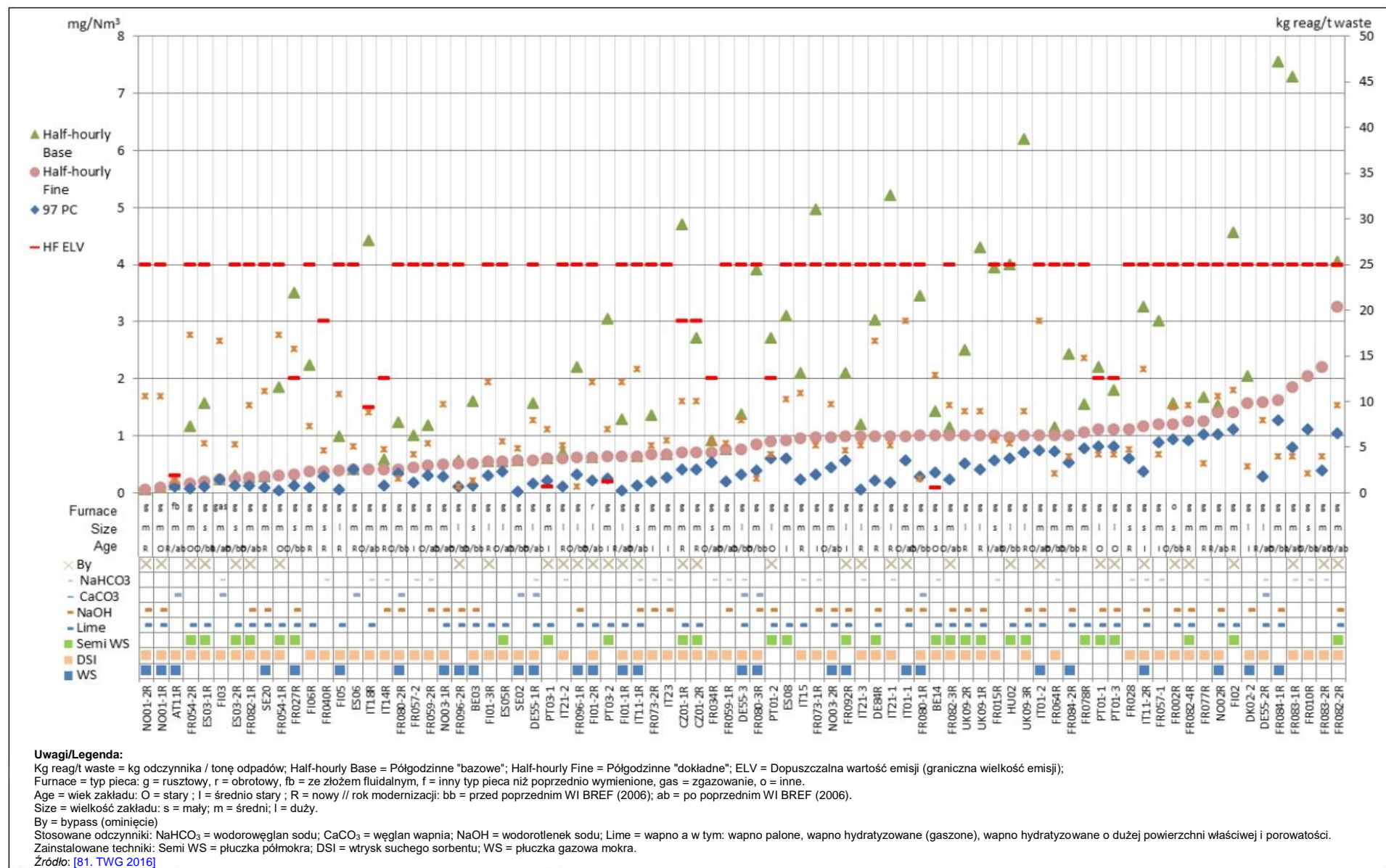
Ilustracja 8.53 Półgodzinne średnie poziomy emisji HCl do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (2/3).



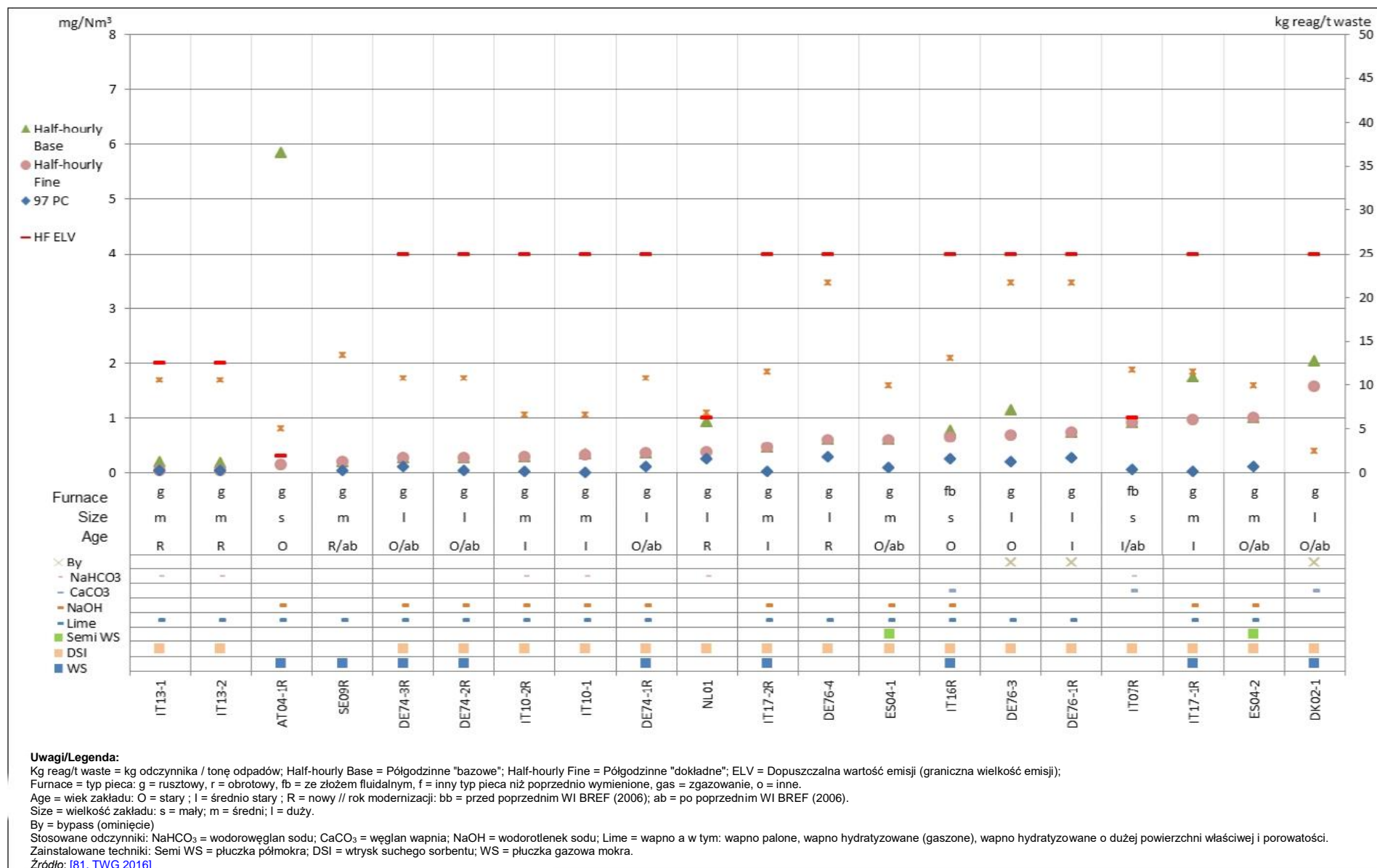
Ilustracja 8.54 Półgodzinne średnie poziomy emisji HCl do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (3/3).



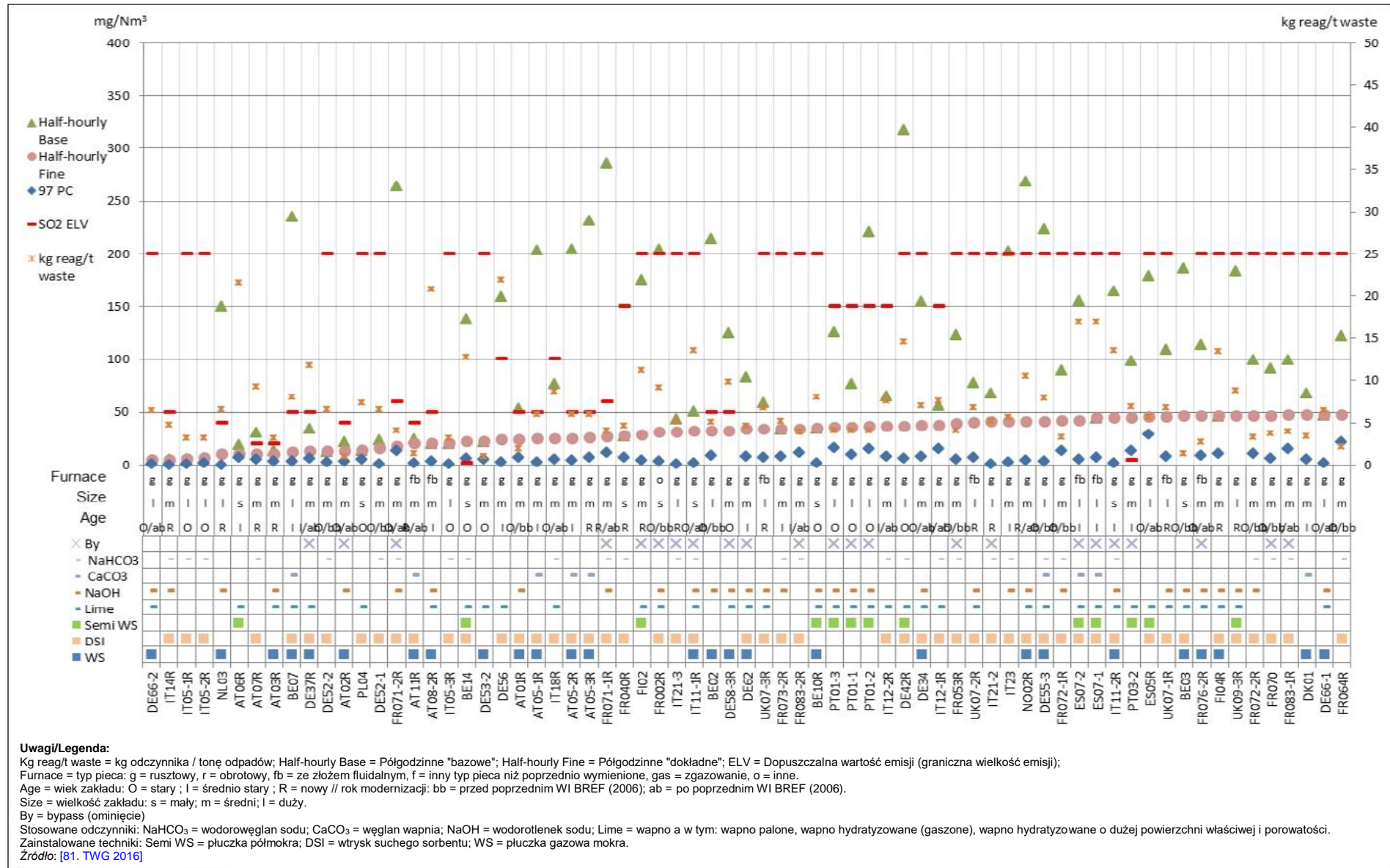
Ilustracja 8.55 Półgodzinne średnie poziomy emisji HCl do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie odpady inne niż niebezpieczne ONHW.



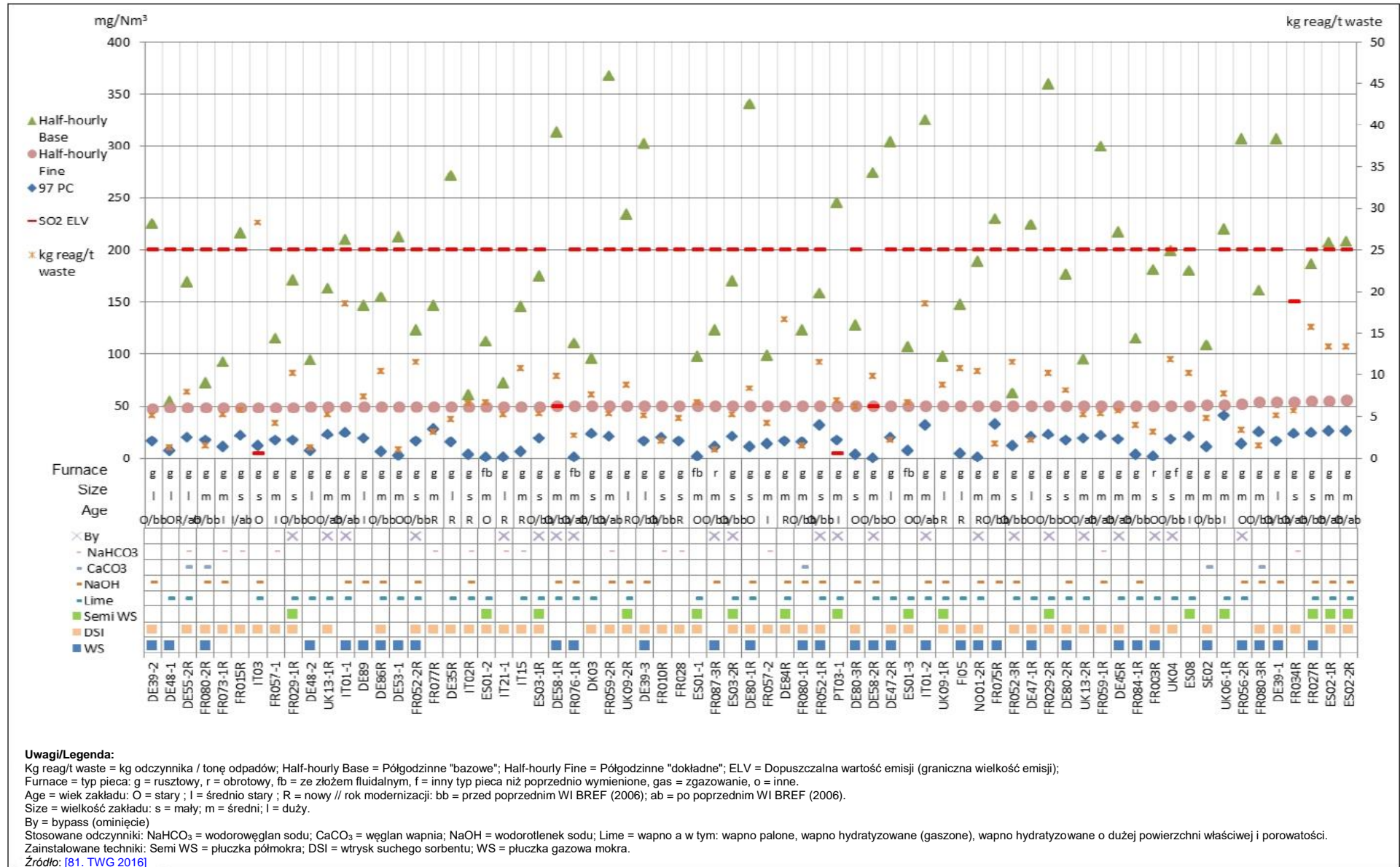
Ilustracja 8.56 Półgodzinne średnie poziomy emisji HF do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW.



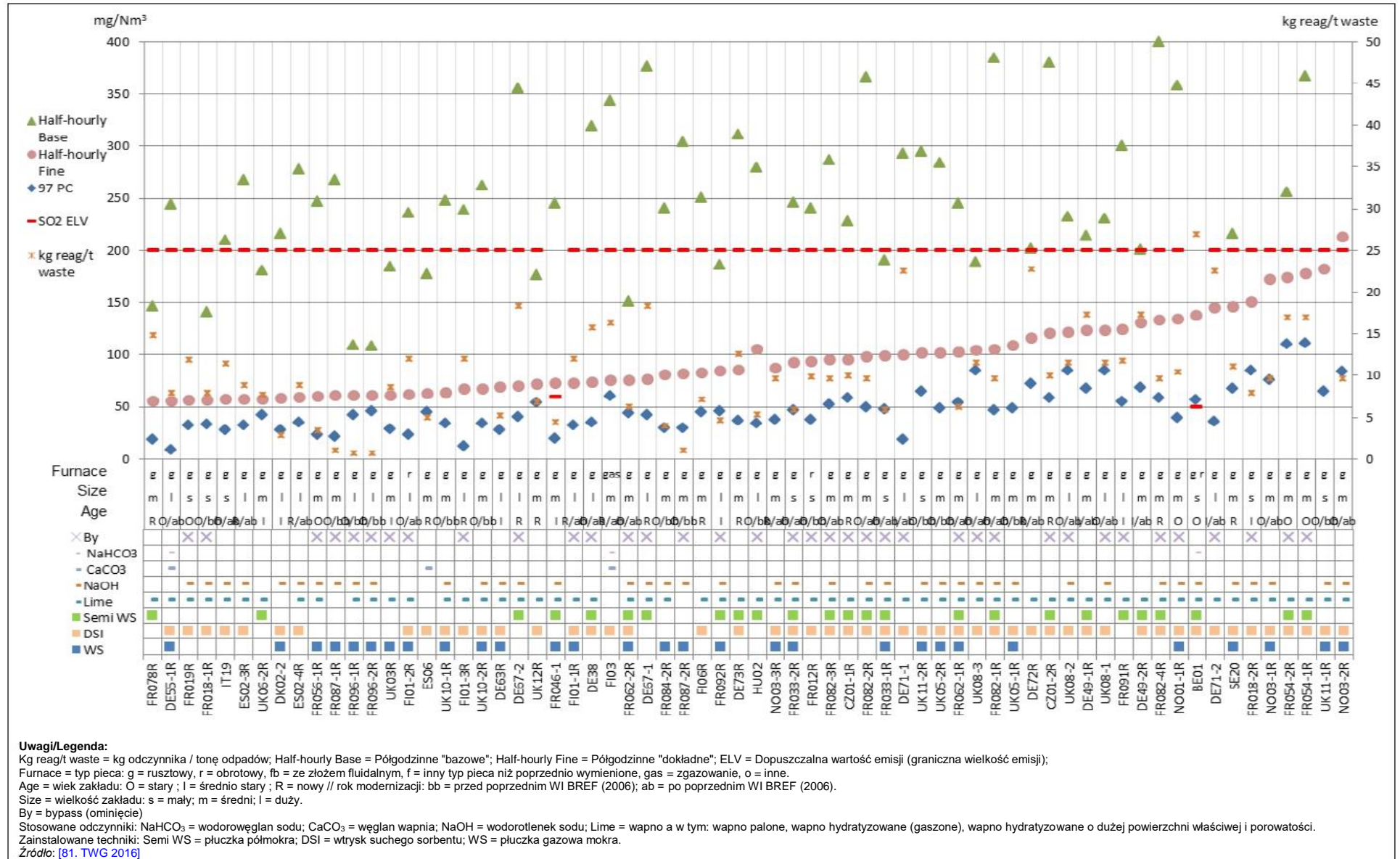
Ilustracja 8.57 Półgodzinne średnie poziomy emisji HF do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające główne ONHW.



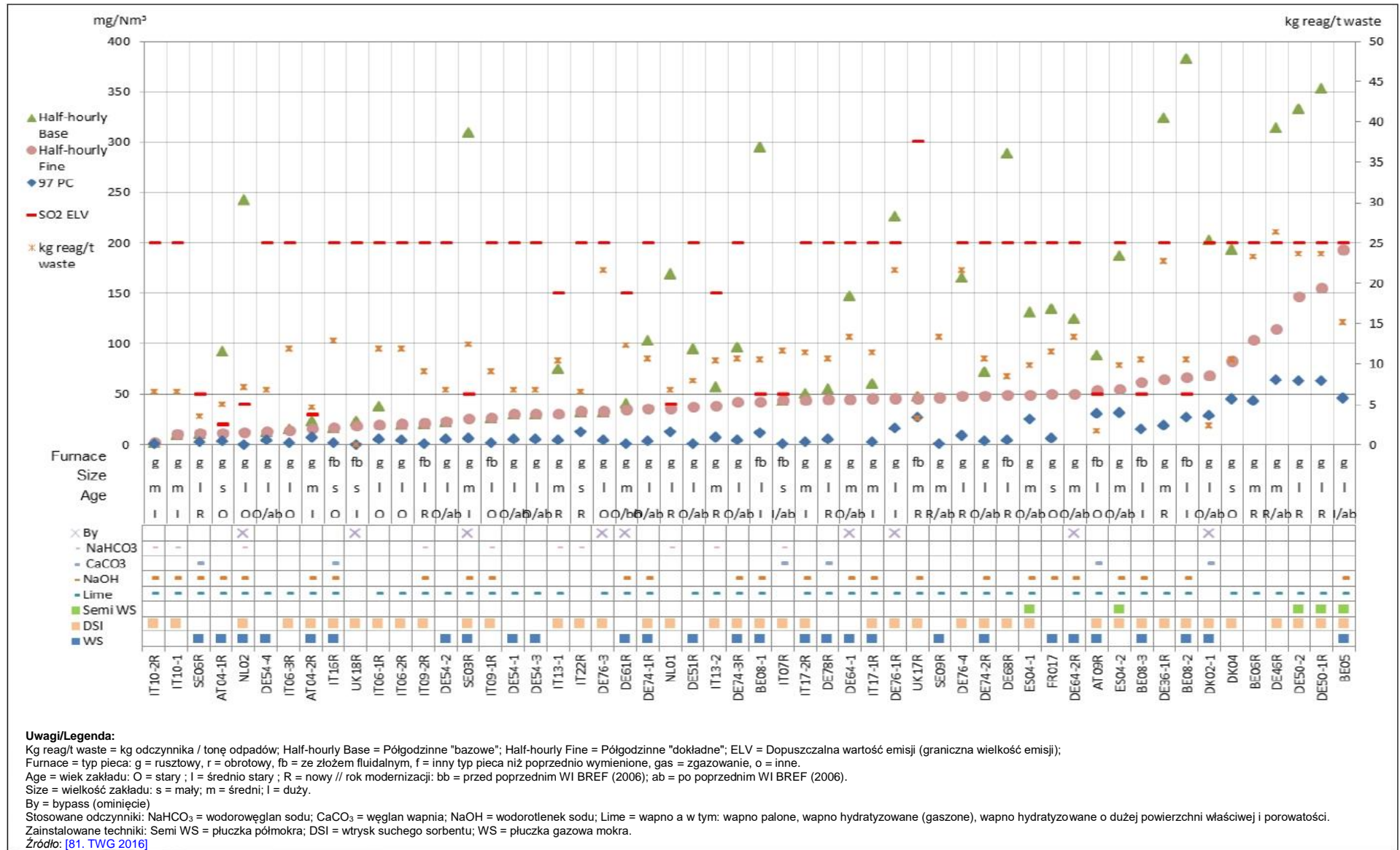
Ilustracja 8.58 Półgodzinne średnie poziomy emisji SO₂ do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające glównie MSW (1/3).



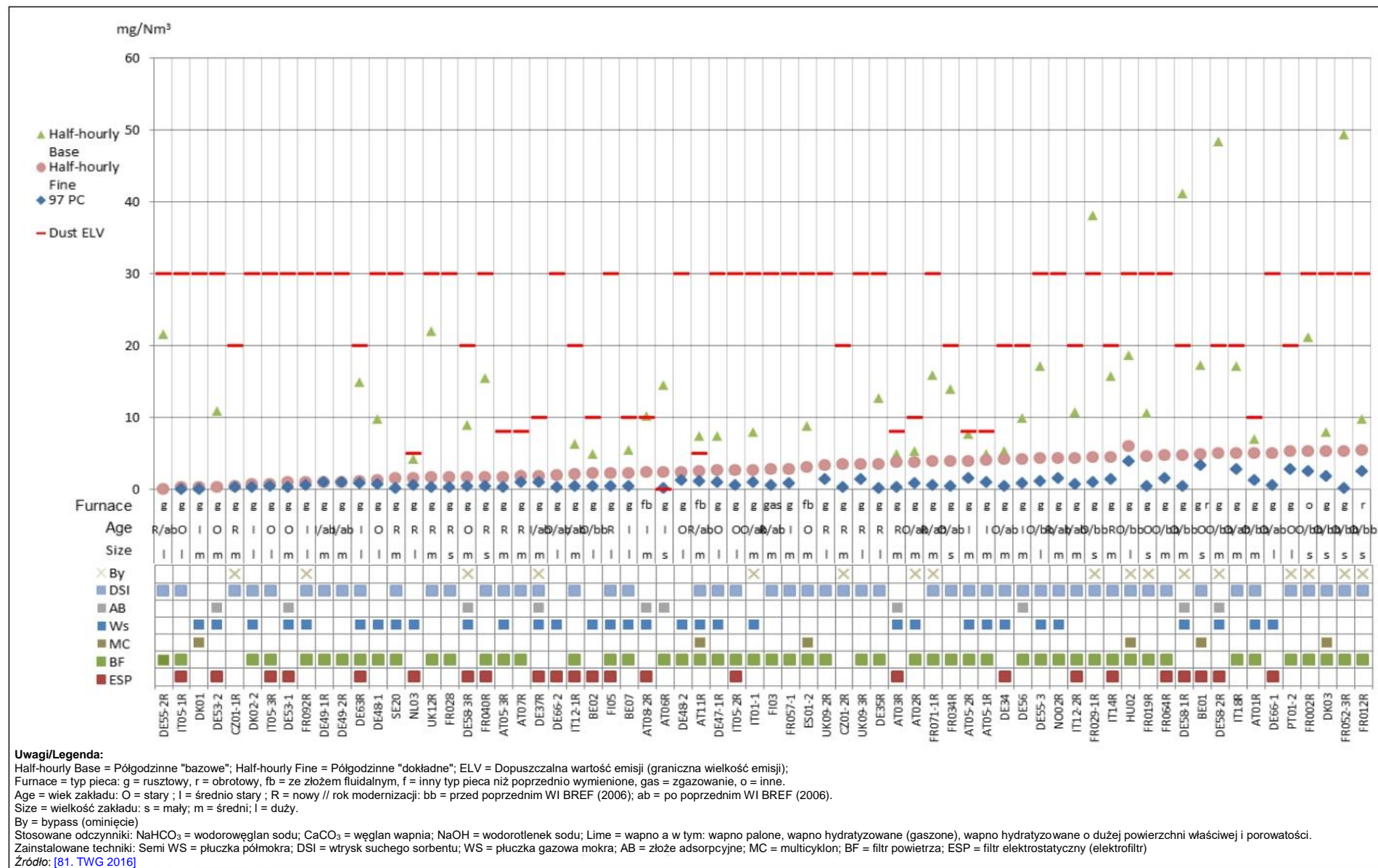
Ilustracja 8.59 Półgodzinne średnie poziomy emisji SO₂ do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (2/3).



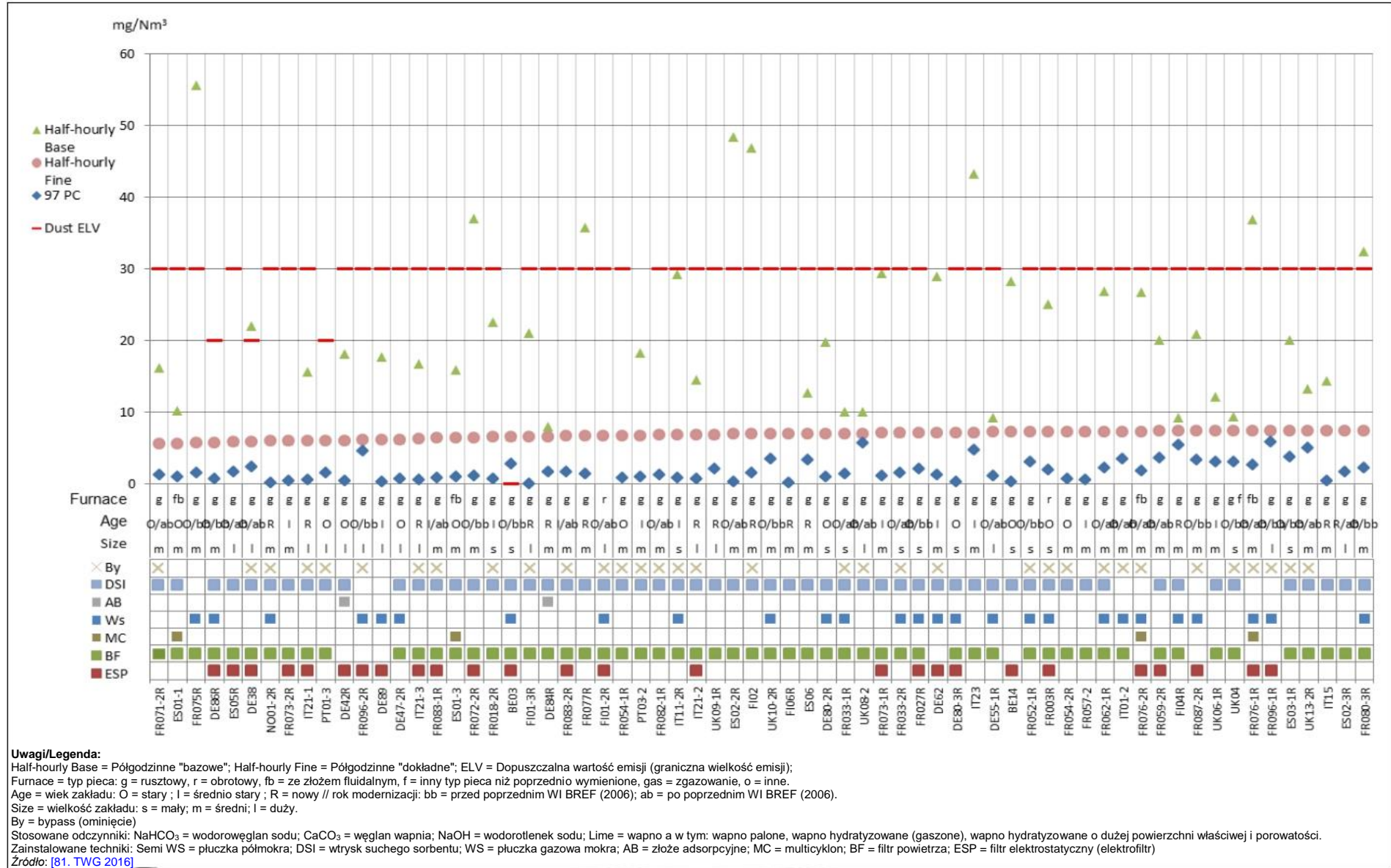
Ilustracja 8.60 Półgodzinne średnie poziomy emisji SO₂ do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (3/3).



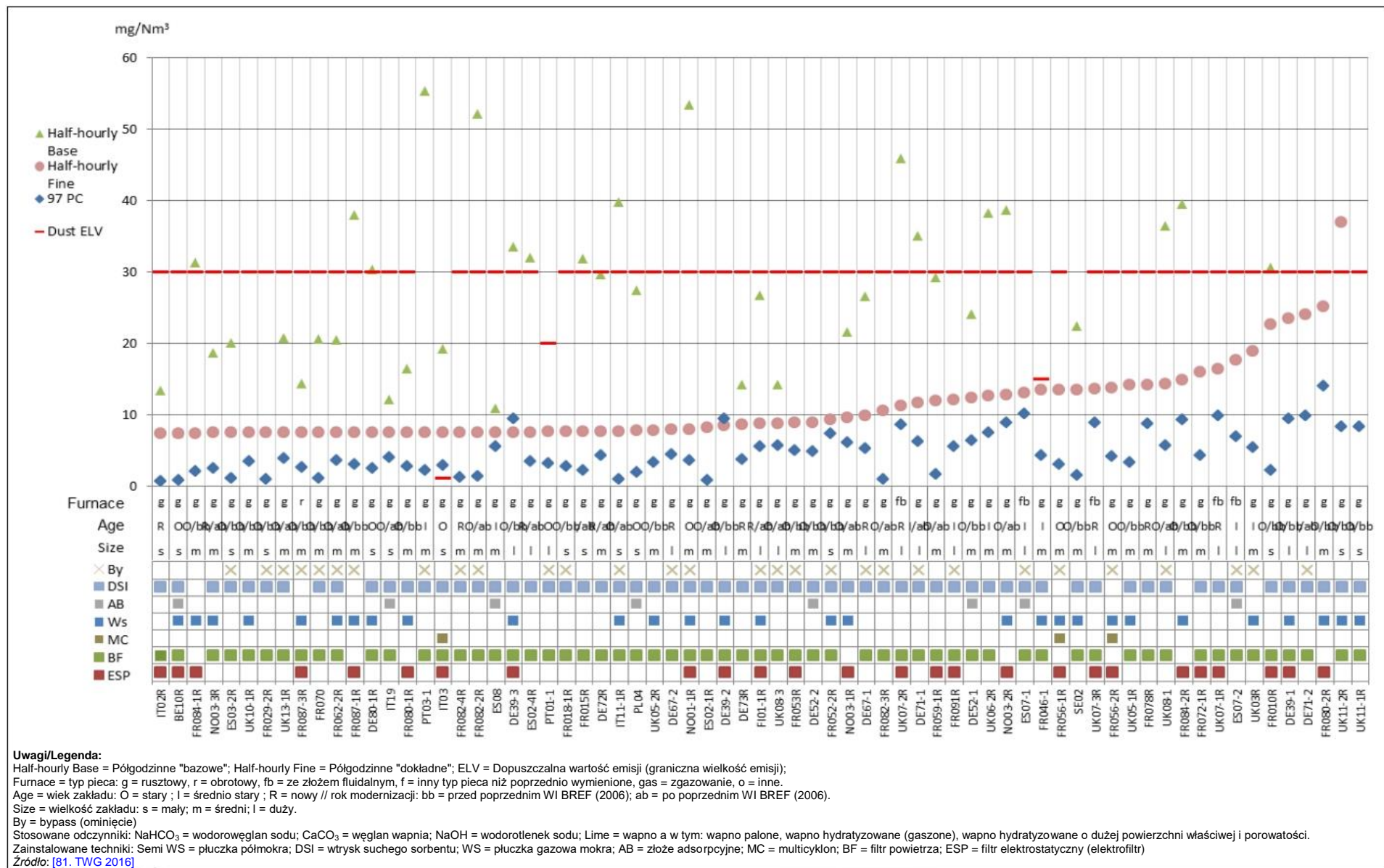
Ilustracja 8.61 Półgodzinne średnie poziomy emisji SO₂ do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające główne ONHW.



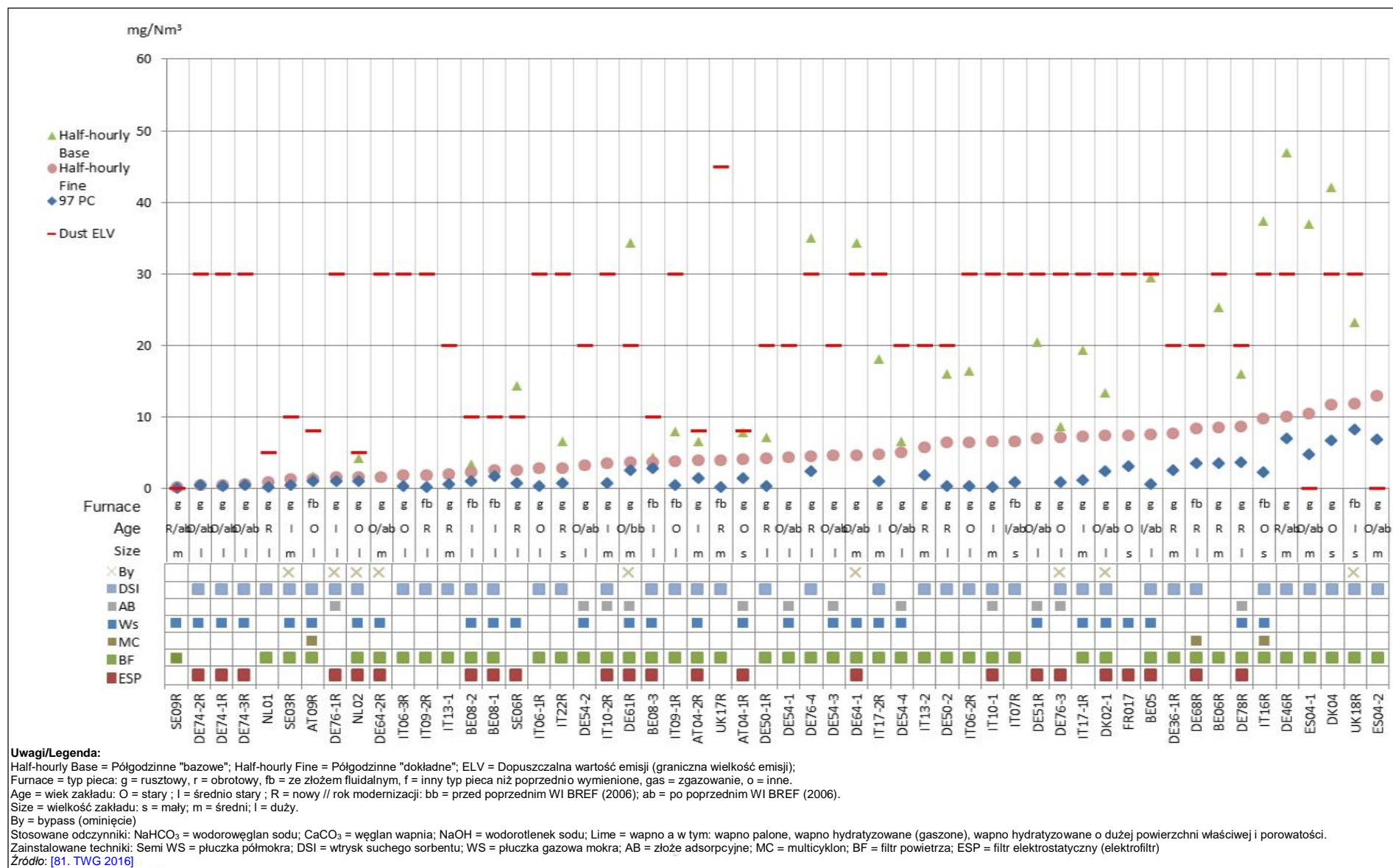
Ilustracja 8.62 Półgodzinne średnie poziomy emisji pyłu do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające główne MSW (1/3).



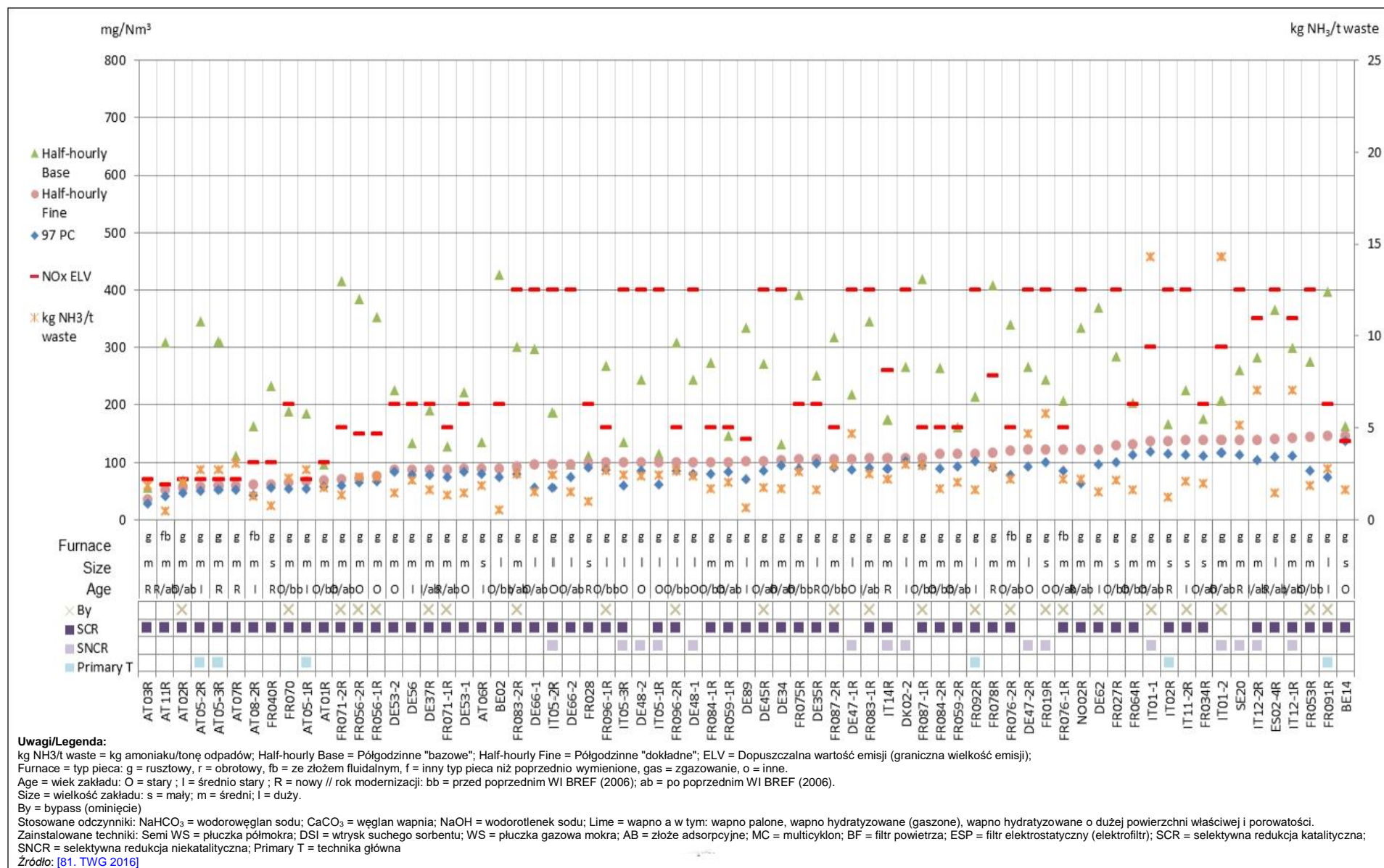
Ilustracja 8.63 Półgodzinne średnie poziomy emisji pyłu do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (2/3).



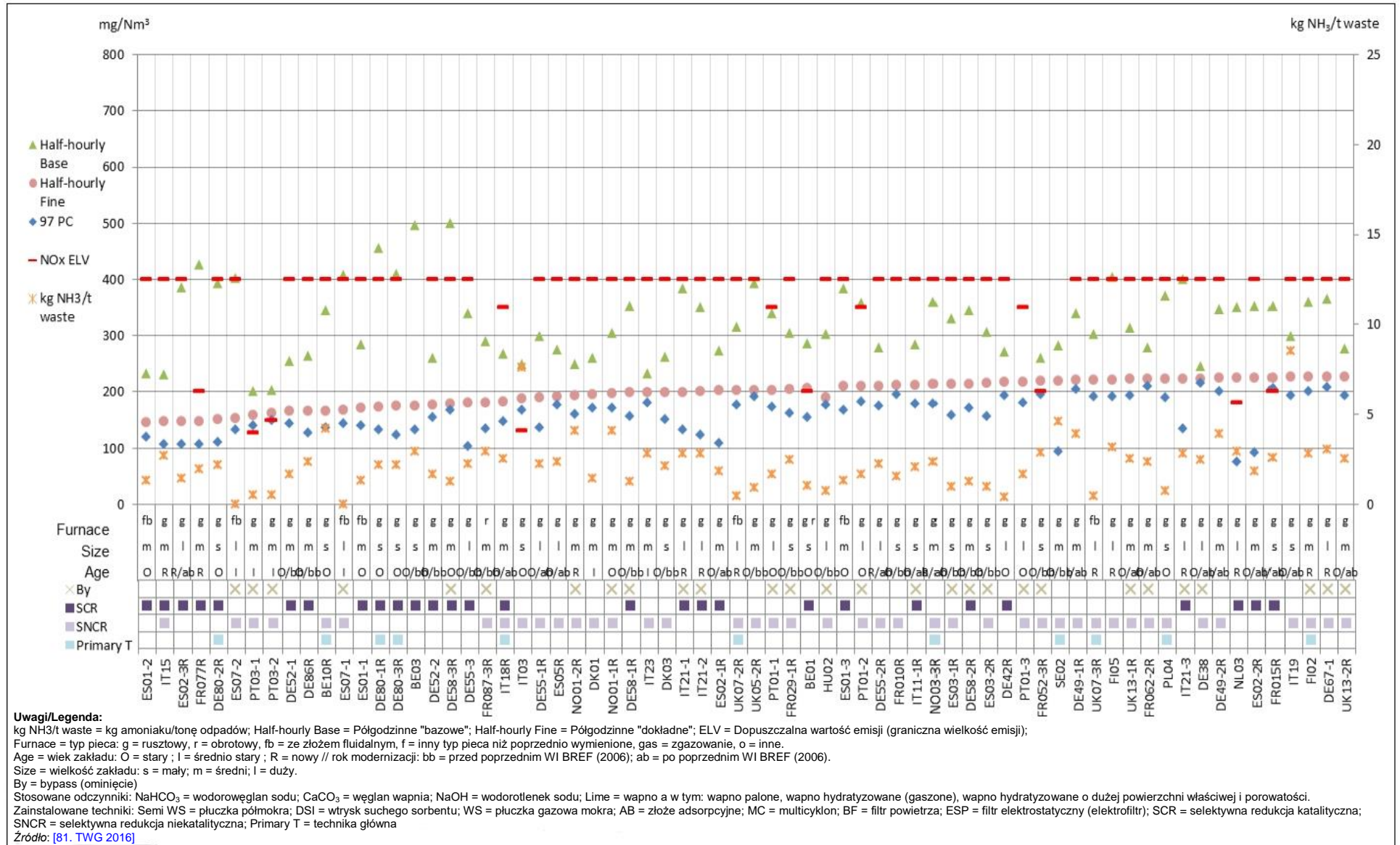
Ilustracja 8.64 Półgodzinne średnie poziomy emisji pyłu do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające główne MSW (3/3).



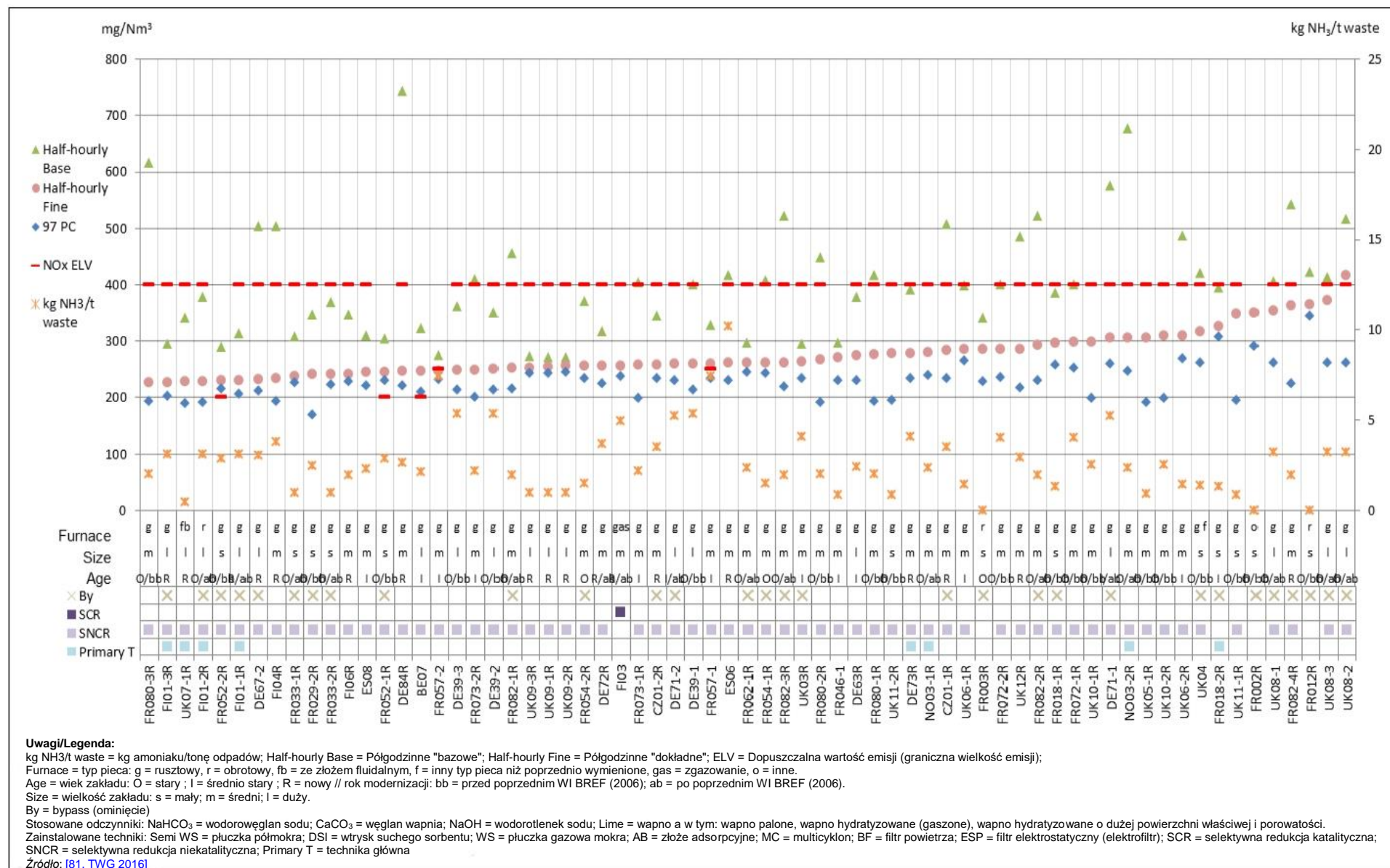
Ilustracja 8.65 Półgodzinne średnie poziomy emisji pyłu do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie ONHW.



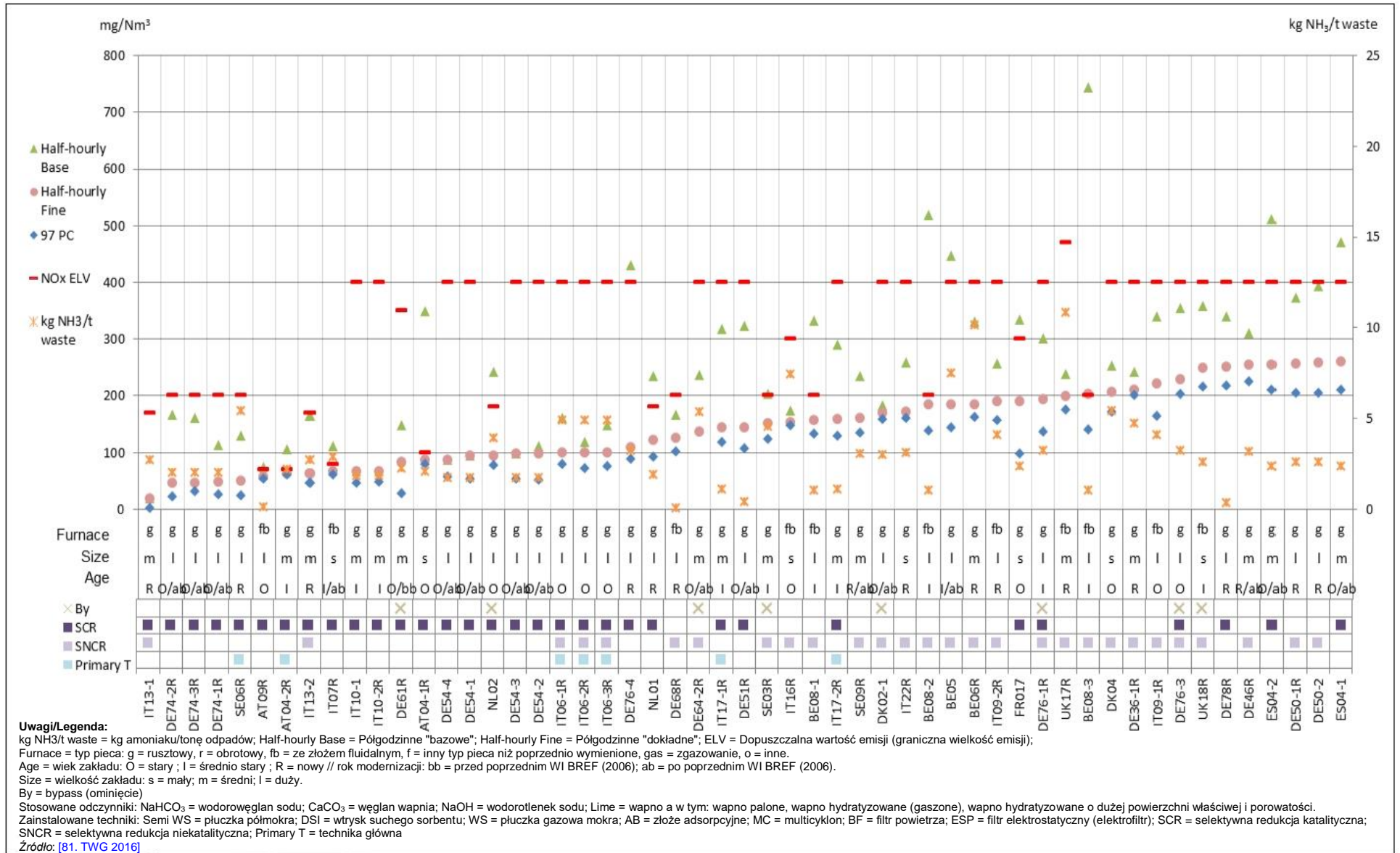
Ilustracja 8.66 Półgodzinne średnie poziomy emisji NO_x do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające główne MSW (1/3).



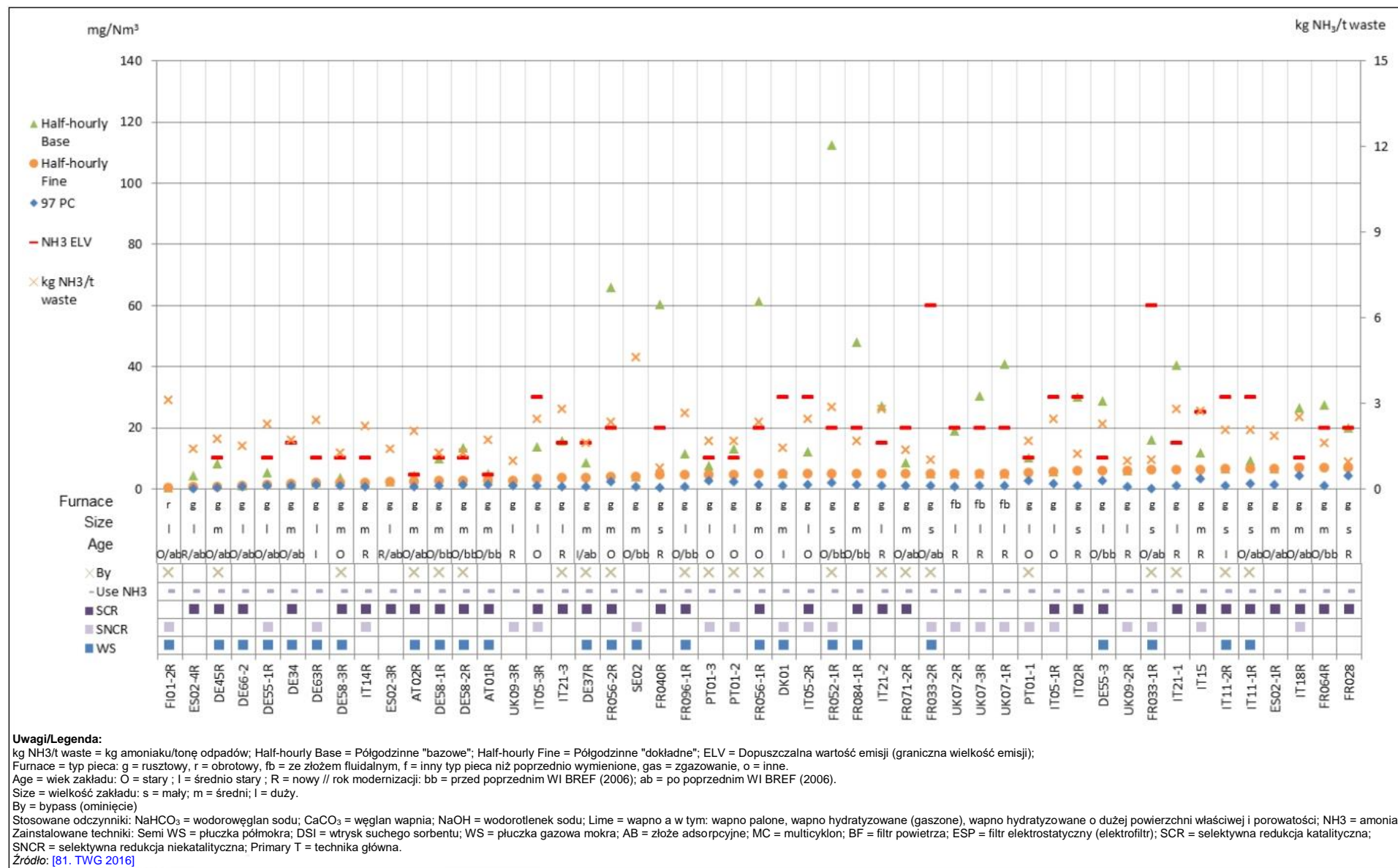
Ilustracja 8.67 Półgodzinne średnie poziomy emisji NO_x do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające główne MSW (2/3).



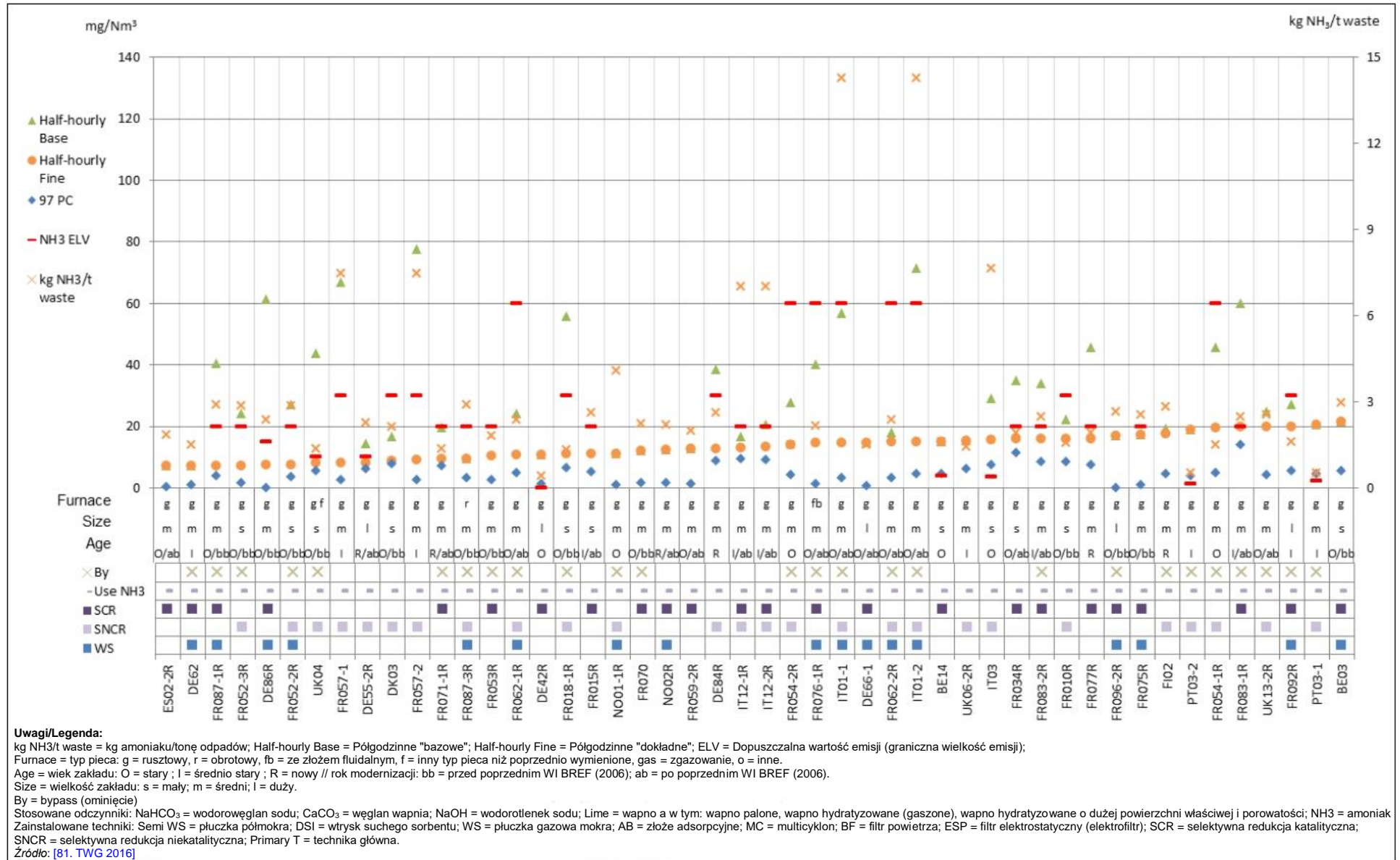
Ilustracja 8.68 Półgodzinne średnie poziomy emisji NO_x do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (3/3).



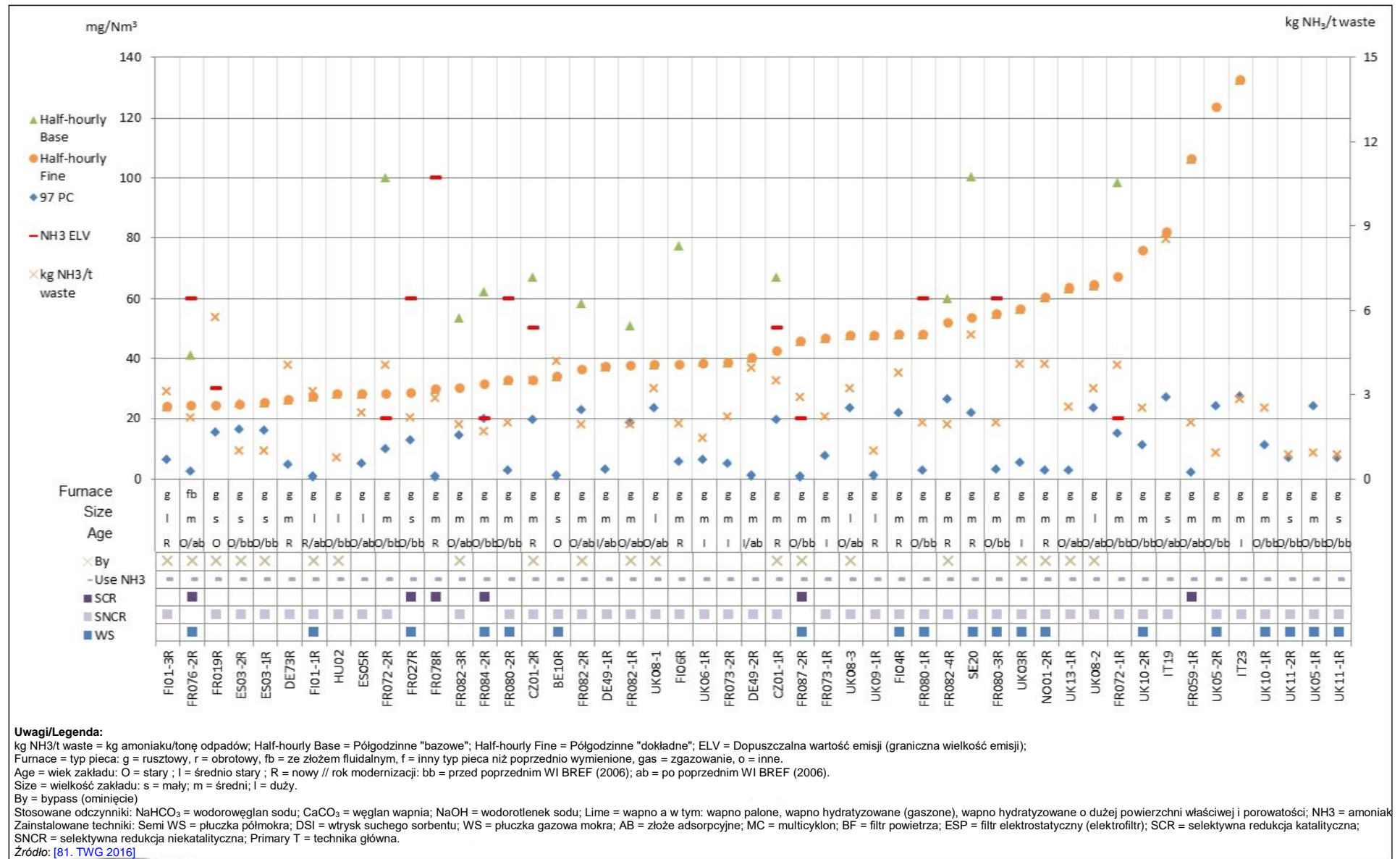
Ilustracja 8.69 Półgodzinne średnie poziomy emisji NO_x do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie ONHW.



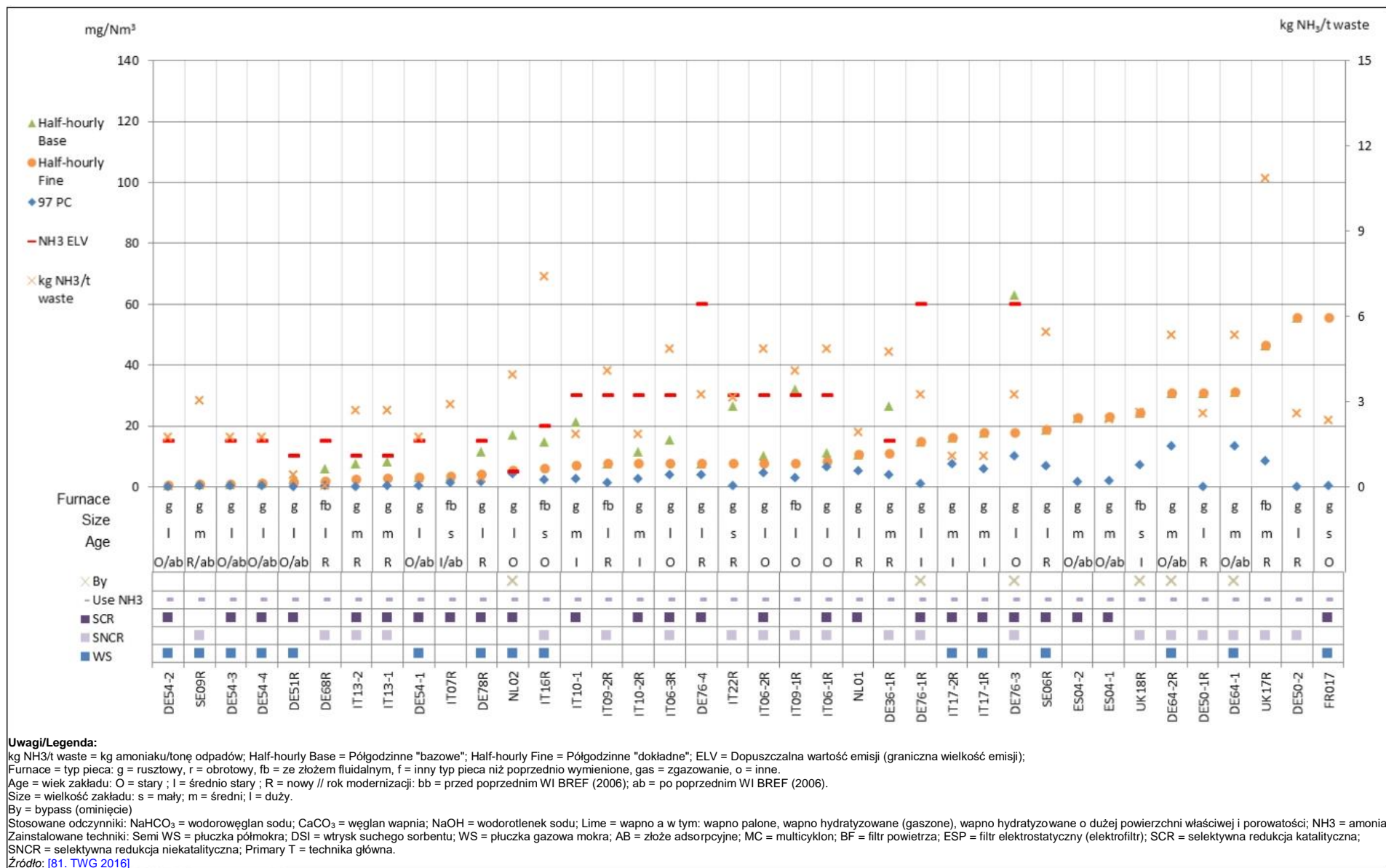
Ilustracja 8.70 Półgodzinne średnie poziomy emisji NH₃ do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające główne MSW (1/3).



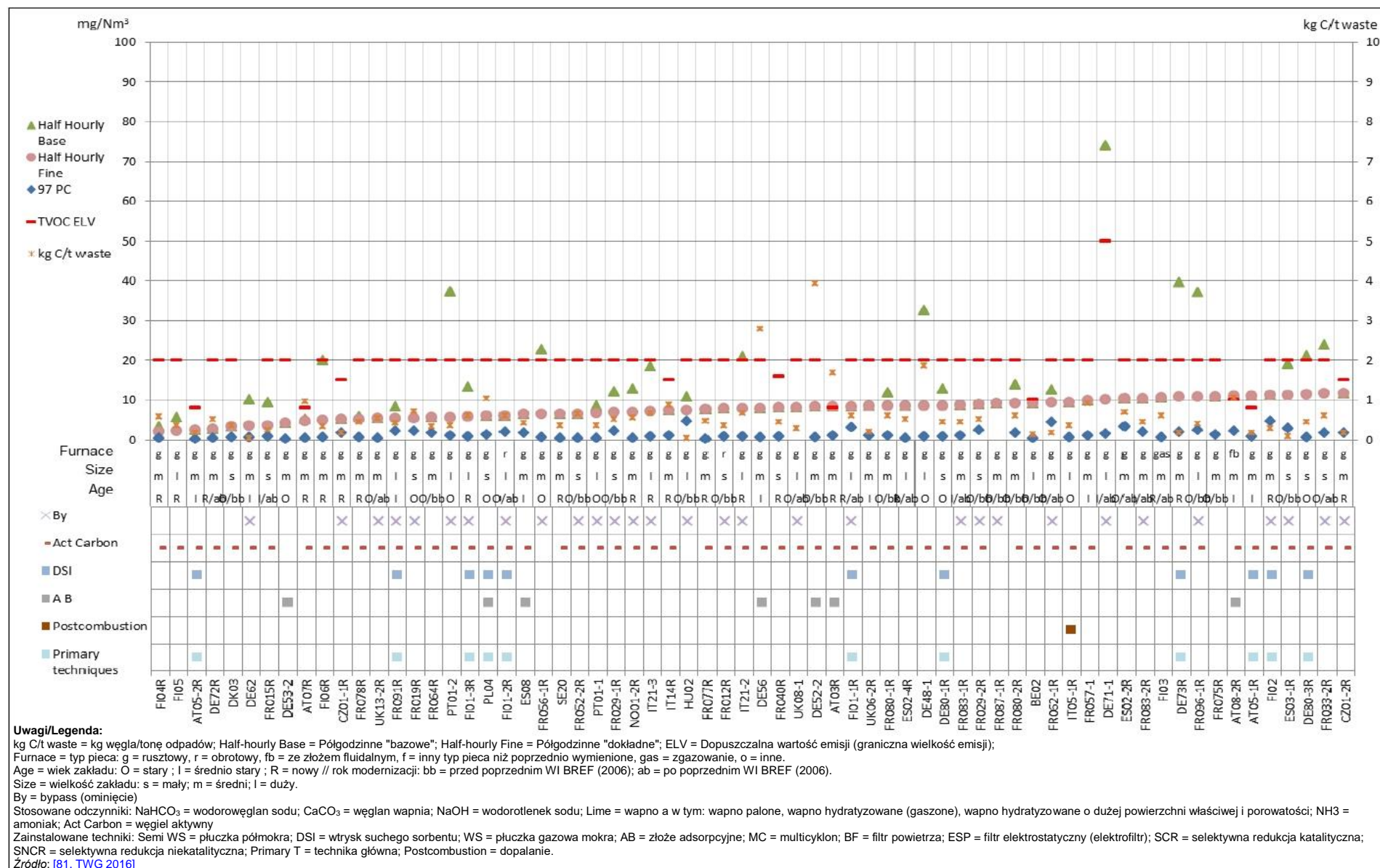
Ilustracja 8.71 Półgodzinne średnie poziomy emisji NH₃ do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające główne MSW (2/3).



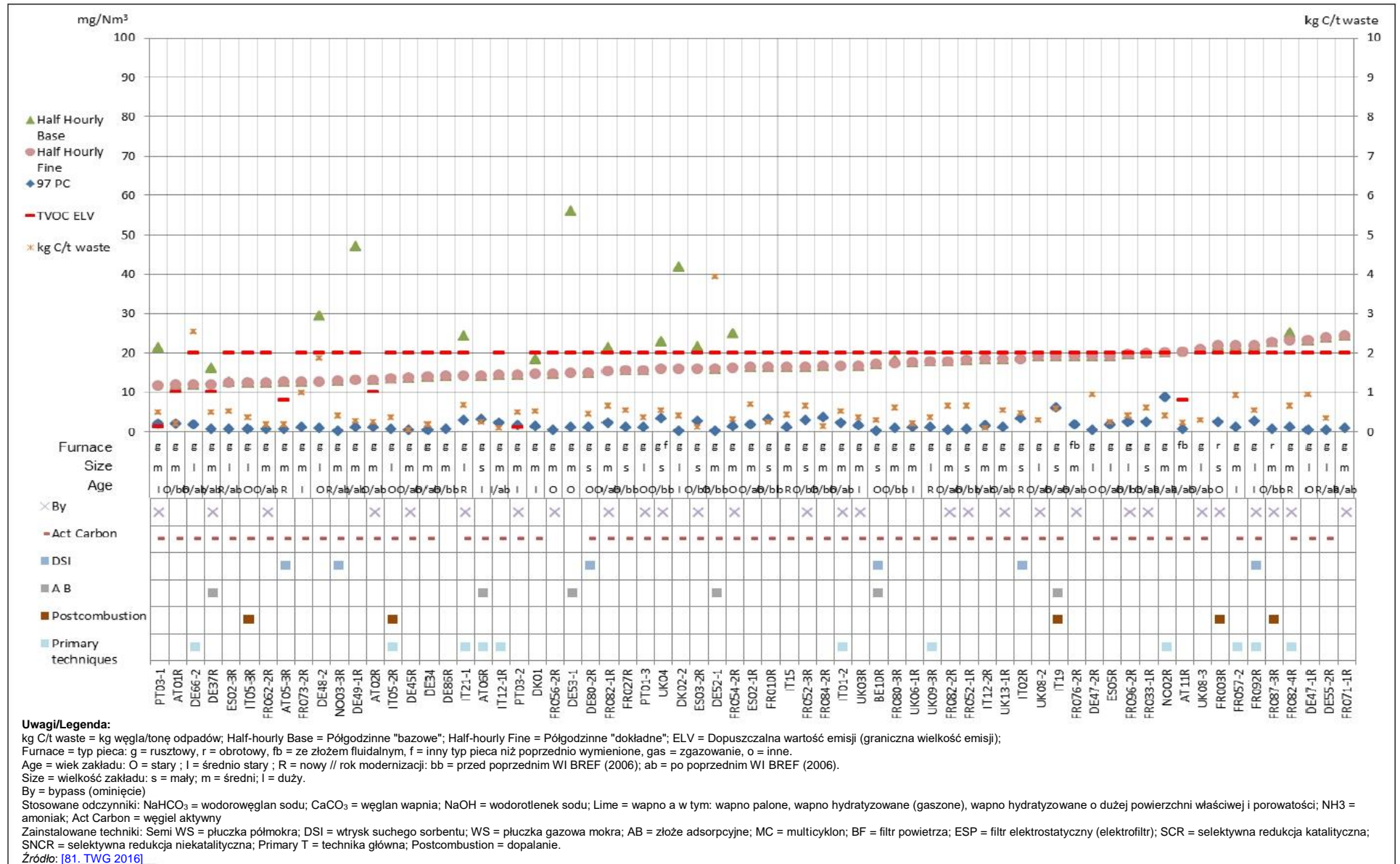
Ilustracja 8.72 Półgodzinne średnie poziomy emisji NH₃ do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (3/3).



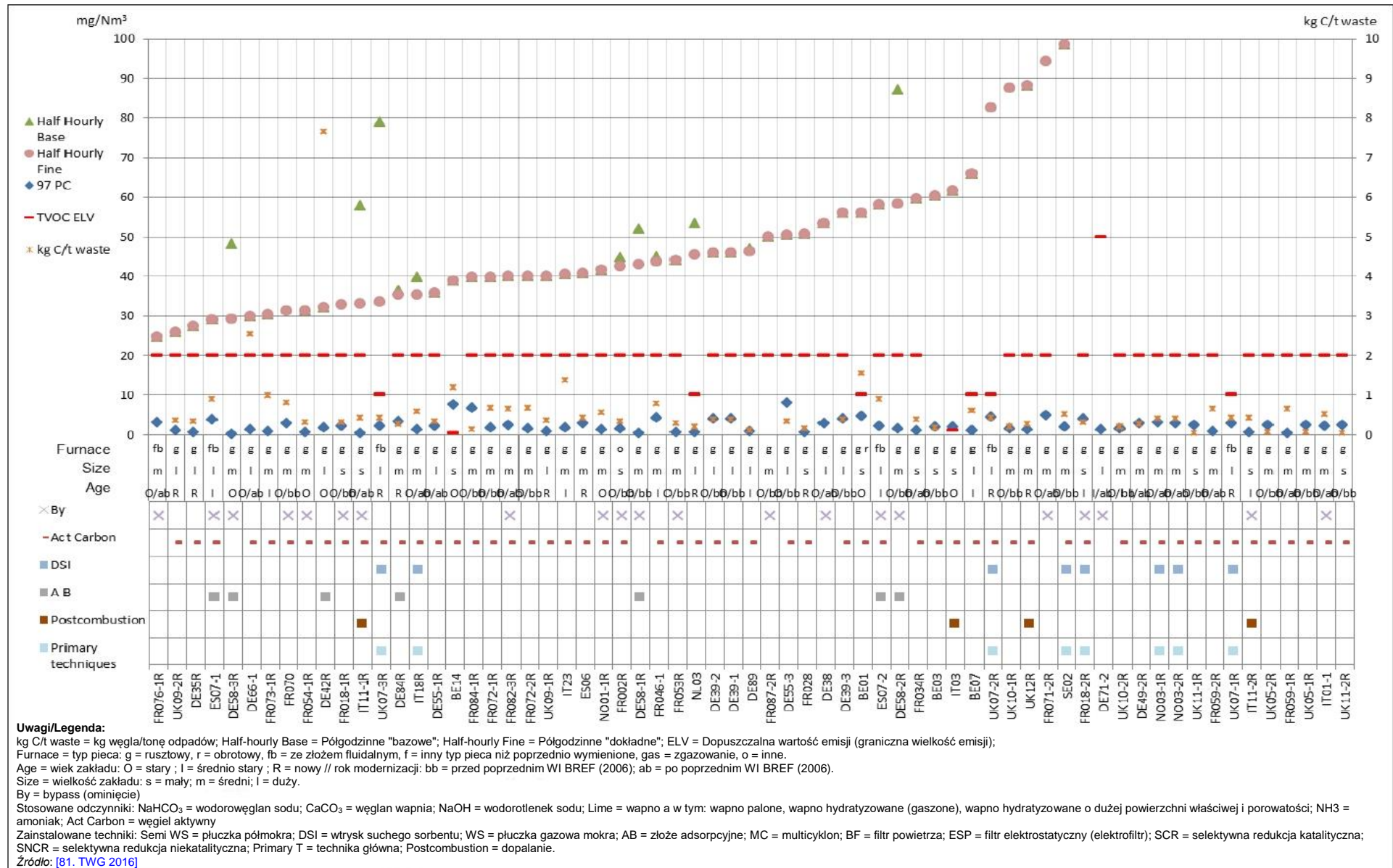
Ilustracja 8.73 Półgodzinne średnie poziomy emisji NH₃ do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające główne ONHW.



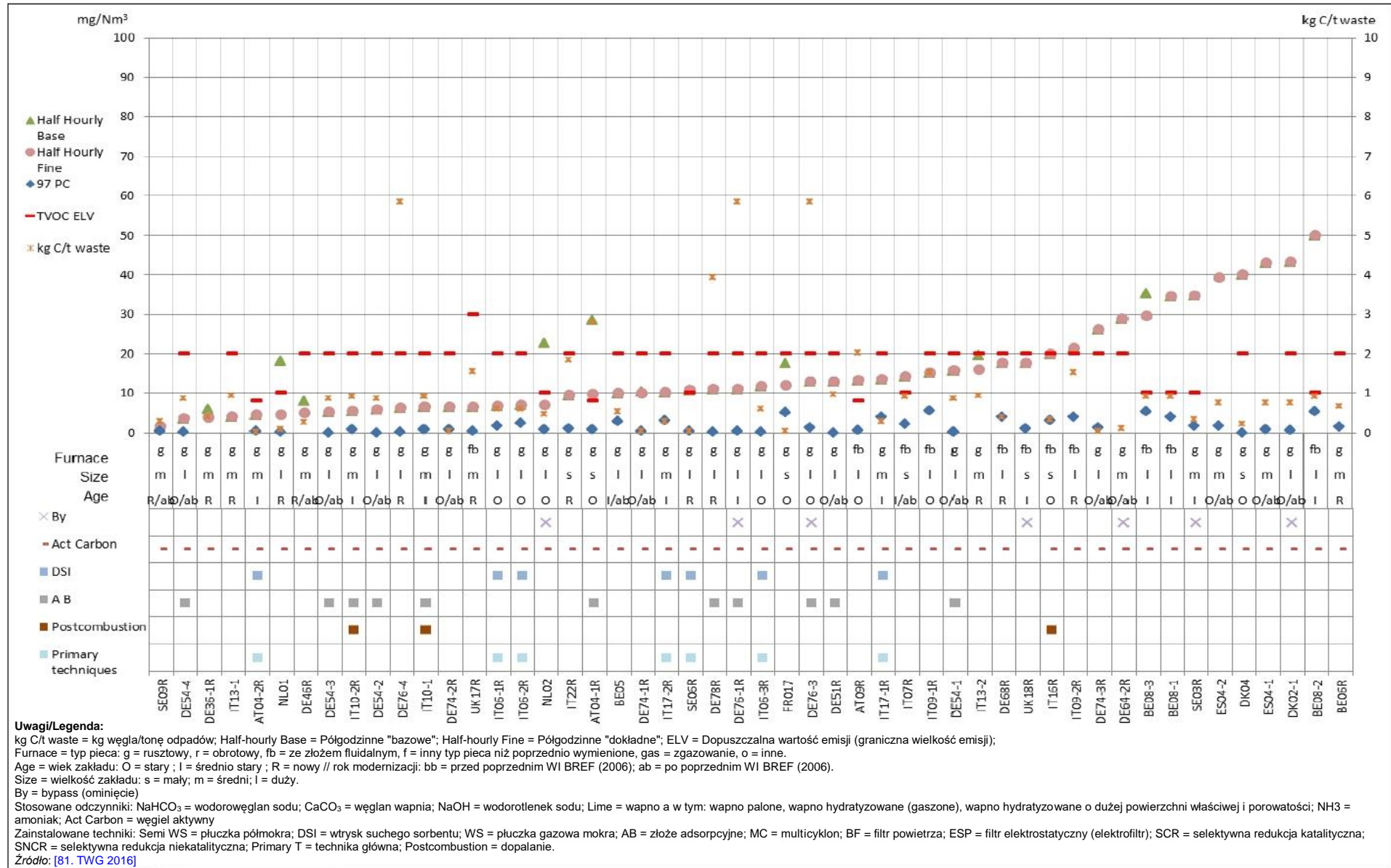
Ilustracja 8.74 Półgodzinne średnie poziomy emisji TVOC do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (1/3).



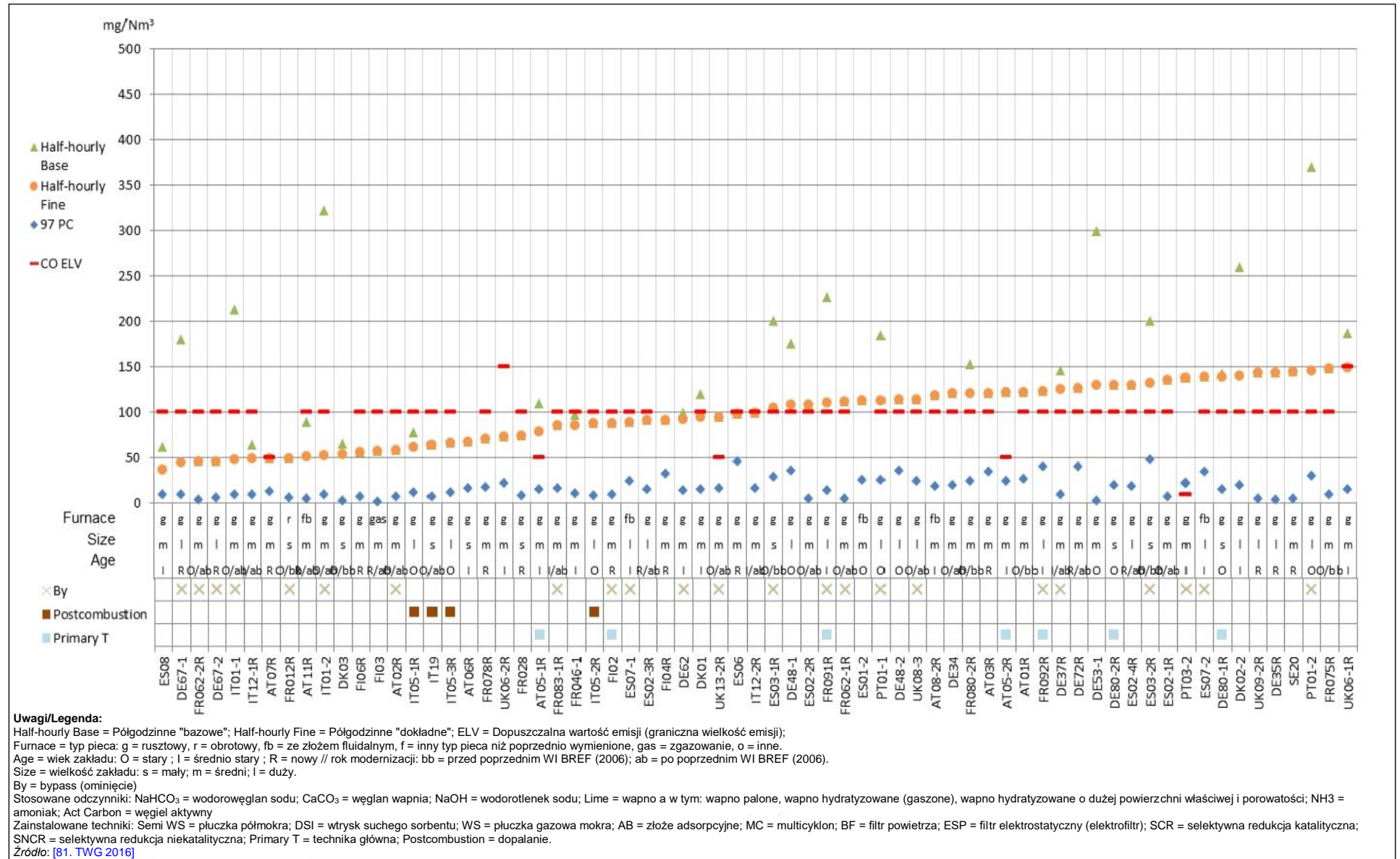
Ilustracja 8.75 Półgodzinne średnie poziomy emisji TVOC do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW (2/3).



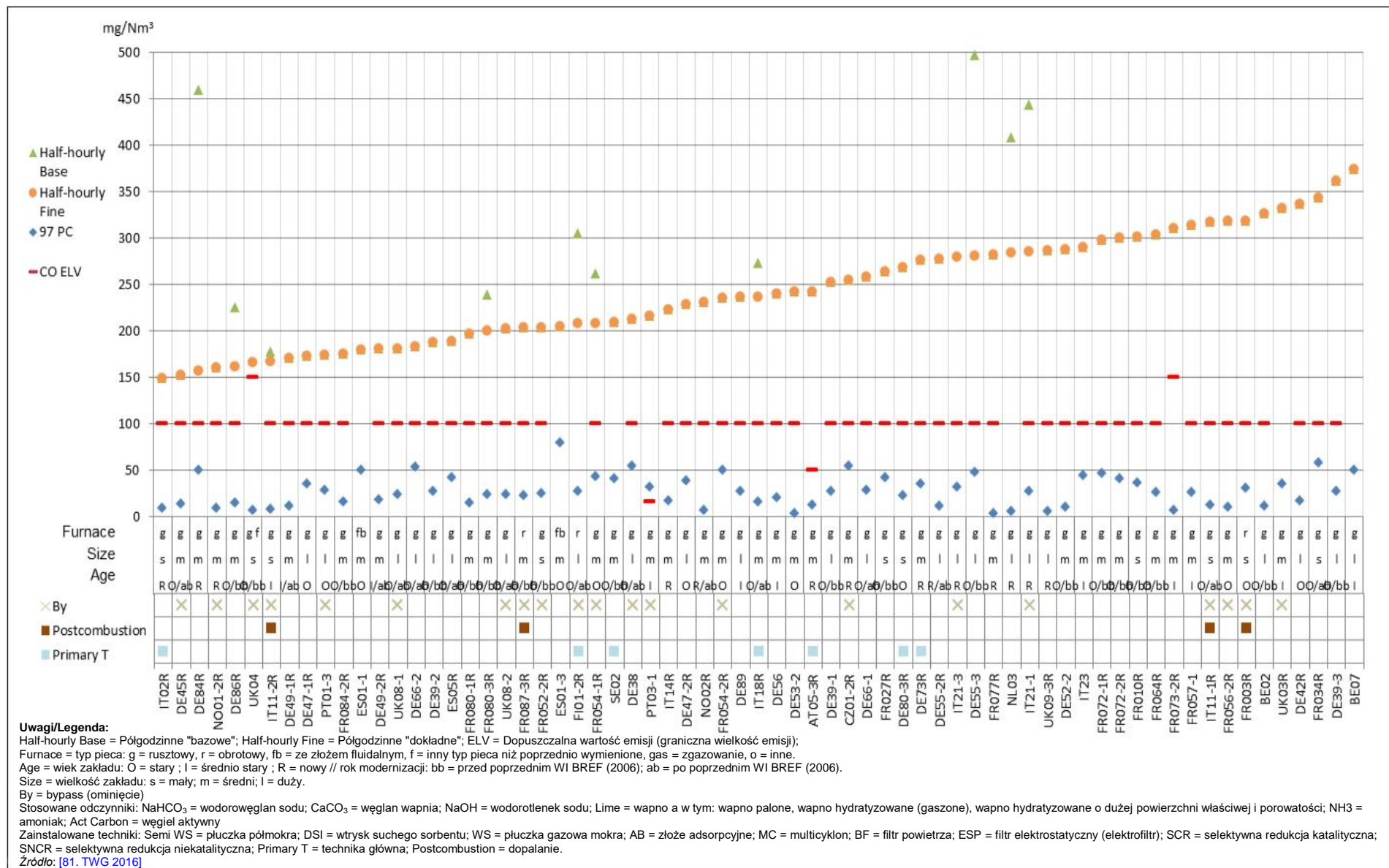
Ilustracja 8.76 Półgodzinne średnie poziomy emisji TVOC do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające główne MSW (3/3).



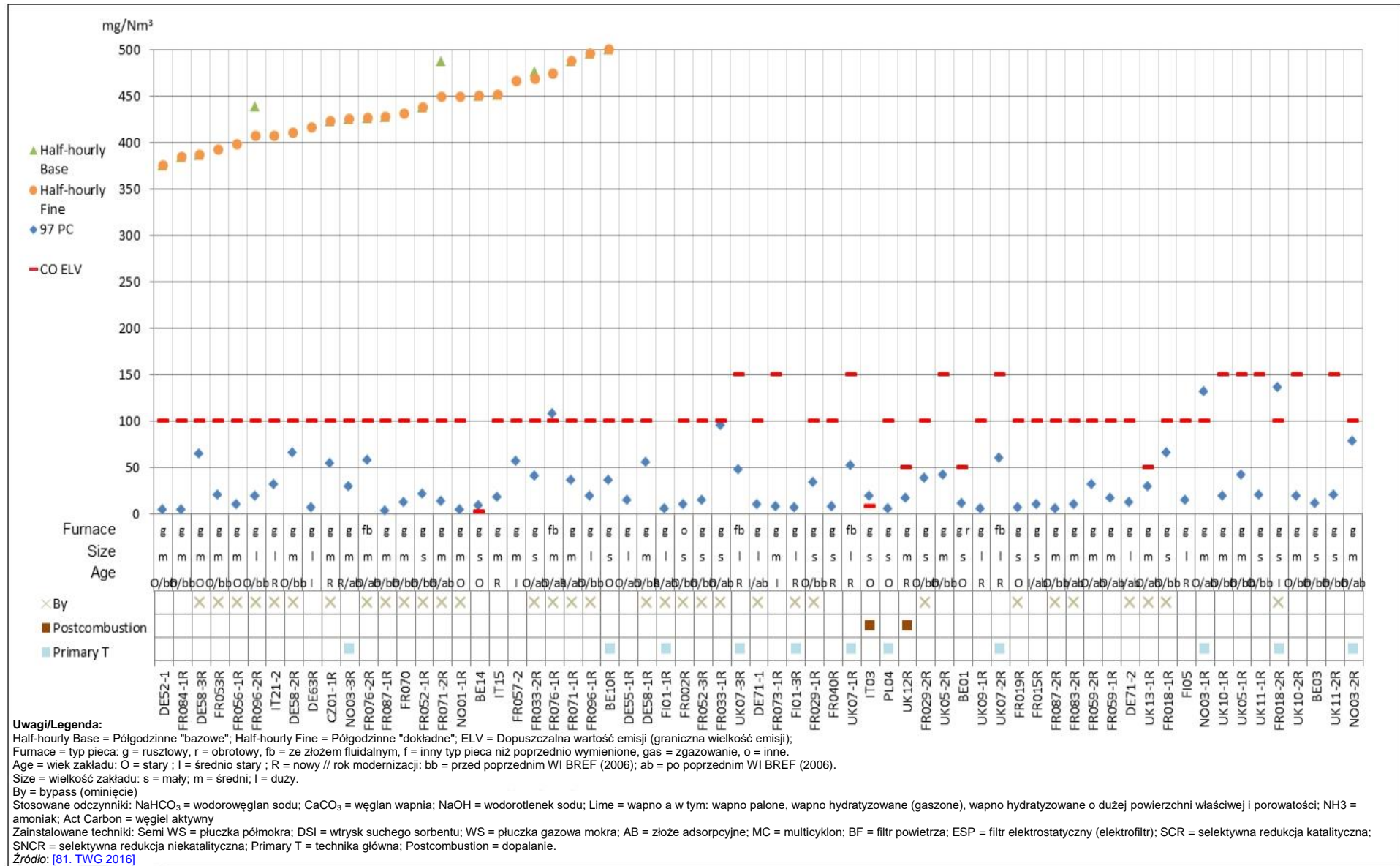
Ilustracja 8.77 Półgodzinne średnie poziomy emisji TVOC do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające główne ONHW.



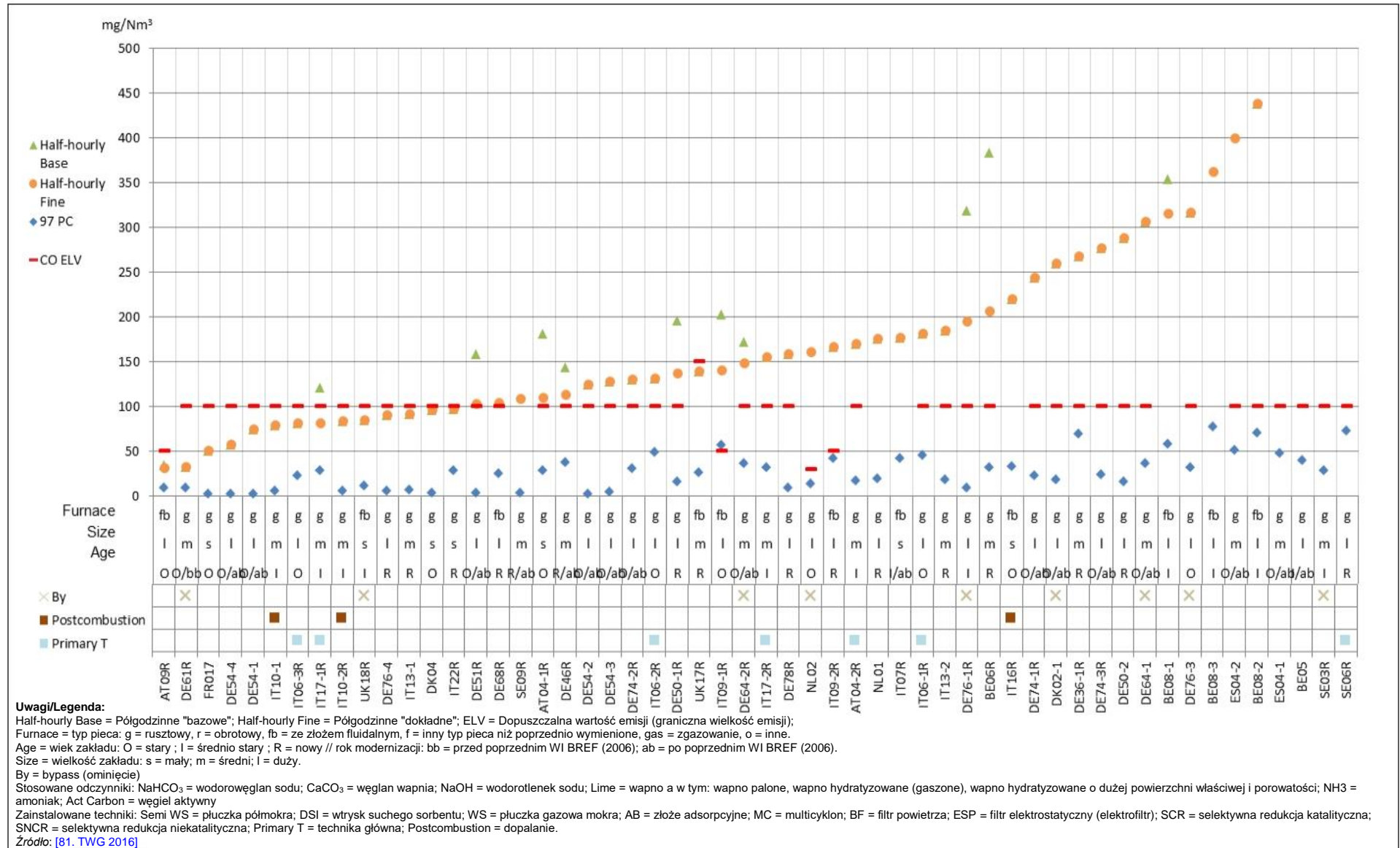
Ilustracja 8.78 Półgodzinne średnie poziomy emisji CO do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające główne MSW (1/3).



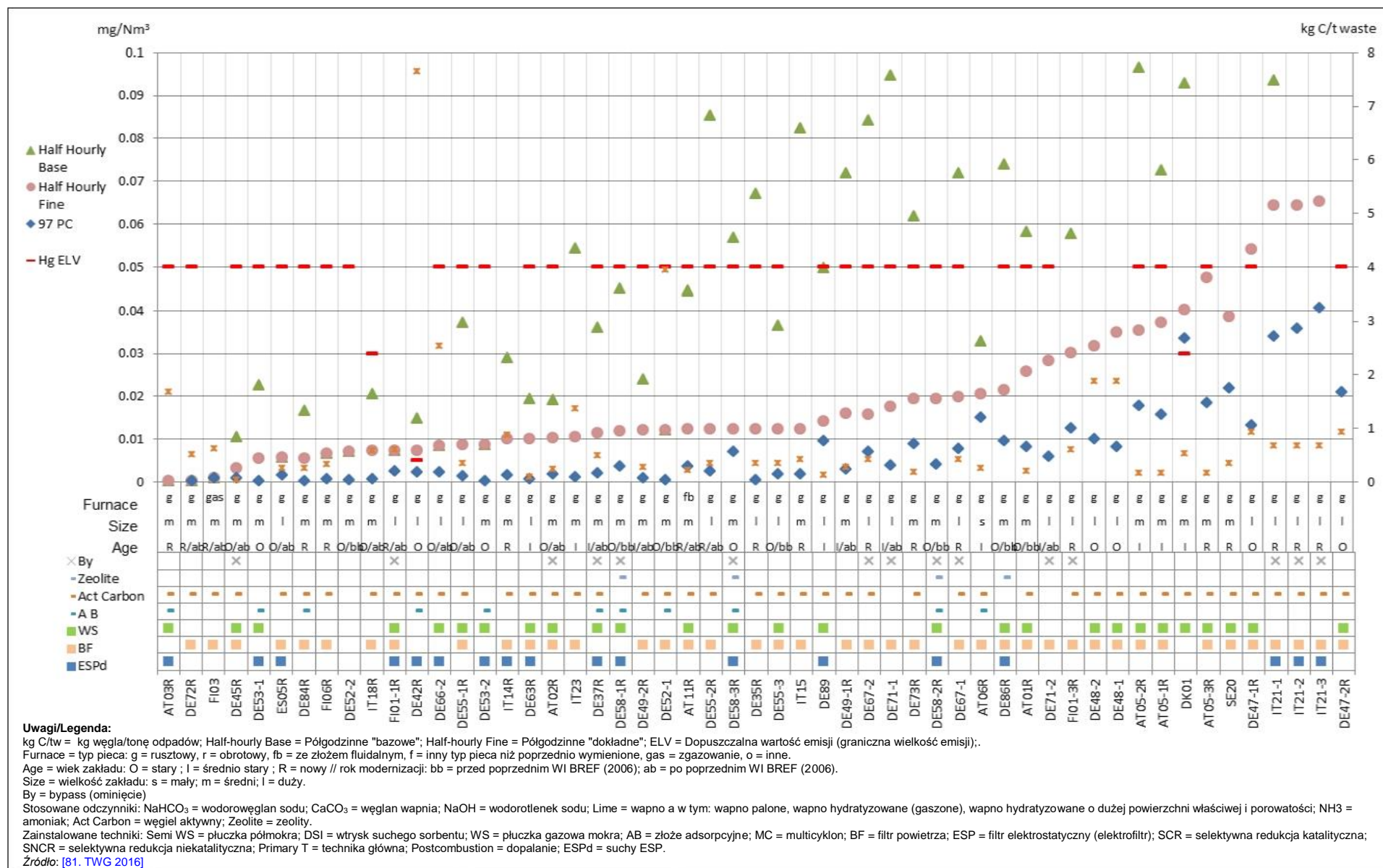
Ilustracja 8.79 Półgodzinne średnie poziomy emisji CO do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające główne MSW (2/3).



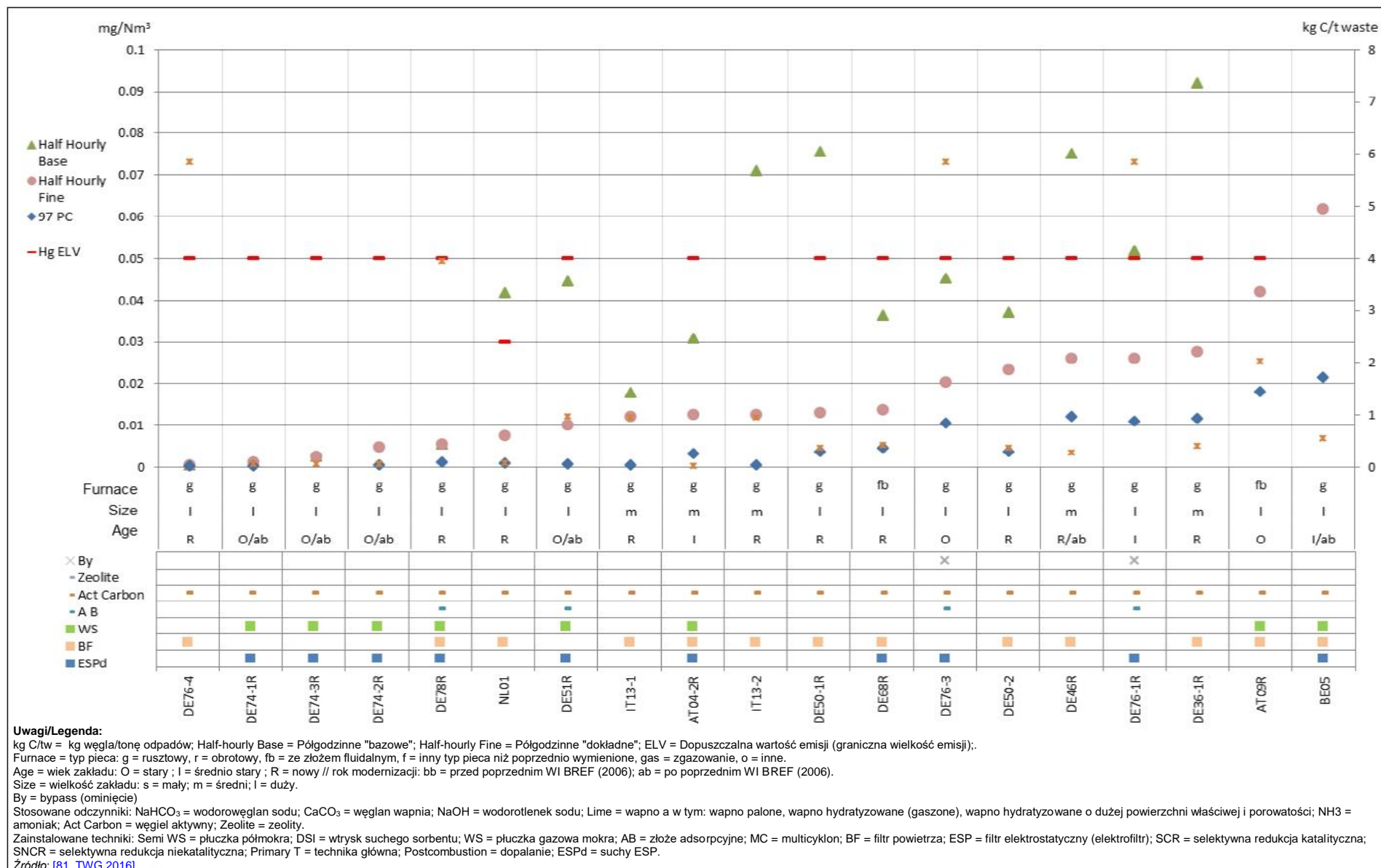
Ilustracja 8.80 Półgodzinne średnie poziomy emisji CO do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające główne MSW (3/3).



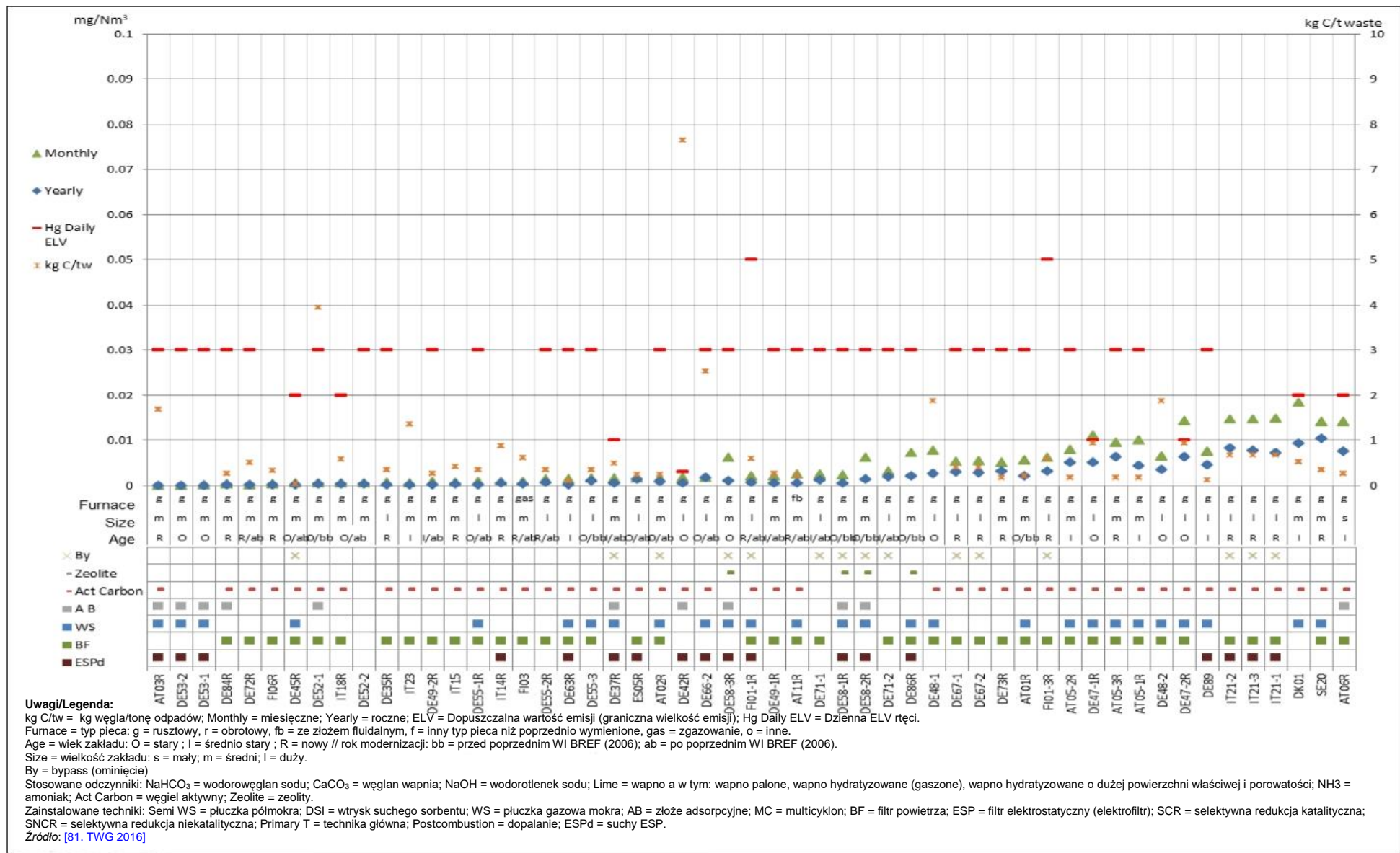
Ilustracja 8.81 Półgodzinne średnie poziomy emisji CO do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające główne ONHW.



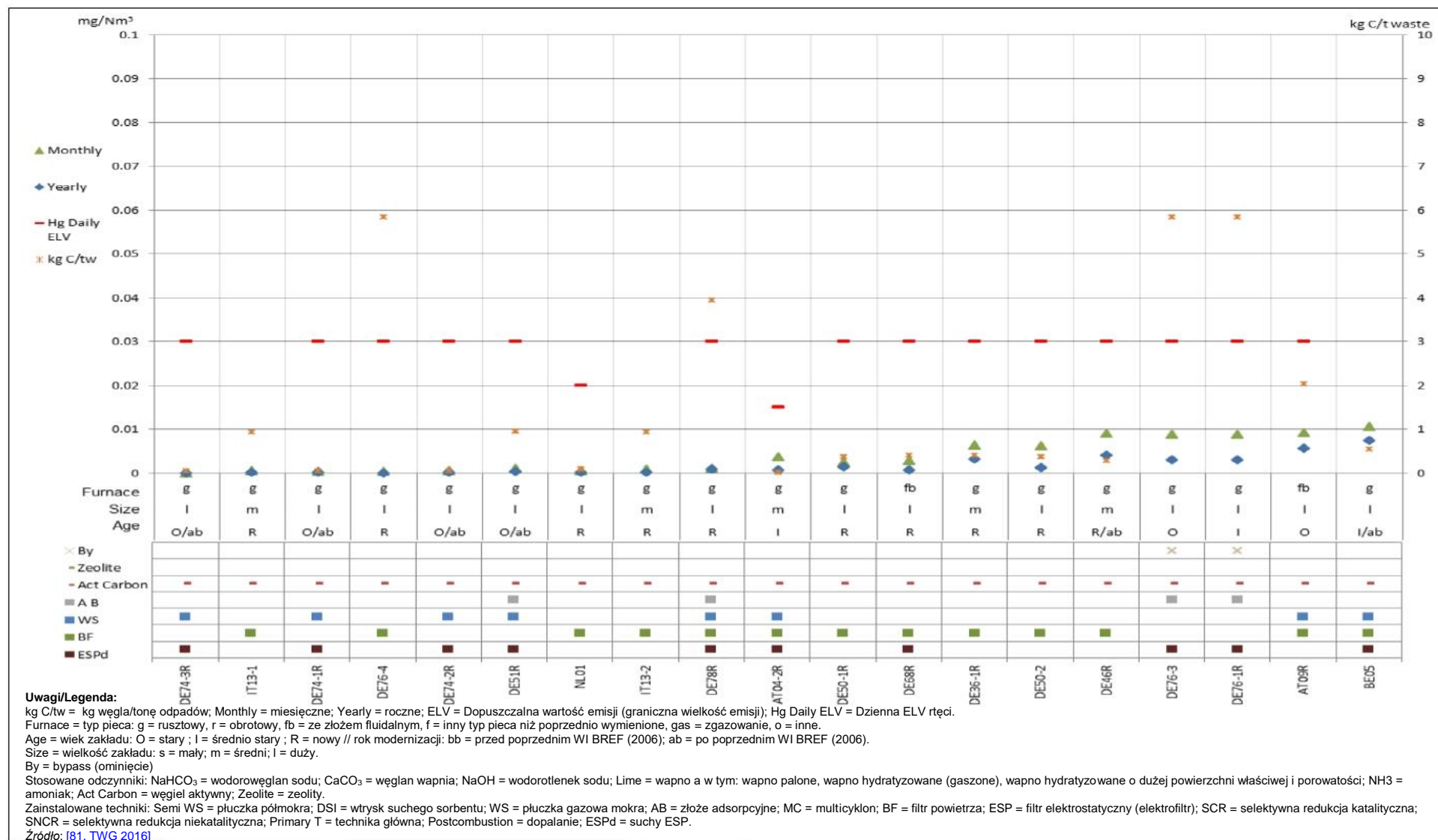
Ilustracja 8.82 Półgodzinne średnie poziomy emisji Hg do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające główne MSW.



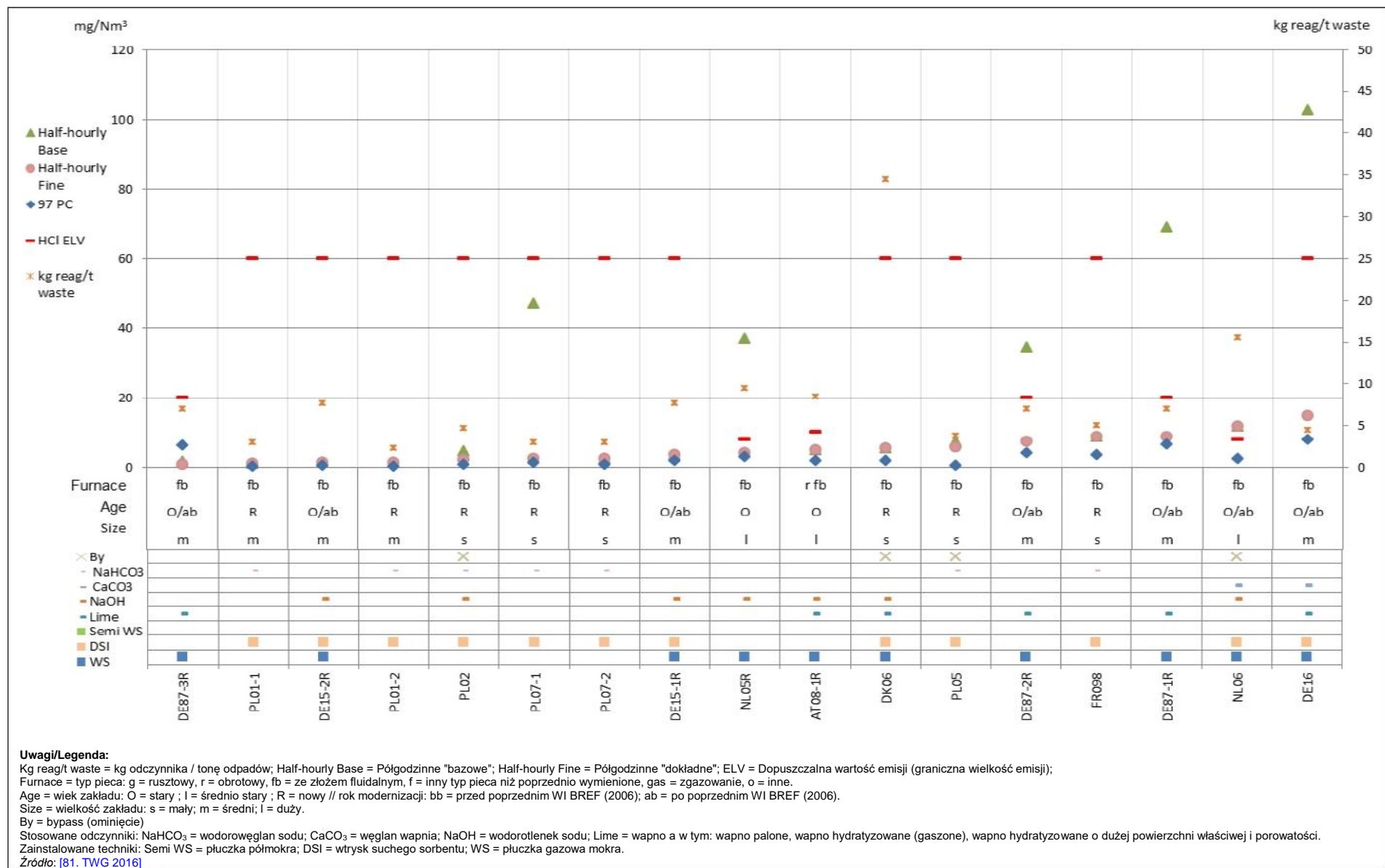
Ilustracja 8.83 Półgodzinne średnie poziomy emisji Hg do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające główne ONHW.



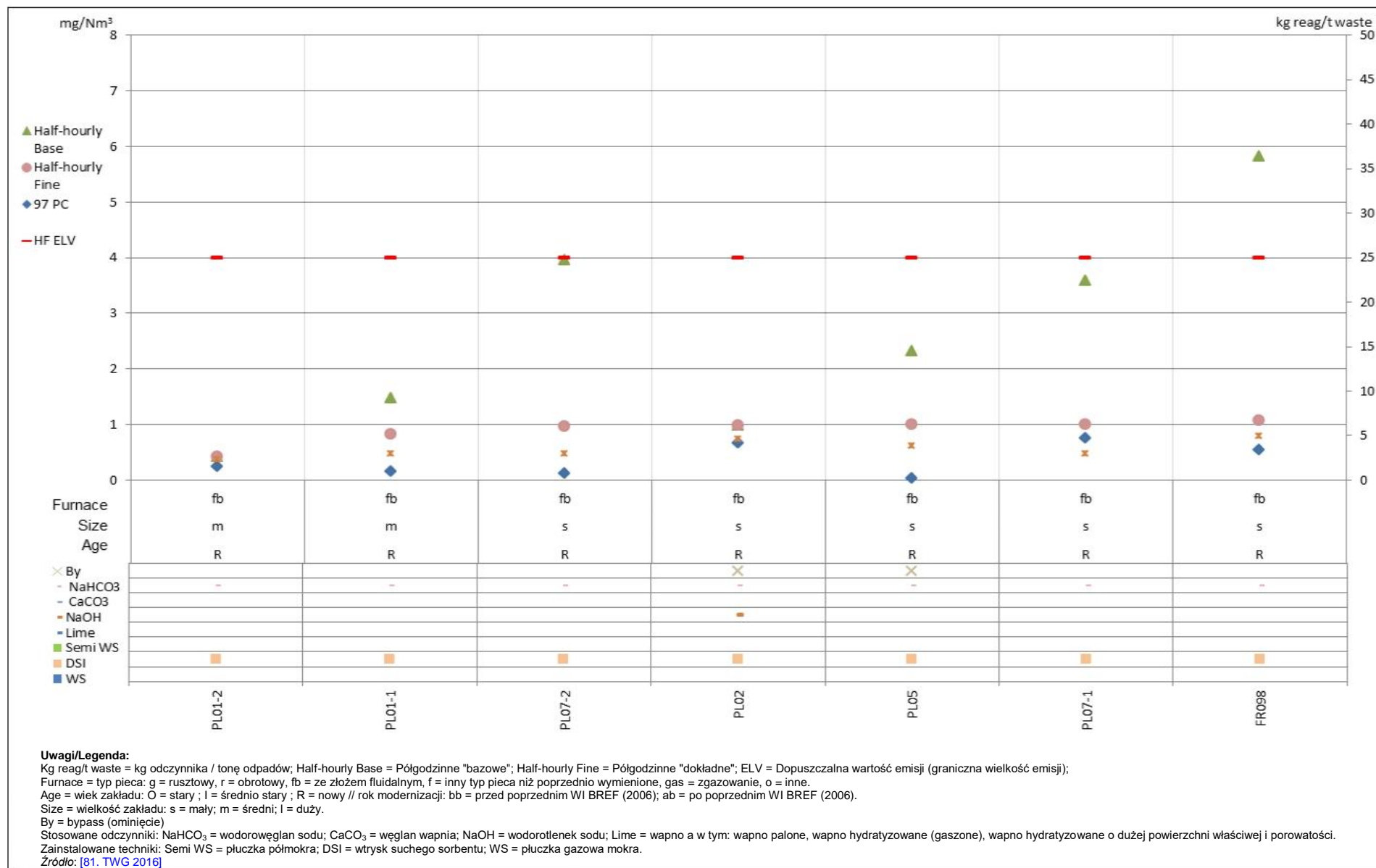
Ilustracja 8.84 Miesięczne średnie poziomy emisji Hg do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie MSW.



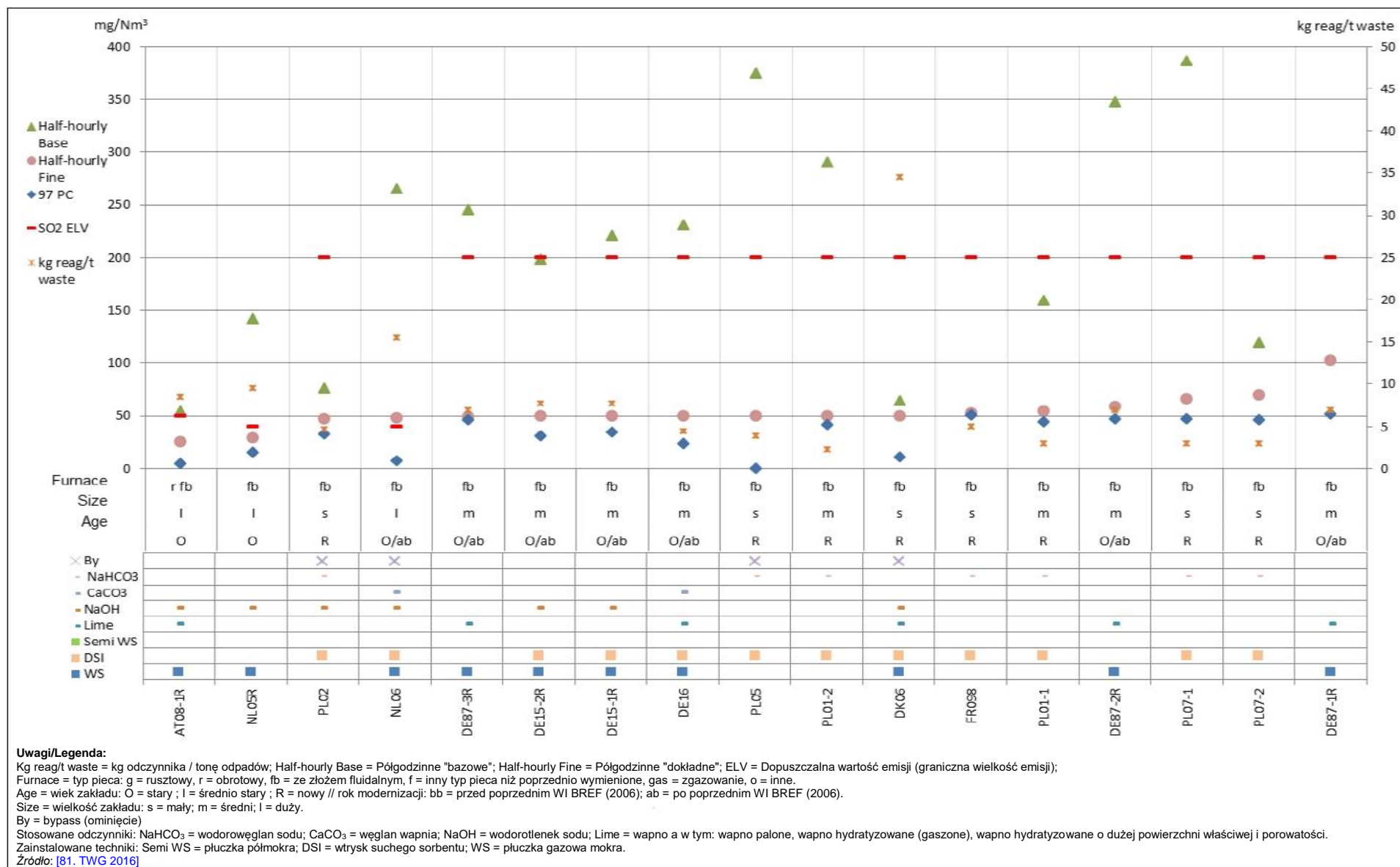
Ilustracja 8.85 Miesięczne średnie poziomy emisji Hg do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie ONHW.



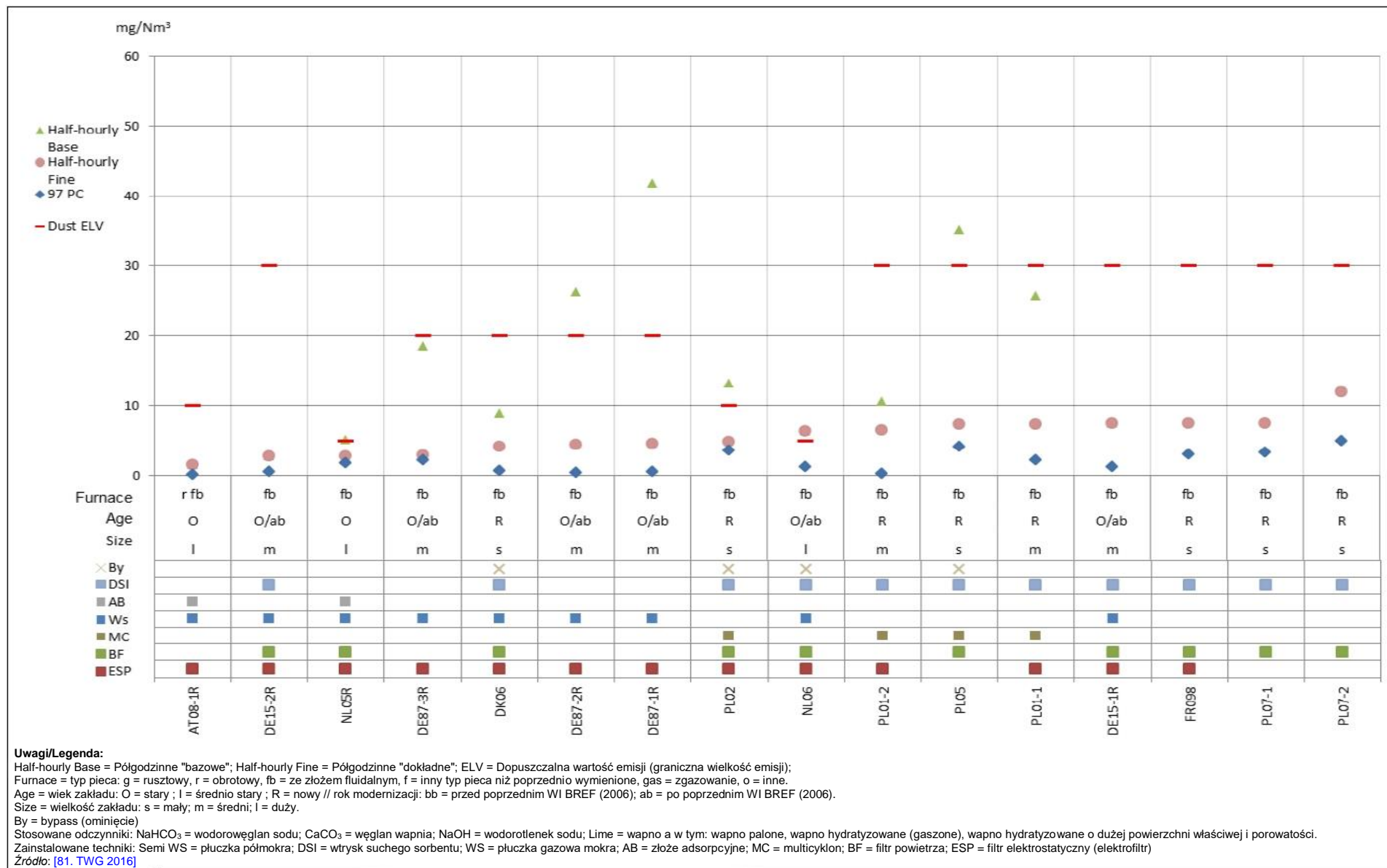
Ilustracja 8.86 Półgodzinne średnie poziomy emisji HCl do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie osady ściekowe (SS).



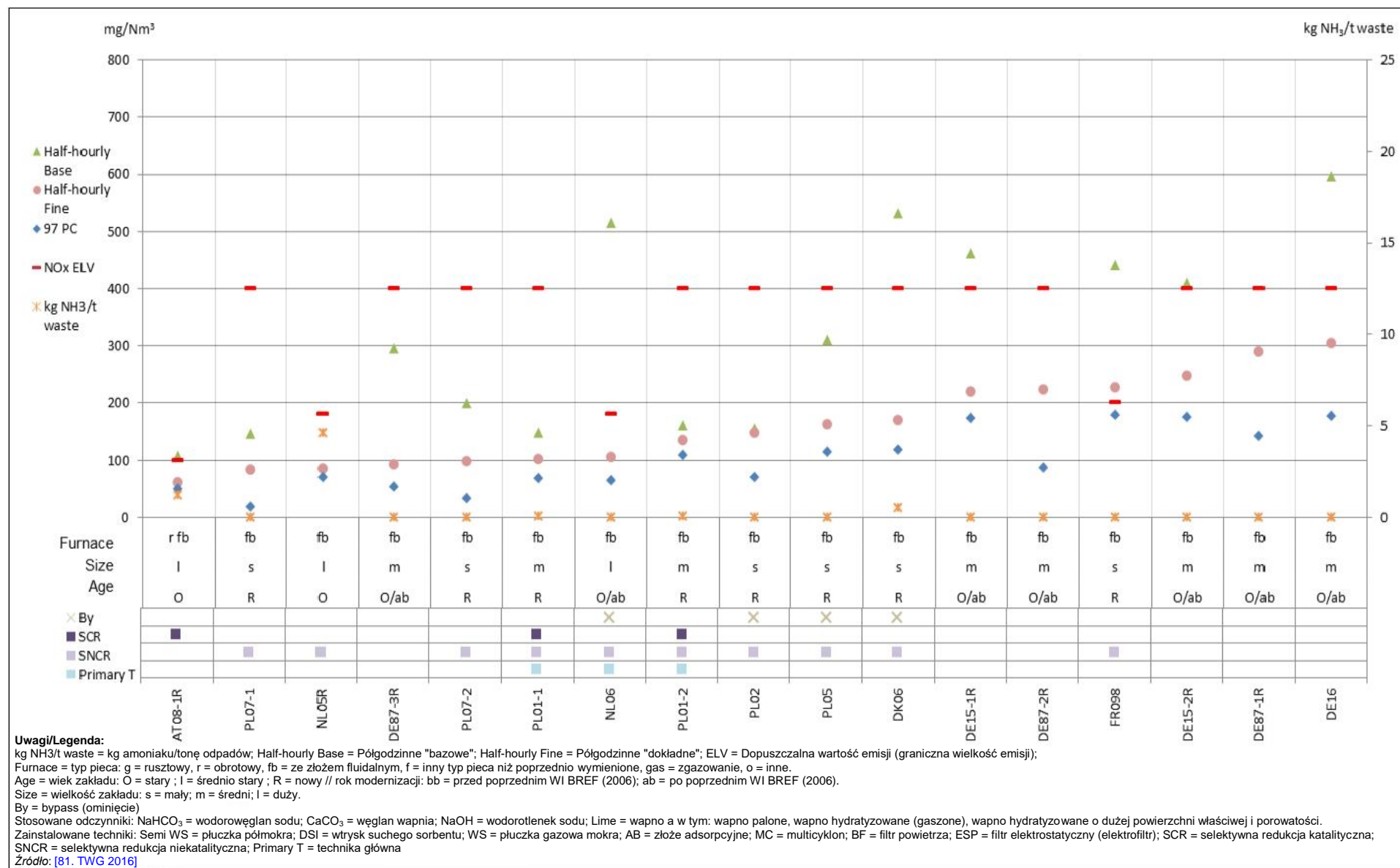
Ilustracja 8.87 Półgodzinne średnie poziomy emisji HF do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie SS.



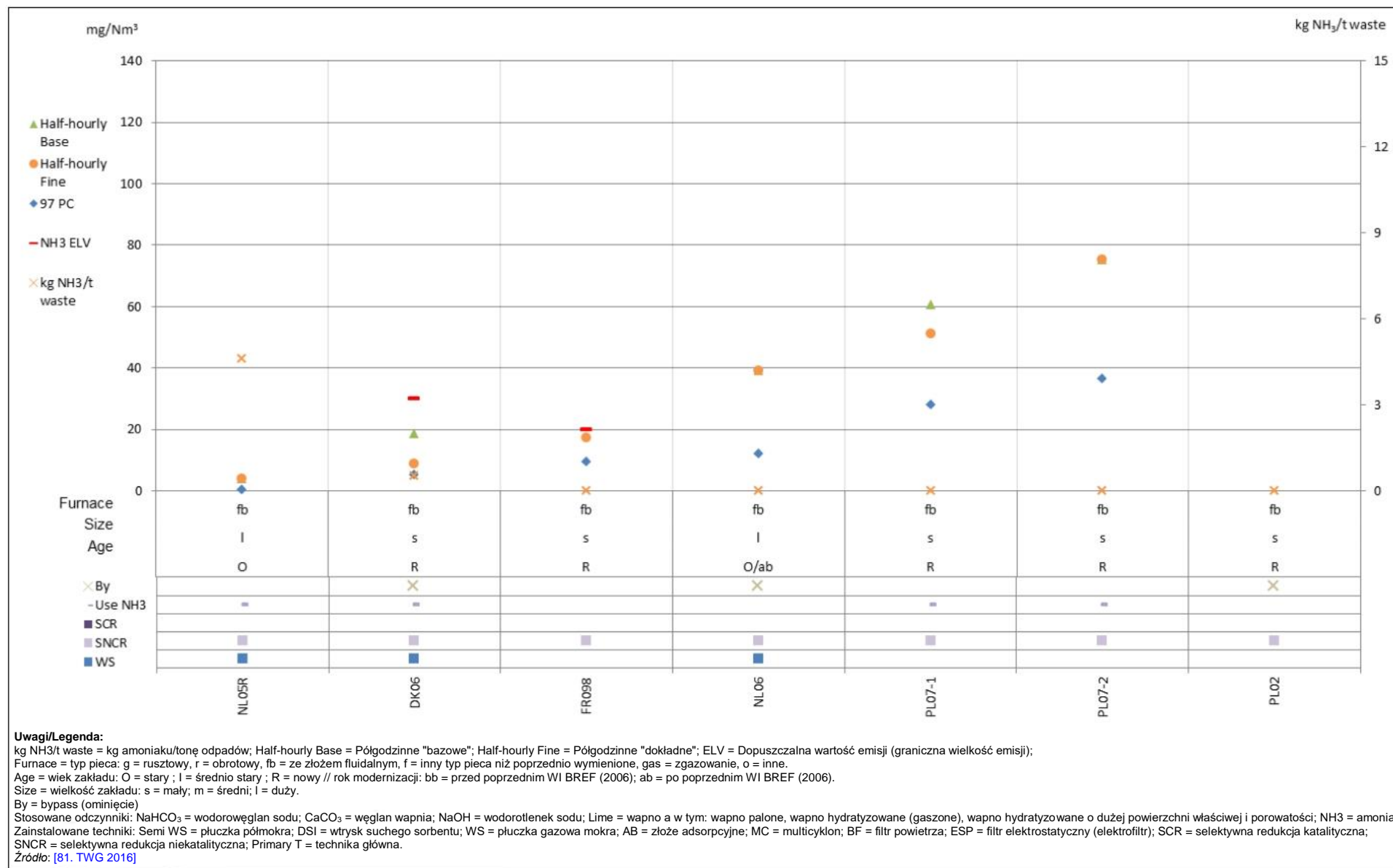
Ilustracja 8.88 Półgodzinne średnie poziome emisje SO₂ do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie SS.



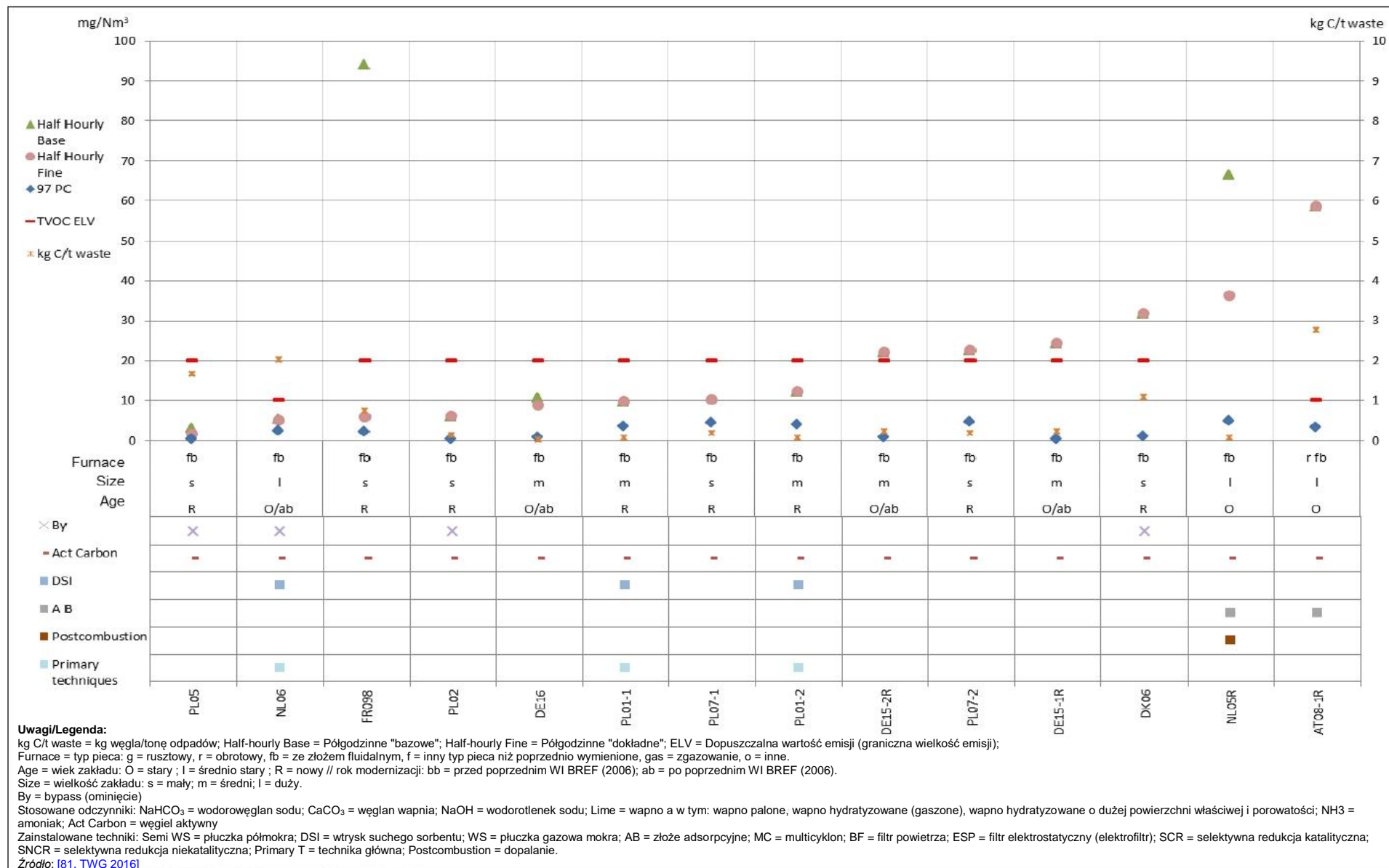
Ilustracja 8.89 Półgodzinne średnie poziomy emisji pyłu do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie SS.



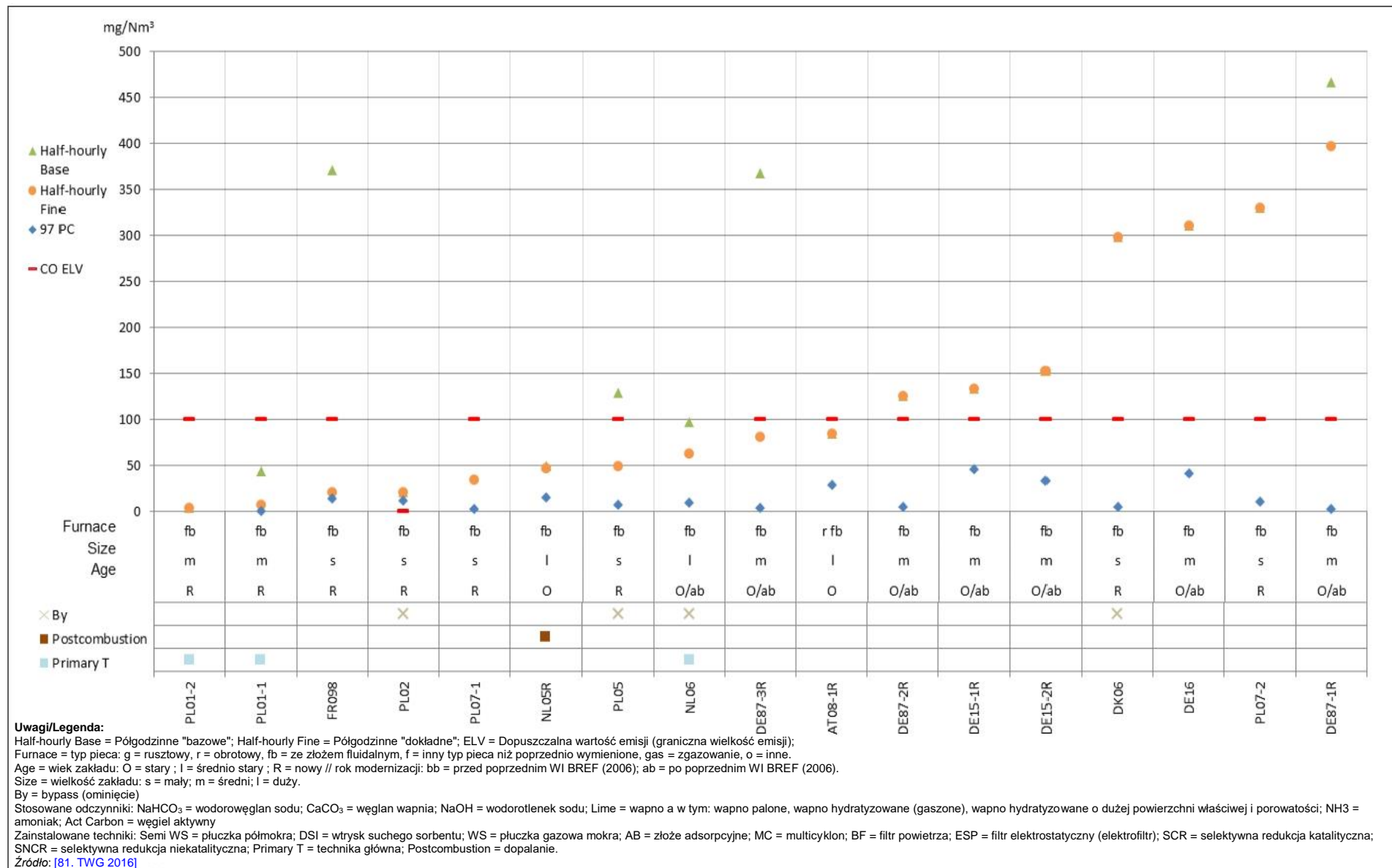
Ilustracja 8.90 Półgodzinne średnie poziomy emisji NO_x do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie SS.



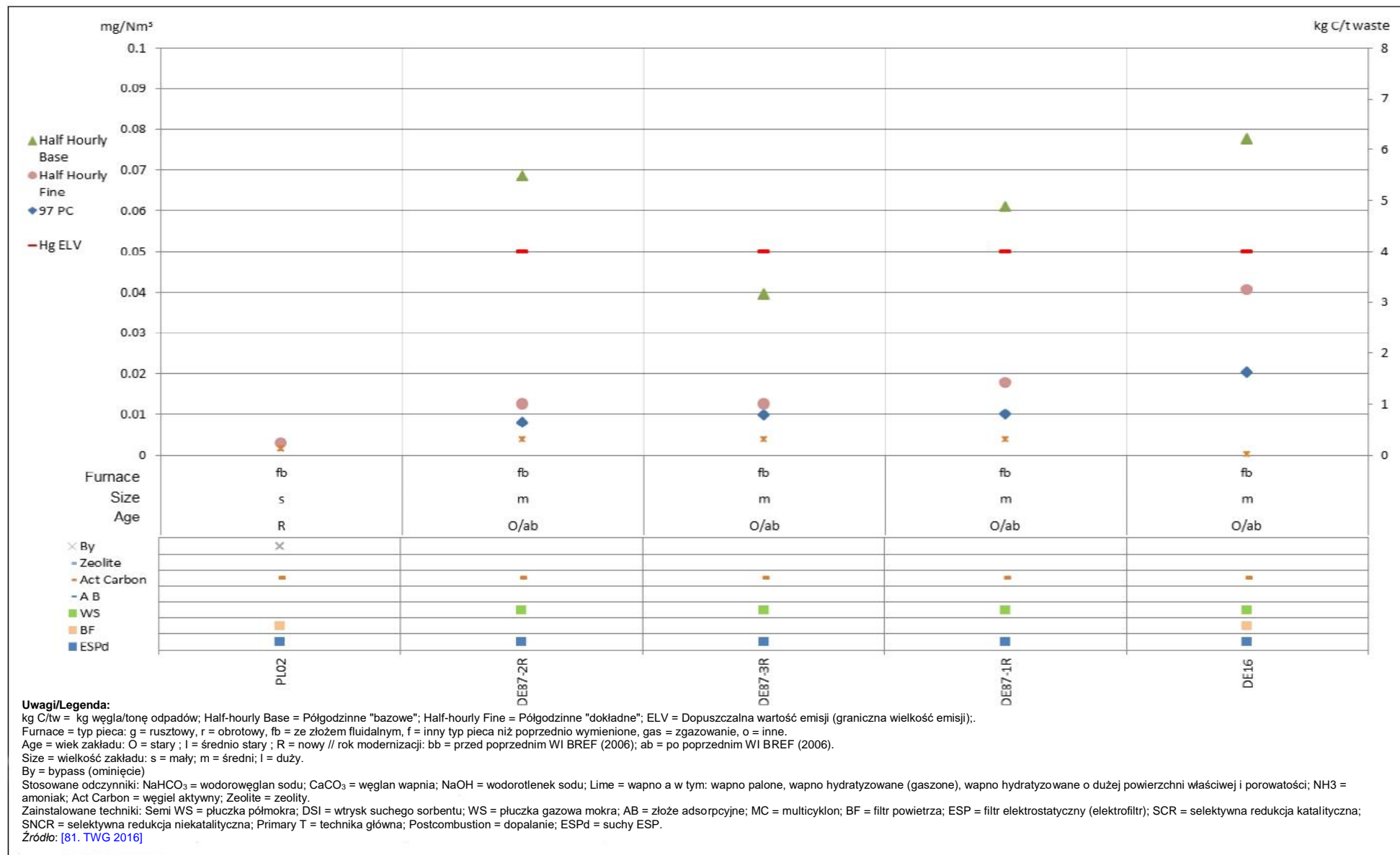
Ilustracja 8.91 Półgodzinne średnie poziomy emisji NH₃ do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie SS.



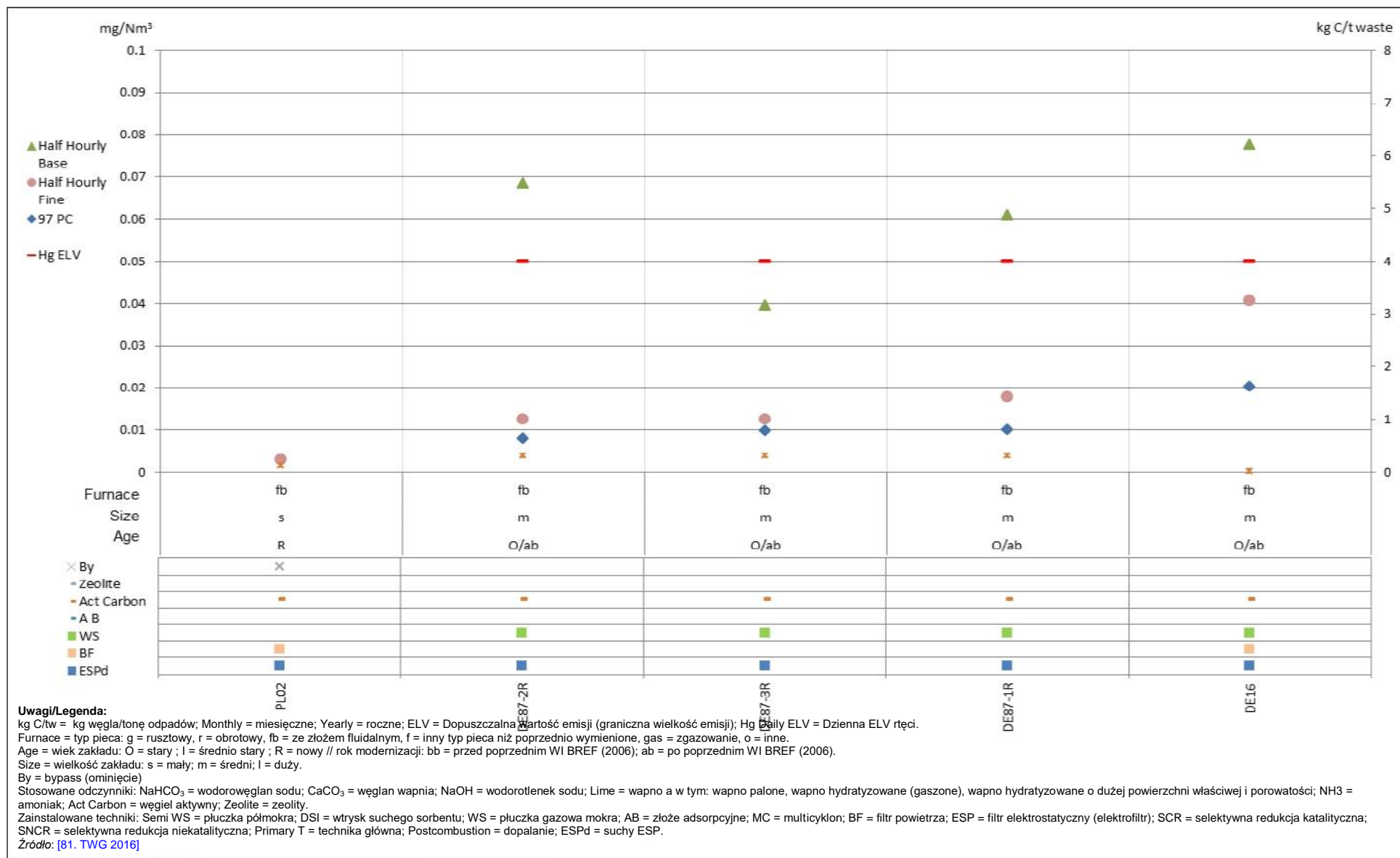
Ilustracja 8.92 Półgodzinne średnie poziomy emisji TVOC do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie SS.



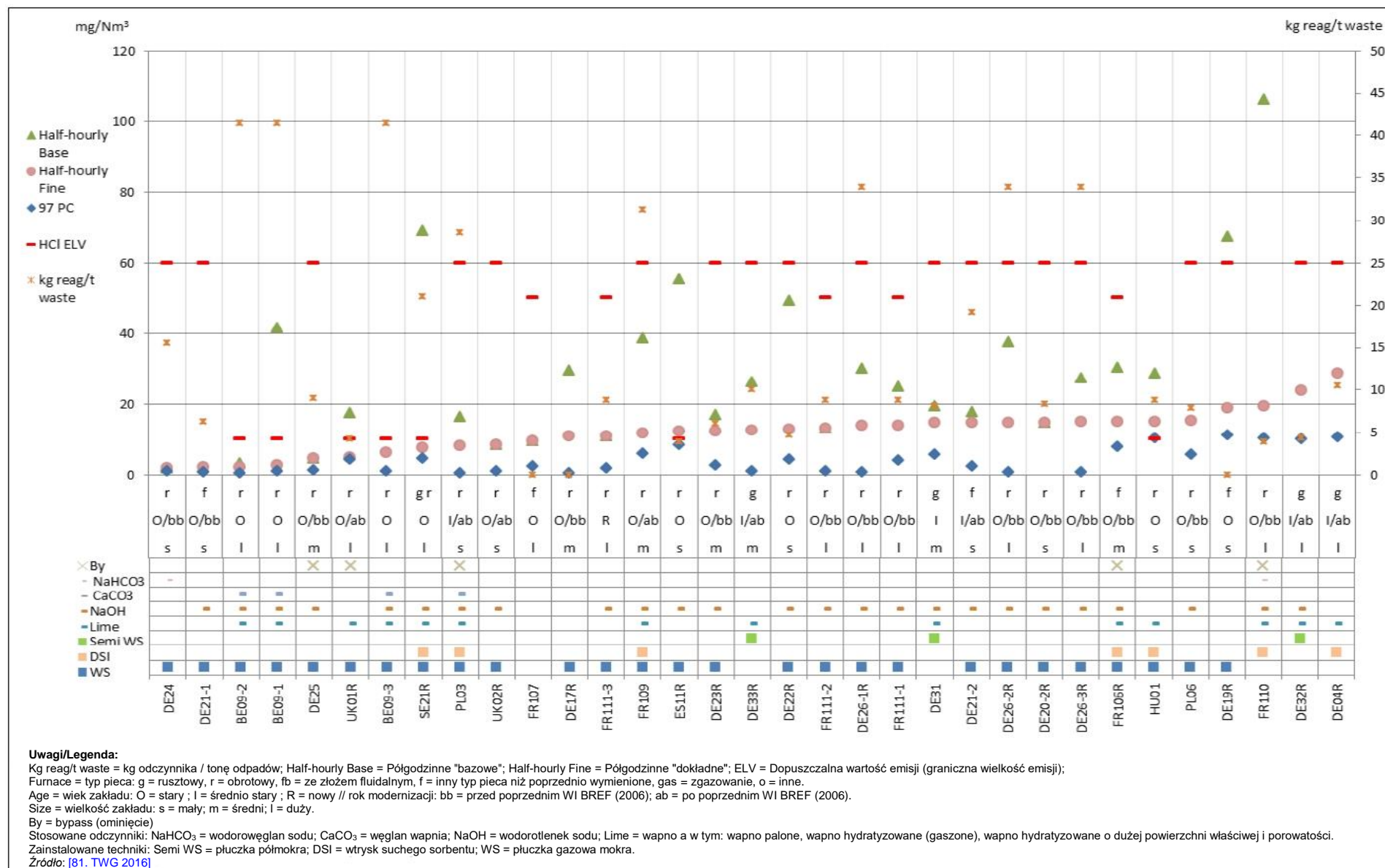
Ilustracja 8.93 Półgodzinne średnie poziome emisje CO do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające główne SS.



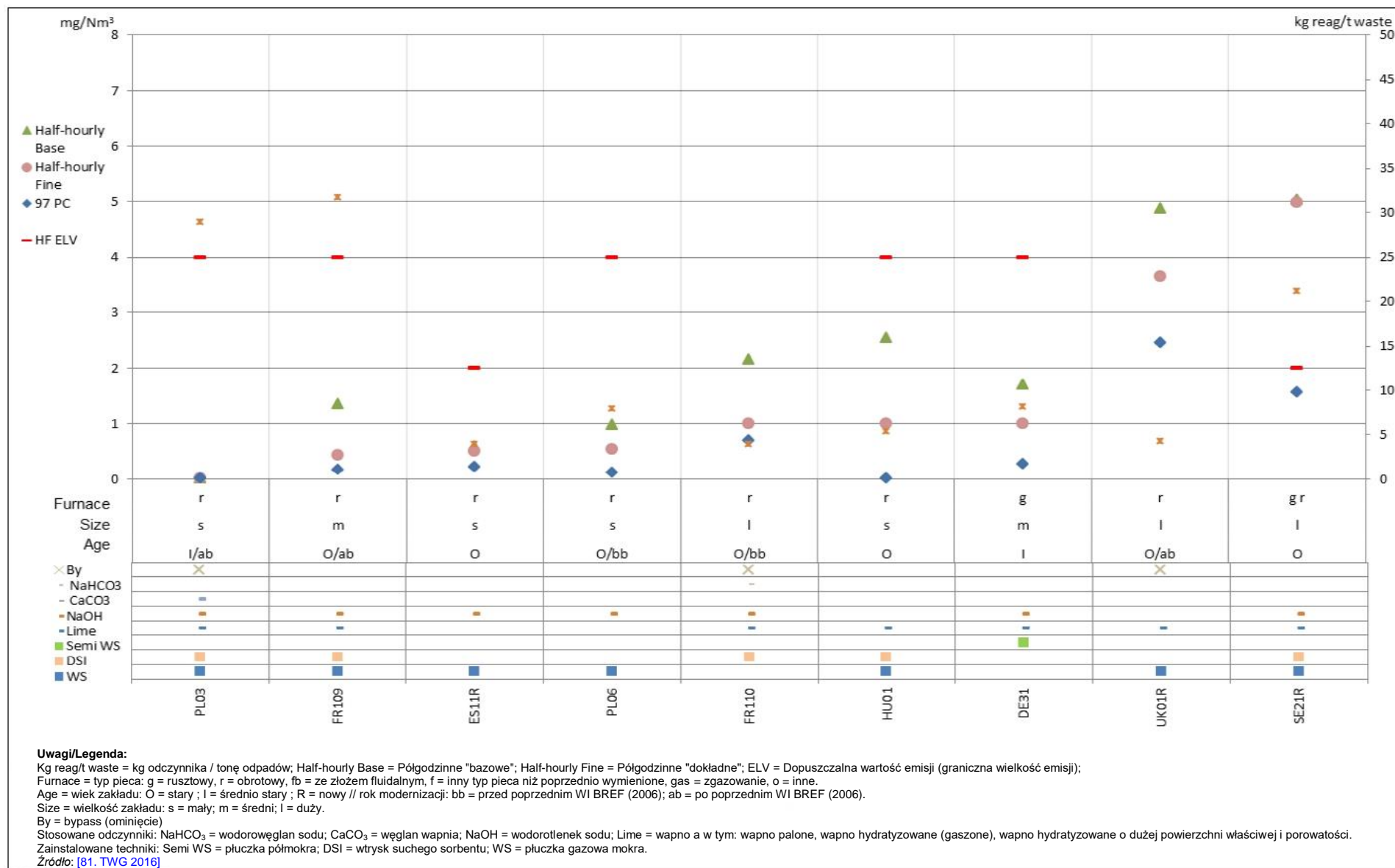
Ilustracja 8.94 Półgodzinne średnie poziomy emisji Hg do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające główne SS.



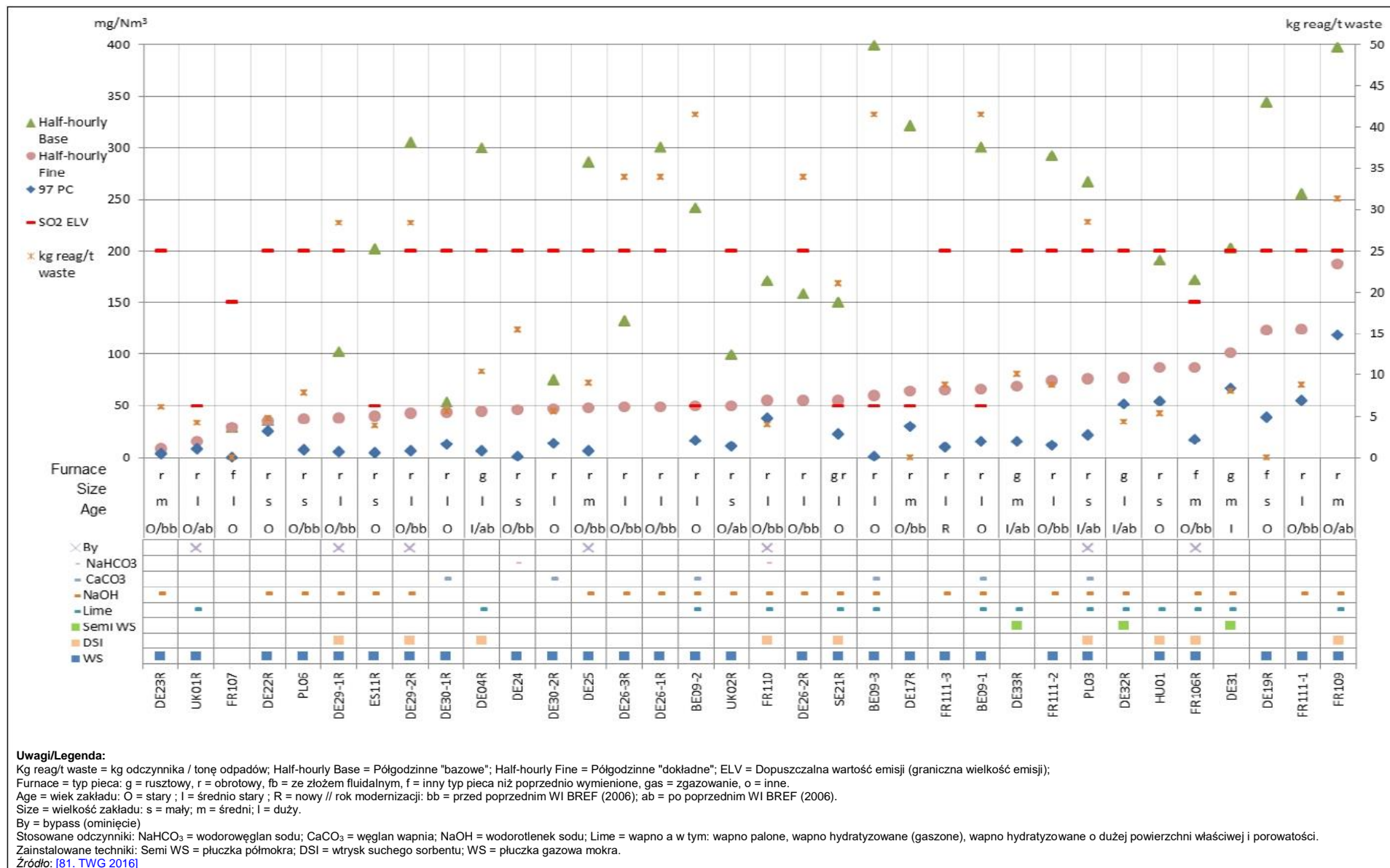
Ilustracja 8.95 Miesięczne średnie poziomy emisji Hg do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie SS.



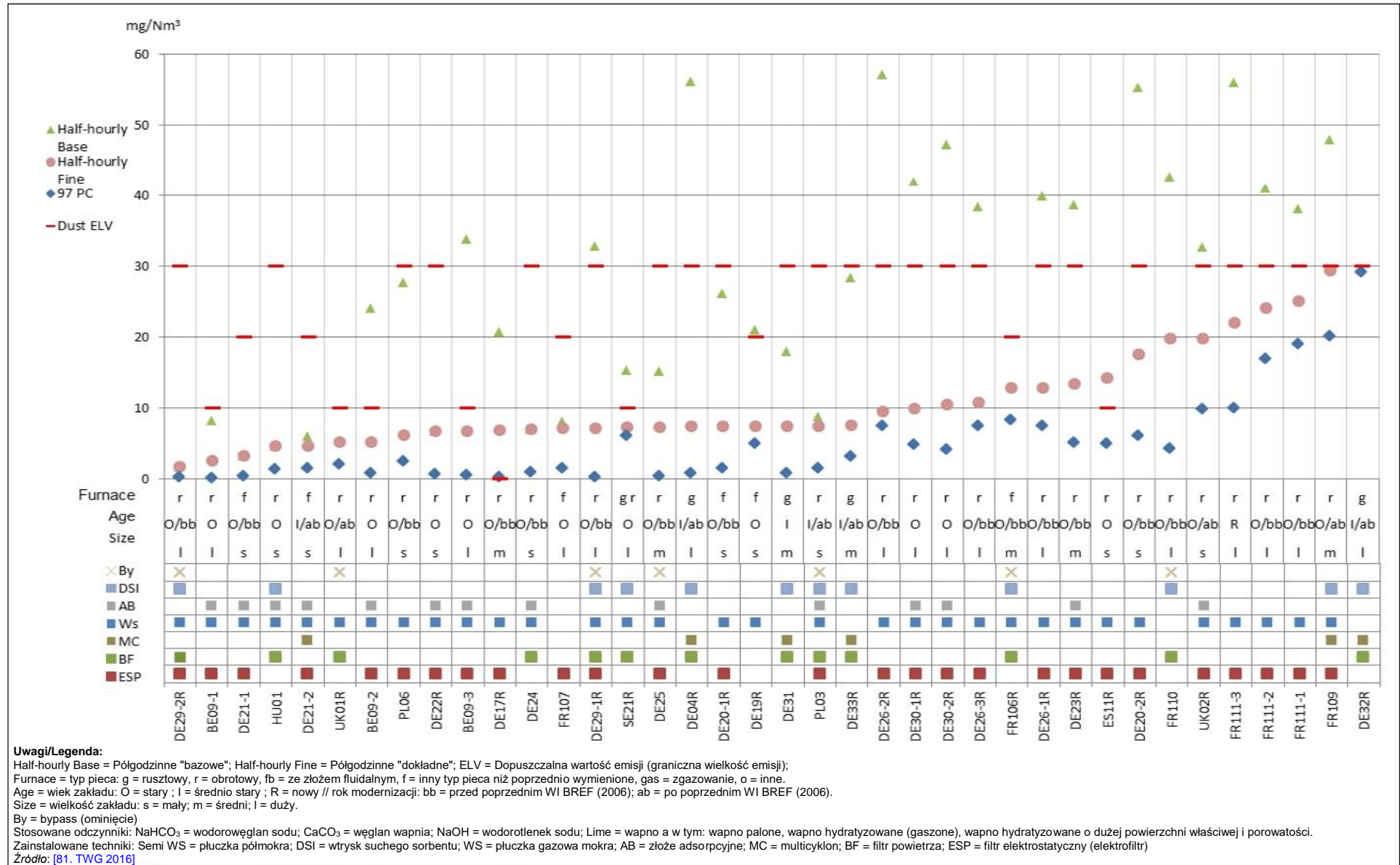
Ilustracja 8.96 Półgodzinne średnie poziomy emisji HCl do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie odpady niebezpieczne (HW).



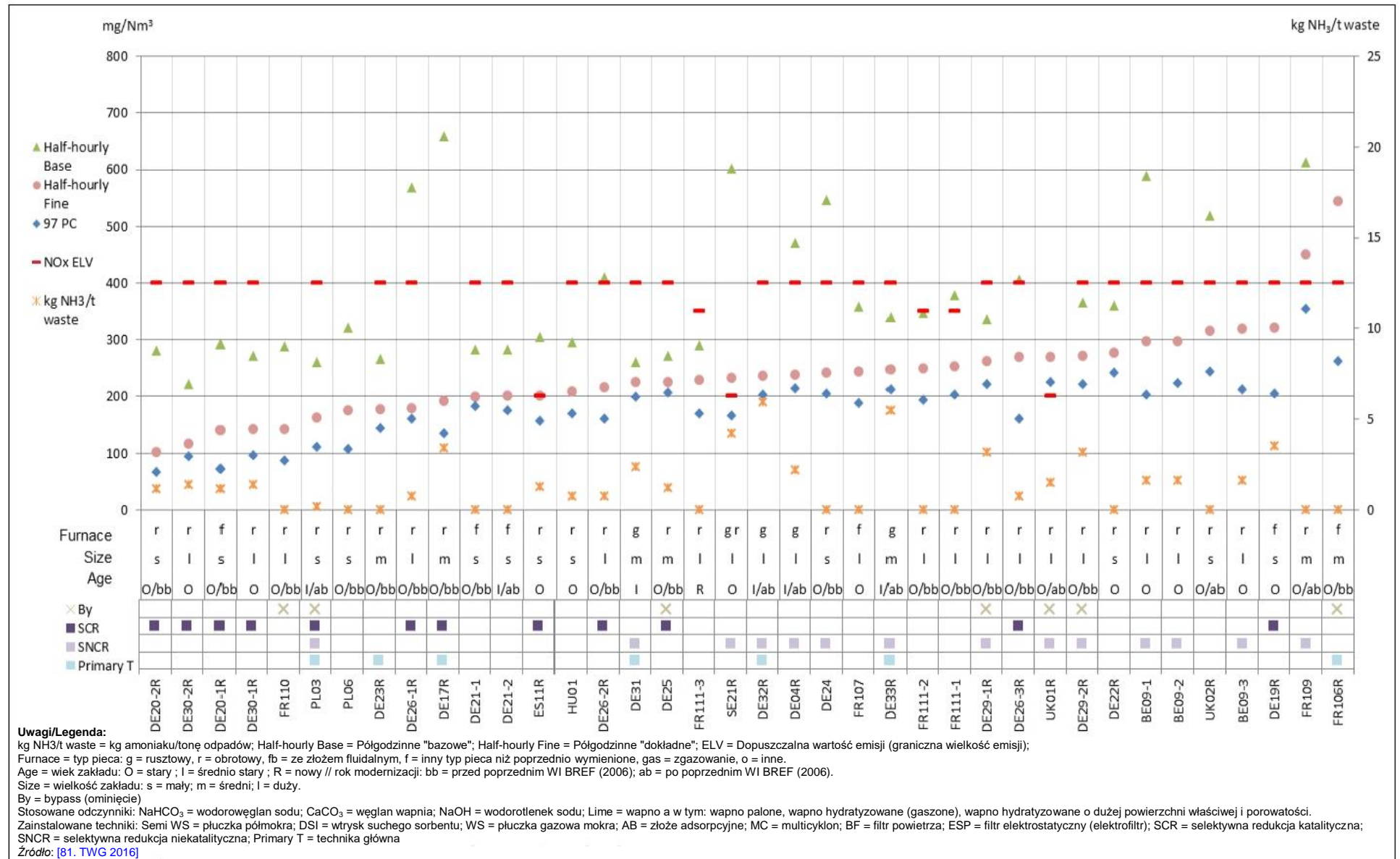
Ilustracja 8.97 Półgodzinne średnie poziomy emisji HF do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające główne HW.



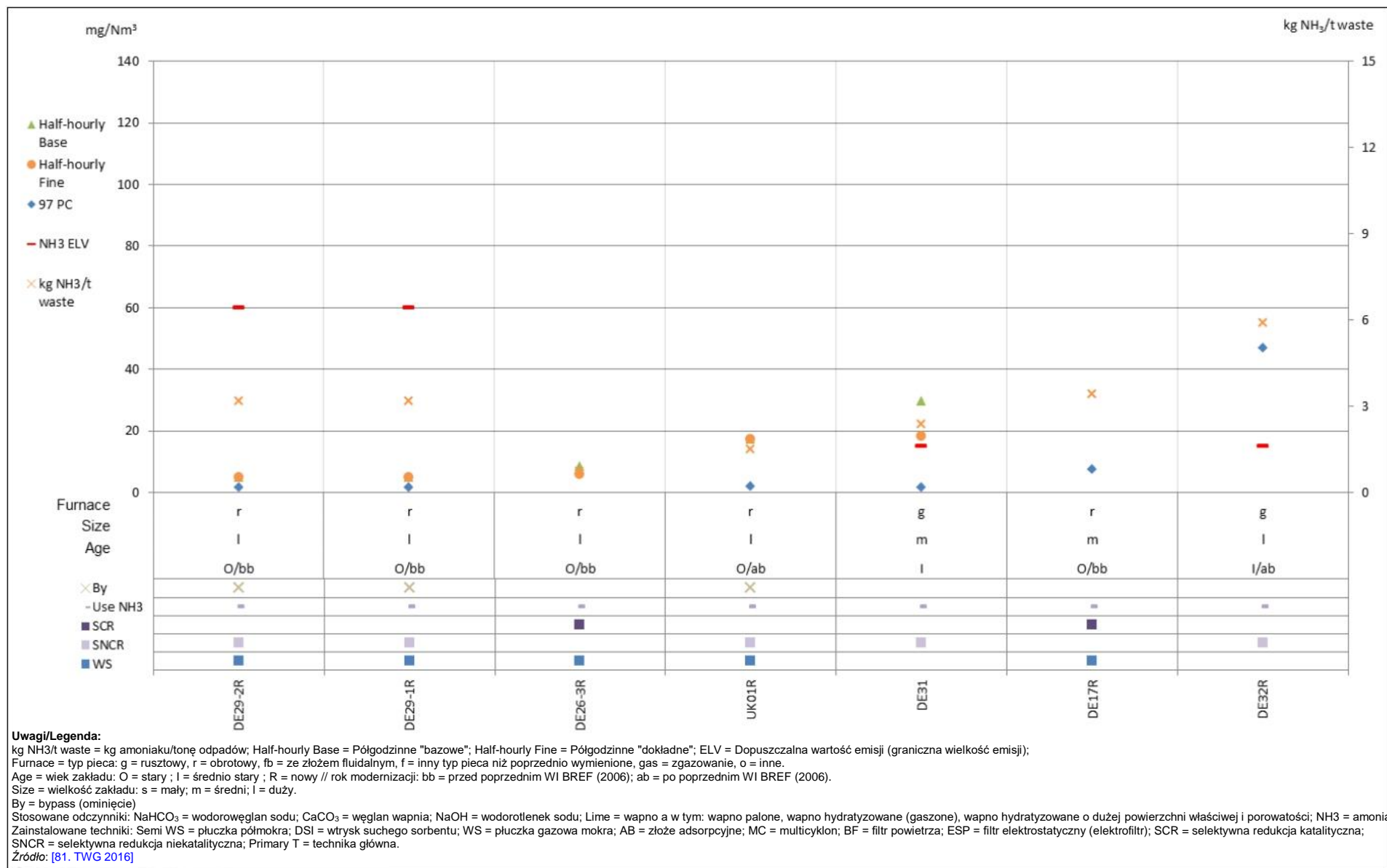
Ilustracja 8.98 Półgodzinne średnie poziomy emisji SO₂ do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie HW.



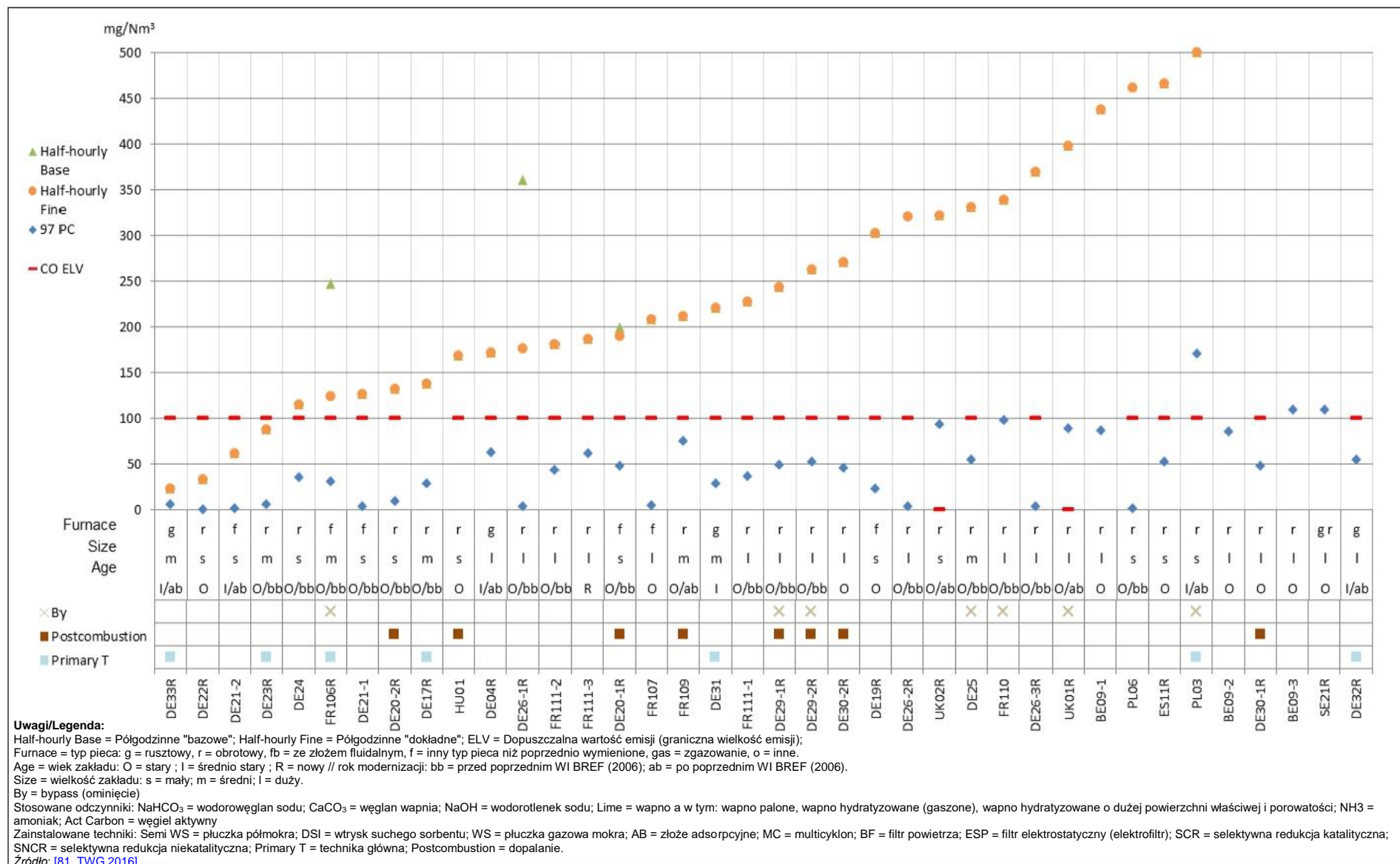
Ilustracja 8.99 Półgodzinne średnie poziomy emisji pyłu do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające główne HW.



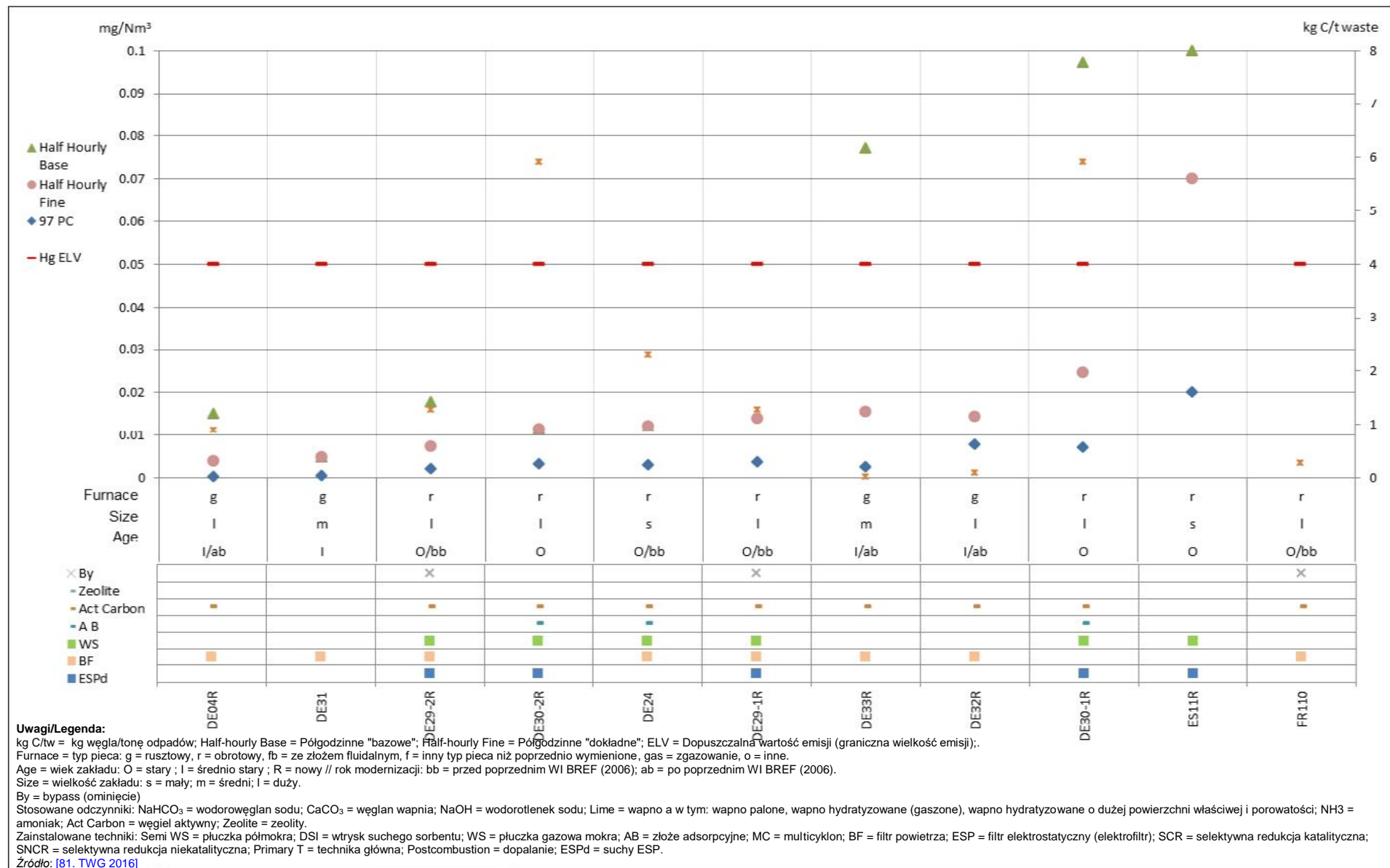
Ilustracja 8.100 Półgodzinne średnie poziomy emisji NO_x do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie HW.



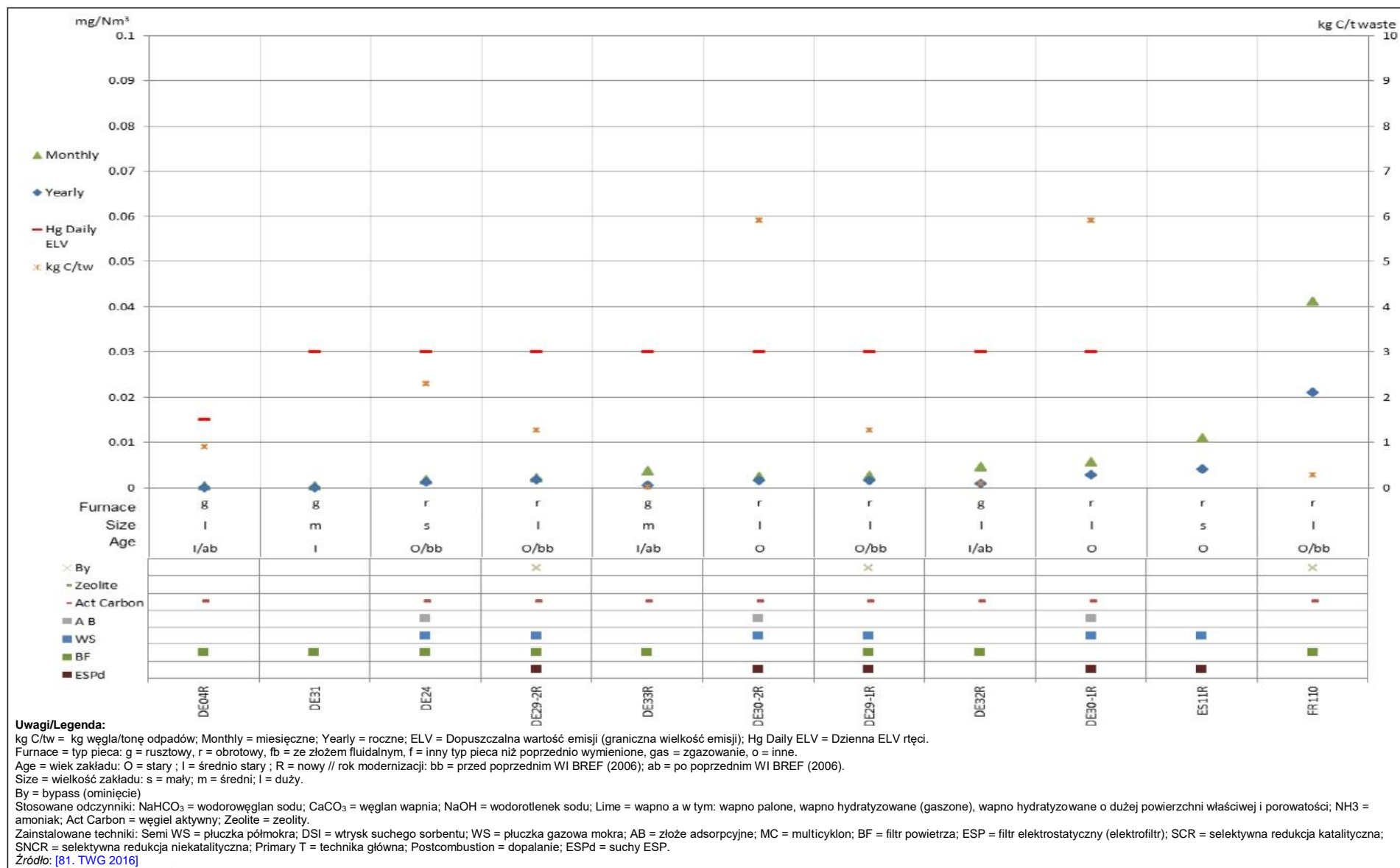
Ilustracja 8.101 Półgodzinne średnie poziomy emisji NH₃ do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie HW.



Ilustracja 8.103 Półgodzinne średnie poziomy emisji CO do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie HW.

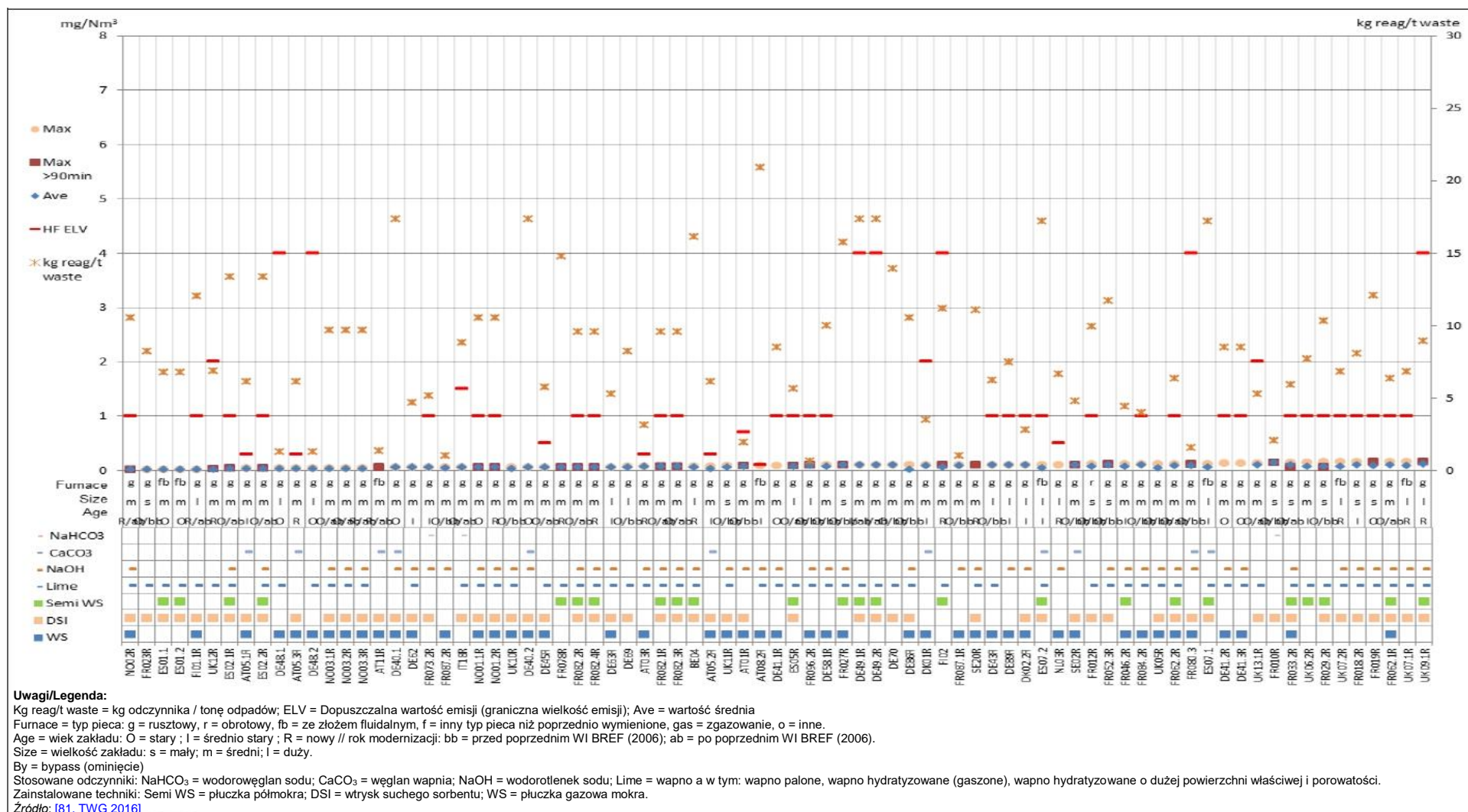


Ilustracja 8.104 Półgodzinne średnie poziomy emisji Hg do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające główne HW.

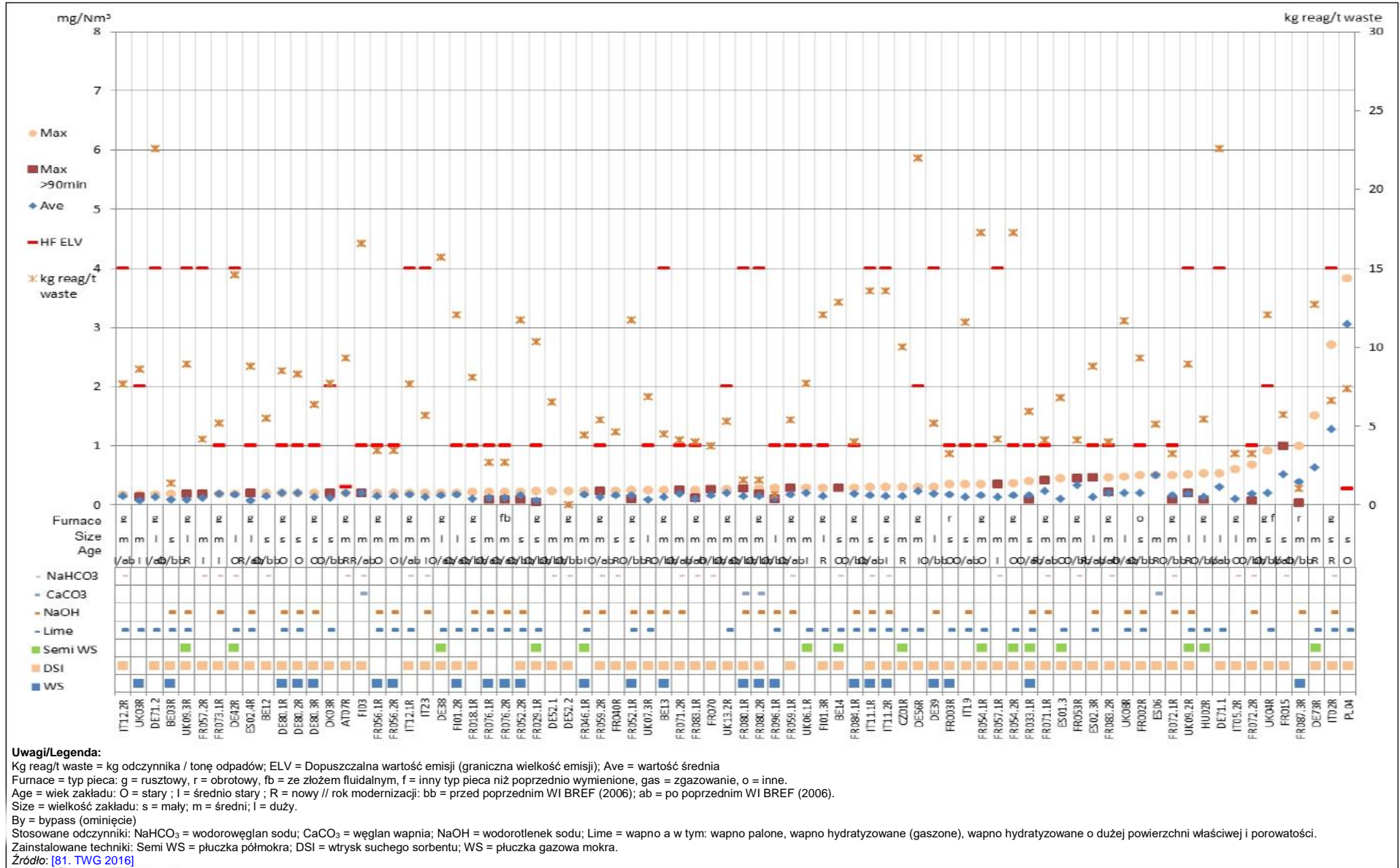


Ilustracja 8.105 Miesięczne średnie poziomy emisji Hg do powietrza dla monitoringu ciągłego prowadzonego przez linie referencyjne spalające głównie HW.

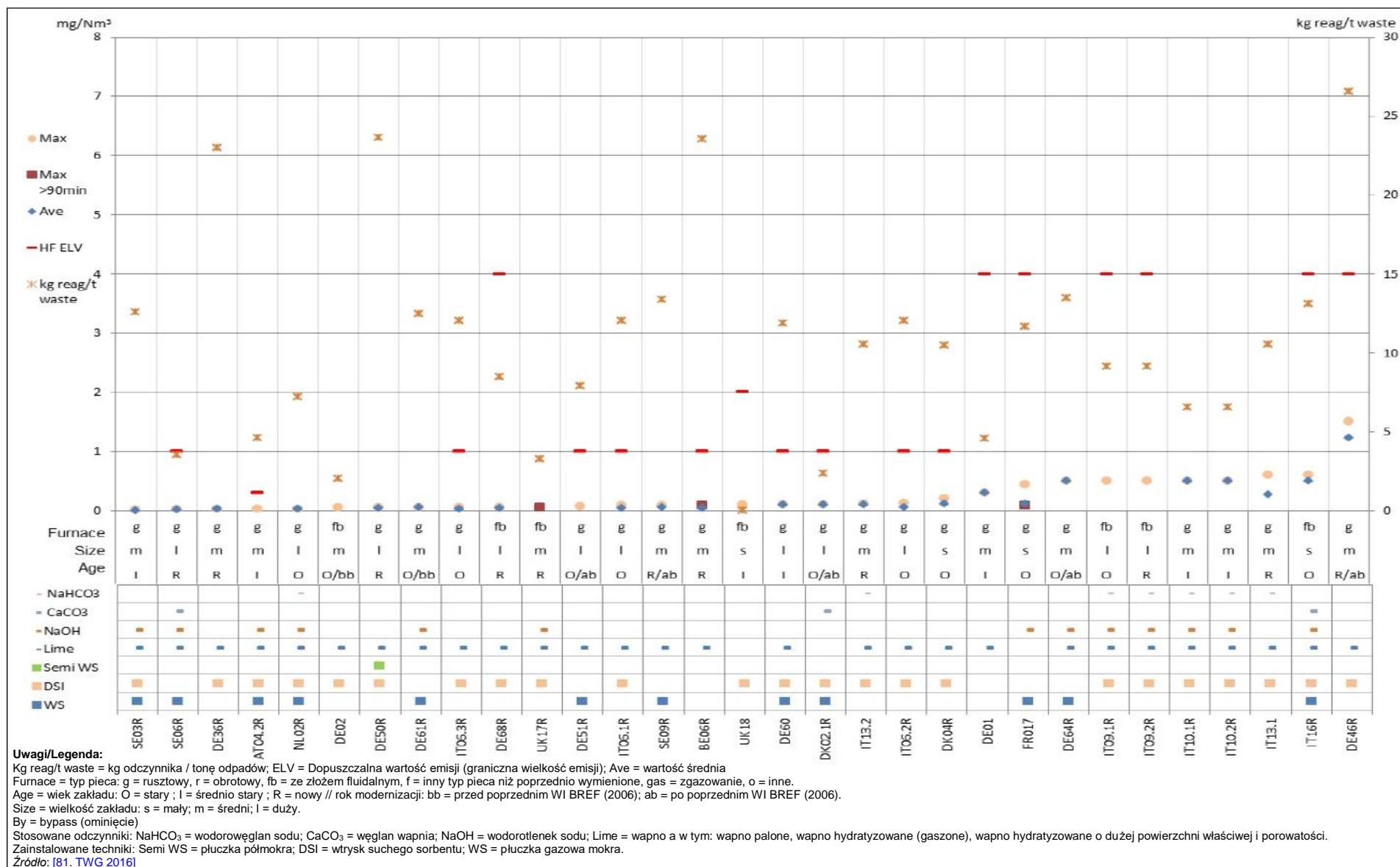
8.8 Poziomy emisji osiągnęte przez spalarnie odpadów zgłaszające, w ramach gromadzenia danych za rok 2016, monitoring okresowy - wykresy szczegółowe



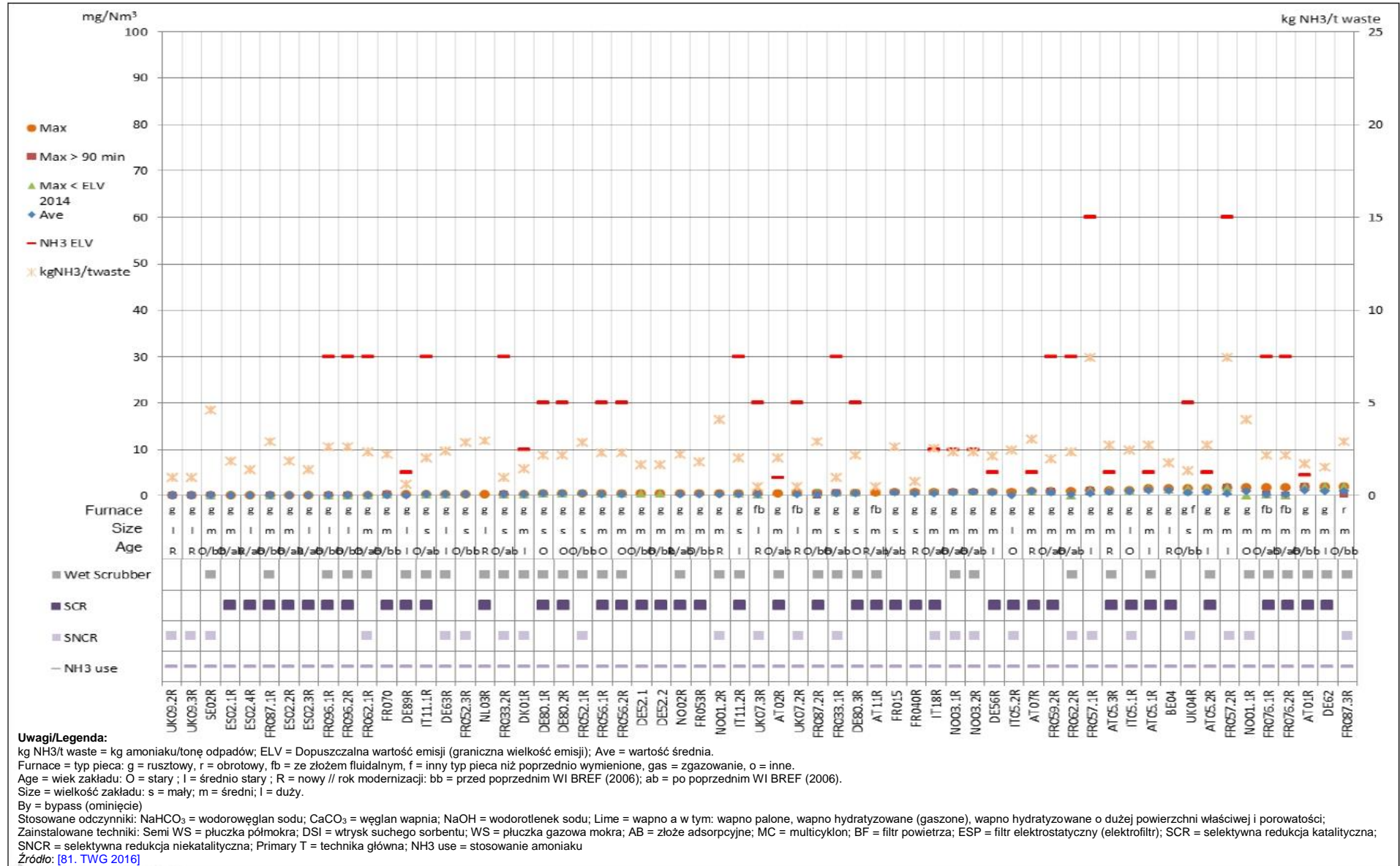
Ilustracja 8.106 Okresowy monitoring emisji HF do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie stałe odpady komunalne MSW (1/2).

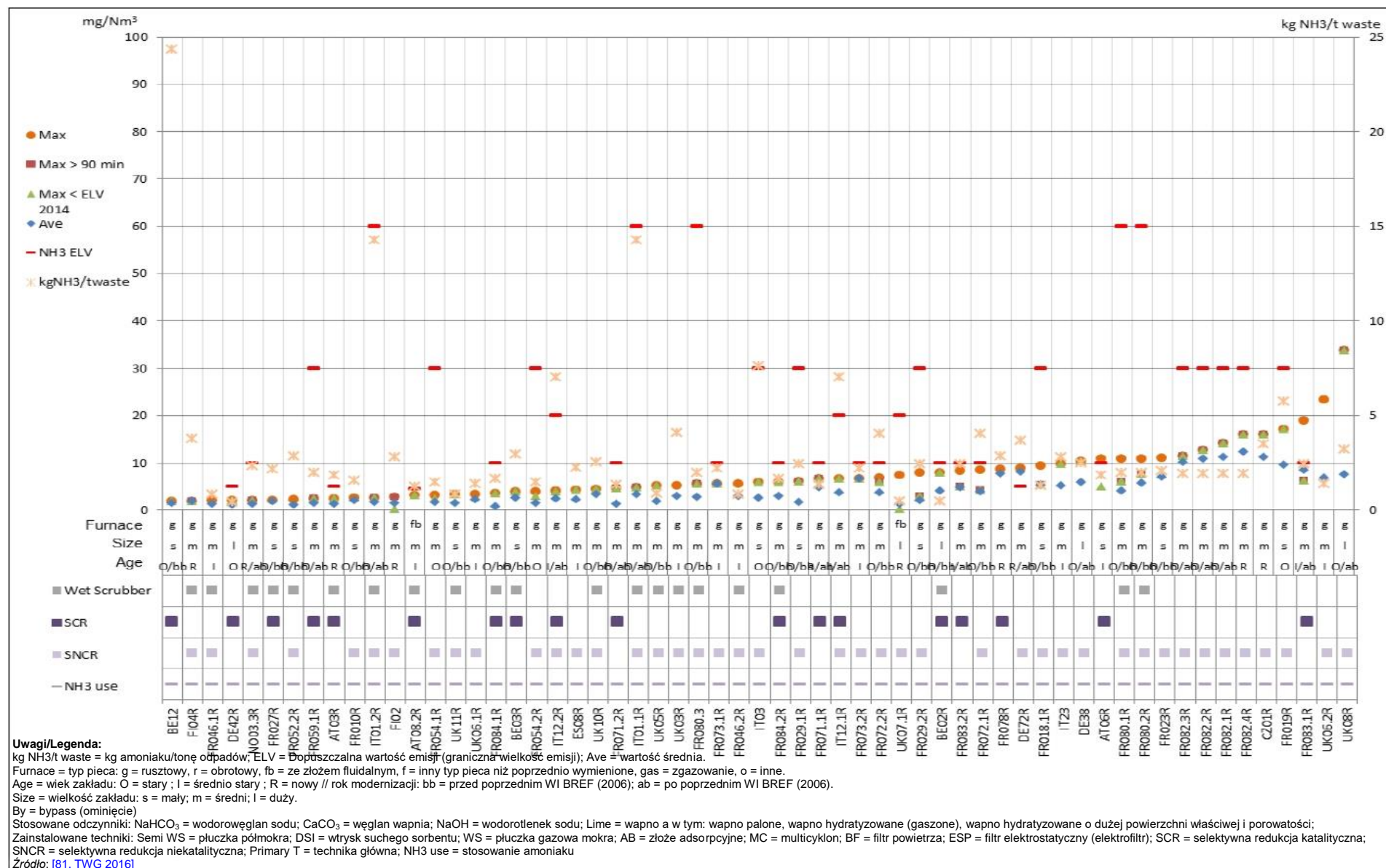


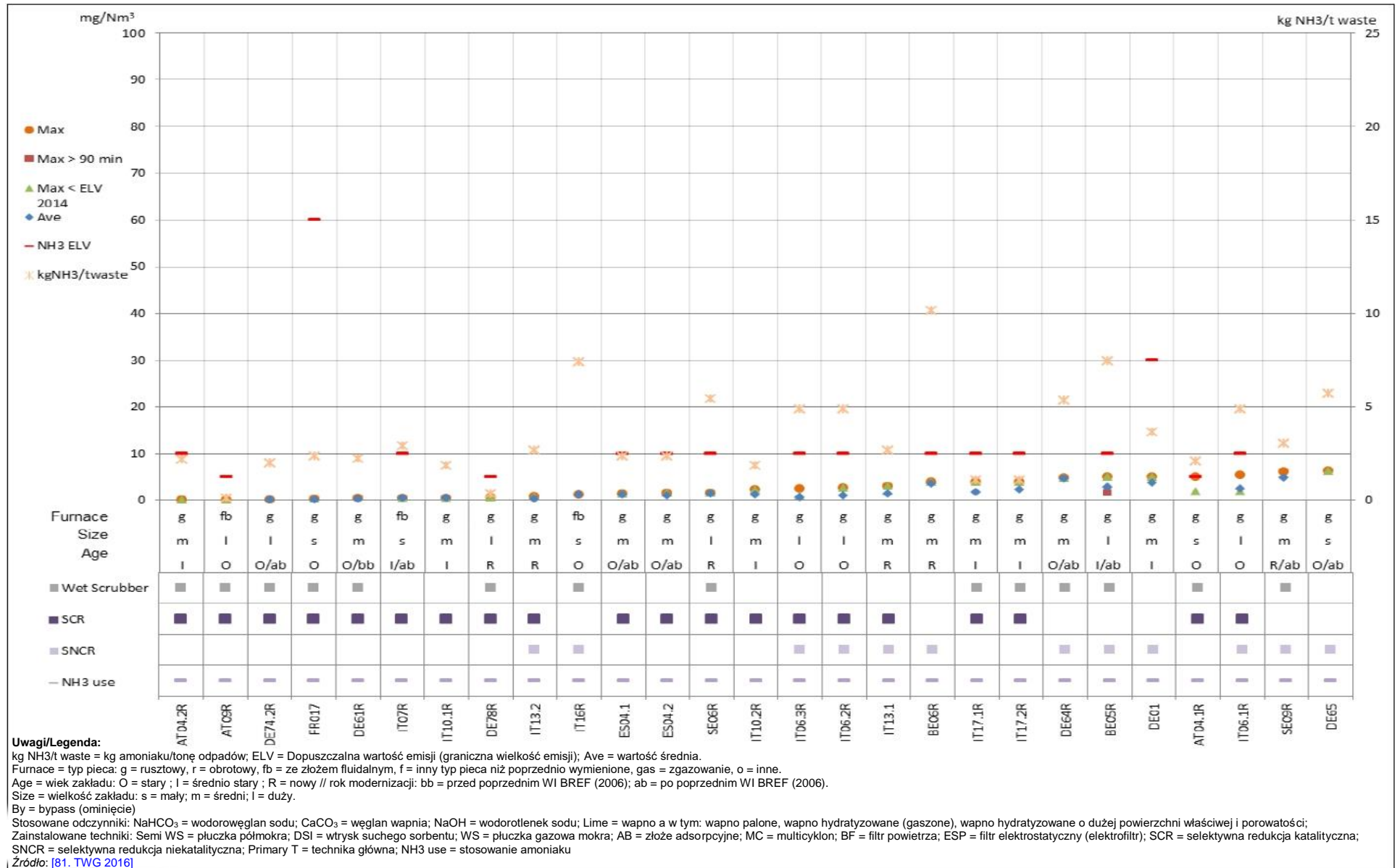
Ilustracja 8.107 Okresowy monitoring emisji HF do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW (2/2).



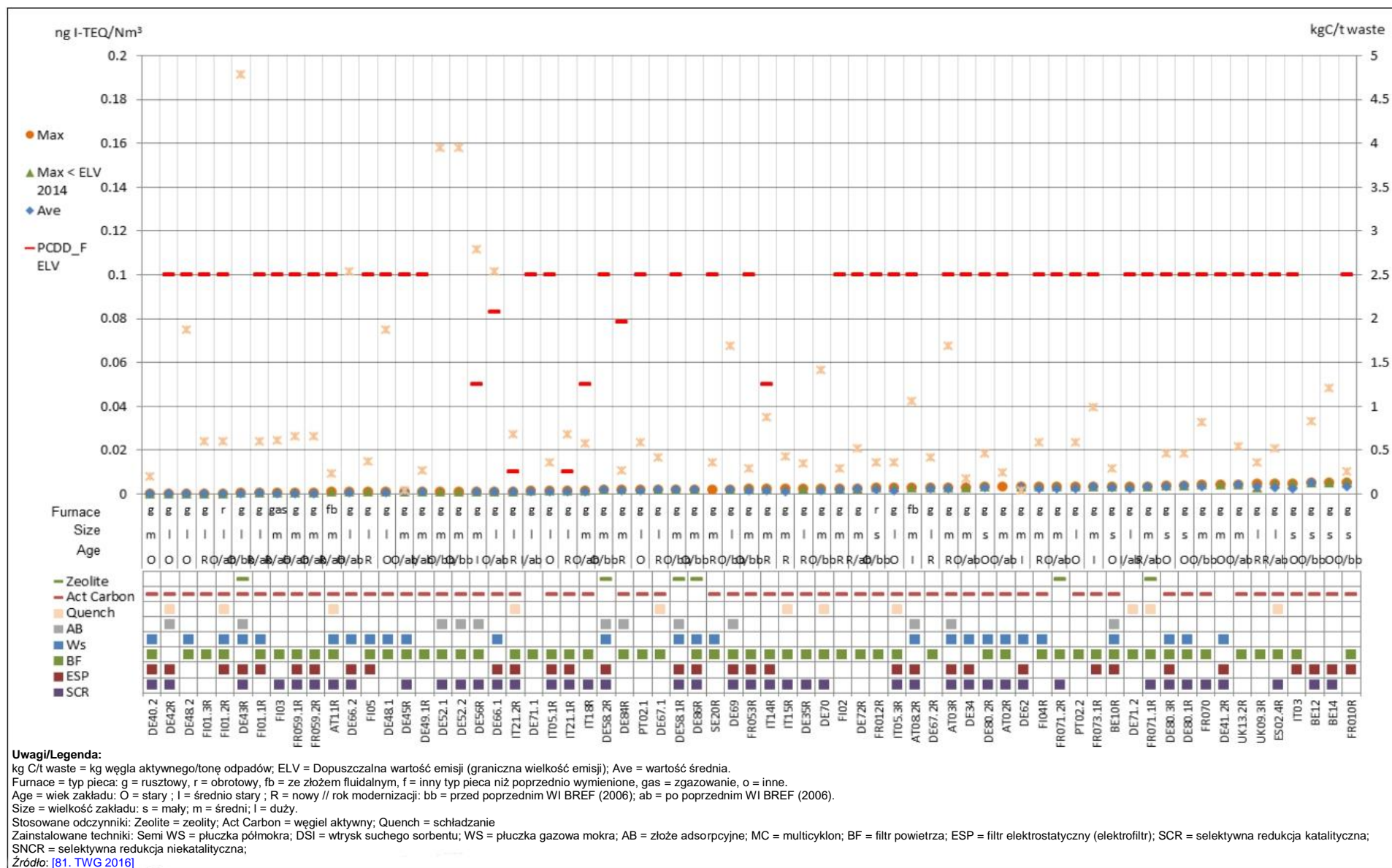
Ilustracja 8.108 Okresowy monitoring emisji HF do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie odpady inne niż niebezpieczne (ONHW).

Ilustracja 8.109 Okresowy monitoring emisji NH₃ do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW (1/2).

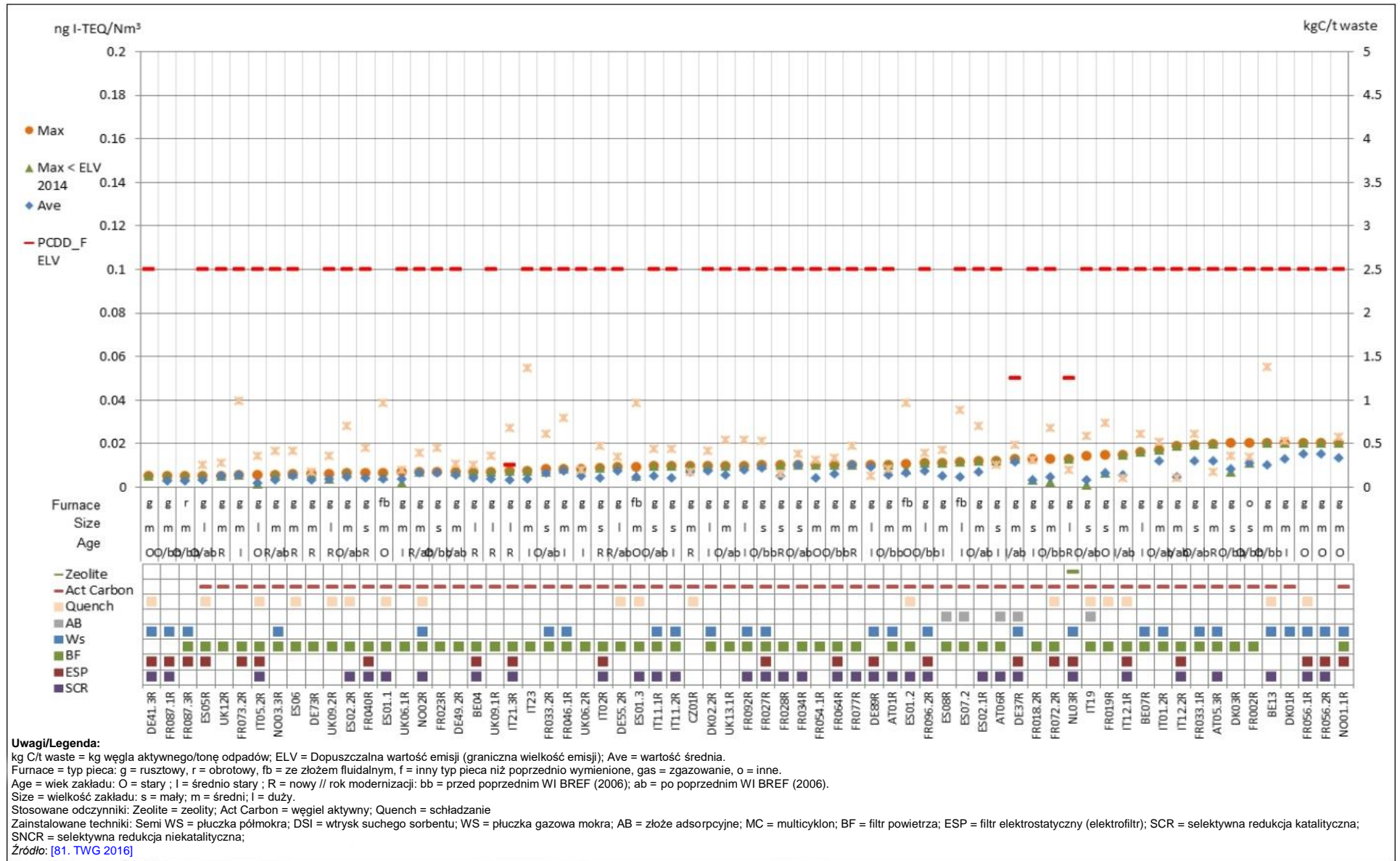
Ilustracja 8.110 Okresowy monitoring emisji NH₃ do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW (2/2).



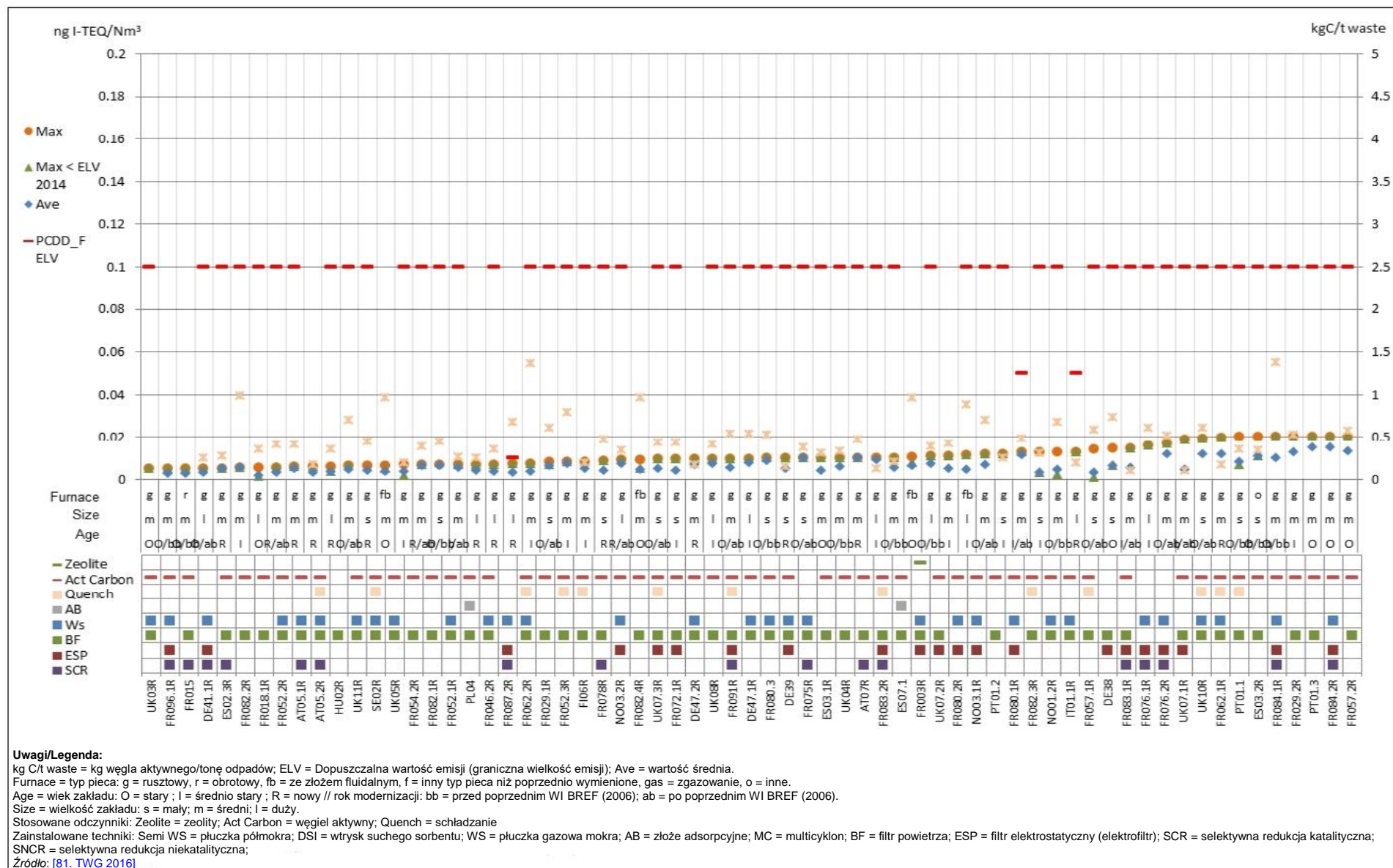
Ilustracja 8.111 Okresowy monitoring emisji NH₃ do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie ONHW.



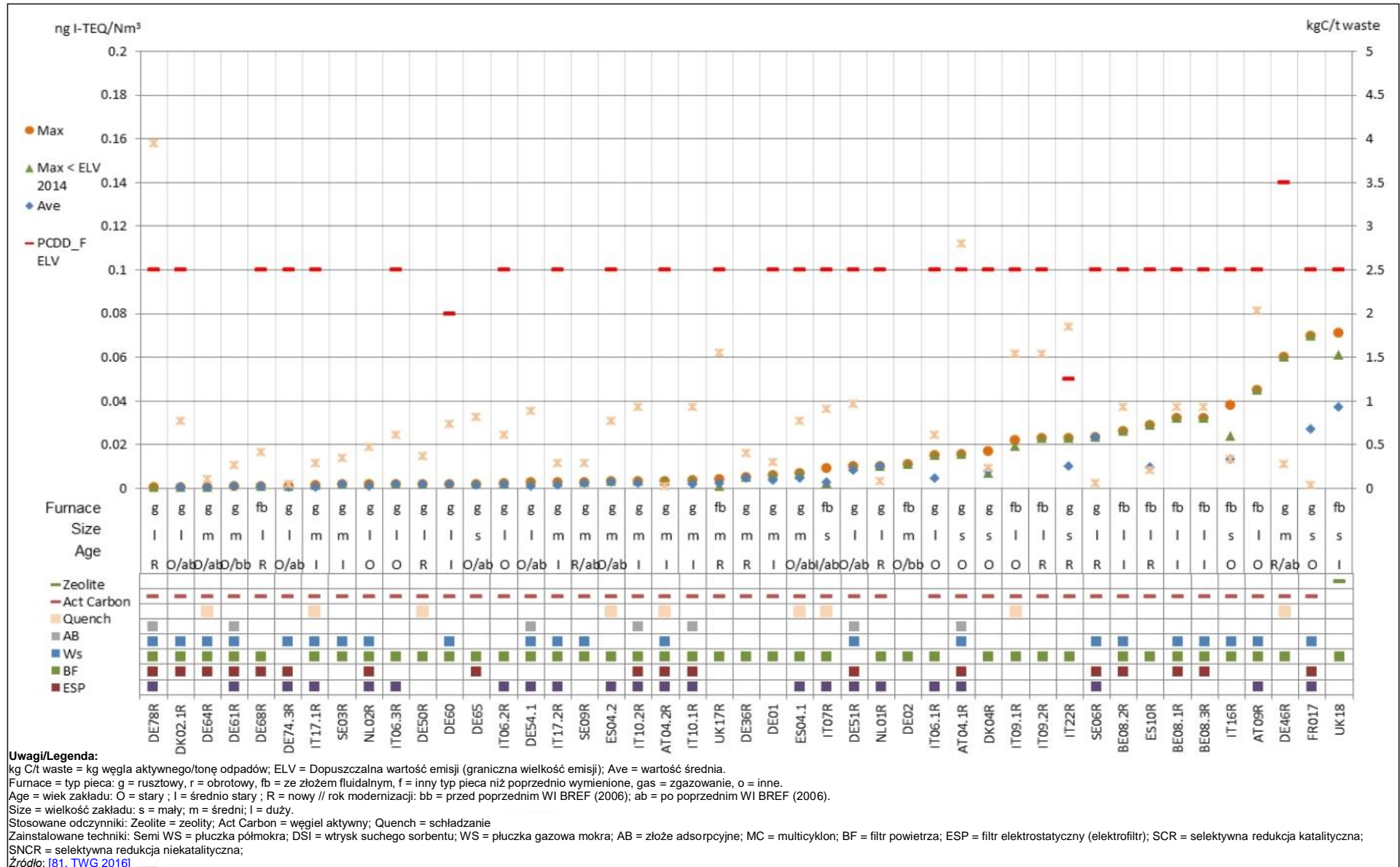
Ilustracja 8.112 Okresowy monitoring emisji PCDD/F do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW (1/3).



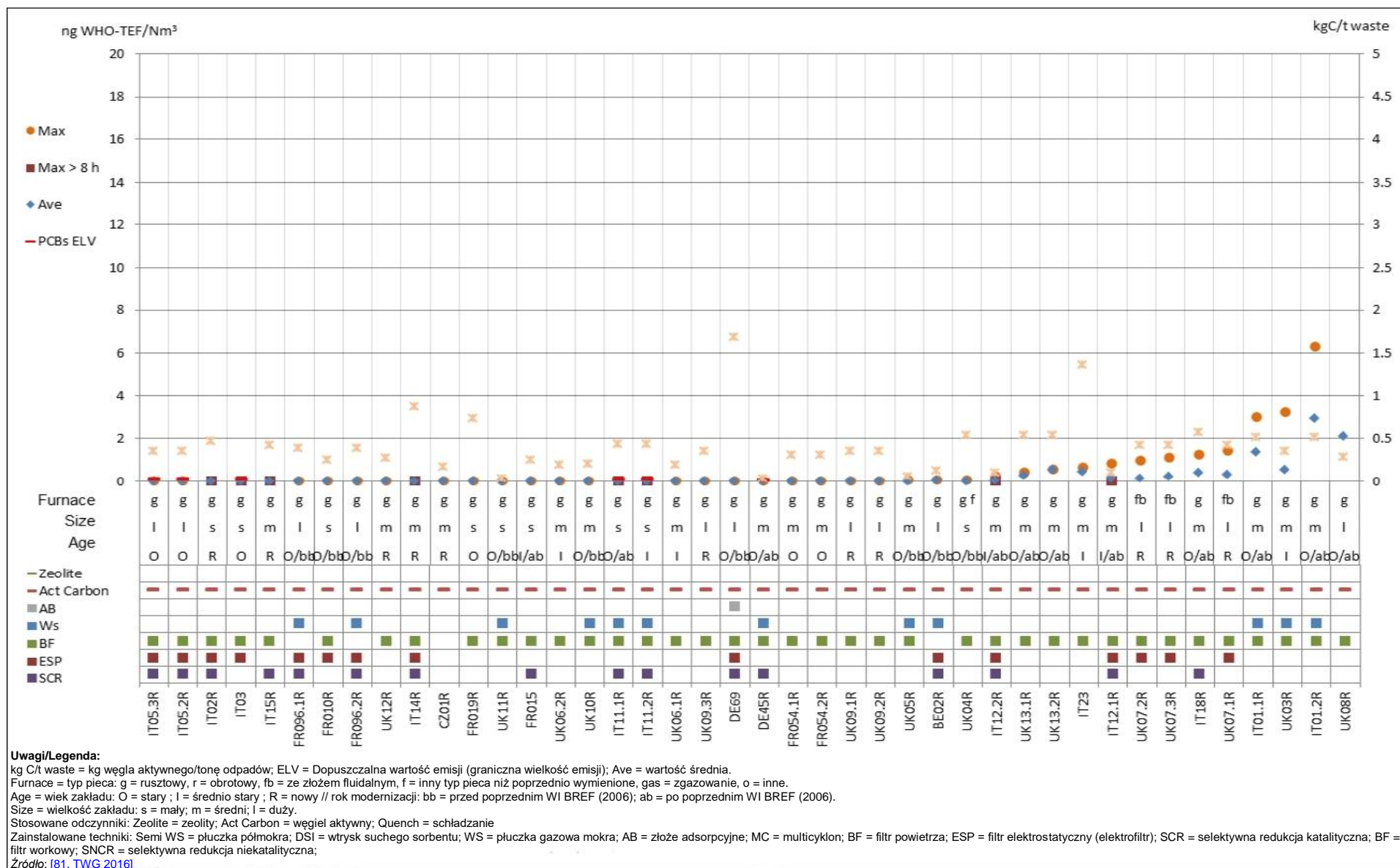
Ilustracja 8.113 Okresowy monitoring emisji PCDD/F do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW (2/3).



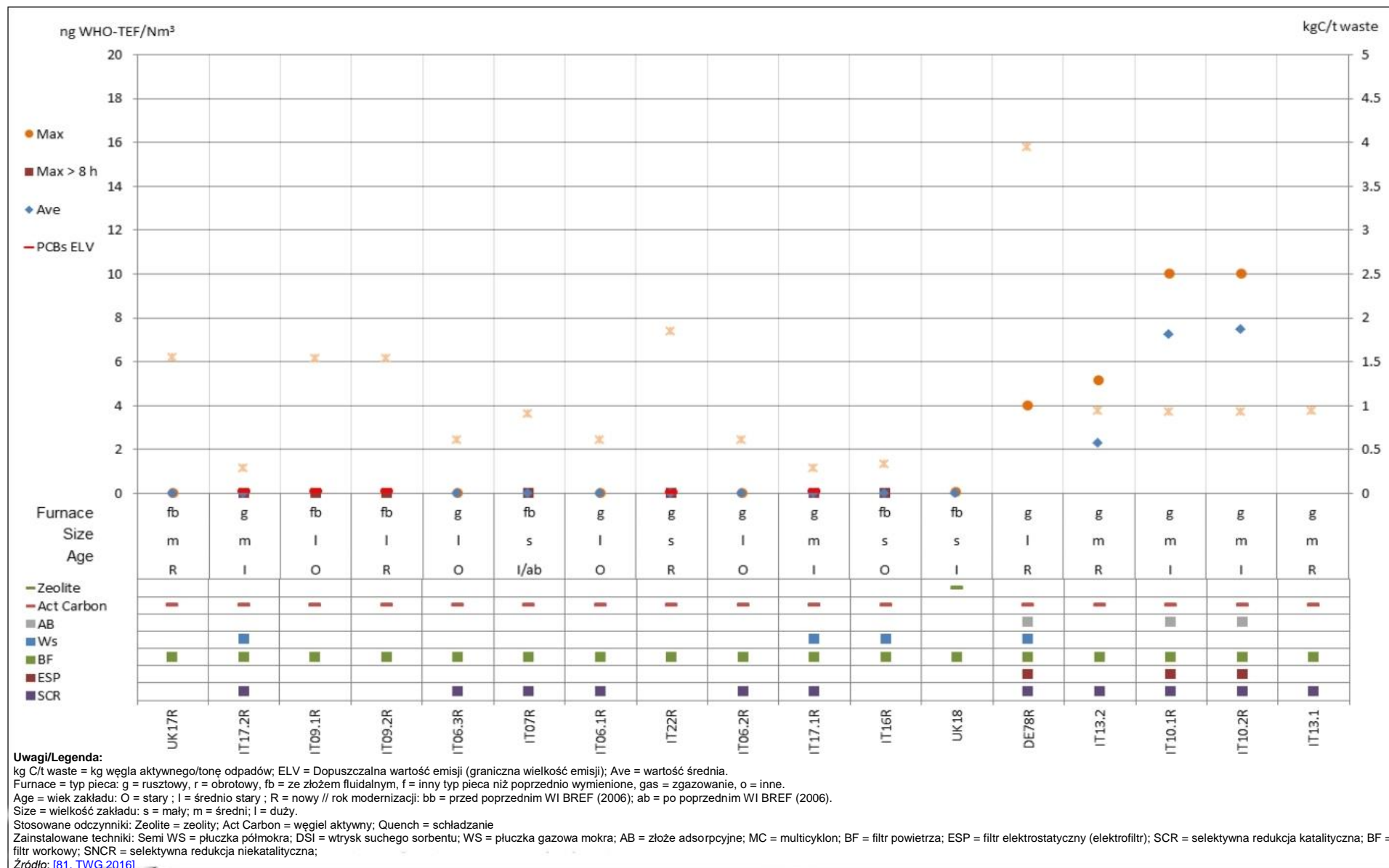
Ilustracja 8.114 Okresowy monitoring emisji PCDD/F do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW (3/3).



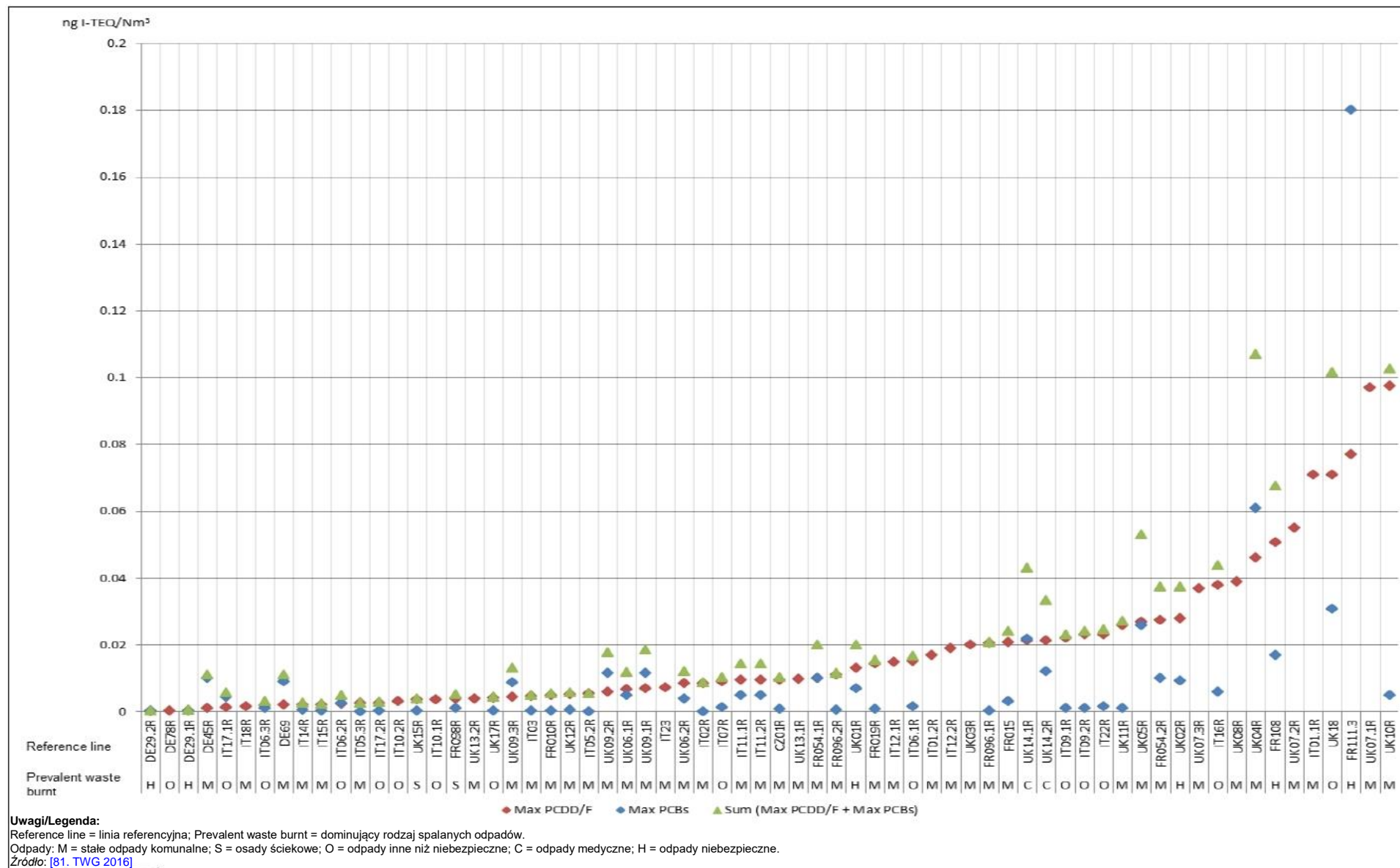
Ilustracja 8.115 Okresowy monitoring emisji PCDD/F do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie ONHW.



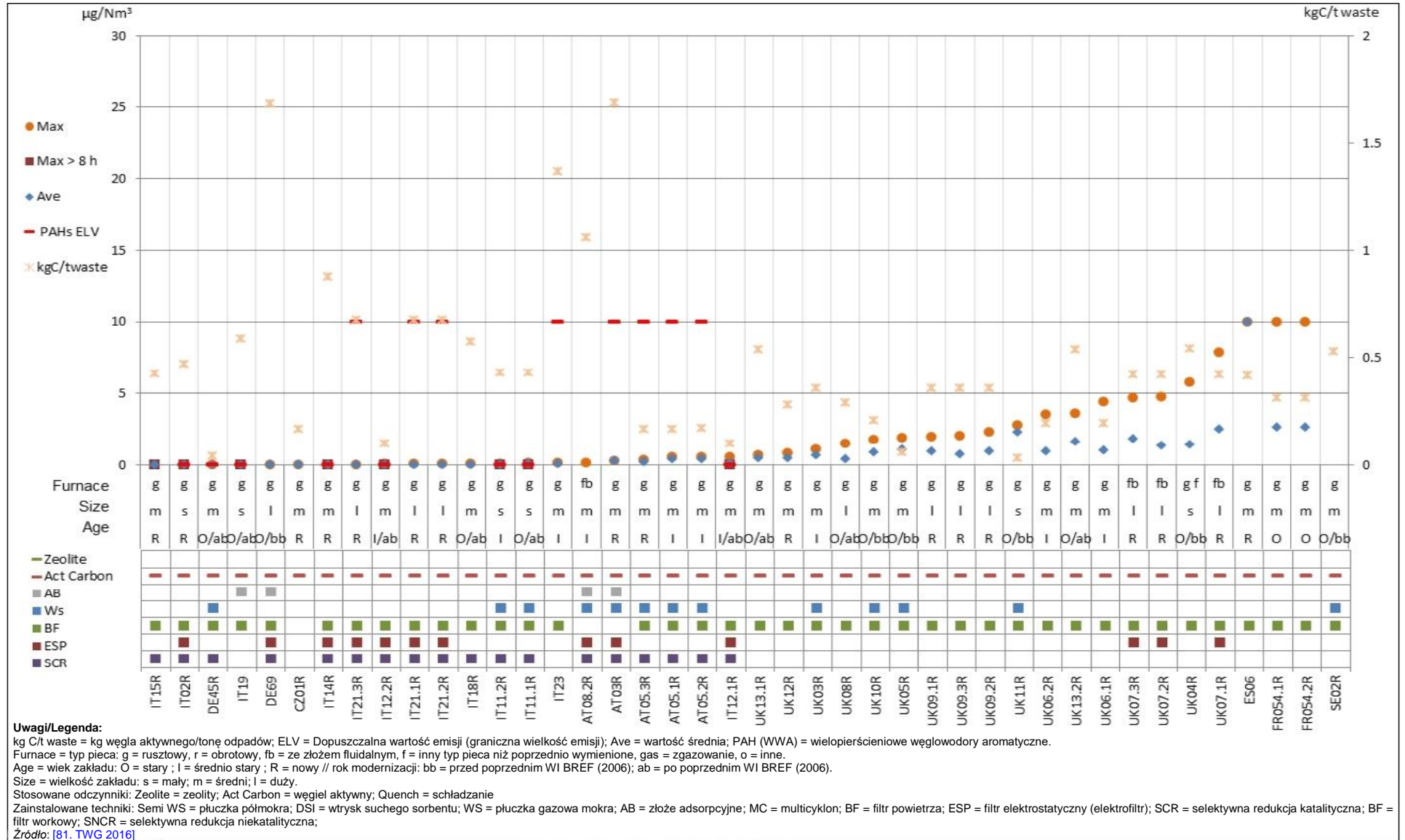
Ilustracja 8.116 Okresowy monitoring emisji dioksynopodobnych PCB do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW.



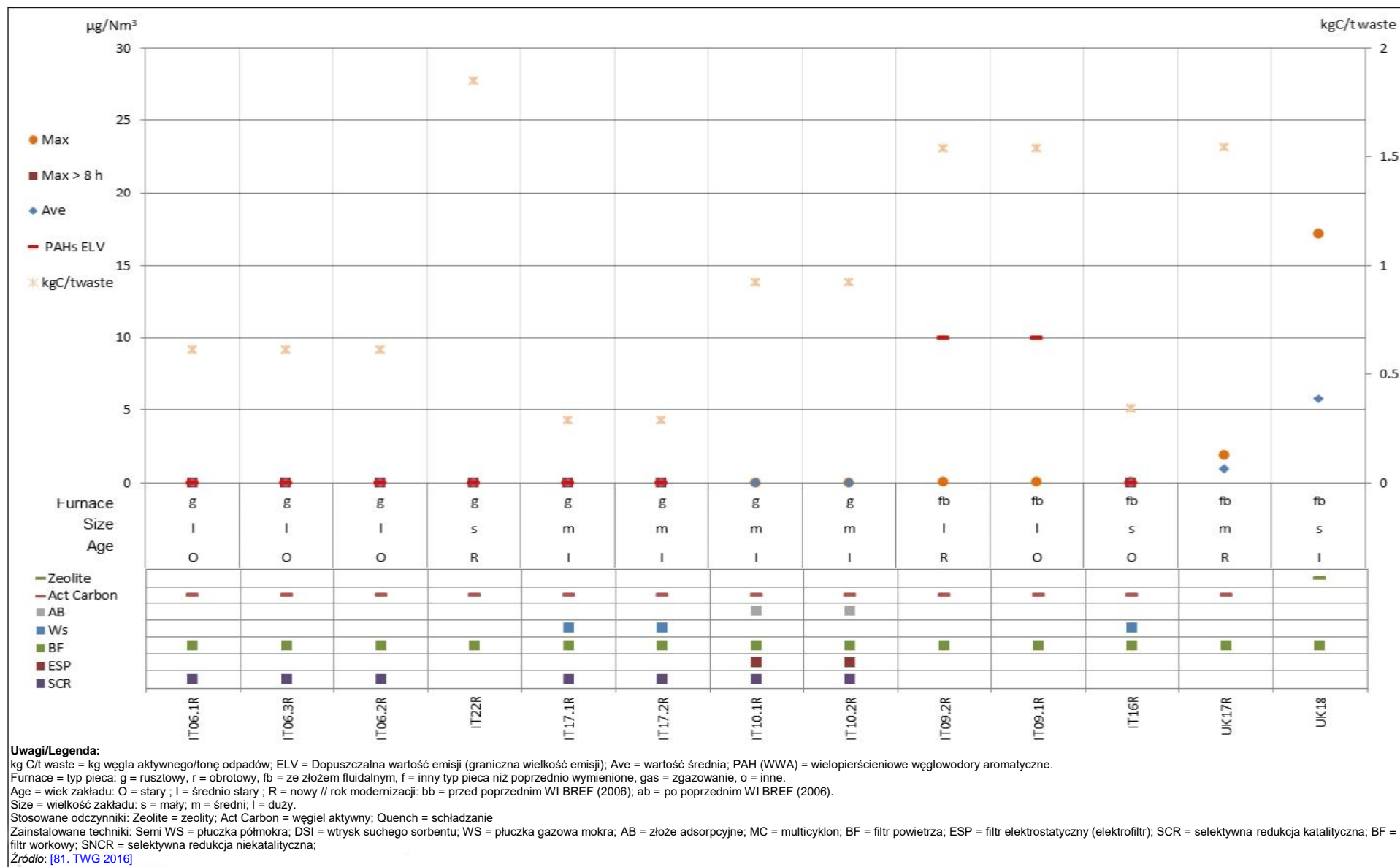
Ilustracja 8.117 Okresowy monitoring emisji dioksynopodobnych PCB do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie ONHW.



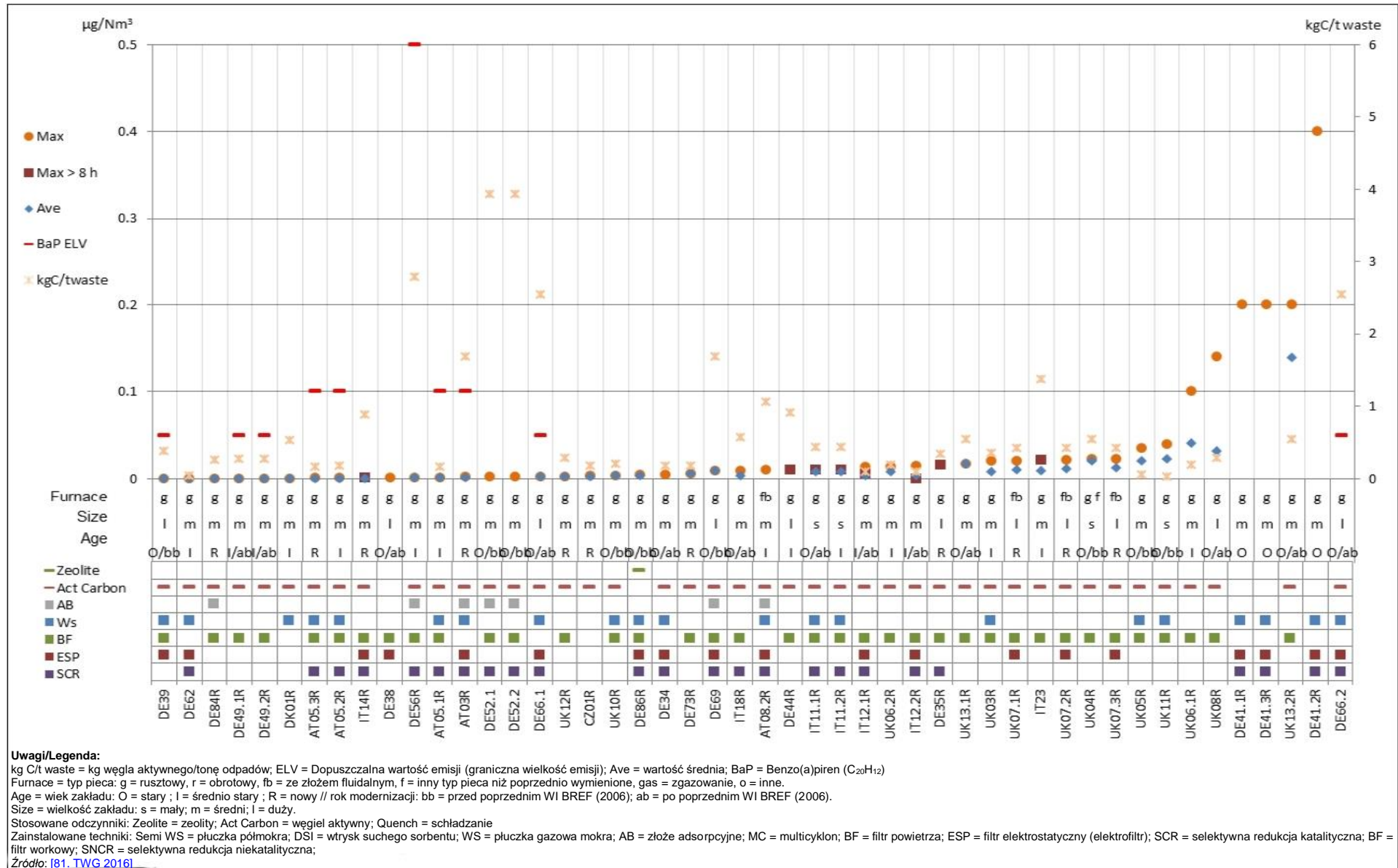
Ilustracja 8.118 Porównanie poziomów emisji do powietrza PCDD/F i dioksynopodobnych PCB zmierzonych w tej samej próbce



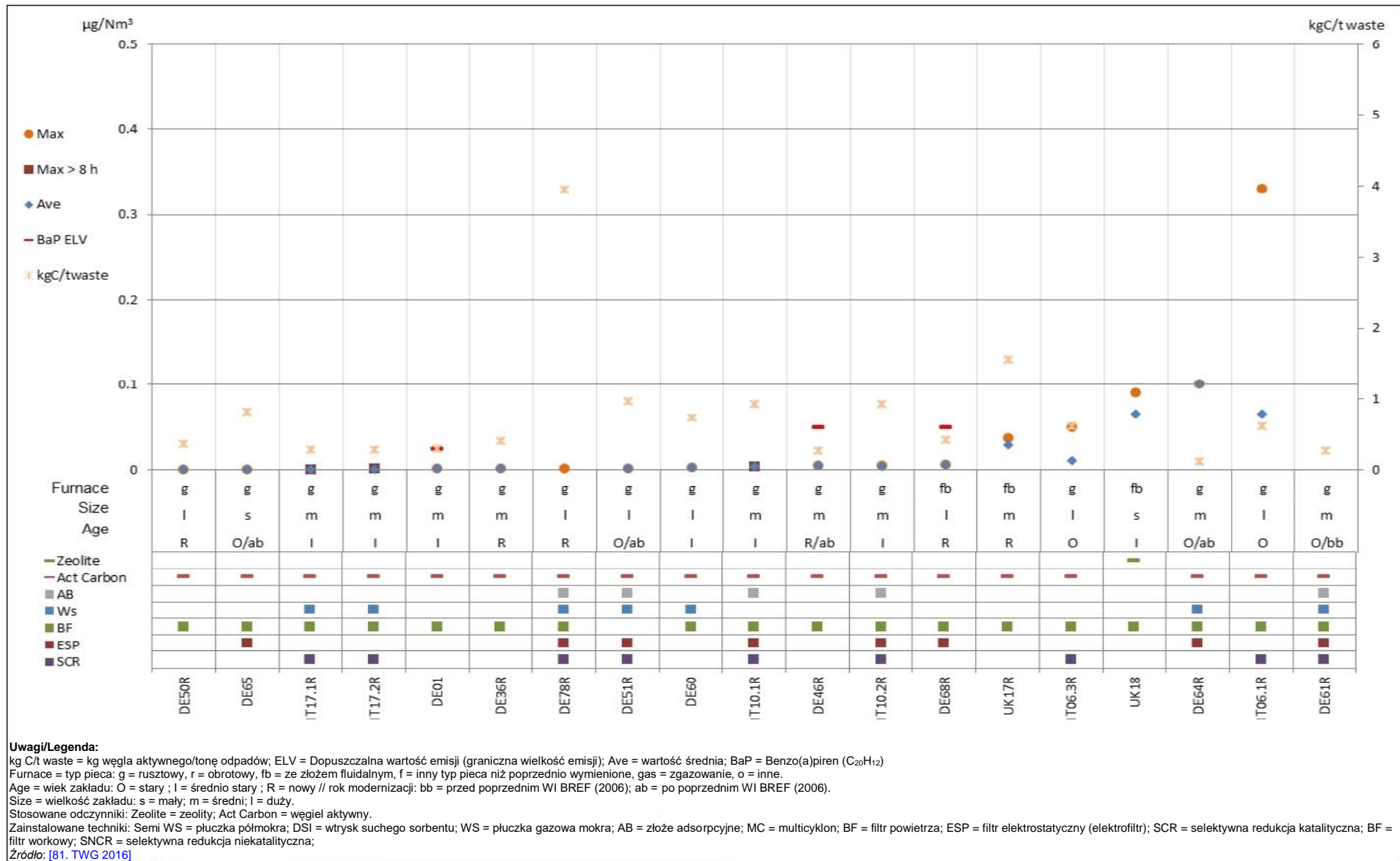
Ilustracja 8.119 Okresowy monitoring emisji PAH do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW.



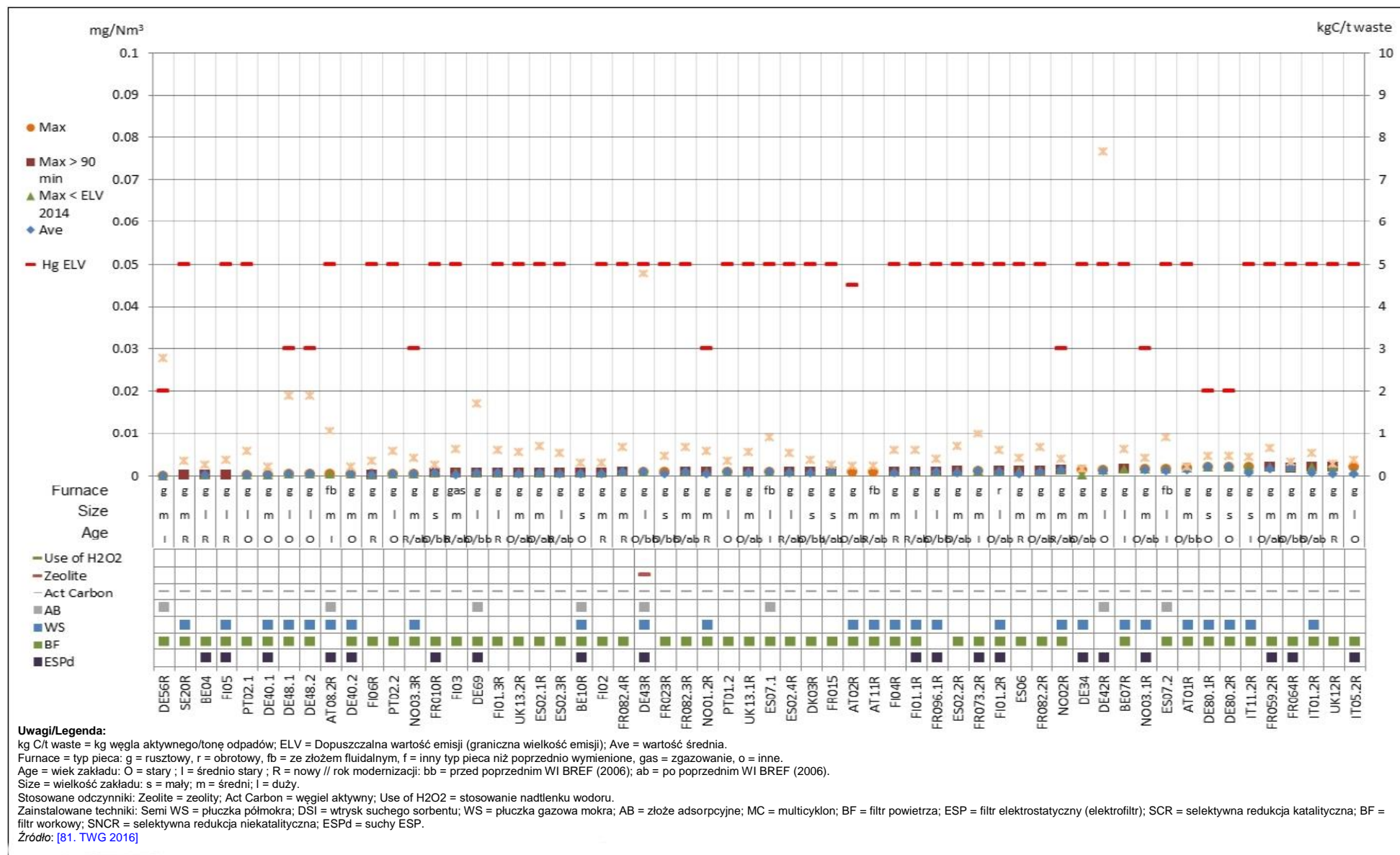
Ilustracja 8.120 Okresowy monitoring emisji PAH do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie ONHW.



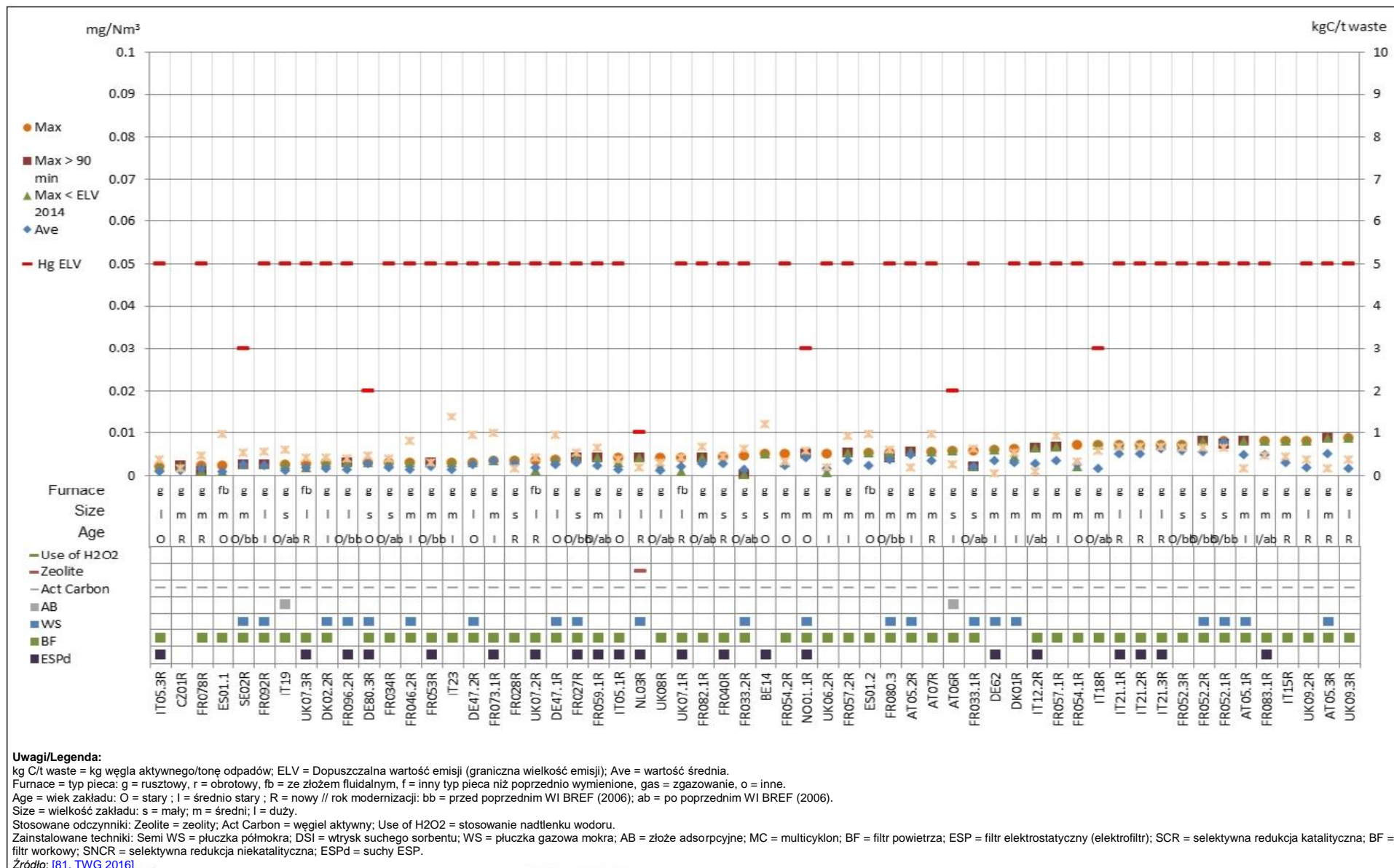
Ilustracja 8.121 Okresowy monitoring emisji BaP do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW.



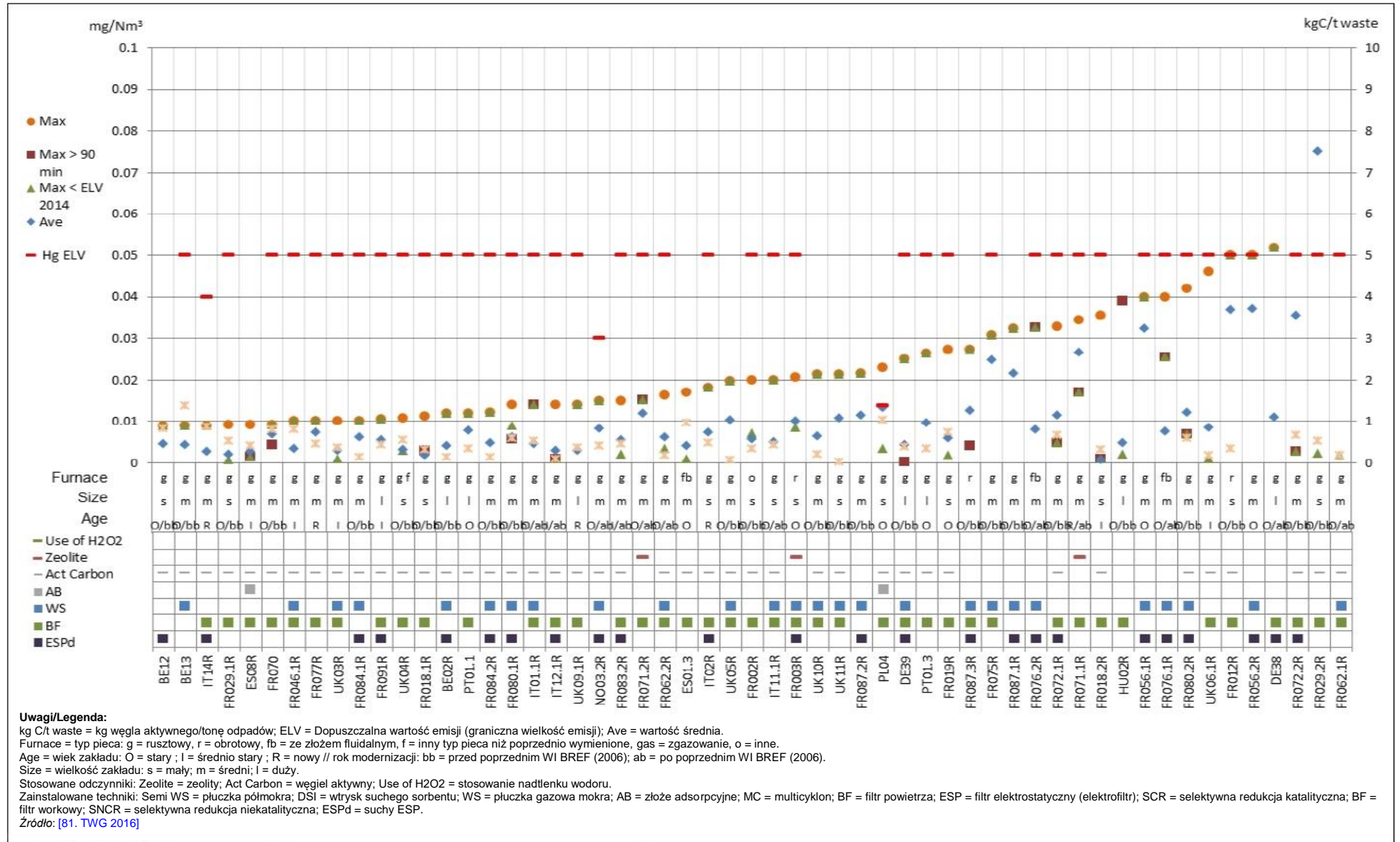
Ilustracja 8.122 Okresowy monitoring emisji BaP do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie ONHW.



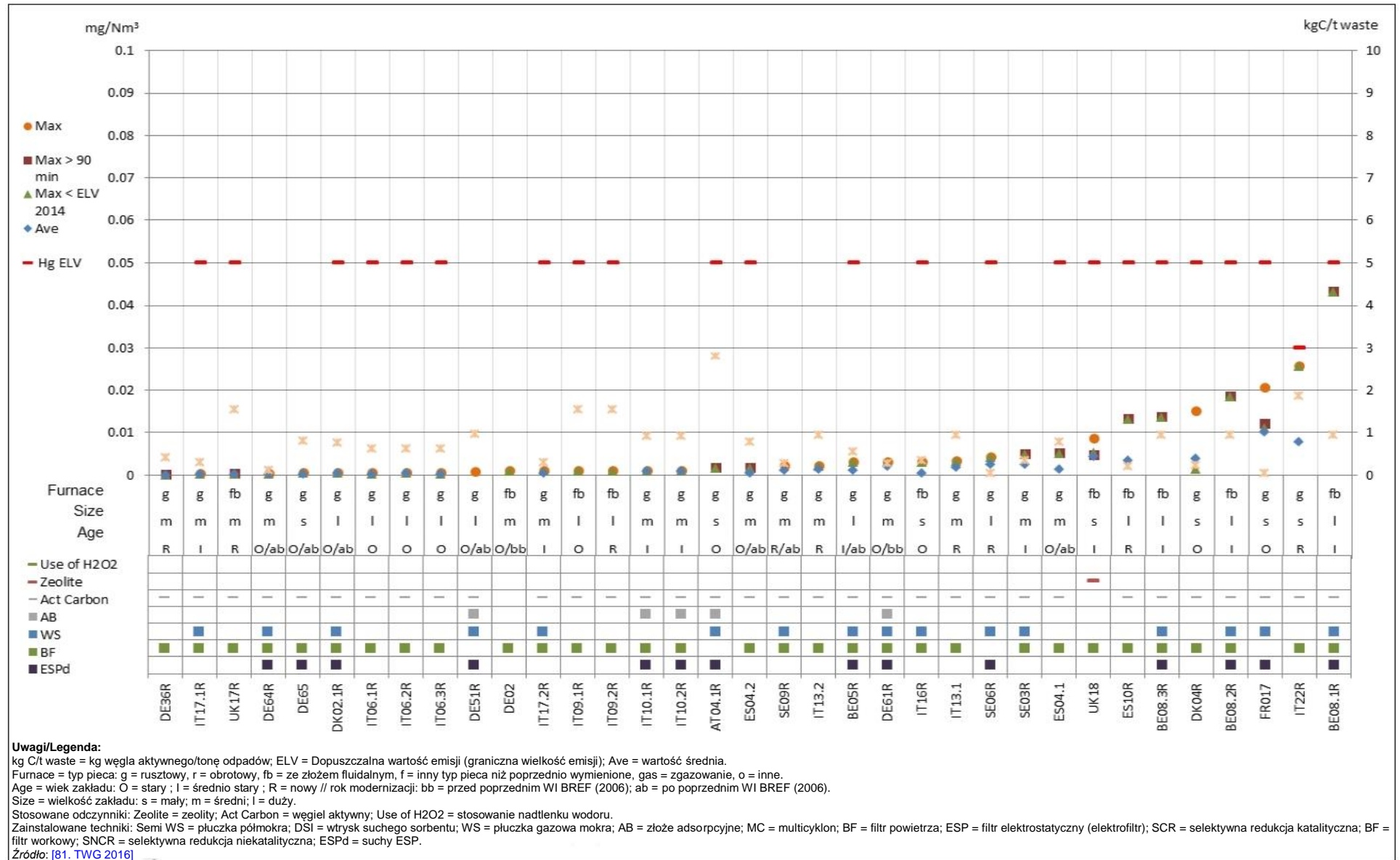
Ilustracja 8.123 Okresowy monitoring emisji Hg do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW (1/3).



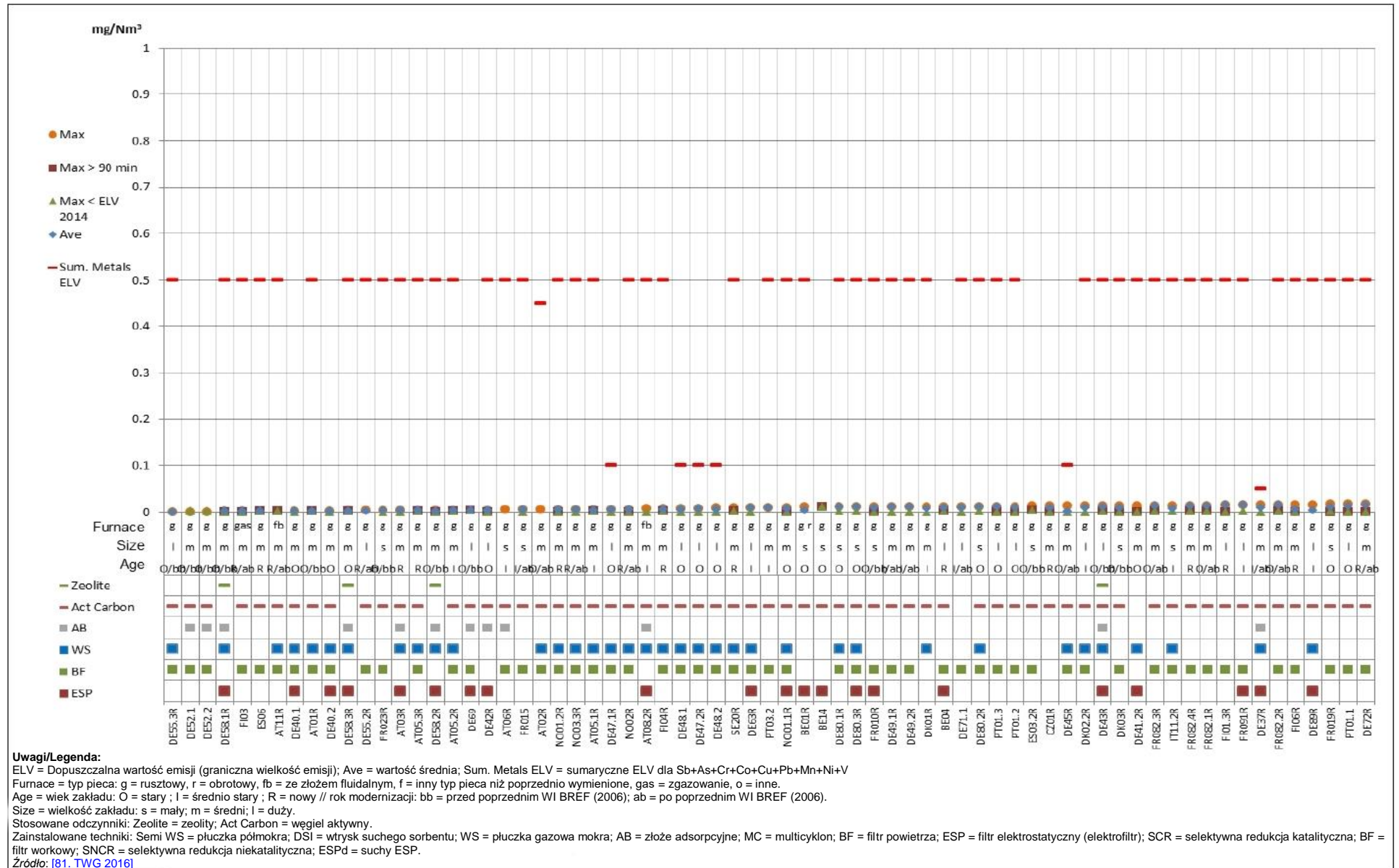
Ilustracja 8.124 Okresowy monitoring emisji Hg do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW (2/3).



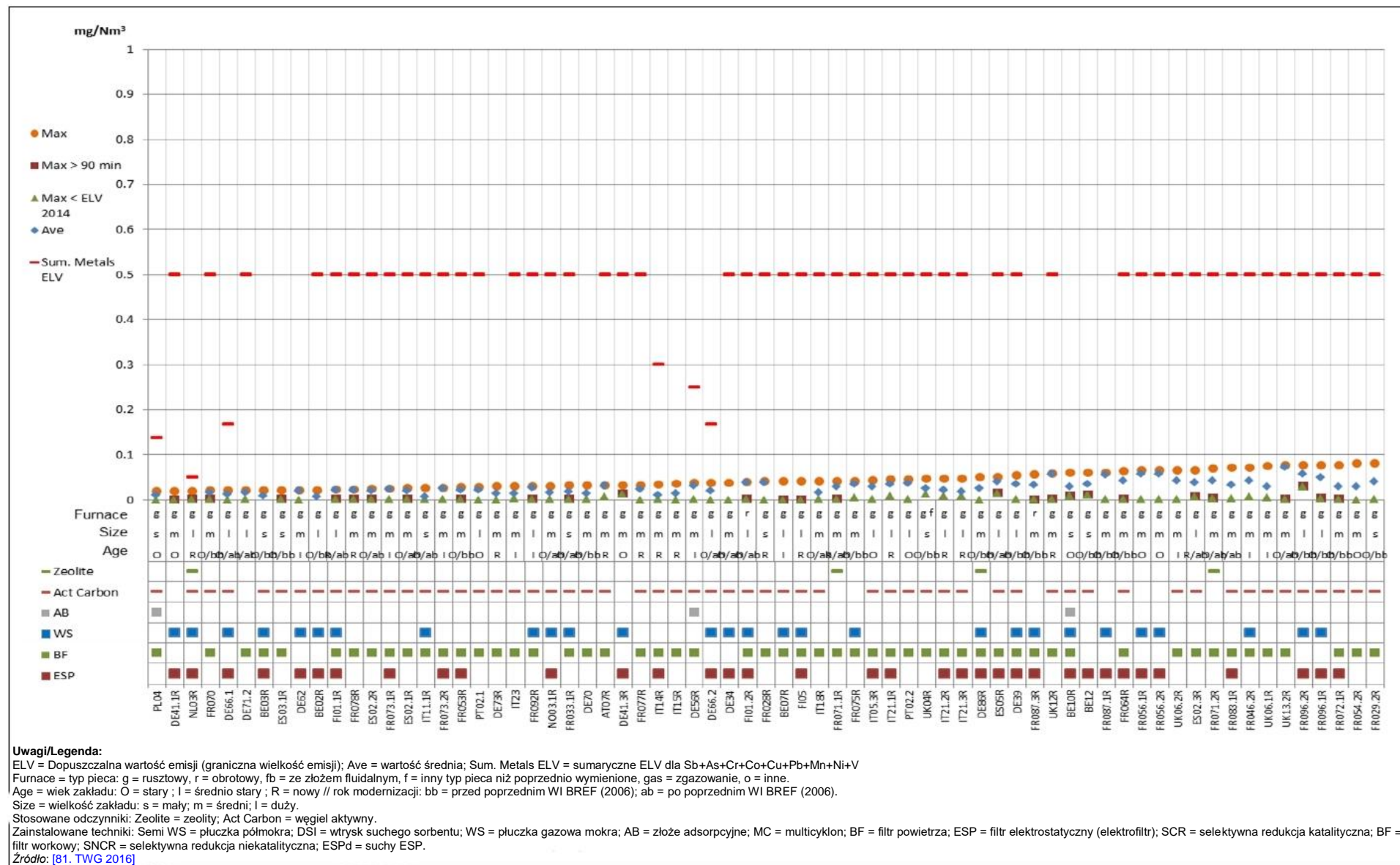
Ilustracja 8.125 Okresowy monitoring emisji Hg do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW (3/3).



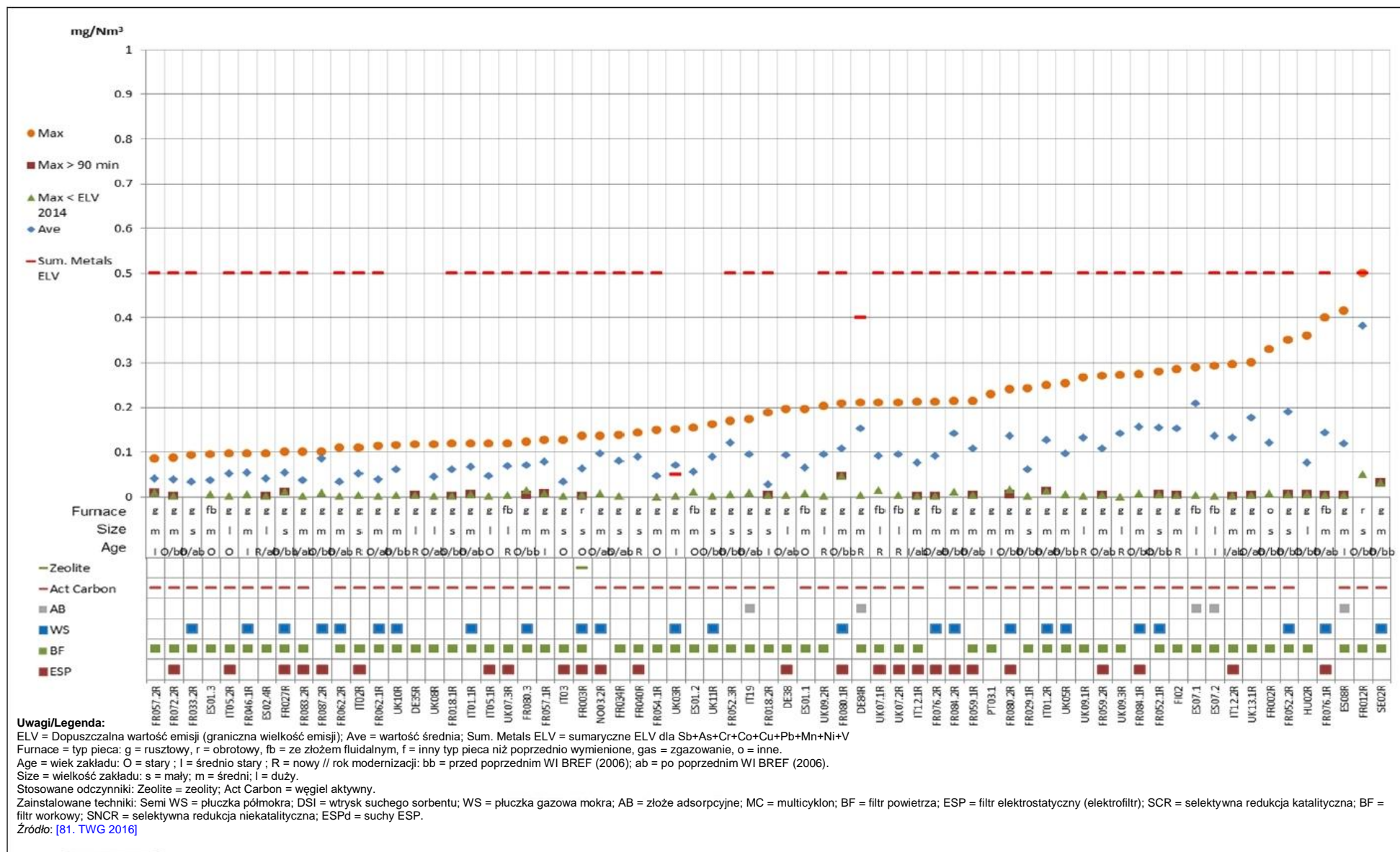
Ilustracja 8.126 Okresowy monitoring emisji Hg do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie ONHW.



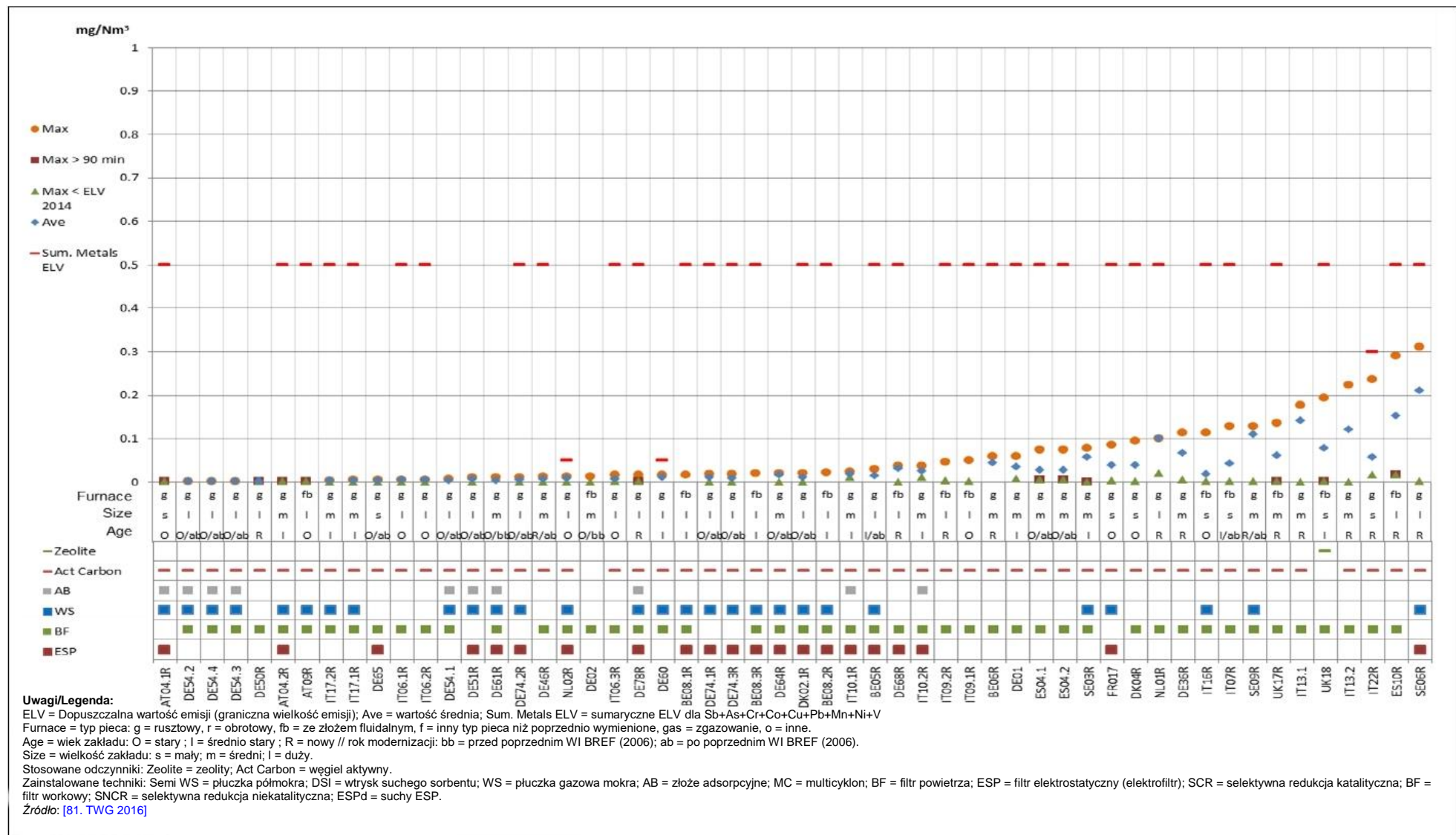
Ilustracja 8.127 Okresowy monitoring emisji Sb+As+Cr+Co+Cu+Pb+Mn+Ni+V do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW (1/3).



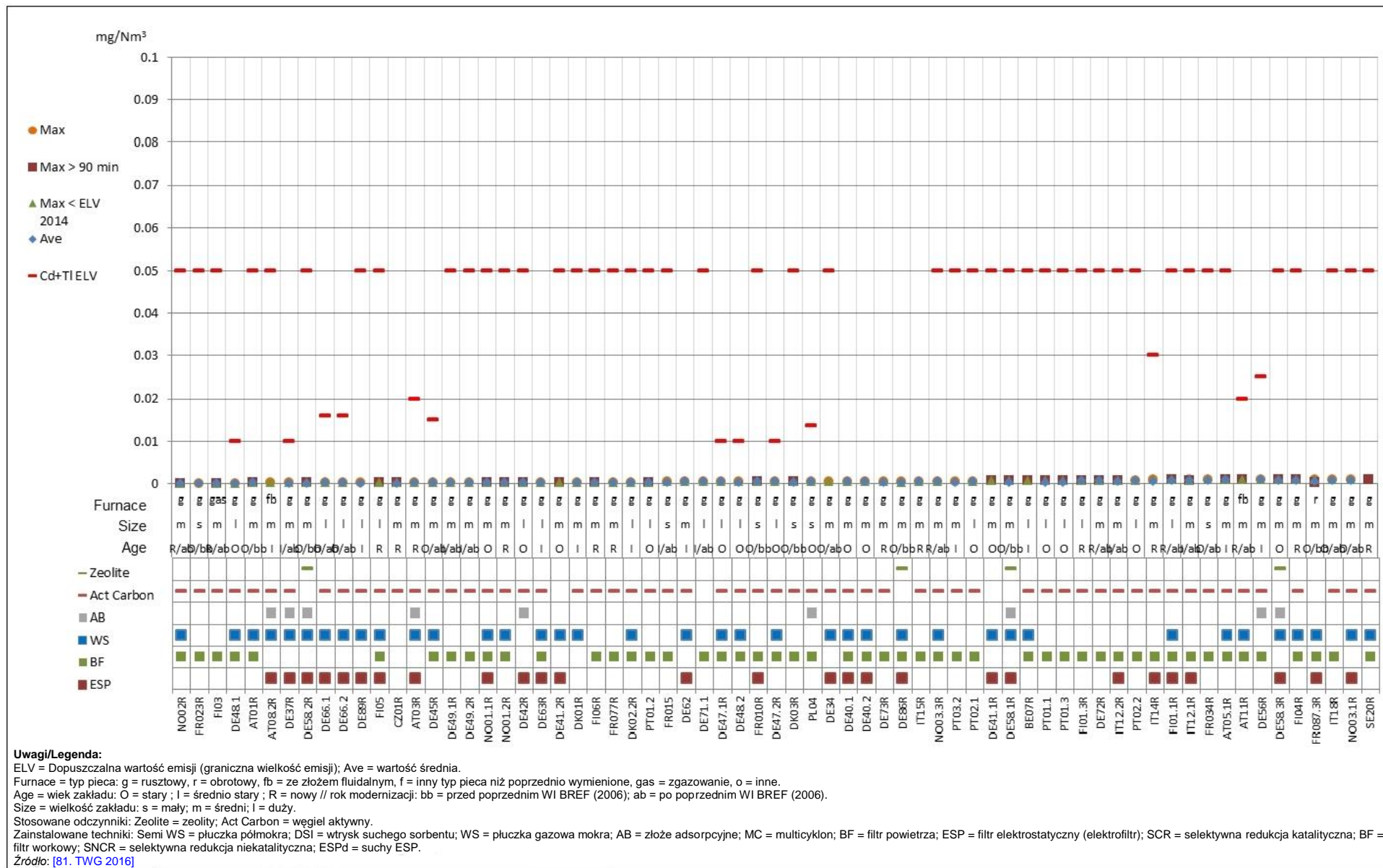
Ilustracja 8.128 Okresowy monitoring emisji Sb+As+Cr+Co+Cu+Pb+Mn+Ni+V do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW (2/3).



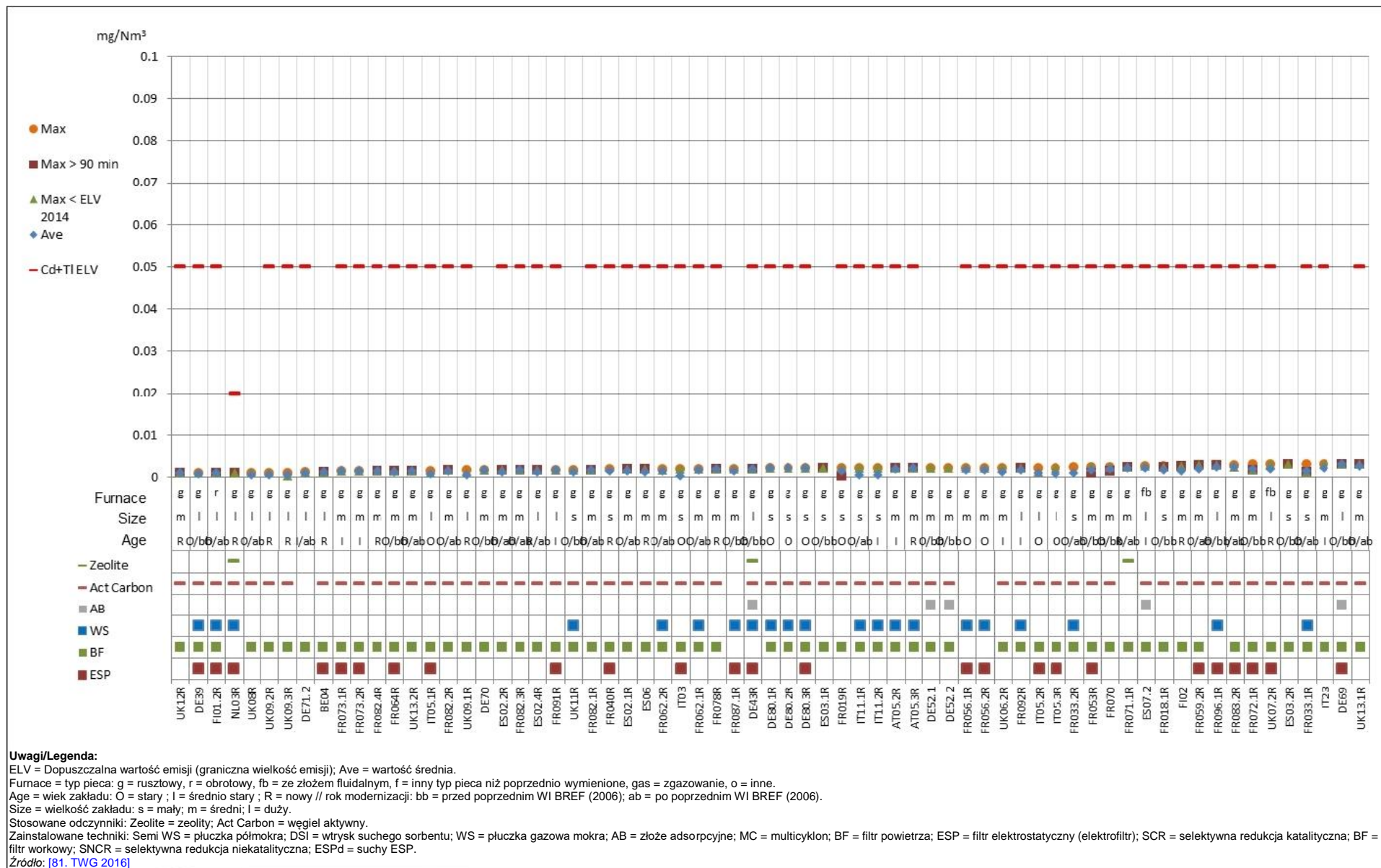
Ilustracja 8.129 Okresowy monitoring emisji Sb+As+Cr+Co+Cu+Pb+Mn+Ni+V do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW (3/3).



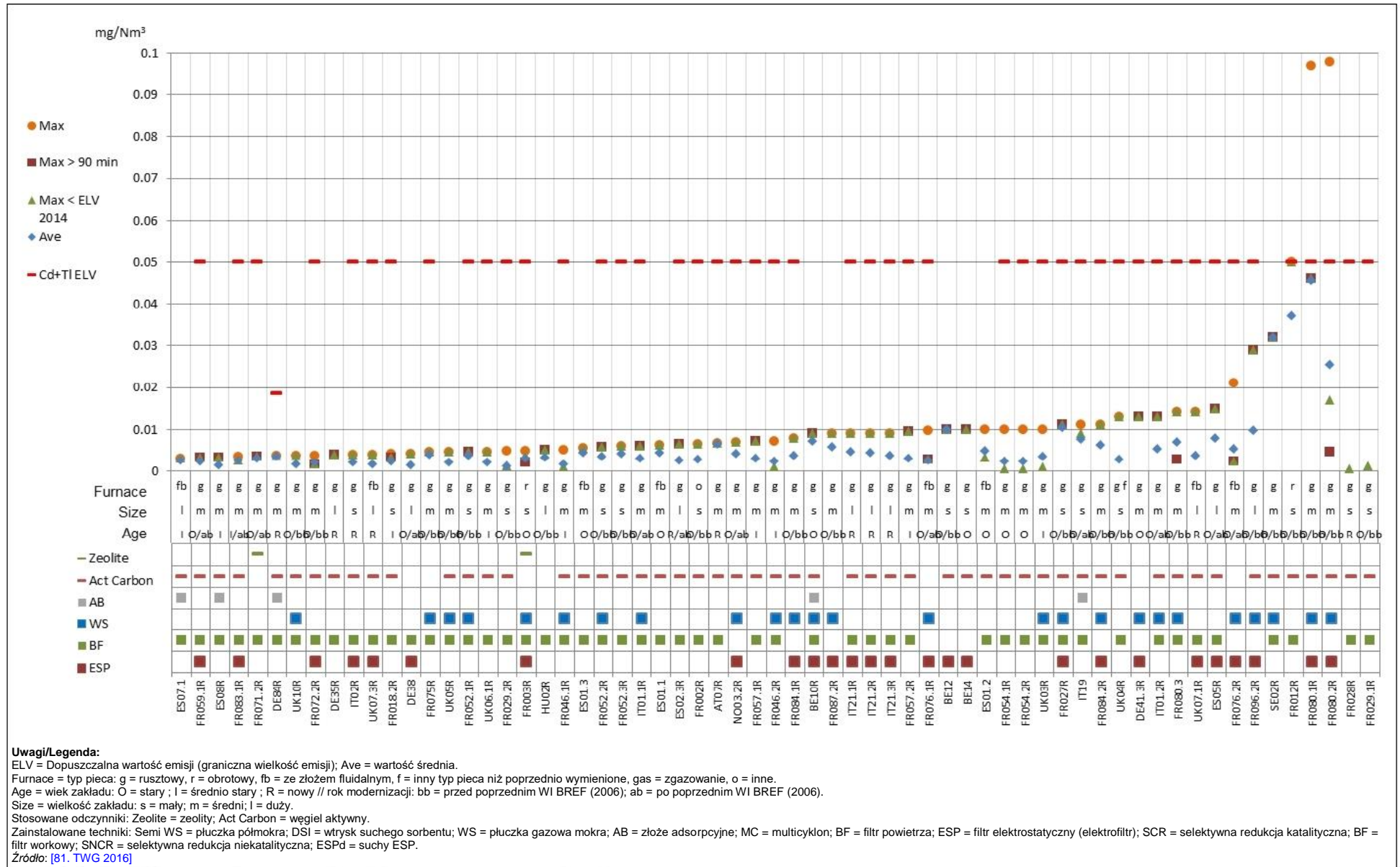
Ilustracja 8.130 Okresowy monitoring emisji Sb+As+Cr+Co+Cu+Pb+Mn+Ni+V do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie ONHW.



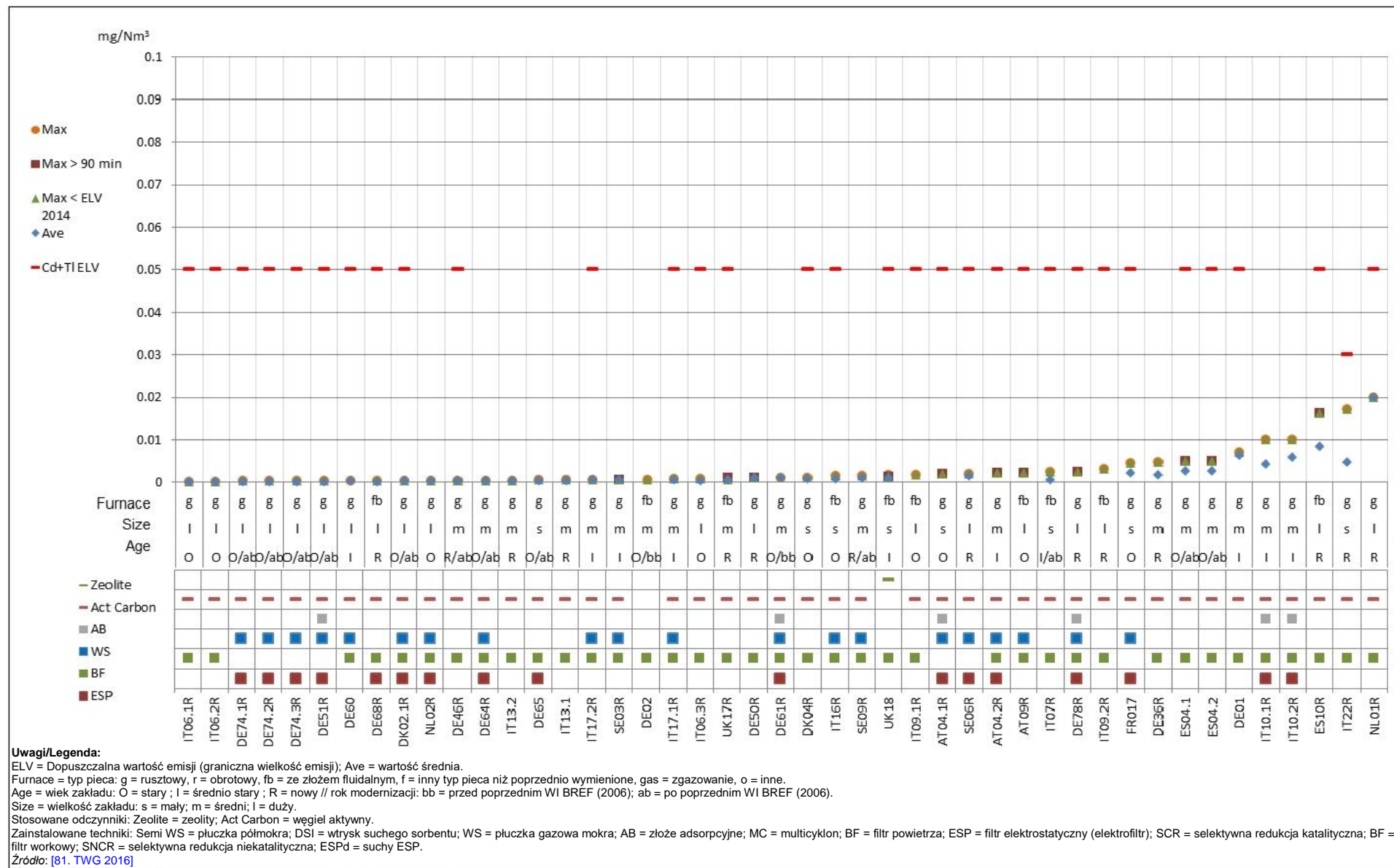
Ilustracja 8.131 Okresowy monitoring emisji Cd+Tl do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW (1/3).



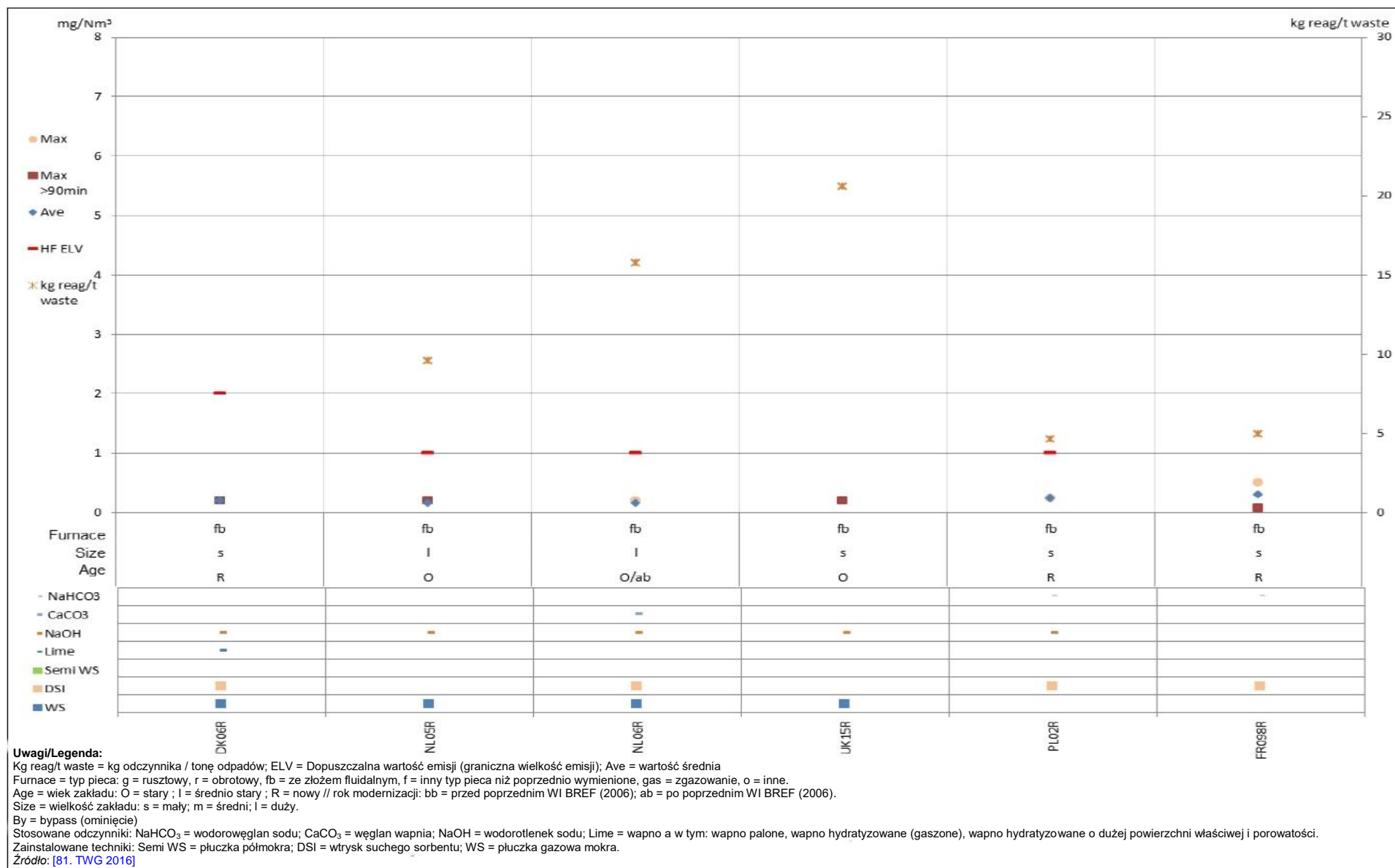
Ilustracja 8.132 Okresowy monitoring emisji Cd+Tl do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW (2/3).



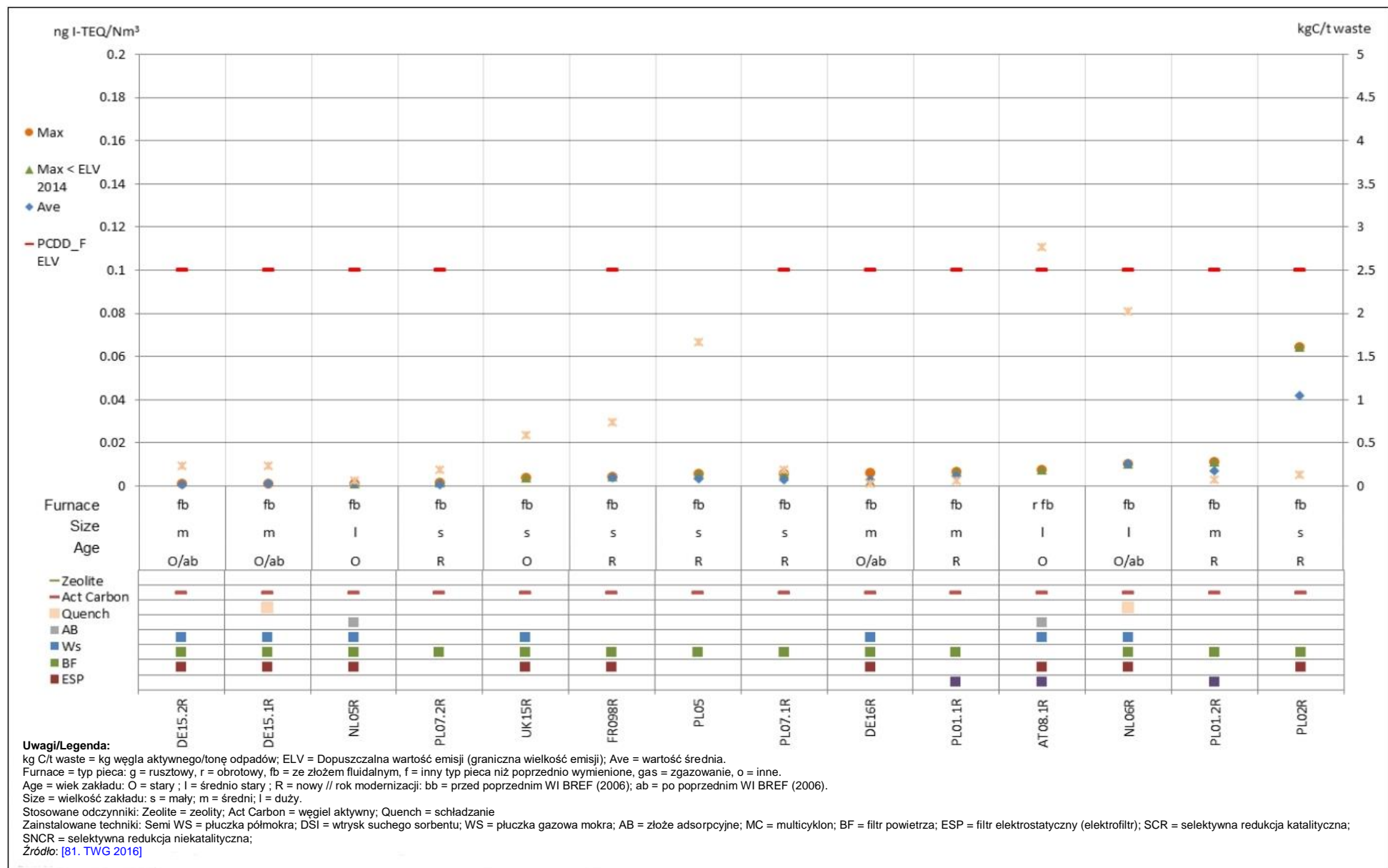
Ilustracja 8.133 Okresowy monitoring emisji Cd+Tl do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie MSW (3/3).



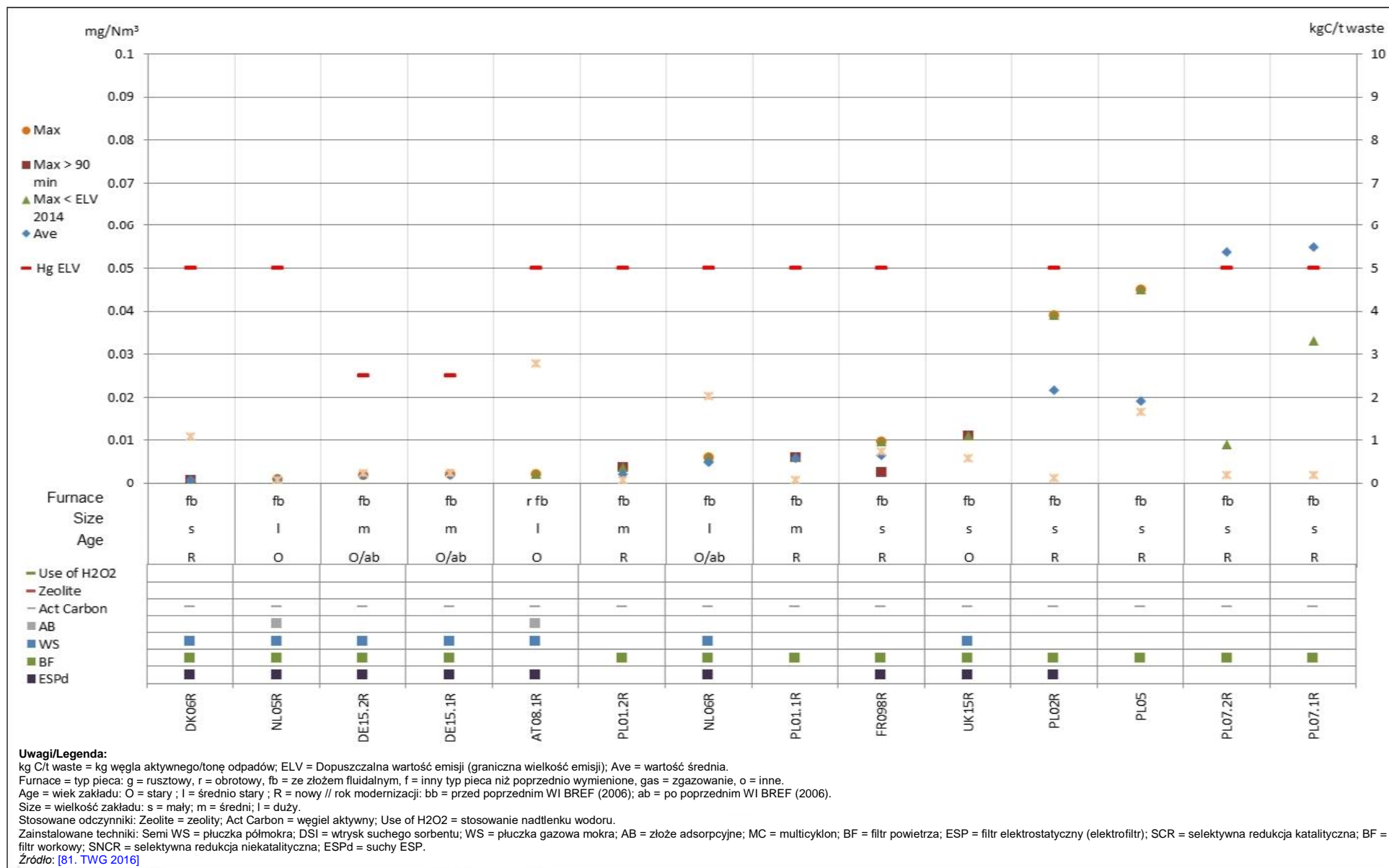
Ilustracja 8.134 Okresowy monitoring emisji Cd+Tl do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie ONHW.



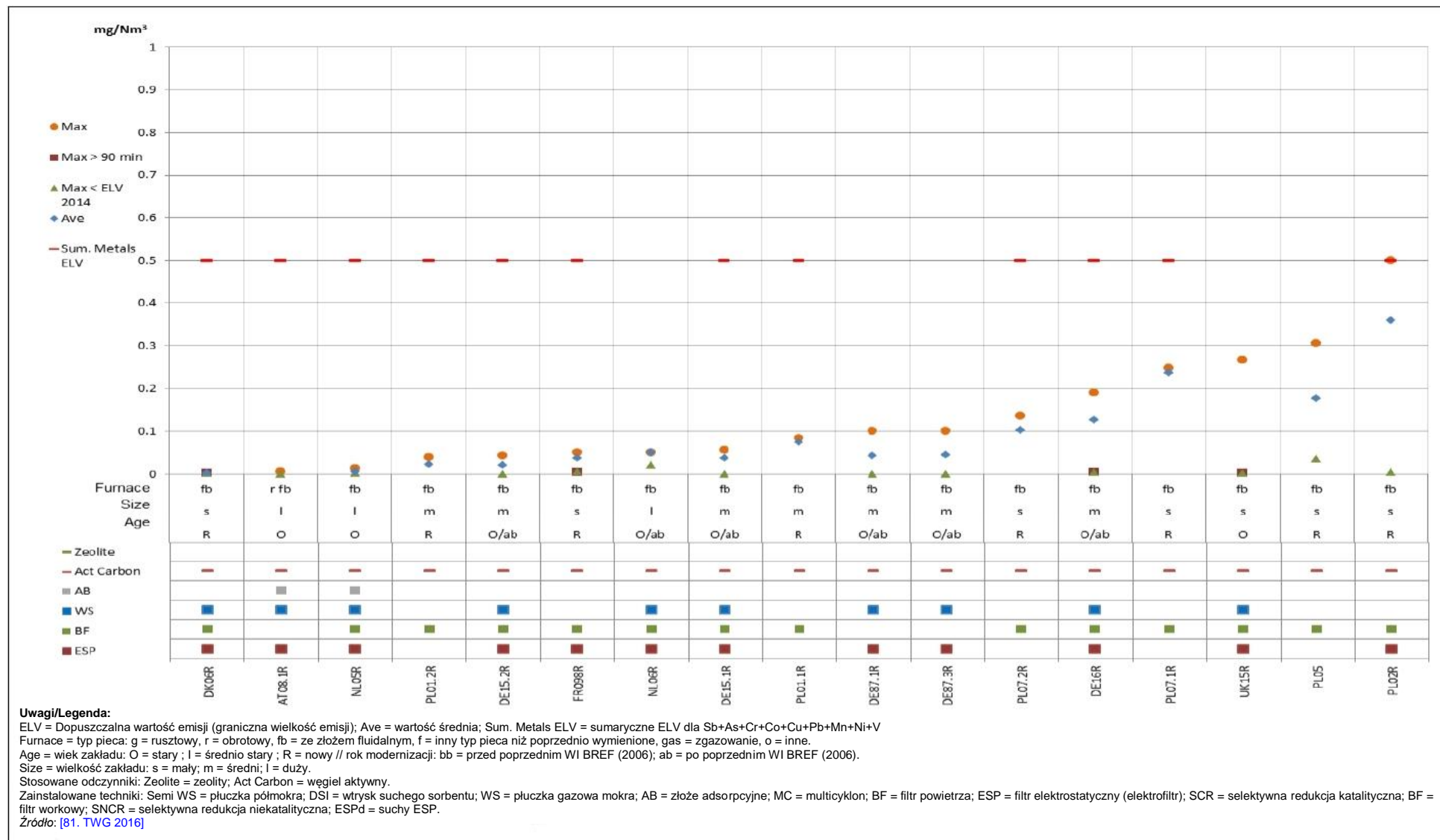
Ilustracja 8.135 Okresowy monitoring emisji HF do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie osady ściekowe (SS).



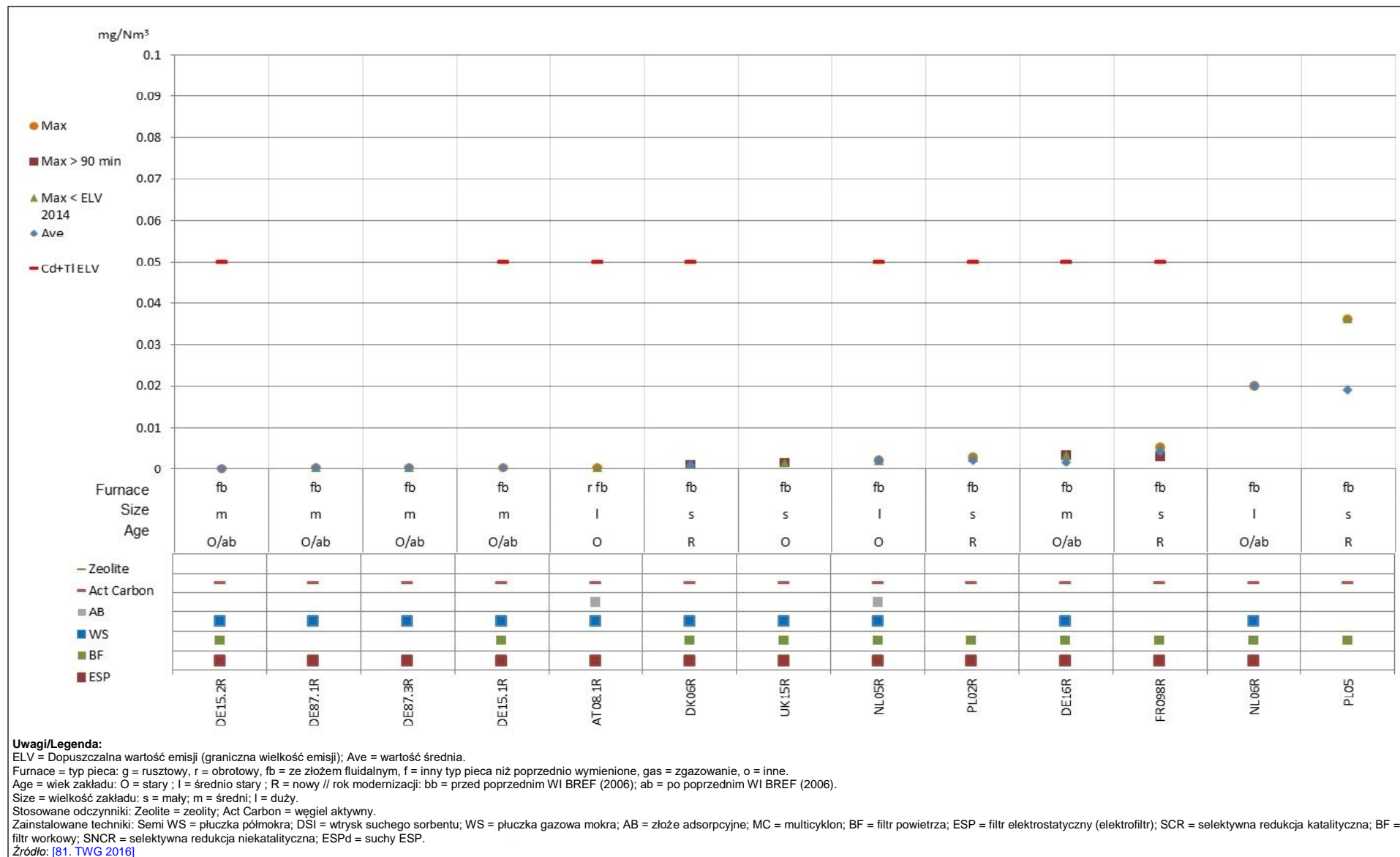
Ilustracja 8.136 Okresowy monitoring emisji PCDD/F do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie SS.



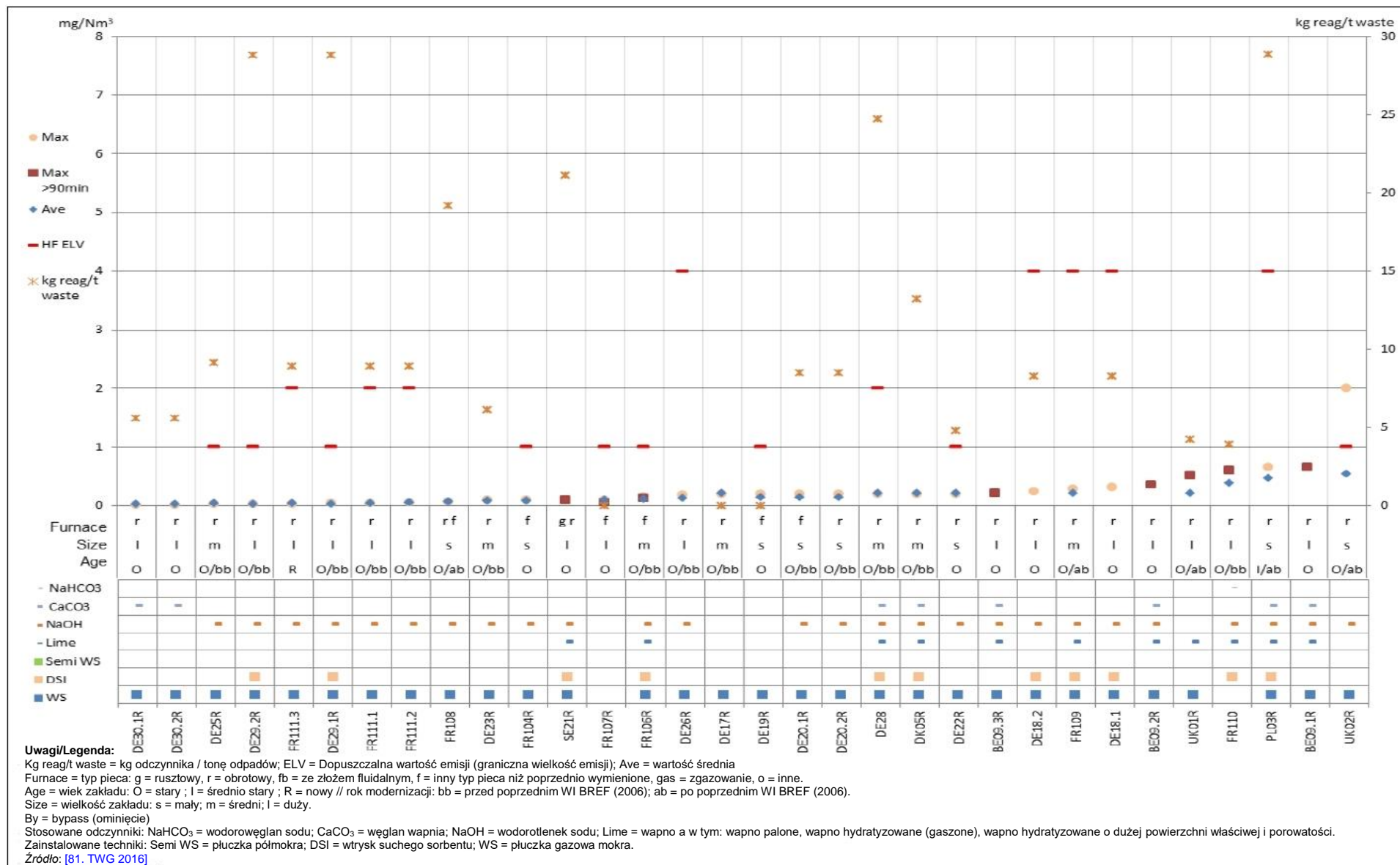
Ilustracja 8.137 Okresowy monitoring emisji Hg do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie SS.



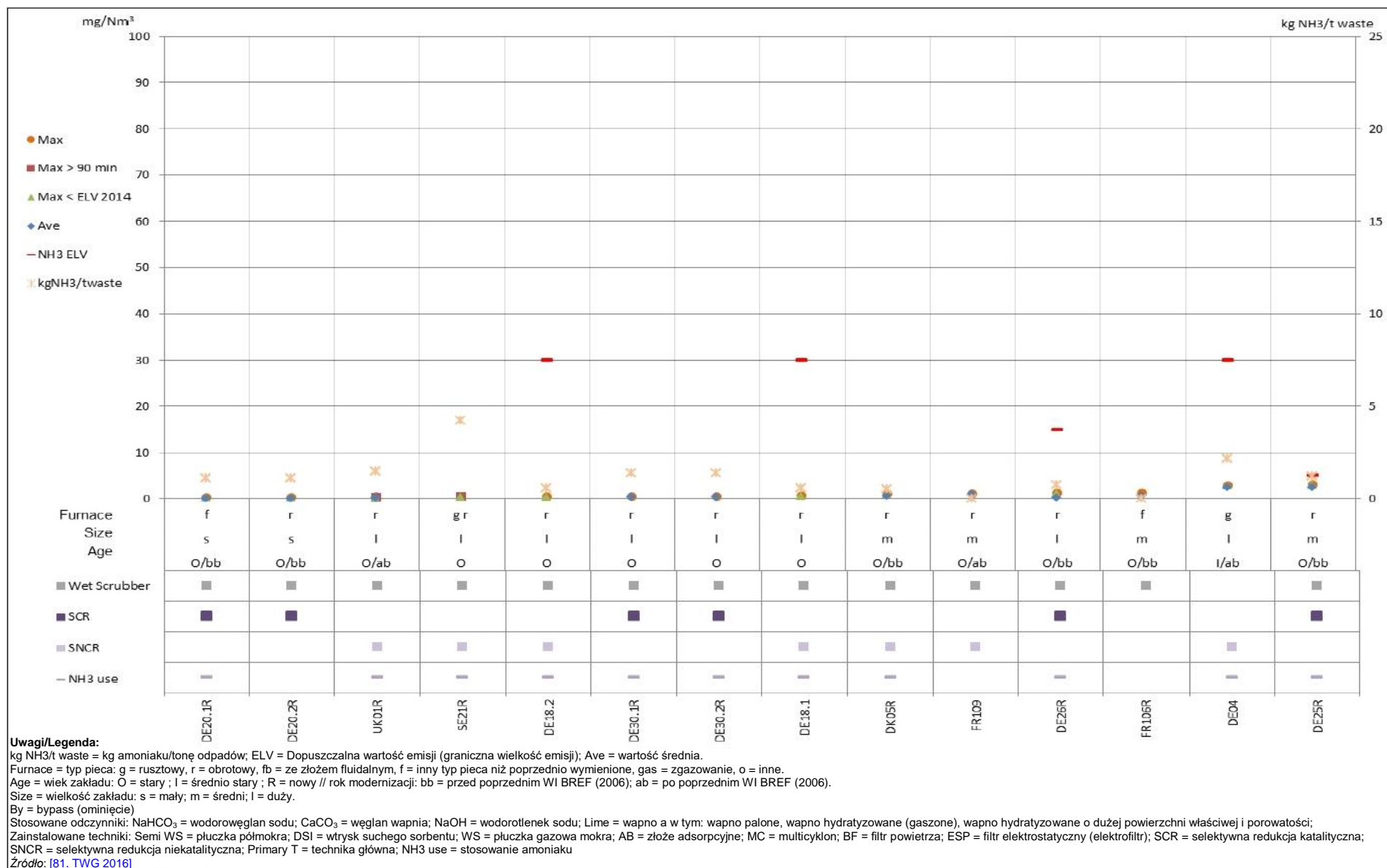
Ilustracja 8.138 Okresowy monitoring emisji Sb+As+Cr+Co+Cu+Pb+Mn+Ni+V do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie SS.



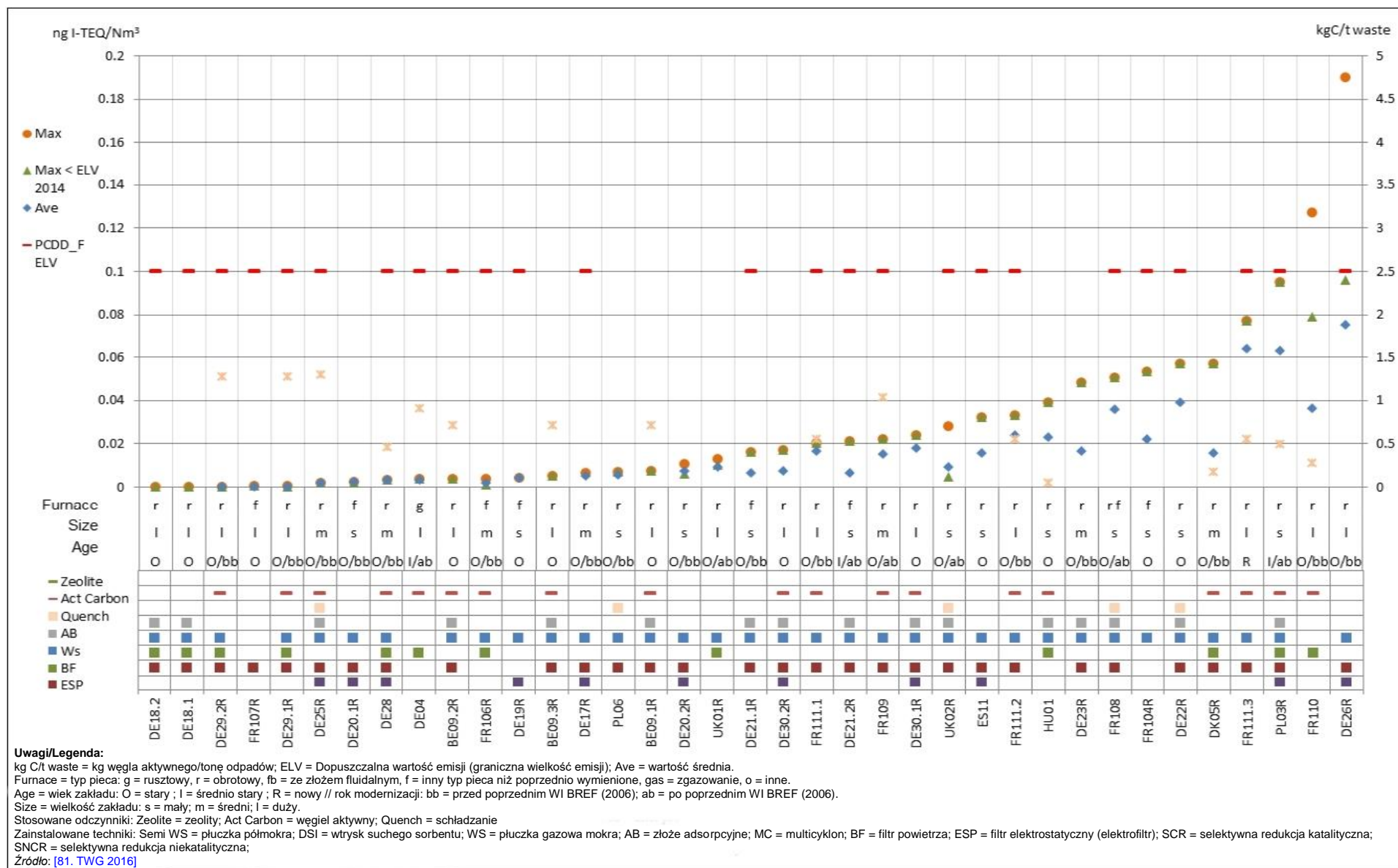
Ilustracja 8.139 Okresowy monitoring emisji Cd+Tl do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie SS.



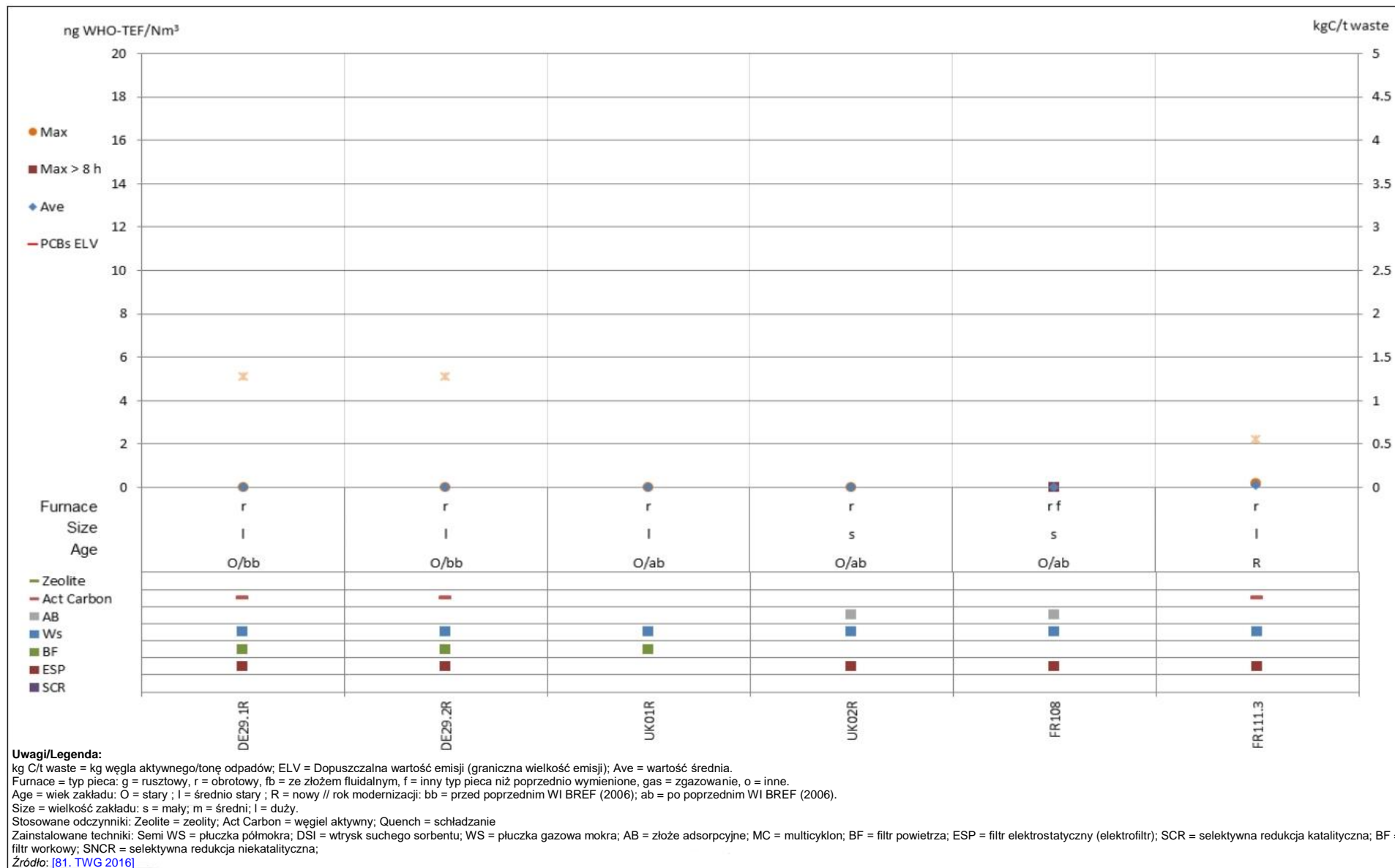
Ilustracja 8.140 Okresowy monitoring emisji HF do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie odpady niebezpieczne (HF).



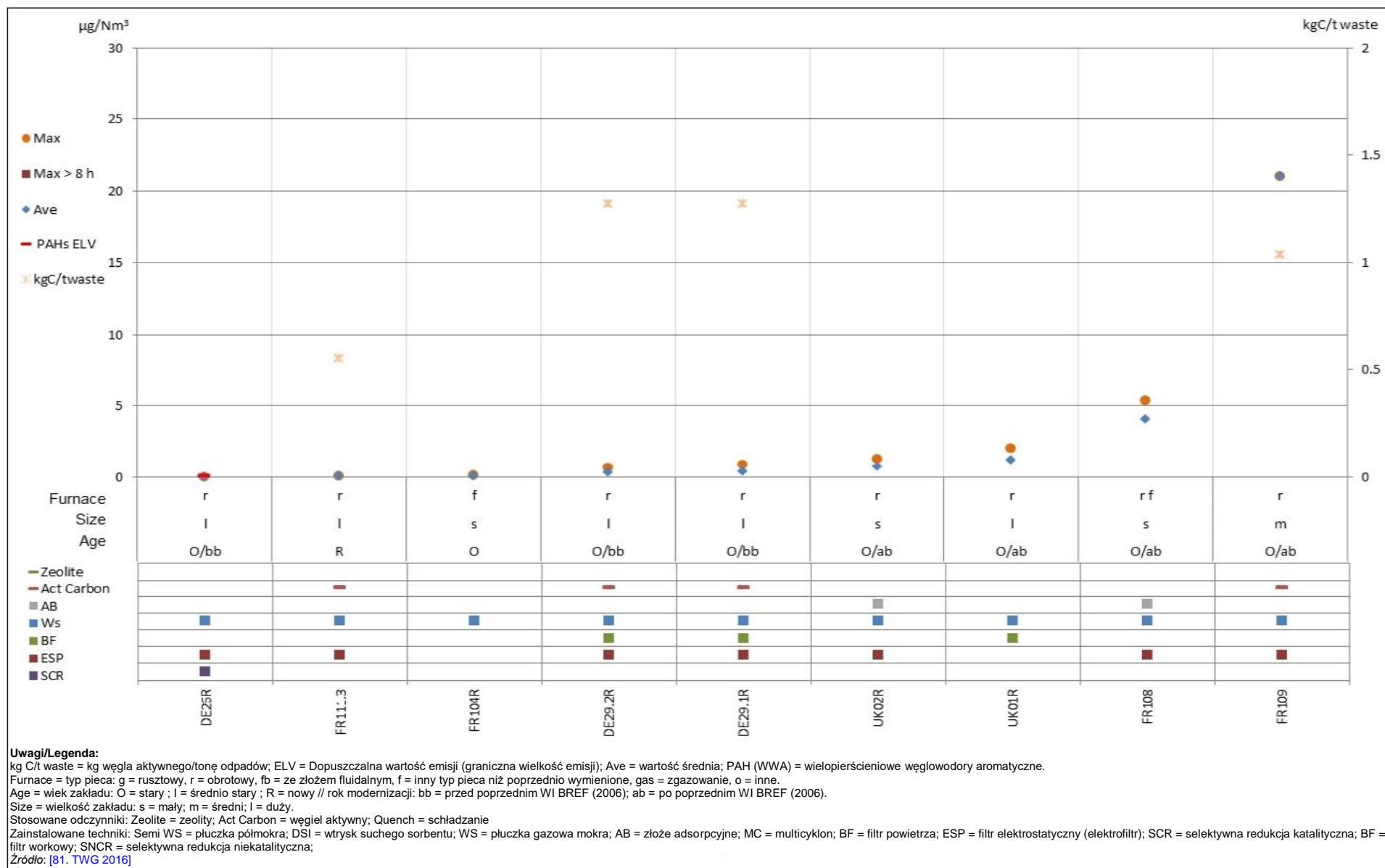
Ilustracja 8.141 Okresowy monitoring emisji NH₃ do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie HF.



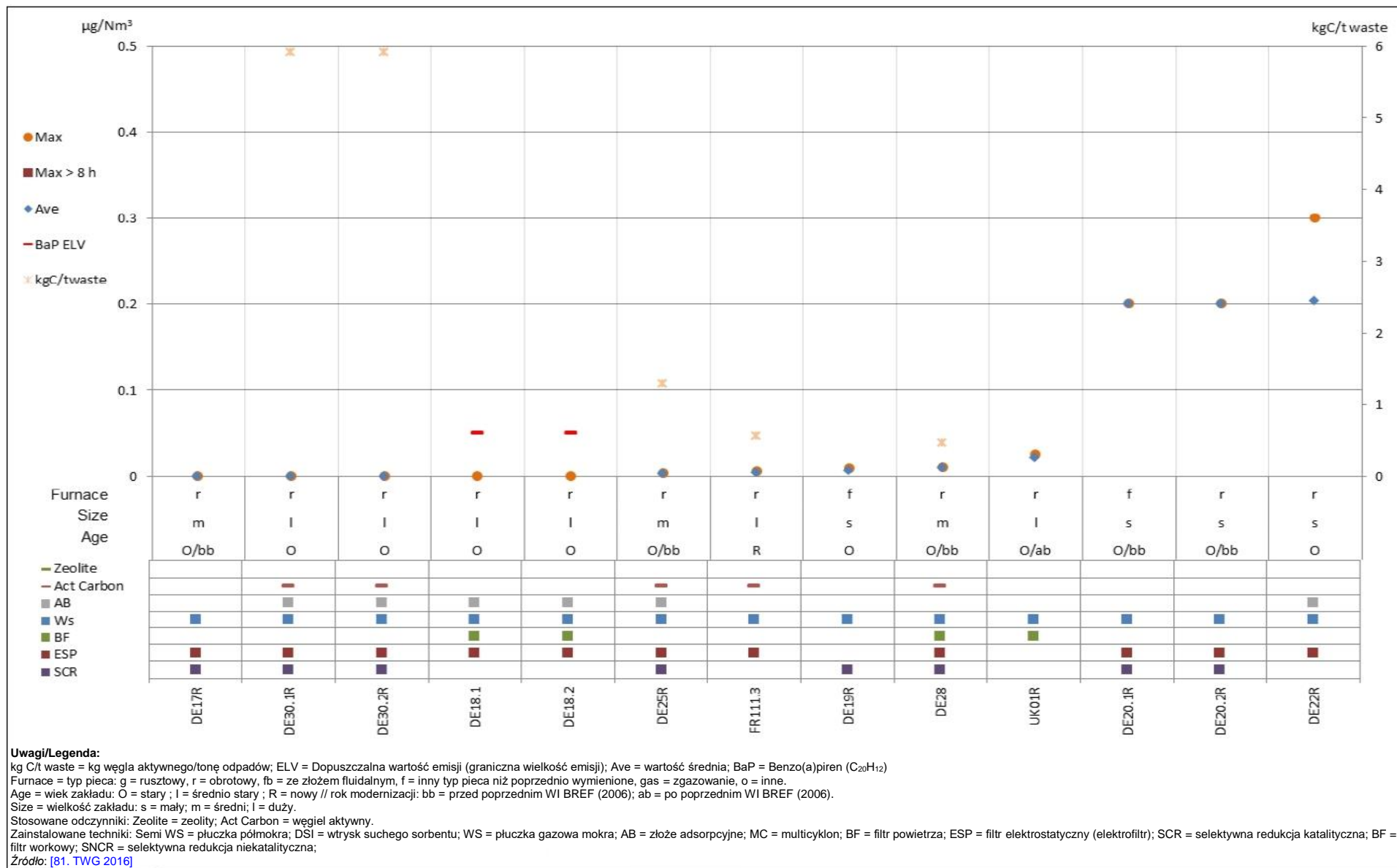
Ilustracja 8.142 Okresowy monitoring emisji PCDD/F do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie HF.



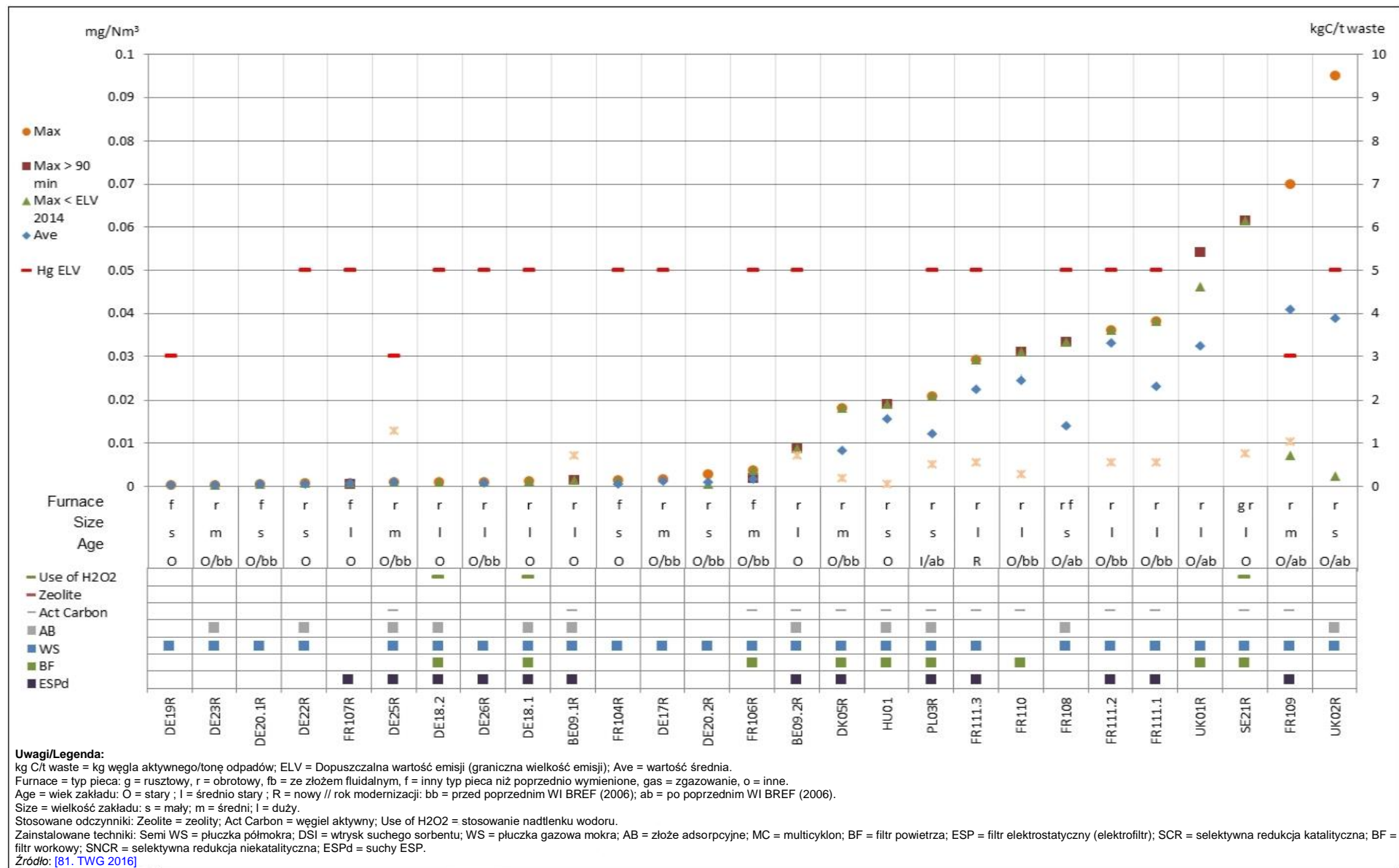
Ilustracja 8.143 Okresowy monitoring emisji dioksynopodobnych PCB do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie HF.



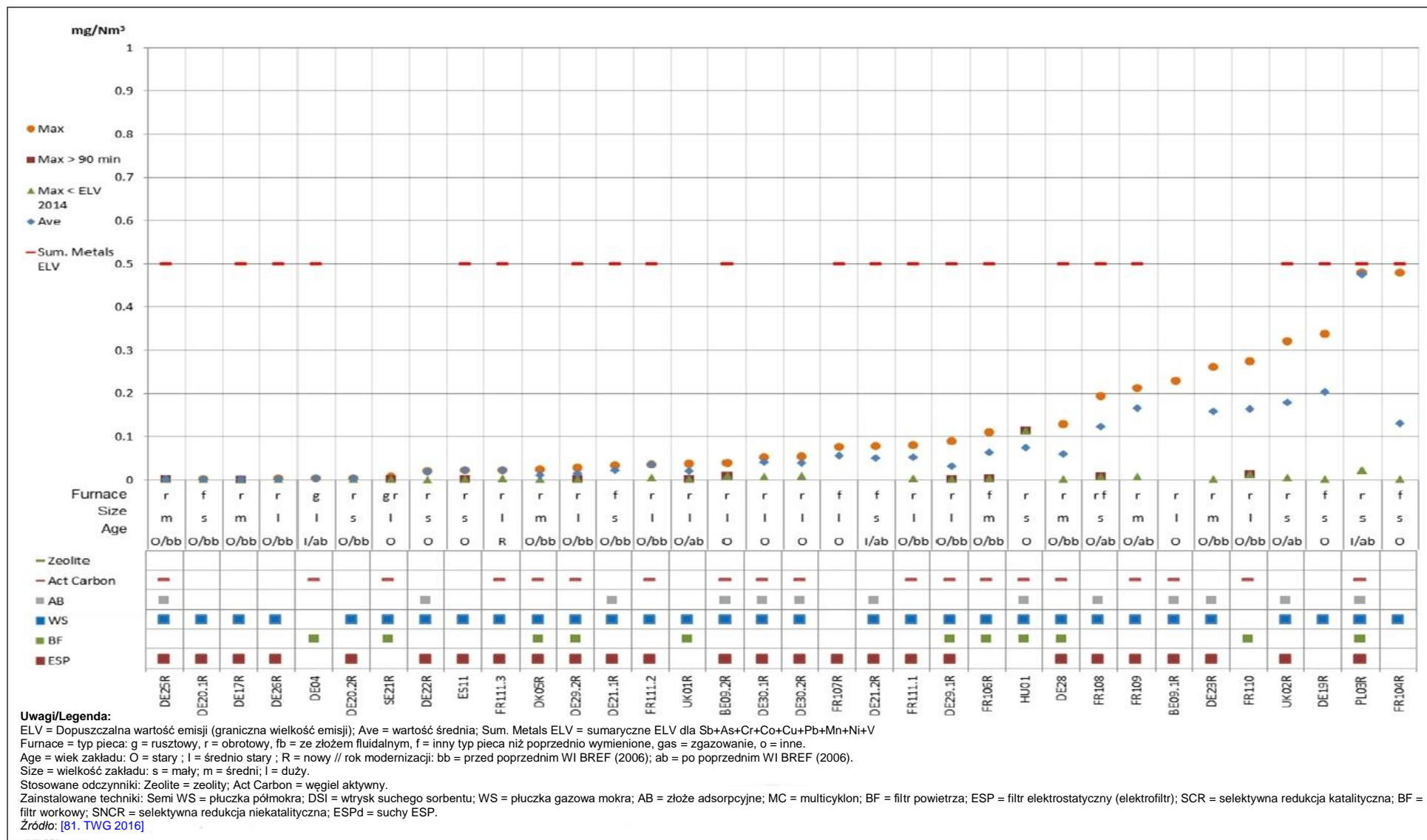
Ilustracja 8.144 Okresowy monitoring emisji PAH do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie HF.



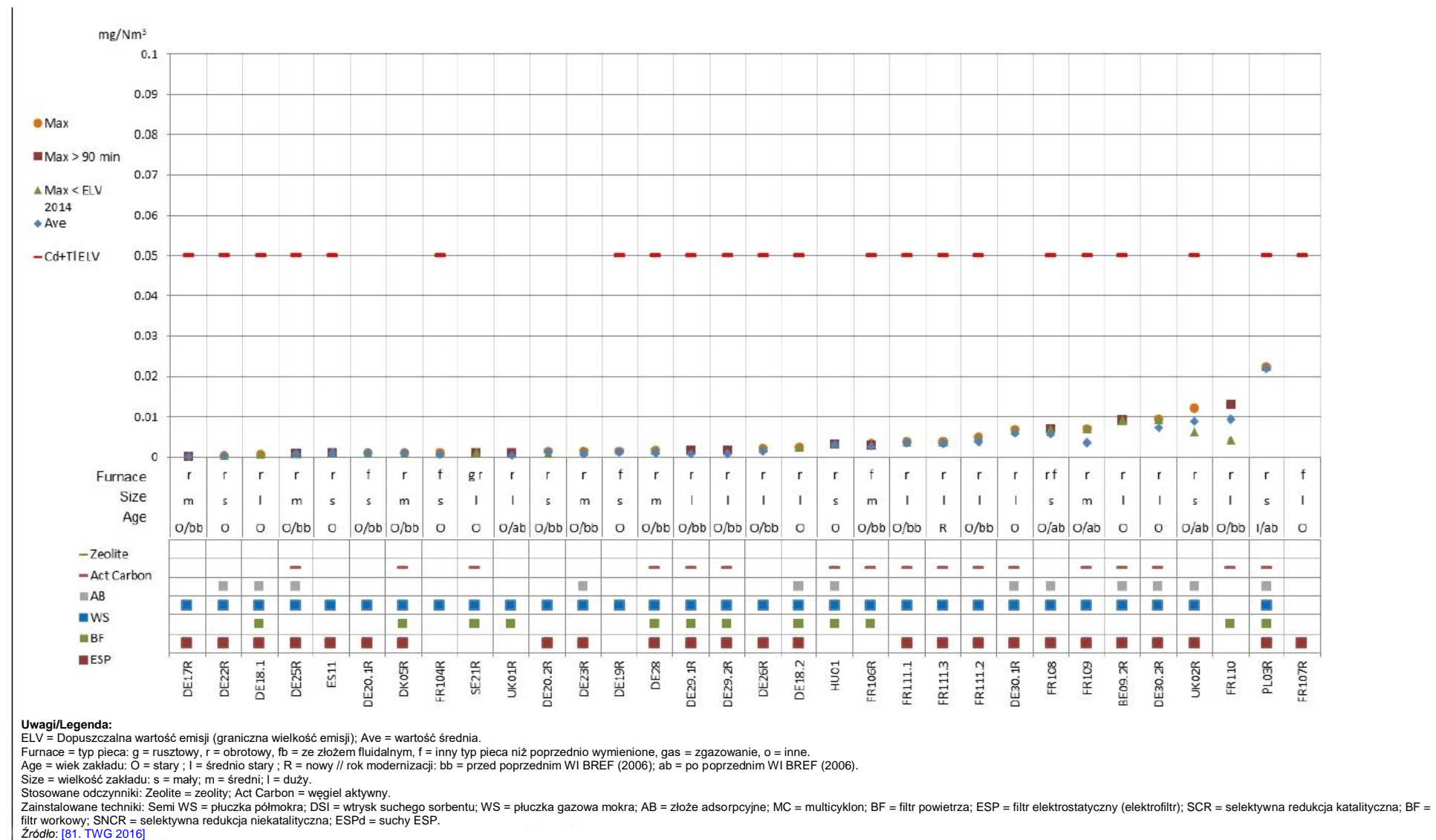
Ilustracja 8.145 Okresowy monitoring emisji BaP do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie HF.



Ilustracja 8.146 Okresowy monitoring emisji Hg do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie HF.



Ilustracja 8.147 Okresowy monitoring emisji Sb+As+Cr+Co+Cu+Pb+Mn+Ni+V do powietrza z linii referencyjnych spalających główne HF.



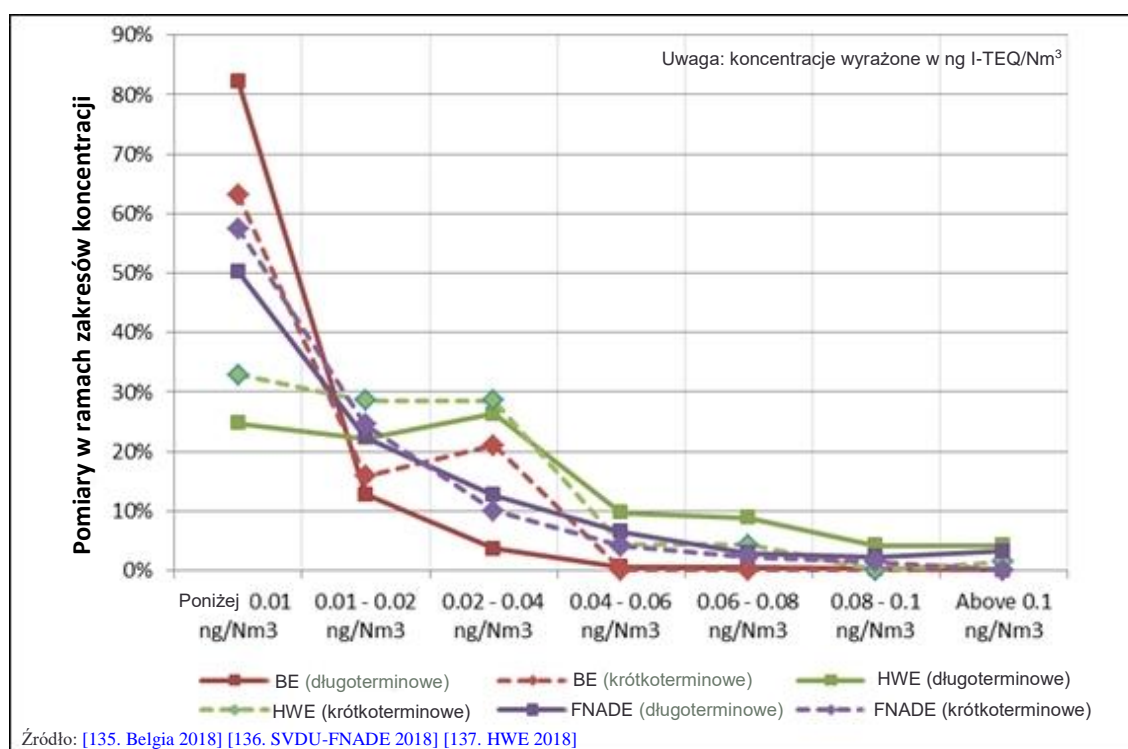
Ilustracja 8.148 Okresowy monitoring emisji Cd+Tl do powietrza z linii referencyjnych spalających głównie HF.

8.9 Porównanie poziomów emisji PCDD/F mierzonych metodą krótko- i długoterminowego pobierania próbek dla 142 linii referencyjnych spalania odpadów w Belgii oraz Francji

Celem porównania poziomów emisji mierzonych przy zastosowaniu krótko- i długoterminowych metod pobierania próbek, porównano dane dotyczące tych emisji przedstawione przez 142 linie referencyjne z Belgii i Francji. Dane francuskie zostały przedłożone za pośrednictwem dwóch stowarzyszeń branżowych: FNADE/SVDU (Fédération Nationale des Activités de la Dépollution e de l'Environnement/Syndicat national du traitement et de la Valorisation des Déchets Urbains et assimilés) dla zakładów odzysku energii oraz HWE (Hazardous Waste Europe) dla spalarni odpadów niebezpiecznych.

Ilustracja 8.149 przedstawia podsumowanie danych dostarczonych przez Belgię (17 linii referencyjnych, z czego 3 to linie spalania odpadów niebezpiecznych, zgłaszające 360 pomiarów długo- i 19 krótkoterminowych [135. Belgia 2018]), HWE (22 linie referencyjne zgłaszające 433 pomiary długo- i 70 krótkoterminowych [137. HWE 2018]) oraz FNADE/SVDU (103 linie referencyjne zgłaszające 945 pomiarów długo- i 221 krótkoterminowych [136. SVDU-FNADE 2018]). Dla każdej z podanych trzech grup zakładów wykres przedstawia rozkład wyników pomiarów uzyskanych metodami krótko- i długoterminowymi.

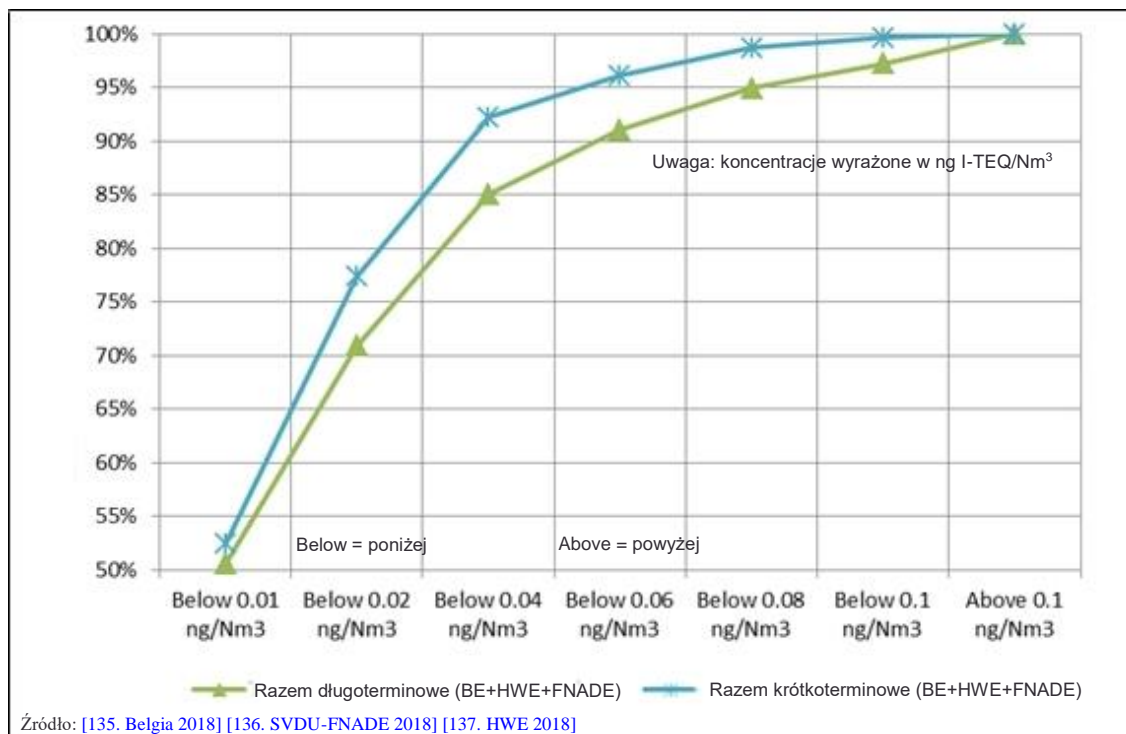
W przypadku danych belgijskich z ilustracji widać, że: 82% pomiarów długoterminowych w porównaniu do 63% pomiarów krótkoterminowych wynosi poniżej 0.01 ng I-TEQ/Nm³, 13% pomiarów długoterminowych w porównaniu do 16% pomiarów krótkoterminowych wynosi pomiędzy 0.01 a 0.02 ng I-TEQ/Nm³, 4% pomiarów długoterminowych w porównaniu do 21% pomiarów krótkoterminowych wynosi pomiędzy 0.02 a 0.04 ng I-TEQ/Nm³ itd.



Ilustracja 8.149 Rozkład pomiarów PCDD/F w różnych zakresach koncentracji, uzyskanych przez zakłady belgijskie, FNADE/SVDU i HWE, w oparciu o krótko- i długoterminowe pobieranie próbek.

W celu ustalenia równoważności pod względem działania zakładów, pomiędzy wartościami mierzonymi za pomocą krótko- i długoterminowych próbek, ilustracja 8.150 pokazuje, łącznie dla trzech zestawów danych (1 738 pomiarów długoterminowych oraz 310 pomiarów krótkoterminowych), udział pomiarów mieszczących się poniżej danych zakresów koncentracji dla obu metod pobierania próbek.

Na rysunku widać na przykład, że: 51% pomiarów długoterminowych w porównaniu do 52% krótkoterminowych wynosi poniżej 0.01 ng I-TEQ/Nm³, 71% pomiarów długoterminowych w porównaniu z 77% krótkoterminowych wynosi poniżej 0.02 ng I-TEQ/Nm³, 85% pomiarów długoterminowych w porównaniu do 92% krótkoterminowych wynosi poniżej 0.04 ng I-TEQ/Nm³, itd.



Ilustracja 8.150 Procent pomiarów mieszczących się poniżej określonych progów koncentracji, dla wszystkich zakładów biorących udział w badaniu (Belgia, FNADE/SVDU, HWE), w przypadku pobierania próbek krótko- i długoterminowych.

Analiza danych pokazuje, łącznie, co następuje:

- Nie obserwuje się istotnej różnicy pomiędzy liczbą pomiarów poniżej proponowanego dolnego progu zakresu BAT-AEL wynoszącego < 0,01 ng I-TEQ/ Nm³ (48% pomiarów krótkoterminowych oraz 49% pomiarów długoterminowych jest powyżej tego poziomu).
- Większa liczba pomiarów długoterminowych przekracza proponowane wyższe zakresy BAT-AEL, w porównaniu z pomiarami krótkoterminowymi:
 - Podczas gdy 8 % pomiarów krótkoterminowych przekracza poziom 0.04 ng I-TEQ/ Nm³, w przypadku pobierania próbek długoterminowych 15% pomiarów przekracza ten sam poziom, a 9% przekracza 0.06 ng I-TEQ/ Nm³.
 - Podczas gdy 4% pomiarów krótkoterminowych przekracza poziom 0.06 ng I-TEQ/ Nm³, w przypadku długoterminowego pobierania próbek 9% pomiarów przekracza ten sam poziom, a 5% przekracza 0.08 ng I-TEQ/ Nm³.
 - Zauważono również, że około 3% pomiarów długoterminowych przekracza 0.1 ng I-TEQ/ Nm³, w tym kilka pomiarów mieści się w zakresie 0.3-0.6 ng I-TEQ/ Nm³. Wydaje się, że pomiary te są związane z warunkami eksploatacji wykraczającymi poza obecny system oceny zgodności i skutkują przesunięciem rozkładu pomiarów długoterminowych w kierunku wysokich wartości emisji.

- Ogólnie rzecz biorąc, dodatkowe dane przedstawione przez BE, HWE i FNADE/SVDU sugerują następującą równoważność pod względem emisji PCDD/F z zakładów WI: poziom 0.01 ng I-TEQ/Nm³ mierzony przy krótkoterminowym pobieraniu próbek może być równoważny 0.01 ng I-TEQ/Nm³ mierzonemu przy długoterminowym pobraniu próbek; poziom 0.04 ng I-TEQ/Nm³ mierzony przy pomocy krótkoterminowego pobierania próbek może być równoważny 0.06 ng I-TEQ/Nm³ mierzonemu przy pomocy długoterminowego pobierania próbek; poziom 0.06 ng I-TEQ/Nm³ mierzony przy pomocy krótkoterminowego pobierania próbek może być równoważny 0.08 ng I-TEQ/Nm³ mierzonemu przy pomocy długoterminowego pobierania próbek.

Zaobserwowano pewne różnice pomiędzy wynikami długoterminowego pobierania próbek a wynikami pomiarów okresowych, w danych przedstawionych przez Belgię w porównaniu do danych przekazanych przez FNADE/SVDU i HWE. Może to być związane z różnicami we wdrażaniu długoterminowej metody pobierania próbek we Francji i w Belgii.

W przypadku danych dotyczących zakładu przedstawionych przez FNADE/SVDU, 83% pomiarów okresowych, ale tylko 72% pomiarów długoterminowych, wynosi poniżej 0.02 ng I-TEQ/Nm³.

I odwrotnie, w przypadku zakładów belgijskich pomierzone wartości z długoterminowego pobierania próbek są na ogół niższe od pomiarów okresowych, przy czym 95% pomiarów z długoterminowego pobierania próbek, w porównaniu z 79% pomiarów okresowych, mieści się poniżej 0,02 ng I-TEQ/Nm³. Należy również zauważyć, że cztery z pomiarów długoterminowych, podczas których pobrano próbki z belgijskich zakładów, podają wartości pomiędzy 0.04 a 0.08 ng I-TEQ/Nm³, podczas gdy wszystkie pomiary okresowe dla tych samych zakładów wynoszą poniżej 0.04 ng I-TEQ/Nm³.

FNADE/SVDU zgłosiło związek pomiędzy podwyższonymi wartościami uzyskanymi w wyniku długoterminowego pobierania próbek a liczbą rozruchów/wyłączeń występujących w okresie, w którym je pobierano.

SŁOWNIK TERMINÓW

Definicje terminów w niniejszym glosariuszu nie są definicjami prawnymi (nawet jeśli niektóre z nich mogą pokrywać się z definicjami podanymi w prawodawstwie europejskim). Mają one pomóc czytelnikowi zrozumieć niektóre kluczowe terminy w kontekście ich stosowania w konkretnym sektorze objętym niniejszym dokumentem.

Słownik ten został podzielony na następujące sekcje:

- I. Krajowe kody ISO
- II. Jednostki monetarne
- III. Prefiksy, separatory numeryczne oraz adnotacje
- IV. Jednostki pomiarowe
- V. Pierwiastki chemiczne
- VI. Akronimy
- VII. Definicje

I. Krajowe kody ISO

Kod ISO	Państwo
<i>Państwa członkowskie (*)</i>	
AT	Austria
BE	Belgia
BG	Bułgaria
CZ	Czechy
CY	Cypr
DE	Niemcy
DK	Dania
EE	Estonia
EL	Grecja
ES	Hiszpania
FI	Finlandia
FR	Francja
HR	Chorwacja
HU	Węgry
IE	Irlandia
IT	Włochy
LT	Litwa
LU	Luksemburg
LV	Łotwa
MT	Malta
NL	Holandia
PL	Polska
PT	Portugalia
RO	Rumunia
SE	Szwecja
SI	Słowenia
SK	Słowacja
UK	Wielka Brytania
<i>Państwa trzecie</i>	
NO	Norwegia
(*) Kolejność protokolarna państw członkowskich opiera się na porządku alfabetycznym ich nazw geograficznych w języku(-ach) oryginalnym(-ych).	

II. Jednostki monetarne

Kod ⁽¹⁾	Państwo/terytorium	Jednostka monetarna
<i>Waluty państw członkowskich</i>		
EUR	Strefa euro ⁽²⁾	euro
DKK	Dania	korona duńska
GBP	Wielka Brytania	funt szterling
<i>Inne waluty</i>		
USD	USA	Dolar amerykański
I.	Kod ISO 4217.	
II.	Obejmuje Austrię, Belgię, Cypr, Estonię, Finlandię, Francję, Grecję, Hiszpanię, Irlandię, Luksemburg, Malte, Holandię, Niemcy, Portugalię, Słowację, Słowenię oraz Włochy.	

III. Prefiksy, separatory numeryczne oraz adnotacje

Liczby w tym dokumencie są zapisywane z użyciem znaku „,” jako separatora dziesiętnego i spacji jako separatora tysięcy.

Symbol ~ (około) jest zapisem używanym do wskazania przybliżenia.

Symbol Δ (delta) jest zapisem używanym do wskazania różnicy.

Poniższa tabela zawiera często używane prefiksy:

Symbol	Prefiks	10^n	Słownie	Zapis
M	mega	10^6	milion	1 000 000
k	kilo	10^3	tysiąc	1 000
-----	-----	1	jeden	1
m	mili	10^{-3}	część tysięczna	0.001
μ	micro	10^{-6}	część milionowa	0.000 001
n	nano	10^{-9}	część miliardowa	0.000 000 001

IV. Jednostki pomiarowe

Symbol jednostki	Nazwa	Wielkość	Przeliczanie oraz komentarz
atm	atmosfera	ciśnienie (P)	1 atm = 101 325 N/m ²
bar	bar	ciśnienie (P)	1.013 bar = 100 kPa = 1 atm
°C	stopnie Celsjusza	temperatura (T) różnica temperatur (ΔT)	
d	dzień/doba	czas	
g	gram	waga	
h	godzina	czas	
J	dżul	energia	
K	Kelvin	temperatura (T) różnica temperatur (ΔT)	0 °C = 273.15 K
kcal	kilokaloria	energia	1 kcal = 4.1868 kJ
kg	kilogram	waga	
kJ	kilodżul	energia	
kPa	kilopaskal	ciśnienie	
kWh	kilowatogodzina	energia	1 kWh = 3 600 kJ
l	litr	objętość	
m	metr	długość	
m ²	metr kwadratowy	obszar	
m ³	metr sześcienny	objętość	
mg	miligram	waga	1 mg = 10 ⁻³ g
mm	milimetr	długość	1 mm = 10 ⁻³ m
min	minuta	czas	
MW _e	megawat mocy elektrycznej	energia elektryczna	
MW _{th}	megawat mocy cieplnej	energia termiczna, ogrzewanie	
ng	nanogram	waga	1 ng = 10 ⁻⁹ g
nm	nanometr	długość	1 nm = 10 ⁻⁹ m
Nm ³	normalny metr sześcienny	objętość	przy 101.325 kPa, 273.15 K
OU _E	europejska jednostka odorowa	odory	
Pa	paskal	ciśnienie	1 Pa = 1 N/m ²
ppb	liczba części na miliard	skład mieszanin	1 ppb = 10 ⁻⁹
ppm	liczba części na milion	skład mieszanin	1 ppm = 10 ⁻⁶
ppmv	liczba części na milion objętościowo	skład mieszanin	
rpm RPM	obroty na minutę	prędkość obrotowa, częstotliwość	
s	sekunda	czas	
St	stokes	lepkość kinematyczna	1 St = 10 ⁻⁴ m ² /s; jedn. Cgs
t	tona metryczna	waga	1 t = 1 000 kg or 10 ⁶ g
t/d	tony dziennie (tony na dobę)	przepływ masy, zużycie materiałów	
t/yr	tony rocznie	przepływ masy, zużycie materiałów	
vol-% v/v	ułamek objętościowy	skład mieszanin	
wt-% w/w-%	ułamek masowy	skład mieszanin	
W	wat	moc	1 W = 1 J/s
yr	rok	czas	
μm	mikrometr	długość	1 μm = 10 ⁻⁶ m

V. Pierwiastki chemiczne

Symbol	Nazwa	Symbol	Nazwa
Ac	Aktyn	Mn	Mangan
Ag	Srebro	Mo	Molibden
Al	Aluminium (glin)	N	Azot
Am	Ameryk	Na	Sód
Ar	Argon	Nb	Niob
As	Arsen	Nd	Neodym
At	Astat	Ne	Neon
Au	Złoto	Ni	Nikiel
B	Bor	No	Nobel
Ba	Bar	Np	Neptun
Be	Beryl	O	Tlen
Bi	Bizmut	Os	Osm
Bk	Berkel	P	Fosfor
Br	Brom	Pa	Protactinium
C	Węgiel	Pb	Ołów
Ca	Wapń	Pd	Pallad
Cd	Kadm	Pm	Promet
Ce	Cer	Po	Polon
Cf	Kaliforn	Pr	Prazeodym
Cl	Chlor	Pt	Platyna
Cm	Kiur	Pu	Pluton
Co	Kobalt	Ra	Rad
Cr	Chrom	Rb	Rubid
Cs	Cez	Re	Ren
Cu	Miedź	Rf	Rutherford
Dy	Dysproz	Rh	Rod
Er	Erb	Rn	Radon
Es	Einstein	Ru	Ruten
Eu	Europ	S	Siarka
F	Fluor	Sb	Antymon
Fe	Żelazo	Sc	Skand
Fm	Ferm	Se	Selen
Fr	Frans	Si	Krzem
Ga	Gal	Sm	Samar
Gd	Gadolin	Sn	Cyna
Ge	German	Sr	Stront
H	Wodór	Ta	Tantal
He	Hel	Tb	Terb
Hf	Hafn	Tc	Technet
Hg	Rtęć	Te	Tellur
Ho	Holm	Th	Tor
I	Jod	Ti	Tytan
In	Ind	Tl	Tal
Ir	Iryd	Tm	Tul
K	Potas	U	Uran
Kr	Krypton	V	Wanad
La	Lantan	W	Wolfram
Li	Lit	Xe	Ksenon
Lr	Lorens	Y	Itr
Lu	Lutet	Yb	Iterb
Md	Mendelew	Zn	Cynk
Mg	Magnez	Zr	Cyrkon

VI. Związki chemiczne powszechnie stosowane w niniejszym dokumencie

Formuła chemiczna	Nazwa (objaśnienie)
Al_2O_3	Trójtlenek glinu
CH_4	Metan
Cl^-	Chlorki lub jony chlorkowe
CN^-	Cyjanek
CO	Tlenek węgla
F^-	Jon fluorkowy
HCl	Chlorowodór (kwas solny)
HF	Fluorowodór
HI	Jodowodór
H_2S	Siarkowodór
H_2SO_4	Kwas siarkowy
NaOH	Wodorotlenek sodu. Nazywany również sodą kaustyczną.
NH_3	Amoniak
N_2O	Podtlenek azotu
NO^{2-}	Azotyn
NO^{3-}	Azotan
NO_x	Tlenki azotu (mieszanina NO i NO_2)
SiF_4	Tetrafluorek krzemu
SiO_2	Dwutlenek krzemu, krzemionka
SO_2	Dwutlenek siarki
SO_3^{2-}	Siarczyn
SO_x	Tlenki siarki (mieszanina SO_2 i SO_3)

VII. Akronimy

Skrót	Pełna nazwa
ACC	Skraplacz chłodzony powietrzem
AMS	Zautomatyzowany system pomiarowy
APC	Kontrola zanieczyszczeń powietrza, termin stosowany gdzie indziej w odniesieniu do oczyszczania spalin (FGC)
BaP	Benzo(a)piren (C ₂₀ H ₁₂)
BAT	Najlepsze dostępne techniki, jak to określono w art. 3 ust. 10 dyrektywy IED.
BAT-AEL	Poziomy emisji powiązane z najlepszymi dostępnymi technikami, tak jak to określono w art. 3 ust. 13 dyrektywy IED.
BAT-AEPL	Najlepsze dostępne techniki – związane z nimi poziom emisji, zgodnie z opisem w sekcji 3.3.2 decyzji wykonawczej Komisji 2012/119/UE.
BF	Filtr workowy
BFB	Pęcherzykowe złożo fluidalne – rodzaj złoża fluidalnego (zobacz również CFB)
BFR	Bromowany związek opóźniający zapłon (bromowany opóźniacz spalania)
BZT (BOD)	Biochemiczne zapotrzebowanie na tlen (biochemiczne zapotrzebowanie tlenu)
BREF	Dokument referencyjny dotyczący najlepszych dostępnych technik (dokument referencyjny BAT)
BTEX	Benzen, toluen, etylobenzen, ksylen
BTX	Benzen, toluen, ksylen
CAPEX	Wydatki kapitałowe
CAS	Numer CAS (numer w rejestrze CAS ; CAS – Chemical Abstracts Service)
CEPIC	Europejska Rada Przemysłu Chemicznego (Conseil Européen de l'Industrie Chimique, European Chemical Industry Council)
CFB	Cyrkulacyjne złożo fluidalne – rodzaj złoża fluidalnego (zobacz również BFB)
CFC	Chlorofluorowęglowodór
CFD	Skomputeryzowana dynamika płynów – technika modelowania używana do przewidywania przepływu gazu oraz temperatury w spalarniach i innych systemach
CHP	Kogeneracja (skojarzona gospodarka energetyczna)
ChZT (COD)	Chemiczne zapotrzebowanie na tlen (chemiczne zapotrzebowanie tlenu)
CV	Wartość opałowa, np. w MJ/kg lub MJ/m ³
CW	Odpady medyczne
CWW	Ścieki komunalne
DIN	Niemiecka Krajowa Organizacja Normalizacyjna (Deutsches Institut für Normung, German national organisation for standardisation)
DE	Wydajność niszczenia – ogólny procent substancji wprowadzanej do procesu spalania, która jest niszczona, a następnie nie jest emitowana do jakichkolwiek mediów środowiskowych.
de-diox	Pochłanianie dioksyn
de-NO _x	Pochłanianie NO _x
DRE	Skuteczność niszczenia i usuwania – procent substancji wprowadzanej do procesu spalania, która nie jest następnie emitowana z komina.
DSI	Wtrysk suchego sorbentu
DM	Całkowita zawartość substancji stałych
DH	System ciepłowniczy (sieć ciepłownicza) – sieć dostarczająca ciepło za pomocą ciepłej wody lub pary wodnej
DS	Substancje stałe (w znaczeniu ich konsystencji)
EA	Agencja Ochrony Środowiska – Anglia i Walia (Environment Agency – England and Wales)
EEA	Europejska Agencja Środowiska (European Environment Agency)
EEB	Europejskie Biuro Ochrony Środowiska (European Environmental Bureau)
EFTA	Europejskie Stowarzyszenie Wolnego Handlu (European Free Trade Association)
EGR	Recykulacja spalin
EIPPCB	Europejskie Biuro ds. Zintegrowanego Zapobiegania Zanieczyszczeniom i ich kontroli (Europejskie Biuro IPPC)
ELV	Dopuszczalna wartość emisji (graniczna wielkość emisji)
EMAS	System ekzarządzania i audytu (rozporządzenie Rady (WE) nr 1221/2009)
EMS	System zarządzania środowiskowego
EN	Norma europejska (norma EN)
EPA	Agencja Ochrony Środowiska USA (Environmental Protection Agency)
ESP	Filtr elektrostatyczny (elektrofiltr)
EQS	Norma jakości środowiska
EU	Unia Europejska
EU+	Unia Europejska + kraje EFTA (Europejskie Stowarzyszenie Wolnego Handlu) + kraje kandydujące
EuLA	Europejskie Stowarzyszenie Przemysłu Wapienniczego
EWC	Europejski kod odpadów
FB	Złożo fluidalne
FBA	Żużel z spalarni

Skrót	Pełna nazwa
FBC	Spalanie w złożu fluidalnym
FD	Wymuszony ciąg – często stosowany w kontekście wentylatorów z wymuszonym ciągiem, które wykorzystują nadciśnienie do uruchamiania (zazwyczaj) urządzeń FGC za nimi (zobacz również ID).
FEAD	Europejska Federacja Gospodarki Odpadami
FGC	Oczyszczanie spalin
FGT	Oczyszczanie gazów odlotowych (przetwarzanie gazów odlotowych)
FGR	Recykulacja spalin
FID	Detektor płomieniowo-jonizacyjny
GHG	Gazy cieplarniane (np. CO ₂)
GWP	Współczynnik globalnego ocieplenia
HCB	Heksachlorobenzen (perchlorobenzen, 1,2,3,4,5,6-heksachlorobenzen)
HCFC	Wodorochlorofluorowęglowodór
HFC	Wodorofluorowęglowodór (fluorowęglowodór)
HFO	Paliwo ciężkie (ciężki olej napędowy, ciężki olej opałowy)
HP	Wysokie ciśnienie
HSS	Wysoka powierzchnia właściwa
HW	Odpady niebezpieczne
HWI	Spalarnia odpadów niebezpiecznych
IAF	Międzynarodowe Forum Akredytacji
IBA	Popiół paleniskowy z spalarni
IBC (DPPL)	Duży pojemnik do przewozu luzem (zbiornik IBC)
ICRF	Indukcyjnie sprzężona plazma o częstotliwości radiowej
ID	Wyciąg – często stosowany w kontekście wentylatorów wyciągowych, które są wykorzystywane do odprowadzania gazów pochodzących ze spalarni.
IED	Dyrektywa w sprawie emisji przemysłowych (2010/75/UE)
IPPC	Zintegrowane zapobieganie zanieczyszczeniom i ich kontrola
IR	Podczerwień
ISO	Międzynarodowa Organizacja Normalizacyjna (International Organisation for Standardisation)
ISSA	Popioły pochodzące ze spalonych osadów ściekowych
IWS	Jonizacyjna płuczka gazowa mokra
JRC	Wspólne Centrum Badawcze
L/S	Stosunek ciecz/ciało stałe
LCA	Ocena cyklu życia (analiza pełnego cyklu życia)
LCP	Duży obiekt energetycznego spalania
LDAR	Wykrywanie nieszczelności i naprawa
LFO	Lekki olej opałowy (lekki olej napędowy)
LHV	Wartość opałowa (wartość kaloryczna netto)
LOI	Strata przy prażeniu – pojęcie często przywoływane w kontekście badania stosowanego do oceny zawartości substancji organicznych w materiałach
LoW	Europejski wykaz odpadów (z decyzji Komisji 2000/532/WE)
LPG	gaz płynny (LPG)
LOQ	Granica oznaczalności
MP	Ciśnienie średnie
MS	(Unia Europejska) Państwo członkowskie
MSPO	tlenek mono styrenu i propylenu (mono styrene propylene oxide)
MSW	Stałe odpady komunalne
MSWC / MSWI	Spalanie/Spalarnia stałych odpadów komunalnych
N	Normalne – odnosi się do objętości gazów w normalnych warunkach pracy w temperaturze 273,15 K i ciśnieniu 101,325 kPa.
NA	Nie dotyczy
NCV	Wartość opałowa (wartość kaloryczna netto)
ND	Nieokreślone / Niewykrywalne
NGO	Organizacja pozarządowa
NI	Brak danych (brak informacji)
NID	Novel Integrated Desulfurization. W technologii tej wapno hydratyzowane (gaszone) używane jest jako odczynnik do reakcji z gazowymi zanieczyszczeniami, takimi jak Sox, HCl i HF. Zbieranie rtęci może być realizowane poprzez wtyskiwanie sproszkowanego węgla aktywnego (PAC). Zebrane cząsteczki są następnie recykulowane lub usuwane.
NIRS	Spektroskopia w bliskiej podczerwieni
NMLZO (NMVOC)	Niemetanowe lotne związki organiczne
NOC	Normalne warunki pracy
ODS	Substancja zubożająca warstwę ozonową
OJ	Dziennik Urzędowy (UE)
ONHW	Odpady inne niż niebezpieczne
OPEX	Wydatki/koszty operacyjne
OTNOC	Inne niż normalne warunki pracy
PAC	Sproszkowany węgiel aktywny

Skrót	Pełna nazwa
PBDD/F	Polibromowane dibenzodooksyny/furany
WWA (PAH)	Wielopierścieniowy węglowodór aromatyczny
PBDE	Polibromowane difenyletery (polibromowane etery difenylowe, difenyletery bromowane)
PCB	Polichlorowany bifenył
PCC	Komora dopalająca
PCDD	Polichlorowane dibenzo-p-dioksyny
PCDD/F	Polichlorowane dibenzo-p-dioksyny i furany
PCDF	Polichlorowane dibenzofurany
PCDM	Polichlorowane difenylometany
PEMS	System monitorowania przewidywalnych emisji
PET	Politereftalan etylenu
PIC(s)	Produkty niepełnego spalania
PM	Pył zawieszony (cząstki stałe)
POP (TZO)	Trwałe zanieczyszczenia organiczne
PPS	Polisiarczek Fenylenu (Polisulfid fenylenu, Polifenyleneosulfid)
PTFE	Poli(tetrafluoroetylen) – popularnie nazywany teflonem
PRTR	Europejski Rejestr Uwalniania i Transferu Zanieczyszczeń (europejski PRTR)
PSA	Adsorpcja zmiennociśnieniowa
PSSC	Piroliza osadów ściekowych
QMS	System zarządzania jakością
PVC	Polichlorek winylu (określany również jako PWC)
RDF	Paliwo odpadowe RDF
SNCR	Selektywna redukcja niekatalityczna
SCR	Selektywna redukcja katalityczna
SCW	Odpady ze statków
SD	Wyłączenie
SDA	Absorpcja półmokra (absorber półmokra)
Semi-WS	Płuczka gazowa półmokra
SPC	Sorbentowy katalizator polimerowy (Sorbent Polymer Catalyst)
SRF	Paliwo stałe z odzysku, zobacz RDF
SRM	Standardowe metody referencyjne
SS	Osad ściekowy
SSI	Spalarnia osadów ściekowych
SU	Rozruch
TDS	Całkowita ilość rozpuszczonych ciał stałych
TEF	Współczynnik toksyczności
TEQ	Równoważniki toksyczności (I-TEQ: międzynarodowe równoważniki toksyczności)
TG	Turbo-generator
TOC (OWO)	Ogólny węgiel organiczny
TMT	2,4,6-Trimercapto-1,3,5-triazyna - Odczynnik siarczkowy stosowany do wychwytywania metali ciężkich w oczyszczalniach ścieków (WWT)
TSS	Zawiesina ogólna
TVOC	Całkowita zawartość lotnych związków organicznych (całkowite LZO)
TWG	Techniczna Grupa Robocza
UV	Ultrafiolet
VFA	Lotne kwasy tłuszczowe
VOC (LZO)	Lotny związek organiczny
WDF	Paliwo odpadowe RDF (zobacz RDF)
WEP (wet ESP)	Elektrofiltr mokry
WI	Spalarnia/spalanie odpadów
WFD	Dyrektywa ramowa w sprawie odpadów (2008/98/WE)
WS	Płuczka gazowa mokra
WT	Przetwarzanie odpadów
W-t-E (WtE)	Odzysk energii
WWTP	Oczyszczalnia ścieków

VIII. Definicje

Proces z osadem czynnym	Biologiczny proces oczyszczania ścieków komunalnych i przemysłowych z wykorzystaniem mikroorganizmów w warunkach tlenowych.
Procesy tlenowe	Procesy biologiczne zachodzące w obecności tlenu.
Procesy beztlenowe	Procesy biologiczne zachodzące przy braku tlenu i innych substancji akceptujących elektrony, z wyjątkiem dwutlenku węgla/węglanów.
Biopaliwo	Biopaliwo zgodnie z definicją zawartą w art. 2 lit. i) dyrektywy 2009/28/WE.
Biomasa	Biomasa zgodnie z definicją zawartą w art. 2 lit. e) dyrektywy 2009/28/WE.
Bioodpady	Bioodpady zgodnie z definicją zawartą w art. 3 ust. 4 dyrektywy 2008/98/WE.
Popiół kotłowy	Część popiołu lotnego, która jest usuwana z kotła.
Zakład przetwarzania popiołu paleniskowego	Zakład przetwarzający żużle i/lub popioły paleniskowe pochodzące ze spalania odpadów celem oddzielenia oraz odzyskania wartościowej frakcji a także umożliwienia korzystnego wykorzystania pozostałej frakcji. Nie obejmuje on wyłącznie oddzielenia elementów metalowych w spalarni.
Bunkier	Nazwa stosowana na określenie: najczęściej całkowicie zamkniętej, betonowej komory, również zamykanego zasobnika na odpady, czy też całkowicie zamkniętego (zabudowanego) magazynu.
Produkt uboczny	Substancja lub przedmiot powstały w wyniku procesu produkcyjnego, którego głównym celem nie było wytworzenie tego produktu oraz który nie jest uważany za odpad a także spełnia wymogi art. 5 dyrektywy 2008/98/WE w sprawie odpadów.
Placek	Materiał stały lub półstały pozostający na filtrze po filtracji ciśnieniowej.
CAS	Chemical abstracts service (numer rejestracyjny). Dział Amerykańskiego Towarzystwa Chemicznego (American Chemical Society) prowadzi rejestry substancji chemicznych; dostarcza unikalny numeryczny identyfikator związków chemicznych, polimerów, sekwencji biologicznych, mieszanin i stopów, który oznacza tylko jedną substancję.
Certyfikacja	Procedura, w ramach której strona trzecia daje pisemne zapewnienie, że produkt, proces lub usługa są zgodne z określonymi wymaganiami. Certyfikacja może dotyczyć przyrządów, urządzeń i/lub personelu.
Emisje zorganizowane	Emisja zanieczyszczeń do środowiska poprzez dowolny przewód powietrzny, rurę, komin itp. Obejmuje to również emisje z otwartych biofiltrów.
Odpady medyczne	Odpady zakaźne lub w inny sposób niebezpieczne pochodzące z zakładów opieki zdrowotnej (np. szpitali)
Próbka zbiorcza	Próbka zbiorcza odnosi się do próbki wody pobieranej w sposób ciągły w danym okresie lub próbki składającej się z kilku próbek pobieranych w sposób ciągły lub nieciągły w danym okresie (np. w ciągu 24 godzin) i zmieszanych.
Pomiar ciągły	Pomiar za pomocą automatycznego systemu pomiarowego (AMS) zainstalowanego na stałe na terenie zakładu w celu stałego monitorowania emisji, zgodnie z normą EN 14181:2004.
Woda chłodząca	Woda wykorzystywana do przesyłu energii (odprowadzanie ciepła z komponentów i urządzeń przemysłowych), która jest magazynowana w sieci oddzielonej od wody przemysłowej i która może być odprowadzana z powrotem do wód przyjmujących bez dalszego oczyszczania.
Likwidacja (wycofanie z użycia)	Zamknięcie zakładu, w tym odkażanie i/lub demontaż instalacji.
Emisje rozproszone	Emisje niezorganizowane (np. pyłów, związków organicznych, odorów), które mogą pochodzić ze źródeł "obszarowych" (np. zbiorniki) lub źródeł "punktowych" (np. kołnierze do rur). Obejmuje to również emisje z kompostowania w przyzmacz na wolnym powietrzu.
Produkt pofermentacyjny	Stale pozostałości po fermentacji/rozkładzie/degradacji beztlenowej.
Dioksyny	Polichlorowane dibenzodioksyny (PCDD) i polichlorowane dibenzofurany (PCDF).
Pomiary bezpośrednie	Określone ilościowe oznaczanie emitowanych związków u źródła.
Dioksyny	Polichlorowane dibenzodioksyny (PCDD) i polichlorowane dibenzofurany (PCDF).
Pomiary bezpośrednie	Określone ilościowe oznaczanie emitowanych związków u źródła.
Pomiary bezpośrednie	Określone ilościowe oznaczanie emitowanych związków u źródła.
Zrzut (odprowadzenie)	Fizyczne uwalnianie (np. zorganizowane) substancji zanieczyszczającej przez określony odpływ lub system (np. kanalizację, komin, odpowietrzenie, obszar, odpływ).

Chwilowe	Nieciągłe, tzn. posiadające przerwy pomiędzy wszystkimi możliwymi wartościami.
Drenaż	Naturalne lub sztuczne usuwanie wód powierzchniowych i podziemnych z danego obszaru, w tym strumieni powierzchniowych i cieków wód podziemnych.
Odwadnianie	Opróżnianie zawartości płynu z systemu do systemu zbierania lub innego systemu magazynowania, tworząc ewentualny strumień ścieków.
Emisja	Bezpośrednie lub pośrednie uwalnianie substancji, wibracji, ciepła lub hałasu z indywidualnych lub rozproszonych źródeł instalacji do atmosfery, wody lub gleby (z dyrektywy 2010/75/UE).
Gaz spalinowy (lub powietrze wylotowe)	Strumień gazu/powietrza powstający w procesie spalania lub ekstrakcji; może zawierać składniki gazowe lub cząsteczkowe. Nie ma związku z tym co jest odprowadzane z komina.
Działający (istniejący) zakład	Zakład który nie jest nowym zakładem
Spaliny (gazy spalinowe)	Mieszanina produktów spalania i powietrza opuszczająca komorę spalania, która jest kierowana w górę komina celem emisji.
Popioły lotne	Cząsteczki z komory spalania lub powstałe w strumieniu spalin, które są transportowane w spalinach.
Zanieczyszczenie	Proces zapylenia lub zatkania, np. przez niepożądane substancje obce, takie jak brud i inne materiały, gromadzące się i zatykające pory czy powierzchnie powłok.
Emisje ulotne (niezorganizowane)	Emisje zanieczyszczeń do środowiska wynikające ze stopniowej utraty szczelności urządzenia zaprojektowanego tak, aby zawierało zamkniętą ciecz (gazową lub płynną). Emisje ulotne stanowią podzbiór emisji rozproszonych.
Spalanie na pochodniach	Wysokotemperaturowe utlenianie z otwartym płomieniem celem spalania palnych związków gazów odlotowych z operacji przemysłowych. Spalanie na pochodniach jest stosowane przede wszystkim ze względów bezpieczeństwa lub w warunkach odbiegających od normalnych.
Odpady niebezpieczne	Odpady niebezpieczne w rozumieniu art. 3 ust. 2 dyrektywy 2008/98/WE.
IED	Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2010/75/UE z dnia 24 listopada 2010 r. w sprawie emisji przemysłowych (zintegrowane zapobieganie zanieczyszczeniom i ich kontrola).
Spalanie odpadów	Spalanie odpadów w spalarni, samodzielnie lub w połączeniu z paliwami.
Spalarnia	Spalarnia odpadów w rozumieniu art. 3(40) Dyrektywy 2010/75/UE albo współspalarnia odpadów w rozumieniu art. 3(41) Dyrektywy 2010/75/UE, objęta zakresem niniejszego BREF.
Dyrektywa IPPC	Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2008/1/WE z dnia 15 stycznia 2008 r. dotycząca zintegrowanego zapobiegania zanieczyszczeniom i ich kontroli (dyrektywa IPPC), która została zastąpiona dyrektywą 2010/75/UE w sprawie emisji przemysłowych (dyrektywa IED).
Odpady laboratoryjne	Chemikalia laboratoryjne w pojemnikach o małej pojemności.
Odciek	Roztwór otrzymany w wyniku wmywania. Roztwór składa się z cieczy, która w trakcie przechodzenia przez materię wyciąga z niej substancje rozpuszczalne, zawiesinę lub jakiegokolwiek inne składniki.
Wyciek	Wycieki gazu lub cieczy z instalacji/urządzeń spowodowane ich awarią.
Wapień	Skała mineralna składająca się wyłącznie z CaCO ₃ , stosowana jako CaCO ₃ lub jako surowiec do produkcji wapna palonego (tlenek wapnia) poprzez odwęglenie oraz wapna gaszonego (wodorotlenek wapnia) poprzez uwodnienie wapna palonego.
Znacząca modernizacja zakładu/zespołu urządzeń	Poważna zmiana w projekcie lub technologii zakładu/systemu urządzeń, polegająca na wprowadzeniu istotnych zmian lub zastąpieniu procesu i/lub technik redukcji emisji oraz związanego z nimi wyposażenia.
Woda uzupełniająca	Woda dodawana do procesu lub obiegu w celu zastąpienia wody utraconej na przykład w wyniku wycieku lub odparowania.
Monitorowanie	Systematyczny nadzór nad zmianami pewnych chemicznych lub fizycznych właściwości emisji, zrzutów, zużycia, równoważnych parametrów lub środków technicznych itp.
Stale odpady komunalne	Odpady stałe z gospodarstw domowych (zmieszane lub zbierane selektywnie), jak również odpady stałe z innych źródeł, które są porównywalne z odpadami z gospodarstw domowych pod względem charakteru i składu.
Nowy zakład	W odniesieniu do spalania odpadów oznacza obiekt dopuszczony po raz pierwszy lub całkowicie zastąpiony po opublikowaniu niniejszych konkluzji dotyczących BAT.

Odpady inne niż niebezpieczne	Odpady niebędące odpadami niebezpiecznymi, które nie są ani stałymi odpadami komunalnymi, ani osadami ściekowymi.
Produkt wyjściowy	Przetworzone odpady pochodzące z zakładu przetwarzania odpadów.
Odpady półpłynne	Odpady niepompowalne (np. szlam).
Pomiar okresowy	Przeprowadzanie pomiarów (określonej wielkości podlegającej pomiarowi) w określonych odstępach czasu z wykorzystaniem metod manualnych lub zautomatyzowanych.
Okresowe pobieranie próbek	Chwilowe/indywidualne/oddzielne/nieciągłe pobieranie próbek - poszczególne próbki pobierane są w różnych odstępach czasu, zazwyczaj w zależności od czasu lub objętościowego natężenia przepływu ścieków. Można wyróżnić trzy formaty próbkowania: <ul style="list-style-type: none"> • okresowe, zależne od czasu pobieranie próbek - w równych odstępach czasu pobierane są próbki chwilowe o jednakowej objętości; • okresowe zależne od przepływu pobieranie próbek - pobierane są próbki chwilowe o zmiennej objętości w równych odstępach czasu; • próbki okresowe pobierane przy stałym przepływie - próbki chwilowe o równej objętości pobierane są po przejściu określonej stałej objętości.
Chmura zanieczyszczeń	Widoczne lub mierzalne zrzuty zanieczyszczeń z danego punktu źródłowego, zazwyczaj emisja zorganizowana z komina na terenie zakładu przemysłowego.
Źródło zanieczyszczenia	Źródło emisji. Źródła zanieczyszczeń można sklasyfikować jako: <ul style="list-style-type: none"> • źródła punktowe lub skoncentrowane; • źródła rozproszone; • źródła liniowe, w tym źródła ruchome (transport) i stacjonarne; • źródła obszarowe.
Dokładność	Odnosi się do zdolności pomiaru, który ma być konsekwentnie powtarzany.
Podstawowa metoda/technika	Środek/technika, która zmienia sposób funkcjonowania procesu bazowego, ograniczając tym samym emisje lub zużycie surowców.
Przedmuchiwanie	Zastąpienie zawartości gazów w układzie powietrzem lub gazami obojętnymi.
Materiał radioaktywny	Materiał radioaktywny, zgodnie z definicją zawartą w glosariuszu bezpieczeństwa Międzynarodowej Agencji Energii Atomowej (MAEA), wydanie z 2016 r.
Odzysk	Odzysk zgodnie z definicją zawartą w art. 3 pkt 15 dyrektywy 2008/98/WE.
Recykling	Recykling zgodnie z definicją zawartą w art. 3 pkt 17 dyrektywy 2008/98/WE.
Ponowne użycie	Ponowne wykorzystanie zgodnie z definicją zawartą w art. 3 pkt 13 dyrektywy 2008/98/WE.
Warunki referencyjne	Warunki, które są określone, np. w związku z obsługą procesu, pobieraniem próbek.
Regeneracja (odnowienie)	Przetwarzanie oraz procesy zaprojektowane głównie w celu ponownego wykorzystania przetworzonego wyposażenia (np. węgiel aktywny) lub materiału (np. zużyty rozpuszczalnik).
Uwolnienie	Faktyczne zrzuty (rutynowe, zwykłe lub przypadkowe) emisji do środowiska.
Remediacja	Izolowanie i/lub odkażanie zanieczyszczonych mediów środowiskowych, takich jak gleba, wody gruntowe, osady lub wody powierzchniowe pochodzących z zanieczyszczonego miejsca przeznaczonego do dalszego wykorzystania. Powierzchnia terenu może być większa niż teren ogrodzony.
Sprawozdawczość	Proces okresowego przekazywania informacji na temat efektów działalności środowiskowej, w tym emisji i zgodności z warunkami pozwolenia, władzom lub wewnętrznemu kierownictwu zakładu oraz innym agencjom, takim jak opinia publiczna.
Pozostałości	Wszelkie odpady płynne lub stałe wytwarzane przez spalarnię lub zakład przetwarzania popiołu paleniskowego.
Odplyw (splyw)	Część opadów atmosferycznych i roztopów śniegu, które nie infiltrują, ale przemieszczają się jak przepływ lądowy.
Pobieranie próbek	Pobieranie próbek jest procesem, w którym część substancji jest pobierana w celu utworzenia reprezentatywnej części (próbki) całości, do celów badania rozważanej substancji lub materiału (patrz również próbki ciągłe, próbki okresowe).
Obiekt wrażliwy	Obszar, który wymaga specjalnej ochrony, np.: <ul style="list-style-type: none"> - obszary mieszkalne; - obszary, na których prowadzona jest działalność człowieka (np. szkoły, ośrodki opieki dziennej, tereny rekreacyjne, szpitale lub domy opieki).
Osad ściekowy	Osady ściekowe pozostałe po składowaniu, obsłudze i przetwarzaniu ścieków domowych, miejskich lub przemysłowych, z wyjątkiem przypadków, gdy stanowią one odpady niebezpieczne.

Szlam	Zawiesina cząstek stałych w cieczy, ale o niższym stężeniu niż w osadzie.
Próbka chwilowa	Próbka pobrana losowo i niezwiązana z wyładowaną objętością.
Warunki standardowe (znormalizowane)	Odniesione do temperatury 273,15 K, ciśnienia 101,325 kPa i określonej zawartości tlenu.
Parametr zastępczy	Ilości mierzalne lub obliczalne, które mogą być ściśle związane, bezpośrednio lub pośrednio, z konwencjonalnymi bezpośrednimi pomiarami zanieczyszczeń i które mogą być monitorowane i wykorzystywane zamiast bezpośrednich wartości zanieczyszczeń do pewnych praktycznych celów. Nazywany również parametrem proxy.
Zagęszczanie	Proces rozdzielania cieczy i substancji stałych poprzez sedimentację (osiadanie) w celu zwiększenia stężenia zawiesiny, któremu towarzyszy tworzenie się klarownej substancji stałej.
Jednostka	Część zakładu, w której prowadzona jest określona operacja przetwarzania.
Ważna średnia wartość półgodzinna	Średnia wartość półgodzinna uznawana jest za ważną w przypadku braku konserwacji lub wadliwego działania zautomatyzowanego systemu pomiarowego.
Witryfikacja (zeszklenie)	Przemiana substancji lub mieszaniny substancji w szkło lub bezpostaciową szklaną matrycę.
Odpady	Odpady zgodnie z definicją zawartą w art. 3 ust. 1 dyrektywy 2008/98/WE.
Hierarchia postępowania z odpadami	Priorytetowy porządek w prawodawstwie i polityce w zakresie zapobiegania powstawaniu odpadów i gospodarowania nimi, jak to określono w art. 4 dyrektywy 2008/98/WE.
Posiadacz odpadów	Posiadacz odpadów zgodnie z definicją zawartą w art. 3 ust. 6 dyrektywy 2008/98/WE.
Odpady dostarczone do przetworzenia	Odpady przychodzące, które mają być przetwarzane w zakładzie przetwarzania odpadów.
Olej odpadowy	Olej odpadowy zgodnie z definicją zawartą w art. 3 ust. 3 dyrektywy 2008/98/WE.
Przetwarzanie odpadów	Przetwarzanie zgodnie z definicją zawartą w art. 3 pkt 14 dyrektywy 2008/98/WE.
WHO-TEQ	Stężenia dioksyn i dl-PCB wyrażane są zazwyczaj w tzw. równoważnikach toksyczności TEQ (ang. Toxic Equivalent) będących sumą iloczynów stężeń poszczególnych kongenerów i ich współczynników toksyczności TEF (ang. Toxicity Equivalency Factor). Poszczególne kongenery dioksyn i dl-PCB różnią się stopniem toksyczności. Dlatego, w celu ujednoczenia podejścia do szacowania ryzyka związanego z narażeniem na te związki, na początku lat 90-tych przyjęto koncepcję tzw. „współczynników toksyczności” (ang. Toxicity Equivalency Factor – TEF). Zgodnie z nią, opierając się na dostępnych wynikach badań toksyczności różnych kongenerów PCDD/F i dl-PCB, odniesiono je do najbardziej toksycznej dioksyny, której przyznano wartość TEF równą 1. Wyznaczone przez Światową Organizację Zdrowia (WHO) wartości TEF dla pozostałych kongenerów wynoszą od 0,00001 do 1. Dla danej próbki, wartość stężenie PCDD/F i dl-PCB wyraża się w równoważnikach toksyczności (TEQ), które są sumą iloczynów stężeń poszczególnych kongenerów i ich współczynników toksyczności TEF.
Zeolity	Mikroporowate, glinokrzemianowe minerały powszechnie stosowane jako adsorbenty przemysłowe.

BIBLIOGRAFIA

- [1] UBA, Draft of a German Report for the creation of a BREF document "waste incineration", 2001 (Projekt niemieckiego raportu w sprawie opracowania dokumentu BREF "Spalanie odpadów").
- [2] InfoMil, Dutch Notes on BAT for the Incineration of Waste, Information Centre for Environmental Licensing, 2002 (Niderlandzkie uwagi na temat BAT dotyczących spalania odpadów, Centrum Informacyjne ds. Licencji Środowiskowych).
- [3] Austria, State of the art for waste incineration plants, 2002 (Austria, Stan techniki w zakresie spalarni odpadów).
- [4] IAWG, municipal solid waste incinerator residues, Elsevier, 0-444-82563, 1997 (IAWG, pozostałości ze spalarni stałych odpadów komunalnych).
- [5] RVF, Energy recovery by condensation and heat pumps at WTE plants in Sweden, 2002 (RVF, Odzyskiwanie energii za pomocą kondensacji i pomp ciepła w zakładach odzysku energii w Szwecji).
- [6] EGTEI, Draft background document on the waste incineration sector, 2002 (Projekt dokumentu informacyjnego w sprawie sektora spalania odpadów).
- [7] TWG, Comments to Draft 1 of the WtBREF, 2017 (Uwagi do Projektu 1 dokumentu BREF dotyczącego spalania odpadów).
- [8] Energos, Technical literature regarding Energos Processes, 2002 (Literatura techniczna dotycząca procesów stosowanych w zakładach Energos).
- [9] VDI, "Thermal waste treatment: state of the art - a summary. (The future of waste treatment in Europe 2002, Strasbourg)", 2002 ("Termiczne przetwarzanie odpadów: stan techniki - podsumowanie. (Przyszłość przetwarzania odpadów w Europie 2002, Strasbourg)").
- [10] Juniper, The Market for Pyrolysis and Gasification in Europe, 1997 (Rynek pirolizy oraz zgazowania w Europie).
- [11] Assure, A profile of incineration in Europe (Brussels), 2001 (Profil spalania w Europie).
- [12] Achternbosch, Material flows and investment costs of flue gas cleaning systems of municipal waste incinerators, Institute for technical chemistry Karlsruhe, Germany, FZKA 6726, 2002 (Przepływy materiałowe oraz koszty inwestycyjne systemów oczyszczania spalin w spalarniach odpadów komunalnych, Instytut Chemii Technicznej Karlsruhe, Niemcy).
- [13] JRC(IoE), NOx and dioxin emissions from waste incineration plants, EUR 20114 EN, 2001 (Emisje NOx oraz dioksyn ze spalarni odpadów).
- [14] Eurostat, Waste generation and treatment statistics; data codes: env_wasmun, env_wastrt, env_ww_spd, 2018 (Eurostat, Statystyki dotyczące wytwarzania i przetwarzania odpadów).
- [15] Segers, A new secondary air injection system for MSW plants, <http://www.scientecmatrix.com/tecma/scientecmatrix.nsf/ffMain?openform&ot=f&oc=waste>, 2002 (Nowy system wtórnego wtrysku powietrza dla zakładów przetwarzających stałe odpady komunalne).
- [16] Wilts et al., Assessment of waste incineration capacity and waste shipments in Europe, European Topic Centre on Waste and Materials in a Green Economy (ETC/WMGE), 2017 (Wilts i inni, Ocena zdolności spalania oraz transportu odpadów w Europie, Europejskie Centrum Tematyczne ds. odpadów i materiałów w zielonej gospodarce).
- [17] ONYX, Application for IPC permit for EFW plant, Southampton, UK, 2000 (Wniosek o pozwolenie MKP dla zakładu EFW (energia z odpadów), Southampton, Zjednoczone Królestwo).
- [18] Italy, DISMO Thermal Oxidation Process, 2002 (Proces termicznego utleniania DISMO).
- [19] Babcock, Water cooled grates, <http://www.bbpwr.com>, 2002 (Rusztzy chłodzone wodą).
- [20] EKOKEM, BAT Submission by Ekokem, Finland, 2002 (Propozycja BAT firmy Ekokem).
- [21] FNADE, Comments provided to TWG on 6 Questions Posed, 2002 (Uwagi dotyczące 6 zadanych pytań przekazane technicznej grupie roboczej).

-
- [22] Mineur, Auswirkungen betriebstechnischer optimierungen auf die emissionen bei der verbrennung van klarschlamm, VERA Incinerator, Hamburg, 2002 (Wpływ optymalizacji operacyjnej na emisje pochodzące ze spalania czystego osadu ściekowego, spalarnia VERA, Hamburg).
- [23] VanKessel, On-line determination of the calorific value of solid fuels, Elsevier Preprint (submitted), 2002 (Określanie w trybie on-line wartości opałowej paliw stałych).
- [24] CEFIC, thermal treatment technologies for waste, 2002 (Technologie przetwarzania termicznego odpadów).
- [25] Kommunikemi, Pre-treatment of packed waste and 3 step flue gas cleaning at KK, DK, 2002 (Wstępne przetwarzanie odpadów opakowaniowych oraz 3-stopniowe oczyszczanie spalin w Kopenhadze, Dania).
- [26] RSP, Investigations into the efficiency of different flue gas cleaning systems for incineration plants, Reimann, sunshine and partner GmbH, 1999 (Badania wydajności różnych systemów oczyszczania spalin dla spalarni, Reimann, Sunshine oraz partnerzy GmbH).
- [27] Belgium, Flemish experiences with dioxin abatement and control in waste incinerators, VITO, 2002 (Belgia, doświadczenia flamandzkie w zakresie ograniczania i kontroli dioksyn w spalarniach odpadów).
- [28] FEAD et al., "Energy techniques for municipal waste incinerators- proposed outline, FNADE", Personal Communication, 2002 (FEAD i inni, "Techniki wytwarzania energii dla spalarni odpadów komunalnych - zarys propozycji").
- [29] Energy subgroup, Energy recovery from waste incineration plants - paper, 2002 (Odzysk energii w spalarniach odpadów).
- [30] UBA, Status report on CO₂ emission saving through improved energy use in plants, 2002 (Raport o stanie zaawansowania działań na rzecz ograniczenia emisji CO₂ dzięki lepszemu wykorzystaniu energii w instalacjach).
- [31] Energy subgroup, "Personal communication", Personal Communication, 2003. ("Komunikacja personalna").
- [32] Denmark, Corrosion and inconel cladding, 2003 (Dania, Korozja a napawanie inconelem).
- [33] Finland, Recovered fuel use in fluid bed combustion and gasification, VTT Foster Wheeler, 2002 (Finlandia, Wykorzystanie odzyskanego paliwa w spalaniu oraz gazyfikacji w złożu fluidalnym).
- [34] ISWA, Waste-to-Energy, State-of-the-Art-Report, 2012 (Odzyskiwanie energii, raport o aktualnym stanie techniki).
- [35] Renova, "EIPPCB site visit Sweden / Finland April 2002", Personal Communication, 2002 (Wizyta EIPPCB w Szwecji oraz Finlandii, kwiecień 2002).
- [36] Gohlke, The SYNCOM plus process, 3-935317-13-1., 2002 (Proces SYNCOM+).
- [37] Biollaz, Better quality MSW residues at lower cost (the PECK process) Incineration 2001, Brussels, 2001 (Lepsza jakość pozostałości z stałych odpadów komunalnych przy niższych kosztach (proces PECK)).
- [38] Vehlou, Bottom ash and APC residue management. Power production from waste and biomass IV, Helsinki, 951-38-5734-4, 2002 (Zarządzanie popiołem paleniskowym oraz pozostałościami APC. Produkcja energii elektrycznej z odpadów i biomasy).
- [39] Vrancken, Vergelijking van verwerkingsscenario's voor restfractie van HHA en niet-specifiek categorie II bedrijfsafval, VITO, 2001 (Porównanie scenariuszy przetwarzania odpadów komunalnych stałych i odpadów przemysłowych kategorii II).
- [40] EURITS, List of techniques for consideration as BAT, 2003 (Wykaz technik do uwzględnienia jako BAT).
- [41] EURITS, Overview of information on Eurits members, 2002 (Przegląd informacji o członkach Eurit).
- [42] ISWA, Energy from waste - State of the art report - Jan 2002, 2002 (Energia z odpadów - raport o stanie techniki).
- [43] Eunomia, Costs for municipal waste management in the EU, 2001 (Koszty związane z gospodarką odpadami komunalnymi w UE).

- [44] RVF, Energy from waste: an inventory and review of dioxins [in Sweden], 2001 (Energia z odpadów: wykaz oraz przegląd dioksyn [w Szwecji]).
- [45] FEAD, Emissions of MWI plants for the BREF on waste incineration, 2002 (Emisje z zakładów spalania odpadów komunalnych na potrzeby dokumentu BREF dotyczącego spalania odpadów).
- [46] Cleanaway, Letter to IPPC Bureau, Personal Communication, 2002 (Pismo do Biura IPPC, informacje własne).
- [47] TWG, Comments to the pre-final draft of the WI BREF , 2018 (Uwagi do wstępnego projektu dokumentu BREF WI).
- [48] ISWA, APC residue management - an overview of important management options, 2003 (Zarządzanie pozostałościami po APC - przegląd ważnych opcji zarządzania).
- [49] Denmark, Clinical waste at I/S Amagerforbraending, Copenhagen, Personal Communication, 2002 (Dania, Odpady medyczne w I/S Amagerforbraending, Kopenhaga, informacje własne).
- [50] CNIM, Possible improvements to energy recovery efficiency and their counterpart', Personal Communication, 2003 (Możliwe ulepszenia w zakresie efektywności odzysku energii i ich odpowiedniki, informacje własne).
- [51] CNIM, Energy cycle optimisation - check list for determining local conditions, Personal Communication, 2003 (Optymalizacja cyklu energetycznego - lista kontrolna do określania warunków lokalnych, informacje własne).
- [52] Reimann, Experiences with TMT for mercury minimization in waste water from waste incineration, 2002 (Doświadczenia z TMT w zakresie minimalizacji ilości rtęci w ściekach ze spalania odpadów).
- [53] Suzuki and Nagayama, High efficiency WtE power plant using high-temperature gasifying and direct melting furnace, Thirteenth International Waste Management and Landfill Symposium, 2011, Sardinia (Wysokosprawna elektrownia WtE wykorzystująca wysokotemperaturowy piec do zgazowania i bezpośredniego topienia, Trzynaste Międzynarodowe Sympozjum Gospodarki Odpadami i Składowiskami, 2011, Sardynia).
- [54] dechefdebien, FGC techniques - proposed outline. CNIM, Personal Communication, 2003 (Techniki FGC - zarys propozycji. CNIM, informacje własne).
- [55] EIPPCB, Site visit reports from EIPPCB, 2002 (Raport EIPPCB z przeprowadzonych inspekcji).
- [56] UKENVAgency, Solid residues from municipal waste incinerators in England and Wales, 2002 (Pozostałości stałe z angielskich i walijskich spalarni odpadów komunalnych).
- [57] Alstom, The NID flue gas cleaning system, 2003 (System oczyszczania spalin wykorzystujący technologię NID - Novel Integrated Desulfurization).
- [58] Andersson, PCDD/F removal from flue gases in wet scrubbers - a novel technique, 2002 (Usuwanie PCDD/F z gazów spalinowych w płuczkach gazowych mokrych - nowa technika).
- [59] CEFIC, The dry sodium bicarbonate flue gas cleaning process, 2002 (Suchy proces oczyszczania spalin z użyciem wodorowęglanu sodu).
- [60] Reimann, De-NOx technologies including a comparison of SCR and SNCR, 2002 (Technologie pochłaniania NOx, w tym porównanie SCR i SNCR).
- [61] SYSAV, Selection of SCR for reconstructed process in Malmo, Personal Communication, 2002 (Wybór SCR dla zrekonstruowanego procesu w Malmo, informacje własne).
- [62] Tyseley, Reports for review of operating permit AS9216, 2001 (Sprawozdania dotyczące przeglądu pozwolenia na działalność AS9216).
- [63] Langenkamp, Mercury in waste incineration. JRC, EUR 18978 EN, 1999 (Rtęć w spalaniu odpadów).
- [64] TWG, TWG Comments on Draft 1 of Waste Incineration BREF, 2003 (Uwagi technicznej grupy roboczej dotyczące projektu 1 dokumentu BREF w sprawie spalania odpadów).
- [65] BAFU, KVA-Rückstände in der Schweiz, 2010, p. 230 (Pozostałości ze spalania odpadów w Szwajcarii).

- [66] Ullman's Encyclopaedia, Encyclopaedia of Industrial Chemistry 6th Edition, 2001 (Encyklopedia Chemii Przemysłowej wydanie 6).
- [67] Inspec, Filtration p84, <http://www.p84.com/filter.html>, 2004 (Filtracja p84).
- [68] Ebara, Comments of Ebara on first draft BREF and additional information supplied, 2003 (Uwagi firmy Ebara na temat pierwszego projektu dokumentu BREF oraz dodatkowe informacje).
- [69] Thermostelect, Information supplied to EIPPCB during site visit, 2003 (Informacje dostarczone EIPPCB podczas pierwszej wizyty).
- [70] USEPA, NOx control technologies applicable to municipal waste combustion, 1994 (Technologie kontroli NOx mające zastosowanie do spalania odpadów komunalnych).
- [71] JRC, N₂O emissions from waste and biomass to energy plants, 2003 (Emisje N₂O z odpadów i biomasy w zakładach energetycznych).
- [72] El-Halwagi, Pollution prevention through process integration, 0-12-236845-2, 1997 (Zapobieganie zanieczyszczeniom drogą integracji procesów).
- [73] Rijpkema, MSWC salt residues; Survey of technologies for treatment, 2000 (Pozostałości soli z MSWC; Badanie technologii przetwarzania).
- [74] TWG, TWG Comments on Draft 2 on Waste Incineration BREF, 2004 (Uwagi technicznej grupy roboczej dotyczące projektu 2 dokumentu BREF w sprawie spalania odpadów).
- [75] CEN, EN 13137:2001 Characterization of waste - Determination of total organic carbon (TOC) in waste, sludges and sediments, 2001 (EN 13137:2001 Charakterystyka odpadów - Wyznaczenie ogólnego węgla organicznego (TOC) w odpadach, osadach i szlamach).
- [76] CEN, EN 15169:2007 Characterization of waste - Determination of loss on ignition in waste, sludge and sediments, 2007 (EN 15169:2007 Charakterystyka odpadów - Wyznaczenie strat na skutek zapłonu w odpadach, osadach i szlamach).
- [77] ESWET, BAT candidates: (1) PAC injection upstream or into wet scrubbing systems for Dioxin and Mercury removal, (2) Ringjet Venturi scrubber, 2015 (Kandydaci na BAT: 1) wtrysk sproszkowanego węgla aktywnego (PAC) przed lub do systemów płuczki gazowej mokrej celem usunięcia dioksyn i rtęci, 2) płuczka (skruber) Ringjet Venturiego).
- [78] ESWET, BAT candidate, CFB semi-dry scrubber, 2015 (Kandydat do BAT, płuczka półsucha działająca w oparciu o cyrkulacyjne złożo fluidalne).
- [79] Gass et al., PCDD/F- EMISSIONS DURING COLD START-UP AND SHUT-DOWN OF A MUNICIPAL WASTE INCINERATOR, ORGANOHALOGEN COMPOUNDS, Vol. Vol. 56 (2002), 2002 (Gass i inni, PCDD/F - EMISJE W PRZYPADKU ZIMNEGO ROZRUCHU ORAZ WYŁĄCZENIA SPALARKI ODPADÓW KOMUNALNYCH, ZWIĄZKI HALOGENOORGANICZNE, Tom 56 (2002)).
- [80] Denmark, Long term sampling for mercury as an alternative for AMS, 2015 (Dania, Długoterminowe pobieranie próbek rtęci jako alternatywa dla AMS).
- [81] TWG, Data collection 2016, 2016 (Gromadzenie danych 2016).
- [82] Germany, German proposal on residues treatment, 2014 (Niemcy, niemiecka propozycja dotycząca przetwarzania pozostałości).
- [83] Dehoust et al., Umweltverträglichkeitsstudie der GSB-Anlagen am Standort Baar- Ebenhausen, Öko-Institut Berlin, Freiburg, Darmstadt, 2005 (Dehoust i inni, Badanie oddziaływania na środowisko zakładu usuwania odpadów niebezpiecznych GSB w Baar-Ebenhausen, Öko-Institut Berlin, Freiburg, Darmstadt).
- [84] IAF, International Accreditation Forum website, 2010 (Strona internetowa Międzynarodowego Forum Akredytacji).
- [85] COM, Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Common Waste Water and Waste Gas Treatment/Management Systems in the Chemical Sector (CWW BREF), European Commission - JRC IPTS EIPPCB, 2016 (Dokument referencyjny dotyczący najlepszych dostępnych technik (BAT) Wspólne systemy oczyszczania/zagospodarowywania ścieków i gazów odlotowych w sektorze chemicznym (dokument referencyjny dotyczący najlepszych dostępnych technik (CWW BREF), Komisja Europejska - JRC IPTS EIPPCB).

- [86] EU, Regulation (EC) No 1221/2009 of the European Parliament and of the Council of 25 November 2009 on the voluntary participation by organisations in a Community eco-management and audit scheme (EMAS), repealing Regulation (EC) No 761/2001 and Commission Decisions 2001/681/EC and 2006/193/EC, Official Journal of the European Union, Vol. L 342, 22.12.2009, 2009, pp. 1-45 (Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1221/2009 z dnia 25 listopada 2009 r. w sprawie dobrowolnego udziału organizacji w systemie ekzarządzania i audytu we Wspólnocie (EMAS), uchylające rozporządzenie (WE) nr 761/2001 oraz decyzje Komisji 2001/681/WE i 2006/193/WE, Dziennik Urzędowy Unii Europejskiej, t. L 342 z 22.12.2009, 2009, s. 1-45).
- [87] COM, DG Environment: What is Emas?, 2010 (Dyrekcja Generalna ds. Środowiska: Czym jest Emas?).
- [88] CEN, EN ISO 14001:2015 Environmental management systems – Requirements with guidance for use (ISO 14001:2015), 2015 (EN ISO 14001:2015 Systemy zarządzania środowiskowego - Wymagania wraz z wytycznymi stosowania (ISO 14001:2015)).
- [89] COM, EMAS reports & statistics (Raporty i statystyki EMAS).
- [90] Eurits, Eurits proposal for BAT Conclusions, 2016 (Propozycja Eurits w sprawie konkluzji dotyczących BAT).
- [91] Austria, BAT Candidate (AT): Syncom (1), 2015 (Kandydat na BAT: Syncom (1)).
- [92] Denmark, BAT candidate (DK): Regenerative network braking unit, 2015 (Kandydat na BAT (DK): Jednostka hamująca w systemie regeneracyjnym).
- [93] Italy, BAT Candidate (IT): Flameless Pressurized Oxycubustion, 2015 (Kandydat na BAT (IT): Bezpłomieniowe spalanie tlenowe pod ciśnieniem).
- [94] Finland, FI4-1_WIQ_02_BAT_candidate_External_superheater_Oulun_Energia, 2016 (Kandydat na BAT : zewnętrzny super podgrzewacz firmy Oulun Energia).
- [95] ESWET, - LT-SCR - Explosion Cleaning - VLN, 2015 (Technika czyszczenia wybuchowego).
- [96] Italy, BAT candidate (IT): Water Blowdown Recovery / Magnesium Lime Injection, 2016 (Kandydat na BAT (IT): Przedmuch wodą celem odzysku ciepła / Wstrzykiwanie wapna magnezowego).
- [97] Denmark et al., BAT Candidate (DK, SE): Flue gas polishing (cleaning) of flue gases by means of scrubber technique, 2015 (Dania i inni, Kandydat na BAT (DK, SE): Polerowanie (czyszczenie) spalin za pomocą techniki z użyciem płuczek (skruberów)).
- [98] Belgium, BE-Flemish BAT study on treatment of bottom ashes from MSW incineration, 2016 (Belgia, BE-Flemish: studium BAT dotyczące przetwarzania popiołów paleniskowych pochodzących ze spalania MSW).
- [99] EuLA, BAT candidate (EuLA): Co injection of hydrated lime and sodium bicarbonate, 2015 (Kandydat na BAT (EuLA): Wtrysk współbieżny wapna hydratyzowanego (gaszonego) i wodorowęglanu sodu).
- [100] EuLA, BAT candidate (EuLA): 3/4 Dry FGC process, 2015 (Kandydat na BAT (EuLA): wtrysk współbieżny wapna hydratyzowanego (gaszonego) i wodorowęglanu sodu).
- [101] Sweden, BAT candidate (SE): Ammonia stripper on flue-gas condensate, 2016 (Szwecja, kandydat na BAT (SE): Urządzenie do usuwania amoniaku z kondensatu gazów spalinowych).
- [102] CEFIC, BAT Candidate: Gore De NOX catalytic bag filtration, 2015 (Kandydat na BAT: filtrowanie za pomocą worka katalitycznego firmy Gore De NOX).
- [103] Denmark, BAT candidate (DK) - Waste water treatment adsorption of heavy metals, 2016 (Dania, kandydat na BAT (DK) - adsorpcja metali ciężkich w oczyszczalniach ścieków).
- [104] Denmark, DK BAT candidate Sorting slag for recyclable metals, 2015 (Dania, kandydat na BAT sortowanie/przesiewanie żużla celem odzysku metali nadających się do recyklingu).
- [105] Netherlands, NL3-5 02 IBA treatment questionnaire HVC Dordrecht Annex 1 ACKK332016, 2016 (Holandia, NL3-5 02 kwestionariusz IBA dotyczący przetwarzania w zakładzie HVC Dordrecht załącznik 1 ACKK332016).

- [106] HWE, BAT candidate (HWE): SNCR NO_x Abatement by injection of granular urea, 2015 (Organizacja HWE, kandydat na BAT (HWE): SNCR NO_x Zmniejszenie emisji NO_x poprzez wstrzyknięcie granulowanego mocznika).
- [107] Austria, AT - Candidate BAT: IBA, 2015 (Austria, Kandydat na BAT: IBA).
- [108] Sweden, BAT Candidate (SE03): High-efficiency SNCR with advanced temperature measurement, 2016 (Szwecja, kandydat na BAT (zakład SE03): wysokowydajna SNCR z zaawansowanym pomiarem temperatury).
- [109] Sweden, BAT Candidate (SE): ADIOX for dioxin removal in wet scrubbers and semi-wet or dry absorbers, 2016 (Szwecja, Kandydat na BAT (SE): Technologia ADIOX do usuwania dioksyn w płuczkach gazowych mokrych oraz w półmokrych lub suchych absorberach).
- [110] COM, Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Large Combustion Plants (LCP BREF), European Commission - JRC IPTS EIPPCB, 2017 (Dokument referencyjny dotyczący najlepszych dostępnych technik (BAT) dla dużych obiektów energetycznego spalania (LCP BREF), Komisja Europejska - JRC IPTS EIPPCB).
- [111] Germany, BAT candidate (DE29): NET floc SMF Technology, 2016 (Niemcy, kandydat na BAT (zakład DE29): technika NET floc firmy SMF Technology).
- [112] EEB, BAT candidate (EEB): Separate injection of AC, controlled by a continuous mercury monitoring in the raw gas, 2015 (Kandydat na BAT (EEB): Oddzielne wtryskiwanie AC, kontrolowane za pomocą ciągłego monitorowania rtęci w gazie surowym).
- [113] Sweden, Candidate BAT (SE): Mercox, 2015 (Szwecja, Kandydat na BAT (SE): Mercox).
- [114] Wilken et al., 'START-UP OF A HAZARDOUS WASTE INCINERATOR – IMPACT ON THE PCDD/PCDF-EMISSIONS', Organohalogen Compounds, Vol. Volumes 60-65, Dioxin 2003, 2003 (Wilken i inni, Rozruch spalarni odpadów niebezpiecznych - wpływ na emisje PCDD/F, związki organohalogenowe, tom 60-65).
- [115] Vosteen et al., 'Bromine-enhanced Mercury Abatement from Combustion Flue Gases', 2015 (Vosteen i inni, Redukcja emisji rtęci z gazów spalinowych wspomagana bromem).
- [116] van den Berg et al., 'Polybrominated Dibenzo-p-Dioxins, Dibenzofurans, and Biphenyls: Inclusion in the Toxicity Equivalency Factor Concept for Dioxin-Like Compounds', Vol. 133 (2), 2013, p. 197–208 (van den Berg i inni, Polibromowane dibenzo-p-dioksyny, dibenzofurany i bifenyle: włączenie koncepcji współczynnika równoważności toksyczności dla związków dioksynopodobnych, tom 133(2), s. 197-208).
- [117] COM, JRC Reference Report on Monitoring of Emissions to Air and Water from IED installations (ROM REF), European Commission, JRC IPTS EIPPCB, 2018 Sprawozdanie referencyjne JRC w sprawie monitorowania emisji do powietrza i wody z instalacji spełniających IED (ROM REF), Komisja Europejska, JRC IPTS EIPPCB).
- [118] INERIS, Study on AMS and SRM performances and their impact on the feasibility of lowering ELVs for air emissions in the context of the BREFs and BATs revision and of BATAELs elaboration according to the IED, Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques, 2016 (Badanie dotyczące wydajności AMS i SRM oraz ich wpływu na możliwość obniżenia poziomów emisji ELV do powietrza w kontekście przeglądu BREF i BAT oraz opracowania BATAEL wykonanego zgodnie z dyrektywą IED, Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques).
- [119] EEB, Candidate BAT (EEB): Hg and SO₂ air emissions control by GORE Sorbent Polymer Catalyst, 2015 (Kandydat na BAT (EEB): kontrola emisji Hg i SO₂ do powietrza z użyciem katalizatora SPC firmy GORE).
- [120] Smith et al., 'INNOVATIVE TECHNOLOGY REDUCES MERCURY EMISSIONS TO KEEP OHIO'S SEWAGE SLUDGE INCINERATORS HOT AND COSTS COOL. The Road to SSI MACT Compliance for Cincinnati and Cleveland', 2017 (Smith i inni, INNOWACYJNE TECHNOLOGIE ZMNIEJSZAJĄ EMISJE RTĘCI UTRZYMUJĄC PRACĘ SPALARNI OSADÓW ŚCIEKOWYCH W OHIO NA WYSOKIM POZIOMIE PRZY NISKICH KOSZTACH. Droga do zgodności z rozporządzeniem SSI MACT dla Cincinnati oraz Cleveland).

- [121] INERIS, Study of the performances of existing and under development AMSs (Automated Measuring Systems) and SRMs (Standard Reference Methods) for air emissions at the level of and below existing ELVs (Emission Limit Values) and BATAELs (Best Available Techniques Associated Emission Levels) for Waste Incineration, Co-incineration and Large Combustion Plants, INERIS, 2017 (Badanie wydajności istniejących i opracowywanych AMS (zautomatyzowanych systemów pomiarowych) oraz SRM (standardowych metod referencyjnych) dla emisji do powietrza na poziomie i poniżej istniejących ELV (dopuszczalnych wartości emisji), oraz BAT AEL (dopuszczalne wartości emisji powiązane z najlepszymi dostępnymi technikami) dla spalarni i współspalarni odpadów a także dużych obiektów energetycznego spalania).
- [122] COM, Reference Document on the Best Available Techniques for Waste Incineration, European Commission, JRC IPTS EIPPCB, 2006 (Dokument referencyjny dotyczący najlepszych dostępnych technik w zakresie spalania odpadów, Komisja Europejska, JRC IPTS EIPPCB).
- [123] FDBR, Guideline RL 7: Acceptance Testing of Waste Incineration Plants with Grate Firing Systems, FDBR, 2013 (FDBR, wytyczna RL 7: Test odbiorczy spalarni odpadów z rusztowymi systemami palenia, FDBR, 2013 r.).
- [124] Beckmann et al., 'Online Determination of Elementary and Fractional Waste Composition for Municipal Solid Waste Incineration Plants', WASTE MANAGEMENT, Vol. Volume 7 Waste-to-Energy, 2017 (Beckmann i inni, Określanie online składu odpadów elementarnych oraz ich frakcji dla spalarni stałych odpadów komunalnych, ZARZĄDZANIE ODPADAMI, tom 7, wydawnictwo Waste-to-Energy (Odzysk Energii)).
- [125] Pohl and Wen, Assistenzsysteme in Kraftwerken – Handlungsempfehlungen auf Grundlage der modellbasierten Daten und Prozessanalyse, Dampferzeugerkorrosion 2017: Betrieb und Instandhaltung 4.0, Freiberg: Saxonia, 2017 (Systemy wspomaganie w elektrowniach - zalecenia dotyczące działań w oparciu o dane modelowe i analizę procesów, Korozja generatora pary 2017: Eksploatacja i konserwacja 4.0, Freiberg: Saksonia, 2017).
- [126] EIPPCB, Report of the 2017 site visits in Germany, 2017 (Raport z wizyty w Niemczech w 2017 r.).
- [127] EIPPCB, Report of the 2017 site visits in France, 2017 (Raport z wizyty we Francji w 2017 r.).
- [128] Löthgren et al., 'Mercury Speciation in Flue Gases after an Oxidative Acid Wet Scrubber', Chem. Eng. Technol., Vol. 30, No. 1, 2007, p. 131–138 (Löthgren i inni, Specjacja rtęci w spalinach po zastosowaniu Termicznej Mokrej Płuczki Kwaśnej, Technologie Chemiczno-Inżynierskie, tom 30, No. 1, 2007).
- [129] Andersson and Paur, Mercury reduction by the MercOx process, Description of project EU Life99 ENV/S/000626, 2005 (Andersson i Paur, Redukcja rtęci w procesie MercOx, Opis projektu EU Life99 ENV/S/000626).
- [130] Martin and Hanenkamp, 'Thermo-Recycling', Waste Management, Vol. Vol 7 Waste-to-Energy, 2017 (Martin I Hanenkamp, Recykling Termiczny, ZARZĄDZANIE ODPADAMI, tom 7, wydawnictwo Waste-to-Energy (Odzysk Energii)).
- [131] Magaldi, Project Experience, high-performance conveyors, n.16, 2017 (Doświadczenie projektowe, przenośniki o wysokiej wydajności, zeszyt 16).
- [132] Stultz et al., 'US Patent US5174865A: Process for purifying crude hydrochloric acid', 1992 (Stultz i inni, Patent USA US5174865A: Proces oczyszczania nieprzetworzonego kwasu solnego).
- [133] ADEME, Bottom ash management facilities for treatment and stabilization of incineration bottom ash, ADEME, 2002 (Instalacje zagospodarowania popiołu paleniskowego przeznaczone do jego przetwarzania oraz stabilizacji).
- [134] EdDE, Dokumentation 17: Metallrückgewinnung aus Rostaschen aus Abfallverbrennungsanlagen - Bewertung der Ressourceneffizienz, EdDE, 2015 (Dokumentacja 17: Odzyskiwanie metali z popiołów rusztowych ze spalarni odpadów - Ocena efektywności wykorzystania surowców).

- [135] Belgium, Belgian data on PCDD/F emissions measured with long-term sampling , 2018 (Belgia, flamandzkie dane dotyczące emisji PCDD/F mierzonych za pomocą długoterminowego pobierania próbek).
- [136] SVDU-FNADE, French Comparative data on PCDD/F emission measurements performed with short-term and long-term sampling , 2018 (Francuskie dane porównawcze dotyczące pomiarów emisji PCDD/F z wykorzystaniem próbek krótko- i długoterminowych).
- [137] HWE, PCDD/F emission measurements by long-term sampling in HWI, 2018 (Pomiary emisji PCDD/F w zakładach HarbisonWalker International (HWI) metodą długoterminowego pobierania próbek).
- [138] Bezak-Mazur et al., 'Phosphorus speciation in sewage sludge', *Environment Protection Engineering*, Vol. 40 (3), 2014, pp. 161 – 175 (Bezak-Mazur i inni, *Inżynieria ochrony środowiska*, tom 40(3), 2014, s. 161-175).
- [139] Kleemann et al., 'Comparison of phosphorus recovery from incinerated sewage sludge ash (ISSA) and pyrolysed sewage sludge char (PSSC)', *Waste Management*, Vol. 60, 2017, pp. 201 – 210 (Kleemann i inni, Porównanie odzysku fosforu z popiołów pochodzących ze spalonych osadów ściekowych (ISSA) i z pirolizy osadów ściekowych (PSSC), *Gospodarka Odpadami*).
- [140] Biswas et al., 'Leaching of phosphorus from incinerated sewage sludge ash by means of acid extraction followed by adsorption on orange waste gel', *Journal of Environmental Sciences*, Vol. 21 (12), 2009, pp. 1753 – 1760 (Biswas i inni, Pozyskiwanie fosforu z ISSA za pomocą ekstrakcji kwasowej, po której następuje adsorpcja na żelu z odpadów pomarańczowy, *Journal of Environmental Sciences*, nr 21(12), s. 1753-1760).
- [141] Egle et al., 'Phosphorus recovery from municipal wastewater: An integrated comparative technological, environmental and economic assessment of P recovery technologies', *Science of The Total Environment*, Vol. 571, 2016, pp. 522 – 542 (Egle i inni, Odzyskiwanie fosforu ze ścieków komunalnych: Zintegrowana ocena porównawcza (technologiczna, środowiskowa i ekonomiczna) technologii odzyskiwania fosforu).
- [142] Amann et al., 'Environmental impacts of phosphorus recovery from municipal wastewater', *Resources, Conservation and Recycling*, Vol. 130, 2018, pp. 127 – 139 (Amann i inni, Wpływ na środowisko naturalne odzysku fosforu ze ścieków komunalnych; *Zasoby, Ochrona oraz Recykling* nr 130, 2018).
- [143] Healy et al., 'Resource recovery from sludge', *Sewage treatment plants: economic evaluation of innovative technologies for energy efficiency*, 2015 (Healy i inni, Odzyskiwanie zasobów z osadów ściekowych, *Oczyszczalnie ścieków: ocena ekonomiczna innowacyjnych technologii pod kątem ich efektywności energetycznej*).
- [144] Energy subgroup, Example of an intermediate case CHP plant for the review of the WI BREF, 2019 (Podgrupa ds. energii, Przykładowa instalacja CHP dla celów przeglądu dokumentu WI BREF).
- [145] Easymining , Project site , 2019 (EasyMining, miejsce realizacji projektu).
- [146] Phos4you, Acid extraction of phosphorus from sewage sludge incineration ash: REMONDIS TetraPhos, 2019 (Kwasowa ekstrakcja fosforu z ISSA: REMONDIS TetraPhos, 2019).
- [147] Langeveld and Ten Wolde, 'Phosphate recycling in mineral fertilizer production', *Proceedings of the International Fertiliser Society*, Vol. 727, 2014, pp. 1 – 24 (Langeveld oraz Ten Wolde, Recykling fosforanów w produkcji nawozów mineralnych, *Działania Międzynarodowego Towarzystwa Nawozowego (International Fertiliser Society)*).
- [148] Scheidig, 'Economic and energy aspects of phosphorus recycling from sewage sludge', *Korrespondenz Abwasser Abfall*, Vol. 56, 2009, pp. 1138 – 1146 (Aspekty ekonomiczne i energetyczne recyklingu fosforu z osadów ściekowych, *Korrespondenz Abwasser Abfall*, nr 56, 2009, s. 1138 – 1146).
- [149] Schönberg et al., 'The recophos process: recovering phosphorus from sewage', *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, Vol. 66, 2014, pp. 403 – 407 (Schönberg i inni, Proces termiczny RecoPhos: odzyskiwanie fosforu ze ścieków, *Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft*, nr 66, 2014, s. 403-407).

- [150] Huygens et al., Technical proposals for selected new fertilising materials under the Fertilising Products Regulation (Regulation (EU) 2019/1009) - Process and quality criteria, and assessment of environmental and market impacts for precipitated phosphate salts & derivatives, thermal oxidation materials & derivatives and pyrolysis & gasification materials, European Commission, Joint Research Centre, 2019 (Huygens i inni, Propozycje technik dotyczących wybranych nowych materiałów nawozowych, na mocy rozporządzenia w sprawie produktów nawozowych (rozporządzenie (UE) 2019/1009) - Kryteria dotyczące procesu i jakości oraz ocena oddziaływania na środowisko i rynek wytrąconych soli i pochodnych fosforanów, materiałów do utleniania termicznego i ich pochodnych oraz materiałów do pirolizy i gazyfikacji, Komisja Europejska, JRC, 2019).
- [151] AEB Amsterdam, Annual report, 2017, p. 28 (Sprawozdanie roczne za rok 2017, s. 28).
- [152] AEB Amsterdam, Value from Waste, 2007, pp. 12-14 (Zakład AEB w Amsterdamie, Wartościowe Odpady, 2007, s. 12-14).

KONTAKT Z UE

Osobisty

W całej Unii Europejskiej znajdują się setki punktów informacji Europe Direct. Możesz znaleźć adres najbliższego punktu informacji odwiedzając stronę internetową: <http://europea.eu/contact>

Telefoniczny lub mailowy

Europe Direct jest punktem informacji, który odpowiada na pytania dotyczące Unii Europejskiej. Możesz się z nim skontaktować:

- dzwoniąc pod bezpłatny numer telefonu: 00 800 6 7 8 9 10 11 (niektórzy operatorzy mogą naliczyć opłatę za połączenie),
- pod numer standardowy: +32 22999696, lub
- elektronicznie, wysyłając emaila na adres: <http://europa.eu/contact>

POZYSKIWANIE INFORMACJI O UE

Online

Informacje dotyczące Unii Europejskiej w wszystkich oficjalnych językach UE dostępne są na stronie internetowej Europa: <http://europa.eu>

Publikacje UE

Bezpłatne i płatne publikacje UE można pobrać lub zamówić z Księgarni UE wchodząc na stronę internetową: <http://bookshop.europa.eu>. Liczne kopie bezpłatnych publikacji można nabyć kontaktując się z Europa. Bezpośredni lub lokalny punkt informacji (patrz <http://europa.eu/contact>).

Misja JRC

Jako usługa Komisji Europejskiej zajmująca się nauką i wiedzą, misją Wspólnego Centrum Badawczego jest wspieranie polityk UE niezależnymi dowodami w całym cyklu polityki.



EU Science Hub
ec.europa.eu/jrc



@EU_ScienceHub



EU Science Hub - Wspólne Centrum Badawcze



Wspólne Centrum Badawcze



EU Science Hub

