ISSN 1831-9424

European Commission

Dokument referencyjny dotyczący najlepszych dostępnych technik (BAT) dla kuźni i odlewni (SF BREF) Dyrektywa 2010/75/UE w sprawie emisji przemysłowych

(zintegrowane zapobieganie zanieczyszczeniom i ich kontrola)

Aries, E., Chronopoulos, G., Schorcht, F., Roudier, S.

2024



Joint Research Centre

Niniejszy dokument jest publikacją Wspólnego Centrum Badawczego (JRC), służby Komisji Europejskiej ds. nauki i wiedzy. Jego celem jest zapewnienie opartego na dowodach naukowych wsparcia dla europejskiego procesu kształtowania polityki. Treść niniejszej publikacji niekoniecznie odzwierciedla stanowisko lub opinię Komisji Europejskiej. Ani Komisja Europejska, ani żadna osoba działająca w jej imieniu nie ponosi odpowiedzialności za sposób jej wykorzystania. Aby uzyskać informacje na temat metodologii i jakości danych wykorzystanych w niniejszej publikacji, których źródłem nie jest Eurostat ani inne służby Komisji, użytkownicy powinni skontaktować się z odpowiednim źródłem. Zastosowane oznaczenia i prezentacja materiałów na mapach nie oznaczają wyrażenia jakiejkolwiek opinii ze strony Unii Europejskiej na temat statusu prawnego jakiegokolwiek kraju, terytorium, miasta, obszaru lub jego władz, ani na temat wytyczenia jego granic lub zasięgu.

Dane kontaktowe
Nazwa: European Bureau for Research on Industrial Transformation and Emissions (EU-BRITE), JRC Directorate B - Fair and Sustainable Economy, European Commission
Adres: Edificio Expo, c/ Inca Garcilaso 3, E-41092 Seville, Spain Email: JRC-B5-EUBRITE@ec.europa.eu
Tel.: +34 854590-262

EU Science Hub
https://joint-research-centre.ec.europa.eu

JRC140209

EUR 40127

PDF ISBN 978-92-68-22427-4 ISSN 1831-9424 doi:10.2760/4805267 KJ-01-24-166-EN-N

Luksemburg Biuro Publikacji Unii Europejskiej, 2024 r.

© Unia Europejska, 2024



Polityka dotycząca ponownego wykorzystywania dokumentów Komisji Europejskiej jest realizowana na mocy Decyzji Komisji 2011/833/UE z dnia 12 grudnia 2011 r. w sprawie ponownego wykorzystywania dokumentów Komisji (OJ L 330, 14.12.2011, str. 39). o ile nie wskazano inaczej, ponowne użycie niniejszego dokumentu jest dopuszczone na podstawie licencji Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) (https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/). Oznacza to, że ponowne użycie jest dozwolone pod warunkiem podania odpowiedniego uznania autorstwa oraz wskazania wszelkich zmian.

W przypadku jakiegokolwiek wykorzystania lub powielania zdjęć lub innych materiałów, niebędących własnością Unii Europejskiej, należy uzyskać zgodę bezpośrednio od właścicieli praw autorskich. Unia Europejska nie posiada praw autorskich do następujących elementów:
- Ilustracje na okładce, poczynając od lewej: 1. Płynne żelazo wlewane do pojemnika - © DedMityay / stock.adobe.com; 2. Wlewanie stopionego metalu z kadzi do formy piaskowej - ©DedMityay / stock.adobe.com.

Sposób cytowania niniejszego sprawozdania: Komisja Europejska, Wspólne Centrum Badawcze, Aries, E., Chronopoulos, G., Schorcht, F. i Roudier, S., Dokument referencyjny dotyczący najlepszych dostępnych technik (BAT). Kuźnie i odlewnie *(SF BREF)*, Biuro Publikacji Unii Europejskiej, Luksemburg, 2024, https://data.europa.eu/doi/10.2760/4805267, JRC140209.

Streszczenie

Dokument referencyjny dotyczący najlepszych dostępnych technik (BAT) poświęcony kuźniom i odlewniom (SF BREF) jest częścią serii dokumentów przedstawiających wyniki wymiany informacji między Państwami Członkowskimi UE, zainteresowanymi branżami, organizacjami pozarządowymi promującymi ochronę środowiska oraz Komisją, której celem było opracowanie, dokonanie przeglądu oraz, w razie potrzeby, zaktualizowanie dokumentów referencyjnych BAT zgodnie z art. 13 ust. 1 Dyrektywy 2010/75/UE w sprawie emisji przemysłowych. Został opublikowany przez Komisję Europejską zgodnie z jej art. 13 ust. 6.

Dokument BREF dla kuźni i odlewni obejmuje kuźnie z młotami o energii przekraczającej 50 kilodżuli na młot, gdzie stosowana energia cieplna przekracza 20 MW, odlewnie metali żelaznych o wydajności przekraczającej 20 ton dziennie, odlewnie metali nieżelaznych o wydajności topienia przekraczającej 4 tony dziennie dla ołowiu i kadmu lub 20 ton dziennie dla wszystkich innych metali oraz szereg innych rodzajów działalności określonych w części ZAKRES dokumentu.

SF BREF składa się z sześciu głównych rozdziałów. Rozdział 1 zawiera informacje ogólne, stosowane procesy i techniki oraz aktualne poziomy zużycia i emisji dla kuźni. Rozdział 2 zawiera informacje ogólne, stosowane procesy i techniki oraz aktualne poziomy zużycia i emisji dla odlewni. Rozdział 3 zawiera informacje na temat technik, które należy wziąć pod uwagę przy określaniu BAT dla kuźni i odlewni. Rozdział 4 przedstawia konkluzje dotyczące BAT w rozumieniu art. 3 ust. 12 Dyrektywy o Emisjach Przemysłowych (2010/75/UE). Rozdział 5 zawiera informacje na temat nowych technik. Uwagi końcowe i zalecenia dotyczące przyszłych prac przedstawiono w Rozdziale 6.

Podziękowania

Niniejszy raport został opracowany przez Europejskie Biuro Badań nad Transformacją Przemysłową i Emisjami (EU-BRITE) (dawniej Europejskie Biuro Zintegrowanego Zapobiegania Zanieczyszczeniom i ich Kontroli - EIPPCB) przy Wspólnym Centrum Badawczym Komisji Europejskiej - Dyrekcja B: Sprawiedliwa i Zrównoważona Gospodarka, pod nadzorem Serge'a Roudiera (szefa EU-BRITE), Alejandro Villanuevy (Zastępcy Szefowej Działu ds. Gospodarki o Obiegu Zamkniętym i Zrównoważonego Przemysłu) oraz Caroline Lambert (Szefowej Działu ds. Gospodarki o Obiegu Zamkniętym i Zrównoważonego Przemysłu).

Autorami obecnego SF BREF są Eric Aries, Georgios Chronopoulos, Frauke Schorcht oraz Serge Roudier.

Raport przygotowano w ramach wdrażania Dyrektywy w sprawie emisji przemysłowych (2010/75/UE) i jest on wynikiem wymiany informacji, o której mowa w art. 13 tej Dyrektywy.

Głównymi dostawcami informacji byli:

- spośród państw członkowskich UE: Austria, Belgia, Czechy, Niemcy, Dania, Hiszpania, Finlandia, Francja, Grecja, Włochy, Polska, Portugalia i Szwecja;
- spośród organizacji branżowych: ACEA (Europejskie Stowarzyszenie Producentów Pojazdów), CAEF (Europejskie Stowarzyszenie Odlewnictwa), CEFIC (Europejska Rada Przemysłu Chemicznego), EUROFER (Europejskie Stowarzyszenie Producentów Stali), EUROFORGE (Europejskie Stowarzyszenie Kuźnicze), EUROMETAUX (Europejska Federacja Producentów i Przetwórców Metali Nieżelaznych), ORGALIM (Europejski Przemysł Technologiczny),
- spośród organizacji pozarządowych działających na rzecz ochrony środowiska: EEB (Europejskie Biuro Ochrony Środowiska).

Znaczący udział w dyskusjach wewnętrznych i posiedzeniach grupy zadaniowej dotyczących przygotowania niniejszego dokumentu mieli Francesco Presicce, Panagiotis Karlis, María José Cruz Gomez i Jonas Ruiz Anderer. Z kolei Shefkat Speitmann, Jorge Gomez Benavides i Thibaut Marty mieli duży udział w procesie zarządzania danymi.

Cały zespół EU-BRITE zapewniał wkład oraz wzajemną weryfikację.

Raport został zredagowany przez Annę Atkinson oraz sformatowany przez Danielę Antonovą i Carlosa Javiera Muñoza Crespo.

Niniejszy dokument ten jest jednym z serii przewidzianych dokumentów wymienionych poniżej (w chwili pisania tego tekstu nie wszystkie jeszcze zostały opracowane):

Dokument referencyjny dotyczący najlepszych dostępnych technik (BREF)	**Kod**
Przemysł ceramiczny	CER
Wspólne systemy gospodarowania gazami odlotowymi i oczyszczania gazów odlotowych w sektorze chemicznym	WGC
Wspólne systemy oczyszczania ścieków/gazów odlotowych i zarządzania nimi w sektorze chemicznym	CWW
Emisje z magazynowania	EFS
Efektywność energetyczna	ENE
Przemysł przetwórstwa stali i stopów żelaza	FMP
Przemysł spożywczy, mleczarski i produkcji napojów	FDM
Przemysłowe systemy chłodzenia	ICS
Intensywny chów drobiu lub świń	IRPP
Produkcja żelaza i stali	IS
Duże obiekty energetycznego spalania	LCP
Wielkotonażowa produkcja związków nieorganicznych	LVIC
Wielkotonażowa produkcja związków nieorganicznych, amoniaku, kwasów i nawozów	LVIC-AAF
Wielkotonażowa produkcja związków nieorganicznych - przemysł substancji stałych i innych	LVIC-S
Wielkotonażowa produkcja organicznych substancji chemicznych	LVOC
Zarządzanie odpadami i skałą płonną w górnictwie	MTWR
Przemysł szklarski	GLS
Produkcja związków organicznych głęboko przetworzonych	OFC
Przemysł metali nieżelaznych	NFM
Produkcja cementu, wapna i tlenku magnezu	CLM
Produkcja chloro-alkaliów	CAK
Produkcja polimerów	POL
Produkcja masy celulozowej, papieru i tektury	PP
Produkcja specjalistycznych nieorganicznych związków chemicznych	SIC
Produkcja płyt drewnopochodnych	WBP
Rafinacja ropy naftowej i gazu ziemnego	REF
Rzeźnie oraz sektory przetwórstwa produktów ubocznych pochodzenia zwierzęcego i/lub jadalnych produktów ubocznych	SA
Kuźnie i *Odlewnie*	*SF*
Powierzchniowa obróbka metalu i materiałów z tworzyw sztucznych	STM
Obróbka powierzchni z wykorzystaniem rozpuszczalników organicznych, w tym konserwacji drewna i wyrobów drewnianych środkami chemicznymi	STS
Garbowanie skór	TAN
Przemysł tekstylny	TXT
Spalanie odpadów	WI
Przetwarzanie odpadów	WT
Dokument referencyjny (REF)	
Ekonomika i oddziaływanie na procesy i środowisko	ECM
Monitorowanie emisji do powietrza i wody z instalacji IED	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 w zakresie najlepszych dostępnych technik (BAT) (BREF) dotyczący kuźni i odlewni został przyjęty przez Komisję Europejską w 2005 roku. Niniejszy raport jest wynikiem przeglądu przytoczonego BREF, który rozpoczął się w roku 2018.

Dokument referencyjny BAT dla kuźni i odlewni 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 ust. 1 Dyrektywy. Został opublikowany przez Komisję Europejską zgodnie z jej art. 13 ust. 6.

Jak to określono w art. 13 ust. 5 Dyrektywy, decyzja wykonawcza Komisji (UE) 2023/2749 w sprawie konkluzji dotyczących BAT zawartych w rozdziale 4 została przyjęta 29 listopada 2024 r. oraz opublikowana 6 grudnia 2024 r.

2. Uczestnicy procesu wymiany informacji

Zgodnie z wymogami art. 13 ust. 3 Dyrektywy, Komisja ustanowiła forum wspierające wymianę informacji, złożone z przedstawicieli Państw Członkowskich, zainteresowanych branż i organizacji pozarządowych promujących ochronę środowiska (Decyzja Komisji z dnia 16 maja 2011 r. ustanawiająca forum wymiany informacji na podstawie art. 13 Dyrektywy 2010/75/UE w sprawie emisji przemysłowych (2011/C 146/03), OJ C 146, 17.05.2011, str. 3).

Członkowie forum powołali ekspertów technicznych wchodzących w skład technicznej grupy roboczej (TWG), stanowiącej główne źródło informacji przy sporządzaniu niniejszego dokumentu. Pracami TWG kierowało Europejskie Biuro Badań nad Transformacją Przemysłową i Emisjami (EU-BRITE) (należące do Wspólnego Centrum Badawczego Komisji).

3. Struktura i treść dokumentu

Dokument zawiera sześć głównych rozdziałów:

Sekcje 1.1 i 2.1 zawierają ogólne informacje na temat sektorów przemysłowych i ich kluczowych kwestii środowiskowych (KEI).

Sekcje 1.2 i 2.2 zawierają informacje na temat procesów przemysłowych i technik stosowanych w tych sektorach.

Sekcje 1.1 i 2.3 dostarczają danych i informacji dotyczących efektywności środowiskowej instalacji w kuźniach i odlewniach, działających w momencie sporządzania niniejszego dokumentu, pod względem bieżących emisji do powietrza i wody, zużycia surowców, wody i energii oraz wytwarzania odpadów.

Rozdział 3 opisuje bardziej szczegółowo techniki zapobiegania lub, gdy nie jest to wykonalne, zmniejszania wpływu na środowisko instalacji w tych sektorach, które zostały uwzględnione przy określaniu BAT. Informacje te obejmują, w stosownych przypadkach, poziomy efektywności środowiskowej (np. poziomy emisji i zużycia), które można osiągnąć poprzez zastosowanie tych technik, powiązany monitoring oraz koszty i kwestie związane z oddziaływaniem tych technik na procesy i środowisko. Rozdział ten ma następującą strukturę:

- Sekcja 3.1: Wspólne techniki do rozważenia przy ustalaniu BAT dla kuźni i odlewni;
- Sekcja 3.2: Techniki do rozważenia przy ustalaniu BAT dla odlewni;
- Sekcja 3.3: Techniki do rozważenia przy ustalaniu BAT dla kuźni.

Rozdział 4 przedstawia konkluzje dotyczące BAT zgodnie z definicją zawartą w art. 3 ust. 12 Dyrektywy.

Rozdział 5 przedstawia zidentyfikowane nowe techniki zarówno dla kuźni, jak i odlewni.

Uwagi końcowe i zalecenia dotyczące przyszłych prac dotyczących kuźni i odlewni przedstawiono w Rozdziale 6.

4. Źródła informacji oraz określenie BAT

Dokument opiera się na informacjach zebranych z wielu źródeł, w szczególności za pośrednictwem technicznej grupy roboczej (TWG), która została ustanowiona na mocy art. 13 Dyrektywy specjalnie z myślą o wymianie informacji. Informacje zostały zebrane i ocenione przez Europejskie Biuro Badań nad Transformacją Przemysłową i Emisjami (EU-BRITE) (Wspólnego Centrum Badawczego Komisji), które kierowało pracami nad określeniem BAT, kierując się zasadami wiedzy technicznej, przejrzystości i neutralności. Praca TWG i wszystkich innych współpracowników została z wdzięcznością doceniona.

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

- identyfikację kluczowych kwestii środowiskowych dla kuźni i odlewni,
- znalezienie najbardziej odpowiednich technik rozwiązujących te kwestie,
- określenie najlepszych poziomów efektywności środowiskowej w oparciu o dane dostępne 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 ust. 10 Dyrektywy i załącznikiem III do niej.

Ocena ekspertów Europejskiego Biura Badań nad Transformacją Przemysłową i Emisjami (EU-BRITE) oraz Technicznej Grupy Roboczej odegrała kluczową rolę na każdym z tych etapów oraz w sposobie, w jaki informacje zostały przedstawione w niniejszym dokumencie.

Tam, gdzie było to możliwe, dane ekonomiczne zostały podane wraz z opisami technik przedstawionymi w Rozdziale 3. Dane te dają pewne wskazówki co do wielkości kosztów i osiągniętych korzyści. Jednakże rzeczywiste koszty i korzyści wynikające z zastosowania danej techniki mogą w dużym stopniu zależeć od konkretnej sytuacji danej instalacji, której nie można w niniejszym dokumencie ocenić w pełni. W przypadku braku danych dotyczących kosztów, wnioski dotyczące ekonomicznej opłacalności technik wyciągnięto na podstawie obserwacji istniejących instalacji.

5. Przegląd dokumentów referencyjnych dotyczących BAT (BREF)

BAT to koncepcja dynamiczna, dlatego przegląd dokumentów BREF jest procesem ciągłym. Przykładowo, mogą pojawić się nowe środki i techniki, nauka i technologie stale się rozwijają, a nowe lub powstające procesy są z powodzeniem wprowadzane do przemysłu.
Celem odzwierciedlenia takich zmian oraz 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 Badań nad Transformacją Przemysłową i Emisjami (EU-BRITE) przy Wspólnym Centrum Badawczym (JRC) na następujący adres:

European Commission
JRC Directorate B – Fair and Sustainable Economy
European Bureau for Research on Industrial Transformation and Emissions (EU-BRITE)
Edificio Expo
c/Inca Garcilaso, 3
E-41092 Seville, Spain
Telefon: +34 854590-262
E-mail: JRC-B5-EUBRITE@ec.europa.eu
Internet: http://eippcb.jrc.ec.europa.eu

Dokument referencyjny dotyczący najlepszych dostępnych technik dla kuźni i odlewni

PRZEDMOWA ..... **ii**
ZAKRES ..... **xxxi**
1 KUŹNIE **1**
1.1 INFORMACJE OGÓLNE 1
1.1.1 Przegląd sektora 1
1.1.1.1 Wielkość sektora 1
1.1.1.2 Rodzaje produktów i zastosowań 5
1.1.2 Kluczowe kwestie środowiskowe 6
1.1.2.1 Emisje do powietrza, wody, gleby, emisje hałasu oraz wibracje 7
1.1.2.2 Efektywność energetyczna 7
1.1.2.3 Efektywne wykorzystanie materiałów/zasobów - pozostałości, ponowne wykorzystanie, recykling 7
1.2 PROCESY I TECHNIKI STOSOWANE W KUŹNIACH 8
1.2.1 Informacje ogólne 8
1.2.2 Surowce i materiały pomocnicze 9
1.2.3 Przygotowanie surowca 10
1.2.4 Proces kucia metalu 13
1.2.5 Podgrzewanie obrabianego przedmiotu 14
1.2.5.1 Opcje podgrzewania 14
1.2.5.2 Piece 17
1.2.6 Młotkowanie 18
1.2.6.1 Młoty 18
1.2.6.2 Kucie w matrycy otwartej oraz kucie w matrycy zamkniętej 21
1.2.7 Postępowanie po zakończeniu obróbki 22
1.2.7.1 Obróbka cieplna 22
1.2.7.2 Obróbka mechaniczna 25
1.2.7.2.1 Usuwanie osadów/zgorzeliny 25
1.2.7.2.2 Śrutowanie (obróbka strumieniowo-ścierna) 27
1.2.7.2.3 Gratowanie oraz wykrawanie 28
1.2.7.3 Wykańczanie 28
1.3 OBECNE POZIOMY ZUŻYCIA I EMISJI W KUŹNIACH 28
1.3.1 Zużycie wody 32
1.3.2 Zużycie materiałów - wydajność materiałowa 32
1.3.3 Zużycie energii - efektywność energetyczna 33
1.3.3.1 Jednostkowe zużycie energii na poziomie zakładu 34
1.3.3.2 Jednostkowe zużycie energii na poziomie procesu 36
1.3.3.3 Energia młota oraz moc cieplna pieców 39
1.3.4 Emisja hałasu i wibracje 40

1.3.5 Emisje do powietrza ... 43
1.3.5.1 Emisje tlenków azotu (NO_X) ... 44
1.3.5.2 Emisje tlenku węgla (CO) ... 45
1.3.5.3 Emisje rozproszone do powietrza ... 51
1.3.6 Emisje do wody ... 51
1.3.7 Straty procesowe - pozostałości ... 52
2 ODLEWNIE ... 54
2.1 OGÓLNE INFORMACJE NA TEMAT ODLEWNI ... 54
2.1.1 Przegląd sektora ... 54
2.1.1.1 Przemysł odlewniczy ... 54
2.1.1.2 Rynek odlewniczy ... 59
2.1.1.3 Rodzaje odlewni ... 60
2.1.2 Kwestie środowiskowe ... 63
2.1.2.1 Powietrze ... 63
2.1.2.2 Pozostałości ... 63
2.1.2.3 Energia ... 63
2.1.2.4 Woda ... 63
2.2 STOSOWANE W ODLEWNIACH PROCESY I TECHNIKI ... 64
2.2.1 Informacje ogólne ... 64
2.2.1.1 Proces odlewniczy ... 64
2.2.1.2 Odlewanie żeliwa ... 68
2.2.1.3 Odlewanie stali ... 71
2.2.1.4 Odlewanie aluminium ... 73
2.2.1.5 Odlewanie magnezu ... 73
2.2.1.6 Odlewanie miedzi ... 74
2.2.1.7 Odlewanie cynku ... 75
2.2.1.8 Odlewanie ołowie ... 75
2.2.1.9 Odlewanie z nadstopów ... 75
2.2.2 Tworzenie szablonów ... 76
2.2.2.1 Tworzenie szablonów ... 76
2.2.2.2 Szybkie prototypowanie (szybkie wykonywanie prototypów, RP) ... 77
2.2.3 Surowce oraz postępowanie z surowcami/odpadami ... 78
2.2.4.1 Żeliwiaki ... 82
2.2.4.1.1 Żeliwiak z zimnym nadmuchem ... 82
2.2.4.1.2 Żeliwiak z gorącym nadmuchem ... 84
2.2.4.1.3 Żeliwiak kampanijny ... 85
2.2.4.1.4 Charakter emisji do atmosfery ... 86
2.2.4.2 Elektryczny piec łukowy (*electric arc furnace, EAF*) ... 87
2.2.4.2.1 Opis ... 87
2.2.4.2.3 Topienie i rafinacja z użyciem EAF z wykładziną zasadową ... 88
2.2.4.2.4 Charakter emisji do atmosfery ... 89
2.2.4.3 Piec indukcyjny (*induction furnace, IF*) ... 89

2.2.4.3.1 Bezrdzeniowy piec indukcyjny ... 89
2.2.4.3.3 Charakter emisji ... 93
2.2.4.4 Promiennikowy piec dachowy (*radiant-roof furnace*) (oporowy) ... 94
2.2.4.5 Piec obrotowy ... 95
2.2.4.6 Piec trzonowy/płomienny ... 96
2.2.4.7 Piec szybowy ... 96
2.2.4.8 Piec tyglowy ... 98
2.2.4.9 Konwertor argonowo-tlenowy (konwertor AOD) do rafinacji stali ... 99
2.2.4.10 Konwertor próżniowo-tlenowy (VODC) do rafinacji stali ... 99
2.2.4.11 Obróbka plastyczna stali ... 100
2.2.4.12 Obróbka żeliwa ... 100
2.2.4.12.1 Stopowanie (wytwarzanie stopów) ... 100
2.2.4.12.2 Homogenizacja ... 101
2.2.4.12.3 Odsiarczanie i ponowne nawęglanie żelaza stopionego w żeliwiaku ... 101
2.2.4.12.4 Sferoidyzacja stopu żelaza/stali ... 101
2.2.4.12.5 Inokulacja stopu ... 102
2.2.4.13 Obróbka metali nieżelaznych ... 103
2.2.5 Produkcja form i rdzeni ... 104
2.2.5.1 Techniki formowania stosowane w różnych typach odlewni ... 104
2.2.5.2 Materiały formierskie ... 105
2.2.5.2.1 Piaski formierskie ... 105
2.2.5.2.1.2 Piasek chromitowy ... 106
2.2.5.2.1.3 Piasek cyrkonowy ... 107
2.2.5.2.1.4 Piasek oliwinowy ... 107
2.2.5.2.2 Spoiwa i inne substancje chemiczne ... 107
2.2.5.2.2.1 Bentonit ... 107
2.2.5.2.2.2 Żywice ... 108
2.2.5.2.2.3 Pył węglowy ... 109
2.2.5.2.2.4 Spoiwa zbożowe ... 110
2.2.5.2.2.5 Tlenek żelaza ... 110
2.2.5.2.3 Uruchamianie, bramkowanie, podawanie i filtrowanie ... 110
2.2.5.3 Przygotowanie piasku (transport, przesiewanie, chłodzenie, mieszanie) ... 111
2.2.5.3.1 Kondycjonowanie (przygotowanie) do formowania zielonego piasku ... 111
2.2.5.4 Formowanie przy użyciu piasku naturalnego ... 113
2.2.5.5 Formowanie z użyciem piasku związanego z gliną (formowanie z użyciem zielonego piasku) 113
2.2.5.6 Formowanie za pomocą piasku niezwiązanego (proces V) ... 114
2.2.5.7 Formowanie i rdzeniowanie z użyciem piasku związanego chemicznie ... 115
2.2.5.7.1 Procesy wiązania na zimno (bez wypalania) ... 115
2.2.5.7.1.1 Utwardzanie kwasem fenolowym ... 116
2.2.5.7.1.2 Utwardzanie kwasem furanowym ... 116
2.2.5.7.1.3 Poliuretan (izocyjanian fenolu) ... 116
2.2.5.7.1.4 Rezol-ester (utwardzanie alkalicznym estrem fenolowym) ... 116
2.2.5.7.1.5 Olej alkidowy, niewypalony ... 117
2.2.5.7.1.6 Krzemian estrowy ... 117
2.2.5.7.1.7 Cement ... 117
2.2.5.7.2 Procesy utwardzania gazem ... 117
2.2.5.7.2.1 Cold-box (katalizowane aminą spoiwo fenolowo-uretanowe) ... 117
2.2.5.7.2.2 Rezol-mrówczan metylu (alkaliczne utwardzanie fenolowym mrówczanem metylu) ... 118
2.2.5.7.2.3 Żywica epoksydowa/akrylowa, utwardzanie SO_2 (utwardzanie wolnorodnikowe) ... 118
2.2.5.7.2.4 Krzemian sodu utwardzany CO_2 (szkło wodne) ... 119

2.2.5.7.2.5 Rezol, utwardzanie CO_2 ... 119
2.2.5.8 Procesy utwardzania na gorąco ... 119
2.2.5.8.1.1 Hot-box, na bazie fenolu i/lub furanu ... 119
2.2.5.8.1.3 Formowanie skorupy (Croning) ... 120
2.2.5.8.1.4 Olej lniany ... 121
2.2.5.8.1.5 Olej alkidowy, wypalony ... 121
2.2.5.8.2 Powlekanie form i rdzeni piaskowych wiązanych chemicznie ... 121
2.2.5.8.2.1 Skład powłok ... 121
2.2.5.8.2.2 Proces powlekania ... 121
2.2.5.9 Odlewanie z użyciem szablonu jednorazowego użytku ... 122
2.2.5.9.1 Piasek niezwiązany – proces odlewania metodą traconej pianki ... 122
2.2.5.9.2 Piasek chemicznie związany – proces odlewania metodą pełnej formy ... 124
2.2.5.10 Przygotowywanie form trwałych (metalowych) ... 124
2.2.5.11 Odlewanie precyzyjne i ceramiczna powłoka ... 125
2.2.6 Odlewanie ... 126
2.2.6.1 Odlewanie w formach traconych (jednorazowego użytku) ... 126
2.2.6.1.1 Zalewanie ... 126
2.2.6.1.2 Krzepnięcie (pierwsze chłodzenie) ... 128
2.2.6.1.3 Wytrząsanie ... 128
2.2.6.1.4 Chłodzenie odlewów (drugie chłodzenie) ... 129
2.2.6.2 Odlewanie w formach trwałych ... 129
2.2.6.2.1 Odlewanie grawitacyjne i niskociśnieniowe ... 129
2.2.6.2.2 Odlewanie wysokociśnieniowe ... 131
2.2.6.2.3 Odlewanie odśrodkowe ... 132
2.2.6.2.4 Odlewanie ciągłe ... 133
2.2.7 Operacje po odlewaniu oraz wykańczające ... 134
2.2.7.1 Usunięcie elementów układu wlewowego ... 134
2.2.7.2 Usuwanie piasku ... 135
2.2.7.3 Usuwanie gratu (zadziorów) ... 136
2.2.8 Obróbka cieplna ... 137
2.2.8.1 Wprowadzenie ... 137
2.2.8.2 Piece do obróbki cieplnej ... 137
2.2.8.2.1 Piece komorowe ... 137
2.2.8.2.2 Piece szybowe ... 137
2.2.8.2.3 Piece do wyżarzania ... 137
2.2.8.3 Hartowanie ... 137
2.2.8.4 Obróbka cieplna żeliwa sferoidalnego (SG) ... 138
2.2.8.4.1 Wyżarzanie odprężające (odprężanie) ... 138
2.2.8.4.2 Usuwanie węglików ... 138
2.2.8.4.3 Wyżarzanie w celu uzyskania ferrytycznej matrycy ... 138
2.2.8.4.4 Normalizacja w celu uzyskania perlitowej matrycy ... 138
2.2.8.4.5 Wytwarzanie utwardzonych i odpuszczonych struktur ... 139
2.2.8.4.6 Żeliwo sferoidalne hartowane izotermicznie (*ADI - austempered ductile iron*) ... 139
2.2.8.5 Obróbka cieplna stali ... 139
2.2.8.6 Obróbka cieplna aluminium ... 140
2.2.8.6.1 Odprężanie i wyżarzanie ... 140
2.2.8.6.2 Obróbka w roztworze i hartowanie ... 140
2.2.8.6.3 Obróbka wydzieleniowa ... 140
2.2.8.6.4 Starzenie przyspieszone ... 140

2.2.9 Kontrola jakości 141
2.2.10 Regeneracja i odzyskiwanie piasku 141
2.3 OBECNE POZIOMY ZUŻYCIA I EMISJI W ODLEWNIACH 146
2.3.1 Przegląd strumienia masy 146
2.3.1.1 Materiały wsadowe/produkty wyjściowe w topieniu metali 150
2.3.1.2 Materiały wsadowe/produkty wyjściowe przy wykonywaniu form oraz produkcji rdzeni 151
2.3.2 Emisje do powietrza 154
2.3.2.1 Topienie metali 154
2.3.2.1.1 Emisje pyłu 154
2.3.2.1.2 Emisje metali 155
2.3.2.1.3 Emisje polichlorowanych dibenzo-p-dioksyn i furanów (PCDD/F) 155
2.3.2.1.4 Emisje tlenków azotu (NO_X) 157
2.3.2.1.5 Emisje tlenku węgla (CO) 157
2.3.2.1.6 Emisje dwutlenku siarki (SO_2) 157
2.3.2.1.7 Emisje całkowitych LZO (lotnych związków organicznych) 158
2.3.2.1.8 Emisje kwasu solnego (HCl) 158
2.3.2.1.9 Emisje fluorowodoru (HF) 159
2.3.2.1.10 Dane dla emisji do powietrza 159
2.3.2.2. Obróbka cieplna 204
2.3.2.2.1 Emisje pyłu 204
2.3.2.2.2 Emisje NO_X 206
3.2.2.3 Emisje CO 207
2.3.2.3 Sferoidyzacja żeliwa 209
2.3.2.4 Rafinacja stali 212
2.3.2.4.1 Konwertor argonowo-tlenowy (konwertor AOD) 212
2.3.2.4.1.1 Materiał wejściowy (wsad) 212
2.3.2.4.1.2 Emisje 212
2.3.2.4.2 Konwertor próżniowo-tlenowy (VODC) 213
2.3.2.4.3 Odtlenianie stali 213
2.3.2.5 Obróbka stopionego aluminium 213
2.3.2.6 Produkcja szablonów 214
2.3.2.7 Wykonywanie form z wykorzystaniem form traconych (jednorazowego użytku) oraz produkcja rdzeni 214
2.3.2.7.1 Emisje pyłu 216
2.3.2.7.2 Emisje amin 216
2.3.2.7.3 Emisje formaldehydu 216
2.3.2.7.4 Emisje benzenu 217
2.3.2.7.5 Emisje fenolu 217
2.3.2.7.6 Emisje całkowitych LZO 217
2.3.2.7.7 Dane dla emisji do powietrza 217
2.3.2.8 Powlekanie form i rdzeni 259
2.3.2.8.1 Emisje pyłu i całkowitych LZO 259
2.3.2.9 Odlewanie, chłodzenie i wytrząsanie przy użyciu form traconych (jednorazowego użytku) 259
2.3.2.9.1 Emisje pyłu 261
2.3.2.9.2 Emisje amin 261
2.3.2.9.3 Emisje benzenu 262
2.3.2.9.4 Emisje formaldehydu 262
2.3.2.9.5 Emisje fenolu 262

2.3.2.9.6 Emisje chromu (Cr) 262
2.3.2.9.7 Emisje ołowiu (Pb) 263
2.3.2.9.8 Emisje całkowitych LZO 263
2.3.2.9.9 Dane dla emisji do powietrza 263
2.3.2.10 Alternatywne procesy odlewania (metodą traconej pianki, w formach skorupowych) 282
2.3.2.10.1 Piasek niezwiązany – odlewanie metodą traconej pianki 282
2.3.2.10.2 Piasek chemicznie związany – pełna forma 283
2.3.2.10.3 Odlewanie w formach skorupowych 284
2.3.2.11 Odlewanie w formach trwałych (kokilowe) 284
2.3.2.11.1 Emisje pyłu 285
2.3.2.11.2 Emisje całkowitych LZO 285
2.3.2.11.3 Emisje ołowiu (Pb) 286
2.3.2.11.4 Dane dla emisji do powietrza 286
2.3.2.12 Wykańczanie 293
2.3.2.12.1 Emisje pyłu 293
2.3.2.12.2 Emisje całkowitych LZO 293
2.3.2.12.3 Emisje ołowiu (Pb) 293
2.3.2.12.4 Emisje niklu (Ni) 293
2.3.2.12.5 Emisje kadmu (Cd) 294
2.3.2.12.6 Emisje chromu (Cr) 294
2.3.2.12.7 Dane dla emisji do powietrza 294
2.3.2.13 Odzyskiwanie i regeneracja piasku 299
2.3.2.13.1 Emisje pyłu 299
2.3.2.13.2 Emisje benzenu 299
2.3.2.13.3 Emisje formaldehydu 299
2.3.2.13.4 Emisje tlenków azotu NO_X 299
2.3.2.13.5 Emisje dwutlenku siarki SO_2 300
2.3.2.13.6 Emisje całkowitych LZO 300
2.3.2.13.7 Dane dotyczące emisji do powietrza 300
2.3.3 Emisje do wody 306
2.3.3.1 Dane dotyczące emisji do wody 308
2.3.4 Zużycie wody i wytwarzanie ścieków 324
2.3.4.1 Procesy związane ze zużyciem wody 324
2.3.4.2 Wytwarzanie ścieków podczas składowania złomu 324
2.3.4.3 Wytwarzanie ścieków przez płuczki gazowe mokre stosowane podczas topienia w żeliwiakach 324
2.3.4.4 Powstawanie ścieków z procesu odlewania, chłodzenia i wytrząsania oraz z produkcji form / przygotowania piasku 325
2.3.4.5 Wytwarzanie ścieków przy produkcji rdzeni 325
2.3.4.6 Dane dotyczące poziomów jednostkowego zużycia wody 325
2.3.5 Operacyjna wydajność materiałowa (materiałochłonność, OWM) 331
2.3.6 Współczynnik ponownego wykorzystania piasku (odzyskanie i regeneracja) 338
2.3.7 Wytwarzanie pozostałości/odpadów 340
2.3.7.1 Żużel 340
2.3.7.2 Zgary 341
2.3.7.3 Odpady wykładzin ogniotrwałych 341
2.3.7.4 Pył z filtrów 341

2.3.7.5 Zużyty piasek ... 341
2.3.7.6 Wykresy przedstawiające ilości pozostałości przekazanych do unieszkodliwiania ... 344
2.3.8 Zużycie energii ... 349
2.3.8.1 Zużycie koksu i energii w żeliwiakach ... 349
2.3.8.2 Zużycie energii w bezrdzeniowych piecach indukcyjnych ... 349
2.3.8.3 Zużycie energii w kanałowych piecach indukcyjnych ... 350
2.3.8.4 Zużycie energii w piecach indukcyjnych do aluminium ... 351
2.3.8.5 Zużycie energii w piecach szybowych do aluminium ... 351
2.3.8.6 Wartości dla jednostkowego zużycia energii ... 351
3 TECHNIKI DO UWZGLĘDNIENIA PRZY OKREŚLANIU BAT ... 357
3.1 WSPÓLNE TECHNIKI DO ROZWAŻENIA PRZY USTALANIU BAT DLA KUŹNI I ODLEWNI ... 360
3.1.1 Ogólne efekty działalności środowiskowej ... 360
3.1.1.1 System zarządzania środowiskowego (EMS) ... 360
3.1.1.2 Wykaz zasobów wejściowych i produktów wyjściowych ... 362
3.1.1.3 System zarządzania chemikaliami (*chemicals management system - CMS*) ... 363
3.1.1.4 Zapobieganie lub ograniczanie emisji do gleby i wód gruntowych ... 365
3.1.1.4.1 Opracowanie i wdrożenie planu zapobiegania wyciekom i rozlewom oraz ich kontroli ... 365
3.1.1.4.2 Struktura i zarządzanie obszarami procesowymi oraz obszarami składowania surowców ... 365
3.1.1.4.3 Zapobieganie zanieczyszczeniu spływu powierzchniowego ... 366
3.1.1.4.4 Zbieranie potencjalnie zanieczyszczonych spływów powierzchniowych ... 367
3.1.1.4.5 Bezpieczna obsługa i przechowywanie chemikaliów stosowanych w procesie produkcyjnym ... 368
3.1.1.4.6 Odpowiednie gospodarowanie ... 370
3.1.1.5 Plan zarządzania w warunkach innych niż normalne warunki eksploatacji (*other than normal operating conditions - OTNOC*) ... 370
3.1.2 Monitorowansie ... 372
3.1.3 Efektywność energetyczna ... 373
3.1.3.1 Plan na rzecz efektywności energetycznej i audyty ... 373
3.1.3.2 Zapis bilansu energetycznego ... 374
3.1.3.3 Stosowanie ogólnych technik oszczędzania energii ... 375
3.1.4 Emisje do powietrza ... 376
3.1.4.1 Wykorzystanie energii elektrycznej z niekopalnych źródeł energii w procesach termicznych (w odlewniach i kuźniach) ... 376
3.1.5 Hałas i wibracje ... 381
3.1.5.1 Plan zarządzania hałasem i wibracjami ... 381
3.1.5.2 Odpowiednia lokalizacja urządzeń i budynków ... 382
3.1.5.3 Środki operacyjne ... 383
3.1.5.4 Sprzęt o niskim poziomie hałasu ... 383
3.1.5.5 Urządzenia do kontroli hałasu ... 384
3.1.5.6 Redukcja hałasu ... 384
3.1.6 Pozostałości ... 385
3.1.6.1 Plan zarządzania pozostałościami ... 385

3.1.7 Likwidacja 386
3.2 TECHNIKI DO ROZWAŻENIA PRZY OKREŚLANIU NAB DLA ODLEWNI 387
3.2.1 Techniki do rozważenia dla wszystkich rodzajów odlewni 387
3.2.1.1 Stosowanie substancji alternatywnych, które nie są lub są mniej niebezpieczne podczas formowania i produkcji rdzeni 387
3.2.1.2 Monitorowanie emisji do powietrza i do wody 388
3.2.1.2.1 Monitorowanie emisji do powietrza 388
3.2.1.2.2 Monitorowanie emisji do wody 389
3.2.1.3 Efektywność energetyczna 389
3.2.1.3.1 Wybór efektywnego energetycznie typu pieca 390
3.2.1.3.2 Techniki maksymalizacji sprawności cieplnej pieców 392
3.2.1.3.3 Optymalizacja zużycia energii (zarządzanie obciążeniem szczytowym) w piecach indukcyjnych 395
3.2.1.3.4 Automatyka i sterowanie pracą pieca 398
3.2.1.3.5 Wykorzystywanie czystego złomu 399
3.2.1.3.6 Poprawa wydajności odlewania oraz zmniejszenie ilości odpadów 400
3.2.1.3.7 Ograniczanie strat energii / poprawa praktyk w zakresie wstępnego podgrzewania kadzi 400
3.2.1.3.8 Spalanie tlenowo-paliwowe 406
3.2.1.3.9 Wykorzystanie mocy średniej częstotliwości w piecach indukcyjnych 407
3.2.1.3.10 Optymalizacja systemu sprężonego powietrza 408
3.2.1.3.11 Suszenie mikrofalowe rdzeni do powłok na bazie wody 409
3.2.1.3.12 Wstępne podgrzewanie złomu przy użyciu odzyskanego ciepła 411
3.2.1.3.13 Odzysk ciepła z gazów wylotowych generowanych w piecach 412
3.2.1.3.14 Wstępne podgrzewanie powietrza do spalania 418
3.2.1.3.15 Wykorzystanie ciepła odpadowego w piecach indukcyjnych 420
3.2.1.4 Efektywność wykorzystania materiałów 422
3.2.1.4.1 Przechowywanie i postępowanie z pozostałościami, opakowaniami i niewykorzystanymi chemikaliami technologicznymi 422
3.2.1.4.1.1 Odpowiednie przechowywanie różnych rodzajów pozostałości 422
3.2.1.4.1.2 Ponowne wykorzystanie własnego złomu 423
3.2.1.4.1.3 Ponowne użycie/recykling opakowań 426
3.2.1.4.1.4 Zwrot niewykorzystanych chemikaliów technologicznych 427
3.2.1.4.2 Efektywność wykorzystania materiałów operacyjnych w procesie odlewania 428
3.2.1.4.2.1 Poprawa wydajności odlewania i zmniejszenie wytwarzanie złomu 428
3.2.1.4.2.2 Wykorzystanie symulacji komputerowej do odlewania, zalewania i krzepnięcia 429
3.2.1.4.2.3 Produkcja lekkich odlewów z wykorzystaniem optymalizacji topologii 430
3.2.1.4.3 Zmniejszenie zużycia materiałów 432
3.2.1.4.3.1 Oddzielne natryskiwanie środka antyadhezyjnego i wody w odlewaniu wysokociśnieniowym 432
3.2.1.4.3.2 Minimalizacja zużycia środka antyadhezyjnego i wody 433
3.2.1.4.3.3 Optymalizacja zużycia spoiwa i żywicy 434
3.2.1.4.3.4 Minimalizacja strat form i piasku rdzeniowego 437
3.2.1.4.3.5 Stosowanie najlepszych praktyk w procesach utwardzania na zimno 437
3.2.1.4.3.6 Odzyskiwanie amin z kwaśnej wody płuczkowej 439
3.2.1.4.3.7 Stosowanie najlepszych praktyk w procesach utwardzania gazem 440
3.2.1.4.3.8 Stosowanie alternatywnych procesów formowania/produkcji rdzeni 442
3.2.1.4.3.9 Odlewanie metodą traconej pianki 443
3.2.1.4.3.10 Odlewanie w skorupach ceramicznych 446
3.2.1.4.3.11 Formowanie próżniowe 447
3.2.1.4.4 Regeneracja oraz odzysk piasku 447
3.2.1.4.4.1 Zoptymalizowana regeneracja zielonego piasku (kruszenie, separacja, chłodzenie) 447
3.2.1.4.4.2 Regeneracja zielonego piasku o niskiej zawartości odpadów 449
3.2.1.4.4.3 Przygotowanie piasku wiązanego gliną poprzez mieszanie próżniowe i chłodzenie 452
3.2.1.4.4.4 Mechaniczny odzysk piasku (masy) utwardzanego na zimno 453
3.2.1.4.4.5 Mechaniczny odzysk na zimno piasku związanego gliną lub chemicznie za pomocą ściernicy 454
3.2.1.4.4.6 Mechaniczny odzysk piasku na zimno za pomocą bębna udarowego 457
3.2.1.4.4.7 Odzysk piasku na zimno za pomocą systemu pneumatycznego 458
3.2.1.4.4.8 Odzysk termiczny piasku 460

3.2.1.4.4.10 Termiczno-mechaniczny odzysk piasku przy użyciu pieców bębnowych 465
3.2.1.4.4.11 Połączony odzysk piasku i obróbka cieplna odlewów aluminiowych 468
3.2.1.4.4.12 Odzysk na mokro piasków zielonych, piasków związanych krzemianem lub CO_2 471
3.2.1.4.4.13 Odzysk piasku (masy) wiązanego krzemianem sodu (wiązanego szkłem wodnym) przy użyciu systemu pneumatycznego 472
3.2.1.4.4.14 Wewnątrzzakładowe ponowne wykorzystanie piasku rdzeniowego (spoiwa z procesu z zimną rdzennicą lub kwasem furanowym) 474
3.2.1.4.4.15 Ponowne wykorzystanie pyłu z obiegu zielonego piasku do produkcji form 475
3.2.1.4.5 Ograniczenie ilości powstających odpadów i ilości odpadów przekazywanych do unieszkodliwiania 475
3.2.1.4.5.1 Recykling poza zakładem i/lub inne odzyskiwanie zużytego piasku, piasku niewymiarowego, żużla, wykładzin ogniotrwałych i zebranego pyłu z filtrów 476
3.2.1.4.5.2 Minimalizacja tworzenia się żużla 478
3.2.1.4.5.3 Mechaniczna obróbka wstępna żużla / zgarów / pyłu z filtrów / zużytych wykładzin ogniotrwałych w celu ułatwienia recyklingu 478
3.2.1.4.5.4 Regulacja kwasowości/zasadowości żużla 481
3.2.1.4.5.5 Zbieranie oraz recykling miału koksowego 482
3.2.1.4.5.6 Recykling pyłu z filtrów żeliwiaka z wykorzystaniem odpadów zawierających cynk 482
3.2.1.4.5.7 Recykling pyłu z filtrów w piecach łukowych 487
3.2.1.5 Emisje rozproszone do powietrza 488
3.2.1.5.1 Przykrycie/osłonięcie sprzętu dostawczego (pojemników, kontenerów) oraz przestrzeni ładunkowej pojazdów transportowych 489
3.2.1.5.2 Czyszczenie dróg i kół pojazdów transportowych 489
3.2.1.5.3 Stosowanie zamkniętych/zabudowanych przenośników 490
3.2.1.5.4 Oczyszczanie próżniowe formierni i odlewni 490
3.2.1.5.5 Zastąpienie powłok na bazie alkoholu powłokami na bazie wody 491
3.2.1.5.6 Kontrola emisji z kąpieli hartujących/utwardzających 491
3.2.1.5.7 Kontrola emisji z operacji przesyłania/transferu w topieniu metali 493
3.2.1.6 Emisje zorganizowane do powietrza 494
3.2.1.6.1 Ograniczenie liczby punktów emisji 494
3.2.1.7 Emisje do powietrza z procesów termicznych 495
3.2.1.7.1 Wybór odpowiedniego typu pieca 495
3.2.1.7.2 Stosowanie czystego złomu 499
3.2.1.7.3 Techniki służące maksymalizacji sprawności cieplnej pieców 499
3.2.1.7.4 Stosowanie paliwa lub mieszanki paliw o niskim potencjale tworzenia NO_X 499
3.2.1.7.5 Stosowanie paliwa lub mieszanki paliw o niskiej zawartości siarki 499
3.2.1.7.6 Palniki o niskiej emisji NO_X 500
3.2.1.8 Emisje do powietrza z obróbki cieplnej 501
3.2.1.8.1 Wybór odpowiedniego typu pieca 501
3.2.1.8.2 Techniki służące maksymalizacji sprawności cieplnej pieców 501
3.2.1.8.3 Stosowanie paliwa lub mieszanki paliw o niskim potencjale tworzenia NO_X 502
3.2.1.8.4 Palniki o niskiej emisji NO_X 502
3.2.1.8.5 Ekstrakcja gazów wylotowych jak najbliżej źródła emisji 502
3.2.1.9 Emisje do powietrza z wytwarzania rdzenia i formowania przy użyciu pełnych form 502
3.2.1.9.1 Stosowanie najlepszych praktyk w zakresie tworzenia form z zielonego piasku 502
3.2.1.9.2 Przygotowanie piasku wiązanego gliną poprzez mieszanie próżniowe i chłodzenie 504
3.2.1.9.3 Substytucja/zastąpienie pyłu węglowego 504
3.2.1.9.4 Stosowanie spoiw zbożowych 505
3.2.1.9.5 Minimalizacja zużycia spoiwa i żywicy 506
3.2.1.9.6 Stosowanie najlepszych praktyk w procesach utwardzania na zimno 506
3.2.1.9.7 Stosowanie najlepszych praktyk w procesach utwardzania gazem 506
3.2.1.9.8 Stosowanie niearomatycznych rozpuszczalników do produkcji zimnych rdzennic 506
3.2.1.9.9 Stosowanie najlepszych praktyk w procesach utwardzania na gorąco 508
3.2.1.9.10 Stosowanie alifatycznych spoiw organicznych 510
3.2.1.9.11 Stosowanie spoiw nieorganicznych w odlewaniu ciśnieniowym aluminium 516
3.2.1.9.12 Zastąpienie powłok na bazie alkoholu powłokami na bazie wody 519
3.2.1.9.13 Wybór niskoemisyjnego systemu wiążącego na zimno 522
3.2.1.9.14 Wybór niskoemisyjnego systemu utwardzania spoiwa gazem 525
3.2.1.9.15 Wybór niskoemisyjnego systemu utwardzania na gorąco 528

3.2.1.9.16 Alifatyczny poliuretanowy system wiązania w metodzie ciepłej rdzennicy 529
3.2.1.9.17 Odciąganie/ekstrakcja gazów wylotowych powstających podczas formowania i/lub produkcji rdzeni 532
3.2.1.9.18 Cyklon 534
3.2.1.9.19 Filtr tkaninowy 534
3.2.1.9.20 Płukanie/oczyszczanie na mokro 535
3.2.1.9.21 Adsorpcja 535
3.2.1.9.22 Utlenianie termiczne 535
3.2.1.10 Emisje do powietrza z produkcji rdzeni i formowania z użyciem pełnych form 537
3.2.1.10.1 Ekstrakcja/odciąganie gazów wylotowych generowanych podczas procesów odlewania, chłodzenia i wytrząsania 537
3.2.1.10.2 Cyklon 541
3.2.1.10.3 Filtr tkaninowy 541
3.2.1.10.4 Płukanie (oczyszczanie) na mokro 541
Więcej informacji na temat tej techniki znajduje się w Sekcji 3.2.1.13.4. 541
3.2.1.10.5 Filtr elektrostatyczny 541
3.2.1.10.6 Adsorpcja 541
3.2.1.10.7 Biofiltr (filtr biologiczny) 542
3.2.1.11 Emisje do powietrza z odlewania metodą traconej pianki 545
3.2.1.11.1 Ekstrakcja gazów wylotowych generowanych metodą traconej pianki jak najbliżej źródła emisji 545
3.2.1.11.2 Utlenianie katalityczne 545
3.2.1.11.2.1 Utlenianie katalityczne gazów wylotowych w procesie odlewania metodą traconej pianki 545
3.2.1.11.3 Filtr tkaninowy 547
3.2.1.11.4 Adsorpcja 547
3.2.1.11.5 Utlenianie termiczne 547
3.2.1.11.6 Płukanie (oczyszczanie) na mokro 547
3.2.1.12 Emisje do powietrza z procesu odlewania w odlewniach wykorzystujących formy trwałe 547
3.2.1.12.1 Ogólne techniki odlewania grawitacyjnego i niskociśnieniowego 547
3.2.1.12.2 Ogólne techniki stosowane w odlewaniu wysokociśnieniowym 548
3.2.1.12.3 Optymalizacja parametrów procesu dla odlewania odśrodkowego i ciągłego 549
3.2.1.12.4 Oddzielne natryskiwanie środka antyadhezyjnego i wody w odlewaniu wysokociśnieniowym 550
3.2.1.12.5 Stosowanie środków antyadhezyjnych niezawierających wody w odlewaniu wysokociśnieniowym .. 550
3.2.1.12.6 Ekstrakcja gazów wylotowych generowanych w procesie odlewania jak najbliżej źródła emisji 551
3.2.1.12.7 Filtr tkaninowy 552
3.2.1.12.8 Filtr elektrostatyczny (ESP) 553
3.2.1.12.9 Utlenianie termiczne 553
3.2.1.12.10 Płukanie (oczyszczanie) na mokro 553
3.2.1.13 Emisje do powietrza z wykańczania odlewów 554
3.2.1.13.1 Ekstrakcja (odciąganie) gazów wylotowych generowanych podczas wykańczania jak najbliżej źródła emisji 554
3.2.1.13.2 Cyklon 556
3.2.1.13.3 Filtr tkaninowy 556
3.2.1.13.4 Płukanie (oczyszczanie) na mokro 556
3.2.1.14 Emisje do powietrza z regeneracji i odzyskiwania piasku 557
3.2.1.14.1 Stosowanie paliwa lub mieszanki paliw o niskim potencjale tworzenia NO_X 557
3.2.1.14.2 Stosowanie paliwa lub mieszanki paliw o niskiej zawartości siarki 557
3.2.1.14.3 Ekstrakcja (odciąganie) gazów wylotowych generowanych podczas odzyskiwania jak najbliżej źródła emisji 557
3.2.1.14.4 Cyklon 558
3.2.1.14.5 Filtr tkaninowy 558
3.2.1.14.6 Płukanie (oczyszczanie) na mokro 558
3.2.1.14.7 Utlenianie termiczne 558
3.2.1.15 Odór 559
3.2.1.15.1 Plan zarządzania odorami 559
3.2.1.15.2 Okresowy monitoring odorów 560
3.2.1.15.3 Zastępowanie chemikaliów zawierających rozpuszczalniki na bazie alkoholu lub rozpuszczalniki aromatyczne 561
3.2.1.15.4 Dobra wentylacja obszarów, w których stosowane są spoiwa 561

3.2.1.15.5 Zbieranie i oczyszczanie emisji amin z procesu produkcji rdzeni metodą zimnej rdzennicy 561
3.2.1.15.6 Zbieranie i oczyszczanie emisji LZO z przygotowania piasku wiązanego chemicznie, zalewania, chłodzenia i wytrząsania 563
3.2.1.16 Zużycie wody oraz wytwarzanie ścieków 564
3.2.1.16.1 Plan zarządzania zasobami wodnymi i audyty 564
3.2.1.16.2 Segregacja strumieni wody 565
3.2.1.16.3 Ponowne wykorzystanie i/lub recykling wody 566
3.2.1.16.4 Zapobieganie powstawaniu ścieków z obszarów procesowych i magazynowych 567
3.2.1.16.5 Stosowanie systemów odpylania na sucho 567
3.2.1.16.6 Oddzielne rozpylanie środka antyadhezyjnego i wody w odlewaniu wysokociśnieniowym 567
3.2.1.16.7 Wykorzystanie ciepła odpadowego do odparowywania ścieków 567
3.2.1.17 Emisje do wody 568
3.2.1.17.1 Wyrównywanie 568
3.2.1.17.2 Neutralizacja 568
3.2.1.17.3 Separacja fizyczna, np. przy użyciu sit, przesiewaczy, separatorów piasku, separatorów tłuszczu, hydrocyklonów, separatorów oleju i wody lub osadników wstępnych. 568
3.2.1.17.4 Adsorpcja 568
3.2.1.17.5 Strącanie chemiczne 568
3.2.1.17.6 Parowanie 568
3.2.1.17.7 Proces osadu czynnego 568
3.2.1.17.8 Bioreaktor membranowy 569
3.2.1.17.9 Koagulacja i flokulacja 569
3.2.1.17.10 Sedymentacja (osadzanie się) 569
3.2.1.17.11 Filtracja, np. filtracja piaskowa, mikrofiltracja, ultrafiltracja, odwrócona osmoza 569
3.2.1.17.12 Flotacja 569
3.2.2 Techniki do rozważenia przy określaniu BAT dla odlewni żelaza 569
3.2.2.1 Efektywność energetyczna 569
3.2.2.1.1 Zwiększenie wysokości szybu w żeliwiakach z zimnym dmuchem 569
3.2.2.1.2 Wzbogacanie tlenem powietrza do spalania 570
3.2.2.1.3 Przegrzanie wdmuchiwanego powietrza w żeliwiakach z gorącym dmuchem 572
3.2.2.1.4 Minimalne okresy wstrzymywania nadmuchiwania dla żeliwiaków z gorącym dmuchem 573
3.2.2.1.5 Żeliwiak kampanijny 574
3.2.2.1.6 Żeliwiaki opalane gazem ziemnym 576
3.2.2.1.7 Dopalanie gazów wylotowych 578
3.2.2.1.8 Praktyka stosowania spienionego żużla 584
3.2.2.2 Emisje do powietrza z procesów termicznych 585
3.2.2.2.1 Emisje do powietrza z topienia metali 585
3.2.2.2.1.1 Kontrola jakości koksu 585
3.2.2.2.1.2 Regulacja kwasowości/zasadowości żużla 587
3.2.2.2.1.3 Zwiększenie wysokości szybu w żeliwiakach z zimnym dmuchem 587
3.2.2.2.1.4 Wzbogacanie tlenem powietrza do spalania 587
3.2.2.2.1.5 Przegrzanie wdmuchiwanego powietrza w żeliwiakach z gorącym dmuchem 587
3.2.2.2.1.6 Minimalne okresy wstrzymywania nadmuchiwania dla żeliwiaków z gorącym dmuchem 587
3.2.2.2.1.7 Żeliwiak kampanijny 587
3.2.2.2.1.8 Ekstrakcja (odciąganie) i chłodzenie gazu wylotowego jak najbliżej źródła emisji 587
3.2.2.2.1.9 Podstawowe środki kontroli służące minimalizacji emisji PCDD/F 595
3.2.2.2.1.10 Dopalanie gazów wylotowych 597
3.2.2.2.1.11 Cyklon 597
3.2.2.2.1.12 Adsorpcja 597
3.2.2.2.1.13 Proces suchego oczyszczania gazów wylotowych (proces suchego odsiarczania) 600
3.2.2.2.1.14 Filtr tkaninowy 600
3.2.2.2.1.15 Płukanie (oczyszczanie) na mokro 600
3.2.2.3 Emisje do powietrza pochodzące z sferoidyzacji żeliwa 600
3.2.2.3.1 Sferoidyzacja bez emisji tlenku magnezu 600
3.2.2.3.3 Filtr tkaninowy 603
3.2.3 Techniki do rozważenia przy określaniu BAT dla odlewni stali 603
3.2.3.1 Emisje do powietrza z procesów termicznych 603

3.2.3.1.1 Szybkie schładzanie gazów wylotowych 603
3.2.3.1.2 Minimalizacja gromadzenia się pyłu w wymiennikach ciepła 603
3.2.3.1.3 Ekstrakcja gazów wylotowych jak najbliżej źródła emisji 603
3.2.3.1.4 Cyklon 606
3.2.3.1.5 Filtr tkaninowy 606
3.2.3.2 Emisje do powietrza z rafinacji stali 606
3.2.3.2.1 Ekstrakcja (odciąganie) gazów wylotowych jak najbliżej źródła emisji 606
3.2.3.2.2 Filtr tkaninowy 607
3.2.4 Techniki do rozważenia przy określaniu BAT dla odlewni metali nieżelaznych 607
3.2.4.1 Efektywność energetyczna 607
3.2.4.1.1 Cyrkulacja stopionego metalu w piecach płomiennych (trzonowych) 607
3.2.4.1.2 Minimalizacja strat energii spowodowanych promieniowaniem w piecach tyglowych 608
3.2.4.2 Emisje do powietrza z procesów termicznych 609
3.2.4.2.1 Emisje do powietrza z topienia metali 609
3.2.4.2.1.1 Szybkie schładzanie gazów wylotowych 609
3.2.4.2.1.2 Minimalizacja gromadzenia się pyłu w wymiennikach ciepła 609
3.2.4.2.1.3 Ekstrakcja gazów wylotowych jak najbliżej źródła emisji 609
3.2.4.2.1.4 Cyklon 611
3.2.4.2.1.5 Proces suchego oczyszczania gazów wylotowych (proces suchego odsiarczania) 611
3.2.4.2.1.6 Filtr tkaninowy 611
3.2.4.2.1.7 Płukanie (oczyszczanie) na mokro 611
3.2.4.3 Emisje do powietrza z procesów obróbki i ochrony stopionego metalu 612
3.2.4.3.1 Zoptymalizowane odgazowanie/oczyszczanie stopionego aluminium 612
3.2.4.3.2 Wybór środków kontrolujących utlenianie o niskim współczynniku globalnego ocieplenia w topieniu magnezu 613
3.3 TECHNIKI DO ROZWAŻENIA PRZY OKREŚLANIU BAT DLA KUŹNI 616
3.3.1 Efektywność energetyczna 616
3.3.1.1 Ogólne techniki przetwarzania 616
3.3.1.2 Optymalna konstrukcja pieca 617
3.3.1.3 Automatyka i sterowanie pracą pieca 618
3.3.1.5 Podgrzewanie powietrza do spalania 619
3.3.2 Efektywność wykorzystania materiałów 620
3.3.2.1 Optymalizacja procesu 620
3.3.2.2 Optymalizacja zużycia surowców i materiałów pomocniczych 621
3.3.2.3 Recykling pozostałości po procesie 622
3.3.2.4 Automatyzacja maszyn kuźniczych 623
3.3.3 Wibracje 624
3.3.3.1 Ograniczenie wibracji (redukcja drgań) 624
3.3.4 Emisje hałasu 627
3.3.4.1 Ogólne uwagi dotyczące hałasu 627
3.3.4.2 Środki ogólne 627
3.3.5 Monitorowanie 628
3.3.5.1 Przegląd 628
3.3.5.2 Monitorowanie emisji zorganizowanych do powietrza 629
3.3.6 Emisje do powietrza 630
3.3.6.1 Ogólne rozważania dotyczące emisji rozproszonych do powietrza 630

3.3.6.1.1 Środki techniczne i operacyjne 630
3.3.6.1.2 Ekstrakcja emisji z śrutowania 631
3.3.6.13 Efektywne magazynowanie i obsługa surowców 632
3.3.6.2 Emisje do powietrza z ogrzewania, nagrzewania i obróbki termicznej 633
3.3.6.2.1 Stosowanie paliwa lub mieszanki paliw o niskim potencjale tworzenia NO_X 633
3.3.6.2.2 Optymalizacja spalania 633
3.3.6.2.3 Automatyzacja i sterowanie piecem 634
3.3.6.2.4 Recyrkulacja gazów spalinowych 634
3.3.6.2.5 Palniki o niskiej emisji NO_X 635
3.3.6.2.6 Ograniczenie temperatury podgrzewania powietrza 635
3.3.6.2.7 Spalanie tlenowo-paliwowe 636
3.3.6.2.8 Spalanie bezpłomieniowe 636
3.3.7 Zużycie wody oraz wytwarzanie ścieków 637
3.3.7.1 Segregacja strumieni wody 637
3.3.7.2 Ponowne wykorzystanie i/lub recykling wody 638
3.3.7.3 Plan zarządzania zasobami wodnymi i audyty 639
3.3.8 Emisje do wody 639
3.3.8.1 Techniki oczyszczania ścieków 639
4 KONKLUZJE DOTYCZĄCE NAJLEPSZYCH DOSTĘPNYCH TECHNIK (BAT) W ODNIESIENIU DO SEKTORA KUŹNI i ODLEWNI 641
4.1 OGÓLNE KONKLUZJE DOTYCZĄCE BAT 652
4.1.1 Ogólna efektywność środowiskowa 652
4.1.2 Monitorowanie 656
4.1.3 Efektywność energetyczna 657
4.1.4 Hałas i wibracje 658
4.1.5 Pozostałości 659
4.2 KONKLUZJE DOTYCZĄCE BAT W ODNIESIENIU DO ODLEWNI 661
4.2.1 Ogólne konkluzje dotyczące BAT w odniesieniu do odlewni 661
4.2.1.1 Substancje stwarzające zagrożenie i substancje stanowiące bardzo duże zagrożenie 661
4.2.1.2 Monitorowanie emisji 661
4.2.1.2.1 Monitorowanie emisji do powietrza 661
4.2.1.2.2 Monitorowanie emisji do wody 665
4.2.1.3 Efektywność energetyczna 666
4.2.1.4 Efektywne wykorzystanie materiałów 669
4.2.1.4.1 Przechowywanie pozostałości, opakowań i niewykorzystanych chemikaliów technologicznych oraz postępowanie z nimi 669
4.2.1.4.2 Operacyjna efektywność wykorzystania materiałów w procesie odlewania 670
4.2.1.4.3 Zmniejszenie zużycia materiałów 670
4.2.1.4.4 Ponowne wykorzystanie masy/piasku 671
4.2.1.4.5 Zmniejszenie ilości wytwarzanych pozostałości i odpadów przesyłanych do unieszkodliwienia 674
4.2.1.5 Emisje rozproszone do powietrza 675
4.2.1.6 Emisje zorganizowane do powietrza 676
4.2.1.7 Emisje do powietrza z procesów termicznych 677
4.2.1.8 Emisje do powietrza z wykonywania form przy użyciu pełnych form i wykonywania rdzeni 679

4.2.1.9 Emisje do powietrza z procesów odlewania, chłodzenia i wybijania w odlewniach stosujących pełne formy, w tym proces pełnej formy ... 683
4.2.1.10 Emisje do powietrza z odlewania metodą pełnej formy ... 685
4.2.1.11 Emisje do powietrza z procesu odlewania w odlewniach stosujących formy trwałe ... 686
4.2.1.12 Emisje do powietrza z wykańczania ... 688
4.2.1.13 Emisje do powietrza z ponownego wykorzystania masy/piasku ... 688
4.2.1.14 Odór ... 690
4.2.1.15 Zużycie wody oraz wytwarzanie ścieków ... 691
4.2.1.16 Emisje do wody ... 692
4.2.2 Konkluzje dotyczące BAT w odniesieniu do odlewni żeliwa ... 694
4.2.2.1 Efektywność energetyczna ... 694
4.2.2.2 Emisje do powietrza z procesów termicznych ... 694
4.2.2.2.1 Emisje do powietrza z topienia metali ... 694
4.2.2.2.2 Emisje do powietrza ze sferoidyzacji żeliwa ... 697
4.2.3 Konkluzje dotyczące BAT w odniesieniu do odlewni staliwa ... 697
4.2.3.1 Emisje do powietrza z procesów termicznych ... 697
4.2.3.1.1 Emisje do powietrza z topienia metali ... 697
4.2.3.1.2 Emisje do powietrza z rafinacji stali ... 698
4.2.4 Konkluzje dotyczące BAT w odniesieniu do odlewni metali nieżelaznych ... 698
4.2.4.1 Efektywność energetyczna ... 699
4.2.4.2 Emisje do powietrza z procesów termicznych ... 699
4.2.4.2.1 Emisje do powietrza z topienia metali ... 699
4.2.4.3 Emisje do powietrza z obróbki i ochrony stopu odlewniczego ... 700
4.3 KONKLUZJE DOTYCZĄCE BAT W ODNIESIENIU DO KUŹNI ... 701
4.3.1 Efektywność energetyczna ... 701
4.3.2 Efektywność wykorzystania materiałów ... 701
4.3.3 Wibracje ... 702
4.3.4 Monitorowanie emisji do powietrza ... 702
4.3.5 Emisje do powietrza ... 702
4.3.5.1 Emisje rozproszone do powietrza ... 702
4.3.5.2 Emisje do powietrza z ogrzewania/nagrzewania i obróbki termicznej ... 703
4.3.6 Zużycie wody oraz wytwarzanie ścieków ... 704
4.4 OPISY TECHNIK ... 706
4.4.1 Techniki zwiększania efektywności energetycznej ... 706
4.4.2 Techniki zwiększania efektywności wykorzystania materiałów ... 708
4.4.3 Techniki ograniczania emisji do powietrza ... 709
4.4.4 Techniki ograniczania emisji do wody ... 712
5 NOWE TECHNIKI ... 714
5.1 NOWE TECHNIKI DLA KUŹNI ... 714
5.2 NOWE TECHNIKI DLA ODLEWNI ... 715

5.2.1 Recykling odpadów bez użycia paliw kopalnych 715
5.2.2 Analiza online temperatury i składu chemicznego 716
5.2.3 Spiekanie plazmowe iskrowe..... 718
5.2.4 Stosowanie biokoksów w żeliwiakach..... 719
6 UWAGI KOŃCOWE ORAZ ZALECENIA DOTYCZĄCE PRZYSZŁYCH PRAC 724
7 LITERATURA ŹRÓDŁOWA 728
8 ZAŁĄCZNIKI 739
8.1 ZAŁĄCZNIK 1 LISTA Z EUROPEJSKICH KUŹNI I ODLEWNI, KTÓRE UCZESTNICZYŁY W GROMADZENIU DANYCH 739
8.1.1 Lista z europejskich odlewni, które uczestniczyły w gromadzeniu danych..... 739
8.1.2 Lista europejskich kuźni, które uczestniczyły w gromadzeniu danych 744
8.2 ZAŁĄCZNIK 2 INFORMACJE DOTYCZĄCE OŚWIADCZEŃ H DLA SUBSTANCJI OBECNIE STOSOWANYCH W ODLEWNIACH 745

Spis ilustracji

Rysunek 1.1: Dane dotyczące światowego i europejskiego przemysłu kuźniczego w 2019 r. 2
Rysunek 1.2: Wyroby kuźnicze 5
Rysunek 1.3: Uproszczony schemat procesu produkcyjnego w kuźni 8
Rysunek 1.4: Nadające się surowce 9
Rysunek 1.5: Cięcie na zimno i na gorąco 11
Rysunek 1.6: Piłowanie pręta i wiązki prętów 12
Rysunek 1.8: Nagrzewanie bezpośrednie poprzez indukcję 16
Rysunek 1.9: Nagrzewanie z wykorzystaniem przewodnictwa cieplnego poprzez indukcję 17
Rysunek 1.10: Młot pneumatyczny 19
Rysunek 1.11: Młot pneumatyczny 19
Rysunek 1.12: Młot przeciwuderzeniowy 20
Rysunek 1.14: Kucie przed (po lewej) i po obróbce mechanicznej (po prawej) 25
Rysunek 1.15: Usuwanie osadów poprzez spęczanie 26
Rysunek 1.16: Usuwanie osadów/zgorzeliny z wykorzystaniem wody pod ciśnieniem 26
Rysunek 1.17: Usuwanie osadów/zgorzeliny za pomocą szczotek 27
Rysunek 1.18: Gratowanie oraz stemplowanie 28
Rysunek 1.19: Przykład uproszczonego schematu przepływu procesu w kuźni wraz z emisjami, które mogą powstać, oraz zużyciem energii na poziomie procesu 30
Rysunek 1.20: Schemat przepływu procesu w kuźni z uwzględnieniem możliwych rodzajów emisji 31
Rysunek 1.21: Przepływ wejściowy i wyjściowy w kuźni 32
Rysunek 1.22: Procentowe zużycie energii na poszczególnych etapach kucia na gorąco 33
Rysunek 1.23: Zużycie energii w różnych procesach w kWh/tonę 34
Rysunek 1.24: Jednostkowe zużycie energii netto na poziomie zakładu (w kWh/t materiału wsadowego) według numeru CBI zakładu 35
Rysunek 1.25: Jednostkowe zużycie energii elektrycznej na poziomie zakładu (w kWh/t materiału wsadowego) 35
Rysunek 1.26: Jednostkowe zużycie energii netto na młotkowanie (w kWh/t materiału wsadowego) 36
Rysunek 1.27: Jednostkowe zużycie energii elektrycznej na młotkowanie (w kWh/t materiału wsadowego) 36
Rysunek 1.28: Jednostkowe zużycie energii netto na podgrzewanie/ponowne podgrzewanie (w kWh/t materiału wsadowego) 37
Rysunek 1.29: Jednostkowe zużycie energii elektrycznej na podgrzewanie/ponowne podgrzewanie (w kWh/t materiału wsadowego) 37
Rysunek 1.30: Jednostkowe zużycie energii z paliw kopalnych na podgrzewanie/ponowne podgrzewanie (w kWh/t materiału wsadowego) 38
Rysunek 1.31: Jednostkowe zużycie energii netto na obróbkę cieplną (w kWh/t materiału wsadowego) 39
Rysunek 1.32: Zgłoszona zawartość O_2 na punkt emisji (*emission point, EP*) - zakłady IED i nie-IED 44
Rysunek 1.33: Zgłoszona zawartość O2 na punkt emisji (EP) - zakłady IED 44
Rysunek 1.34: Zgłoszona zawartość O2 na poziom emisji (EP) - zakłady IED 44
Rysunek 1.35: Zgłoszone emisje NOX na punkt emisji (EP) skorygowane do 3% referencyjnego poziomu O2 - zakłady IED oraz inne niż IED 46
Rysunek 1.36: Zgłoszone emisje CO na punkt emisji (EP) skorygowane do 3% referencyjnego poziomu O2 - zakłady IED oraz inne niż IED 48
Rysunek 1.37: Wykres rozrzutu połączonych emisji NO_X oraz CO do powietrza (skorygowany do poziomu O_2 3%) 50
Rysunek 2.1: Dane dotyczące produktywności odlewni wytwarzających odlewy z metali nieżelaznych w europejskim przemyśle odlewniczym w 2020 r. 58
Rysunek 2.2: Dane dotyczące produktywności odlewni wytwarzających odlewy z żeliwa, żeliwa sferoidalnego oraz stali w europejskim przemyśle odlewniczym w 2020 r. 58
Rysunek 2.3: Udziały w rynku odlewów z metali nieżelaznych i żelaznych (dane dla rynku niemieckiego) 59

Rysunek 2.4: Proces odlewniczy 65
Rysunek 2.5: Diagramy przepływu procesu topienia i obróbki żeliwa 70
Rysunek 2.6: Diagramy przepływu procesu topienia i obróbki stali 72
Rysunek 2.7: Szablon drewniany 76
Rysunek 2.8: Rdzennice 77
Rysunek 2.9: Termopolimerowe (woskowe) szablony w maszynie RP 77
Rysunek 2.10: Złom aluminiowy (L) oraz wlewki (R) 79
Rysunek 2.11: Przenośniki pneumatyczne oraz silosy na materiały sproszkowane 79
Rysunek 2.12: Zarys schematyczny oraz miniaturowy model żeliwiaka (z zimnym nadmuchem) 83
Rysunek 2.13: Wpływ wstępnego podgrzewania powietrza na wydajność nadmuchu pieca 85
Rysunek 2.14: Schematyczne przedstawienie żeliwiaka kampanijnego 86
Rysunek 2.15: EAF 87
Rysunek 2.16: Układ ogólny bezrdzeniowego pieca indukcyjnego 90
Rysunek 2.17: Bezrdzeniowy piec indukcyjny 91
Rysunek 2.18: Typowa konstrukcja pieca kanałowego z wanną 92
Rysunek 2.19: Kanałowy piec indukcyjny 93
Rysunek 2.20: Promiennikowy piec dachowy 94
Rysunek 2.21: Przekrój pieca trzonowego 96
Rysunek 2.22: Piec szybowy 97
Rysunek 2.23: Piec tyglowy 98
Rysunek 2.24: Konwertor AOD 99
Rysunek 2.25: Odtlenianie przy użyciu drutu aluminiowego 100
Rysunek 2.26: Kanapkowa metoda sferoidyzacji 102
Rysunek 2.27: Inokulacja podczas zalewania 103
Rysunek 2.28: Typowy rozkład wielkości ziaren odlewniczego piasku kwarcowego 106
Rysunek 2.29: Elementy układu uruchamiania i bramkowania 110
Rysunek 2.30: Różne rodzaje filtrów 111
Rysunek 2.31: Schemat przepływu dla typowego zakładu produkcji zielonego piasku 112
Rysunek 2.32: Różne typy mieszarek piasku 112
Rysunek 2.33: Formowanie próżniowe 115
Rysunek 2.34: Rdzenie furanowe 116
Rysunek 2.35: Rdzennica typu cold-box 118
Rysunek 2.36: Rdzenie Croninga (u góry) i formy (u dołu) 120
Rysunek 2.37: Powlekanie przepływowe powłoką na bazie alkoholu, a następnie wypalanie lub suszenie 122
Rysunek 2.38: Powlekanie zanurzeniowe powłokami na bazie wody, a następnie suszenie w piecu z gorącym powietrzem 122
Rysunek 2.39: Proces odlewania metodą traconej pianki 123
Rysunek 2.40: Odlew z użyciem szablonu jednorazowego użytku (R) dla procesu odlewania metodą traconej pianki oraz przykład odlewu wykonanego tą metodą (L). 124
Rysunek 2.41: Proces odlewania precyzyjnego 126
Rysunek 2.42: Kadź z wylewką do zalewania stopionym metalem 127
Rysunek 2.43: Kadź czajnikowa do zalewania stopionym metalem 127
Rysunek 2.44: Kadź zatyczkowa do zalewania stopionym metalem 127
Rysunek 2.45: Piec odlewniczy 128
Rysunek 2.46: Wybijanie na końcu zautomatyzowanej linii formierskiej 129
Rysunek 2.47: Zasada działania maszyny do odlewania pod niskim ciśnieniem 130
Rysunek 2.48: Maszyna do odlewania pod niskim ciśnieniem 130

Rysunek 2.49: Wysokociśnieniowe urządzenia odlewnicze z komorą zimną i gorącą....131
Rysunek 2.50: Schematyczne przedstawienie maszyny do odlewania odśrodkowego....132
Rysunek 2.51: Schematyczne przedstawienie maszyny do odlewania gwintów stosowanej przy odlewach ciągłych....133
Rysunek 2.52: Odlewanie ciągłe przy użyciu obrotowego koła odlewniczego z miedzi (po lewej) wraz z głównymi komponentami (po prawej)....134
Rysunek 2.53: Odlewanie z użyciem systemu ciągłego i wlewowego....135
Rysunek 2.54: Odlewy przed (L, C) i po (R) usunięciu piasku przez śrutowanie....135
Rysunek 2.55: Zadziory (l.) i ich usuwanie za pomocą kamienia szlifierskiego (C) i szlifowania ślizgowego (R).136
Rysunek 2.56: Hartowanie gorącego odlewu krótko po obróbce cieplnej....138
Rysunek 2.57: Typowe etapy obróbki cieplnej w procesie austemperingu....139
Rysunek 2.59: Przegląd strumienia masy dla procesu w odlewni....147
Rysunek 2.60: Emisje pyłów do powietrza z topienia metali w odlewniach żeliwa stosujących piece indukcyjne, obrotowe lub EAF....160
Rysunek 2.61: Emisje pyłów do powietrza z topienia metali w odlewniach żeliwa stosujących piece CBC lub HBC....162
Rysunek 2.62: Emisje pyłu do powietrza z topienia metali w odlewniach stali....164
Rysunek 2.63: Emisje pyłu do powietrza z topienia metali w odlewniach NMF (1/2)....166
Rysunek 2.64: Emisje pyłu do powietrza z topienia metali w odlewniach NMF (2/2)....168
Rysunek 2.65: Emisje PCDD/F do powietrza z topienia metali w odlewniach żeliwa....170
Rysunek 2.66: Emisje PCDD/F do powietrza z topienia metali w odlewniach NMF....171
Rysunek 2.67: Emisje Pb do powietrza z topienia metali w odlewniach żeliwa stosujących piece CBC lub HBC.173
Rysunek 2.68: Emisje Pb do powietrza z topienia metali w odlewniach NMF....175
Rysunek 2.69: Emisje NO_X do powietrza z topienia metali w odlewniach żeliwa stosujących piece HBC....177
Rysunek 2.70: Emisje NO_X do powietrza z topienia w odlewniach żeliwa stosujących CBC lub piece obrotowe .179
Rysunek 2.71: Emisje NO_X do powietrza z topienia metali w odlewniach NMF....181
Rysunek 2.72: Emisje CO do powietrza z topienia w odlewniach żeliwa stosujących CBC, HBC lub piece obrotowe....183
Rysunek 2.73: Emisje CO do powietrza z topienia metali w odlewniach NMF....186
Rysunek 2.74: Emisje SO_2 do powietrza z topienia w odlewniach żeliwa stosujących HBC, CBC lub piece obrotowe....188
Rysunek 2.75: Emisje SO_2 do powietrza z topienia metali w odlewniach NMF....190
Rysunek 2.76: Emisje całkowitych LZO do powietrza z topienia metali w odlewniach żeliwa....192
Rysunek 2.77: Emisje całkowitych LZO do powietrza z topienia metali w odlewniach NMF....194
Rysunek 2.78: Emisje HCl do powietrza z topienia metali w odlewniach żeliwa stosujących piece CBC lub HBC....196
Rysunek 2.79: Emisje HCl do powietrza z topienia metali w odlewniach NMF....198
Rysunek 2.80: Emisje HF do powietrza z topienia metali w odlewniach żeliwa stosujących piece CBC lub HBC 200
Rysunek 2.81: Emisje HF do powietrza z topienia metali w odlewniach NMF....202
Rysunek 2.82: Emisje pyłu ze sferoidyzacji żeliwa....210
Rysunek 2.83: Emisje pyłu podczas wykonywania form z wykorzystaniem form traconych....218
Rysunek 2.84: Emisje pyłu podczas wykonywania form z wykorzystaniem form traconych oraz z innych procesów....221
Rysunek 2.85: Emisje pyłu z produkcji rdzeni....224
Rysunek 2.86: Emisje amin z produkcji rdzeni....227
Rysunek 2.87: Emisje formaldehydu podczas wykonywania form z wykorzystaniem form traconych....230
Rysunek 2.88: Emisje formaldehydu podczas wykonywania form z wykorzystaniem form traconych oraz z innych procesów....233

Rysunek 2.89: Emisje formaldehydu z produkcji rdzeni 236
Rysunek 2.90: Emisje benzenu podczas wykonywania form z wykorzystaniem form traconych 239
Rysunek 2.91: Emisje benzenu podczas wykonywania form z wykorzystaniem form traconych oraz z innych procesów 241
Rysunek 2.92: Emisje fenolu podczas wykonywania form z wykorzystaniem form traconych 243
Rysunek 2.93: Emisje fenolu podczas wykonywania form z wykorzystaniem form traconych oraz z innych procesów 246
Rysunek 2.94: Emisje fenolu z produkcji rdzeni 248
Rysunek 2.95: Emisje całkowitych LZO podczas wykonywania form z wykorzystaniem form traconych 250
Rysunek 2.96: Emisje całkowitych LZO podczas wykonywania form z wykorzystaniem form traconych oraz z innych procesów 253
Rysunek 2.97: Emisji całkowitych LZO z produkcji rdzeni 256
Rysunek 2.98: Emisje pyłu z procesów zalewania, chłodzenia i wytrząsania przy użyciu form traconych (1/2) 264
Rysunek 2.99: Emisje pyłu z procesów zalewania, chłodzenia i wytrząsania przy użyciu form traconych (2/2) 267
Rysunek 2.100: Emisje benzenu z procesów zalewania, chłodzenia i wytrząsania przy użyciu form traconych 270
Rysunek 2.101: Emisje formaldehydu z procesów zalewania, chłodzenia i wytrząsania przy użyciu form traconych 273
Rysunek 2.102: Emisje fenolu z procesów zalewania, chłodzenia i wytrząsania przy użyciu form traconych 276
Rysunek 2.103: Emisje całkowitych LZO z procesów zalewania, chłodzenia i wytrząsania przy użyciu form traconych 279
Rysunek 2.104: Obciążenie gazem odlotowym podczas zalewania z użyciem form pełnych i pustych (stal stopowa: żeliwo; forma: piasek związany furanem; 1,9 tony piasku: 1 tona Fe) 284
Rysunek 2.106: Emisje całkowitego LZO z procesu odlewania w formach trwałych 289
Rysunek 2.107: Emisje Pb z procesu odlewania w formach trwałych 291
Rysunek 2.108: Emisje pyłu z wykańczania (1/4) 295
Rysunek 2.109: Emisje pyłu z wykańczania (2/4) 296
Rysunek 2.110: Emisje pyłu z wykańczania (3/4) 297
Rysunek 2.111: Emisje pyłu z wykańczania i z innych procesów (4/4) 298
Rysunek 2.112: Emisje pyłu podczas odzyskiwania piasku (1/2) 301
Rysunek 2.113: Emisje pyłu podczas odzyskiwania i regeneracji piasku (2/2) 302
Rysunek 2.114: Emisje NO_X podczas odzyskiwania i regeneracji piasku 303
Rysunek 2.115: Emisje SO_2 podczas odzyskiwania i regeneracji piasku 304
Rysunek 2.116: Emisje całkowitych LZO podczas odzyskiwania i regeneracji piasku 305
Rysunek 2.117: Emisje adsorbowalnych związków chlororganicznych (AOX) dla bezpośrednich i pośrednich zrzutów z oczyszczania/płukania na mokro oraz granulacji żużla w odlewniach żeliwa wykorzystujących żeliwiaki 308
Rysunek 2.118: Emisje arsenu (As) dla zrzutów bezpośrednich i pośrednich 309
Rysunek 2.119: Emisje kadmu (Cd) dla zrzutów bezpośrednich i pośrednich 310
Rysunek 2.120: Emisje ChZT dla zrzutów bezpośrednich i pośrednich 311
Rysunek 2.121: Emisje chromu (Cr) dla zrzutów bezpośrednich i pośrednich 312
Rysunek 2.122: Emisje miedzi (Cu) dla zrzutów bezpośrednich i pośrednich 313
Rysunek 2.123: Emisje HOI dla zrzutów bezpośrednich i pośrednich 314
Rysunek 2.124: Emisje żelaza (Fe) dla zrzutów bezpośrednich i pośrednich 315
Rysunek 2.125: Emisje ołowiu (Pb) dla zrzutów bezpośrednich i pośrednich 316
Rysunek 2.126: Emisje rtęci (Hg) dla zrzutów bezpośrednich i pośrednich 317
Rysunek 2.127: Emisje niklu (Ni) dla zrzutów bezpośrednich i pośrednich 318
Rysunek 2.128: Emisje indeksu fenolowego (PI) dla zrzutów pośrednich 319
Rysunek 2.129: Emisje azotu ogólnego (N) dla zrzutów bezpośrednich i pośrednich 320

Rysunek 2.130: Emisje OWO dla zrzutów pośrednich....321
Rysunek 2.131: Emisje zawiesiny ogólnej (TSS) dla zrzutów bezpośrednich i pośrednich....322
Rysunek 2.132: Emisje cynku (Zn) dla zrzutów bezpośrednich i pośrednich....323
Rysunek 2.133: Jednostkowe zużycie wody (na poziomie zakładu) (1/3)....327
Rysunek 2.134: Jednostkowe zużycie wody (na poziomie zakładu) (2/3)....328
Rysunek 2.135: Jednostkowe zużycie wody (na poziomie zakładu) (3/3)....329
Rysunek 2.136: Rozkład jednostkowego zużycia wody na poziomie procesu....330
Rysunek 2.137: Operacyjna wydajność materiałowa (1/5) - odlewnie żeliwa....333
Rysunek 2.138: Operacyjna wydajność materiałowa (2/5) - odlewnie stali....334
Rysunek 2.139: Operacyjna wydajność materiałowa (3/5) - Odlewnie ołowiu....335
Rysunek 2.140: Operacyjna wydajność materiałowa (4/5) - Odlewnie metali nieżelaznych (odlewanie inne niż HPDC)....336
Rysunek 2.141: Operacyjna wydajność materiałowa (5/5) - Odlewnie metali nieżelaznych (HPDC)....337
Rysunek 2.142: Współczynnik ponownego wykorzystania piasku....339
Rysunek 2.143: Żużel wysłany do unieszkodliwiania....345
Rysunek 2.144: Zgary wysłane do unieszkodliwiania....346
Rysunek 2.145: Pył z filtrów wysłany do unieszkodliwiania....347
Rysunek 2.146: Odpady wykładzin ogniotrwałych wysłane do unieszkodliwiania....348
Rysunek 2.147: Typowe straty energii w bezrdzeniowym piecu indukcyjnym o częstotliwości sieci elektrycznej..350
Rysunek 2.148: Zużycie energii (kWh/tonę) jako funkcja przetworzonego materiału i spadku temperatury dla kanałowych pieców indukcyjnych....351
Rysunek 2.149: Jednostkowe zużycie energii na topienie / topienie i utrzymywanie temperatury w odlewniach żeliwa stosujących żeliwiaki z zimnym dmuchem....352
Rysunek 2.150: Jednostkowe zużycie energii na topienie / topienie i utrzymywanie temperatury w odlewniach żeliwa stosujących żeliwiaki z gorącym dmuchem....352
Rysunek 2.151: Jednostkowe zużycie energii na topienie / topienie i utrzymywanie temperatury w odlewniach żeliwa stosujących piece indukcyjne (elektryczne bezrdzeniowe)....353
Rysunek 2.152: Jednostkowe zużycie energii na topienie / topienie i utrzymywanie w odlewniach żeliwa stosujących piece indukcyjne (wartość średnia - częstotliwość sieciowa)....353
Rysunek 2.153: Jednostkowe zużycie energii na topienie / topienie i utrzymywanie temperatury w odlewniach żeliwa stosujących piece obrotowe....353
Rysunek 2.154: Jednostkowe zużycie energii na podgrzewanie kadzi w odlewniach żeliwa....354
Rysunek 2.155: Jednostkowe zużycie energii na obróbkę cieplną w odlewniach żeliwa....354
Rysunek 2.156: Jednostkowe zużycie energii na topienie metali w odlewniach stali....354
Rysunek 2.157: Jednostkowe zużycie energii na podgrzewanie kadzi w odlewniach stali....355
Rysunek 2.158: Jednostkowe zużycie energii na obróbkę cieplną w odlewniach stali....355
Rysunek 2.159: Jednostkowe zużycie energii na topienie metalu w odlewniach aluminium....355
Rysunek 2.160: Jednostkowe zużycie energii na obróbkę cieplną w odlewniach aluminium....356
Rysunek 3.1: Ciągłe doskonalenie modelu EMS....360
Rysunek 3.2: Zasada sterowania piecami elektrycznymi....396
Rysunek 3.3: Szeregowe zmniejszanie obciążenia zgodnie z metodą obliczania trendu (L) i równoległe dedykowane sterowanie dla każdego pieca z jego własnym zarządzaniem obciążeniem (R)....397
Rysunek 3.5: Schemat wstępnego podgrzewania kadzi za pomocą palników porowatych....402
Rysunek 3.6: Wstępne podgrzewanie kadzi za pomocą palników porowatych....402
Rysunek 3.7: Sterowanie palnikiem dyfuzyjnym tlenowo-paliwowym....402
Rysunek 3.8: Palnik dyfuzyjny tlenowo-paliwowy z wodą chłodzącą, używany tutaj do ogrzewania podajnika podczas odlewania śruby napędowej statku z stopu brązu....403
Rysunek 3.9: Bilans cieplny dla suszenia mikrofalowego rdzeni w piecu o mocy 50 kW pracującym z wykorzystaniem 50 % wydajności....410

Rysunek 3.10: Schematyczne przedstawienie żeliwiaka z gorącym dmuchem z kotłem parowym, turbiną i generatorem....414
Rysunek 3.11: Schemat przepływu procesu w żeliwiaku z gorącym dmuchem i odzyskiem ciepła....415
Rysunek 3.12: Układy wydechowe czterech pieców połączonych z wymiennikami ciepła w celu przenoszenia ciepła gorących gazów z procesu topienia do obwodu grzewczego....416
Rysunek 3.13: Największy piec po opuszczeniu na podłogę....416
Rysunek 3.14: Schemat zastosowania odzysku ciepła poza zakładem z żeliwiaka z wykorzystaniem obwodu oleju termicznego....417
Rysunek 3.15: Wykorzystanie ciepła odpadowego do suszenia złomu....421
Rysunek 3.16: Schemat przepływu masy dla przetapiania beztopnikowego złomu magnezu klasy 1....425
Rysunek 3.17: Schemat przepływu masy dla przetapiania pod osłoną soli złomu magnezu klasy 1....425
Rysunek 3.18: Głowica rozpylająca z oddzielnymi dyszami do wody i środka antyadhezyjnego....432
Rysunek 3.20: Ekonomiczne porównanie procesu odlewania metodą traconej pianki z procesem odlewania grawitacyjnego w produkcji odlewów głowic cylindrów aluminiowych....445
Rysunek 3.21: Nowy zakład regeneracji zielonego piasku w odlewni aluminium (kluczowe komponenty na zielono)....449
Rysunek 3.22: Urządzenie do optycznego wykrywania i separacji zanieczyszczeń z zielonego piasku....450
Rysunek 3.23 Schemat procesowy urządzenia do optycznej detekcji i separacji zanieczyszczeń:....450
Rysunek 3.24: Instalacja przygotowania piasku do formowania z mieszalnikiem próżniowym-chłodnicą....452
Rysunek 3.25: Regeneracja mechaniczna na zimno z za pomocą ścierania....454
Rysunek 3.26: Dane eksploatacyjne dotyczące obiegu zamkniętego piasku w holenderskiej odlewni z zielonym piaskiem....455
Rysunek 3.27: Stałe koszty w euro na tonę piasku zregenerowanego, dla mechanicznego odzysku piasku z spoiwami wiążącymi na zimno....456
Rysunek 3.28: Regeneracja mechaniczna na zimno za pomocą systemu pneumatycznego....459
Rysunek 3.29: Stałe koszty w euro na tonę zregenerowanego piasku w procesie regeneracji termicznej i wysokopoziomowej regeneracji mechanicznej piasków mieszanych....463
Rysunek 3.30: Mechaniczno-termiczna jednostka odzysku piasku....464
Rysunek 3.31: Schemat układu: 1: oddzielanie odlewów i piasku; 2: wyżarzanie; 3: odzysk piasku....468
Rysunek 3.32: Obrotowa mechaniczna jednostka odzysku....473
Rysunek 3.33: Dystrybucja cynku dla wtrysku poprzez dyszę (przewód dyszowy, *tuyère*), w okresie 20 dni....485
Rysunek 3.34: Dystrybucja cynku dla recyrkulacji poprzez załadunek, w okresie 11 dni....486
Rysunek 3.36: Elementy strukturalne fenolowej (aromatycznej) żywicy organicznej w porównaniu z żywicą alifatyczną organiczną....511
Rysunek 3.37: Porównanie wytrzymałości na zginanie alifatycznego spoiwa organicznego, spoiwa fenolowego (aromatycznego) i spoiwa furanowego (aromatycznego) z piaskiem kwarcowym....512
Rysunek 3.38: Wytrzymałość na zginanie alifatycznego spoiwa organicznego z chromitem....512
Rysunek 3.39: Odlew żelaza – porównanie żyłkowania....513
Rysunek 3.41: Rozkład poszczególnych rodzajów związków wykrytych po pirolizie....514
Rysunek 3.42: Wskaźnik fenolu w materiale rdzenia....515
Rysunek 3.43: Ograniczenie emisji organicznych przy użyciu spoiw nieorganicznych w procesie odlewania ciśnieniowego aluminium....517
Rysunek 3.45: Bilans cieplny suszarki do suszenia rdzeni, pracującej przy 72% wydajności....520
Rysunek 3.46: Nowe spoiwo zmniejszające emisję związków siarki (odorów i zanieczyszczeń) w odlewni stali..524
Rysunek 3.47: Nowe nieorganiczne systemy wiążące stosowane w odlewni aluminium - wpływ na emisję odorów w porównaniu z konwencjonalnymi organicznymi metodami zimnej rdzennicy....526
Rysunek 3.48: Nowe nieorganiczne systemy wiążące stosowane w odlewni aluminium - wpływ na emisję odorów w porównaniu z konwencjonalnymi organicznymi metodami zimnej rdzennicy....526

Rysunek 3.49: Nowe nieorganiczne systemy wiążące stosowane w odlewni aluminium - wpływ na emisję odorów w porównaniu z konwencjonalnymi organicznymi metodami zimnej rdzennicy 527
Rysunek 3.50: Nowy system spoiwa dla redukcji odoru i BTX w odlewni żelaza - część A.....527
Rysunek 3.51: Porównanie zależności siły wiązania w funkcji czasu 530
Rysunek 3.52: Porównanie profili emisji dla spoiwa zmierzonych metodą pirolizy-GC/MS w temperaturze 900 °C 531
Rysunek 3.53: Ograniczenie emisji dla BTEX, fenoli i wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) w oparciu o poprzedni rysunek 531
Rysunek 3.54: Zależność między emisją CO_2, zużyciem energii na tonę całkowitych LZO w zależności od ich stężenia w gazach nieoczyszczonych.....537
Rysunek 3.55: Przykładowy schemat procesu i przepływy objętościowe.....539
Rysunek 3.56: Pokrywa typu „doghouse" dla rusztu wytrząsającego, dla odlewów wielkogabarytowych 540
Rysunek 3.57: Filtry workowe; widok od wewnątrz (L) i z zewnątrz (C, R).....552
Rysunek 3.58: Różne metody wtrysku tlenu.....571
Rysunek 3.60: Żeliwiak z gorącym dmuchem *z rekuperatorem* i *płuczką gazową mokrą*.....579
Rysunek 3.61: Żeliwiak z gorącym dmuchem z rekuperatorem i filtrem workowym 579
Rysunek 3.62: Zasada dopalania i chłodzenia gazów wylotowych w żeliwiakach z zimnym dmuchem.....580
Rysunek 3.63: Arkusz przepływu dla żeliwiaka z zimnym dmuchem, odzyskiem ciepła, chłodzeniem i filtrem workowym 590
Rysunek 3.64: Warunki operacyjne odpylania na mokro i sucho gazów wylotowych dla żeliwiaka z gorącym dmuchem.....591
Rysunek 3.65: Wtryskiwanie adsorbentów.....598
Rysunek 3.66: Widok instalacji do wtrysku adsorbentu 598
Rysunek 3.67: Zasada działania (a) okapu dachowego, (b) okapu z bocznym odciągiem (bocznego) i (c) bezpośredniego odsysania przez tzw. czwarty otwór.....604
Rysunek 3.68: Młot z zamkniętą matrycą (3,5 tony) na izolatorach sprężynowych.....625
Rysunek 3.69: Przykłady systemów amortyzatorów sprężynowych dla młotów kuźniczych 625
Rysunek 3.70: Fundament pod 6-tonowy młot w zakładzie DE002.....626

Tabela 1.1: Wielkość produkcji odkuwek w 2021 r. i prognoza na 2022 r. - Świat i Europa (kraje zrzeszone w EUROFORGE)..... 3
Tabela 1.2: Europejskie badanie wielkości produkcji odkuwek w 2021 r. oraz prognoza na rok 2022 4
Tabela 1.4: Zgłoszona energia młota oraz całkowita moc cieplna zakładów uczestniczących w zbieraniu danych 39
Tabela 1.5: Zgłoszone dane dotyczące całkowitej mocy cieplnej wszystkich pieców dla zakładów uczestniczących w zbieraniu danych 40
Tabela 1.6: Zgłoszone dane jako suma mocy cieplnej wszystkich pieców w zakładach, które uczestniczyły w gromadzeniu danych.....40
Tabela 1.7: Dane dotyczące emisji hałasu przed i po zainstalowaniu tłumików hałasu (zakład DE004).....41
Tabela 1.8: Poziomy hałasu w nocy zgłoszone przez hiszpański zakład 41
Tabela 1.9: Poziomy hałasu w ciągu dnia zgłoszone przez hiszpański zakład (ES008).....42
Tabela 1.10: Zgłoszone przez zakłady techniki ograniczania emisji rozproszonych (zakłady IED oraz inne niż IED).....51
Tabela 2.1: Dane dotyczące europejskiej produkcji odlewów żelaznych, tj. odlewów żeliwnych, stalowych i z żeliwa ciągliwego (w kilotonach).....54
Tabela 2.2: Dane dotyczące europejskiej produkcji odlewów z metali nieżelaznych (w kilotonach).....55
Tabela 2.3: Liczba odlewni (jednostek produkcyjnych) zajmujących się odlewaniem z żelaza, stali i żeliwa ciągliwego.....55
Tabela 2.4: Liczba odlewni (jednostek produkcyjnych) zajmujących się odlewaniem z metali nieżelaznych 56
Tabela 2.5: Zatrudnienie w odlewniach żeliwa, stali i żeliwa ciągliwego.....56
Tabela 2.6: Zatrudnienie w odlewniach metali nieżelaznych 57
Tabela 2.7: Typowe rodzaje odlewni - klasyfikacja klastrowa.....61
Tabela 2.9: Względne udziały stosowanych technik odlewania dla Al.....73
Tabela 2.10: Najpopularniejsze stopy cynku, zawartość w %.....75
Tabela 2.11: Opis technik szybkiego prototypowania 78
Tabela 2.12: Potencjalne zanieczyszczenie gleby żelaznymi surowcami odlewniczymi 80
2.2.4.2.2 Topienie i rafinacja z użyciem EAF z wykładziną kwasową 88
Tabela 2.15: Metody formowania stosowane w różnych typach odlewni.....104
Tabela 2.16: Przegląd różnych rodzajów żywic oraz ich zastosowania 108
Tabela 2.17: Udział piasków niewypalanych (osadzanych powietrzem) w niemieckich odlewniach metali żelaznych i nieżelaznych w 2012 r. 109
Tabela 2.18: Udział piasków rdzeniowych w produkcji seryjnej w niemieckich odlewniach metali żelaznych i nieżelaznych w 2012 r. 109
Tabela 2.19: Skład piasku naturalnego 113
Tabela 2.20: Skład mieszanki dodatków do przygotowania zielonego piasku (bez wody).....113
Tabela 2.21: Obszary zastosowania różnych systemów regeneracji dla monopiasków 142
Tabela 2.22: Obszary zastosowania różnych systemów regeneracji dla piasków zmieszanych 143
Tabela 2.23: Zastosowanie różnych technik regeneracji piasku do różnych rodzajów piasku 143
Figura 2.58 Wykres bilansu piasku dla termiczno-mechanicznego systemu regeneracji 144
Tabela 2.24: Kompatybilność zregenerowanych piasków źródłowych z różnymi spoiwami.....144
Tabela 2.25: Typowe właściwości pieców topielnych stosowanych w odlewniach żelaz, właściwości i dane dotyczące emisji 148
Tabela 2.26: Typowe właściwości pieców topielnych do topienia aluminium.....149
Tabela 2.27: Średnie zużycie energii na oczyszczanie gazów wylotowych oraz podtrzymywanie 150
Tabela 2.28: Typowe właściwości bentonitu zmierzone na 105 próbkach piasku pochodzących ze 105 odlewni żelaza 152
Tabela 2.29: Poziomy zużycia różnych rodzajów żywic, katalizatorów, utwardzaczy i dodatków stosowanych do przygotowania piasku związanego chemicznie 153

Tabela 2.30: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji pyłu 154
Tabela 2.31: Typowy skład pyłu z żeliwiaka (jako procent masy) 155
Tabela 2.32: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji PCDD/F 156
Tabela 2.33: Zakres emisji dioksyn dla żeliwiaków 156
Tabela 2.34: Zakres emisji dioksyn dla pieców obrotowych 156
Tabela 2.35: Zakres emisji dioksyn dla pieców łukowych 156
Tabela 2.36: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji NO_X 157
Tabela 2.37: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji CO 157
Tabela 2.38: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji SO_2 158
Tabela 2.39: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji całkowitych LZO 158
Tabela 2.40: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji HCl 158
Tabela 2.41: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji HF 159
Tabela 2.42: Dane dotyczące emisji pyłu dla obróbki cieplnej 204
Tabela 2.43: Dane dotyczące emisji NO_X dla obróbki cieplnej 206
Tabela 2.44: Dane dotyczące emisji CO dla obróbki cieplnej 208
Tabela 2.45: Porównanie różnych procedur sferoidyzacji 209
Tabela 2.46: Lista zakładów, które zgłosiły stosowanie sferoidyzacji (sklasyfikowane według zastosowanej techniki) 209
Tabela 2.47: Poziomy zużycia dla obróbki AOD stali 212
Tabela 2.48: Skład żużlu w AOD 212
Tabela 2.49: Zgłoszone emisje pyłu z konwertora AOD 213
Tabela 2.50: Zgłoszone emisje pyłu z VODC 213
Tabela 2.51: Wpływ systemów wiążących (spoiw) na środowisko naturalne 214
Tabela 2.52: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji pyłu 216
Tabela 2.53: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji amin 216
Tabela 2.54: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji formaldehydu 216
Tabela 2.55: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji benzenu 217
Tabela 2.56: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji fenolu 217
Tabela 2.57: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji TVOC 217
Tabela 2.58: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji pyłu oraz całkowitych LZO 259
Tabela 2.59: Wpływ systemów wiążących na środowisko podczas zalewania, wytrząsania i chłodzenia 260
Tabela 2.60: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji pyłu 261
Tabela 2.61: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji amin 261
Tabela 2.62: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji benzenu 262
Tabela 2.63: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji formaldehydu 262
Tabela 2.64: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji fenolu 262
Tabela 2.65: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji Cr 263
Tabela 2.66: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji Pb 263
Tabela 2.67: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji całkowitych LZO 263
Tabela 2.68: Dane dotyczące emisji z kominów dla odlewni aluminium stosujących metodę traconej pianki oraz bentonit 282
Tabela 2.69: Dane dotyczące emisji z odlewni żeliwa i aluminium stosujących proces odlewania metodą traconej pianki 282
Tabela 2.70: Dane bilansu masowego, w tym dane materiałów wejściowych (wsadu), skład gazów wylotowych i zanieczyszczenia dla trzech odlewni ciśnieniowych aluminium 284
Tabela 2.71: 71: Orientacyjne wskaźniki emisji dla odlewów z brązu, mosiądzu i zamaku 285
Tabela 2.72: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji pyłu 285

Tabela 2.73: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji całkowitych LZO 286
Tabela 2.74: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji Pb 286
Tabela 2.75: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji pyłu 293
Tabela 2.76: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji całkowitych LZO 293
Tabela 2.77: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji Pb 293
Tabela 2.78: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji Ni 294
Tabela 2.79: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji Cd 294
Tabela 2.80: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji Cr 294
Tabela 2.81: Ocena statystyczna zgłoszonych danych dotyczących emisji pyłu 299
Tabela 2.82: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji benzenu 299
Tabela 2.83 Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji formaldehydu 299
Tabela 2.84: Ocena statystyczna zgłoszonych danych dotyczących emisji NO_X 300
Tabela 2.85: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji SO_2 300
Tabela 2.87: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji dla zrzutu bezpośredniego 306
Tabela 2.88: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji dla zrzutu pośredniego 307
Tabela 2.89: Liczba zakładów które zgłosiły poziomy jednostkowego zużycia wody dla określonych procesów odlewniczych 324
Tabela 2.90: Możliwe zanieczyszczenia dla określonych rodzajów złomu 324
Tabela 2.92: Parametry statystyczne dotyczące zgłoszonych wartości OWM dla poszczególnych odlewni 332
Tabela 2.93: Typowy skład żużla z żeliwiaka 340
Tabela 2.94: Chemiczny skład żużla z pieca łukowego (EAF) 340
Tabela 2.95: Typowy skład żużla z pieca indukcyjnego 340
Tabela 2.96: Skład żużla z konwertora AOD 341
Tabela 2.97: Zgłoszone dane dotyczące ponownego wykorzystania zużytego piasku (w kg/t ciekłego metalu) 341
Tabela 2.98: Zgłoszone dane dotyczące recyklingu zużytego piasku (w kg/t ciekłego metalu) 342
Tabela 2.99: Zgłoszone dane dotyczące odzysku zużytego piasku (w kg/t ciekłego metalu) 343
Tabela 2.100: Zgłoszone dane dotyczące unieszkodliwiania zużytego piasku (w kg/t ciekłego metalu) 343
Tabela 2.101: Średnie zużycie energii w różnych typach odlewni 349
Tabela 2.102: Średnie zużycie energii w różnych typach odlewni 349
Tabela 3.1: Informacje dotyczące każdej techniki 357
Tabela 3.2: Problemy wynikające z nieprawidłowego przechowywania ciekłych chemikaliów wiążących 368
Tabela 3.3: Liczba pieców według typu pieca i rodzaju odlewni w odlewniach działających w Niemczech (2019) 377
Tabela 3.4: Przykładowe zakłady wykorzystujące piece elektryczne 380
Tabela 3.5: Typowe zużycie energii elektrycznej w odlewni metali nieżelaznych i odlewni stali stosującej piec łukowy 390
Tabela 3.6: Oszczędności osiągnięte dzięki zarządzaniu obciążeniem szczytowym, w kilku odlewniach 397
Tabela 3.7: Dane eksploatacyjne dla wstępnego podgrzewania kadzi za pomocą palników porowatych 404
Tabela 3.8: Wyniki badań w kampanii badawczej dotyczącej suszenia rdzeni za pomocą pieców z gorącym powietrzem i mikrofalowych 410
Tabela 3.9: Podstawowa charakterystyka nowego systemu odzysku ciepła odpadowego 415
Tabela 3.10: Porównanie danych dotyczących energii przed i po przebudowie rekuperatora 417
Tabela 3.11: Materiały wejściowe oraz produkty wyjściowe dla zakładu przetwarzania złomu magnezu 424
Tabela 3.12: Analiza statystyczna danych zgłoszonych dla OWM (wyrażona w %) 428
Tabela 3.13: Typowe uzyski metalu dla różnych rodzajów odlewów żeliwa 429
Tabela 3.14: Zmienne procesowe i ich znaczenie dla oceny pracy mieszalnika 435
Tabela 3.15: Roczne oszczędności, koszty i okres zwrotu inwestycji dla przykładowego sterowania mieszalnikiem w zakładzie (ceny z 1995 r.) 436

Tabela 3.16: Dane operacyjne dla produkcji podobnej żeliwnej osłony sprężarki, przy użyciu różnych metod ..444
Tabela 3.17: Dane ekonomiczne dla odlewni aluminium stosującej metodę traconej pianki ..444
Tabela 3.18: Względna redukcja masy dla zaworów odlewanych w skorupach ceramicznych w porównaniu do zaworów odlewanych w formach piaskowych ..446
Tabela 3.19: Korzyści kosztowe z odzysku pierwotnego ..448
Tabela 3.20: Potencjał redukcji przy użyciu regeneracji zielonego piasku o niskiej zawartości odpadów ..451
Tabela 3.21: Dane operacyjne (przy pełnym wykorzystaniu mocy produkcyjnej dla przykładowego zakładu) ..451
Tabela 3.22: Ekonomiczne aspekty przygotowania zielonego piasku ..451
Tabela 3.23: Dane operacyjne z 3 niemieckich odlewni referencyjnych stosujących odzysk termiczny piasku ..461
Tabela 3.24: Dane operacyjne systemu oczyszczania mechaniczno-termiczno-mechanicznego (pneumatyczne - złoże fluidalne - pneumatyczne) ..464
Tabela 3.25: Poziomy emisji skorygowane do 12 % O_2 zmierzone przy zastosowaniu połączonej techniki odzysku piasku i obróbki cieplnej ..469
Tabela 3.26: Dane operacyjne dotyczące instalacji do odzysku piasku związanego krzemianem ..473
Tabela 3.27: Niezbędna obróbka oraz ewentualne ograniczenia dotyczące zewnętrznego ponownego wykorzystania odpadów stałych ..479
Tabela 3.28: Podsumowanie zewnętrznych zastosowań recyklingu stałych odpadów z odlewni (stan na 1999 r.) ..479
Tabela 3.29: Właściwości technik wtrysku stosowanych do recyrkulacji pyłu z żeliwiaka ..483
Tabela 3.30: Najczęściej stosowane techniki zbierania oparów z wanien hartujących ..491
Tabela 3.31: Dane operacyjne dla hartowania ..492
Tabela 3.32: Wybór urządzeń do topienia żeliwa ..497
Tabela 3.33: Przykładowe dane dotyczące kosztów wymiany istniejącego żeliwiaka na piec obrotowy lub indukcyjny ..498
Tabela 3.34: Standardowe właściwości zielonego piasku stosowanego w odlewniach żelaza w zależności od sposobu tworzenia form ..503
Tabela 3.35: Dane dotyczące emisji dla systemu zimnych rdzennic w odlewni aluminium, zmierzone na ruszcie wytrząsającym i w kominie powietrza wylotowego ..507
Tabela 3.36: Emisje (%) wybranych związków z systemu zimnych rdzennic na bazie roślinnej ..507
Rysunek 3.35: Emisja węgla całkowitego z różnych etapów procesu przy użyciu rozpuszczalników aromatycznych i roślinnych ..508
Tabela 3.37: Analiza wybranych związków podczas tworzenia formy oraz odlewania ..515
Rysunek 3.44: Przedstawienie aspektów ekonomicznych ..518
Tabela 3.38: Dane operacyjne dla nowej suszarni ..521
Tabela 3.39: Wydatki na piece suszące ..522
Tabela 3.40: Dane operacyjne dla biofiltracji gazów wylotowych z produkcji rdzeni metodą zimnej rdzennicy ..543
Tabela 3.41: Dane dotyczące emisji dla biofiltracji spalin z zalewania z użyciem zielonego piasku oraz z linii chłodzenia ..543
Tabela 3.42: Dane operacyjne dotyczące dopalania ..546
Tabela 3.43: Dane dotyczące emisji oczyszczonego za pomocą elektrofiltru gazu wylotowego w procesie odlewania wysokociśnieniowego ..551
Tabela 3.44: Stosowanie technik wychwytywania pyłu w różnych operacjach wykańczania ..555
Tabela 3.45: Dane dotyczące emisji dla rdzeniarni stosującej zimne rdzennice i wykorzystującej płuczkę kwaśną ..562
Tabela 3.46: Specyfikacja i koszt inwestycyjny płuczki aminowej na podstawie danych o spalinach dla portugalskiej rdzeniarni stosującej metodę zimnej rdzennicy, 2003 r. ..563
Tabela 3.47: Wymagania dotyczące wysokości szybu ..570
Tabela 3.48: Przykładowe dane dotyczące zmiany poziomu zużycia koksu przy wzroście wysokości szybu ..570
Tabela 3.49: Dane operacyjne dla żeliwiaka kampanijnego z zimnym dmuchem ..575

Tabela 3.50: Aspekty ekonomiczne dla żeliwiaka kampanijnego z zimnym dmuchem 576
Tabela 3,51: Wpływ palników tlenowo-gazowych na skład gazu spalinowego dla żeliwiaka z gorącym dmuchem; wartości w %....577
Tabela 3.52: Koszty operacyjne dla żeliwiaka z i bez palników tlenowo-gazowych....577
Tabela 3.53: Zgłoszone stężenia CO i całkowitych LZO dla dopalania w żeliwiakach....581
Tabela 3.54: Dane operacyjne żeliwiaków z gorącym dmuchem wykorzystujących filtr workowy i dezintegrator do wychwytywania pyłu 581
Tabela 3.55: Zużycie energii przez żeliwiaki z gorącym dmuchem 582
Tabela 3.56: Wydajność środowiskowa i dane operacyjne dwóch przykładowych konfiguracji wykorzystujących dopalanie z chłodzeniem wodnym (I) i chłodzeniem powietrzem (J)....583
Tabela 3.57: Wyniki analiz i obowiązujące (francuskie) przepisy dotyczące dopalania w żeliwiaku z zimnym dmuchem z chłodzeniem wodnym (I) i chłodzeniem powietrzem (J) gazów spalinowych....583
Tabela 3.58: Dane dotyczące energii i temperatury topienia w piecu łukowym z użyciem zwykłego żużla i żużla spienionego 585
Tabela 3.59: Typowe właściwości koksów odlewniczych 586
Tabela 3.60: Dane operacyjne dla żeliwiaków z filtrem workowym do odpylania 592
Tabela 3.61: Dane dotyczące emisji dla odlewni żeliwa wykorzystującej topienie indukcyjne i centralny system odciągowy z filtrem workowym....594
Tabela 3.63: Koszt inwestycyjny i zużycie energii dla jednostki filtra workowego w piecach indukcyjnych, przy różnych poziomach końcowej emisji pyłu 595
Tabela 3.64: Pomiar emisji PCDD/F i pyłu po przejściu przez wymiennik ciepła oraz w kominie w przypadku wtrysku węgla aktywnego do żeliwiaka....599
Tabela 3.65: Obliczenie kosztów dla ograniczania ilości oparów z MgO....602
Tabela 3.66: Typowe natężenia przepływu spalin (w m3/s) oraz skuteczność usuwania cząstek stałych z spalin w systemach wychwytywania spalin z pieców łukowych (EAF) 605
Tabela 3.67: Koszty inwestycyjne dla stacji wirnika....613
Tabela 4.1: Poziomy efektywności środowiskowej powiązane z BAT (BAT-AEPL) w odniesieniu do jednostkowego zużycia energii w odlewniach żeliwa....669
Tabela 4.2: Poziomy efektywności środowiskowej powiązane z BAT (BAT-AEPL) w odniesieniu do jednostkowego zużycia energii w odlewniach stali 669
Tabela 4.3: Poziomy efektywności środowiskowej powiązane z BAT (BAT-AEPL) w odniesieniu do jednostkowego zużycia energii w odlewniach aluminium 669
Tabela 4.4: Wskaźnikowe poziomy operacyjnej efektywności wykorzystania materiałów 670
Tabela 4.5: Poziomy efektywności środowiskowej powiązane z BAT (BAT-AEPL) w odniesieniu do ponownego wykorzystania masy 673
Tabela 4.6: Poziomy efektywności środowiskowej powiązane z BAT (BAT-AEPL) w odniesieniu do odpadów przesyłanych do unieszkodliwienia 675
Tabela 4.7: Poziomy emisji powiązane z najlepszymi dostępnymi technikami (BAT-AEL) w odniesieniu do emisji zorganizowanych do powietrza pyłu i NO_X oraz wskaźnikowy poziom emisji w odniesieniu do zorganizowanych emisji do powietrza CO z obróbki termicznej 679
Tabela 4.8: Poziomy emisji powiązane z BAT (BAT-AEL) w odniesieniu do emisji zorganizowanych do powietrza pyłu, amin, benzenu, formaldehydu, fenolu i całkowitych LZO pochodzących z wykonywania form przy użyciu pełnych form i wykonywania rdzeni 683
Tabela 4.9: Poziomy emisji powiązane z BAT (BAT-AEL) w odniesieniu do emisji zorganizowanych do powietrza pyłu, benzenu, formaldehydu, fenolu oraz całkowitych LZO pochodzących z procesów odlewania, chłodzenia i wybijania w odlewniach stosujących pełne formy, w tym proces odlewania metodą pełnej formy....685
Tabela 4.10: Poziomy emisji powiązane z BAT (BAT-AEL) w odniesieniu do emisji zorganizowanych do powietrza pyłu i całkowitych LZO pochodzących z odlewania metodą pełnej formy....686

Tabela 4.11: Poziomy emisji powiązane z BAT (BAT-AEL) w odniesieniu do emisji zorganizowanych do powietrza pyłu, całkowitych LZO i ołowiu pochodzących z procesów odlewania w odlewniach stosujących formy trwałe 688
Tabela 4.12: Poziomy emisji powiązane z najlepszymi dostępnymi technikami (BAT-AEL) w odniesieniu do emisji zorganizowanych do powietrza pyłu pochodzących z wykańczania 688
Tabela 4.13: Poziomy emisji powiązane z najlepszymi dostępnymi technikami (BAT-AEL) w odniesieniu do emisji zorganizowanych do powietrza pyłu i całkowitych LZO pochodzących z ponownego wykorzystania masy..... 689
Tabela 4.14: Poziomy emisji powiązane z najlepszymi dostępnymi technikami (BAT-AEL) w odniesieniu do emisji zorganizowanych do powietrza NO_X i SO_2 z ponownego wykorzystania masy..... 690
Tabela 4.15: Poziomy efektywności środowiskowej powiązane z BAT (BAT-AEPL) w odniesieniu do jednostkowego zużycia wody..... 692
Tabela 4.16: Poziomy emisji powiązane z BAT (BAT-AEL) w odniesieniu do bezpośrednich zrzutów 693
Tabela 4.17: Poziomy emisji powiązane z BAT (BAT-AEL) w odniesieniu do zrzutów pośrednich 693
Tabela 4.18: Poziomy emisji powiązane z najlepszymi dostępnymi technikami (BAT-AEL) w odniesieniu do emisji zorganizowanych do powietrza pyłu, HCl, HF, NO_X, PCDD/F, SO_2, całkowitych LZO i ołowiu oraz wskaźnikowy poziom emisji w odniesieniu do zorganizowanych emisji do powietrza CO z topienia metali 696
Tabela 4.19: Poziomy emisji powiązane z najlepszymi dostępnymi technikami (BAT-AEL) w odniesieniu do emisji zorganizowanych do powietrza pyłu ze sferoidyzacji żeliwa..... 697
Tabela 4.20: Poziomy emisji powiązane z najlepszymi dostępnymi technikami (BAT-AEL) w odniesieniu do emisji zorganizowanych do powietrza pyłu i PCDD/F 698
Tabela 4.21: Poziom emisji powiązany z najlepszymi dostępnymi technikami (BAT-AEL) w odniesieniu do emisji zorganizowanych do powietrza pyłu z rafinacji stali..... 698
Tabela 4.22: Poziomy emisji powiązane z najlepszymi dostępnymi technikami (BAT-AEL) w odniesieniu do emisji zorganizowanych do powietrza pyłu, HCl, HF, NO_X, PCDD/F, SO_2 i Pb oraz wskaźnikowy poziom emisji w odniesieniu do zorganizowanych emisji do powietrza CO z topienia metali 699
Tabela 4.23: Wskaźnikowy poziom jednostkowego zużycia energii na poziomie zakładu 701
Tabela 4.24: Poziomy emisji powiązane z najlepszymi dostępnymi technikami (BAT-AEL) w odniesieniu do emisji zorganizowanych do powietrza NO_X oraz wskaźnikowy poziom emisji w odniesieniu do emisji zorganizowanych do powietrza CO..... 704
Tabela 6.1: Najważniejsze etapy procesu przeglądu SF BREF 724
Tabela 6.2: Podsumowanie wyrażonych opinii 724

ZAKRES

Dokument BREF dla kuźni i odlewni dotyczy następujących rodzajów działalności określonych w załączniku i do Dyrektywy 2010/75/UE:

2.3. Przetwarzanie metali żelaznych:
(b) eksploatacja kuźni z młotami o energii przekraczającej 50 kilodżuli na młot, gdzie stosowana energia cieplna przekracza 20 MW.

2.4. Eksploatacja odlewni metali żelaznych o zdolności produkcyjnej przekraczającej 20 ton dziennie.

2.5. Przetwarzanie metali nieżelaznych:
(b) topienie, w tym stopów, metali nieżelaznych, w tym produktów z odzysku, oraz eksploatacja odlewni metali nieżelaznych o wydajności topienia przekraczającej 4 tony dziennie w przypadku ołowiu i kadmu lub 20 ton dziennie w przypadku wszystkich pozostałych metali.

6.11 Samodzielnie prowadzone oczyszczanie ścieków nieobjęte Dyrektywą 91/271/EWG1„ pod warunkiem, że główny ładunek zanieczyszczeń pochodzi z działalności objętej niniejszymi konkluzjami dotyczącymi BAT.

Dokument ten obejmuje również następujące zagadnienia:

- Odlewnie metali żelaznych wykorzystujące procesy odlewania ciągłego do produkcji odlewów z żeliwa szarego lub sferoidalnego w kształcie końcowym lub zbliżonym do niego.
- Odlewnie metali nieżelaznych wykorzystujące wlewki stopowe, złom, produkty z odzysku lub ciekły metal do produkcji odlewów o kształcie końcowym lub zbliżonym do niego.
- Łączne oczyszczanie ścieków różnego pochodzenia, pod warunkiem, że główny ładunek zanieczyszczeń pochodzi z działalności objętej niniejszymi konkluzjami dotyczącymi BAT i że oczyszczanie ścieków nie jest objęte zakresem Dyrektywy 91/271/EWG[1].
- Powlekanie form i rdzeni w odlewniach metali żelaznych i nieżelaznych.
- Przechowywanie, przenoszenie i obsługa materiałów, w tym przechowywanie i obsługa złomu i piasku w odlewniach.
- Procesy spalania bezpośrednio związane z działaniami objętymi niniejszymi konkluzjami dotyczącymi BAT, pod warunkiem że gazowe produkty spalania wchodzą w bezpośredni kontakt z materiałem (takie jak bezpośrednie ogrzewanie wsadu (surowca wsadowego) lub bezpośrednie suszenie wsadu).

Niniejszy dokument nie obejmuje natomiast następujących kwestii:

- Odlewanie ciągłe żelaza i/lub stali (np. w celu produkcji cienkich płyt, cienkich taśm i arkuszy). Jest to objęte konkluzjami dotyczącymi BAT dla produkcji żelaza i stali (IS).
- Produkcja półproduktów z metali nieżelaznych wymagających dalszego formowania. Jest to objęte konkluzjami dotyczącymi BAT dla przemysłu metali nieżelaznych (NFM).
- Powlekanie odlewów. Może to być objęte konkluzjami dotyczącymi BAT dla obróbki powierzchni z wykorzystaniem rozpuszczalników organicznych, w tym konserwacji drewna i wyrobów drewnianych środkami chemicznymi
- Prasy kuźnicze.
- Ścieki z systemów chłodzenia pośredniego. Może to być objęte konkluzjami dotyczącymi BAT dla przemysłowych systemów chłodzenia (ICS).
- Walcownie. Jest to objęte konkluzjami BAT dla przemysłu przetwórstwa stali i stopów żelaza (FMP).

Obiekty energetycznego spalania na terenie zakładu wytwarzające gorące gazy, które nie są wykorzystywane do bezpośredniego ogrzewania, suszenia lub jakiejkolwiek innej obróbki przedmiotów lub materiałów. Mogą one być objęte konkluzjami BAT dla dużych obiektów energetycznego spalania (LCP) lub Dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2015/2193.2[2].

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

[1] Dyrektywa Rady 91/271/EWG z dnia 21 maja 1991 r. dotycząca oczyszczania ścieków komunalnych (Dz.U. L 135 z 30.05.1991, s. 40).

[2] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2015/2193 z dnia 25 listopada 2015 r. w sprawie ograniczenia emisji niektórych zanieczyszczeń do powietrza ze średnich obiektów energetycznego spalania (Dz.U. L 313 z 28.11.2015, s. 1).

to:

- Powierzchniowa obróbka metalu i materiałów z tworzyw sztucznych (STM);
- Przetwarzanie odpadów (WT);
- Monitorowanie emisji do powietrza i wody z instalacji IED (ROM);
- Ekonomika i oddziaływanie na procesy i środowisko (ECM);
- Emisje z magazynowania (EFS);
- Efektywność energetyczna (ENE).

1 KUŹNIE

Niniejszy rozdział podsumowuje wyniki wymiany informacji na temat działań objętych działaniem 2.3 (b) Załącznika i do Dyrektywy IED (tj. „2.3 Instalacje do przetwarzania metali żelaznych: (b) kuźnie z młotami o energii przekraczającej 50 kilodżuli na młot, gdzie stosowana moc cieplna przekracza 20 MW").

Rozdział dotyczący kuźni nie skupia się na wykorzystaniu pras lub walcarek. Informacje na temat procesu walcowania można znaleźć w dokumencie BREF FMP. [168. COM 2022].

1.1 Informacje ogólne

Kucie to proces, w którym przygotowane metalowe elementy są podgrzewane, a następnie przekształcane w części składowe za pomocą młotów lub pras. Metal jest prasowany, wbijany lub ściskany pod dużym ciśnieniem w części o wysokiej wytrzymałości.

Należy pamiętać, że w procesie kucia metal używany do produkcji części kutych nigdy nie jest topiony i wylewany (jak w procesie odlewania). Proces kucia całkowicie różni się od procesu odlewania (lub odlewni) (zob. Sekcja 2.2). Co więcej, proces kucia może tworzyć części, które są mocniejsze niż te wytwarzane w jakimkolwiek innym procesie obróbki metalu. [156. FIA 2021].

Odkuwki żelazne są produkowane przy użyciu następujących głównych procesów produkcyjnych:

- Proces kucia w matrycy zamkniętej: Kucie w matrycy zamkniętej wykorzystuje ciśnienie do ściskania przedmiotu obrabianego w zamkniętej matrycy. Kucie w matrycy zamkniętej jest głównym procesem produkcji małych odkuwek stalowych.
- Proces kucia w matrycy otwartej: Najczęściej bryły metalu są odkształcane za pomocą młotów lub pras dostarczających kolejne uderzenia lub operacje prasowania z bardzo dużymi siłami ściskającymi. Zwykle kęsy metalowe (półwyroby metalowe) są odkształcane za pomocą młotów lub pras dostarczających kolejnych uderzeń lub operacji prasowania z bardzo dużymi siłami ściskającymi. Proces ten jest wykorzystywany głównie do produkcji dużych odkuwek stalowych.

W odniesieniu do temperatury kucia stosuje się następującą klasyfikację:

- Proces kucia na gorąco: Kucie na gorąco odbywa się w temperaturach od około 950 °C do 1 300 °C, tj. w temperaturze, w której zachodzą procesy odzyskiwania i rekrystalizacji podczas i po transformacji.
- Proces kucia na ciepło: Kucie na ciepło odbywa się w zakresie temperatur od około 600 °C do 950 °C.
- Proces kucia na zimno: Kucie na zimno odbywa się w temperaturze pokojowej. Obrabiany przedmiot jest umieszczany między dwiema matrycami i dociskany pod wysokim ciśnieniem, aż przyjmie kształt matrycy.

Wybór stosowanej techniki produkcji zależy od różnych kryteriów: kształtu, rozmiaru, wagi, wielkości partii, materiału, efektywności kosztowej, czasu realizacji itp.[137. Herbertz i in., 2013].
W niniejszym dokumencie uwzględniono wyłącznie instalacje kuźnicze wykorzystujące młoty, zarówno do kucia w matrycy zamkniętej, jak i otwartej, ponieważ instalacje te są objęte załącznikiem i do dyrektywy IED (Działanie 2.3). Takie instalacje są w niniejszym dokumencie określane jako kuźnie.

W Europie istnieje większa liczba instalacji kuźniczych, które wykorzystują prasę kuźniczą zamiast młotów kuźniczych. Takie instalacje są zwykle określane jako prasy kuźnicze; jednak nie są one obecnie objęte Dyrektywą IED i dlatego nie zostały szczegółowo opisane w tym dokumencie. Niniejszy dokument nie obejmuje również walcowania na gorąco (w szczególności walcowania pierścieniem), które zostały uwzględnione w dokumencie BREF dotyczącym przemysłu przetwórstwa stali i stopów żelaza.

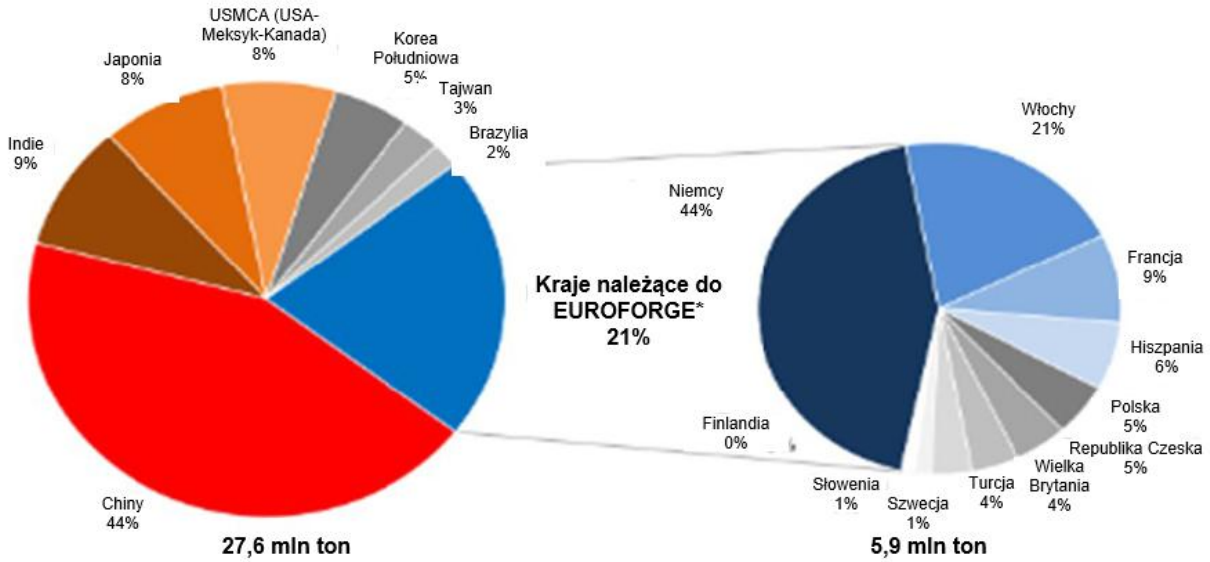
1.1.1 Przegląd sektora

1.1.1.1 Wielkość sektora

W 2019 r. europejski przemysł kuźniczy był drugim co do wielkości na świecie z udziałem produkcji wynoszącym 21%, jak to pokazano na Rysunku 1.1.W UE-27 44% wolumenu produkcji odkuwek jest wytwarzane w Niemczech, natomiast we Włoszech jest to 21%. Całkowita produkcja wyrobów kutych matrycowo różni się w poszczególnych krajach europejskich. Przemysł kuźniczy UE jest obecny w kilku państwach członkowskich UE i obejmuje wykorzystanie młotów i pras kuźniczych.

Istnieje jednak niewielka liczba kuźni wykorzystujących młoty kuźnicze, które spełniają wymogi Załącznika

i do Dyrektywy IED (Dyrektywa 2010/75/UE).



Źródło: [138. Euroforge 2020]

Rysunek 1.1: Dane dotyczące światowego i europejskiego przemysłu kuźniczego w 2019 r.

Poniższa tabela (Tabela 1.1) przedstawia badanie dotyczące wielkości produkcji odkuwek w 2018 r. w różnych krajach świata oraz w krajach stowarzyszonych z Euroforge. Pokazuje, z którego sektora przemysłu pochodzi produkcja odkuwek. W skali globalnej Chiny wyprodukowały najwięcej, około sześć razy więcej niż Japonia czy Indie. Kraje zrzeszone w Euroforge produkują około połowy wolumenu Chin. [154. Euroforge 2022]

Dane dotyczące produkcji odkuwek w Europie w 2018 r. przedstawiono w tabeli 1.2.Kraje zrzeszone w Euroforge obejmują Hiszpanię, Niemcy, Finlandię, Norwegię, Wielką Brytanię, Francję, Belgię, Czechy, Polskę, Słowenię, Włochy i Turcję. Niemcy są największym producentem odkuwek, a następnie Włochy, Francja, Hiszpania, Polska i Czechy. [154. Euroforge 2022]

Tabela 1.1: Wielkość produkcji odkuwek w 2021 r. i prognoza na 2022 r. - Świat i Europa (kraje zrzeszone w EUROFORGE)

WIELKOŚĆ PRODUKCJI ODKUWEK (tony metryczne netto x 1 000)	Kraje stowarzyszone w Euroforge*		Japonia		USA, Kanada, Meksyk		Chiny		Indie		Brazylia		Korea Południowa		Tajwan		Cały świat	
	2021	FC 2022	2021	FC 2022	2021	FC 2022	2021	FC 2022	2021	FC 2022	2021	FC 2022	2021	FC 2022	2021	FC 2022	2021	FC 2022
KUCIE W MATRYCY ZAMKNIĘTEJ ŁĄCZNIE	4 144	4 052	1 876	1 680	1 941	2 404	9 406	8 936	1 900	1 900	498	498	1 379	1 450	893	780	22 034	21 700
• w tym produkcja przemysłu kuźniczego (podwykonawstwo)	2 955	2 849	-	-	-	-	-	-	1 900	1 900	460	460	1 379	1 450	893	780	7 587	7 439
• w tym produkcja własna przemysłu motoryzacyjnego	182	170	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	182	170
• w tym produkcja własna gotowych podzespołów w ramach podwykonawstwa	197	196	-	-	-	-	-	-	-	-	36	36	-	-	-	-	233	232
• w tym pozycje katalogowe (kołnierze i złączki, rury, łączniki, armatura, narzędzia itp.)	389	396	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2	-	-	-	-	391	398
KUCIE NA ZIMNO ŁĄCZNIE	638	666	105	102	0	0	0	0	250	250	3	3	142	150	102	93	1 240	1 264
• w tym produkcja przemysłu kucia na zimno (podwykonawstwo)	525	542	-	-	-	-	-	-	250	250	2	2	142	150	102	93	1 021	1 037
• w tym produkcja własna dla branży klientów końcowych	70	80	-	-	-	-	-	-			1	1	-	-	-	-	71	81
KUCIE W MATRYCY OTWARTEJ ŁĄCZNIE	1 134	1 200	368	341	465	514	4 626	4 626	375	375	0	0	0	0	15	14	6 983	7 071
• w tym walcowanie pierścieniem	413	437	252	240	318	348	1 070	1 000	125	125	-	-	-	-	5	5	2 183	2 155
• w tym pozostałe kucie w matrycy otwartej (z wyłączeniem prętów stalowych, półwyrobów i zestawów kolejowych)	567	601	116	101	-	-	-	-	250	250	-	-	-	-	10	9	4 498	4 587
KUCIE W MATRYCY ZAMKNIĘTEJ METALI NIEŻELAZNYCH	216	215	51	51	-	-	-	-	160	160	-	-	44	-	33	43	504	469
CAŁKOWITA WIELKOŚĆ PRODUKCJI ODKUWEK	**6 131**	**6 133**	**2 397**	**2 174**	**2 407**	**2 918**	**14 032**	**13 562**	**2 685**	**2 685**	**501**	**501**	**1 565**	**1 600**	**1 043**	**930**	**30 760**	**30 501**

* Kraje stowarzyszone w Euroforge: Belgia, Czechy, Finlandia, Francja, Niemcy, Wielka Brytania, Norwegia, Włochy, Polska, Słowenia, Hiszpania i Turcja. Uwaga: FC oznacza prognozę (*Forecast*). *Źródło*: [154. Euroforge 2022]

Tabela 1.2: Europejskie badanie wielkości produkcji odkuwek w 2021 r. oraz prognoza na rok 2022

WIELKOŚĆ PRODUKCJI ODKUWEK (tony metryczne netto x 1 000)	Niemcy		Włochy		Francja		Hiszpania		Szwecja		Republika Czeska		Polska		Słowenia		Finlandia		Kraje stowarzyszone w Euroforge*	
	2021	FC 2022	2021	FC 2022	2021	FC 2022	2021	FC 2022	2021	FC 2022	2021	FC 2022	2021	FC 2022	2021	FC 2022	2021	FC 2022	2021	FC 2022
KUCIE W MATRYCY ZAMKNIĘTEJ ŁĄCZNIE	1 359	1 300	961	946	251	253	263	270	73	73	617	555	170	188	59	60	8	8	4 144	4 052
• w tym produkcja przemysłu kuźniczego (podwykonawstwo)	980	930	793	785	-	-	247	250	73	73	482	414	-	-	57	56	3	3	2 955	2 849
• w tym produkcja własna przemysłu motoryzacyjnego	150	140	-	-	-	-	-	-	-	-	32	30	-	-	-	-	-	-	182	170
• w tym produkcja własna gotowych podzespołów w ramach podwykonawstwa	85	80	84	80	-	-	-	-	-	-	7	7	-	-	2	4	-	-	197	196
• w tym pozycje katalogowe (kołnierze i złączki, rury, łączniki, armatura, narzędzia itp.)	144	150	84	81	-	-	16	20	-	-	96	104	-	-	-	-	5	5	389	396
KUCIE NA ZIMNO ŁĄCZNIE	555	580	0	0	32	32	19	20	0	0	0	0	0	0	10	11	5	5	638	666
• w tym produkcja przemysłu kucia na zimno (podwykonawstwo)	485	500	-	-	-	-	19	20	-	-	-	-	-	-	-	-	5	5	525	542
• w tym produkcja własna dla branży klientów końcowych	70	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	70	80
KUCIE W MATRYCY OTWARTEJ ŁĄCZNIE	332	365	248	260	51	52	5	6	161	161	164	167	103	110	0	0	0	0	1 134	1 200
• w tym walcowanie pierścieniem	154	175	71	70	-	-	5	6	10	10	151	154	-	-	-	-	-	-	413	437
• w tym pozostałe kucie w matrycy otwartej (z wyłączeniem prętów stalowych, półwyrobów i zestawów kolejowych)	178	190	177	190	-	-	-	-	151	151	13	13	-	-	-	-	-	-	567	601
KUCIE W MATRYCY ZAMKNIĘTEJ METALI NIEŻELAZNYCH	80	75	-	-	130	134	-	-	-	-	2	2	-	-	-	-	-	-	216	215
CAŁKOWITA WIELKOŚĆ PRODUKCJI ODKUWEK	**2 325**	**2 320**	**1 209**	**1 206**	**464**	**471**	**287**	**296**	**234**	**234**	**783**	**724**	**273**	**298**	**69**	**71**	**13**	**13**	**6 131**	**6 133**

* Kraje stowarzyszone w Euroforge: Hiszpania, Niemcy, Finlandia, Norwegia, Wielka Brytania, Francja, Belgia, Czechy, Polska, Słowenia, Włochy i Turcja. Uwaga: FC oznacza prognozę (*Forecast*). *Źródło*: [154. Euroforge 2022]

W 2023 r., w momencie sporządzania niniejszego dokumentu, istniały trzy instalacje kuźnicze wykorzystujące młoty i spełniające próg wydajności określony w Działaniu 2.3 (b) Załącznika i do Dyrektywy IED. Instalacje te znajdują się w Niemczech, Polsce i Hiszpanii. W UE-27 istnieje jednak więcej kuźni wykorzystujących młoty, które nie osiągnęły progu wydajności określonego w Załączniku i do Dyrektywy IED. [169. TWG 2021].

Wiele elementów może być produkowanych wyłącznie przy użyciu młota. Należą do nich takie, które wymagają dużej siły kucia lub które muszą być kute szybko ze względu na ryzyko schłodzenia. Na przykład, kucie na ciepło części aluminiowych wymaga szybkiego procesu odkształcania. Szczególnie płaskie kształty przedmiotu obrabianego można często uzyskać tylko za pomocą młotów. Przy wyborze młota uwzględnia się również wpływ na mikrostrukturę materiału i aspekty trybologiczne ze względu na krótszy czas kontaktu między narzędziem a obrabianym przedmiotem. Inne detale mogą być kute zarówno przy użyciu młota, jak i prasy. Chociaż porównanie jest możliwe tylko w ograniczonym zakresie, podano wartości referencyjne dla wielkości prasy i młota. [152. DE VDI/ADB 1973], [148. Euroforge 2021], [155. Euroforge 2020]

Młoty są zwykle używane do płaskich części, takich jak korbowody, noże lub narzędzia. W przypadku tych części, ze względu na krótki czas kontaktu i wysoką prędkość kucia, umożliwiają one przepływ materiału w celu wystarczającego wypełnienia płaskiej matrycy przy porównywalnie niskiej sile.

Aby osiągnąć ten sam efekt za pomocą prasy (jeśli w ogóle jest to możliwe), konieczne byłoby użycie znacznie większej prasy o znacznie większej mocy prasowania, co skutkowałoby znacznie wyższymi inwestycjami/kosztami (na maszynę, a zatem i na wyprodukowaną część) oraz nakładem energii.

Ponadto, ponieważ młoty są w większości przypadków zasilane ręcznie, pozwala to na wykonanie ostatniego uderzenia w centralnej części matrycy, co pozwala uniknąć zginania obrabianego, płaskiego elementu. W przypadku prasy różne etapy prasowania są ułożone liniowo, co prowadzi do niecentrycznego nacisku na ostatnim etapie i może prowadzić do wygięcia danej części. [155. Euroforge 2020]

1.1.1.2 Rodzaje produktów i zastosowań

Branża kuźnicza zaopatruje wiele sektorów przemysłu w proste lub złożone odkuwki. Typowe produkty obejmują bloki, pręty, półfabrykaty, tarcze lub wały. Bardziej skomplikowane odkuwki, np. pierścienie, cylindry, wybijane występy i wały stopniowane, wymagają użycia dodatkowych narzędzi pomocniczych, takich jak wypełniacze, kliny, stemple czy wybijaki.



Źródło: [148. Euroforge 2021]

Rysunek 1.2: Wyroby kuźnicze

Wyroby kuźnicze zawsze miały ogromne znaczenie w wielu sektorach, ponieważ są szeroko stosowane. Dalsze możliwości projektowania produktów zostały stworzone przez rozwój procesów i kombinacji procesów, materiałów podstawowych/surowców, inżynierii narzędzi i używanego sprzętu. [137. Herbertz i in., 2013]

Produkcja odkuwek waha się od kilku sztuk do milionów sztuk w danej serii.

Odkuwki są używane:

- do przenoszenia sił, momentów i ruchów;
- dla dużych obciążeń statycznych i dynamicznych;
- w przypadku dużych obciążeń związanych ze zużyciem;
- dla konstrukcji oszczędzających miejsce i wagę,
- dla wysokich standardów bezpieczeństwa, niezawodności i dostępności,
- dla zrównoważonej ochrony zasobów, potencjału recyklingu i ochrony środowiska.

Produkty kucia są najczęściej wykorzystywane w następujących zastosowaniach:

- Motoryzacja w tym samochody ciężarowe: Szereg kutych komponentów jest powszechnie spotykanych w punktach wstrząsów i naprężeń i obejmuje wały korbowe, wały transmisyjne i przekładnie, przekładnie różnicowe, wały napędowe i piasty sprzęgła.
- Przemysł lotniczy: Zarówno odkuwki żelazne, jak i nieżelazne są wykorzystywane w przemyśle lotniczym (np. helikoptery, samoloty). W tym sektorze stosuje się bardzo dużą liczbę części kutych, takich jak grodzie, wzmocnienia i podpory skrzydeł, zawiasy, mocowania silnika, wsporniki, belki, wały, mechanizmy korbowe, cylindry i rozpórki podwozia, koła, wsporniki i tarcze hamulcowe.
- Pojazdy terenowe i rolnicze: pojazdy terenowe wymagają wielu części silnika i skrzyni biegów, a odkuwki są wykorzystywane na przykład do przekładni, zębatek, dźwigni, wałów, piast kół i belek osi.
- Sprzęt wojskowy: Odkuwki są stosowane w wielu rodzajach sprzętu wojskowego (np. karabiny, czołgi i pojazdy bojowe, wały napędowe łodzi podwodnych).
- Zawory i złączki: Duża liczba odkuwek odpornych na korozję i wysoką temperaturę jest wykorzystywana na przykład do produkcji kołnierzy, korpusów i trzpieni zaworów, kolanek i siodełek.
- Sprzęt i narzędzia: Odkuwki są wykorzystywane do produkcji narzędzi ręcznych, takich jak szczypce, młotki, sanki, klucze i narzędzia ogrodowe.
- Energia.
- Energia wiatrowa.
- Budowa statków.
- Maszyny ciężkie. [156. FIA 2021]

Przemysł kuźniczy jest ważnym dostawcą dla przemysłu zaawansowanych technologii w Europie i na świecie. [146. Ade 2017], [156. FIA 2021]

Specyfikacje właściwości części obejmują jakość materiału, mikrostrukturę i rozmiar/kształt przedmiotu obrabianego. Ponadto, produkty kute są stosowane ze względu na ich właściwości i cechy, np.:

- trwałość;
- wytrzymałość;
- plastyczność;
- wydajność materiału dzięki dużej dokładności kucia;
- używane materiały nie mogą być przetwarzane w żaden inny sposób.

Potencjał odpornościowy litych elementów kutych jest bardzo wysoki ze względu na dostępność dużej liczby formowalnych materiałów, które można wykorzystać by zapewnić szeroki zakres wytrzymałości i plastyczności w połączeniu z różnymi procesami obróbki cieplnej. Ten wysoki potencjał sprężystości stanowi dodatkową bazę dla lekkich konstrukcji materiałowych. [148. Euroforge 2021]

1.1.2 Kluczowe kwestie środowiskowe

W zależności od stosowanych procesów produkcyjnych, kuźnie powodują emisję zanieczyszczeń do powietrza. Dodatkowo na środowisko mogą wpływać hałas i wibracje. Rodzaj i ilość zanieczyszczeń odprowadzanych do atmosfery, pozostałości i ścieki zależą od różnych parametrów, takich jak technologia ogrzewania, typ pieca, wielkość partii, charakterystyka produktu, a także są pochodną energochłonnych procesów kucia.

Ponadto stosowane procesy mogą mieć wpływ na wodę i ziemię (pozostałości).

1.1.2.1 Emisje do powietrza, wody, gleby, emisje hałasu oraz wibracje

Emisje do powietrza, jak również emisje hałasu i wibracje zostały zdefiniowane jako kluczowe kwestie środowiskowe (KEI) w przypadku kuźni.

Emisje do powietrza: emisje gazowe powstają podczas ogrzewania, ponownego podgrzewania, obróbki cieplnej i przetwarzania produktów. Szczególne znaczenie wśród emisji gazowych mają tlenek węgla i tlenki azotu. Emisje hałasu i wibracje występują podczas kilku procesów zachodzących w kuźni, zwłaszcza podczas procesu młotkowania.
Pył może powstawać w wyniku przeładunku lub przetwarzania surowców lub przetwarzania i wykańczania produktów; jednak emisje te nie zostały zidentyfikowane jako kluczowe kwestie środowiskowe (KEI) na posiedzeniu inauguracyjnym (KoM).

Emisje do wody: emisje te występują w rzadkich przypadkach w procesie kucia, ale głównie podczas procesów chłodzenia i czyszczenia. Ponadto woda deszczowa i ścieki sanitarne mogą przyczyniać się do emisji do wody z zakładu. Emisje do wody nie zostały jednak zidentyfikowane jako KEI w KoM.

1.1.2.2 Efektywność energetyczna

Dla sektora kuźniczego energia jest kluczowym czynnikiem produkcji. [146. Ade 2017]

Zarówno proces kucia na gorąco, jak i na ciepło są procesami energochłonnymi.

Ciepło procesowe z ogrzewania/ podgrzewania może być częściowo ponownie wykorzystane do obróbki cieplnej, jeśli proces ten nie jest zlecany na zewnątrz. Nadmiar ciepła z procesu ogrzewania/podgrzewania może być ponownie wykorzystany do ogrzewania powietrza do spalania. [137. Herbertz i in., 2013]

Odległość między różnymi etapami procesu/instalacjami i nieciągły schemat procesów produkcyjnych mogą ograniczać możliwości ponownego wykorzystania ciepła procesowego.

1.1.2.3 Efektywne wykorzystanie materiałów/zasobów - pozostałości, ponowne wykorzystanie, recykling

Pozostałości/straty w procesie/odpady pochodzące z działalności kuźni powstają głównie w wyniku przygotowania surowców, takich jak metale z cięcia i piłowania, inne straty powstają w wyniku kucia w matrycy zamkniętej, tj. gratowania, a także może powstawać zgorzelina kuźnicza. Ponadto na pozostałości mogą składać się odpady opakowaniowe (plastik, drewno, metal, papier itp.).
Surowce są szczególnie ważne w sektorze kuźniczym. Potencjał recyklingu wyrobów kutych jest bardzo wysoki. Wszystkie stałe produkty kute (stal, aluminium, inne materiały nieżelazne) oraz nadmiar materiału produkcyjnego mogą być poddane recyklingowi prawie w 100% i mogą być ponownie wykorzystywane w nieskończoność, np.:

- odpady metalowe i produkty uboczne;
- opiłki z przygotowania surowca, takiego jak piłowanie i cięcie (powodują straty materiału);
- kawałki zarówno z początku, jak i z końca prętów pochodzące z przygotowania surowca i cięcia/odcinania, cięcia wzdłużnego/oczyszczania;
- wypływki pochodzące z kucia w matrycy zamkniętej;
- zgorzelina kuźnicza.

[137. Herbertz i in., 2013]

Zgodnie z wnioskami z posiedzenia inauguracyjnego dla niniejszego dokumentu BREF, pozostałości/straty procesowe/odpady nie zostały zidentyfikowane jako kluczowe kwestie środowiskowe.

1.2 Procesy i techniki stosowane w kuźniach

1.2.1 Informacje ogólne

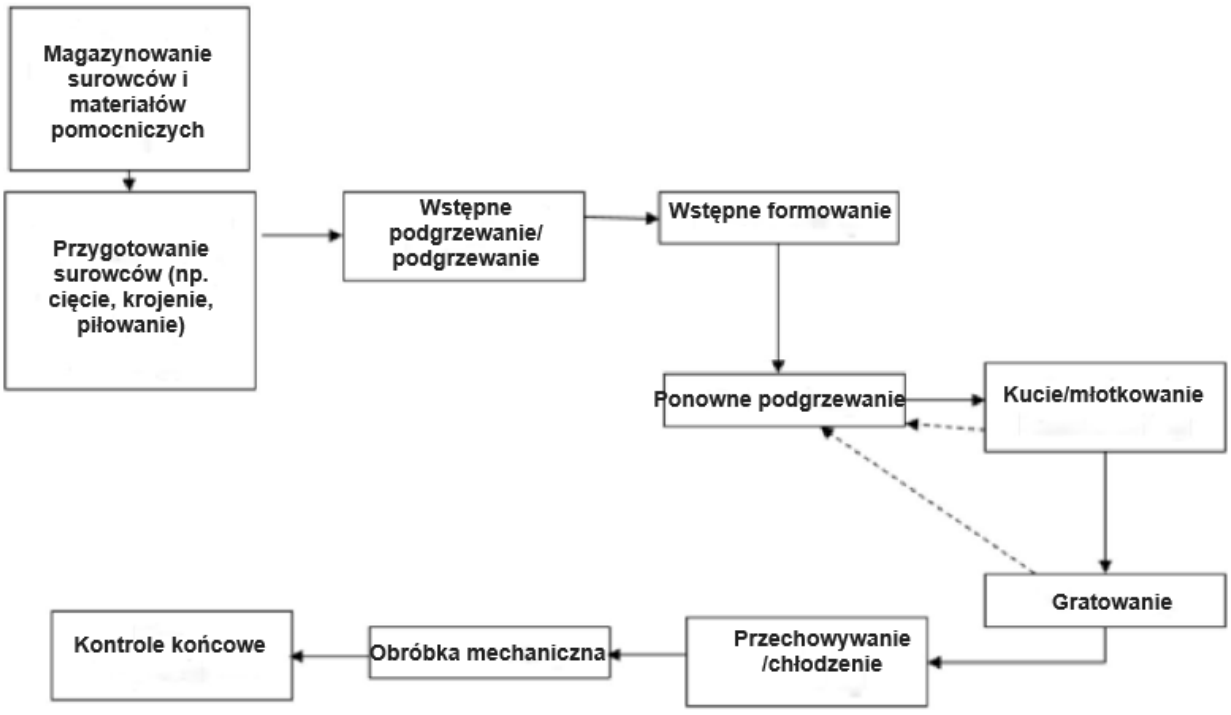
Generalnie, kucie jest procesem kształtowania metalu, w którym ciągliwa część metalowa, znana jako półwyrób, kęs lub przedmiot obrabiany, jest przetwarzana na określony kształt za pomocą jednego lub więcej procesów, takich jak młotkowanie, spęczanie (oporowe), prasowanie, walcowanie itp. [147, Total Materia 2010].

Dla celów niniejszego dokumentu kucie definiuje się jako proces odkształcania i kształtowania metalu przy użyciu ogrzewania i młotów (np. pneumatycznych, parowych, mechanicznych, elektrycznych, hydraulicznych).

W kuźniach stosowane są następujące etapy procesu:

- magazynowanie i przeładunek surowców i materiałów pomocniczych;
- przygotowanie surowca;
- podgrzewanie przed kuciem;
- kucie (tj. młotkowanie);
- obróbka cieplna (np. ponowne podgrzewanie, nawęglanie, utwardzanie, chłodzenie, hartowanie, ulepszanie cieplne);
- obróbka mechaniczna (np. obróbka skrawaniem, wykańczanie).

Uproszczony schemat przepływu procesu w kuźniach przedstawiono na poniższym rysunku (dostosowany na podstawie informacji przekazanych przez zakłady DE004 i DE007 w ramach gromadzenia danych).



Źródło: Zaadaptowano z [148. Euroforge 2021], [169. TWG 2021]

Rysunek 1.3: Uproszczony schemat procesu produkcyjnego w kuźni

Poszczególne procesy składają się z kilku etapów, które mogą być ze sobą powiązane zarówno pod względem czasu, jak i przestrzeni, w ramach danej jednostki produkcyjnej. Niektóre etapy procesu mogą również odbywać się oddzielnie w czasie i przestrzeni. Jednak ogrzewanie i kucie nie mogą być oddzielone w czasie. [137. Herbertz i in., 2013]

Etapy procesu są logicznie oddzielone, jeśli wydajność produkcji każdego z nich jest bardzo różna. Na przykład, przygotowanie i oddzielenie elementów obrabianych (np. cięcie, piłowanie) może być przeprowadzane niezależnie od reszty łańcucha procesowego. Możliwe jest również połączenie

poszczególnych etapów procesu, np. procesy obróbki cieplnej o nazwie „hartowanie i ulepszanie cieplne / hartowanie i ulepszanie cieplne / obróbka cieplna z kucia na gorąco" i „kontrolowane chłodzenie z kucia na gorąco" są bezpośrednio powiązane z procesem przetwarzania.

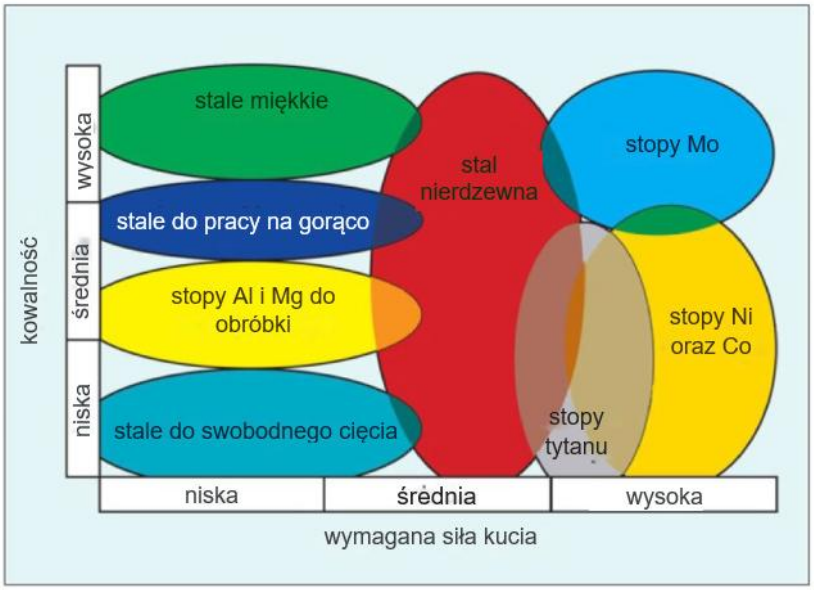
Młyny młotkowe mogą być wykorzystywane do produkcji specjalnie ukształtowanych części w celu formowania prętów, pierścieni, wałów lub trzpieni. Waga młotkowanych produktów może wahać się od 100 g do kilku ton. [148. Euroforge 2021]

Młotkowanie jest stosowane zarówno w metodach kucia stosowanych w matrycy otwartej, jak i zamkniętej. [137. Herbertz i in., 2013]

Oprócz sprzętu specyficznego dla produkcji, stosowane są systemy przenoszenia, transportu (przenośniki taśmowe, pojazdy, wózki widłowe itp.) oraz sortowania/separacji (przenośniki wibracyjne spiralne). [139. Probst 2006]

1.2.2 Surowce i materiały pomocnicze

Sektor kuźniczy może wykorzystywać prawie każdy metal, który może być kuty jako surowiec. Niektóre z najpopularniejszych metali to: stale węglowe, stopowe i nierdzewne; bardzo twarde stale narzędziowe; aluminium; tytan; mosiądz i miedź; oraz stopy wysokotemperaturowe zawierające kobalt, nikiel lub molibden. Każdy metal ma różne właściwości wytrzymałościowe lub wagowe, najlepiej nadające się do konkretnych części określonych przez klienta. [156. FIA 2021]



Źródło: [153. Witt DE 2011], [137. Herbertz i in., 2013]

Rysunek 1.4: Nadające się surowce

Oprócz stosowanego materiału, temperatura kucia ma bardzo znaczący wpływ na jego zachowanie się podczas całego procesu (zmiany kształtu).

Dużą grupę stosowanych materiałów stanowią stale konstrukcyjne. Stale te charakteryzują się bardzo wysoką wydajnością kucia przy niskich wymaganiach energetycznych i operacyjnych, podczas gdy stopy niklu i kobaltu zachowują się dokładnie odwrotnie.

Surowiec (wsad metalu) jest dostarczany na przykład w postaci kęsów, półwyrobów i półfabrykatów. [210. TWG 2022]
Pod względem obszarów zastosowania i wielkości produkcji, główną grupą materiałów do kucia matrycowego jest grupa materiałów stalowych. W połączeniu z różnymi procesami obróbki cieplnej można uzyskać bardzo szeroki zakres wytrzymałości na rozciąganie oraz ciągliwość.

W przypadku procesu kucia na zimno odpowiednie są tylko gatunki stali o zawartości węgla ograniczonej do około 0,5 wt-% (stężenie masowe procentowe) i składnikach stopowych ograniczonych do około 5%

wt-%. Nawet w tych granicach, zdolność do przetwarzania jest znacznie niższa niż w przypadku procesu kucia na gorąco.
W przypadku procesu kucia na ciepło odpowiednie są wszystkie stopy stali, z wyjątkiem utwardzanych wydzieleniowo stali ferrytyczno-perlitycznych (AFP) i stali nierdzewnych. Zdolność do przetwarzania jest jednak niższa niż w przypadku procesu kucia na gorąco.

Należy zauważyć, że kucie na gorąco nie może być generalnie zastąpione kuciem na ciepło, ponieważ zakres kształtów jest ograniczony, tak samo jak właściwości mikrostruktury produktów, gdy nie osiąga się wyższego zakresu temperatur. W związku z tym wydajność też jest ograniczona.[148. Euroforge 2021].

W procesie kucia można wykorzystać wiele różnych materiałów.

Asortyment produktów jest powszechnie znany ze swojej różnorodności. Opiera się na dostawach od producentów stali posiadających następujące certyfikaty ISO:

1. stal konstrukcyjna wysokiej jakości;
2. stal utwardzana wydzieleniowo;
3. stal hartowana i ulepszana cieplnie (QT);
4. stal do azotowania;
5. stal żarowytrzymała;
6. stal niskotemperaturowa;
7. stal łożyskowa;
8. stal do utwardzania powierzchniowego;
9. stal nierdzewna ferrytyczna;
10. stal nierdzewna, kwaso- i żaroodporna;
11. stal narzędziowa;
12. zmodyfikowana stal specjalna na żądanie;
13. nadstopy niklu i kobaltu;
14. aluminium;
15. stal wysokostopowa;
16. stal niskostopowa;
17. stal niestopowa;
18. stal żaroodporna;
19. komponenty z wysokogatunkowej stali węglowej i stopowej.

[149. HWE DE 2020], [150. Stooss AG DE 2020]

Smary
Smary stosowane są w kuciu na gorąco i na ciepło. W 2020 roku smary często zawierały wodne dyspersje grafitu. Grafit wspiera proces formowania metalu i może być odporny na wysokie ciśnienia stosowane prostopadle do płaszczyzn, pozwalając uniknąć kontaktu metalu z metalem między przedmiotem obrabianym a matrycami, minimalizując w ten sposób zużycie matrycy. Istnieją jednak również wady. Kwestią związaną ze smarami grafitowymi na bazie wody jest efekt korozji galwanicznej, której sprzyja przewodnictwo grafitu. Dlatego obserwuje się wyraźną tendencję do zastępowania smarów do matryc na bazie grafitu smarami syntetycznymi. Wynika to z potrzeby zapewnienia czystszego środowiska pracy, łatwiejszej obsługi oraz uniknięcia korozji galwanicznej sprzętu spowodowanej obecnością grafitu. [164. Heidari i in. 2011]

Smary muszą być dobrane w odpowiedni sposób, aby zapewnić udany proces kucia i zwiększyć produktywność. Do kucia na gorąco stosuje się następujące rodzaje smarów matrycowych: grafitowe na bazie oleju, grafitowe na bazie wody i syntetyczne na bazie wody lub niegrafitowe. Większość stosowanych smarów to smary grafitowe na bazie wody (około 60%), podczas gdy około 25% to smary grafitowe na bazie oleju, a około 15% to smary syntetyczne lub niegrafitowe. [166. Goodchild, S. 2015]

Stosowanie smarów niezawierających grafitu może obniżyć koszty, ponieważ pomagają one zwiększyć trwałość matrycy, co również prowadzi do poprawy wydajności. [167. Shenoy, S. P. 2013]

Stężenia smarów są specyficzne dla różnych geometrii kucia. W kuźniach z matrycą otwartą nie stosuje się smarów ani chłodziw. [210. TWG 2022]

1.2.3 Przygotowanie surowca

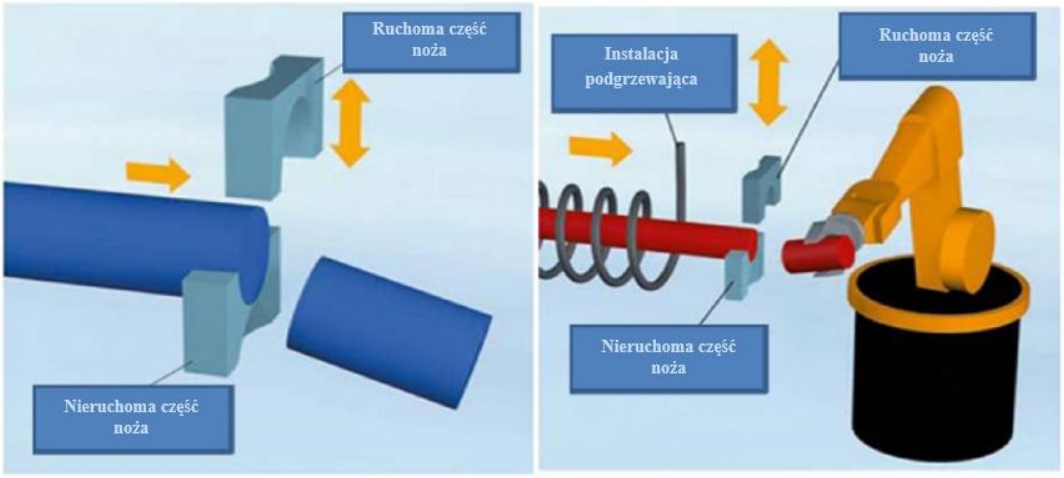
[137. Herbertz i in., 2013]

Surowiec jest dostarczany przez hutę.

Surowiec jest przygotowywany, tj. podstawowy materiał wejściowy jest cięty i krojony, np. przez cięcie na zimno, na poszczególne sekcje, które są ważone ze względu na bardzo wysokie wymagania dotyczące dokładności wagi elementu.
Bardzo ważne jest, aby wytwarzać produkty o precyzyjnej długości lub wadze. Jeśli powierzchnia cięcia znajduje się wewnątrz elementu podczas kolejnego etapu kucia, doskonała jakość powierzchni ciętej ma ogromne znaczenie. W przeciwnym razie może to doprowadzić do powstania wadliwego produktu. W zależności od twardości materiału, przekroju poprzecznego i prędkości oddzielania, stosowane są różne metody rozdzielania, takie jak cięcie nożycami, piłami, piłami tarczowymi, nożami, a także narzędziami do śrutowania i rozłupywania w celu dokładnego i wydajnego oddzielania materiału. W zależności od metody rozdzielania, np. piłowania, cięcia, mogą wystąpić straty materiału, które prowadzą do powstawania pozostałości/odpadów.

CIĘCIE

W przypadku cięcia przedmiotu obrabianego ruchomy nóż sekcyjny jest przesuwany nad nieruchomą sekcją wokół całej jej szerokości. Materiał jest cięty i rozdzielany. Cięcie składa się z początkowego procesu cięcia przed ostatecznym oddzieleniem poprzez złamanie pozostałego odcinka przekroju. Procedura może być stosowana jako cięcie na zimno lub cięcie na gorąco (zob. Rysunek 1.5). Cięcie na gorąco odbywa się w zakresie temperatury utwardzania materiału, bezpośrednio przed procesem kucia.



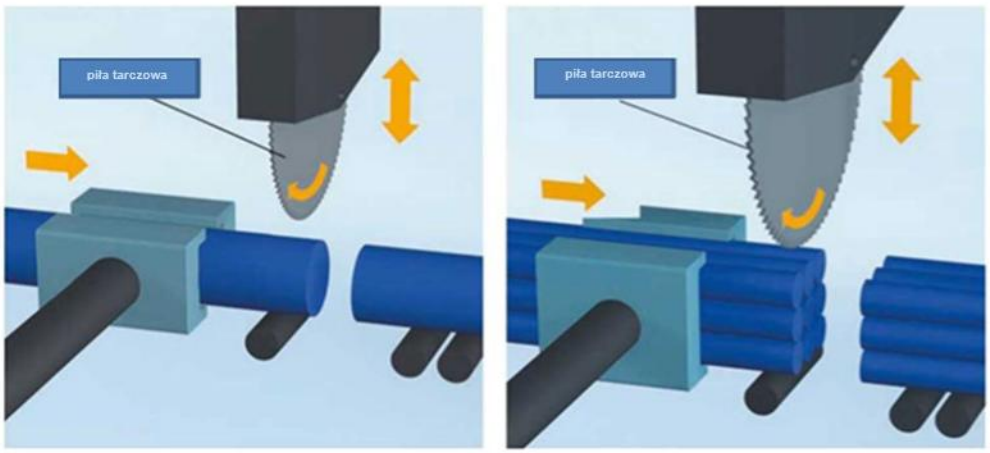
Źródło: [137, Herbertz i in., 2013].

Rysunek 1.5: Cięcie na zimno i na gorąco

Zalety	Przeprowadzane bez strat materiału, z wyjątkiem kawałków zarówno na początku, jak i na końcu prętów. Krótki czas trwania całego cyklu zapewnia wysoką wydajność.
Wady	Ze względu na kombinację cięcia oraz łamania, powierzchnie cięcia mogą być nierówne i mogą na nich wystąpić niedoskonałości. Metoda nieodpowiednia dla „miękkich" materiałów, np. aluminium.
Zastosowania	Służy do rozdzielania przedmiotu obrabianego dla średnic lub długości krawędzi do około 120 mm. Nie zależy od twardości materiału. Nadaje się do zastosowania w szybko przebiegających zautomatyzowanych procesach kucia lub w przypadku stosowania materiałów o dużych przekrojach.
Źródło: [137. Herbertz i in., 2013].	

Piłowanie

Piłowanie to proces cięcia z usuwaniem wiórów. Każde cięcie rozdzielające wiąże się z utratą materiału. Piłowanie może być również stosowane w przypadku materiałów o mniejszych przekrojach w celu rozdzielenia całych wiązek prętów (zob. Rysunek 1.6).



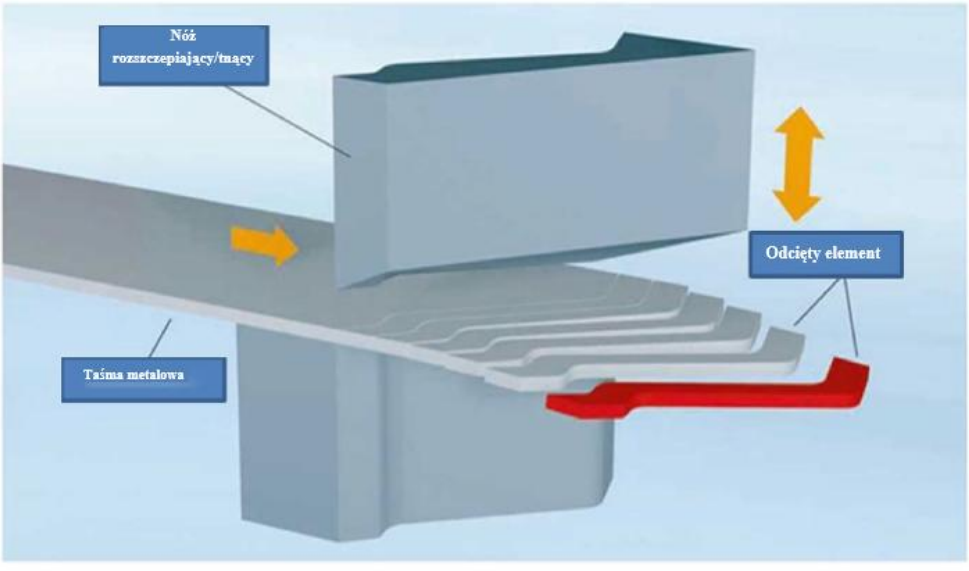
Źródło: [137, Herbertz i in., 2013].

Rysunek 1.6: Piłowanie pręta i wiązki prętów

Zalety	Umożliwia uzyskanie precyzyjnych i powtarzalnych długości sekcji z wysokiej jakości powierzchnią cięcia. Nadaje się do obróbki elementów o bardzo dużych przekrojach. Co więcej, ma zastosowanie do wszystkich rodzajów i odmian materiałów. Zwykle nie ma potrzeby zmiany narzędzia tnącego podczas piłowania elementów o różnych przekrojach.
Wady	Proces cięcia z usuwaniem wiórów wymaga więcej czasu niż cięcie nożycami, co prowadzi do niższej wydajności. Powoduje utratę materiału, która wzrasta procentowo wraz ze spadkiem długości produktu.
Aplikacje	Wytwarzanie produktów z miękkich materiałów, takich jak aluminium lub w przypadku wysokich wymagań dotyczących dokładności długości produktu, takich jak kucie bez wypływki, i/lub wysokich wymagań dotyczących jakości powierzchni ciętych. Rozdzielanie przedmiotów obrabianych dla średnic lub długości krawędzi większych niż 120 mm. Produkcja elementów o małym stosunku długości do średnicy.
Źródło: [137, Herbertz i in., 2013].	

Rozszczepianie

Zazwyczaj rozszczepianie jest równoważne z cięciem wzdłużnym i stanowi połączenie procesu rozłupywania wraz ze wstępnym rozkładem masy. Przedmiot obrabiany jest dzielony z taśmy metalowej bez strat, z wyjątkiem początku i końca przedmiotu obrabianego (zob. Rysunek 1.7).



Źródło: [137, Herbertz i in., 2013].

Zalety	Brak generowania strat materiału, z wyjątkiem początku i końca obrabianych elementów. Umożliwia jednoczesny rozkład masy przedmiotu obrabianego.
Wady	Układ włókien rozszczepianego elementu nie może być optymalnie dostosowany do kształtu odkuwki. Początek i koniec detalu mogą być odrzucone jako strata materiału (pozostałość/odpad).
Zastosowania	Produkcja elementów długich i płaskich, takich jak klucze do śrub, szczypce, ostrza noży, nożyczki.
Źródło: [137. Herbertz i in., 2013].	

1.2.4 Proces kucia metalu

[137. Herbertz i in., 2013]

Kucie metalu (odkształcenie plastyczne, kształtowanie) odbywa się poprzez plastyczną zmianę kształtu ciała stałego.

Przekształcanie to proces, który zmienia kształt ciała stałego w sposób wizualny (plastyczny); zarówno masa, jak i spójność zostają zachowane.

Nie ma ogólnych zaleceń dla każdego z trzech procesów kucia, tj. procesu kucia na gorąco, na ciepło lub na zimno. Każdy z tych procesów ma swoje specyficzne zalety i wady. Technicznie i ekonomicznie racjonalny wybór danej metody może być dokonany tylko w odniesieniu do konkretnego elementu, biorąc pod uwagę jego geometrię, pożądany kształt i dokładność wymiarową, zastosowany materiał, właściwości mechaniczne elementu a także wielkość produkcji.

W procedurach kucia stosowane są różne rodzaje procesów przekształcania:

- odkuwki (kucie na gorąco);
- wytłaczanie (kucie na zimno),
- metody łączone (kucie na gorąco i na zimno);
- swobodne formy (kucie na gorąco) i wały pierścieniowe (kucie na gorąco).

Podstawowymi metodami kucia matrycowego są:

- walcowanie:
  - walce prostokątne, kliny poprzeczne, walce pierścieniowe;
- kucie w matrycy otwartej:
  - prostokąty, ugniatarki okrągłe, metoda zgniatania/gładzenia;
- kucie w matrycy zamkniętej:
  - kucie w matrycy zamkniętej z frezem,
  - kucie w matrycy zamkniętej bez frezu; - prasy kuźnicze;
- specyficzne metody dla określonych produktów.

Procesy walcowania są opisane i uwzględnione w dokumencie BREF FMP. Więcej informacji można znaleźć w sekcji dotyczącej walcowania na gorąco w dokumencie BREF FMP. [168. COM 2022]

Poniżej przedstawiono podstawowe zasady trzech metod kucia:

Kucie na gorąco

W przypadku kucia na gorąco materiałów stalowych, proces przekształcania zachodzi w temperaturze od około 950 °C do 1 300 °C, tj. w temperaturze, w której zachodzą procesy odzyskiwania i rekrystalizacji w trakcie i po przekształceniu. Głównymi cechami charakterystycznymi procesu kucia na gorąco są:

- wysokie zapotrzebowanie na energię do podgrzewania (możliwą do wykorzystania do obróbki cieplnej w stosownych przypadkach);
- niskie zapotrzebowanie na moc i energię do przekształcenia;
- nadaje się do prawie wszystkich rodzajów metali;

- bardzo duża zdolność materiałów do przekształcenia;
- wyraźne zgorzeliny w wielu stalach;
- powierzchnie mają znaczną chropowatość;
- możliwe są zmiany kształtu i wymiarów spowodowane kurczliwością termiczną i zginaniem.

Kucie na ciepło

Kucie na ciepło materiałów stalowych łączy w sobie zalety procesu kucia na zimno i procesu kucia na gorąco poprzez wybór temperatury przekształcania specyficznej dla danego materiału. Tworzenie się zgorzeliny jeszcze się nie rozpoczęło lub rozpoczęło się w niewielkim stopniu. Z technicznego i ekonomicznego punktu widzenia sensowny jest zakres temperatur od około 600 °C do 950 °C. Główne cechy procesu kucia na ciepło to:

- średnie zapotrzebowanie na energię do przekształcenia;
- średnie zapotrzebowanie na moc i energię podczas przekształcenia;
- możliwość stosowania materiałów o wyższej zawartości stopów niż te stosowane w procesie kucia na zimno, ale niższej niż w przypadku kucia na gorąco;
- wyższa zdolność do formowania materiału niż w procesie kucia na zimno, ale niższa niż w kuciu na gorąco;
- wyższa elastyczność geometryczna niż w procesie kucia na zimno, ale niższa niż w kuciu na gorąco; - małe osadzanie się kamienia;
- lepsza jakość powierzchni niż w procesie kucia na gorąco, ale niższa niż przy kuciu na zimno;
- wyższa dokładność kształtu i wymiarów niż w procesie kucia na gorąco, ale niższa niż przy kuciu na zimno.

Należy zauważyć, że niektórych geometrii (kształtów) nie można uzyskać w procesie kucia na ciepło. [148. Euroforge 2021]

Kucie na zimno

W przypadku kucia na zimno materiałów stalowych, proces przekształcania odbywa się w temperaturze pokojowej lub zbliżonej do niej. Główne cechy kucia na zimno to

- brak lub niskie zapotrzebowanie na energię do podgrzewania;
- duże zapotrzebowanie na moc i energię do przekształcenia; - niska zdolność materiałów do przekształcania;
- ograniczona elastyczność geometryczna;
- w stosownych przypadkach można zastosować krzepnięcie na zimno, jednak często konieczna jest również obróbka cieplna;
- brak zgorzeliny;
- powierzchnie mają niską chropowatość;
- wysoka dokładność kształtu i wymiarów, aż do powierzchni funkcjonalnie gotowych do montażu;
- wymagana jest specjalna obróbka wstępna surowca pod względem właściwości strukturalnych i powierzchni.

Etapy przygotowania wstępnego w przypadku kucia na zimno

Kucie stali na zimno wymaga specjalnej obróbki wstępnej komponentów w celu zoptymalizowania struktury i powierzchni do późniejszego przekształcenia. Obróbka wstępna obejmuje na przykład wyżarzanie (wyżarzanie zmiękczające), obróbkę strumieniowo-ścierną i smarowanie/powlekanie. Powlekanie komponentów jest konieczne, aby zapobiec utlenianiu i, podczas późniejszego przekształcania, zgrzewania na zimno między narzędziem a obrabianym przedmiotem. Odporne na nacisk smary stałe to grafit, dwusiarczek molibdenu, specjalne mydła lub woski. Rozwój materiałów i technologii procesowych ma na celu osiągnięcie pożądanej struktury bez konieczności wyżarzania oraz przeprowadzenie niezbędnego powlekania surowców wyłącznie produktami bardziej przyjaznymi dla środowiska.

1.2.5 Podgrzewanie obrabianego przedmiotu

1.2.5.1 Opcje podgrzewania

[137. Herbertz i in., 2013]

Podgrzewanie jest konieczne w procesach kucia na gorąco i na ciepło. Celem procesu podgrzewania jest uzyskanie jednorodnie podgrzanego przedmiotu obrabianego w jego przekroju poprzecznym i osi wzdłużnej w obszarze odkształcenia.

Stabilny proces produkcji wymaga powtarzalnego i efektywnego energetycznie podgrzewania. Aby zminimalizować utlenianie powierzchni (zgorzelina) i boczną dekarbonizację, ogrzewanie powinno odbywać się w możliwie najkrótszym czasie.

Przed formowaniem, elementy obrabiane mogą być podgrzewane przy użyciu różnych procesów grzewczych, takich jak podgrzewanie pośrednie lub bezpośrednie. Podgrzewanie jest konieczne, gdy obrabiany przedmiot staje się zbyt zimny do odkształcenia (z powodu długich procesów kucia lub kucia w kilku etapach). Ponadto, niektóre efekty w strukturze ziarna można osiągnąć tylko w określonych zakresach temperatur.

Podgrzewanie pośrednie

Odbywa się poprzez konwekcję, promieniowanie cieplne i przenoszenie ciepła w piecach komorowych lub ciągłych. Energia cieplna jest generowana przez spalanie gazu ziemnego lub paliw płynnych. Możliwe jest również zastosowanie pieców elektrycznych.

Zalety	Możliwość podgrzewania dużych elementów. Niskie koszty energii związane z wykorzystaniem energii pierwotnej. Możliwość zastosowania niezależnie od geometrii (kształtu) przedmiotu obrabianego.
Wady	Zwiększone osadzanie się zgorzeliny i odwęglanie powierzchni przedmiotu obrabianego w wyniku stosunkowo długich okresów podgrzewania (ze względu na reakcję chemiczną powierzchni przedmiotu obrabianego z atmosferą pieca).
Zastosowania	Ogrzewanie dużych elementów. Nagrzewanie materiałów masowych.
Źródło:. [137. Herbertz i in., 2013].	

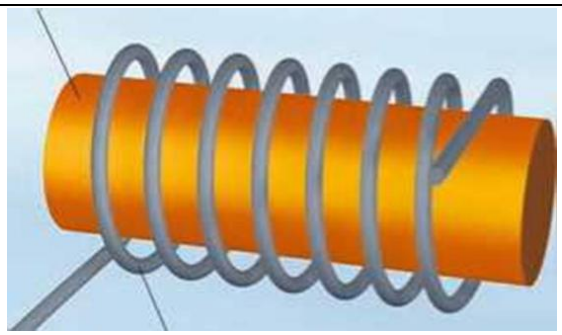
Nagrzewanie bezpośrednie

Nagrzewanie bezpośrednie opiera się na energii elektrycznej i może być realizowane za pomocą podgrzewania indukcyjnego lub z wykorzystaniem przewodnictwa cieplnego. Ciepło jest wytwarzane wewnątrz przedmiotu obrabianego.

Nagrzewanie indukcyjne

Podczas nagrzewania indukcyjnego elementy obrabiane są nagrzewane za pomocą cewki indukcyjnej. Prąd zmienny o wysokiej częstotliwości przepływa przez cewkę indukcyjną, która generuje pole elektromagnetyczne. Wewnątrz przedmiotu obrabianego to zmienne pole indukuje napięcie elektryczne, które prowadzi do powstawania prądów wirowych. Prądy wirowe powodują nagrzewanie się przedmiotu obrabianego ze względu na oporność właściwą materiału.

Zalety	Krótki czas nagrzewania się przedmiotu obrabianego. Czas rozruchu pieca indukcyjnego po przestoju zakładu jest stosunkowo krótki. Dobra powtarzalność temperatury produktu wsadowego. Niewielkie zapotrzebowanie na miejsce dla nagrzewnic. W niektórych przypadkach możliwe jest nagrzewanie „dostosowane do potrzeb”.
Wady	W celu zapewnienia optymalnej wydajności i dokładnego nagrzewania przedmiotu obrabianego, cewka indukcyjna musi być dostosowana do przekroju przedmiotu obrabianego. W przypadku znacznej zmiany przekroju przedmiotu obrabianego, zazwyczaj wymagana jest zmiana cewki indukcyjnej. Wadą tego rozwiązania są koszty inwestycji w cewki indukcyjne o różnych rozmiarach oraz czas potrzebny na wymianę cewki.
Zastosowania	Nagrzewanie wszystkich popularnych okrągłych i kwadratowych materiałów o małych i średnich wymiarach przekroju poprzecznego.
Źródło: [137. Herbertz i in., 2013]	



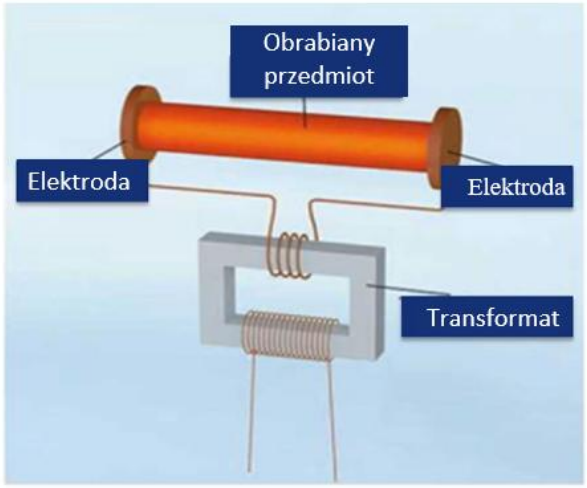
Źródło: [137. Herbertz i in., 2013]

Rysunek 1.8: Nagrzewanie bezpośrednie poprzez indukcję

Nagrzewanie z wykorzystaniem przewodnictwa cieplnego

Podczas nagrzewania z wykorzystaniem przewodnictwa cieplnego, przygotowywany surowiec stanowi część obwodu elektrycznego. Energia elektryczna przepływa bezpośrednio przez produkt i nagrzewa materiał ze względu na jego opór elektryczny. Nagrzewanie z wykorzystaniem przewodnictwa cieplnego jest zatem określane również jako nagrzewanie oporowe.

Zalety	Bardzo krótki czas nagrzewania. Lepsza efektywność energetyczna w porównaniu do nagrzewania indukcyjnego. Brak strat podczas rozruchu.
Wady	Krótkie elementy nie powinny być nagrzewane z wykorzystaniem przewodnictwa cieplnego ze względu na straty ciepła na chłodzonych elektrodach. Stosunek długości do średnicy przedmiotu obrabianego powinien być wyższy niż 2,5. Przesyłanie wysokich wartości prądu wymaga dobrej jakości powierzchni (głębokość chropowatości/chropowatość powierzchni, rdza, zgorzelina, zanieczyszczenie) powierzchni styku przedmiotu obrabianego, co może wymagać piłowania zamiast cięcia/krojenia materiału, co z kolei wymaga więcej energii i czasu procesu. Złożona/rozbudowana automatyzacja, ponieważ obrabiany przedmiot musi być zawsze mocowany indywidualnie między elektrodami. Konieczne chłodzenie części przedmiotu obrabianego, w obszarze styku, wymaga określonych kształtów/geometrii przedmiotu obrabianego. Proces nagrzewania prowadzi do ekstremalnych szczytów zapotrzebowania na energię elektryczną. Ma zastosowanie tylko do średnic powyżej około 50 mm.
Zastosowania	Nagrzewanie długich i cienkich prętów. W praktyce nagrzewanie z wykorzystaniem przewodnictwa cieplnego nie jest często stosowane.
Źródło: [137. Herbertz i in., 2013]	



Źródło: [137. Herbertz i in., 2013]

Rysunek 1.9: Nagrzewanie z wykorzystaniem przewodnictwa cieplnego poprzez indukcję

1.2.5.2 Piece

[137. Herbertz i in., 2013], [158. IspatGuru 2013].

Wybór pieców zależy od procesu nagrzewania, takiego jak nagrzewanie/ponowne nagrzewanie i/lub obróbka cieplna.

Zazwyczaj wykorzystywane są następujące źródła energii:

- LPG (propan, butan);
- gaz ziemny;
- energia elektryczna;
- olej opałowy.

Oprócz pieców opalanych paliwem, dostępne są elektryczne piece indukcyjne i konwekcyjne do nagrzewania przedmiotu obrabianego, zapewniające precyzyjną temperaturę procesu.

Piece grzewcze można sklasyfikować według [158. IspatGuru 2013]:

- metody nagrzewania;
- metody ładowania do pieca;
- ruchu materiału w piecu;
- metody odzysku ciepła.

Piece typu wsadowego lub ciągłego są klasyfikowane w zależności od metody ładowania na[158. IspatGuru 2013]:

- piece wsadowe;

o piece do wyżarzania wsadowego;

- piece ciągłe;

o piece z popychaczem;

o piece z belką kroczącą;

o piece z paleniskiem obrotowym;

o piece z paleniskiem ruchomym;

o piece z paleniskiem rolkowym;

- piece komorowe;
- piece z paleniskiem wózkowym / piece wahadłowe.

Piec wsadowy

Piece wsadowe są najczęściej stosowane do nagrzewania i ponownego nagrzewania.

Ten typ pieca może być używany z lub bez bezpośredniego opalania gazem ziemnym lub energią elektryczną. Materiał jest często podawany do pieca przez pojedyncze drzwi lub szczelinę. [159.

McGraw-Hill Dictionary i in. 2003] Zastosowanie pieców elektrycznych jest jednak ograniczone przez niską elastyczność i wydajność tego typu pieców. [148. Euroforge 2021]

Piec ciągły

W piecach ciągłych wsad jest przepychany przez piec przez podążający za nim następny wsad (piec z popychaczem) lub jest przesuwany przez belki kroczące (piec z belką kroczącą), palenisko obrotowe (piec z paleniskiem obrotowym) lub na/ pomiędzy rolkami (piec z paleniskiem rolkowym). W piecu z paleniskiem ruchomym wsad jest przemieszczany za pomocą mechanizmu podnoszenia i przesuwania. [169. TWG 2021]

Piece ciągłe są rzadziej stosowane, ponieważ ciągły przepływ nie wspomaga przebiegu procesu. Są one częściej stosowane w obróbce cieplnej. [148. Euroforge 2021]

Piec komorowy

Ten typ pieca jest używany do kucia w matrycy otwartej oraz podczas wytłaczania w produkcji pojedynczych części lub produkcji krótkoseryjnej. [211. M. Greger 2014].

Od 2014 r. piece do nagrzewania gazem zostały opracowane i zmodernizowane pod względem zastosowanej wykładziny pieca (np. zastosowanie specjalnych mat ceramicznych), nowej konstrukcji palników wysokociśnieniowych, instalacji automatycznych systemów sterowania procesem nagrzewania (w celu utrzymania precyzyjnego i wydajnego procesu nagrzewania). [211. M. Greger 2014].

Systemy pieców mogą być w dużej mierze zintegrowane z głównymi systemami komputerowymi zautomatyzowanych linii kuźniczych, gdzie są kontrolowane i monitorowane.

W przypadku pojedynczych systemów pieców, sterowanie może być również zdecentralizowane do odpowiedniej rozdzielnicy w celu ustawienia parametrów grzewczych. [169. TWG 2021], [210. TWG 2022].

Więcej informacji i opisów różnych typów pieców do obróbki cieplnej można znaleźć w części niniejszego dokumentu poświęconej odlewniom, Sekcja 2.2.8.2.

Więcej informacji, opisów i szczegółów dotyczących typów pieców stosowanych w kuźniach można również znaleźć w dokumencie BREF FMP.

1.2.6 Młotkowanie

[137. Herbertz i in., 2013]

Zasadniczo maszyny kuźnicze są stosowane do:

- - zapewnienia wysokich sił i energii kucia;
- - dokładnego zarządzania narzędziami kuźniczymi w stosunku do sił kucia, pędu kucia i kierowania narzędzi kuźniczych tak precyzyjnie, jak to możliwe, do określonej pozycji końcowej.

Powyższe wymagania wiążą się z solidnymi i wydajnymi maszynami kuźniczymi, co prowadzi do wysokich kosztów inwestycyjnych.

Kolejny wymóg wynika z wysokich kosztów inwestycyjnych: maszyny kuźnicze muszą charakteryzować się wysoką wydajnością, aby wysokie koszty inwestycyjne były w jak największym stopniu rozłożone na produkowane komponenty.

1.2.6.1 Młoty

Młoty odkształcają obrabiany przedmiot za pomocą energii kinetycznej bijaka młota kuźniczego. [160. Altan i in. 2005] Odkształcenie udarowe jest wykorzystywane do deformacji materiału. Młoty są klasyfikowane jako młoty pojedynczego działania (kucie matrycowe), młoty dwustronnego działania i młoty przeciwuderzeniowe, w zależności od napędu ruchu bijaka. Młoty są bardzo elastycznymi i uniwersalnymi narzędziami, dlatego są przeznaczone głównie do produkcji małych i średnich serii. Jednak młoty automatyczne są również projektowane do produkcji części samochodowych w dużych seriach, takich jak korbowody do silników samochodowych i ciężarowych. Młoty są szczególnie odpowiednie do kucia cienkich komponentów (takich jak korbowody, profile) i ciężkich części wykonanych ze stali, oraz stopów na bazie niklu lub tytanu. [214. Farinia 2022].

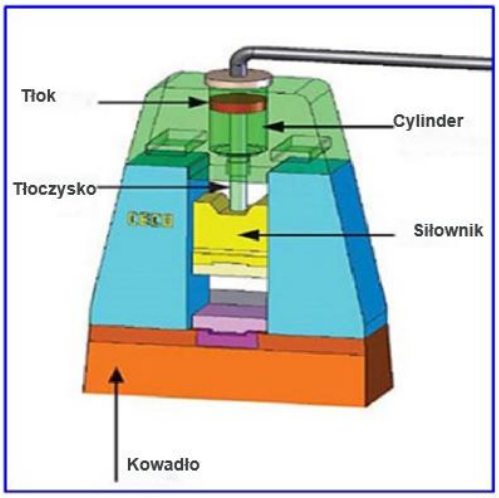
Dostępne są różne rodzaje młotów kuźniczych, takie jak młoty pneumatyczne i hydrauliczne, młoty parowe, młoty grawitacyjne, młoty elektryczne, młoty matrycowe, młoty przeciwuderzeniowe i młoty sterowane komputerowo. Dostępne są trzy podstawowe konstrukcje maszyn do kucia impulsowego (*high-energy-rate forging - HERF*): suwak i rama wewnętrzna, dwutakt i kontrolowany przepływ energii. [160. Altan i in. 2005]

Młoty pneumatyczne i hydrauliczne

Młoty te dostarczają uderzenia i są używane do kucia na gorąco. Ruchome części, system podnoszenia, spadający ciężar (siłownik) i górna matryca są przywracane do górnej części skoku przez system mechaniczny składający się z tłoka w cylindrze. System ten w momencie uderzenia do siły grawitacji dodaje siłę skierowaną w dół.

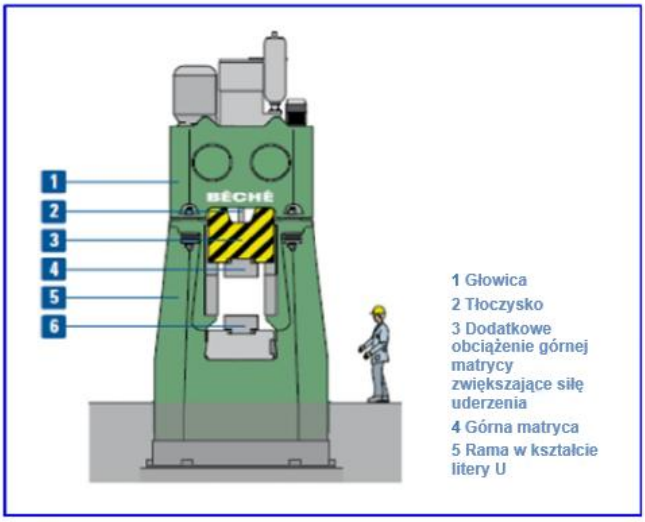
Charakter procesu wymaga szybkiej obróbki mechanicznej w celu odkształcenia gorącego metalu.

Każdy młot pneumatyczny (z napędem mechanicznym) powinien być wyposażony w urządzenie amortyzujące lub bezpiecznie zatrzymujące ruch tłoka w górnej części cylindra. Urządzenie to może być typu bezpośredniej amortyzacji zintegrowanej z głównym cylindrem lub może być typu oddzielnej amortyzacji, w której stały dopływ powietrza jest podawany za oddzielnym tłokiem przylegającym do głównego cylindra. Można również zastosować sprężynę, odpowiednio naprężoną.



Źródło: [161. CBM 2019].

Rysunek 1.10: Młot pneumatyczny



Źródło: [161. CBM 2019].

Rysunek 1.11: Młot pneumatyczny

Młot dwustronnego działania/młot przyspieszany parą wodną

Energia młotów składa się z hydraulicznej lub pneumatycznej energii najwyższego ciśnienia oraz energii spadania.

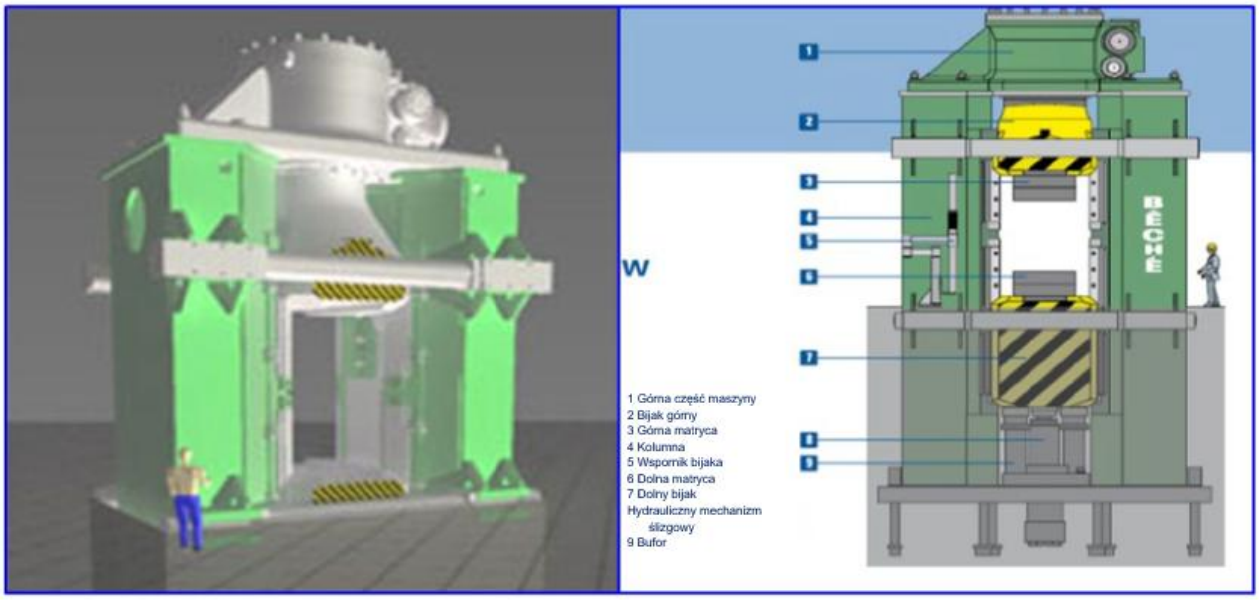
Typowe cechy młotów to: [137. Herbertz i in., 2013]

- stosunkowo niski koszt inwestycji;
- bardzo krótki czas sekwencji uderzeń;
- bardzo krótki czas kontaktu pomiędzy narzędziem kuźniczym a przedmiotem obrabianym;
- duża i dobrze kontrolowana energia uderzenia, która w przypadku małych odległości jest przekształcana w bardzo duże siły przekształcające;
- w większości przypadków, do ukończenia formowanego elementu wymagane jest kilka uderzeń/sekwencji uderzenie-podnoszenie;
- wysoka emisja hałasu, którego wpływ należy ograniczyć za pomocą środków ochronnych.

Młot przeciwuderzeniowy

Maszyny te zapewniają uderzenie udarowe i są używane do kucia na gorąco. Części ruchome składają się z dwóch różnych podzbiorów narzędzi, które zbliżają się do siebie jednocześnie. Połączenia, które zapewniają te ruchy, mogą być mechaniczne lub hydrauliczne. [161. CBM 2019]

Produkcja bardzo dużych i ciężkich kutych części metalowych wymaga odpowiednio dużej ilości energii formowania. Młoty dwustronnego działania (przeciwuderzeniowe) nie nadają się do tego zadania. Zamiast tego młoty przeciwuderzeniowe nie mają głowic złomowych, ale dwie głowice młota (dolną i górną), które poruszają się względem siebie. Zaletą tego rozwiązania jest zmniejszenie wibracji układu maszynowego, a silne uderzenia nie są już przenoszone na podstawę, a stamtąd na podłoże. [137. Herbertz i in., 2013]



Źródło: [161. CBM 2019].

Rysunek 1.12: Młot przeciwuderzeniowy

Jak podano w kwestionariuszu dotyczącym gromadzenia danych dla BREF SF, w UE-27 stosowane są następujące rodzaje młotów:

- młot swobodnego spadania;
- młot przeciwuderzeniowy; (napędzane gorącym powietrzem młoty przeciwuderzeniowe o konstrukcji sprzężonej taśmowo i hydraulicznie, takie jak młot przeciwuderzeniowy ze sprzężeniem taśmowym i młot przeciwuderzeniowy ze sprzężeniem hydraulicznym (DE006).
- młot parowy;
- młot dwustronnego działania

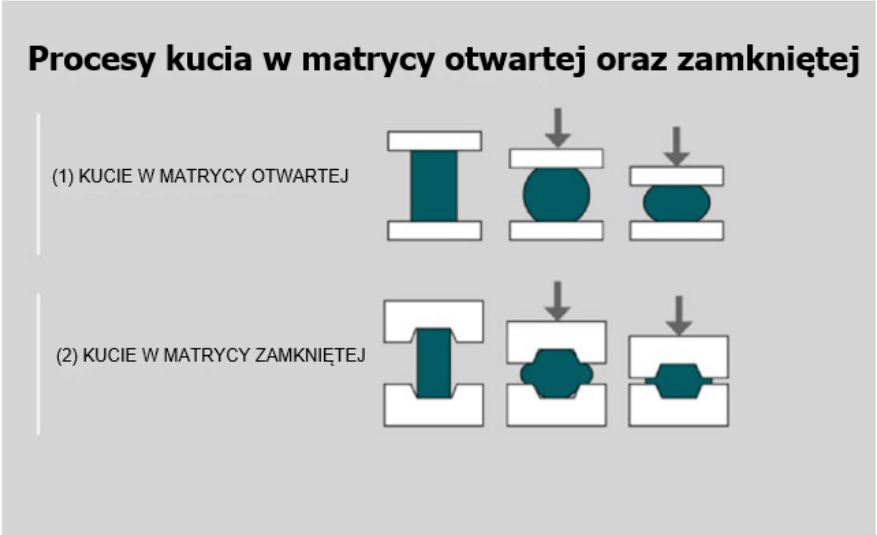
1.2.6.2 Kucie w matrycy otwartej oraz kucie w matrycy zamkniętej

Proces kucia w matrycy otwartej jest również znany jako kucie swobodne. Kawałek metalu jest odkształcany między wieloma matrycami, które nie otaczają go całkowicie. Matryce wbijają lub tłoczą metal poprzez serię ruchów, aby zmienić jego wymiary, aż do uzyskania pożądanego kształtu.

Proces kucia w matrycy zamkniętej nazywany jest również kuciem wyciskowym. Podczas tego procesu kawałek metalu jest ściskany pod wysokim ciśnieniem w celu wypełnienia wycisku w zamkniętej matrycy. W przypadku niektórych specjalnych kształtów wymagana jest druga operacja kucia w celu uzyskania ostatecznych kształtów i wymiarów. [157. Grillo 2017].

Techniki kucia w matrycy otwartej i zamkniętej są różne, jak to pokazano na Rysunku 1.13. Zasadniczo, w przypadku kucia w matrycy zamkniętej, najpierw wykonywane są matryce. Metalowe pręty są następnie umieszczane w matrycach i kute do pożądanych kształtów.

Technika kucia w matrycy zamkniętej wykorzystuje obróbkę mechaniczną podczas całego procesu w bardzo niewielkim stopniu lub nawet wcale. Możliwe jest również uzyskanie produktów końcowych o dużej dokładności.



Źródło: [157. Grillo 2017].

W przypadku kucia w matrycy otwartej, bardzo duże siły ściskające są nakładane przez ciągłe uderzenia młota kuźniczego lub powtarzające się operacje prasowania w celu odkształcenia kęsów metalu lub wlewek.

Elementy kute uzyskane w procesie kucia w matrycy otwartej i zamkniętej mają różne zastosowania końcowe.

Po procesie kucia w matrycy otwartej wymagana jest jeszcze zgrubna obróbka precyzyjna, ponieważ w wyniku młotkowania uzyskuje się niedokładne wymiary. Kucie w matrycy otwartej jest bardziej odpowiednie dla dużych części o wadze do kilku ton, ale waga obrabianych elementów może zaczynać się od 10-15 kg. Ogólnie rzecz biorąc, produkty w tej kategorii kucia obejmują kute długie wały, kute wałki, kute cylindry, kute pręty, tarcze, wykrawane tarcze, piasty, bloki, płyty (kute trójwymiarowo), kute rury, cylindry i inne odkuwki drążone, pierścienie kuźnicze, bezszwowe pierścienie walcowane i odkuwki cięte płomieniowo. Są one wykorzystywane w wielu sektorach, np. w kolejnictwie, lotnictwie, przemyśle stoczniowym, energetyce wiatrowej, wytwarzaniu energii i ciężkich maszynach. [151. Dirostahl DE 2020], [137, Herbertz i in., 2013]

Kucie w matrycy zamkniętej może być wykonywane do ciężaru przedmiotu obrabianego 1 - 1,5 t.

Wielkość partii produkcyjnej jest ważna przy wyborze metody kucia. Dla partii produkcyjnej od jednego do pięciu detali nie warto przygotowywać matrycy do kucia w matrycy zamkniętej. [148. Euroforge 2021]

Jednak w przypadku małych części preferowane jest kucie w matrycy zamkniętej, ponieważ w procesie uzyskuje się wyższą precyzję. Jest ona często stosowana do produkcji kutych kształtek, kutych kołnierzy, kutych części samochodowych itp. Przemysł naftowy, motoryzacyjny i wydobywczy to niektóre z branż, które polegają na kuciu w matrycy zamkniętej [157. Grillo 2017].

Natomiast górnictwo i pola naftowe są typowymi sektorami stosującymi kucie w matrycy otwartej [148. Euroforge 2021]

1.2.7 Postępowanie po zakończeniu obróbki

Po procesie kucia przeprowadza się kilka dodatkowych procesów obróbki i skrawania. Są one ważne dla osiągnięcia określonej jakości produktu.

1.2.7.1 Obróbka cieplna

Stan materiału obrabianych elementów po kuciu zazwyczaj nie spełnia wszystkich wymagań dotyczących ich zamierzonego zastosowania. Konieczne jest zatem zmodyfikowanie stanu materiału w taki sposób, aby na przykład twardość, wytrzymałość, ciągliwość lub odporność na zużycie były optymalnie dostosowane do różnych warunków konkretnego zastosowania. Odbywa się to poprzez obróbkę cieplną, proces kontrolowany pod względem czasu i temperatury i mający na celu osiągnięcie określonych właściwości materiału. [137. Herbertz i in., 2013]

Obróbka cieplna jest niezbędna do poprawy właściwości fizycznych produktów. Precyzyjnie kontrolowana obróbka cieplna pozwala osiągnąć właściwości fizyczne wymagane przez klienta lub określone w normie. Nowoczesne przyrządy pomiarowe i kontrolne określają lub kontrolują i optymalizują odpowiednią dla materiału obróbkę cieplną, taką jak normalizowanie, hartowanie lub wyżarzanie zmiękczające, aby produkt osiągnął wymagane właściwości fizyczne (twardość, wysoką wytrzymałość). [150. Stooss AG DE 2020].

Element jest następnie czyszczony przez obróbkę powierzchniową. Kontrola jakości przedmiotu obrabianego jest zwykle przeprowadzana po czyszczeniu, ale czasami jest również przeprowadzana pomiędzy poszczególnymi etapami procesu.

Więcej informacji na temat procesów obróbki powierzchniowej można znaleźć w dokumencie referencyjnym dotyczącym najlepszych dostępnych technik dla powierzchniowej obróbki metalu i materiałów z tworzyw sztucznych (STM BREF).

Osiągnięcie określonych właściwości materiału może odbywać się zarówno poprzez dostosowanie do cech funkcjonalnych elementu, takich jak odporność na rozciąganie i ciągliwość, jak i poprzez przygotowanie do późniejszego procesu/łańcucha procesów, takich jak kucie na zimno lub obróbka skrawaniem. Proces obróbki cieplnej może być zintegrowany z procesem produkcji lub oddzielony w czasie i przestrzeni od procesu przekształcania. [137. Herbertz i in., 2013]

Następujące procesy obróbki cieplnej działają na cały przekrój obrabianego przedmiotu:

- normalizowanie (wyżarzanie);
- utwardzanie i hartowanie/obróbka cieplna;
- kontrolowane/monitorowane chłodzenie po kuciu na gorąco;
- wyżarzanie ferrytyczno-perlityczne/ wyżarzanie izotermiczne;
- wyżarzanie zmiękczające;
- wyżarzanie odprężające;
- wyżarzanie rekrystalizacyjne;
- wyżarzanie w roztworze.

Następujące procesy mają wpływ na właściwości powierzchni komponentów:

- hartowanie powierzchniowe;
- hartowanie w obudowie/opakowaniu;
- azotowanie plazmowe.

Procesy obróbki cieplnej są zasadniczo definiowane przez następujące parametry:

- temperatura obróbki cieplnej;
- czas nagrzewania i przetrzymywania;
- atmosfera pieca;
- chłodzenie.

Stosowana temperatura zależy od materiału i wymaganego wyniku obróbki cieplnej. Na przykład dla stali o zawartości węgla 0,8 wt-%, typowa temperatura obróbki cieplnej wynosi 723 °C. Jeśli temperatura jest wyższa, materiał konstrukcyjny przechodzi fazę transformacji, którą można selektywnie zmodyfikować tylko poprzez odpowiedni proces chłodzenia. Jeśli temperatura jest niższa, obróbka cieplna jest

kontynuowana lub rozpoczyna się proces relaksacji celem złagodzenia łamliwości metalu wynikającej z procesu hartowania. W zależności od temperatury i materiału można uzyskać różne wartości wytrzymałości na rozciąganie obrabianych elementów.
Czas nagrzewania należy obliczać w taki sposób, aby wzrost temperatury następował możliwie stale/równomiernie w całym obrabianym przedmiocie. Pozwala to uniknąć lub ograniczyć odkształcenia/wypaczenia obrabianego materiału.
Czas podtrzymywania powinien być dobrany w określonym zakresie temperatur, tak aby wystąpiły pożądane zmiany strukturalne lub aby węgiel pierwiastkowy (w przypadku utwardzania przez nawęglanie) lub azot (w przypadku utwardzania azotem) mógł dyfundować do materiału.
Wybierając odpowiednie warunki w piecu, można uniknąć przebarwień oraz powstawania osadów/zgorzeliny na powierzchni przedmiotu podczas jego obróbki cieplnej. W takim przypadku tlen, który jest odpowiedzialny za przebarwienia i powstawanie osadów/zgorzeliny na powierzchni produktu, jest zastępowany obojętnymi gazami osłonowymi lub wytwarzana jest próżnia.
Poprzez hartowanie lub chłodzenie uzyskuje się zmianę warunków strukturalnych materiału do nowej utwardzonej struktury (martenzyt/bainit).

Normalizacja
Jej celem jest uzyskanie drobnoziarnistej, jednolitej tekstury. Dzięki normalizacji, wytworzona mikrostruktura stanowi najlepszą kombinację właściwości wytrzymałościowych i udarnościowych, przynajmniej w przypadku stali niestopowych. Odnosi się do normalnej struktury stali. Normalna struktura jest wytwarzana przez tę obróbkę cieplną w ukierunkowany i powtarzalny sposób.

Utwardzanie i odpuszczanie
Należy osiągnąć wymaganą wytrzymałość i udarność. Proces ten jest dwuetapowym procesem obróbki cieplnej składającym się zarówno z utwardzania, jak i późniejszego utwardzania/odpuszczania. Wysoką twardość/wytrzymałość na rozciąganie i niską udarność produktu uzyskuje się poprzez hartowanie. Podczas odpuszczania po etapie kucia cieplnego, utwardzanie odbywa się poprzez hartowanie. Eliminacja oddzielnego etapu procesu utwardzania zapewnia korzyści w zakresie kosztów i oszczędności energii.

Kontrolowane/monitorowane chłodzenie po kuciu na gorąco
Wymagana wytrzymałość i ciągliwość powinny zostać osiągnięte.
Obrabiane przez kucie elementy są schładzane w kontrolowany sposób z zachowaniem wymaganej sekwencji temperatur i czasu.
Przedmioty obrabiane są chłodzone powietrzem lub wodą. W celu zmniejszenia naprężeń wewnętrznych obrabianego przez kucie przedmiotu podczas chłodzenia powietrzem, stosuje się następujące metody: stosy na wolnym powietrzu, metalowe skrzynie lub doły, wypełnienia izolacyjne, piece. [211. M. Greger 2014].
Można zastosować kilka rodzajów systemów chłodzenia, takich jak bezpośredni system chłodzenia jednokrotnego, system chłodzenia jednokrotnego z chłodnią kominową lub pośredni system chłodzenia jednokrotnego [213. COM 2001], a także zamknięty system chłodzenia (zamknięty system recyrkulacji/sucha chłodnia kominowa).
Podczas stosowania bezpośredniego systemu chłodzenia jednokrotnego wykorzystywana jest określona ilość wody ze źródła (np. rzeki, jeziora, morza lub ujścia rzeki). Ciepło obrabianego przedmiotu jest przenoszone do chłodziwa (wody) i bezpośrednio odprowadzane z powrotem do wód powierzchniowych. Pośrednie systemy chłodzenia jednokrotnego są podobne do systemów bezpośrednich z tą różnicą, że nie ma bezpośredniego transferu z płynu procesowego/pary do odprowadzanego chłodziwa. [213. COM 2001].

Głównymi czynnikami decydującymi o wyborze systemu chłodzenia są:
- minimalizacja zużycia energii;
- minimalizacja emisji ciepła;
- minimalizacja emisji do wody;
- minimalizacja emisji hałasu. [213. COM 2001].

Więcej informacji na temat wyżej wymienionych systemów chłodzenia można znaleźć w dokumencie referencyjnym dotyczącym stosowania najlepszych dostępnych technik w przemysłowych systemach chłodzenia (ICS BREF). Dla jednokrotnych systemów chłodzenia, zob. Sekcja 2.3; dla systemów chłodzenia w obiegu zamkniętym, zob. Sekcja 2.5 dokumentu ICS BREF. [213. COM 2001].

Hartowanie
Hartowanie to proces szybkiego chłodzenia kutych elementów. W przypadku stopów żelaza (takich jak stal stopowa, stal węglowa i niektóre stale nierdzewne), często powoduje to powstanie twardszego metalu

poprzez przekształcenie austenitu w martenzyt, podczas gdy stopy nieżelazne (mosiądz, aluminium, niektóre stale nierdzewne i nadstopy itp.) zwykle stają się bardziej miękkie niż normalnie. [215. CFS Forge 2017].

Do hartowania można stosować różne media, tj. wodę, olej lub sprężone powietrze, które mogą różnić się pod względem wpływu na środowisko, kosztów i oddziaływania na obrabiany przedmiot metalowy.

Wyżarzanie ferrytyczno-perlityczne / wyżarzanie izotermiczne
Jego celem jest uzyskanie jednolitej struktury produktu o dobrej szlifowalności/obrabialności. Wyżarzanie ferrytyczno-perlityczne/izotermiczne oznacza obróbkę na strukturze ferrytyczno-perlitycznej. Po nagrzaniu w zakresie temperatur normalnego wyżarzania przeprowadza się szybkie chłodzenie do temperatury wyżarzania izotermicznego.

Wyżarzanie zmiękczające
Jego celem jest zapewnienie jak największej miękkości stali. Stal miękka ułatwia obróbkę skrawaniem/usuwanie wiórów lub późniejsze formowanie materiału na zimno.

Wyżarzanie odprężające
Celem tego typu wyżarzania jest zminimalizowanie współczynnika naprężeń wewnętrznych bez wpływu na podstawowe właściwości mechaniczne. Wewnętrzne naprężenia/odkształcenia mogą powstać w wyniku procesu kucia na zimno lub nieregularnego/nierównomiernego chłodzenia po procesie kucia na gorąco lub po procesie obróbki cieplnej.

Wyżarzanie rekrystalizacyjne
Krzepnięcie/utwardzanie materiału spowodowane kuciem na zimno powinno zostać odwrócone.

Temperatura wyżarzania w dużej mierze zależy od początkowej struktury materiału i stopnia odkształcenia podczas kucia na zimno i zazwyczaj wynosi od 600 °C do 700 °C. Ogrzewanie odbywa się stosunkowo szybko, a chłodzenie jest zwykle przeprowadzane przez stacjonarne/nieruchome powietrze.

Wyżarzanie w roztworze
Proces ten jest przeprowadzany w celu uzyskania jednolitych i jednorodnych właściwości strukturalnych i materiałowych. Wyżarzanie przeprowadza się w zakresie temperatur od 950 °C do 1 200 °C. Chłodzenie odbywa się poprzez hartowanie w wodzie lub, w przypadku materiałów o cienkich przekrojach, poprzez szybkie chłodzenie powietrzem.

Utwardzanie powierzchniowe
Utwardzanie powierzchniowe ma na celu utwardzanie powierzchni metalowego przedmiotu, jednocześnie pozwalając metalowi pod spodem pozostać miękkim, tworząc w ten sposób na powierzchni cienką warstwę twardszego metalu.
Powłoka przypowierzchniowa jest podgrzewana do temperatury utwardzania za pomocą ograniczonego przestrzennie dopływu ciepła, a następnie hartowana.

Utwardzanie przez nawęglanie
Jego celem jest utwardzanie powierzchni bez zmniejszania plastyczności/wytrzymałości rdzenia przedmiotu obrabianego. Utwardzanie przez nawęglanie jest jednym z procesów termochemicznych. W ramach tego procesu warstwa krawędziowa komponentów i narzędzi jest nawęglana medium emitującym węgiel, a następnie hartowana.

Azotowanie plazmowe
Oprócz utwardzania powierzchni, ważna jest również poprawa właściwości ciernych i ślizgowych oraz tworzenie powłok odpornych na korozję. Azotowanie plazmowe jest jednym z procesów termochemicznej obróbki cieplnej przeprowadzanych w temperaturach od 350 °C do 600 °C. Wzrost twardości uzyskuje się poprzez tworzenie bardzo twardych związków azotu w warstwie brzegowej obrabianego przedmiotu. [170. REESE 2020].

Proces ten odbywa się w mieszaninie gazów składającej się z azotu i wodoru. W razie potrzeby można również użyć gazu oddającego węgiel. Wymagana temperatura jest stosunkowo niska. Ponadto między ścianą pieca a jego komorą wytwarzane jest napięcie. Prowadzi to bezpośrednio do wytworzenia zjonizowanej atmosfery w komorze pieca, tak zwanej plazmy, w której jony uderzają w powierzchnię elementu i generują azotki bogate w azot. Po ich rozpadzie powierzchnia materiału zostaje wzbogacona o azot atomowy. W zależności od składu mieszaniny gazów można uzyskać różne powierzchnie i stopnie twardości.

[137. Herbertz i in., 2013].

1.2.7.2 Obróbka mechaniczna

Metody obróbki mechanicznej charakteryzują się:

- bardzo wysoką dokładnością; oraz
- bardzo dobrą jakością obrabianych powierzchni.

Połączenie procesów kucia matrycowego i obróbki mechanicznej umożliwia wykorzystanie specyficznych zalet obu procesów w celu ekonomicznego wytworzenia gotowego do użycia komponentu o niemal dowolnej geometrii i najwyższej możliwej jakości. Produkty kute są zwykle przekształcane w gotowe do użycia komponenty poprzez późniejszą obróbkę skrawaniem.



Źródło: [137. Herbertz i in., 2013]

Rysunek 1.14: Kucie przed (po lewej) i po obróbce mechanicznej (po prawej)

Zazwyczaj główna część komponentu pozostaje nieprzetworzona; tylko kilka funkcjonalnych powierzchni, takich jak punkty odniesienia/lokalizacyjne w pozycjach łożysk i punkty mocowania, są przetwarzane przez późniejszą obróbkę skrawaniem.
W przypadku obróbki mechanicznej, wybrane procesy obróbki, materiały do cięcia oraz parametry cięcia zależą od:

- obrabianego surowca;
- jego składu oraz warunków obróbki cieplnej;
- wielkości oraz wymaganej jakości obrabianych powierzchni.

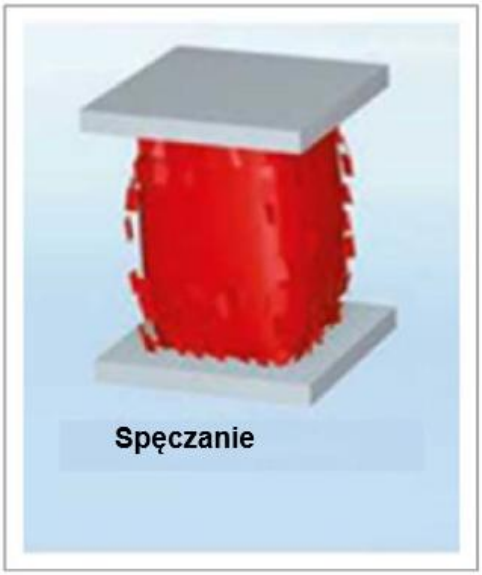
Stosowane są standardowe metody obróbki, takie jak toczenie, wiercenie i frezowanie, a także specjalne procesy/technologie. [137. Herbertz i in., 2013].

1.2.7.2.1 Usuwanie osadów/zgorzeliny

Podczas procesu nagrzewania wysokie temperatury sięgające 1 300 °C powodują utlenianie powierzchni obrabianego przedmiotu. Zależy to również od czasu trwania procesu nagrzewania. Powstała warstwa zgorzeliny spowodowałaby wady powierzchni kutego przedmiotu i zwiększone zużycie narzędzia. Usuwanie zgorzeliny/osadów jest stosowane w procesie kucia na gorąco lub na ciepło materiałów stalowych.
Celem jest usunięcie luźno przylegającej warstwy zgorzeliny z powierzchni podgrzanego obrabianego przedmiotu. Usuwanie zgorzeliny może odbywać się poprzez kształtowanie/formowanie, np. spęczanie lub inne procesy ściskania, za pomocą wody pod ciśnieniem lub szczotek.
[137. Herbertz i in., 2013].

Usuwanie osadów/zgorzeliny (odkamienianie) poprzez spęczanie (kompresję)

W wyniku spęczania (kompresji) obrabiany przedmiot ulega niewielkiej przemianie, co powoduje spłaszczenie kruchej/trudno topliwej warstwy zgorzeliny/tlenku, jak to pokazano na poniższym rysunku.



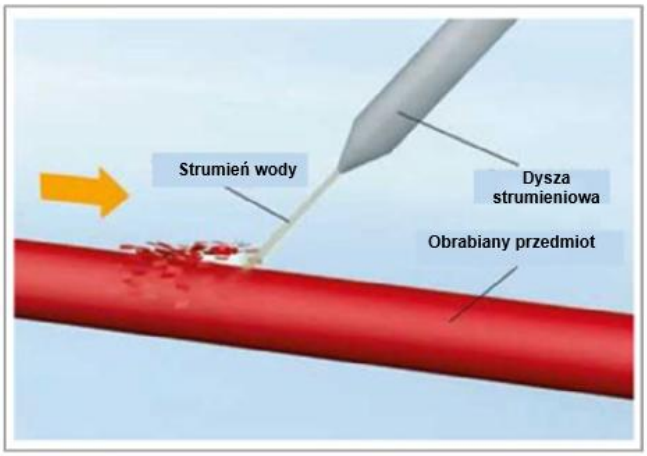
Źródło: [137. Herbertz i in., 2013]

Rysunek 1.15: Usuwanie osadów poprzez spęczanie

Zalety	Przeprowadzając delikatne formowanie możliwe jest już usunięcie zgorzeliny. Jednocześnie, spęczanie może być również wykorzystywane do wstępnej dystrybucji masy.
Wady	Nie zawsze udaje się w pełni usunąć zgorzelinę z całej powierzchni obrabianego przedmiotu.
Zastosowania	Procesy kucia, w których nie stosuje się kucia walcowego ani innych operacji obróbki wstępnej.
Źródło: [137, Herbertz i in., 2013].	

Usuwanie osadów/zgorzeliny (odkamienianie) za pomocą wody pod ciśnieniem

Podczas usuwania osadów/zgorzeliny za pomocą wody pod ciśnieniem na rozgrzany element natryskiwana jest woda pod ciśnieniem do 500 barów. Parująca woda, termiczne kurczenie się powierzchni oraz energia mechaniczna strumienia wody usuwają luźno przylegającą warstwę tlenku. [137, Herbertz et al., 2013]



Źródło: [137, Herbertz i in., 2013].

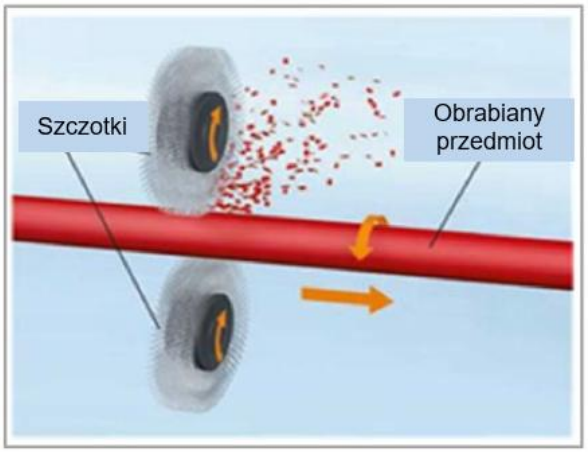
Rysunek 1.16: Usuwanie osadów/zgorzeliny z wykorzystaniem wody pod ciśnieniem

Zalety	Usuwanie osadów/zgorzeliny może być dobrze zintegrowane z łańcuchem procesu.

Wady	W przypadku małych przekrojów, obrabiany przedmiot może zbyt mocno się ochłodzić. Dotyczy tylko większych elementów, które mogą pozostać stabilne. Obszar roboczy produktu jest tylko częściowo odkamieniany.
Zastosowania	Usuwanie zgorzeliny wodą pod ciśnieniem jest stosowane głównie w przypadku elementów o dużej masie wsadu.
Źródło: [137, Herbertz i in., 2013].	

Usuwanie osadów/zgorzeliny za pomocą szczotek (szczotkowanie)

Podczas usuwania osadów/zgorzeliny za pomocą szczotek, luźno przylegająca warstwa zgorzeliny/tlenku oraz inne zanieczyszczenia znajdujące się na powierzchni są usuwane mechanicznie za pomocą obracających się szczotek z drutu stalowego (zob. rysunek poniżej). [137. Herbertz i in., 2013].



Źródło: [137, Herbertz i in., 2013].

Rysunek 1.17: Usuwanie osadów/zgorzeliny za pomocą szczotek

Zalety	Usuwanie osadów/zgorzeliny może odbywać się automatycznie jako proces ciągły.
Wady	Zużycie szczotek, które należy regulować lub wymieniać w zależności od stopnia zużycia.
Zastosowania	Ze względu na duże zużycie drutów stalowych, szczotki są zwykle częściowo wykorzystywane w procesie nagrzewania z wykorzystaniem przewodnictwa cieplnego w celu oczyszczenia końców odcinków materiału oraz usunięcia niewielkich zadziorów. Aby uniknąć skoków prądu na elektrodach jednostki/układu przewodzącego, konieczne jest utrzymywanie powierzchni styku w czystości i bez zadziorów. W praktyce metoda ta nie jest on często używana. [148. Euroforge 2021].
Źródło: [137, Herbertz i in., 2013].	

1.2.7.2.2 Śrutowanie (obróbka strumieniowo-ścierna)

Śrutowanie służy przede wszystkim do oczyszczania powierzchni komponentów, ale może być również stosowane w celu zwiększenia ich trwałości.

Obrabiane przedmioty są poddawane procesowi usuwania zgorzeliny za pomocą kulek lub pociętego drutu/granulek drutu/śrutu. W wyniku zestalania się powierzchni związanego z usuwaniem zgorzeliny oraz wewnętrznego/chwilowego naprężenia ściskającego obrabianego przedmiotu, dynamiczna odporność na usuwanie zgorzeliny może zostać zwiększona. Śrutowanie to najczęściej stosowana technika usuwania zgorzeliny.

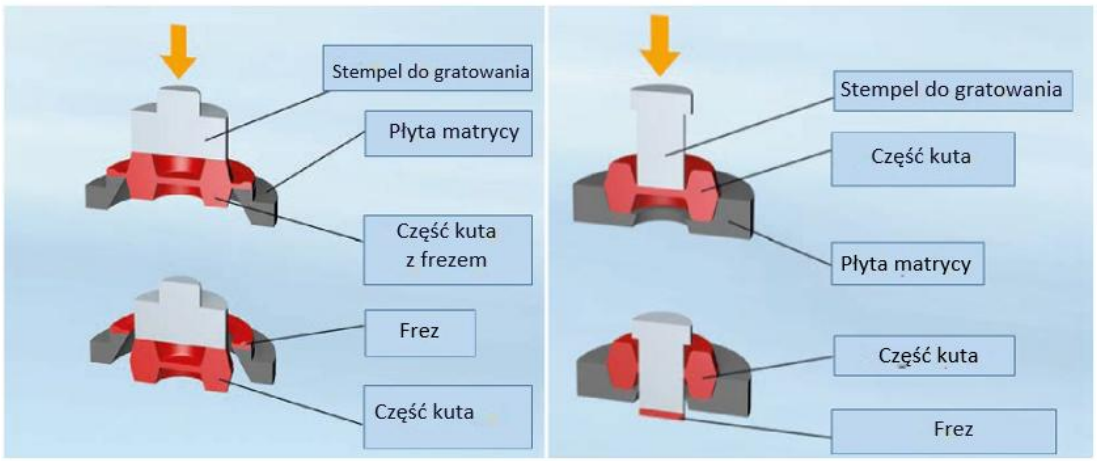
Podczas procesu bezpowietrznego oczyszczania drogą śrutowania, ścierniwo jest przyspieszane przez szybkoobrotową tarczę śrutowniczą i jest z dużą prędkością wydmuchiwane na powierzchnię elementu. Energia kinetyczna stalowych cząsteczek usuwa zgorzelinę lub warstwę tlenku i, biorąc pod uwagę, że dostępna jest odpowiednio wysoka energia, powoduje lokalne odkształcenie plastyczne powierzchni obrabianego przedmiotu. Obracający się cylinder śrutownicy zapewnia ciągły ruch obrabianych elementów wewnątrz cylindra, dzięki czemu wszystkie obrabiane elementy i cała ich powierzchnia są pokryte stożkiem śrutującym.

Materiał do śrutowania/ścierny jest wybierany w zależności od wymagań dotyczących jakości powierzchni. Zwykle stosowany metaliczny środek śrutujący jest dostępny w kształcie kątowym lub kulistym, w różnych

rozmiarach cząstek i o różnej twardości.
[137. Herbertz i in., 2013].

1.2.7.2.3 Gratowanie oraz wykrawanie

W przypadku gratowania usuwane są zewnętrzne zadziory odkuwki. Podczas procesu wykrawania usuwany jest tzw. wewnętrzny błysk (*inner flash*) (obszar lustrzany). Rozróżnia się proces gratowania na zimno i na gorąco.
Wielozadaniowe narzędzia i maszyny, np. narzędzia progresywne, są powszechnie stosowane w celu połączenia procesów gratowania i wykrawania/szlifowania. [137. Herbertz i in., 2013].



Źródło: [137, Herbertz i in., 2013].

Rysunek 1.18: Gratowanie oraz stemplowanie

Proces gratowania na gorąco i na zimno

Gratowanie na gorąco	Zalety	Proces gratowania na gorąco jest zintegrowany z linią produkcyjną. Siły skrawania są niskie ze względu na wysoką temperaturę.
	Wady	Wysokie temperatury komponentów powodują zmiany ich geometrii oraz mogą mieć negatywny wpływ na jakość gratowania i wycinania otworów. Integracja z linią produkcyjną zwiększa nakłady związane z ustawianiem i korygowaniem podczas pracy na gorąco.
Gratowanie na zimno	Zalety	Oddzielenie procesu gratowania na zimno od etapu roboczego w linii kucia pozwala na większą wydajność gratowania.
	Wady	Rozdzielenie operacji wymaga pośredniego buforowania, a tym samym wielokrotnej obsługi komponentów.
Gratowanie na gorąco i na zimno	Zastosowania	Kucie części dla wszystkich typów frezu oraz stempli.
Źródło: [137, Herbertz i in., 2013]		

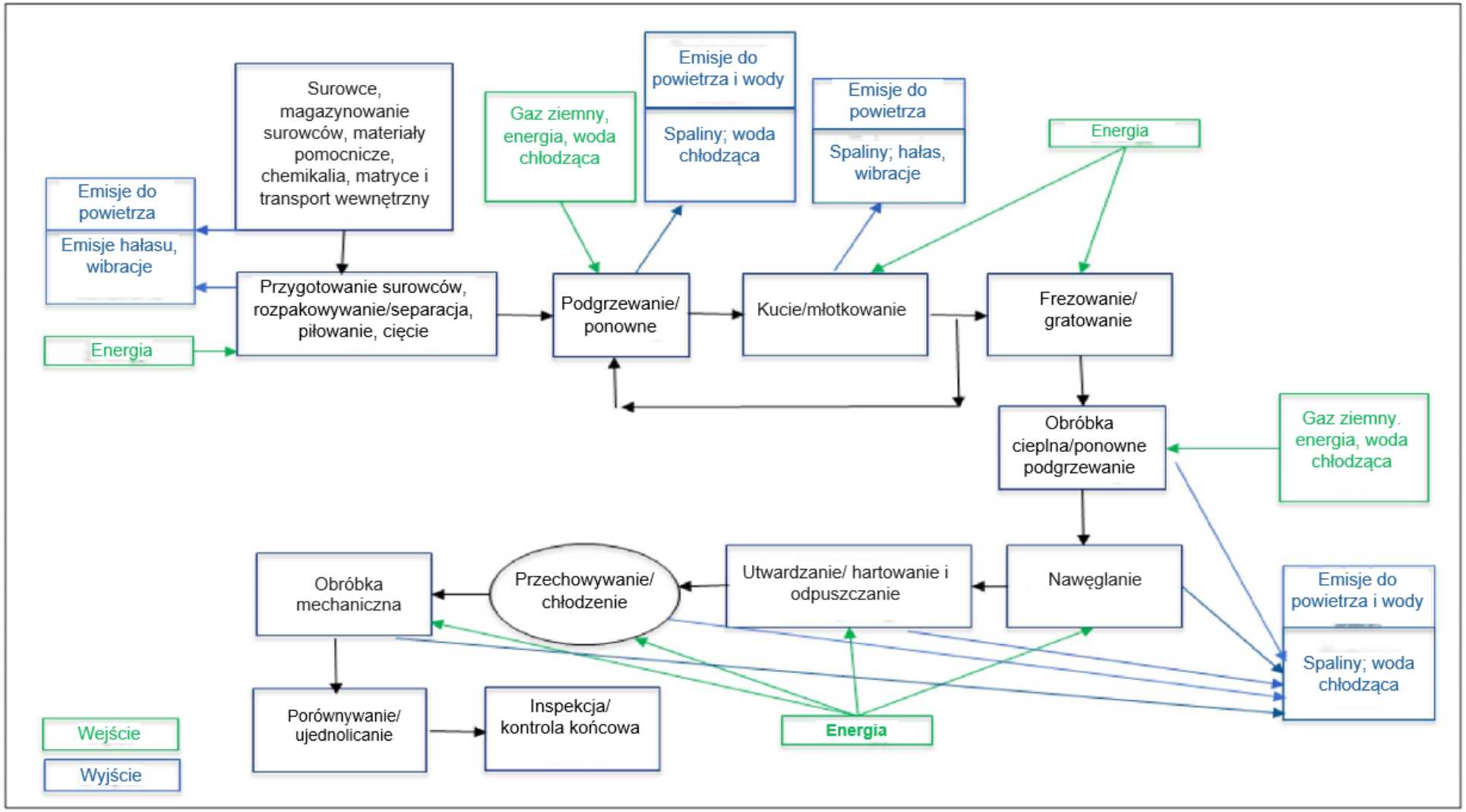
1.2.7.3 Wykańczanie

Ze względów procesowych lub w celu zapobiegania korozji elementów obrabianych może być konieczne nałożenie powłoki. Jednakże, powlekanie może być również przeprowadzane w celu wykończenia powierzchni. Nakładanie powłok odbywa się głównie poprzez zanurzanie lub natrysk. Wybór materiału powłoki zależy od jej przeznaczenia. [137. Herbertz i in., 2013].

1.3 Obecne poziomy zużycia i emisji w kuźniach

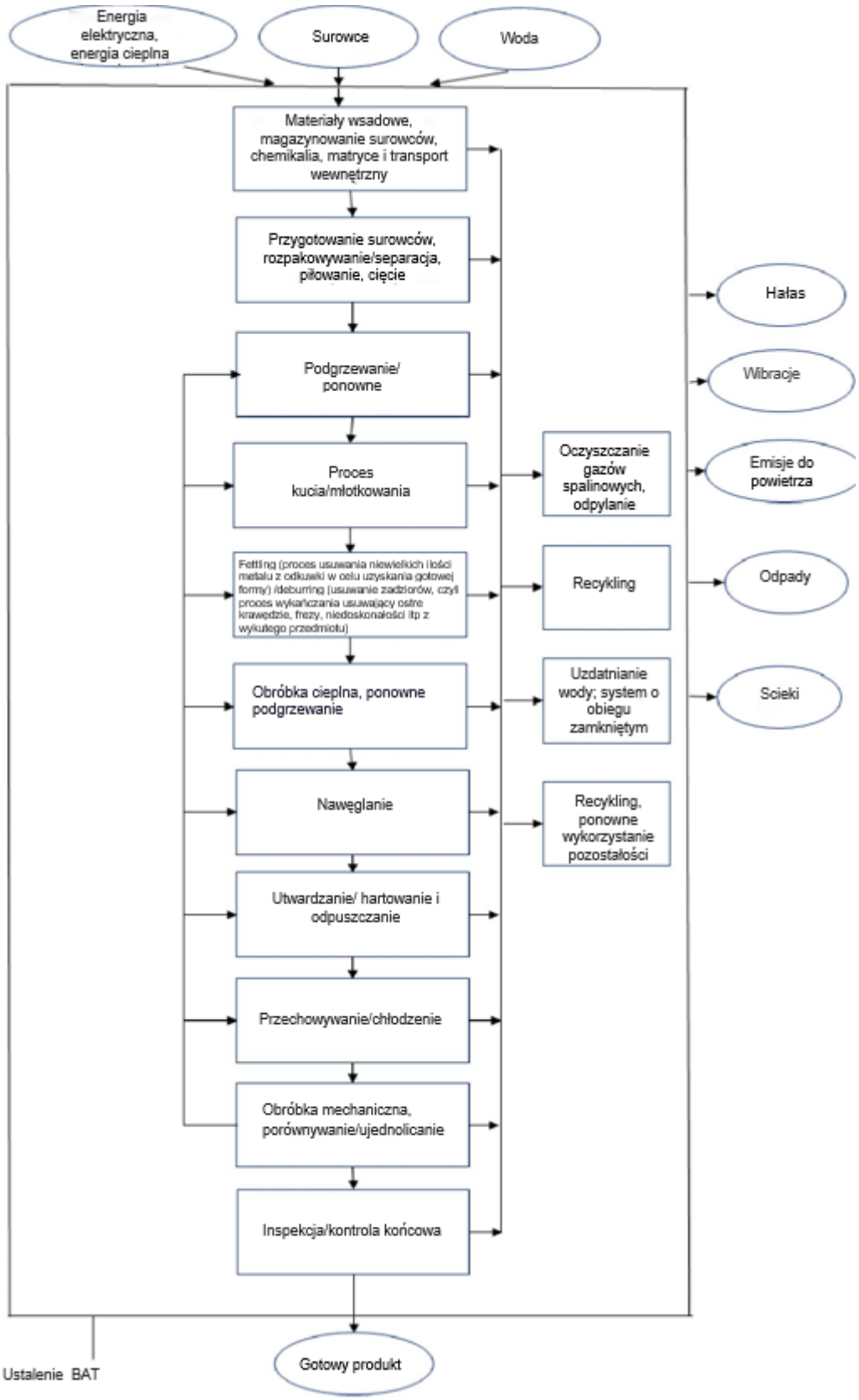
Podczas trwania procesu produkcyjnego w kuźni powstają emisje do powietrza, emisje hałasu oraz wibracje. Co więcej, generowane są również pozostałości/straty procesowe/odpady oraz, w rzadkich przypadkach, emisje do wody.
Rysunki 1.19 oraz 1.20 przedstawiają schematy przepływu procesu oraz możliwe punkty i rodzaje emisji, a także zużycie energii (zaadaptowane z informacji/schematów przepływu dostarczonych przez zakłady DE004 i DE006). Energia (elektryczna i/lub cieplna) jest zużywana na wszystkich etapach procesu. Ponadto

na Rysunku 1.21 przedstawiono przepływ wejściowy oraz wyjściowy (zaadaptowany z informacji/schematów przepływu dostarczonych przez zakład DE006).



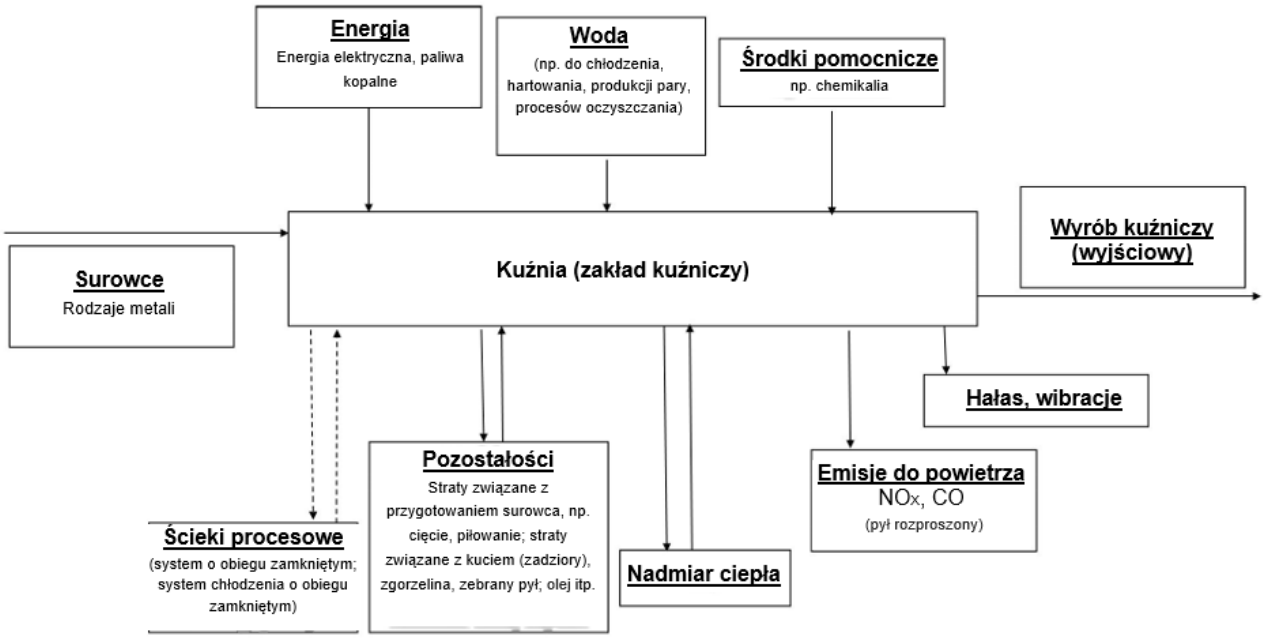
Źródło: Zaadaptowane z [169. TWG 2021].

Rysunek 1.19: Przykład uproszczonego schematu przepływu procesu w kuźni wraz z emisjami, które mogą powstać, oraz zużyciem energii na poziomie procesu.



Źródło: Zaadaptowane z [169. TWG 2021].

Rysunek 1.20: Schemat przepływu procesu w kuźni z uwzględnieniem możliwych rodzajów emisji



Źródło: Zaadaptowane z [169. TWG 2021].

Rysunek 1.21: Przepływ wejściowy i wyjściowy w kuźni

1.3.1 Zużycie wody

Woda jest wykorzystywana na różnych etapach procesu produkcyjnego, a także w procedurach czyszczenia, np.:

- do chłodzenia i hartowania;
- jako woda pomocnicza, np. do wytwarzania oparów i próżni oraz produkcji pary;
- do procesów czyszczenia.

Jak poinformowały zakłady DE001, DE002, DE005, DE007, ES008 i PL009, w celu zminimalizowania zużycia wody stosowane są zamknięte obiegi/systemy chłodzenia. [169. TWG 2021].
Zgodnie z decyzją posiedzenia inauguracyjnego (*KoM, kick-off meeting*), zużycie wody nie jest kluczową kwestią środowiskową (*KEI, key environmental issue*) w kuźniach.

1.3.2 Zużycie materiałów - wydajność materiałowa

[137. Herbertz i in., 2013].
Wszystkie metale i stopy metali nadają się do kucia matrycowego (zob. Sekcja 1.2.2). Wykorzystywana jest też duża grupa stali konstrukcyjnych.
Surowiec dostarczany jest głównie w postaci prętów okrągłych lub kwadratowych. Długość prętów wynosi do 12 m. W przypadku okrągłych sekcji o małej średnicy, obrabiany materiał może być zwinięty w zwoje, jako materiał ciągły.
Trwa opracowywanie materiałów stalowych do kucia komponentów. Ulepszone profile właściwości zostaną opracowane dzięki nowym stopom i procesom, co doprowadzi w konkretnych zastosowaniach do obniżenia kosztów lub poprawy wydajności. Zarówno dobrze znane grupy stali, takie jak stale ulepszane cieplnie lub utwardzane wydzieleniowo stale ferrytyczno-perlityczne, będą dalej optymalizowane, jak i opracowywane będą nowe grupy stali, takie jak stale bainityczne.

Zastosowanie systemu projektowania wspomaganego komputerowo (*computer-aided design, CAD*) może zoptymalizować ilość wykorzystywanych surowców. Symulacja procesów kucia pozwala między innymi ograniczyć liczbę testów kucia oraz optymalizować geometrię odkuwek, co może prowadzić do efektywnego wykorzystywania surowców.
[210. TWG 2022]. Błędy i pomyłki podczas procesu projektowania produktów mogą prowadzić do powstawania pozostałości/odpadów na późniejszym etapie procesu. Korzystając z CAD, można zminimalizować liczbę błędów do zera, co również zwiększa wydajność materiałową, np. wykorzystanie mniejszej ilości surowców i/lub zmniejszenie ilości pozostałości/odpadów.

1.3.3 Zużycie energii - efektywność energetyczna

Przemysł kuźniczy jest, w zależności od stosowanego procesu, przemysłem o wysokim zużyciu energii. Paliwa i energia elektryczna to dwa główne rodzaje energii wykorzystywanej w kuźni. Efektywność energetyczna (zarówno cieplna, jak i elektryczna) zawsze była priorytetem dla europejskiego przemysłu kuźniczego jako część ogólnych decyzji biznesowych, napędzanych potrzebami ekonomicznymi i technologicznymi.

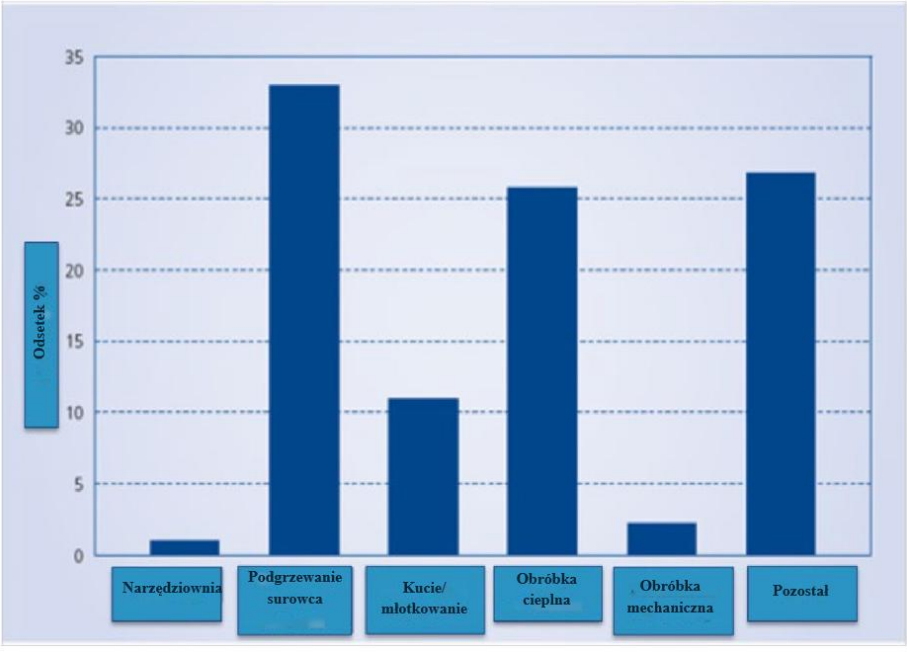
Kuźnie wymagają energii elektrycznej i cieplnej praktycznie na każdym etapie procesu, np. przygotowania surowca, podgrzewania/ponownego podgrzewania, obróbki cieplnej, kucia/młotkowania, obróbki mechanicznej czy wykańczania. Energia elektryczna jest potrzebna do sterowania procesem w instalacji, do ogrzewania, zasilania maszyn, w tym urządzeń do kucia i podgrzewania (indukcyjnego), a także do oświetlenia. Również obróbka mechaniczna po procesie kucia wykorzystuje energię elektryczną. [148. Euroforge 2021].

Energia elektryczna jest zwykle wytwarzana i dostarczana przez przedsiębiorstwa komunalne. Gdy para i energia elektryczna są wytwarzane na miejscu, współczynnik wydajności może być znacznie wyższy. Energia oparta na paliwie jest potrzebna do ogrzewania linii technologicznych/pieców kuźniczych i budynków [168. COM 2022].

Zużycie energii przez piece zależy od kilku parametrów, takich jak:

- typ pieca (typu przepychowego, z paleniskiem wózkowym, komorowe, z belką kroczącą itp.);
- wydajność i harmonogram zmian (czas pracy);
- konstrukcja palnika;
- zastosowanie palników regeneracyjnych lub rekuperacyjnych;
- zdolność produkcyjna pieca;
- rozmieszczenie stref grzewczych;
- temperatura ładowania wsadu;
- temperatura podgrzewania i rozładowywania;
- dokładność regulacji termicznej;
- stopień izolacji pieca;
- zawartość O_2 w atmosferze pieca;
- wielkość produktu [168. COM 2022].

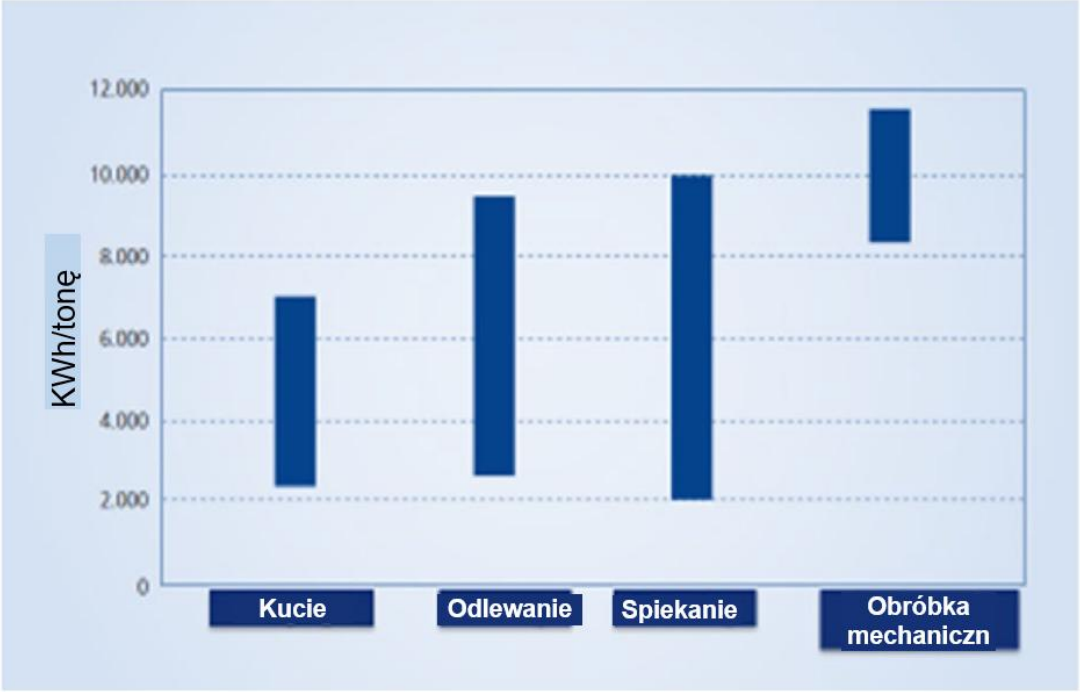
W procesie kucia na gorąco prawie 33% całkowitego nakładu energii zużywane jest na proces podgrzewania, 11% na proces kucia, 26% na obróbkę cieplną, 1% na produkcję narzędzi, 2% na obróbkę mechaniczną, a także 27% na inne obszary instalacji i procesy, np. ogrzewanie hal produkcyjnych. [146. Ade 2017].



Źródło: [146. Ade 2017]

Rysunek 1.22: Procentowe zużycie energii na poszczególnych etapach kucia na gorąco

Zużycie energii różni się znacznie w odniesieniu do energii grzewczej, a zapotrzebowanie na obróbkę końcową należy również wziąć pod uwagę przy rozważaniu całkowitego zapotrzebowania na energię.
Głównymi odbiorcami energii elektrycznej są piece grzewcze wykorzystywane do podgrzewania i ponownego podgrzewania obrabianych przedmiotów za pomocą ogrzewania indukcyjnego lub przewodzącego.
Aby podgrzać tonę stali do temperatury kucia 1 200 °C za pomocą elektrycznego ogrzewania indukcyjnego, wymagane jest zużycie energii elektrycznej od 400 kWh do 500 kWh. W porównaniu z tym, piece gazowe wymagają od 1 200 kWh/t do 2 500 kWh/t, aby zapewnić taką samą temperaturę kucia. [146. Ade 2017]
W przypadku kucia na gorąco zużycie energii wynosi od 900 kWh do 4 500 kWh na tonę gotowego produktu, w zależności od produkowanego elementu.
Rysunek 1.23 porównuje zużycie energii w kuźniach z innymi procesami produkcyjnymi.



Źródło: [146. Ade 2017]

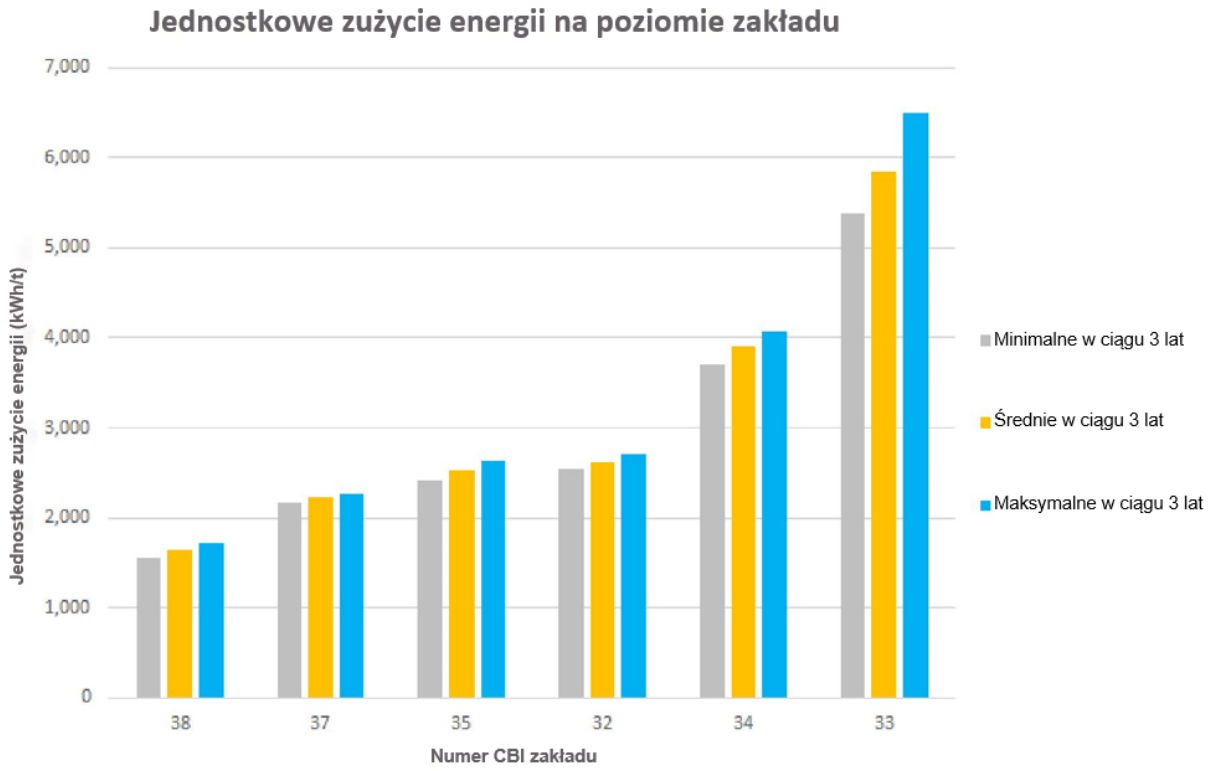
Rysunek 1.23: Zużycie energii w różnych procesach w kWh/tonę

Dane dotyczące zużycia energii pochodzą z lat 2017, 2018 i 2019. [169. TWG 2021].

Postępowanie z poufnymi informacjami handlowymi (*confidential business information, CBI*)
Dane dotyczące zużycia energii zostały uznane przez operatorów elektrowni za CBI. Aby zachować poufność danych, nazwy zakładów nie są bezpośrednio wymieniane na wykresach opisujących zużycie energii, ale są zastępowane anonimowymi i losowo przypisanymi kodami CBI. Ponadto nie uwzględniono żadnych informacji kontekstowych (np. parametrów procesu lub zastosowanych technik), ponieważ mogłoby to ujawnić tożsamość zakładów. Wszystkie dane dotyczące zużycia energii są przedstawione w porządku rosnącym według maksymalnych wartości jednostkowego zużycia energii.

1.3.3.1 Jednostkowe zużycie energii na poziomie zakładu

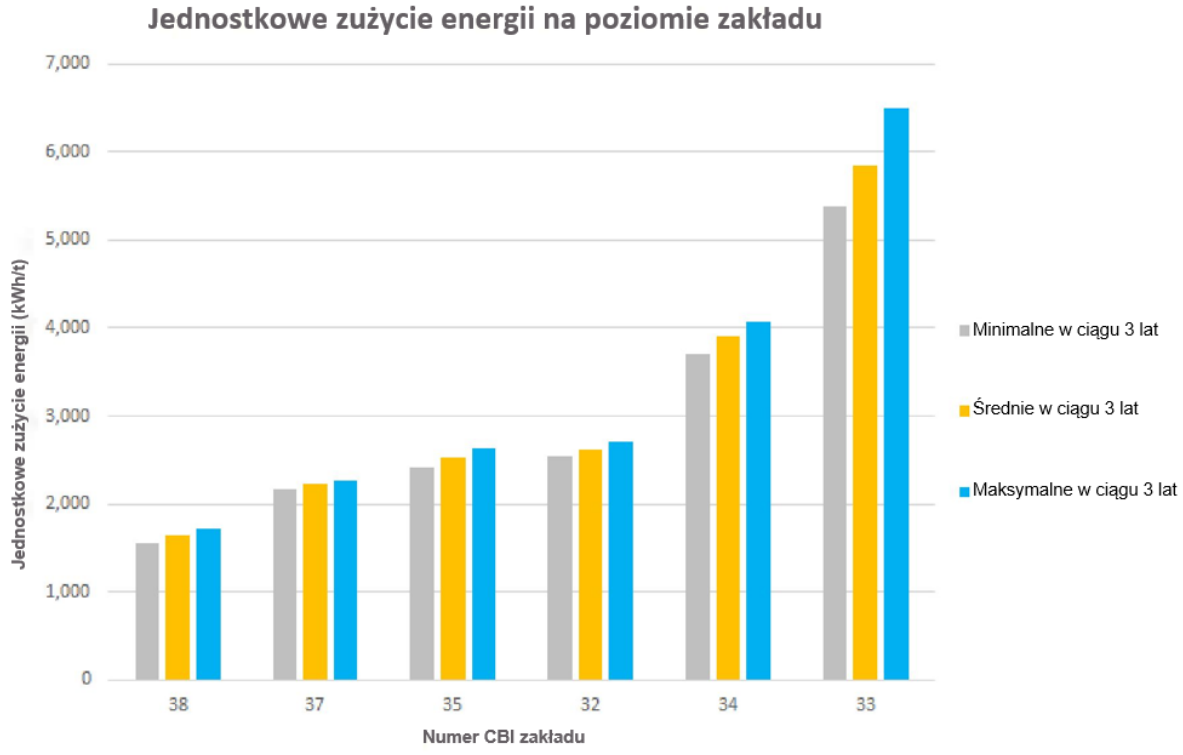
Zgłoszone poziomy jednostkowego zużycia energii netto na poziomie zakładu przedstawiono na Rysunku 1.24.



Źródło: [169. TWG 2021], [210. TWG 2022]

Rysunek 1.24: Jednostkowe zużycie energii netto na poziomie zakładu (w kWh/t materiału wsadowego) według numeru CBI zakładu

Zgłoszone jednostkowe zużycie energii elektrycznej na poziomie zakładu przedstawiono na Rysunku 1.25.



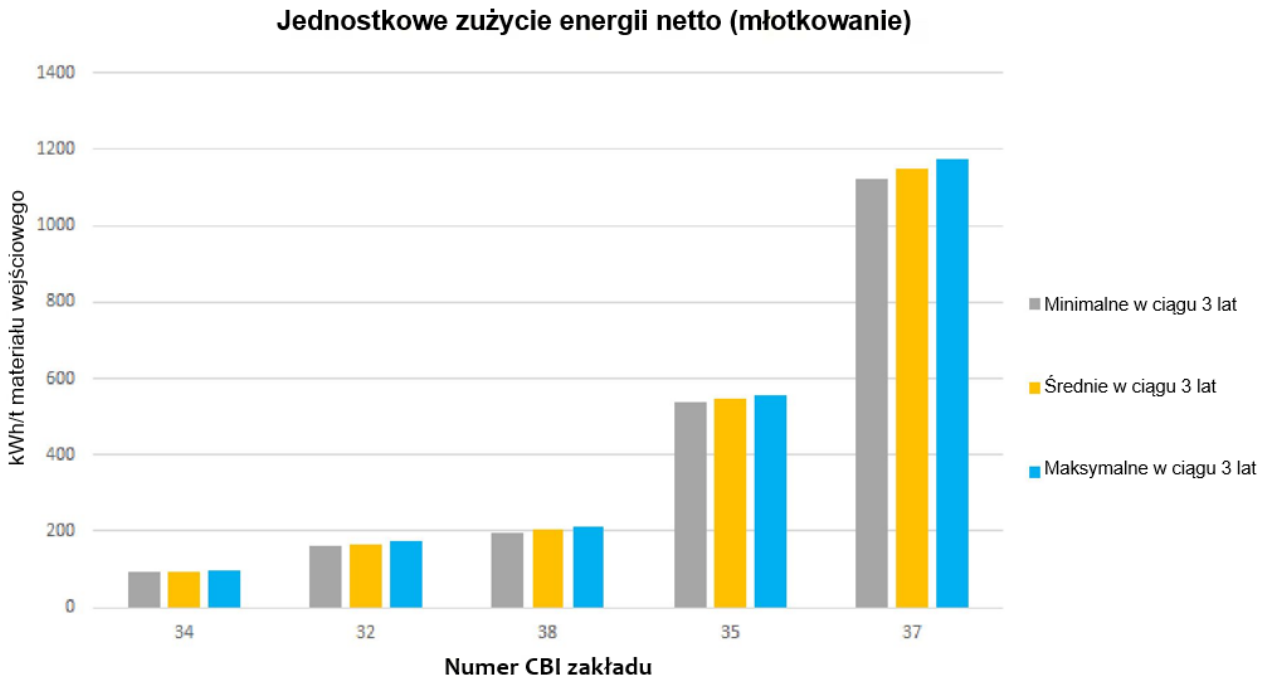
Źródło: [169. TWG 2021], [210. TWG 2022]

Rysunek 1.25: Jednostkowe zużycie energii elektrycznej na poziomie zakładu (w kWh/t materiału wsadowego)

1.3.3.2 Jednostkowe zużycie energii na poziomie procesu

Młotkowanie

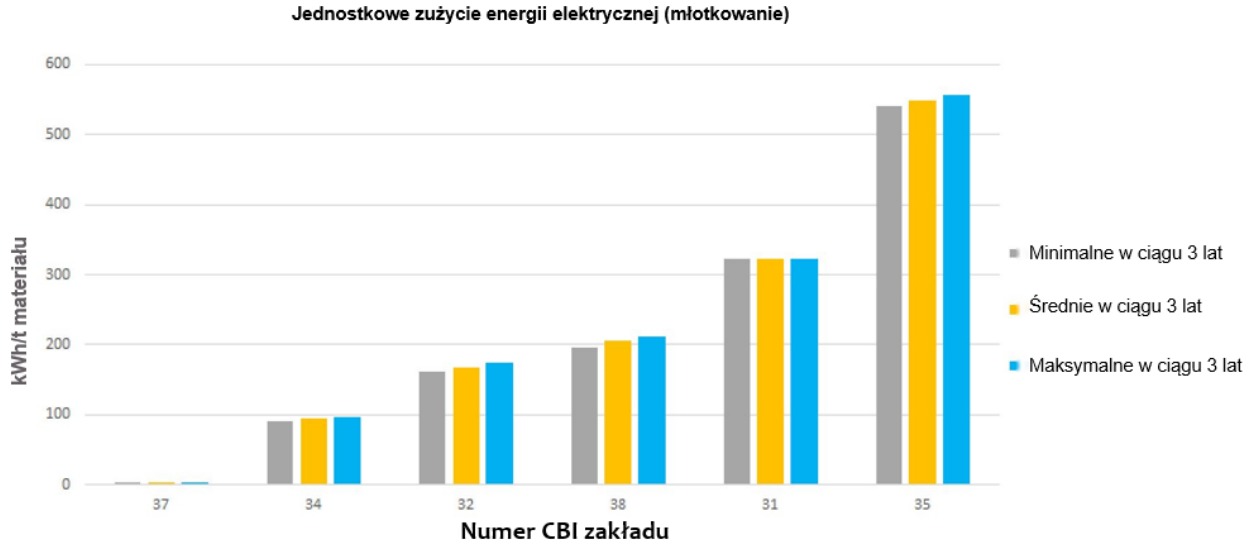
Zgłoszone jednostkowe zużycie energii netto na młotkowanie przedstawiono na Rysunku 1.26.



Źródło: [169. TWG 2021], [210. TWG 2022]

Rysunek 1.26: Jednostkowe zużycie energii netto na młotkowanie (w kWh/t materiału wsadowego)

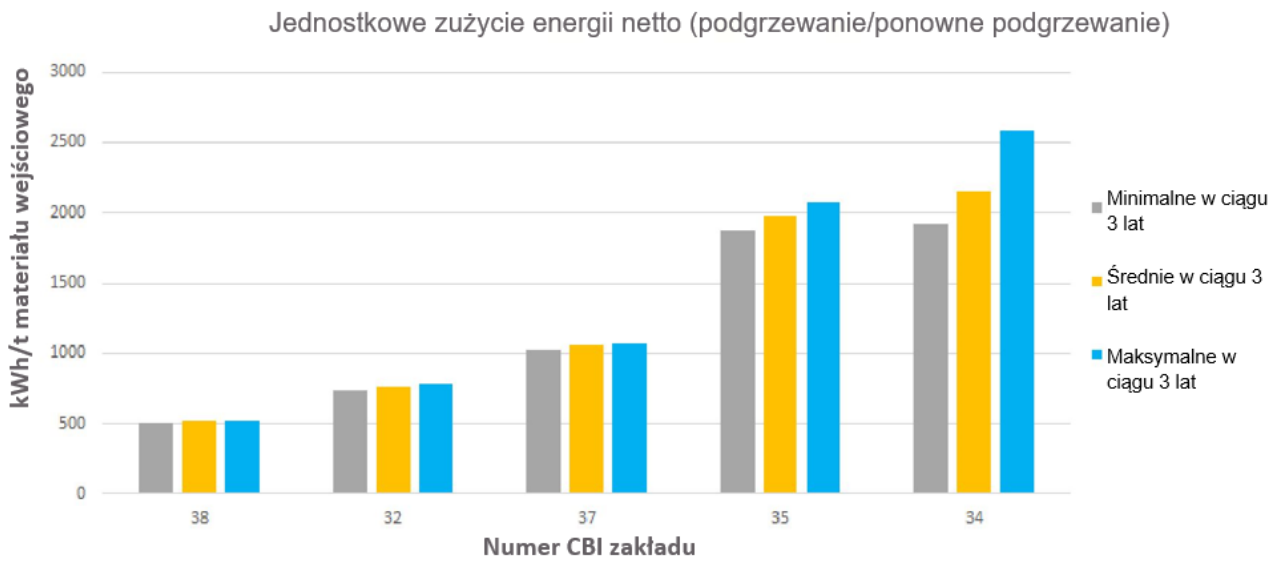
Zgłoszone jednostkowe zużycie energii elektrycznej na młotkowanie przedstawiono na Rysunku 1.27.



Rysunek 1.27: Jednostkowe zużycie energii elektrycznej na młotkowanie (w kWh/t materiału wsadowego)

Podgrzewanie/ponowne podgrzewanie

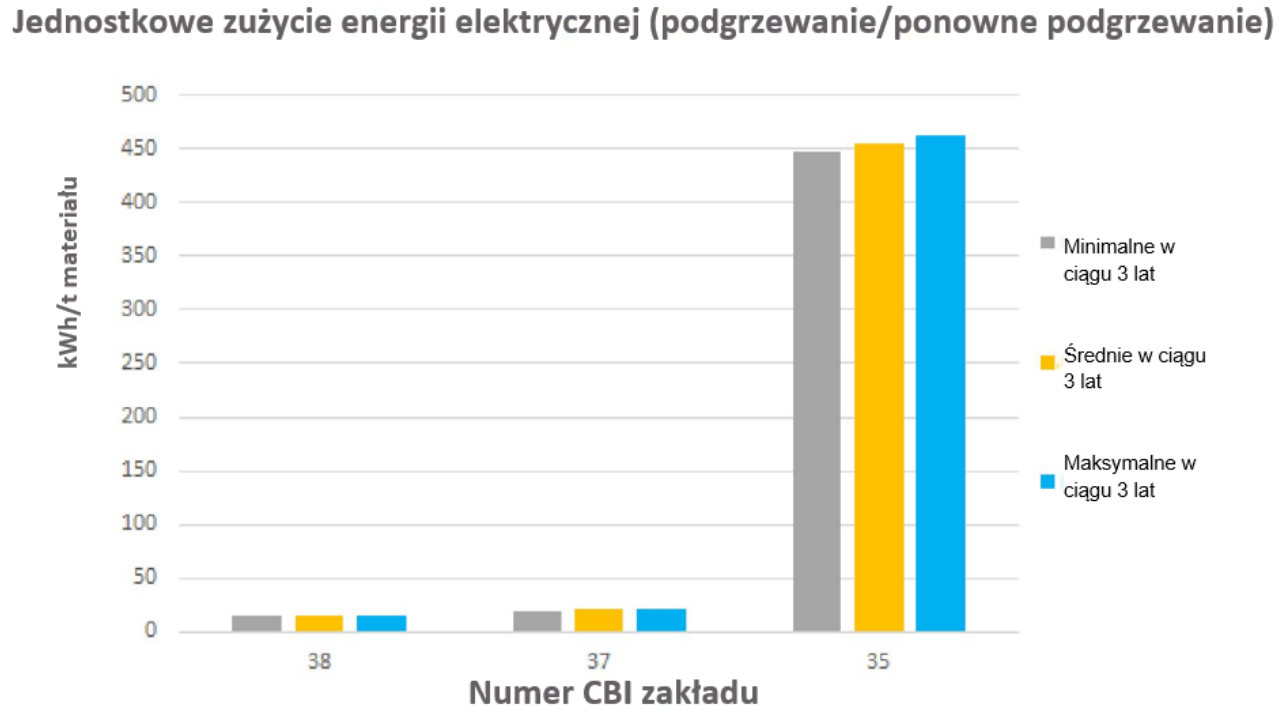
Zgłoszone jednostkowe zużycie energii netto na podgrzewanie/ponowne podgrzewanie przedstawiono na Rysunku 1.28.



Źródło: [169. TWG 2021], [210. TWG 2022]

Rysunek 1.28: Jednostkowe zużycie energii netto na podgrzewanie/ponowne podgrzewanie (w kWh/t materiału wsadowego)

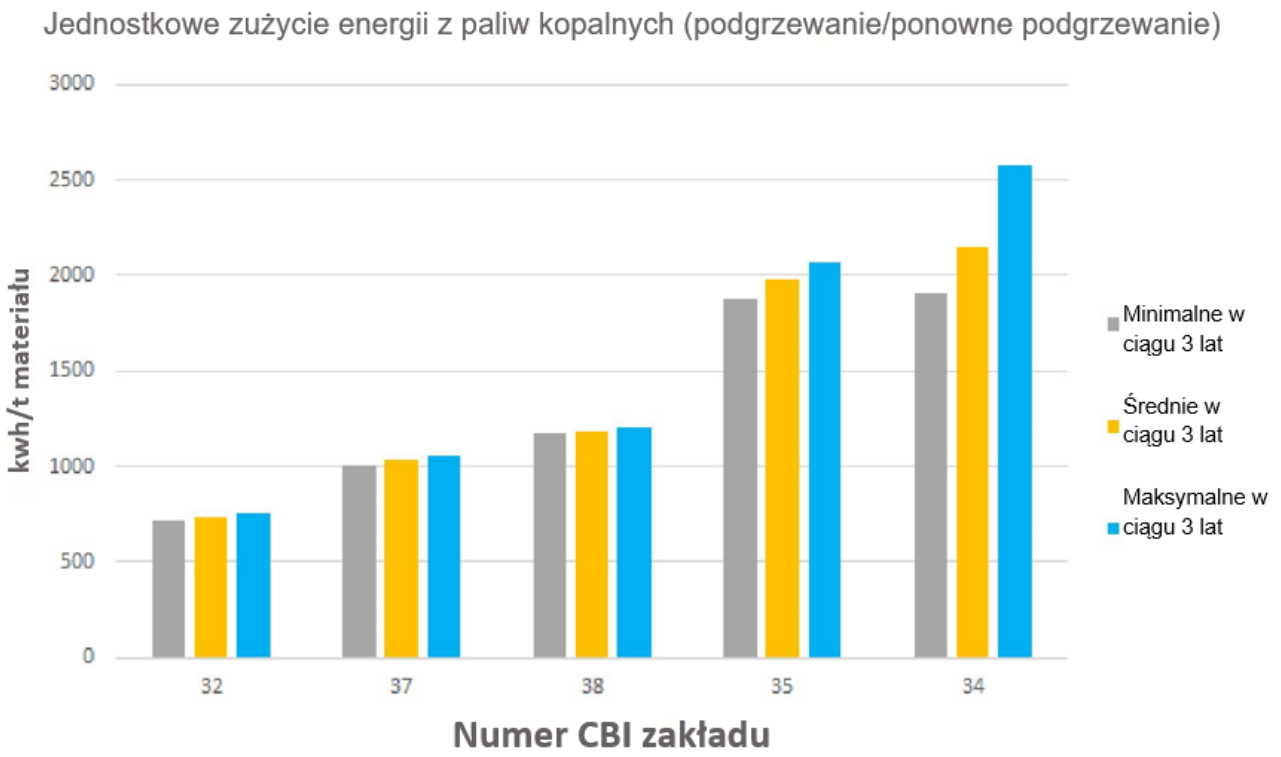
Zgłoszone jednostkowe zużycie energii elektrycznej na podgrzewanie/ponowne podgrzewanie przedstawiono na Rysunku 1.29.



Źródło: [169. TWG 2021], [210. TWG 2022]

Rysunek 1.29: Jednostkowe zużycie energii elektrycznej na podgrzewanie/ponowne podgrzewanie (w kWh/t materiału wsadowego)

Zgłoszone jednostkowe zużycie energii z paliw kopalnych na podgrzewanie/ponowne podgrzewanie przedstawiono na Rysunku 1.30.



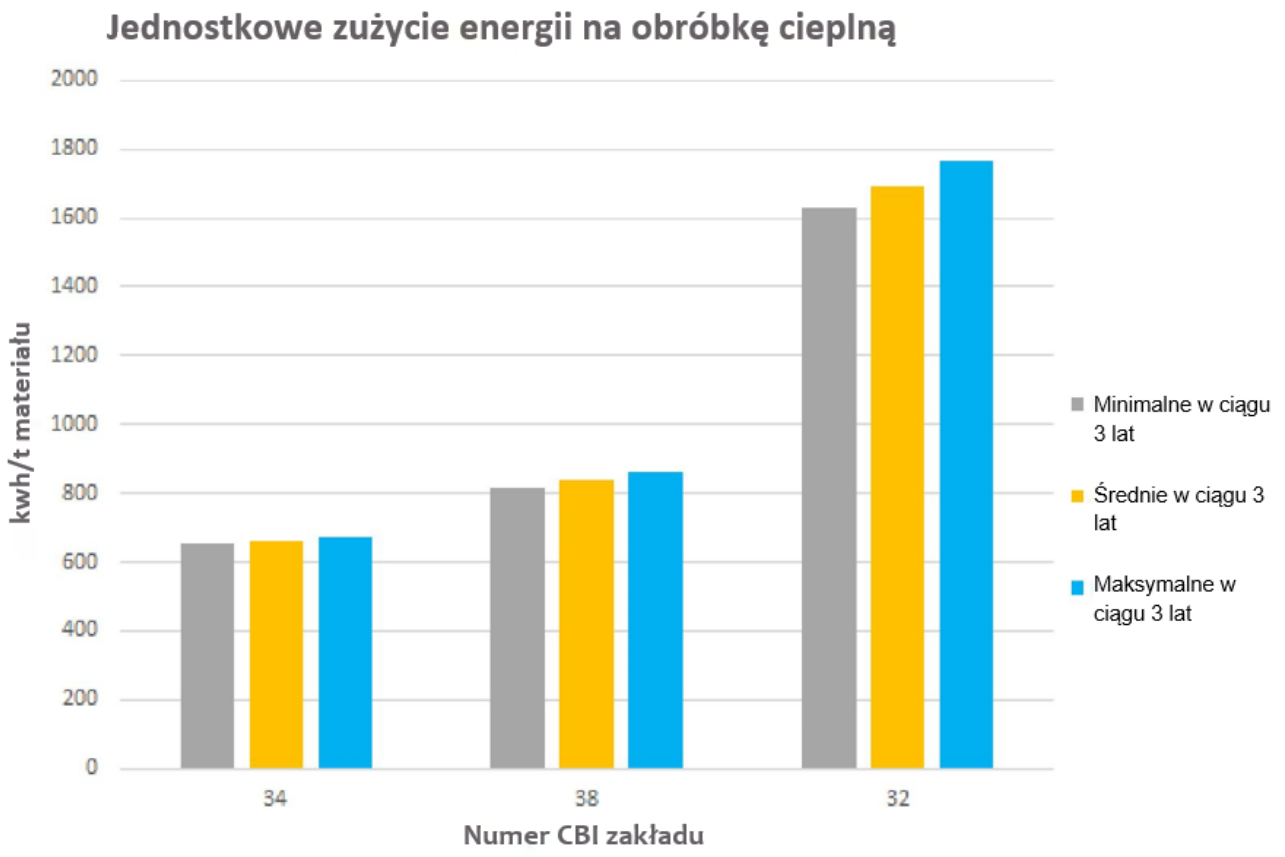
Rysunek 1.30: Jednostkowe zużycie energii z paliw kopalnych na podgrzewanie/ponowne podgrzewanie (w kWh/t materiału wsadowego)

Obróbka cieplna

Zgłoszone jednostkowe zużycie energii netto, zużycie energii elektrycznej i zużycie energii z paliw kopalnych na obróbkę cieplną przedstawiono w Tabeli 1.3. Rysunek 1.31 przedstawia jednostkowe zużycie energii netto na obróbkę cieplną.

Tabela 1.3: Zgłoszone jednostkowe zużycie energii na obróbkę cieplną

	Energia netto (kWh/t materiału wsadowego)			**Energia elektryczna (kWh/t materiału wsadowego)**			**Energia z paliw kopalnych (kWh/t materiału wsadowego)**		
Numer CBI zakładu	Maks.	Śred.	Min.	Maks.	Śred.	Min.	Maks.	Śred.	Min.
38	863	836	814	56	51	46	807	785	767
34	672	662	651	-	-	-	672	662	651
32	1 700	1 624	1 560	-	-	-	1 700	1 624	1 560
Źródło: [169. TWG 2021], [210. TWG 2022]									



Źródło: [169. TWG 2021], [210. TWG 2022]

Rysunek 1.31: Jednostkowe zużycie energii netto na obróbkę cieplną (w kWh/t materiału wsadowego)

1.3.3.3 Energia młota oraz moc cieplna pieców

Energia młota według typu młota została zgłoszona podczas zbierania danych SF BREF za pośrednictwem kwestionariuszy. Dane dotyczące energii na poziomie zakładu i procesu przedstawiono w Sekcjach 1.3.3.1 oraz 1.3.3.2. [169. TWG 2021].

W przypadku zakładów innych niż IED (*zakłady inne niż IED to zakłady niepodlegające Dyrektywie w sprawie emisji przemysłowych IED*), zgłoszona energia na młot wahała się od 25 kJ do 630 kJ.

W przypadku zakładów IED (*podlegających Dyrektywie IED*) zgłoszona energia na młot wahała się od 25 kJ do 400 kJ. Całkowita moc opałowa zakładu dla kuźni IED wahała się od 15,75 MWth do 47 MWth.

Całkowita moc cieplna zakładu odnosi się/obejmuje zarówno procesy podgrzewania przed, jak i po obróbce.

Tabela 1.4: Zgłoszona energia młota oraz całkowita moc cieplna zakładów uczestniczących w zbieraniu danych

Zakład	Liczba młotów	Energia na młot (kJ)	Całkowita moc cieplna zakładu (MWth)
DE001	2	400; 160	3,85 (dla produkcji 3 t/godz.)
DE002	2	80; 160	0,9
DE003	4	179; 84; 54; 53	21,82
DE004	2	630; 450	14,84
DE005	2	55; 50	1,37
DE006	6	350; 350; 250; 200; 200; 100	15,21
DE007	2	360; 400	25,59
ES008	2	313; 313	15,75
PL009	4	68; 51; 34; 25	47
Źródło: [169. TWG 2021]			

Pojemność cieplna oraz moc elektryczna stosowanych typów pieców została podana przez zakład. Zazwyczaj i w większości przypadków jako paliwo wykorzystywany jest gaz ziemny. Zgłoszono również wykorzystanie

energii elektrycznej.

Tabela 1.5: Zgłoszone dane dotyczące całkowitej mocy cieplnej wszystkich pieców dla zakładów uczestniczących w zbieraniu danych

Rodzaj pieca	Gaz ziemny (GZ) / energia elektryczna (E)	Pojemność cieplna MWth	Moc elektryczna MWel
Piec przepychowy, podgrzewanie	GZ	0,46 – 4,26	0,021 – 0,034
Piec przepychowy, podgrzewanie	E	-	0,8 – 2,0
Piec wsadowy, podgrzewanie	GZ	0,87 – 3	0,018 – 0,023
Piec z paleniskiem obrotowym, podgrzewanie	GZ	1,6 – 3,185	0,030 – 0,04
Piec do pracy ciągłej, podgrzewanie	GZ	Brak danych	0,8
Nagrzewnica indukcyjna, podgrzewanie	E	0,42 – 1,35	1,12 – 3
Piec do wyżarzania wsadowego	GZ	1,11 – 2,54	Brak danych
Piec grzewczy	GZ	0,65 – 1,17	Brak danych
Piec z paleniskiem wózkowym, obróbka po podgrzaniu	GZ	0,75 – 3,71	0,019 – 0,03
Piec przepychowy, obróbka po podgrzaniu	GZ	0,523 – 1,15	Brak danych
Piec do pracy ciągłej, obróbka po podgrzaniu	GZ	1,45	Brak danych
Źródło: [169. TWG 2021]			

Zgłoszone dane wskazują na pojemność cieplną pieców grzewczych w zakresie od 0,42 MWth do 4,26 MWth. Poniższa tabela przedstawia zgłoszone dane dotyczące całkowitej mocy cieplnej obliczonej jako suma mocy cieplnej wszystkich pieców w poszczególnych zakładach. Ponadto przedstawiono moc elektryczną pieców zgłoszoną przez techniczną grupę roboczą za pośrednictwem kwestionariuszy w 2020 r.

Tabela 1.6: Zgłoszone dane jako suma mocy cieplnej wszystkich pieców w zakładach, które uczestniczyły w gromadzeniu danych

Numer CBI zakładu	Liczba pieców	Całkowita moc cieplna (MWth) obliczona jako suma mocy cieplnej wszystkich pieców	Zgłoszona całkowita moc cieplna (MWth)	Zgłoszona całkowita moc elektryczna wszystkich pieców (MWel)
DE001	9	-	3,85	4,4
DE002	3	3,45	-	3,2
DE003	11	21,82	-	0
DE004	6	14,84	14,84	0
DE005	2	1,37	1,37	0
DE006	6	13,152	15,21	0,6446
DE007	15	25,59	26,51	1,428
ES008	11	14,331	15,75	11,125
PL009	17	25,77	47,205	-
Źródło: [169. TWG 2021], [210. TWG 2022]				

1.3.4 Emisja hałasu i wibracje

[169. TWG 2021], [139. Probst 2006]

Hałas występuje na kilku etapach procesu kuźni, głównie z powodu pracy maszyn generujących hałas oraz wykonywania hałaśliwych procedur roboczych. Emisja hałasu może wystąpić we wszystkich procesach prowadzonych w kuźni, takich jak:

- magazynowanie i transport surowców;
- przygotowanie i przetwarzanie surowców;
- podawanie materiału do maszyn tnących (podajnik kęsów);
- cięcie i piłowanie;
- podgrzewanie/ponowne podgrzewanie i obróbka metali;
- obróbka mechaniczna (np. młotkowanie i wszelkie operacje związane z młotkowaniem) i wykańczanie;
- wysyłka i transport produktów końcowych;
- przesypywanie złomu z kontenerów zakładu do kontenerów firm zajmujących się utylizacją złomu.

Ciężkie maszyny oraz duże wentylatory, dmuchawy i wentylatory dachowe wykorzystywane w różnych częściach procesu produkcyjnego kuźni mogą także powodować emisję hałasu i/lub wibracji.
[139. Probst 2006], [169. TWG 2021]
Wielkość tych emisji może być znacząca, jeśli etapy produkcji w kuźni nie są dobrze zaprojektowane lub obsługiwane, a zatem emisja hałasu może prowadzić do lokalnych uciążliwości.
Zakłady są zobowiązane do przestrzegania krajowych przepisów i norm dotyczących redukcji hałasu. Badania hałasu są przeprowadzane i oceniane w kontekście kontroli immisji i bezpieczeństwa w miejscu pracy. W hali produkcyjnej/młotowni okna i drzwi są zamknięte podczas pracy. W celu ograniczenia emisji hałasu w przemyśle kuźniczym stosuje się naturalne bariery akustyczne, takie jak budynki biurowe, ściany, drzewa lub krzewy.
Do transportu na terenie zakładu używany jest sprzęt o obniżonym poziomie hałasu, taki jak wózki widłowe o zredukowanym poziomie hałasu.
Podczas zbierania danych, dopuszczalne poziomy emisji hałasu oraz zmierzone dane dotyczące emisji hałasu zostały dostarczone za pośrednictwem kwestionariusza. Ponadto zgłoszono również techniki wykorzystywane w zakładach celem ograniczenia emisji hałasu i wibracji.
Jeden z niemieckich zakładów (DE004) zgłosił dane dotyczące emisji hałasu (zmierzone przed i po instalacji tłumików hałasu) w trzech punktach pomiarowych zlokalizowanych na granicy instalacji. Tłumiki zainstalowano w punktach wylotu powietrza związanych z dwoma młotami przeciwbieżnymi (630 kJ i 450 kJ). Dane z monitoringu przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 1.7: Dane dotyczące emisji hałasu przed i po zainstalowaniu tłumików hałasu (zakład DE004)

	Pomiar hałasu		
	Pomiar hałasu pkt. 1	**Pomiar hałasu pkt. 2**	**Pomiar hałasu pkt. 3**
Przed instalacją tłumików	65 dB(A)	76 dB(A)	68 dB(A)
Po zamontowaniu tłumików	< 62 dB(A)	66 dB(A)	< 62 dB(A)
Źródło: [169. TWG 2021], [219. DE 2019]			

W jednym z hiszpańskich zakładów (ES008) zainstalowano ekrany akustyczne celem zmniejszenia wpływu hałasu z instalacji na pobliskie wrażliwe receptory [220. ES 2019]. Pomiary hałasu przeprowadzono w dwóch punktach nowego ekranu akustycznego. Podczas inspekcji zidentyfikowano młot jako źródło hałasu (w porze dziennej i nocnej). Ponadto wykryto dwa inne źródła hałasu, które są aktywne tylko w ciągu dnia, a mianowicie mycie pod ciśnieniem oraz załadunek i rozładunek, które uznano za istotne w odniesieniu do emisji hałasu. Zakład dostarczył pomiary hałasu zarówno w ciągu dnia (07:00 - 19:00), jak i w nocy (23:00 - 07:00), w tym poziomy hałasu tła, jak to pokazano w poniższych tabelach.

Tabela 1.8: Poziomy hałasu w nocy zgłoszone przez hiszpański zakład

Punkt pomiaru	**Źródło hałasu**	**$L_{Aeq, T, background}$ (dB) maksimum hałas tła**	**$L_{Aeq, T}$ (dB) hałas zmierzony**	**$L_{Aeq, T, corr}$ (dB) skorygowany względem hałasu tła**	**Poziom emisji zewnętrznej $L_{Keq, T}$ (dBA)**

A	Bez młota (mycie pod ciśnieniem, załadunek i rozładunek)		50,6	-	50,6
		49,3	51,3	-	51,3
			50,4	-	50,4
	Z młotem (mycie pod ciśnieniem, załadunek i rozładunek)		57,9	57,3	60,3
		49,3	57,5	56,8	59,8
			59,4	59,4	62,4
B	Bez młota (mycie pod ciśnieniem, załadunek i rozładunek)		54,2	53,2	62,2
		47,4	53,4	52,1	61,1
			54,1	53,1	62,2
	Z młotem (mycie pod ciśnieniem, załadunek i rozładunek)		60,1	60,1	63,1
		47,4	61,6	61,6	64,6
			62,2	62,2	65,2

Uwaga:
$L_{Aeq,T,bottom}$: ważony równoważny poziom stałego ciśnienia akustycznego, odpowiadający zmierzonemu hałasowi tła.
$L_{Aeq,T}$: ważony równoważny poziom stałego ciśnienia akustycznego, odpowiadający hałasowi zarejestrowanemu podczas działania i/lub pracy ocenianej maszyny.
$L_{Aeq,T,corr}$: ważony równoważny poziom stałego ciśnienia akustycznego, odpowiadający hałasowi zarejestrowanemu podczas działania i/lub pracy maszyny podlegającej ocenie i skorygowany o hałas tła.
$L_{Keq,T}$: ważony równoważny poziom stałego ciśnienia akustycznego, skorygowany o hałas tła, elementy dźwiękowe, składowe o niskiej częstotliwości i/lub składowe impulsowe, który odpowiada końcowemu poziomowi hałasu podlegającemu ocenie.
(1) Sporadyczne źródło hałasu.
Źródło: [169. TWG 2021], [220. ES 2019]

Tabela 1.9: Poziomy hałasu w ciągu dnia zgłoszone przez hiszpański zakład (ES008)

Punkt pomiaru	**Źródło hałasu**	**$L_{Aeq,\ Tbackground}$ (dB) maksymalny hałas tła**	**$L_{Aeq,\ T}$ (dB) hałas zmierzony**	**$L_{Aeq,\ T,\ corr}$ (dB) skorygowany względem hałasu tła**	**Poziom emisji zewnętrznej $L_{Keq,\ T}$ (dBA)**
A	Bez młota	51,9	51,9	-	50,6 (1)
			52,0	-	51,3 (1)
			52,4	-	50,4 (1)
	Z młotem	51,9	58,4	57,3	60,3
			62,0	62,0	59,8
			61,0	60,4	62,4
	Bez młota	53,1	55,8	-	62,2 (1)
			55,2	-	61,1 (1)
			55,3	-	62,2 (1)
	Z młotem	53,1	63,5	63,5	63,1
			62,8	62,3	64,6
			62,4	61,9	65,2

Uwaga:
$L_{Aeq,T,bottom}$: ważony równoważny poziom stałego ciśnienia akustycznego, odpowiadający zmierzonemu hałasowi tła.
$L_{Aeq,T}$: ważony równoważny poziom stałego ciśnienia akustycznego, odpowiadający hałasowi zarejestrowanemu podczas działania i/lub pracy ocenianej maszyny.
$L_{Aeq,T,corr}$: ważony równoważny poziom stałego ciśnienia akustycznego, odpowiadający hałasowi zarejestrowanemu podczas działania i/lub pracy maszyny podlegającej ocenie i skorygowany o hałas tła.
$L_{Keq,T}$: ważony równoważny poziom stałego ciśnienia akustycznego, skorygowany o hałas tła, elementy dźwiękowe, składowe o niskiej częstotliwości i/lub składowe impulsowe, który odpowiada końcowemu poziomowi hałasu podlegającemu ocenie.
(1) Zmierzony poziom hałasu jest podobny do hałasu tła (różnica mniejsza niż 3 dB), więc nie jest właściwe wprowadzanie korekt dla hałasu tła lub dźwięku, składowych impulsowych lub niskiej częstotliwości. Dlatego bezpośrednia zmierzona wartość jest używana jako odniesienie dla poziomu hałasu $L_{Aeq,\ T}$.
Źródło: [169. TWG 2021], [220. ES 2019]

Młoty kuźnicze wytwarzają potężne krótkotrwałe obciążenia udarowe. Ten typ maszyny wytwarzającej wstrząsy generuje potężne efekty dynamiczne, które trwają stosunkowo krótko i można je scharakteryzować jako impulsy. Tylko część energii wstrząsu jest wykorzystywana w zamierzonej funkcji maszyny, a reszta jest rozpraszana na fundamencie, powodując intensywne wibracje. Silne wstrząsy przekazywane na fundament mogą powodować problemy z osiowaniem (tj. skracać żywotność), skargi sąsiadów i uniemożliwiać prawidłowe działanie sąsiednich urządzeń. Różne poziomy wibracji są generowane w zależności od zastosowanej technologii (np. młot spadowy, młot przeciwbieżny, prasa kuźnicza) oraz w dużym stopniu od właściwości gleby. W pojedynczych przypadkach, niskoenergetyczne młotownie mogą

również powodować uciążliwe dla mieszkańców wibracje. Głównym celem jest zmniejszenie amplitudy drgań i sił przenoszonych na glebę i/lub zminimalizowanie wszelkich zakłóceń w sąsiedztwie i otoczeniu. [164. Heidari i in. 2011], [210. TWG 2022] W celu izolacji lub minimalizacji przenoszenia drgań dostępnych jest kilka rodzajów fundamentów i urządzeń izolacyjnych, które można rozważyć, takich jak urządzenia z elementami sprężynowymi (dla nowych instalacji). [210. TWG 2022].
W przypadku, gdy kuźnia znajduje się w pobliżu obszarów mieszkalnych, planowanie nowych budynków przy instalacji kowalskiej wiąże się z koniecznością ograniczenia emisji hałasu i wibracji.

1.3.5 Emisje do powietrza

W tej sekcji przedstawiono dane dotyczące emisji do powietrza, w szczególności dla pieców grzewczych wykorzystujących wyłącznie gaz ziemny. Dyrektywa IED zawiera w załączniku II ogólny orientacyjny wykaz głównych substancji zanieczyszczających emitowanych do powietrza i wody, które należy uwzględnić, jeśli są one istotne dla ustalenia dopuszczalnych wartości emisji. Na posiedzeniu inauguracyjnym przeglądu dokumentu SF BREF (KoM) stwierdzono, że emisje do powietrza stanowią kluczowe kwestie środowiskowe (KEI). Następujące parametry są istotne dla procesów zachodzących w kuźniach:

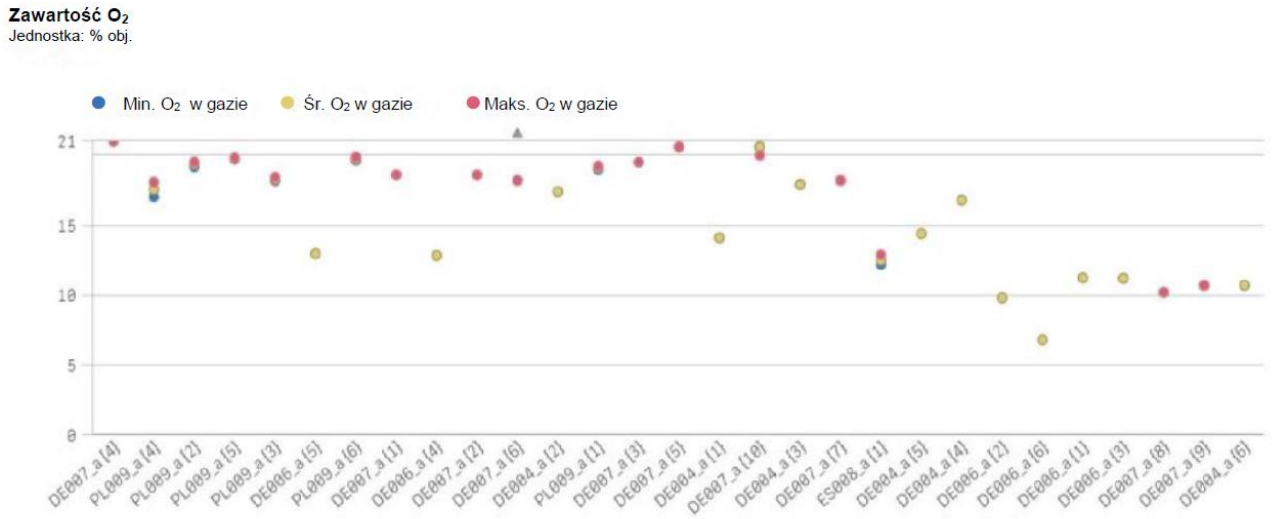
- tlenki azotu (NO_X);
- tlenek węgla (CO) jako wskaźnik wydajności spalania.

Należy zauważyć, że poziomy emisji przedstawione w tej sekcji odnoszą się do warunków standardowych (temperatura 273 K, ciśnienie 1 013 hPa, gaz suchy) i zostały skorygowane do referencyjnego poziomu tlenu wynoszącego 3%.
Na charakter i stężenie emisji ma wpływ kilka czynników, takich jak:

- typ pieca i jego konstrukcja;
- warunki operacyjne lub procesowe;
- jakość surowca;
- stosowane paliwa;
- techniki redukcji emisji.

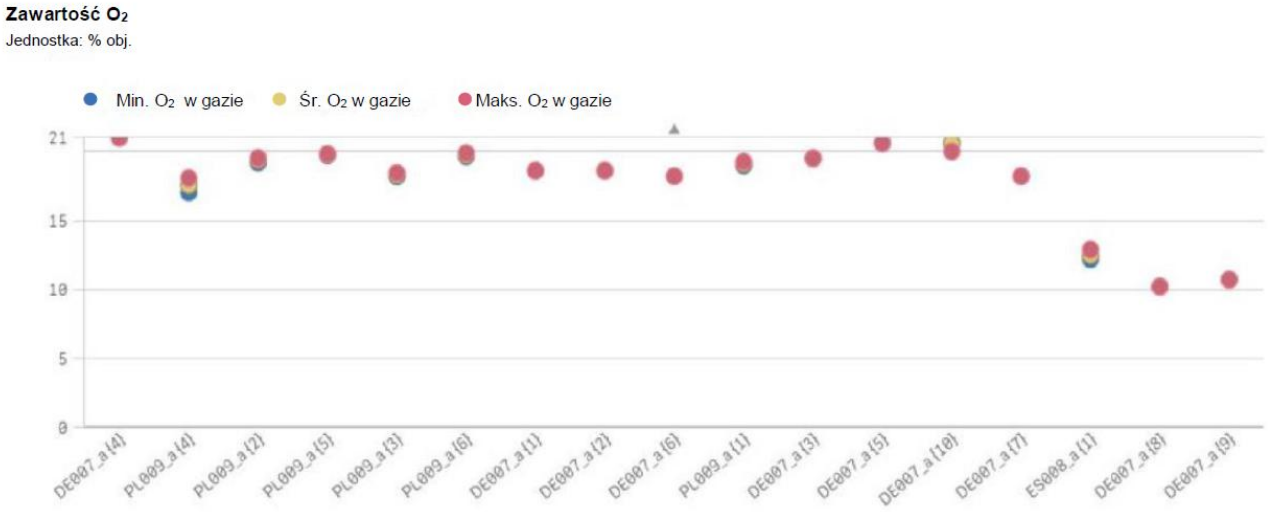
Dane dotyczące emisji i informacje zbiorcze zostały zebrane za pomocą kwestionariuszy z trzech zakładów podlegających Dyrektywie IED i sześciu zakładów innych niż IED zlokalizowanych w UE-27. Dane zostały zgłoszone za ostatni 3-letni okres sprawozdawczy, np. lata 2019, 2018 i 2017, jeśli były dostępne. Jeśli dane za te lata nie były dostępne, można było podać dane za inne lat.[169. TWG 2021].

Charakterystyka gazów odlotowych - zawartość/poziom O_2
Zgłoszono różne wartości zawartości/poziomu O_2. Zgłoszone zawartości O_2 w gazach odlotowych mieszczą się w zakresie od 5% do około 20%. W przypadku wszystkich zakładów z wyjątkiem jednego zgłoszony poziom O2 związany ze zgłoszonymi poziomami emisji jest taki sam jak zawartość O2 w gazach odlotowych. W związku z tym zgłoszone poziomy emisji były również powiązane z referencyjnym poziomem O2 w zakresie od 5% do 20%. [169. TWG 2021], [210. TWG 2022].



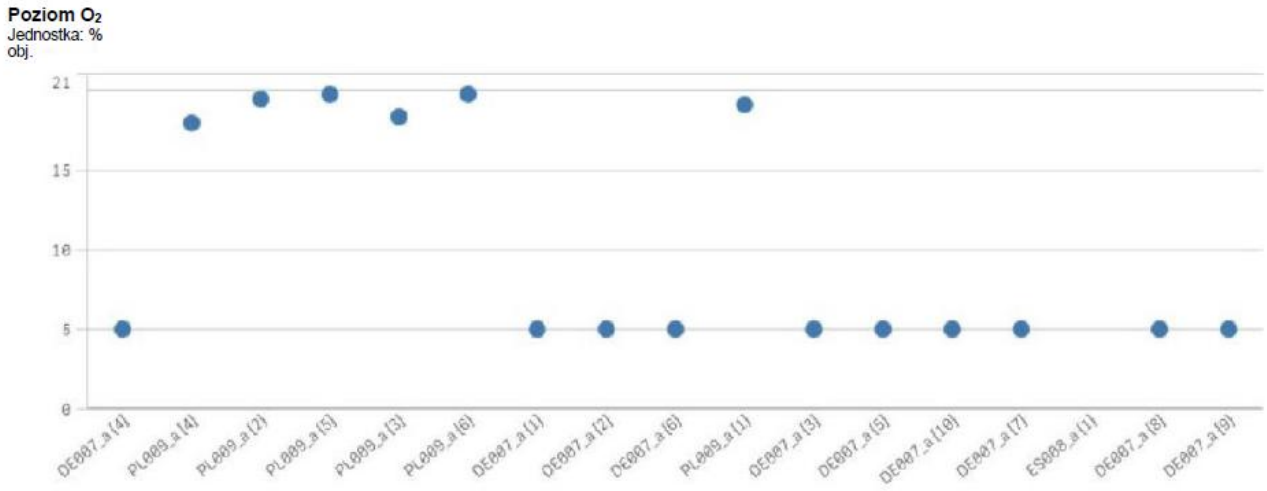
Źródło: [169. TWG 2021], [210. TWG 2022]

Rysunek 1.32: Zgłoszona zawartość O_2 na punkt emisji (*emission point, EP*) - zakłady IED i nie-IED



Źródło: [169. TWG 2021], [210. TWG 2022]

Rysunek 1.33: Zgłoszona zawartość O2 na punkt emisji (EP) - zakłady IED



Źródło: [169. TWG 2021], [210. TWG 2022]

Rysunek 1.34: Zgłoszona zawartość O2 na poziom emisji (EP) - zakłady IED

1.3.5.1 Emisje tlenków azotu (NO_X)

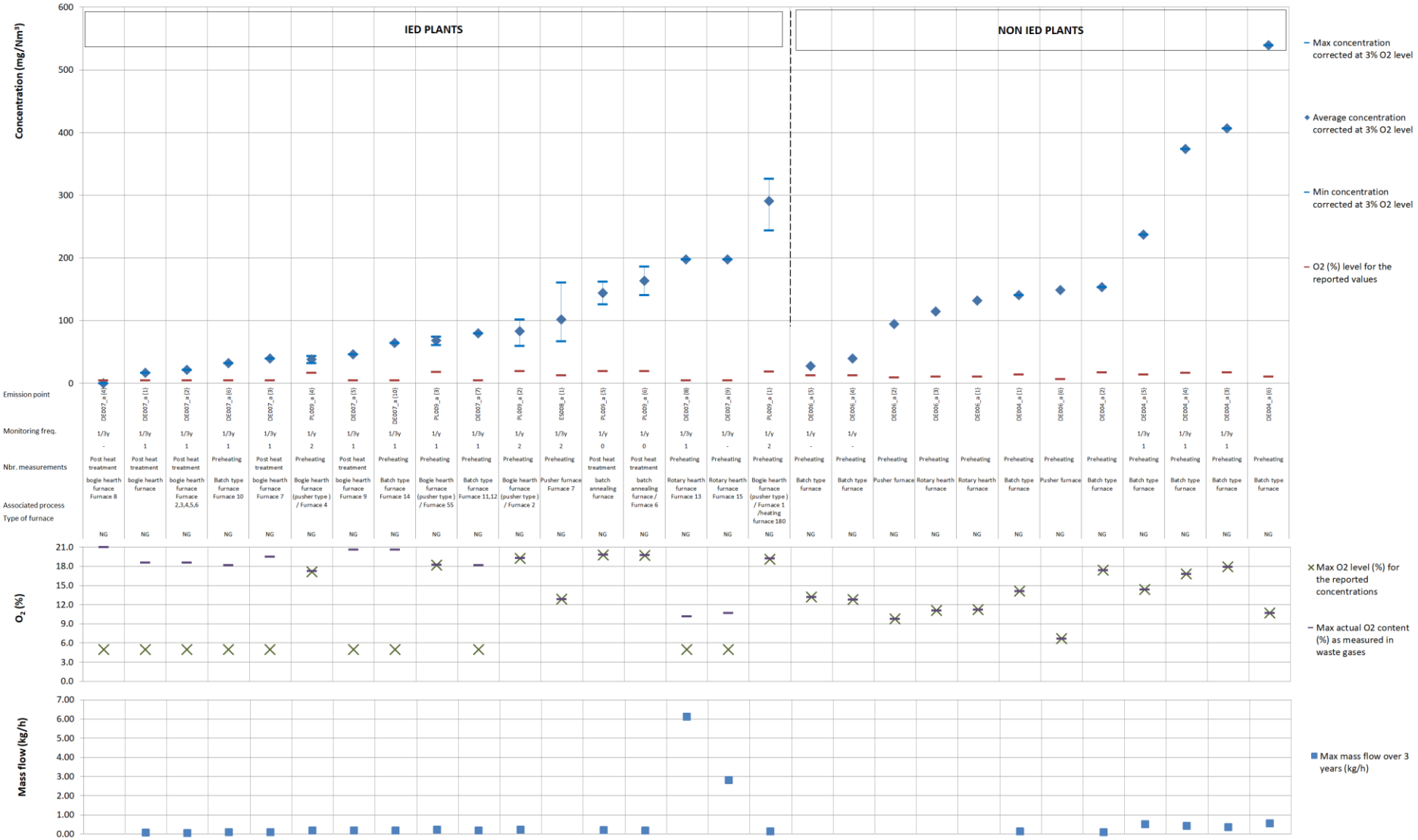
Zakłady IED i inne niż IED przekazały dane dotyczące emisji NO_X za pośrednictwem kwestionariuszy. Poziomy emisji przedstawione w tej sekcji odnoszą się do emisji do powietrza z podgrzewania surowców (tj. podgrzewania/ponownego podgrzewania i obróbki cieplnej). Poziomy emisji NO_X zostały zgłoszone z 29 punktów emisji (EP). W przypadku większości zakładów poziomy emisji zostały zgłoszone bez korekty na standardowy poziom odniesienia O_2. Jeden zakład (DE007) zgłosił stężenia NO_X skorygowane na 5% poziomu odniesienia O_2. W przypadku zakładu PL009 przekazane informacje wskazują, że wysoka zawartość O2 w gazach odlotowych (19,8%) wynika z faktu, że odciąg gazów spalinowych z pieców/palników nie jest systemem zamkniętym. Gazy wylotowe z palników przechodzą przez otwór o średnicy około 15 cm przed wejściem do układu odprowadzania gazów wylotowych. Ponadto spaliny są odsysane poprzez przedmuchiwanie ich powietrzem. Gazy spalinowe z trzech pieców są również schładzane poprzez wdmuchiwanie powietrza do strumienia gazów spalinowych, w celu ochrony wykładziny komina przed wysokimi temperaturami (ponad 1000 °C) tych gazów. [224. PL 2023].
Jak podano w kwestionariuszach, w niektórych przypadkach stosowane są palniki rekuperacyjne (DE002, DE003), ciepło odpadowe jest wykorzystywane bezpośrednio (PL009) lub jest ponownie wykorzystywane za pośrednictwem centralnego rekuperatora (DE004). [169. TWG 2021]. PL009 zgłosił zastosowanie palników z wewnętrzną rekuperacją: gaz i powietrze do spalania przepływają przez wewnętrzną rurę palnika,

podczas gdy gazy spalinowe z pieca są kierowane na zewnątrz palnika (tj. piec nie ma typowego wylotu spalin, ale otwór kominowy wewnątrz pieca). Powietrze do spalania w palniku jest wstępnie podgrzewane przez gazy spalinowe. [224. PL 2023]
Dane przedstawione na Rysunku 1.35 skorygowano do poziomu referencyjnego O2 wynoszącego 3% (dla wszystkich punktów emisji z zakładów IED i innych niż IED). [169. TWG 2021], [210. TWG 2022]
Wszystkie dane odnoszą się do pieców do podgrzewania/ponownego podgrzewania i obróbki cieplnej wykorzystujących gaz ziemny.
Częstotliwości monitorowania wynoszące raz w roku (1 r/r) i raz na 3 lata (1/3 r/r) zostały zgłoszone dla zakładów IED i innych niż IED.

1.3.5.2 Emisje tlenku węgla (CO)

Dane dotyczące emisji CO zostały zgłoszone dla zakładów IED i innych niż IED. Zgłoszone dane dotyczące emisji CO do powietrza z ogrzewania surowców (podgrzewanie, ponowne podgrzewanie) przy użyciu 100% gazu ziemnego przedstawiono na Rysunku 1.36 (instalacje IED i inne niż IED). Dane przedstawione na Rysunku 1.36 zostały skorygowane do poziomu referencyjnego O_2 3% (dla wszystkich punktów pomiaru w zakładach IED oraz innych niż IED).
Dane pochodzą z czterech zakładów (dwa zakłady IED (ES008, PL009) oraz dwa zakłady inne niż IED (DE004, DE006)). Łącznie 7 z 19 punktów emisji jest związanych z zakładami IED. Stężenia emisji CO z zakładów IED (bez korekty do poziomu O_2 3%) mieszczą się w zakresie od 3 mg/Nm^3 do 23 mg/Nm^3. Zgłoszone poziomy odniesienia O_2 odpowiadające zgłoszonym emisjom CO wahają się od 8,5% do 19,78%. [169. TWG 2021], [210. TWG 2022]

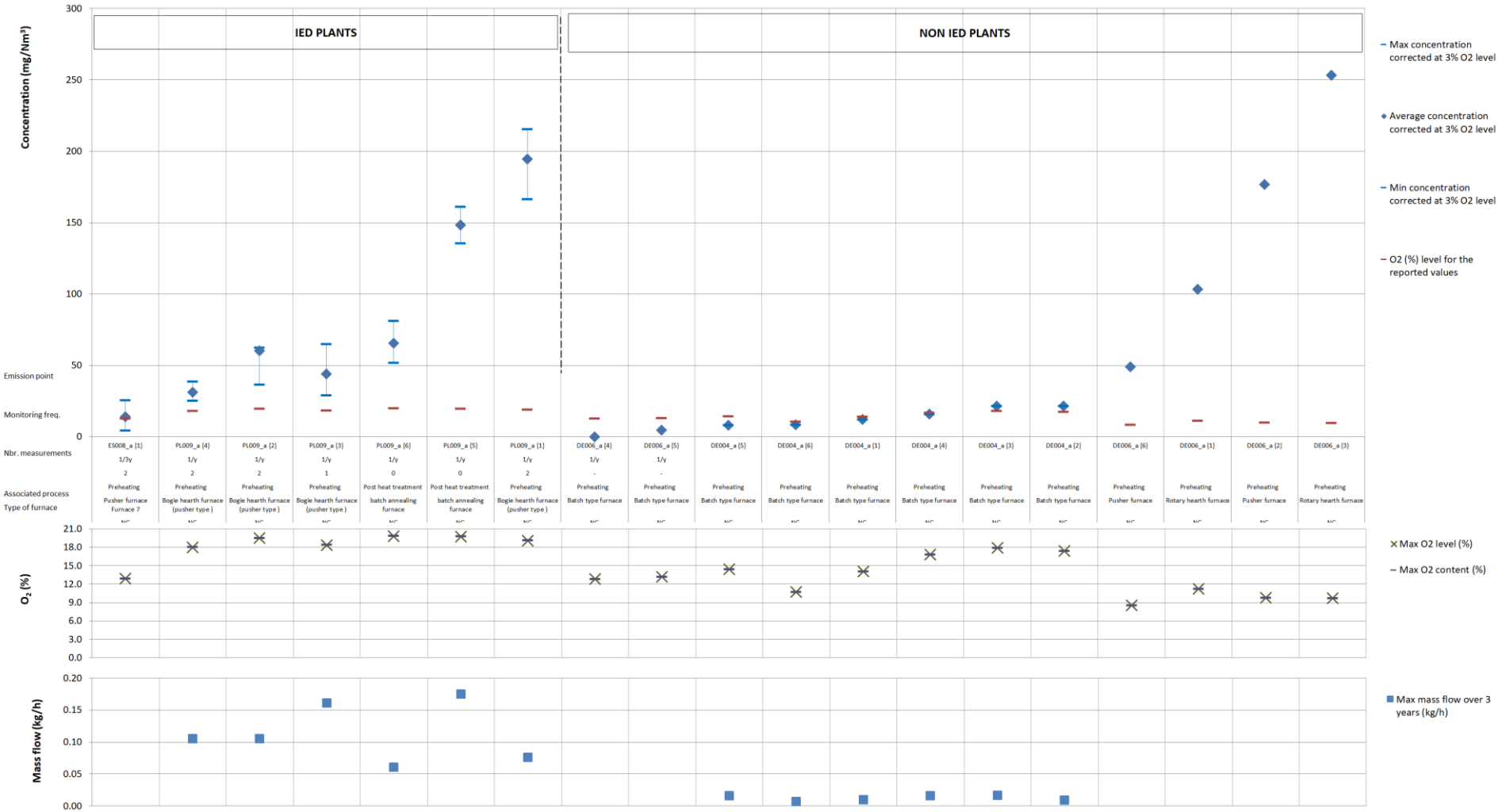
Ponadto, Rysunek 1.37 przedstawia wykres rozrzutu połączonych emisji NO_X oraz CO do powietrza (skorygowanych do poziomu O_2 3%).



Źródło: [169. TWG 2021], [210. TWG 2022]

Rysunek 1.35: Zgłoszone emisje NOX na punkt emisji (EP) skorygowane do 3% referencyjnego poziomu O2 - zakłady IED oraz inne niż IED

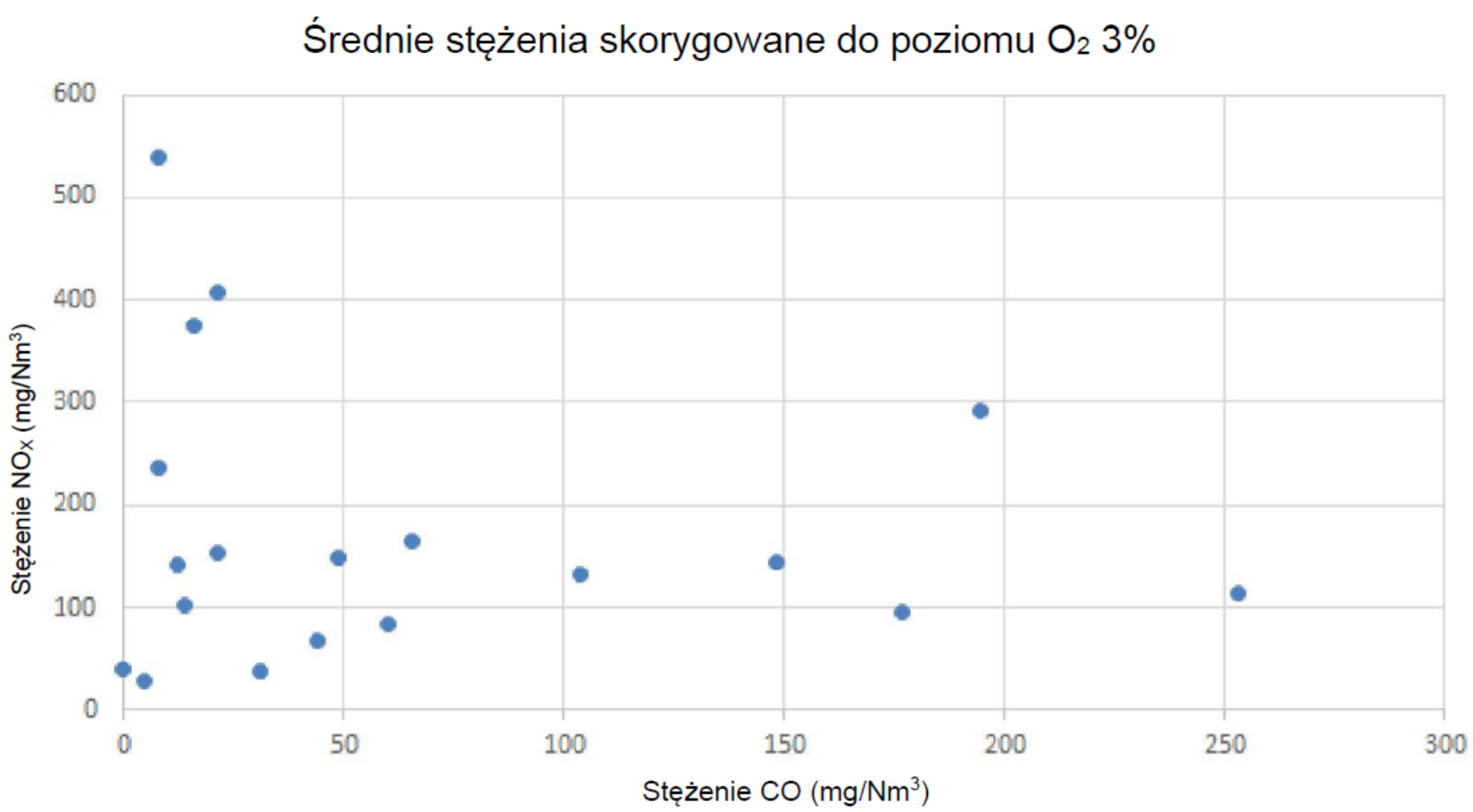
Concentration (mg/Nm^3)	Stężenie (mg/Nm^3)
Emission point	Punkt emisji
Monitoring freq.	Częstotliwość monitorowania
Nbr. measurements	Liczba pomiarów
Associated process	Powiązany proces
Type of furnace	Typ pieca
Mass flow (kg/h)	Przepływ masowy (kg/h)
IED PLANTS	Zakłady podlegające Dyrektywie IED
NON IED PLANTS	Zakłady nie podlegające Dyrektywie IED
Post heat treatment	Obróbka termiczna
Preheating	Podgrzewanie
Bogie hearth furnace	Piec z paleniskiem wózkowym
Batch type furnace	Piec wsadowy
Bogie hearth furnace (pusher type)	Piec z paleniskiem wózkowym (przepychowy)
Batch annealing furnace	Piec do wyżarzania wsadowego
Pusher furnace	Piec przepychowy
Rotary hearth furnace	Piec z obrotowym paleniskiem
Furnace	Piec
Max concentration corrected at 3% O2 level	Maksymalne stężenie skorygowane na poziomie 3% O_2
Average concentration corrected at 3% O2 level	Średnie stężenie skorygowane na poziomie 3% O_2
Min concentration corrected at 3% O2 level	Minimalne stężenie skorygowane na poziomie 3% O_2
O2 (%) level for the reported values	Poziom O_2 (%) dla zgłoszonych wartości
Max O2 level (%) for the reported concentrations	Maksymalny poziom O_2 (%) dla zgłoszonych stężeń
Max actual O2 content (%) as measured in waste gases	Maksymalna rzeczywista zawartość O_2 (%) mierzona w gazach odlotowych
Max mass flow over 3 years(kg/h)	Maksymalny przepływ masowy w ciągu 3 lat (kg/h)



Źródło: [169. TWG 2021], [210. TWG 2022]

Rysunek 1.36: Zgłoszone emisje CO na punkt emisji (EP) skorygowane do 3% referencyjnego poziomu O2 - zakłady IED oraz inne niż IED

Concentration (mg/Nm^3)	Stężenie (mg/Nm^3)
Emission point	Punkt emisji
Monitoring freq.	Częstotliwość monitorowania
Nbr. measurements	Liczba pomiarów
Associated process	Powiązany proces
Type of furnace	Typ pieca
Mass flow (kg/h)	Przepływ masowy (kg/h)
IED PLANTS	Zakłady podlegające Dyrektywie IED
NON IED PLANTS	Zakłady nie podlegające Dyrektywie IED
Preheating	Podgrzewanie
Bogie hearth furnace (pusher type)	Piec z paleniskiem wózkowym (przepychowy)
Batch annealing furnace	Piec do wyżarzania wsadowego
Pusher furnace	Piec przepychowy
Rotary hearth furnace	Piec z obrotowym paleniskiem
Max concentration corrected at 3% O2 level	Maksymalne stężenie skorygowane na poziomie 3% O_2
Average concentration corrected at 3% O2 level	Średnie stężenie skorygowane na poziomie 3% O_2
Min concentration corrected at 3% O2 level	Minimalne stężenie skorygowane na poziomie 3% O_2
O2 (%) level for the reported values	Poziom O_2 (%) dla zgłoszonych wartości
Max O2 level (%)	Maksymalny poziom O_2 (%)
Max O2 content (%)	Maksymalna zawartość O_2 (%)
Max mass flow over 3 years(kg/h)	Maksymalny przepływ masowy w ciągu 3 lat (kg/h)



Źródło: [169. TWG 2021], [210. TWG 2022]

Rysunek 1.37: Wykres rozrzutu połączonych emisji NO_X oraz CO do powietrza (skorygowany do poziomu O_2 3%)

1.3.5.3 Emisje rozproszone do powietrza

Emisje rozproszone (głównie emisje rozproszone pyłu) mogą powstawać w kuźniach podczas następujących etapów procesu produkcji:

- magazynowanie i przeładunek surowców i chemikaliów (zasadniczo spowodowane przemieszczaniem materiałów po terenie zakładu, np. z otwartych magazynów, a także z powierzchni dróg ze względu na transport drogowy);
- Podgrzewanie/ponowne podgrzewanie, obróbka cieplna za pomocą pieców (emisje ze spalania);
- młotkowanie/kucie;
- chłodzenie;
- wykańczanie, np. usuwanie zgorzeliny, szlifowanie, spawanie, śrutowanie. [210. TWG 2022]

W przypadku nowych i dużych pieców do kucia w matrycy otwartej, gaz odlotowy z pieców jest odsysany. W przypadku mniejszych i starszych pieców gazy wylotowe są generalnie uwalniane przez otwory dachowe (jako emisje rozproszone). Zbieranie i oczyszczanie mogą być stosowane w przypadku niektórych procesów wykończeniowych, np. szlifowania, spawania, śrutowania. [210. TWG 2022]
Ponieważ emisje pyłu oraz emisje rozproszone pyłu nie zostały zidentyfikowane i uznane za kluczowe kwestie środowiskowe (KEI) przez posiedzenie inauguracyjne (KoM), nie zgłoszono żadnych danych dotyczących emisji pyłu do powietrza.
Zgłoszono jednak kilka technik ograniczania emisji rozproszonych, które przedstawiono w Tabeli 1.10. [169. TWG 2021]

Tabela 1.10: Zgłoszone przez zakłady techniki ograniczania emisji rozproszonych (zakłady IED oraz inne niż IED)

Zastosowane techniki	**Dodatkowe informacje dotyczący emisji rozproszonych**
Obudowa urządzeń produkcyjnych	• Przeprowadzono pilotażowe próby zbierania i oczyszczania powietrza wydechowego, które wykazały, że zbieranie gazów spalinowych może stanowić wyzwanie, np. ze względu na kwestie konstrukcyjne, wibracje, przedostawanie się iskier i łatwopalnych trocin stosowanych jako środek oddzielający. Zastosowanie płuczki gazowej mokrej byłoby technicznie wykonalne tylko w ograniczonym zakresie.
Zamknięcie obszarów magazynowych	Nie podano żadnych dodatkowych informacji.
Brukowanie i czyszczenie dróg używanych przez ciężarówki lub wózki widłowe	• Powierzchnie magazynowe tylko częściowo wyasfaltowane lub wybetonowane. W związku z tym w miesiącach letnich poziom zapylenia jest niski ze względu na suchą wykładzinę podłogową. Drogi fabryczne są czyszczone co tydzień. • Drogi używane przez ciężarówki lub wózki widłowe są utwardzane i okresowo czyszczone w celu uniknięcia emisji rozproszonych pyłu. • Obszary zewnętrzne takie jak drogi, ścieżki i place są czyszczone okresowo (tj. co tydzień), szczególnie w porze suchej.
Wychwytywanie gazów wylotowych z pieców grzewczych	• Zbieranie gazów wylotowych z pieców grzewczych.
Odpowiednie obchodzenie się z materiałami	• Redukcja emisji rozproszonych związanych z transportem materiałów.
Zbieranie i oczyszczanie gazów odlotowych z procesów wykańczania	• Zbieranie i filtrowanie emisji z obróbki strumieniowo-ściernej (śrutowania).
Źródło: [169. TWG 2021]	

Dodatkowe przydatne informacje, np. dotyczące definicji emisji rozproszonych, norm EN, metod pomiarowych, można znaleźć w raporcie referencyjnym JRC dotyczącym monitorowania emisji do powietrza i wody z instalacji IED (ROM). [174. COM 2018]

1.3.6 Emisje do wody

W kuźniach woda jest wykorzystywana w niewielkich ilościach, np. w procesach chłodzenia i hartowania, a

także w procesach czyszczenia. Zasadniczo kuźnie nie generują znaczących ilości zanieczyszczeń w postaci ścieków.
Jak podają zakłady DE001, DE002, DE005, DE007, ES008 i PL009, do chłodzenia stosuje się zamknięty obieg/system chłodzenia w celu uniknięcia wytwarzania ścieków. Ponadto stosowany jest również system chłodzenia jednorazowego (DE006). [169. TWG 2021]
W zakładzie DE006 woda powierzchniowa jest wykorzystywana jako woda chłodząca dla sprężarek i pieców. Po wykorzystaniu do chłodzenia jest ona oczyszczana za pomocą osadnika szlamu i separatora oleju, a następnie odprowadzana bezpośrednio do wód powierzchniowych. Woda deszczowa na terenie zakładu jest również wstępnie oczyszczana w ten sposób. Regularne monitorowanie pH i olejów/tłuszczów na odpływie ścieków: pobieranie próbek i analiza bezpośrednio odprowadzanych ścieków są przeprowadzane przez operatora. Ponieważ instalacja znajduje się w pobliżu zbiornika wodnego, system chłodzenia tej instalacji działa w trybie ciągłym. Nie zastosowano cyrkulacji wody/centralnego chłodzenia. W porównaniu z chłodzeniem o obiegu zamkniętym, jednoprzepływowy system chłodzenia nie wymaga dodatkowej energii dla systemów chłodni kominowych. Nie stosuje się kondycjonowania wody obiegowej. [169. TWG 2021]

1.3.7 Straty procesowe - pozostałości

Straty procesowe/pozostałości pochodzące z procesów produkcyjnych w kuźniach składają się głównie z pozostałości metalicznych, takich jak odcięte końcówki, frez z procesu młotkowania, pył powstający w procesach produkcyjnych i zbierany podczas czyszczenia, olej i smar pochodzący z kilku etapów procesu produkcyjnego, a także odpady opakowaniowe.
W kuźniach stosuje się recykling oraz ponowne wewnętrzne wykorzystanie pozostałości z procesu powstających na przykład w procesach młotkowania. [169. TWG 2021]. Pozostałości z procesu, np. pozostałości metaliczne z procesów przygotowania surowców, młotkowania i wykańczania, a także zużyte ścierniwo, mogą być poddane recyklingowi i/lub ponownie wykorzystane. Może się to odbyć poza siedzibą firmy. [210. TWG 2022]

2 ODLEWNIE

2.1 Ogólne informacje na temat odlewni

2.1.1 Przegląd sektora

2.1.1.1 Przemysł odlewniczy

Odlewnie topią metale żelazne i nieżelazne oraz stopy, a następnie przekształcają je w produkty o gotowym lub zbliżonym do gotowego kształcie poprzez wlewanie i krzepnięcie stopionego metalu lub stopu do formy. Przemysł odlewniczy jest zróżnicowany i różnorodny. Składa się z szerokiej gamy instalacji, od małych do bardzo dużych; każda z kombinacją technologii i operacji dobranych do wsadu, wielkości serii i rodzaju produktu wytwarzanego w konkretnej instalacji. Struktura organizacyjna sektora opiera się na rodzaju wsadu metalowego, z głównym rozróżnieniem na odlewnie metali żelaznych i nieżelaznych.

Europejski przemysł odlewniczy jest trzecim co do wielkości na świecie w przypadku odlewów żelaznych i drugim co do wielkości w przypadku odlewów nieżelaznych. Całkowita produkcja odlewów w różnych krajach europejskich została przedstawiona w Tabelach 2.1 oraz 2.2.

W 2020 r. odlewnie żeliwa i stali w państwach członkowskich Europejskiego Stowarzyszenia Branży Odlewniczej (*European Foundry Association, CAEF*)[3] wyprodukowały 7,0 mln ton odlewów. Cztery kraje, które dominują w branży pod względem masy, a mianowicie Niemcy, Francja, Hiszpania i Włochy, odpowiadają za 80% produkcji odlewów z metali żelaznych. W 2020 r. instalacje odlewni metali nieżelaznych w państwach członkowskich UE odnotowały spadek produkcji o 20% do około 2,7 mln ton z powodu pandemii Covid-19. Kraje, które dominują w produkcji odlewów z metali nieżelaznych, a mianowicie Niemcy i Włochy, odpowiadają za 53,5% całkowitej ilości odlewów z metali nieżelaznych wyprodukowanych w UE.

W 2020 r. w odlewniach żelaza i stali w UE pracowało 88 400 osób, a w odlewniach metali nieżelaznych 84 700 osób. Oba sektory doświadczyły znacznej redukcji zatrudnienia w ciągu ostatnich kilku lat.

Udział żeliwa z grafitem lamelarnym (tzw. żeliwo szare) w całkowitej produkcji odlewów żeliwnych i stalowych stanowi prawie 50 % produkcji odlewów żeliwnych i stalowych. Odpowiednio, udział żeliwa sferoidalnego z grafitem kulkowym wynosi około 43%. Udział sektora stalowego wynosi 7%. Produkcja odlewów ze stopów metali nieżelaznych jest nadal zdominowana przez metale lekkie. Ich udział sięga 85%. Ponadto udział stopów miedzi kształtuje się na poziomie około 7 %. W związku z tym udział komponentów wykonanych ze stopów cynku i magnezu wynosi około 8 %.

Tabela 2.1: Dane dotyczące europejskiej produkcji odlewów żelaznych, tj. odlewów żeliwnych, stalowych i z żeliwa ciągliwego (w kilotonach)

Kraj	2016	2017	2018	2019	2020	2018:2019	2019:2020
						Zmiana w %	
Austria	154,8	156,6	164,2	158,5	134,7	-3,4	-15
Belgia	51,5	42,9	85,2	67,6	52,4	-20,7	-22,5
Bułgaria	b.d.	49,8	b.d.	b.d.	b.d.		
Chorwacja	42,9	brak danych	b.d.	b.d.	b.d.		
Republika Czeska	270,8	295,0	295,5	268,5	192,5	-9,1	-28,3
Dania	72,8	83,5	91,5	86,9	brak	-5,0	
Finlandia	57,9	66,4	64,6	57,8	47,1	-10,5	-18,7
Francja	1 263,7	1 330,9	1 339,9	1 304,3	1 067,4	-2,7	-18,2
Niemcy	3 919,0	4 184,9	4 256,2	3 804,9	2 714,8	-10,6	-28,7
Węgry	83,4	82,3	88,3	76,2	76,4	-13,7	0,3
Włochy	1 152.4(2)	1 235.0 (2)	1 253,1	1 108,9	893,1	-11,5	-19,5
Norwegia	30,1	29,4	31,2	31,2	b.d.	0,0	
Polska(1)	696,0	690,0	690,0	655,0	524,0	-5,1	-20

[3] Austria, Belgia, Bułgaria, Chorwacja, Czechy, Dania, Finlandia, Francja, Niemcy, Węgry, Włochy, Litwa, Norwegia, Polska, Portugalia, Słowenia, Hiszpania, Szwecja, Szwajcaria, Holandia, Turcja, Wielka Brytania.

Kraj	2016	2017	2018	2019	2020	2018:2019	2019:2020
						Zmiana w %	
Portugalia	140,0	144,6	145,4	140,4	106,3	-3,4	-24,3
Słowenia	202,6	195,1	137,4	177,2	116,7	28,9	-34,2
Hiszpania	1 116,9	1 128,7	1 135,7	1 113,3	931,1	-2,0	-16,4
Szwecja	230,3	236,7	248,6	240,4	197,2	-3,3	-18,0
Ogółem UE	**9 455,6**	**9 922,4**	**9 995,8**	**9 260,0**	**7 053,6**	**-7,2**	**-23,8**

(1) Bez odlewów stalowych.
(2) Bez odlewów stalowych i z żeliwa ciągliwego. Uwaga: b.d.: brak danych.
Źródło: [209. CAEF 2022]

Tabela 2.2: Dane dotyczące europejskiej produkcji odlewów z metali nieżelaznych (w kilotonach)

Kraj	2016	2017	2018	2019	2020	2018:2019	2019:2020
						Zmiana w %	
Austria	147,1	148,3	163,4	144,8	121,4	-11,4	-16,1
Belgia	0,8	b.d.	2,2	1,0	1,7	-52,6	59,9
Bułgaria	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.		
Chorwacja	24,8	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.		
Republika Czeska	119,9	122,0	124,2	116,0	94,5	-6,6	-18,5
Dania	3,9	4,4	4,0	3,5	b.d.	-11,4	
Finlandia	4,8	5,9	5,5	5,3	4,1	-3,9	-21,9
Francja	362,2	367,3	441,3	392,4	330,7	-11,1	-15,7
Niemcy	1 248,8	1 206,1	1 176,7	1 019,2	769,4	-13,4	-24,5
Węgry	123,3	127,7	139,2	124,0	121,7	-10,9	-1,9
Włochy	805,4	860,3	867,5	827,3	659,2	-4,6	-20,3
Polska	348,8	346,5	346,5	356,5	285,2	2,9	-20,0
Portugalia	50,5	54,1	56,5	56,5	50,3	0,0	-11,0
Słowenia	52,1	52,1	70,6	75,7	53,1	7,3	-29,9
Hiszpania	163,5	166,7	153,1	153,9	124,6	0,5	-19,1
Szwecja	61,5	63,7	67,3	65,1	56,4	-3,2	-13,4
Ogółem UE	**3 516,4**	**3 525,1**	**3 618,0**	**3 341,4**	**2 672,4**	**-7,6**	**-20,0**

Uwaga: b.d.: brak danych.
Źródło: [209. CAEF 2022]

Dane dotyczące liczby odlewni podano w Tabeli 2.3 oraz Tabeli 2.4. Dane te pokazują, że od 2016 r. nastąpił ogólny spadek liczby odlewni. Spadek ten znajduje również odzwierciedlenie w liczbie zatrudnionych, jak podano w Tabeli 2.5 oraz Tabeli 2.6.

Tabela 2.3: Liczba odlewni (jednostek produkcyjnych) zajmujących się odlewaniem z żelaza, stali i żeliwa ciągliwego

Kraj	2016	2017	2018	2019	2020	2018:2019	2019:2020
						Zmiana w %	
Austria	23	23	15	15	15	0,0	0,0
Belgia	15	15	13	13	13	0,0	0,0
Bułgaria	b.d.	80	b.d.	b.d.	b.d.		
Chorwacja	32	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.		
Republika Czeska	71	71	71	71	70	0,0	-1,4
Dania	8	8	8	8	b.d.	0,0	
Finlandia	18	18	16	18	16	12,5	-11,1
Francja	120	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.		
Niemcy	243	240	239	232	225	-2,9	-3,0

Kraj	2016	2017	2018	2019	2020	2018:2019	2019:2020
						Zmiana w %	
Węgry	35	34	29	30	b.d.	34,5	
Włochy	189(1)	191 (1)	185 (1)	172	172	-7,0	0,0
Polska	216	215	215	215	216	0,0	0,5
Portugalia	31	31	31	31	31	0,0	0,0
Słowenia	11	57	13	11	11	-15,4	0,0
Hiszpania	74	75	75	71	74	-5,3	4,2
Szwecja	39	38	38	36	36	-5,3	0,0
Ogółem UE	**1 125**	**1 096**	**948**	**923**	**879**	**-1,0**	**-2,6**

(1) W tym odlewanie precyzyjne. Uwaga: b.d.: brak danych.
Źródło: [209. CAEF 2022]

Tabela 2.4: Liczba odlewni (jednostek produkcyjnych) zajmujących się odlewaniem z metali nieżelaznych

Kraj	Ogółem	
	2019	2020
Austria	23	22
Belgia	6	6
Bułgaria	b.d.	b.d.
Chorwacja	b.d.	b.d.
Republika Czeska	37	37
Dania	7	b.d.
Finlandia	14	13
Francja	b.d.	b.d.
Niemcy	330	327
Węgry	33	31
Włochy	864	866
Polska	240	240
Portugalia	57	57
Słowenia	47	47
Hiszpania	52	52
Szwecja	60	b.d.
Ogółem UE	1 770	1 698

Uwaga: b.d.: brak danych.
Źródło: [209. CAEF 2022] [210. TWG 2022]

Tabela 2.5: Zatrudnienie w odlewniach żeliwa, stali i żeliwa ciągliwego

Kraj	2016	2017	2018	2019	2020	2018:2019	2019:2020
						Zmiana w %	
Austria	2 905	2 971	2 257	2 215	2 158	-1,9	-2,6
Belgia	1 066 (2)	1 193(2)	1 757	1 766	1 727	0,5	-2,2
Bułgaria	b.d.	4 382	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Chorwacja	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Republika Czeska	11 000	11 000	11 000	10 500	9 500	-4,5	-9,5
Dania	914	1 095	1 079	1 047	b.d.	-3,0	
Finlandia	1 242	1 318	1 363	1 264	1 170	-7,3	-7,4
Francja	13 300	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Niemcy (1)	41 844	41 774	42 019	39 675	35 385	-5,6	-10,8
Węgry	1 980	1 920	3 850	3 720	3 620	-3,4	-2,7
Włochy	14 047(3)	9 182	9 248	9 040	9 432	-2,2	4,3
Polska	16 000	16 000	16 000	16 000	11 125	0,0	-30,5

Kraj	2016	2017	2018	2019	2020	2018:2019	2019:2020
						Zmiana w %	
Portugalia	2 381	2 640	2 444	2 582	2 181	5,6	-15,5
Słowenia	1 400	1 418	1 135	1 110	1 277	-2,2	15,0
Hiszpania	10 980	11 070	10 928	11 162	10 808	2,1	-3,2
Szwecja	4 746	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Ogółem	**123 805**	**105 063**	**103 080**	**100 081**	**88 383**	-2,9	-11,7

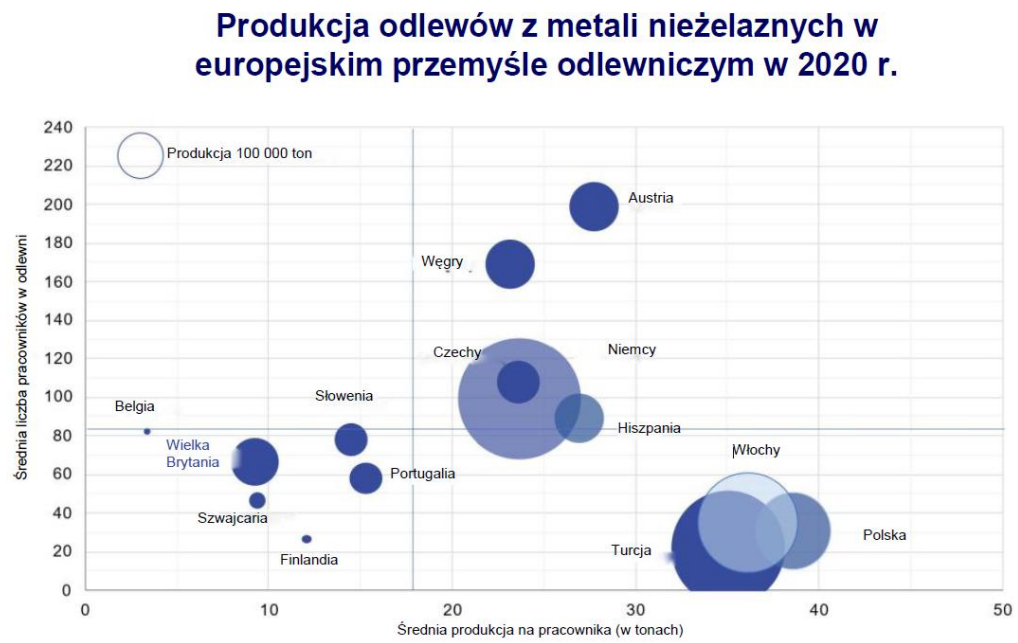
(1) Odlewnie > 50 pracowników. (2) Tylko robotnicy.
(3) W tym odlewanie precyzyjne. Uwaga: b.d.: brak danych.
Źródło: [209. CAEF 2022]

Tabela 2.6: Zatrudnienie w odlewniach metali nieżelaznych

Kraj	2016	2017	2018	2019	2020	2018:2019	2019:2020
						Zmiana w %	
Austria	3 932	4 127	5 029	4 718	4 380	-6,2	-7,2
Belgia	262	266	496	496	494	0,0	-0,4
Bułgaria	b.d.	280	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Chorwacja	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Republika Czeska	4 000	4 000	4 000	4 000	4 000	0,0	0,0
Dania	409	b.d.	b.d.	372	b.d.	b.d.	b.d.
Finlandia	330	413	413	381	344	-7,7	-9,7
Francja	12 000	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Niemcy(1)	35 229	35 967	36 845	35 552	32 473	-3,6	-8,6
Węgry	5 490	6 076	5 650	5 230	5 250	-7,4	0,4
Włochy	15 100	18 836	18 312	18 815	18 813	2,7	0,0
Norwegia	452	296	287	287	b.d.	0,0	
Polska	8 300	8 300	8 300	8 300	7 387	0,0	-11,0
Portugalia	2 399	3 400	3 461	3 365	3 293	-2,8	-2,1
Słowenia	2 500	4 195	4 138	4 032	3 669	-2,6	-9,0
Hiszpania	5 027	5 275	5 321	5 242	4 623	-1,5	-11,8
Szwecja	3 157	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Szwajcaria	1 297	1 274	1 504	1 450	1 450	-3,6	0,0
Turcja	14 000	13 500	13 750	13 750	13 850	0,0	0,7
Wielka Brytania	14 000	13 000	13 650	13 150	13 000	-3,7	-1,1
Razem	**127 874**	**119 205**	**121 110**	**126 110**	**113 026**	**4,1**	**-4,6**

(1) Odlewnie > 50 pracowników. Uwaga: b.d.: brak danych.
Źródło: [209. CAEF 2022]

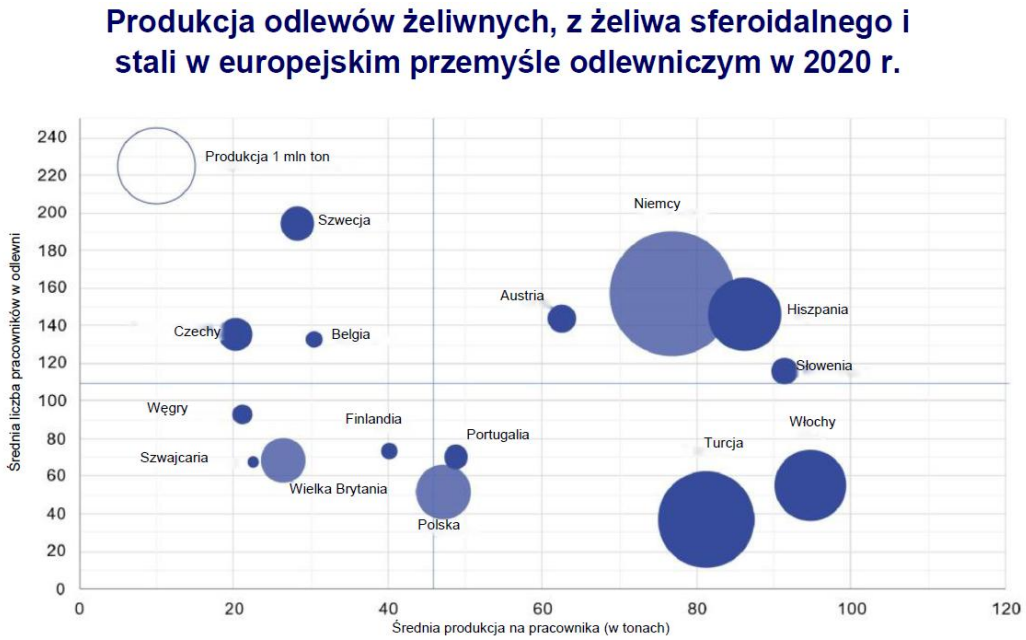
Zależność między wielkością jednostki, produkcją i zatrudnieniem dobrze ilustrują Rysunek 2.1 oraz Rysunek 2.2.



Uwaga: rozmiar okręgu reprezentuje całkowitą produkcję w danym kraju

Źródło: [209. CAEF 2022]

Rysunek 2.1: Dane dotyczące produktywności odlewni wytwarzających odlewy z metali nieżelaznych w europejskim przemyśle odlewniczym w 2020 r.



Uwaga: rozmiar okręgu reprezentuje całkowitą produkcję w danym kraju

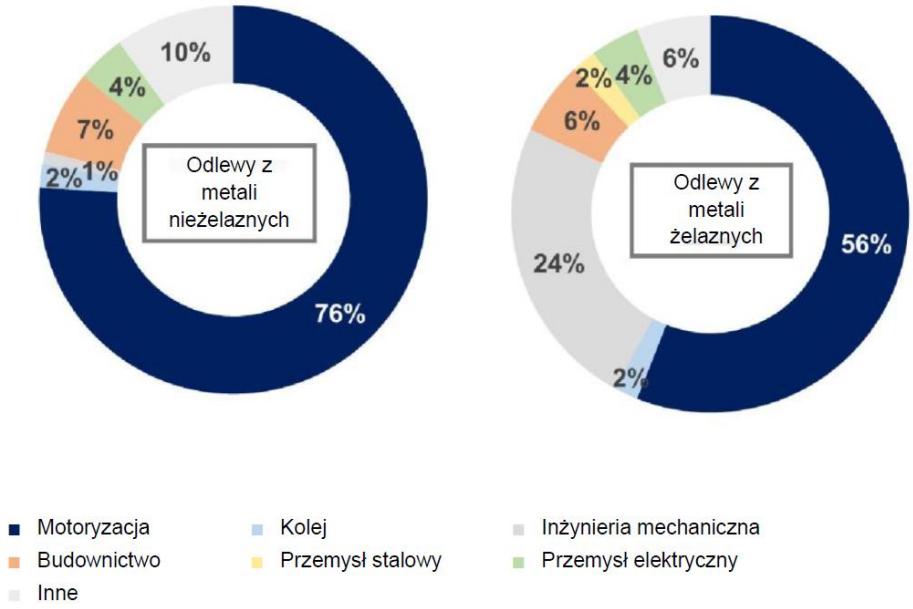
Źródło: [209. CAEF 2022]

Rysunek 2.2: Dane dotyczące produktywności odlewni wytwarzających odlewy z żeliwa, żeliwa sferoidalnego oraz stali w europejskim przemyśle odlewniczym w 2020 r.

Rozwój europejskiego przemysłu odlewniczego związany jest z rozwojem zarówno przemysłu metalowego, jak i motoryzacyjnego. Obecne odlewnie często mają historię sięgającą początku XX wieku. Pierwotnie były one zwykle zlokalizowane na obrzeżach miast, ale wraz z rozwojem wsi i miast wokół nich, są one obecnie często otoczone zabudową mieszkalną. Przemysł odlewniczy jest zasadniczo przemysłem MŚP, z 75% firm zatrudniających mniej niż 250 osób. Ponieważ odlewy są na ogół półproduktami, odlewnie są zlokalizowane blisko swoich klientów.

2.1.1.2 Rynek odlewniczy

Głównymi rynkami obsługiwanymi przez przemysł odlewniczy są sektory motoryzacyjny, inżynierii ogólnej i budowlany. Wysoka zależność od sektora motoryzacyjnego ma duży wpływ na działalność w odlewni i dotyczy różnych aspektów, takich jak ekonomia, lokalizacja, standardy jakości, normy środowiskowe, nowe rozwiązania itp. Jednym z przykładów tej zależności jest fakt, iż przejście przemysłu motoryzacyjnego w kierunku lżejszych pojazdów znajduje odzwierciedlenie w przemyśle odlewniczym poprzez zwiększony popyt (a tym samym rynek) na odlewy aluminiowe i magnezowe, umożliwiając tym samym rozwój tych sektorów.
Ze względu na rosnącą elektryfikację pojazdów w przemyśle motoryzacyjnym, sektor ten stoi w obliczu radykalnej zmiany. Odlewnie wielkoseryjne koncentrujące się na układzie napędowym są tym szczególnie dotknięte. Gdzie indziej ta fundamentalna zmiana otwiera nowe segmenty rynku. Efektywne wykorzystanie zasobów oznacza, że odlewane komponenty stają się coraz bardziej złożone. Odlewnie odchodzą od rynku opartego na tonażu na rzecz rynku oferującego kompletne rozwiązania z obróbką końcową. Podczas gdy w tonach produkcji sektor motoryzacyjny jest zdecydowanie największym segmentem klientów, odlewy są niezbędne również dla prawie wszystkich innych branż.
Udziały w rynku różnią się w zależności od rodzaju metalu. Ilustrują to dane z niemieckiego rynku odlewni, przedstawione na Rysunku 2.3. Sektor motoryzacyjny pochłania ponad 50% wszystkich odlewów żeliwnych niemieckich odlewni. Z drugiej strony odlewy stalowe (w tym niskostopowe, a także nierdzewne i inne stopy) są wykorzystywane do produkcji części maszyn i zaworów, a zatem służą szerszemu wachlarzowi sektorów. Rzeczywiście, największy udział w rynku produkcji zaworów mają odlewy ze stali nierdzewnej.



Źródło: [209. CAEF 2022]

Rysunek 2.3: Udziały w rynku odlewów z metali nieżelaznych i żelaznych (dane dla rynku niemieckiego)

Otwarcie Europy na Wschód spowodowało, że duzi europejscy producenci wykazują coraz większe zainteresowanie istniejącą działalnością odlewni w krajach takich jak Polska, Czechy czy Węgry. Niektóre z dużych europejskich firm zainwestowały w tych regionach. W przypadku krajów Europy Wschodniej otwarcie ich rynków w połączeniu z napływającymi inwestycjami zagranicznymi pozwoliło na wdrożenie nowych technik, zwiększając tym samym produktywność oraz zmniejszając ich wpływ na środowisko. Ze względu na niskie koszty pracy w tych krajach, ich siła konkurencyjna leży w odlewniach pracujących na zlecenie, produkujących głównie duże odlewy, oraz w odlewniach wytwarzających szeroką gamę produktów. Aby konkurować na rynku światowym, zachodnioeuropejskie odlewnie koncentrują się obecnie na swoich umiejętnościach technologicznych, wybierając rynki niszowe, które wymagają złożonych odlewów o wysokiej precyzji, specyficznych wymagań jakościowych lub takich, które wymagają szybkiej dostawy lub dostawy na czas.

2.1.1.3 Rodzaje odlewni

Oprócz rodzaju metalu (tj. żelazne/nieżelazne) układ odlewni w dużej mierze zależy od wielkości odlewów i wielkości serii. Istnieje duża różnica między odlewnią cynku produkującą duże serie ram do samochodów-zabawek a odlewnią żeliwa produkującą obudowy wirników do turbin wiatrowych. Odlewnie stosują różne stopnie automatyzacji w zależności od wielkości serii i powtarzalności pracy. Jeśli chodzi o stosowane techniki, głównym rozróżnieniem jest rodzaj używanego pieca do topienia (np. żeliwiak, elektryczny, obrotowy) i rodzaj formy (np. odlewanie piaskowe, odlewanie ciśnieniowe). Zostały one opisane i omówione w Sekcji 2.2.

Klasyfikacja różnych typów odlewni została opracowana przez sektor odlewniczy i składa się z różnych klastrów, w tym:

- odlewnie żeliwa do produkcji seryjnej (w tym odlewanie odśrodkowe): odlewnie te zazwyczaj stosują automatyczne techniki formowania i produkują małe odlewy;
- odlewnie żeliwa do produkcji pojedynczych odlewów (w tym odlewanie ciągłe): odlewnie te zazwyczaj stosują ręczne techniki formowania i produkują duże odlewy;
- odlewnie stali;
- odlewnie metali nieżelaznych wykorzystujące technologie odlewania piaskowego;
- odlewnie metali nieżelaznych stosujące odlewanie grawitacyjne lub niskociśnieniowe odlewanie kokilowe (w tym odlewanie ciągłe lub odśrodkowe);
- odlewnie metali nieżelaznych stosujące odlewanie ciśnieniowe.

Różne typy odlewni według klasyfikacji klastrów oraz informacje na temat ich działalności i specyfiki przedstawiono w tabeli 2.7.

Tabela 2.7: Typowe rodzaje odlewni - klasyfikacja klastrowa

Kryteria	Odlewnia żeliwa, produkcja seryjna (w tym odlewanie odśrodkowe)	Odlewnia żeliwa, odlewy pojedyncze (w tym odlewanie ciągłe)	Odlewnia stali	Odlewnia metali nieżelaznych, odlewanie piaskowe	Odlewnia metali nieżelaznych, odlewanie grawitacyjne lub niskociśnieniowe (w tym odlewanie ciągłe i odśrodkowe)	Odlewnia metali nieżelaznych, odlewanie wysokociśnieniowe
Materiał odlewniczy	Żeliwo szare, żeliwo sferoidalne, żeliwo białe	Żeliwo szare, żeliwo sferoidalne	Stal stopowa lub niestopowa	Stopy na bazie aluminium, miedzi lub magnezu	Stopy na bazie aluminium, miedzi lub ołowiu	Stopy na bazie aluminium, magnezu, cynku lub miedzi
Typowe produkty	Części samochodowe, np. tarcze hamulcowe, części dla inżynierii mechanicznej, części odporne na zużycie	Części maszyn, np. części turbin wiatrowych, rolki, blokady silnika	Odlewy o wysokiej wytrzymałości lub odporności na korozję, np. elementy pomp, części żaroodporne, części odporne na zużycie	Motoryzacja lub inne zastosowania, np. armatura. Tuleje, łożyska, części okrętowe, części inżynieryjne	Części samochodowe, np. głowice cylindrów, przeciwwagi, tuleje, łożyska, części okrętowe	Części samochodowe i maszynowe, np. bloki silników. Uchwyty, obudowy, części okrętowe, złącza, zawory
Piec do topienia, surowce	Piece żeliwne lub indukcyjne; surówka i czysty złom	Piece żeliwne lub indukcyjne; surówka i czysty złom	Piece łukowe lub indukcyjne; czysty złom	Piece indukcyjne, piece oporowe, piece opalane gazem lub olejem; stopy rafinowane, czysty złom	Piece indukcyjne, piece oporowe, piece opalane gazem lub olejem; stopy rafinowane, czysty złom	Piece indukcyjne, piece oporowe, piece opalane gazem lub olejem; stopy rafinowane, czysty złom
Oprzyrządowanie odlewni (naprawa)	Szablony i rdzennice: metal lub tworzywo sztuczne	Szablony i rdzennice: drewno lub tworzywo sztuczne	Szablony i rdzennice: drewno, plastik lub metal	Szablony i rdzennice: drewno, plastik lub metal	Materiał obudowy i rdzenia: metal; materiał matryc: stal lub tworzywo sztuczne	Materiał matryc: stal
Formy piaskowe, system piaskowy lub formy stałe (matryce)	Automatyczna formiernia, zielone piaski/piaskowce	Formowanie ręczne lub zmechanizowane, samoutwardzalne spoiwo organiczne lub nieorganiczne	Formowanie ręczne lub zmechanizowane, samoutwardzalne spoiwo organiczne	Automatyczna formiernia, zielone piaski/piaskowce, samoutwardzalne spoiwo organiczne lub nieorganiczne	Maszyny do odlewania grawitacyjnego lub niskociśnieniowego	Maszyny do odlewania wysokociśnieniowego
Tworzenie rdzenia, system piaskowy	Maszyny do rdzeniowania (rdzeniarki), organiczne spoiwa piaskowe, spoiwa utwardzane gazem	Formowanie ręczne, samoutwardzalne spoiwo organiczne lub maszyny do rdzeniowania (rdzeniarki), spoiwo organiczne utwardzane gazem	Formowanie ręczne, samoutwardzalne spoiwo organiczne lub maszyny do rdzeniowania (rdzeniarki), spoiwo organiczne utwardzane gazem	Maszyny do rdzeniowania, samoutwardzalne spoiwa organiczne lub nieorganiczne, spoiwa organiczne utwardzane gazem lub ciepłem	Maszyny do rdzeniowania, spoiwa nieorganiczne lub organiczne, utwardzanie gazowe lub termiczne	Brak tworzenia rdzenia

Kryteria	Odlewnia żeliwa, produkcja seryjna (w tym odlewanie odśrodkowe)	Odlewnia żeliwa, odlewy pojedyncze (w tym odlewanie ciągłe)	Odlewnia stali	Odlewnia metali nieżelaznych, odlewanie piaskowe	Odlewnia metali nieżelaznych, odlewanie grawitacyjne lub niskociśnieniowe (w tym odlewanie ciągłe i odśrodkowe)	Odlewnia metali nieżelaznych, odlewanie wysokociśnieniowe
Śrutowanie	Automatyczne śrutowanie i zmechanizowane szlifowanie	Śrutowanie i szlifowanie, zmechanizowane lub ręczne	Śrutowanie i szlifowanie, zmechanizowane lub ręczne	Śrutowanie, automatyczne lub zmechanizowane szlifowanie, zmechanizowane lub ręczne	Automatyczne piłowanie i zmechanizowane szlifowanie	Automatyczne cięcie

Źródło: [173. CAEF i in. 2020]

2.1.2 Kwestie środowiskowe

Przemysł odlewniczy jest głównym graczem w recyklingu metali. Złom stalowy, żeliwny i aluminiowy może być przetapiany na nowe produkty. Możliwy negatywny wpływ odlewni na środowisko wynika z obecności procesu termicznego oraz stosowania dodatków organicznych i mineralnych. Wpływ procesu odlewniczego na środowisko odnosi się zatem głównie do spalin i gazów wylotowych oraz do zarządzania (np. ponownego wykorzystania lub unieszkodliwiania) pozostałościami mineralnymi.

2.1.2.1 Powietrze

Szkodliwe emisje powstające podczas topienia i obróbki metali są zazwyczaj związane ze stosowaniem dodatków i paliw lub z zanieczyszczeniami wsadu. Stosowanie koksu jako paliwa lub ogrzewanie tygli palnikami gazowymi lub olejowymi może powodować emisje produktów spalania. Również stosowanie dodatków w procesach obróbki metali generuje produkty reakcji. Obecność zanieczyszczeń (np. oleju, farby) w złomie używanym do przetapiania może potencjalnie powodować powstawanie produktów niepełnego spalania lub rekombinacji oraz pyłu. Powstający pył może również zawierać metale i tlenki metali. Podczas topienia dochodzi do parowania pierwiastków z wysoką prężnością pary, a z kąpieli wydostają się małe cząstki metalu. Cząstki metalu powstają również podczas szlifowania i wykańczania.
W produkcji form i rdzeni można stosować próżnię lub różne dodatki do wiązania piasku. Podczas wiązania piasku i wylewania metalu powstają produkty reakcji i rozkładu. Obejmują one zarówno produkty nieorganiczne, jak i organiczne. Generowanie produktów rozkładu jest kontynuowane podczas operacji odlewania, chłodzenia i usuwania z formy (wytrząsania).
Uwalnianie pyłu i cząstek stałych jest ogólnym problemem na wszystkich etapach procesu w odlewni oraz we wszystkich stosowanych procesach. Pył jest generowany podczas produkcji i przetwarzania form piaskowych i rdzeni, a także podczas wykańczania odlewów (zarówno z form jednorazowych (traconych podczas procesu, dalej nazywanych w skrócie formami traconymi), jak i stałych).
W procesie odlewniczym emisje do powietrza nie są ograniczone do jednego (lub kilku) stałych punktów. Proces obejmuje różne źródła emisji (np. z gorących odlewów, piasku, gorącego metalu). Kluczową kwestią dla zrównoważonej redukcji emisji są środki pierwotne zintegrowane z procesami, np. stosowanie czystego złomu lub spoiw o obniżonej emisji w połączeniu ze środkami wtórnymi, tj. technikami wychwytywania i oczyszczania spalin i gazów wylotowych.

2.1.2.2 Pozostałości

Formowanie piaskowe wymaga użycia dużych ilości piasku, przy czym stosunek masy piasku do masy ciekłego metalu wynosi zazwyczaj od 1:1 do 20:1. Po zakończeniu procesu formowania zużyty piasek można zregenerować, ponownie wykorzystać lub unieszkodliwić. Nowoczesne techniki regeneracji i rekultywacji piasku prowadzą do ponownego jego wykorzystania na poziomie ponad 90%. Dodatkowe pozostałości mineralne, takie jak żużel i kożuch żużlowy, powstają na etapie topienia podczas usuwania zanieczyszczeń ze stopu. One również powinny zostać poddane recyklingowi lub unieszkodliwieniu.

2.1.2.3 Energia

Ponieważ odlewnie zajmują się procesami termicznymi, efektywność energetyczna i zarządzanie generowanym ciepłem są ważnymi aspektami środowiskowymi. Istnieje wiele technik stosowanych w odlewniach w celu oszczędzania energii i odzysku ciepła. Jednak ze względu na dużą potrzebę transportu i obsługi nośnika ciepła (tj. metalu) oraz ze względu na jego powolne chłodzenie, odzysk ciepła nie zawsze jest prosty.

2.1.2.4 Woda

Woda jest zwykle wykorzystywana w różnych procesach, np. w systemach chłodzenia pieców elektrycznych (indukcyjnych lub łukowych) i żeliwiaków, mokrych systemach oczyszczania gazów spalinowych, regeneracji mokrego piasku, granulacji żużla w piecach żeliwiakowych, odlewaniu ciśnieniowym. Strumienie ścieków mogą również pochodzić ze spływów powierzchniowych z obszarów magazynowych. W wielu odlewniach gospodarka wodna obejmuje wewnętrzny obieg wody chłodzącej, systemy chłodzenia o obiegu zamkniętym są uważane za najnowocześniejsze. Generalnie, wychodzący strumień ścieków jest zatem bardzo mały. W przypadku odlewania ciśnieniowego (wysokociśnieniowego) powstaje strumień ścieków, który przed unieszkodliwieniem wymaga oczyszczenia w celu usunięcia m.in. związków organicznych (fenol, olej) i metali ciężkich.

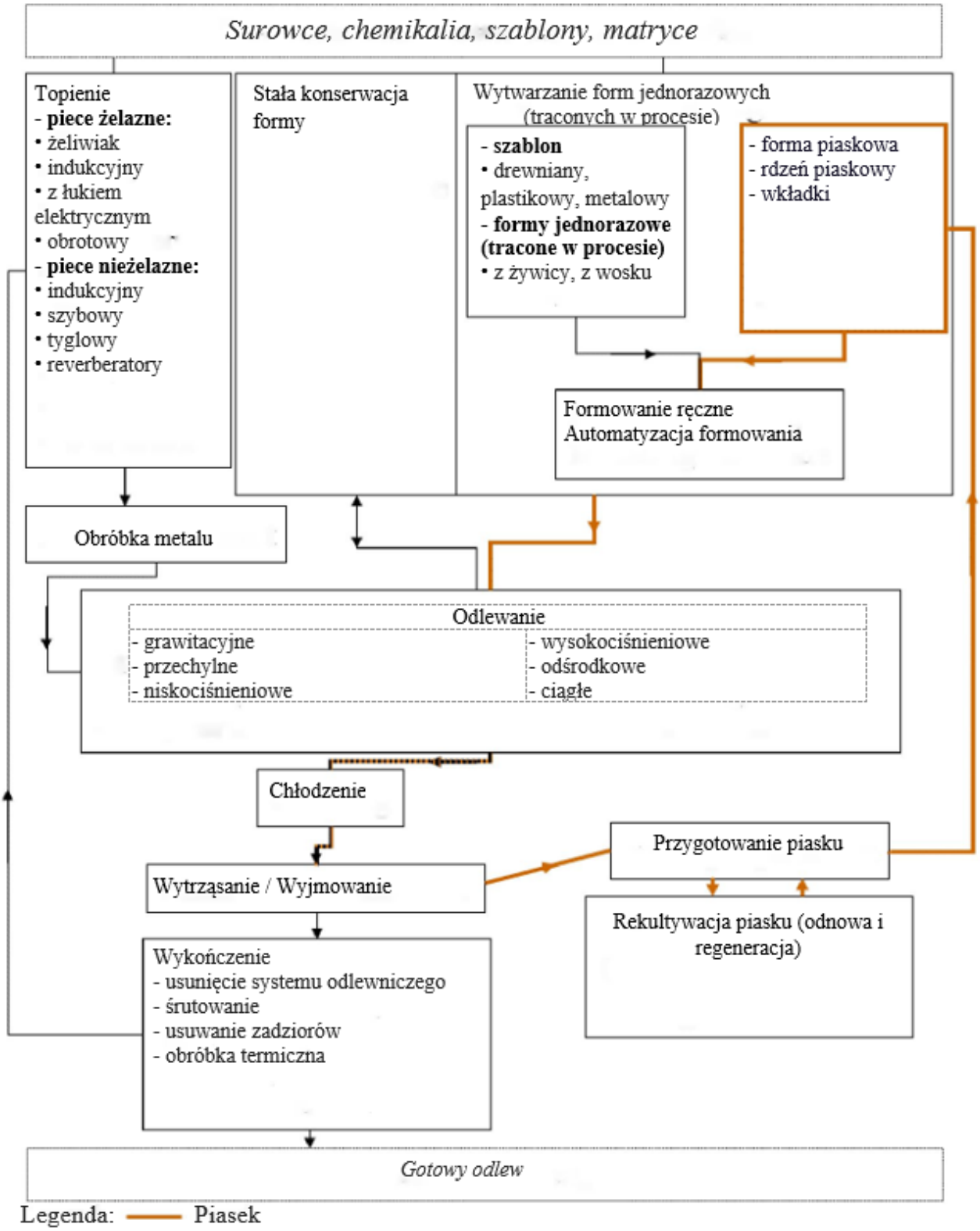
2.2 Stosowane w odlewniach procesy i techniki

2.2.1 Informacje ogólne

2.2.1.1 Proces odlewniczy

Ogólny schemat procesu odlewniczego przedstawiono na Rysunku 2.4. Proces ten można podzielić na następujące główne działania:

- topienie i obróbka metali: wytapialnia;
- przygotowanie form: formiernia;
- odlewanie stopionego metalu do formy, chłodzenie w celu zestalenia i usunięcie odlewu z formy: odlewnia;
- wykończenie surowego odlewu: wykańczalnia.



Źródło: [14. CAEF 1997]

Rysunek 2.4: Proces odlewniczy

Zaczynając od złomu odlewniczego (wyselekcjonowanego złomu zgodnie z określonym składem chemicznym) lub wlewek, odlewnia produkuje gotowe odlewy. Zazwyczaj są to komponenty, które wymagają dalszej obróbki lub złożenia w celu uzyskania produktu końcowego.

Po stronie formowania, podstawowe rozróżnienie dotyczy form stałych i traconych. Odlewnie odlewające w formach stałych kupują metalowe formy (matryce) od dostawców zewnętrznych, ale zazwyczaj prowadzą własny warsztat naprawy i konserwacji form. Odlewnie odlewające w formach traconych często kupują drewniane, metalowe lub plastikowe szablony (do projektowania form) i prowadzą własny warsztat

konserwacji i naprawy szablonów. Formy, rdzenie i modele tracone są zazwyczaj produkowane w ramach procesu odlewni.
Tradycyjnie, w sektorze odlewniczym rozróżnia się głównie odlewnie metali żelaznych i nieżelaznych. Wynika to przede wszystkim z różnic w procesach stosowanych w obu sektorach. Odlewnie metali nieżelaznych często stosują techniki odlewania ciśnieniowego, ale powszechne są również stałe matryce z rdzeniem piaskowym. Techniki odlewania ciśnieniowego pozwalają na lepsze wykończenie powierzchni, co jest ważne dla wielu zastosowań aluminium i mosiądzu. Ze względu na wysoką szybkość chłodzenia, produkowane są odlewy o wysokiej wytrzymałości mechanicznej. Technika ta nie pozwala jednak na produkcję masywnych lub dużych elementów, które wymagają zastosowania technik odlewania piaskowego. Techniki odlewania piaskowego są zwykle stosowane w odlewniach metali nieżelaznych do produktów, które nie są produkowane w dużych seriach. Jednak techniki odlewania piaskowego, takie jak rdzenie piaskowe w matrycach i kompletne systemy pakietów rdzeni, są również stosowane w odlewniach metali nieżelaznych do produkcji dużych serii. Metale nieżelazne (i ich stopy) omówione w niniejszym dokumencie to:

- aluminium;
- magnez;
- miedź;
- cynk;
- ołów.

Odlewnie metali żelaznych zazwyczaj stosują zazwyczaj technikę form traconych. Ze względu na większą sztywność i wytrzymałość, stopy żelaza są wykorzystywane w innych zastosowaniach niż stopy nieżelazne. Rozmiar produktów, które mogą być wytwarzane jest niemal nieograniczony. Metale żelazne mają wyższą temperaturę topienia i dlatego wymagają innych technik topienia. Metale żelazne i stopy omówione w tym dokumencie to różne rodzaje żeliwa (które można sklasyfikować według ich właściwości lub rodzaju grafitu) oraz stal odlewnicza (staliwo).
Omówione zostaną również nadstopy o wysokiej zawartości pierwiastków stopowych, takich jak nikiel (Sekcja 2.2.1.9).
Odlewnie wykorzystują mechanizację i automatyzację w zależności od potrzeb w zakresie powtarzalności i wielkości serii. Najbardziej elastyczną instalacją jest zazwyczaj odlewnia „pojedynczych odlewów" (odlewnia małych serii zwana również „odlewnią na zlecenie" lub „odlewnią klienta"). Wytwarza ona różnorodne produkty w małych ilościach (< 100). Generalnie, odlewnie tego typu stosują ręczne lub automatyczne techniki formowania z użyciem form piaskowych łączonych żywicą. Piec do topienia działa w trybie wsadowym, aby umożliwić łatwą zmianę stopu. Oznacza to zastosowanie pieców indukcyjnych lub obrotowych.
W przypadku średnich serii (< 1 000 sztuk) stosowane są zmechanizowane linie do formowania i odlewania. Odlewnie stosujące formy tracone wykorzystują maszyny do produkcji form. Oznacza to użycie zielonego piasku/piaskowca, który umożliwia szybkie tworzenie form. Rozmiar maszyny do formowania (rozmiar kolby) ogranicza maksymalny rozmiar odlewów. Odlewanie może być wykonywane ręcznie lub przy użyciu maszyny do zalewania. Pomocnicze procesy uboczne, takie jak przygotowanie piasku, są obsługiwane w sposób półautomatyczny za pomocą zdalnego sterowania. Stosowane są zarówno piece ciągłe (żeliwiaki, piece szybowe), jak i piece wsadowe. W przypadku stopów nieżelaznych stosowane są techniki odlewania ciśnieniowego.
Duże serie małych odlewów są często wykonywane w technologii bezkolbowego formowania w zielonym piasku/piaskowcu. Główną różnicą w przypadku średnich serii jest dalsza automatyzacja wykańczania, kontroli jakości i montażu form. W przypadku odlewów ciśnieniowych ze stopów metali nieżelaznych często stosuje się dalszą automatyzację, szczególnie w przypadku odlewni ciśnieniowych.

Duże serie odlewów z metali nieżelaznych, zwłaszcza stopów aluminium, produkowane są w formach stałych. Główne procesy to:

- odlewanie grawitacyjne stopów aluminium;
- odlewanie niskociśnieniowe;
- odlewanie wysokociśnieniowe (*high-pressure die casting, HPDC*) stopów aluminium, magnezu i cynku.

Procesy te wykorzystują wysoce zaawansowane wieloczęściowe matryce z ruchomymi elementami. Linie produkcyjne są wysoce zautomatyzowane.
Złożone i precyzyjne odlewy żelazne mogą być również wykonywane przy użyciu systemu pakietów

rdzeniowych (z rdzeniami wewnętrznymi i formami zewnętrznymi wykonanymi z piasku rdzeniowego). Zapewnia to lepszą dokładność w porównaniu z zielonym piaskiem i ma tę zaletę, że jest to system piaskowy jednego typu.
Specyficzne techniki odlewania, takie jak odlewanie metodą traconej pianki, odlewanie w pełnej formie, odlewanie odśrodkowe lub odlewanie ciągłe, są stosowane tam, gdzie wymaga tego rodzaj produktu.
Jeśli chodzi o emisje do powietrza, różne etapy procesu w odlewni mogą potencjalnie wytwarzać pyły, dymy i inne gazy, np. podczas magazynowania, przenoszenia i przetwarzania materiałów. Techniki ograniczania emisji do powietrza obejmują zapobieganie, minimalizację oraz zbieranie i oczyszczanie gazów wylotowych. Wytapialnia, rdzeniarnia, piaskownia i odlewnia są znaczącymi źródłami emisji. Emitowane zanieczyszczenia powietrza to głównie pył (potencjalnie z cząstkami metali ciężkich), dwutlenek siarki, tlenek węgla oraz zapachowe związki organiczne. Tabela 2.8 przedstawia wyniki badania zanieczyszczeń generowanych na różnych etapach procesu produkcyjnego w odlewni żeliwa. Zarówno związki nieorganiczne, jak i organiczne są wymienione jako związki indywidualne i grupowe. Emisje pyłu mają szczególne znaczenie, ponieważ procesy termiczne mogą generować znaczne ilości metali ciężkich.

Tabela 2.8: Badanie emisji do powietrza na różnych etapach procesu produkcyjnego w odlewniach żelaza

ŹRÓDŁO → **UWOLNIENIA**	Magazynowanie i obsługa surowców	Obsługa pieca	Odsiarczanie stopionego żelaza	Sferoidyzacja	Przygotowanie rdzeni i form	Odlewanie	Wytrząsanie, regeneracja	Odlewanie, obróbka i wykańczanie odlewów
Tlenki siarki		X	X		X	X	X	
Tlenki azotu		X			X	X	X	
Dwutlenek węgla		X	X	X	X	X	X	
Tlenek węgla		X	X	X	X	X	X	
Siarkowodór					X	X	X	
Amoniak					X	X	X	
Tlenki żelaza		X	X	X		X	X	X
Związki metali alkalicznych		X	X					
Związki metali ziem alkalicznych		X	X	X		X		
Cząstki tlenków metali		X	X	X		X	X	X
Cząstki niemetaliczne	X	X	X		X	X	X	X
Metaliczne żelazo		X						X
Cyjanowodór					X			
Siarka			X					
Aminy/amidy					X	X		
Dioksyny		X						
Lotne związki organiczne		X			X	X	X	
Opary kwasu		X			X	X		
Hałas		X			X		X	X

ŹRÓDŁO ⇩ UWOLNIENIA	Magazynowanie i obsługa surowców	Obsługa pieca	Odsiarczanie stopionego żelaza	Sferoidyzacja	Przygotowanie rdzeni i form	Odlewanie	Wytrząsanie, regeneracja	Odlewanie, obróbka i wykańczanie odlewów
Substancje obejmują również ich związki, z wyjątkiem przypadków, w których podano oddzielne odniesienie do związku. Uwolnienia do powietrza mogą być również uwalniane do gleby lub wody, w zależności od zastosowanej technologii ograniczania emisji, np. poprzez zebrane pyły, osady lub ciecze. Niektóre uwolnienia są specyficzne dla danego rodzaju spoiwa *Źródło*: [62. UK Environment Agency 2002]								

Techniki ograniczania emisji omówiono w Sekcji 3.

2.2.1.2 Odlewanie żeliwa

Żeliwo jest stopem żelazo-węgiel-krzem, zawierającym zwykle od 2,4% do 4% węgla. Minimalna zawartość węgla wynosi 1,8%. Skład chemiczny podstawowych gatunków żeliwa nie jest określony w normach materiałowych, dotyczy jedynie gatunków wysokostopowych. Inne pierwiastki stopowe są obecne w różnych ilościach. Produkowane są specjalne gatunki żeliwa, które zawierają różne poziomy niklu, chromu i innych metali. Ze względu na swój skład eutektyczny, żeliwo ma niską temperaturę topienia i dobrą zdolność odlewania w porównaniu do staliwa. Odlewy uzyskują swój złożony kształt i dwufazową mikrostrukturę (żelazo i wolny grafit) bezpośrednio podczas krzepnięcia w formie (materiał in-situ, jedno podgrzanie); dalsza obróbka nie jest konieczna w przypadku większości odlewów. Struktura krzepnięcia in situ nie ma takiej samej wytrzymałości jak stal kuta, która została poddana rekrystalizacji i obróbce cieplnej (trzy podgrzewania). Właściwości technologiczne uzyskuje się poprzez stopowanie (dostosowanie struktury matrycy, np. ferryt/perlit) i ewentualnie obróbkę cieplną, a także poprzez modyfikację kształtu wolnego grafitu (np. lamelarny, sferoidalny, wermikularny).
W zależności od stężenia i formy węgla (lamelarny, sferoidalny lub zwarty) można zdefiniować różne rodzaje żeliwa:

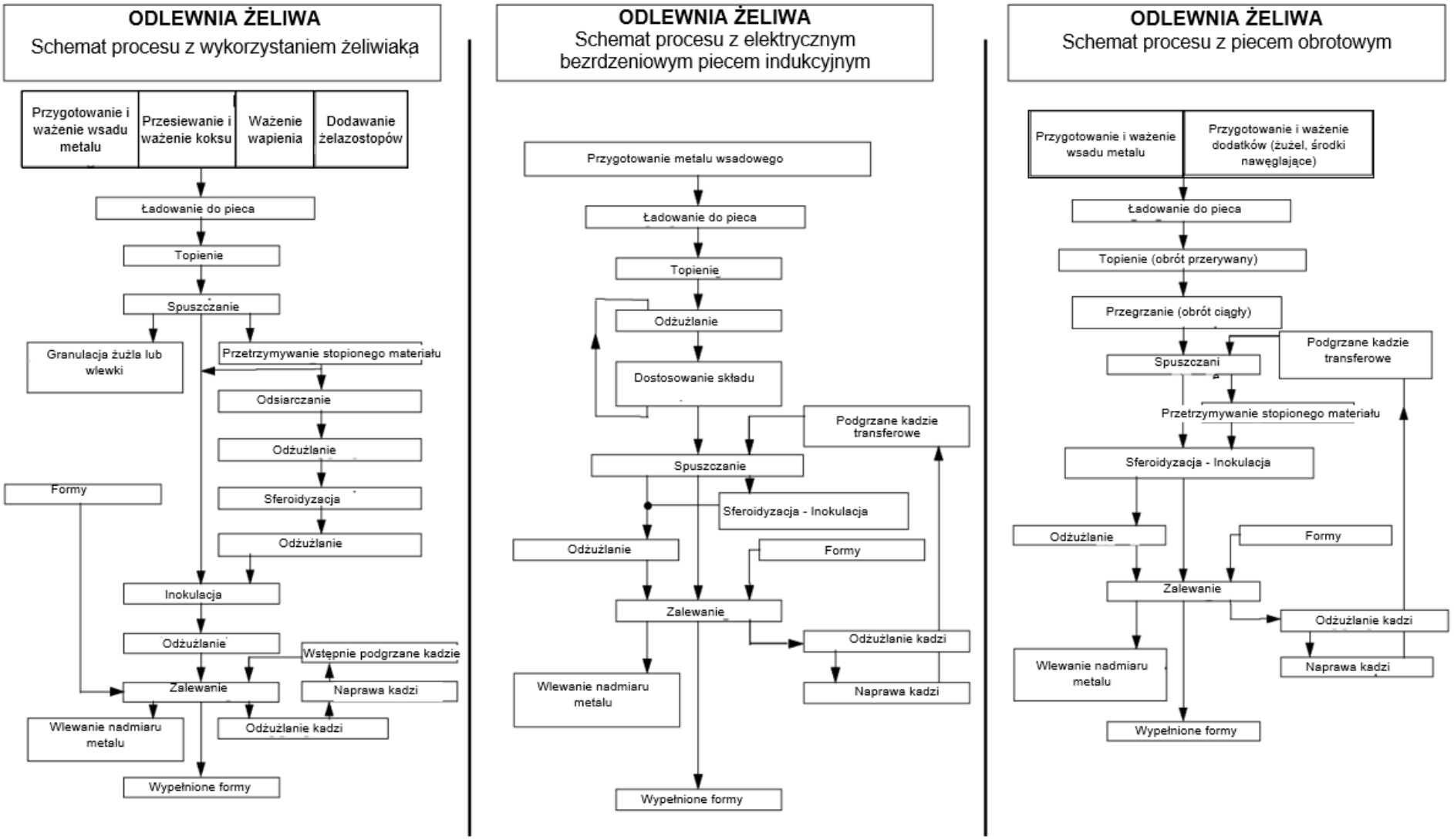
- żeliwo lamelarne: węgiel w postaci płatków;
- żeliwo sferoidalne: węgiel w formie sferoidalnej;
- kompaktowe żeliwo grafitowe: węgiel w formie związanej.

Klasyfikacja żeliwa jest często dokonywana na podstawie jego właściwości materiałowych:

- Żeliwo szare: żeliwo z wolnym grafitem w złożonym trójwymiarowym kształcie (lamelarnym w próbce metalograficznej). Charakteryzuje się bardzo dobrą przewodnością cieplną i skrawalnością.
- Żeliwo sferoidalne: żeliwo z wolnym grafitem o przeważnie okrągłym kształcie. Prowadzi to do większego wydłużenia przed zerwaniem, a także plastyczności, zwłaszcza w przypadku niestopowych gatunków ferrytycznych.
- Żeliwo ciągliwe: żeliwo poddawane późniejszej obróbce cieplnej zwanej „odpuszczaniem". Skutkuje to albo zwiększoną ciągliwością, albo pozbawioną grafitu, spawalną strukturą. Używane do mniejszych części i armatury.
- Grafit wermikularny: żeliwo z pośrednią formą wolnego grafitu, co skutkuje lepszymi właściwościami mechanicznymi niż żeliwo szare i nadal dobrą przewodnością cieplną.
- żeliwo sferoidalne hartowane izotermicznie (*Austempered Ductile Iron, ADI*): żeliwo sferoidalne poddawane specjalnej obróbce cieplnej, w wyniku której powstaje dwufazowa austenityczno-ferrytyczna matryca. Materiał ten charakteryzuje się doskonałymi właściwościami w zakresie odporności na rozciąganie i zużycie.
- Gatunki specjalne: gatunki do zastosowań specjalnych to żeliwa odporne na ścieranie (białe), żeliwa

austenityczne żaroodporne oraz żeliwa ferrytyczne SiMo żaroodporne.

Żeliwo może być topione w żeliwiaku, piecu indukcyjnym (zazwyczaj bezrdzeniowym, ale bardzo sporadycznie może to być piec kanałowy) lub w piecu obrotowym. Elektryczny piec łukowy jest rzadko stosowany do produkcji odlewów żeliwnych. Ma on potencjał do topienia złomu stalowego niskiej jakości. Rysunek 2.5 przedstawia schematy przepływu procesu topienia i obróbki żeliwa w trzech różnych typach pieców. Proces zasadniczo składa się z topienia - spustu - obróbki metalu - zalewania. Różne aspekty wytapiania i obróbki metalu zostały omówione w poniższych sekcjach. Obróbka metalu obejmuje różne etapy, takie jak odsiarczanie, sferoidyzacja, inokulacja i odżużlanie. Etap odsiarczania w procesie wytapiania w żeliwiaku może być również włączony do sferoidyzacji, np. poprzez zastosowanie procesu sferoidyzacji, który jednocześnie pochłania siarkę, takiego jak proces z drutem rdzeniowym.



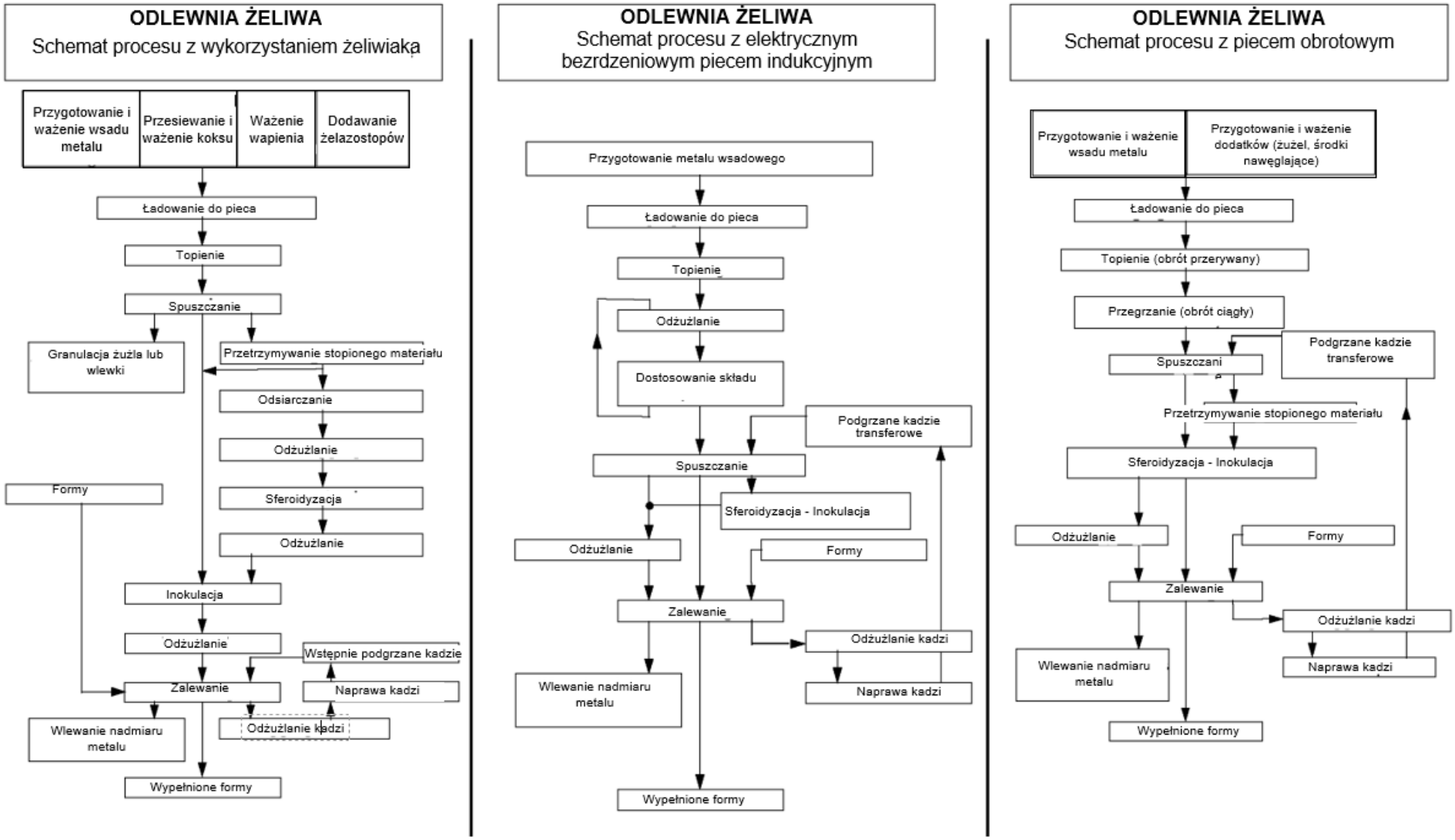
Źródło: [14. CAEF 1997]

Rysunek 2.5: Diagramy przepływu procesu topienia i obróbki żeliwa

Żeliwiak jest wiodącym piecem do wytapiania żelaza w Europie. Odpowiada za około połowę tonażu odlewów żeliwnych produkowanych w Europie Zachodniej. Obecnie żeliwiaki coraz częściej stają w obliczu poważnych wyzwań związanych z ich dominacją na rynku. Wynika to częściowo z jakości gazu spalinowego, który wymaga oczyszczania. W obliczu możliwego obciążenia finansowego związanego z inwestycją, a następnie amortyzacją instalacji oczyszczania gazów kominowych, niektóre średniej wielkości żeliwiaki zostały wyposażone w spalanie tlenowo-paliwowe. Niektóre mniejsze piece zostały już zastąpione piecami indukcyjnymi. Tak więc liczba żeliwiaków używanych w odlewniach spada, ale ich średni rozmiar rośnie. Nastąpiły poważne zmiany na rynku żeliwiaków w Europie, szczególnie z powodu restrukturyzacji przemysłu koksowniczego, co doprowadziło do zmniejszenia liczby dostawców i konieczności importu koksu do Europy. Kolejną istotną zmianą jest mniejsza liczba producentów żeliwiaków, z jedną niemiecką firmą posiadającą quasi-monopol na żeliwiaki z gorącym nadmuchem.
Większość powtarzalnych odlewów żeliwnych jest wykonywana w formach z zielonego piasku/piaskowca z rdzeniami łączonymi żywicą. Najczęściej stosowana jest technika aminowa cold-box. Proces formowania tzw. „Croning resin shell" (proces Croninga - Johannes Croning) jest stosowany tam, gdzie wymagana jest wysoka precyzja i dobre wykończenie powierzchni. Odlewanie metodą traconej pianki jest stosowane w ograniczonym zakresie w przypadku odlewów powtarzalnych. Odlewy produkowane w mniejszych ilościach (np. duże odlewy) są wykonywane w formach piaskowych wiązanych chemicznie. W przypadku niektórych odlewów żeliwnych stosowane są specjalne procesy piaskowe, takie jak formowanie próżniowe i pełne formowanie. Istnieje również kilka odlewni wykonujących odlewy żeliwne metodą formowania ciągłego (odlewania ciśnieniowego), ale wysoka temperatura stopionego żeliwa ogranicza ich zdolność produkcyjną do zaledwie kilku tysięcy komponentów, a tym samym ogranicza stosowanie odlewania ciśnieniowego żeliwa.
[59. Godinot 2001], [73. Brown, J. R. 2000], [133. DE UBA 2014]

2.2.1.3 Odlewanie stali

Stal jest materiałem, w którym (masowa) zawartość żelaza jest większa niż jakiegokolwiek innego pierwiastka, z zawartością węgla na ogół niższą niż 2%, i która zwykle zawiera również inne pierwiastki. Ograniczona liczba typów stali chromowej może zawierać ponad 2% węgla, ale 2% jest zwykle granicą stosowaną do odróżnienia stali od żeliwa [99. CEN 2000]. Jednym ze szczególnie przydatnych aspektów stali jest to, że można ją obrabiać na gorąco. Stal niskostopowa zawiera pierwiastki takie jak Mn, Cr, Ni i Mo w ilościach mniejszych niż 5%. Stal wysokostopowa zawiera ponad 5% pierwiastków stopowych, np. 12% Cr i 8% Ni. Produkowane są specjalne gatunki stali o ulepszonych właściwościach, takich jak wyższa wytrzymałość; wyższa przenikalność magnetyczna; lepsza odporność na korozję, zmęczenie lub zużycie; oraz lepsze właściwości podczas spawania lub w wysokich bądź niskich temperaturach.
Stal odlewnicza (staliwo) jest zwykle topione w elektrycznych piecach łukowych (*electric arc furnaces, EAF*) lub w bezrdzeniowych piecach indukcyjnych (*induction furnaces, IF*). Po topieniu, ciekły metal może być rafinowany (tj. usuwa się z niego węgiel, krzem, siarkę lub fosfor) i odtleniany (tj. redukuje się tlenki metali), w zależności od materiału bazowego i wymagań jakościowych produktu końcowego. Rysunek 2.6 przedstawia schematy przepływu procesu topienia i obróbki staliwa w różnych typach pieców.
[14. CAEF 1997]



Źródło: [14. CAEF 1997]

Rysunek 2.6: Diagramy przepływu procesu topienia i obróbki stali

2.2.1.4 Odlewanie aluminium

Około dwie trzecie wszystkich odlewów aluminiowych jest wykorzystywanych w przemyśle transportowym, np. w samochodach, autobusach, ciężarówkach, pociągach czy samolotach. Potrzeba zmniejszenia zużycia paliwa i wagi pojazdów zwiększyła zainteresowanie aluminium. Ilość aluminium zużytego na jeden samochód wyprodukowany w Europie wzrosła niemal trzykrotnie w latach 1990-2012. Całkowita masa aluminium w europejskich samochodach wzrosła w latach 1990-2012 około trzykrotnie, z 50 kg do 140 kg. Informacje z branży (*European Aluminium, 2019*) wskazują, iż przewiduje się, że do 2020 r. ilość ta wzrośnie do 160 kg. Rosnące wykorzystanie aluminium w sektorze jego głównych użytkowników ma wyraźny wpływ na ogólną liczbę produkowanych odlewów.
Aluminium jest głównie odlewane do form stałych. Względny udział stosowanych technik odlewania aluminium podano w Tabeli 2.9.

Tabela 2.9: Względne udziały stosowanych technik odlewania dla Al

Typ odlewu	Względny udział (%)
Odlewanie ciśnieniowe	59
Odlewanie niskociśnieniowe i grawitacyjne	37
Odlewanie piaskowe	3
Inne	1
Źródło: [49. Inasmet oraz CTIF 2002], [120. TWG 2003], [134. CAEF 2020]	

W odlewniach aluminium stosuje się wiele różnych typów pieców do topienia, których wybór zależy od indywidualnych wymagań. Stosowane są piece ogrzewane bezpośrednio i pośrednio, wykorzystujące paliwo i energię elektryczną. Obecnie stosowane paliwa kopalne to gaz ziemny, gaz płynny (LPG) i olej. Piece opalane gazem ziemnym były instalowane w ostatnich dziesięcioleciach przez większość odlewni aluminium ze względu na niższe koszty. Ogrzewanie elektryczne może być zapewnione przez elementy oporowe lub indukcyjne. Wydajność jest jednym z najważniejszych parametrów pieców do topienia i podtrzymywania. Obecnie, gdy wymagana jest wysoka wydajność topienia, np. powyżej 10 ton/godzinę, zwykle stosuje się piece indukcyjne. Z kolei piece szybowe do topienia i podtrzymywania, a także piece tyglowe, są często stosowane, gdy wydajność topienia nie przekracza pięciu ton/godzinę. Małe i średnie piece tyglowe są często stosowane, gdy konieczna może być łatwa zmiana stopu lub gdy tempo produkcji jest niskie.
W przypadku podtrzymywania, piece elektryczne mają tę zaletę, że nie wytwarzają gazów wylotowych z palnika i są w stanie utrzymać jednorodną temperaturę w całej stopionej objętości, przy stosunkowo niskim koszcie energii.
Topienie aluminium w odlewniach zazwyczaj wykorzystuje wlewki stopowe jako materiał wyjściowy, choć w niektórych przypadkach metal jest dostarczany już w postaci ciekłej. Wtórne topienie złomu aluminiowego w hutach aluminium nie jest wykonywane w odlewniach i wykracza poza zakres niniejszego dokumentu. Zostało ono omówione w dokumencie referencyjnym BAT dla przemysłu metali nieżelaznych (NFM BREF).
[24. ETSU 1994], [52. Eurofine 2002], [1. COM 2017]

2.2.1.5 Odlewanie magnezu

Odlewy ze stopów magnezu są wykorzystywane w przemyśle lotniczym, motoryzacyjnym i elektronicznym. Główną zaletą ich stosowania jest niewielka waga; typowa gęstość stopów magnezu wynosi 1,8 g/ml w porównaniu do 2,7 g/ml w przypadku stopów aluminium. Aluminium jest głównym składnikiem stopowym stopów odlewniczych na bazie magnezu, a cynk i mangan są również obecne w niewielkich ilościach. Najczęściej stosowanym procesem odlewania jest odlewanie ciśnieniowe, ze względu na niską temperaturę odlewania (650-700 ºC). Stosowane są zarówno maszyny do odlewania ciśnieniowego z komorą gorącą jak i zimną. Formowanie piaskowe jest stosowane w mniejszym stopniu. Odlewy magnezowe mogą być wykonane z cieńszymi ściankami niż aluminiowe, ale ich zastosowanie jest ograniczone przez problemy ze sztywnością. Cieńsze ścianki pozwalają na znaczne zmniejszenie całkowitej masy elementów, kompensując w ten sposób wyższy koszt stopu na kilogram. Stosuje się również odlewanie grawitacyjne oraz piaskowe, szczególnie w przypadku odlewów poddawanych większym obciążeniom. Zastosowanie odlewów ciśnieniowych ze stopów magnezu w komponentach motoryzacyjnych szybko rośnie, a niektóre pojazdy zawierają już 10-20 kg elementów Mg.

Najpopularniejszymi obecnie produkowanymi częściami są podkłady pod deskę rozdzielczą, belki poprzeczne, napędy kół oraz ramy siedzeń.
Stopione stopy magnezu atakują cegły ogniotrwałe i ogniotrwałe wykładziny pieców, powodując szkodliwe zanieczyszczenie krzemem. Dlatego stosuje się tygle stalowe. Żelazo jest również słabo rozpuszczalne w magnezie, ale ma znacznie mniej szkodliwy wpływ niż krzem. Złom jest zwykle czyszczony i w miarę możliwości śrutowany w celu usunięcia przylegającego piasku, co stanowi dodatkowe zabezpieczenie przed gromadzeniem się krzemu. Aby wyeliminować kadziowanie, stopiony stop jest, jeśli to możliwe, zalewany bezpośrednio z tygla.
Ze względu na łatwość utleniania, stopy magnezu są topione pod przykryciem przy użyciu topnika oczyszczającego lub gazu osłonowego, aby uniknąć strat spowodowanych utlenianiem oraz zapobiec powstawaniu wtrąceń. Proszki inhibitorów są używane do pokrycia odsłoniętego metalu podczas podtrzymywania i zalewania, a także są dodawane do piasku formierskiego, aby zapobiec reakcjom chemicznym. Beztopnikowe topienie stopów Mg wymaga innej formy ochrony stopu. W tym celu w odlewniach magnezu jako gaz obojętny stosuje się SO_2 lub mieszaniny azotu i 1,1,2-tetrafluoroetanu (R134a) lub azotu, CO_2 i/lub SO_2 lub siarki i argonu. Magnezowe gazy osłonowe zazwyczaj składają się z gazu reaktywnego i nośnego. Zastosowanie R134a (1,1,2-tetrafluorouretan) powoduje tworzenie się warstwy ochronnej MgF_2. Należy również zauważyć, że R134a ma wysoki współczynnik globalnego ocieplenia (*Global Warning Potential, GWP*) rzędu 1 430. Zastosowanie SO_2 powoduje powstanie ochronnych faz $MgSO_4$, MgS i MgO, które zapobiegają utlenianiu. Stosowanie sześciofluorku siarki (SF6) w odlewnictwie magnezu oraz w recyklingu stopów magnezu do odlewania ciśnieniowego jest zabronione rozporządzeniem (UE) nr 517/2014 w sprawie fluorowanych gazów cieplarnianych począwszy od dnia 1 stycznia 2018 r.
Stopy magnezu korzystają z uszlachetniania ziarna, które odbywa się poprzez zaszczepianie materiałami węglowymi. Kiedyś stosowano heksachloroetan, ale od 1 lipca 2003 r. produkt ten jest zakazany w Europie w celu zapewnienia ochrony środowiska oraz ze względów zdrowotnych i bezpieczeństwa. Dotyczy to zarówno stopów magnezu, jak i aluminium.
[74. Brown, J. R. 1999], [120. TWG 2003], [134. CAEF 2020]

2.2.1.6 Odlewanie miedzi

Miedź jest odlewana w postaci różnych grup stopów, z których każdy zawiera miedź jako główny pierwiastek. Krótkie opisy niektórych z nich znajdują się poniżej:

- *Miedź o wysokiej przewodności*: Stosuje się ją głównie ze względu na jej wysoką przewodność elektryczną i cieplną. Zastosowania obejmują tygle do wielkich pieców i żeliwiaków do śrutowania na gorąco, zaciski elektrod chłodzonych wodą, rozdzielnice itp.
- *Mosiądz*: Stop Cu-Zn, w którym cynk jest głównym pierwiastkiem stopowym. Jest to materiał łatwy do odlewania, o doskonałej skrawalności i dobrej odporności na korozję w powietrzu i słodkiej wodzie. Znajduje szerokie zastosowanie w armaturze wodno-kanalizacyjnej. Mosiądz o wysokiej wytrzymałości na rozciąganie jest bardziej wysokostopowy i znajduje zastosowanie w inżynierii morskiej. Mosiądz jest odlewany zarówno w piasku, jak i w trwałych formach.
- *Brąz cynowy*: Stop Cu-Sn, w którym cyna jest głównym pierwiastkiem stopowym. Przy zawartości cyny na poziomie 10-12%, odlewy z brązu cynowego są droższe niż z mosiądzu. Ma wysoką odporność na korozję i nadaje się do pracy z kwaśnymi wodami, wodą zasilającą kotły itp. Stop o wysokiej zawartości cyny jest również stosowany w aplikacjach odpornych na zużycie. Stosowane techniki odlewania to odlewanie piaskowe i odśrodkowe.
- *Brąz fosforowy*: Stop Cu-Sn z dodatkiem około 0,4 - 1,0% P. Jest twardszy niż brąz cynowy, ale mają niższą ciągliwość. Jest stosowany w łożyskach, w których obciążenia i prędkości robocze są wysokie, a także w przekładniach, takich jak koła ślimakowe.
- *Brąz ołowiowy*: Stop Cu-Sn-Pb. Jest stosowany niemal wyłącznie w łożyskach, gdzie obciążenia i prędkości są umiarkowane.
- *Spiż*: Stop Cu-Sn-Zn-Pb. Jest to optymalny stop do odlewania piaskowego. Charakteryzuje się dobrą relacją między odlewalnością, skrawalnością i wytrzymałością, a także dobrą odpornością na korozję. Jest używany do skomplikowanych, szczelnych odlewów, takich jak zawory i pompy. Jest również stosowany w łożyskach, gdzie obciążenia i prędkości są umiarkowane.
- *Brąz aluminiowy*: Stop Cu-Al, w którym Al jest głównym pierwiastkiem stopowym. Łączy wysoką wytrzymałość z wysoką odpornością na korozję. Zastosowania obejmują zarówno dekoracyjne elementy architektoniczne, jak i wysoce obciążone komponenty inżynieryjne. Ma wiele zastosowań w przemyśle morskim np. śruby napędowe, pompy, zawory. Jest również wykorzystywany do produkcji narzędzi

nieiskrzących. Stosowane są techniki odlewania dla aluminium.

- *Miedź-nikiel*: Stop Cu-Ni, w którym Ni jest głównym pierwiastkiem stopowym. Jest stosowany np. w rurociągach do zastosowań morskich w trudnych warunkach.
- *Stop miedzi i berylu*: Beryl jest odlewany w postaci stopu miedzi i berylu do produkcji części, które wymagają odporności na korozję oraz bardzo wysokich właściwości mechanicznych. Należą do nich końcówki tłoków do maszyn odlewniczych, precyzyjne części dla przemysłu elektrycznego i mechanicznego, w zegarmistrzostwie, do narzędzi i przyrządów pomiarowych. Stosowane są dwa rodzaje stopów: stop miedziowo-berylowy z 2% Be i stop miedziowo-kobaltowo-berylowy z 0,5% Be. Istnieje tendencja do ograniczania lub wykluczania berylu ze stopów ze względu na jego rakotwórczy charakter. Odlewanie odbywa się w trwałych formach przy użyciu odlewania ciśnieniowego lub grawitacyjnego. Do odlewania precyzyjnych części stosuje się technikę odlewania metodą traconego wosku. [74. Brown, J. R. 1999]

2.2.1.7 Odlewanie cynku

Odlewanie cynku prawie wyłącznie wykorzystuje technikę odlewania ciśnieniowego. W UE stosowane są głównie dwa stopy, których skład podano w Tabeli 2.10. Są one określane jako Zamak, co jest ich nazwą handlową. Podstawą obu stopów jest czysty cynk.

Tabela 2.10: Najpopularniejsze stopy cynku, zawartość w %

Symbol	Numer stopu	Al (%)	Cu (%)	Mg (%)
$ZnAl_4Cu_1$	ZP0410	3,7 – 4,3	0,7 – 1,2	0,025 – 0,06
$ZnAl_4$	ZP0400	3,7 – 4,3	0,25	0,025 – 0,06

Stop cynku jest topiony prawie wyłącznie w maszynie odlewniczej z gorącą komorą. W rzadkich przypadkach i tylko wtedy, gdy wymagana jest wysoka wydajność produkcyjna, można zastosować topienie scentralizowane.

Stopy cynku mają właściwości porównywalne do aluminium. Główne różnice to niższa temperatura topnienia i wyższa gęstość stopów cynku (6,7 g/cm^3 w porównaniu do 2,6-2,7 g/cm^3). Stopy te stosowane są głównie do odlewania małych elementów wymagających wysokiej precyzji i niewielkiej grubości ścianki. Pozwalają również na wykorzystanie większej prędkości odlewania i skutkują 10-krotnie dłuższą żywotnością matrycy (800 000 do 1 200 000 odlewów), co czyni je bardziej odpowiednimi do dużych serii (małych elementów). Stopy cynku są topione w żeliwnym tyglu ogrzewanym elektrycznie lub paliwem i odlewane za pomocą maszyn odlewniczych z gorącą komorą. Produkty te znajdują zastosowanie m.in. w produkcji części samochodowych i elektronicznych oraz w budowie maszyn.

2.2.1.8 Odlewanie ołowie

Ołów jest niskotopliwym (temperatura topnienia 327 ºC) metalem ciężkim. Jest stosunkowo miękki, odporny na korozję i ma dobre właściwości samosmarujące. Zastosowania odlewów ołowiowych obejmują płyty akumulatorów, materiały osłonowe dla promieni rentgenowskich i zastosowań jądrowych, a także materiały balastowe i przeciwwagi. Stosowane są głównie techniki odlewania ciśnieniowego i grawitacyjnego.

2.2.1.9 Odlewanie z nadstopów

Nadstopy to zazwyczaj stopy na bazie Ni, Ni-Fe i Co z dodatkami Cr, Ti, W, Al. Pierwotnie były one wykorzystywane w zastosowaniach wysokotemperaturowych (ponad 810 ºC) lub w mediach silnie korozyjnych. Nadstopy można odróżnić od stali wysokostopowych (zob. definicję w Sekcji 2.2.1.3). Ponieważ żelazo nie jest ich głównym składnikiem (zgodnie z definicją w [99. CEN 2000]), są uważane za materiały nieżelazne. Odlewanie nadstopów może odbywać się w niektórych odlewniach odlewów precyzyjnych, a także częściowo w odlewniach specjalizujących się w stalach wysokostopowych.

Stopy na bazie niklu są produkowane z grupy stopów, których skład chemiczny wynosi zazwyczaj ponad 50% niklu i mniej niż 10% żelaza. Są one wzmacniane głównie przez wytrącanie międzymetaliczne w matrycy austenitycznej. Stopy na bazie kobaltu mają wysoką zawartość Co (40% do 70%), wysoką zawartość Cr (ponad 20%), wysoką zawartość W (7% do 15%) i są wzmacniane przez połączenie węglików i utwardzających roztworów stałych.

Niektóre nadstopy, w szczególności stopy na bazie Ni-Fe i Co, są topione bezpośrednio w piecach elektrycznych klasycznymi metodami stosowanymi zwykle do stali nierdzewnych. Jednak w przypadku nadstopów Ni i specjalnych nadstopów Ni-Fe wymagane jest topienie indukcyjne w próżni w celu

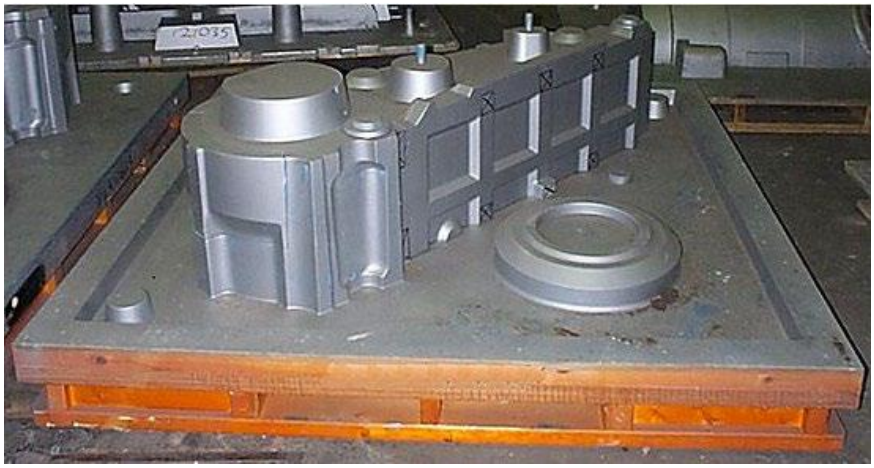
zmniejszenia zawartości gazów międzywęzłowych (O, H, N) do bardzo niskiego poziomu. Umożliwia to odlewniom osiągnięcie wysokiej i kontrolowanej zawartości pierwiastków utleniających, takich jak Ti lub Al.
Kontrola gazów międzywęzłowych i utleniających się pierwiastków jest bardzo ważna dla właściwości mechanicznych produktu, jego odporności na korozję i niezawodności. Na ogół, nadstopy są odlewane w skomplikowane kształty końcowe, gdzie obróbka skrawaniem nie jest możliwa. Dlatego też są one produkowane głównie metodą odlewania precyzyjnego (tj. przy użyciu formy ceramicznej, a nawet rdzeni ceramicznych). Ten proces odlewania pozwala uzyskać produkt o bardzo precyzyjnych wymiarach i bardzo gładkiej powierzchni. Dodatkowe procesy, takie jak prasowanie izostatyczne na gorąco (*hot isostatic pressing, HIP*), mogą być stosowane w celu wyeliminowania wewnętrznej porowatości mogącej pojawić się w dużych odlewach. W kolektorach turbin gazowych samolotów powszechnie stosowana jest technologia krzepnięcia kierunkowego. Technologia ta eliminuje granice ziaren i znacznie zwiększa wytrzymałość materiału.
Początkowo nadstopy były opracowywane z myślą o zastosowaniach wysokotemperaturowych. Jednak zakres ich zastosowań stale się rozszerza i obecnie obejmuje takie obszary, jak urządzenia pracujące w temperaturach kriogenicznych oraz protezy ortopedyczne i dentystyczne. Generalnie, nadstopy wykorzystywane są głównie w samolotach i przemysłowych turbinach gazowych, w reaktorach jądrowych, w statkach kosmicznych, w produkcji petrochemicznej oraz w zastosowaniach medycznych.
[100. TWG 2002]

2.2.2 Tworzenie szablonów

2.2.2.1 Tworzenie szablonów

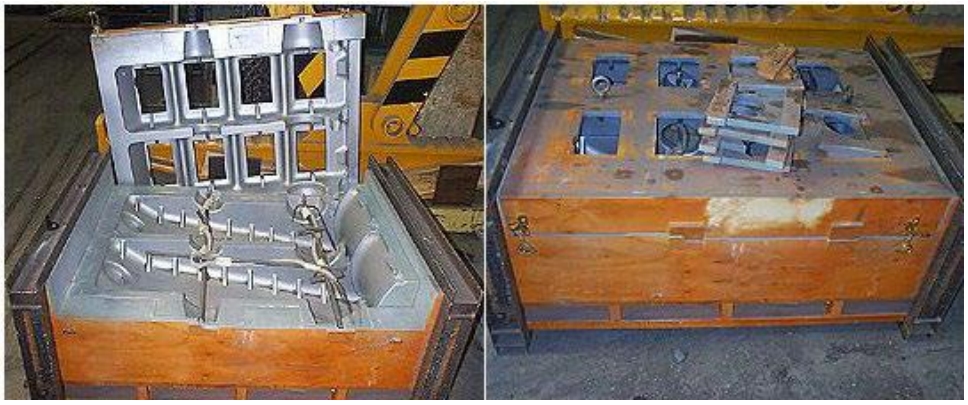
Tworzenie szablonów lub narzędzi odlewniczych, jak jest to również nazywane, wymaga wysokiego poziomu umiejętności, aby osiągnąć ścisłe tolerancje wymagane dla szablonów i rdzennic. Ten etap ma kluczowe znaczenie w procesie odlewania, ponieważ wyprodukowane odlewy nie mogą być lepsze niż szablony użyte do ich wykonania. Szablony są wykonywane za pomocą narzędzi ręcznych, maszyn uniwersalnych lub systemu CAD/CAM na maszynach sterowanych komputerowo (*computer-numerical-controlled, CNC*). W niektórych modelarniach do projektowania szablonów wykorzystywane jest komputerowe wspomaganie projektowania (*computer-aided design, CAD*). Ścieżki narzędzi tnących są projektowane za pomocą komputerowego wspomagania produkcji (*computer-aided manufacturing, CAM*). Dane numeryczne z tych komputerów są przekazywane do obrabiarek CNC, które następnie przycinają szablony produkcyjne do odpowiedniego kształtu. Takie wspomagane komputerowo systemy mają lepszą dokładność wymiarową i spójność niż metody ręczne.

Szablony (Rysunek 2.7) oraz materiały rdzennicy (Rysunek 2.8) to zazwyczaj metal, plastik, drewno lub gips. Wosk i polistyren są używane odpowiednio w procesach odlewania metodą traconej pianki. Twórcy szablonów mają do dyspozycji szeroką gamę narzędzi, w tym narzędzia do obróbki drewna i metalu. Do łączenia szablonów używane są łączniki mechaniczne i kleje. Szpachlówka woskowa, plastikowa lub poliestrowa jest używana jako wypełniacz do wypełniania lub zaokrąglania wewnętrznych krawędzi kwadratowych narożników.
[18. US EPA 1998]



Źródło: [132. HUT 2003]

Rysunek 2.7: Szablon drewniany



Źródło: [132. HUT 2003]

Rysunek 2.8: Rdzennice

2.2.2.2 Szybkie prototypowanie (szybkie wykonywanie prototypów, RP)

Szybkie prototypowanie to technika pozwalająca na bardzo szybkie przejście od koncepcji produktu do odlanego prototypu. Termin „szybkie prototypowanie" (*ang. rapid prototyping, RP*) obejmuje wszystkie działania techniczne i organizacyjne od sformułowania koncepcji produktu do jego wytworzenia. Szybkie prototypowanie może być stosowane na każdym etapie rozwoju produktu, tj. w przypadku modeli koncepcyjnych, prototypów geometrycznych, prototypów funkcjonalnych, prototypów technicznych lub sprzedażowych. Obecnie dostępne techniki pozwalają na wytworzenie prototypu części na podstawie trójwymiarowego rysunku. Większość procesów RP tworzy odlew, formę piaskową lub rdzeń piaskowy bez szablonu lub rdzennicy, np. istnieje bezpośrednie spiekanie piasków na potrzeby produkcji form lub rdzeni.
Technika RP polega na budowaniu obiektu według szablonu projektu poprzez łączenie cząstek lub warstw surowców, takich jak żywica polimerowa, wosk, papier, proszek ceramiczny lub piaski. Na Rysunku 2.9 przedstawiono przykładowy szablon z wosku.



Źródło: [132. HUT 2003]

Rysunek 2.9: Termopolimerowe (woskowe) szablony w maszynie RP

Istnieją cztery podstawowe etapy szybkiego prototypowania:

1. tworzenie modelu 3D-CAD;
2. tworzenie interfejsu między systemem 3D-CAD a systemem szybkiego prototypowania. Na przykład dane CAD mogą zostać przekonwertowane do formatu pliku STL (standardowy format transformacji);
3. cięcie pliku STL na cienkie warstwy przekrojowe;
4. realizacja modelu RP.

Zalety szybkiego prototypowania, szczególnie w przypadku złożonych form, obejmują

- krótszy czas opracowywania i możliwość szybkich modyfikacji w trakcie opracowywania;
- oszczędność kosztów, materiałów i czasu;
- wczesne wykrywanie błędów.

[100. TWG 2002], [101. Linxe, D. 2002]

Przegląd dostępnych technik przedstawiono w Tabeli 2.11.

Tabela 2.11: Opis technik szybkiego prototypowania

Proces	Zasada	Materiały	Funkcje specjalne
Ciecz - ciało stałe	Polimeryzacja przez miejscowe naświetlanie promieniami UV żywicy światłoczułej	Żywice światłoczułe: akrylany, epoksydy	- kurczenie się i odkształcanie - model wymaga wsparcia
Ciało stałe - ciało stałe	Kontury warstwy są wycinane z folii	Papier, metale, polimery	- brak wsparcia - zużycie materiału bazowego
	Osadzanie się materiału wykazujące fuzję termiczną	ABS (polimer termoplastyczny), wosk, elastomery	- model wymaga wsparcia
	Strumień materiału	Woski, polimery	- model wymaga wsparcia
Proszek - ciało stałe	Aglomeracja proszku przez spiekanie	Metale, ceramika, piasek, polistyren, nylon, poliamid, wosk	- brak wsparcia - porowatość - kurczenie się
	Aglomeracja proszku przez projekcję spoiwa	Tlenek glinu; piasek	- brak wsparcia - porowatość
Źródło: [101. Linxe, D. 2002], [134. CAEF 2020]			

W momencie pisania niniejszego dokumentu (2023 r.), w przypadku prototypów lub małych serii, można zastosować wytwarzanie addytywne (*additive manufacturing, AM*) form i rdzeni bez użycia szablonu. Najczęściej stosowanym procesem jest natryskiwanie spoiwa. Drobnoziarniste, jednorodne ziarna piasku są rozprowadzane na platformie konstrukcyjnej. Następnie za pomocą głowicy drukującej dodawane jest spoiwo. Platforma konstrukcyjna jest obniżana do następnego kroku. Drukowane formy piaskowe lub rdzenie wykorzystują głównie żywicę furanową jako spoiwo, ale także żywicę fenolową i spoiwa nieorganiczne.
Inne techniki AM obejmują:

- bezpośrednie drukowanie elementów metalowych z proszków stopowych (topienie w piecu, natryskiwanie i równomierne wymiarowanie)
- drukowanie jednorazowych (traconych w procesie) skorup ceramicznych do odlewania precyzyjnego;
- drukowanie jednorazowych szablonów z traconego w procesie wosku do odlewania precyzyjnego.

[237. TWG 2023]

2.2.3 Surowce oraz postępowanie z surowcami/odpadami

Głównymi strumieniami surowców trafiających do odlewni są wlewki metali, złom odlewniczy i piasek. Można dokonać rozróżnienia między odlewniami metali żelaznych i nieżelaznych. Odlewnie metali nieżelaznych zazwyczaj topią tylko wewnętrzny materiał zwrotny i wlewki stopowe (Rysunek 2.10). Przetapianie złomu zewnętrznego jest ogólnie uważane za oddzielną działalność, zwykle stanowiącą część produkcji metali wtórnych. Jeśli złom jest pozyskiwany z zewnątrz, jest on najpierw poddawany analizie spektroskopowej w celu określenia rodzaju stopu. Odlewnie żelaza wykorzystują surówkę i wybrany złom żelaza i stali jako materiały początkowe, oprócz wewnętrznego materiału zwrotnego. Różne jakości wsadu metalowego są przechowywane w oddzielnych obszarach, aby umożliwić kontrolowane zasilanie pieca topielnego (topielnika).



Źródło: [132. HUT 2003]

Rysunek 2.10: Złom aluminiowy (L) oraz wlewki (R)

Surowce, w tym topniki w postaci brył i proszków, koks odlewniczy do żeliwiaków, odtleniacze i materiały ogniotrwałe są zwykle przechowywane pod przykryciem. Po dostawie obsługa jest ograniczona do minimum. Sproszkowane materiały mogą być przechowywane w szczelnych silosach i transportowane pneumatycznie lub przechowywane i przenoszone w szczelnych workach, jak to pokazano na Rysunku 2.11.



Źródło: [132. HUT 2003]

Rysunek 2.11: Przenośniki pneumatyczne oraz silosy na materiały sproszkowane

Piasek jest zwykle dostarczany luzem i wyładowywany bezpośrednio do silosu za pomocą przenośnika pneumatycznego, przenośnika taśmowego lub chwytaka. Specjalistyczne piaski mogą być dostarczane w workach lub ciężarówkami-silosami. Zużyte piaski są przechowywane w silosach celem przygotowania lub regeneracji oraz w silosach lub hałdach celem transportu do ponownego wykorzystania lub unieszkodliwienia na zewnątrz.

Płynne spoiwa i produkty olejowe są dostarczane w beczkach, kontenerach luzem lub cysternach samochodowych. Są przechowywane w kontenerach dostawczych lub, w przypadku cystern kolejowych, rozładowywane bezpośrednio do dedykowanego magazynu. Pojemniki są połączone rurą bezpośrednio z jednostką mieszającą piasek/żywicę/katalizator. Niektóre katalizatory i współreagenty są stosowane w postaci gazowej, ale są one również dostarczane jako ciecze i obsługiwane w podobny sposób przed odparowaniem i zmieszaniem z gazem nośnym. Odparowywanie jest procesem zamkniętym i może być przeprowadzane różnymi metodami.

Środki antyadhezyjne i inne niewielkie dostawy są przechowywane w pomieszczeniach.

Materiały ogniotrwałe są dostarczane w postaci nieuformowanej (masy) lub uformowanej (cegły i komponenty). Nieuformowane materiały ogniotrwałe muszą być przechowywane w stanie suchym. Należy unikać intensywnych ruchów, ponieważ materiał może rozdzielić się na frakcje drobne i grube. Podczas operacji wykładania emitowany jest pył.

Zgrubne pozostałości stałe, takie jak zużyte materiały ogniotrwałe i żużle, są składowane na oddzielnych hałdach, w podzielonym obszarze magazynowym lub w skrzyniach. Są przenoszone i obsługiwane za pomocą małych wózków podnośnikowych. Drobne stałe pozostałości są zbierane w jednostce filtrującej do

dużych worków lub pojemników, które mogą być przechowywane bezpośrednio przed transportem do unieszkodliwienia. Celem uniknięcia zanieczyszczenia gleby różnymi klasami materiałów podejmowane są określone środki. Potencjalne skutki zostały wymienione w Tabeli 2.12.

Metal ładowany do pieca topielnego jest starannie dobierany i ważony w celu zapewnienia prawidłowego składu. Skład wsadu jest obliczany na podstawie średniego składu chemicznego każdego składnika, strat spowodowanych utlenianiem podczas topienia oraz wymaganego składu końcowego odlewu. Różne elementy wsadu są łączone w urządzeniu zasypowym (np. skip z opuszczanym dnem, podajnik wibracyjny, podnośnik skipowy) z magnesem o regulowanym przechyle, zwykle wyposażonym w system ważenia, aby umożliwić pobranie odpowiedniej ilości wsadu.

Dodatkowe pierwiastki stopowe mogą być dodawane do wsadu jako żelazostopy, takie jak FeSi, FeMn, FeCr, lub czyste, takie jak Cu, C, Ni. Jednak większość stopów jest dodawana do stopionego metalu, aby zapobiec stratom metalicznym spowodowanym utlenianiem. Pierwiastki stopowe są zwykle obecne w odlewni w niewielkich ilościach i są zawsze przechowywane wewnątrz budynku, najlepiej w pobliżu instalacji do topienia. [14. CAEF 1997].

Tabela 2.12: Potencjalne zanieczyszczenie gleby żelaznymi surowcami odlewniczymi

Działalność	**Zanieczyszczenia budzące obawy**		**Potencjalny wpływ**
Magazynowanie surowców			
Magazynowanie złomu - zewnętrzne, często na ziemi	Materiały sypkie pochodzące ze złomu - metale i powłoki		Miejscowe zanieczyszczenie powierzchni gleby
	Oleje - mogą zawierać: - WWA z olejów silników spalinowych - PCB z kondensatorów (głównie w rozdrobnionym złomie, chyba że neutralizacja PCB przebiegła pomyślnie)		Wymywanie do wód gruntowych i pobliskich wód powierzchniowych
	Płyny do cięcia - mogą być chlorowane		
Ciecze w zbiornikach podziemnych	Produkty ropopochodne, np. olej opałowy, olej napędowy		Wyciek do gleby z wymywaniem do wód gruntowych i powierzchniowych
Obsługa, transfer i wykorzystanie surowców			
Chemiczne produkty wiążące - przypadkowe rozlanie lub wyciek	Żywice fenolowe	Zawartość wolnego fenolu od 0,5 do 5%	Substancje rozpuszczalne w wodzie; może przedostawać się do wód gruntowych. Szybka degradacja przy stężeniu mniejszym niż 400 ppm. Skoncentrowane wycieki o większej objętości będą rozkładać się wolniej ze względu na toksyczność dla bakterii.
	Żywice furanowe	Alkohol furfurylowy	Rozpuszczalny w wodzie
	Nośniki rozpuszczalników w żywicach	np. metanol, do 20 % obj.	W większości rozpuszczalny w wodzie, może przedostawać się do wód gruntowych
	Żywice uretanowe	Rozpuszczalniki aromatyczne[1]	Rozpuszczalniki mogą przedostawać się do wód gruntowych
	Utwardzacze piaskowe bez wypalania	np. kwasy toluenowe, ksylenowe, benzenosulfonowe	Mogą przedostawać się do wód gruntowych lub zmieniać właściwości gleby, np. mobilizacja metali.
	Żywice na bazie mocznika	Amoniak	Może przedostawać się do wód gruntowych i powierzchniowych
	Żywice krzemianowe	Zasadowe pH	Mogą przedostawać się do wód gruntowych lub zmieniać właściwości gleby, np. mobilizacja metali.

Powłoki do form	Alkohol izopropylowy (IPA)	Rozpuszczalny w wodzie, może przenikać do wód gruntowych
Paliwa, produkty do konserwacji: - przypadkowe rozlanie lub wycieki (szczególnie w pobliżu punktów napełniania) - celowe usuwanie do gruntu	Oleje opałowe, olej napędowy, benzyna z WWA i SO_4^{2-} dopalanie; Oleje smarne i hydrauliczne; Oleje do hartowania; Oleje transformatorowe (potencjalne PCB)	Oleje mogą przedostawać się do wód gruntowych i powierzchniowych. Depozycja atmosferyczna WWA i SO_4^{2-} ze spalania olejów opałowych. SO_4^{2-} będzie wymywany w dół profilu glebowego. WWA, PCB będą miały tendencję wchłaniania się do gleby

ı Wcześniejsze preparaty zawierały WWA (głównie naftalen), ale opracowano preparaty pozbawione naftalenu, które wyeliminowały to zanieczyszczenie.
Źródło: [47. Sieć tematyczna UE Odpady odlewnicze 2001], [120. TWG 2003], [134. CAEF 2020]

2.2.4 Topienie i obróbka metalu

Wybór pieca topielnego jest ważnym aspektem w procesie tworzenia odlewni. Każdy typ pieca ma swoje indywidualne właściwości w zakresie wymagań dotyczących wsadu i możliwości tworzenia stopów, co z kolei ma wpływ na cały proces odlewni. Z drugiej strony, rodzaj metalu, który ma zostać stopiony, określa, który piec może zostać użyty, a który nie. Możliwości zastosowania różnych typów pieców podano w Tabeli 2.13.

Tabela 2.13: Zastosowanie poszczególnych typów pieców do topienia (t) i podtrzymywania (p)

	Żeliwiak	Elektryczny piec łukowy	Kanałowy piec indukcyjny	Bezrdzeniowy piec indukcyjny	Piec obrotowy	Piec trzonowy / płomienny	Piec szybowy	Piec tyglowy / Tygiel	Inne piece podtrzymujące
Żelazo	t	t*	p	t, p	t*	t		p	
Stal		t		t				p	
Aluminiu			t, p	t, p	t	t	t, p	t, p	p**
magnez								t, p	
Miedź			p	t, p		t		t, p	
Ołów				t, p				t, p	
Cynk				t, p				t, p	

* Mniej powszechne.
** Piece czysto podtrzymujące, gazowe lub elektryczne (np. piece oporowe).

Odlewnie żelaza nie przetapiają wlewków. Wsad metaliczny obejmuje:

- złom stalowy (nowy lub pokonsumpcyjny) jako niskowęglowy materiał na bazie żelaza do wsadu lub surówki, rodzaj uproszczonego żeliwa o wysokiej zawartości C i Si;
- wewnętrzny lub zewnętrzny złom odlewniczy, do przetopienia, zbliżony do pożądanego składu;
- podstawowe składniki stopowe (węgiel, krzem, mangan itp.);
- inne składniki stopowe, takie jak żelazostopy.

Odlewnie żeliwa topią metal żelazny o kontrolowanym składzie i temperaturze, dostarczany w tempie wystarczającym do zaspokojenia zmiennego zapotrzebowania linii formowania. Metaliczny wsad do topienia składa się zwykle z odpadów z odlewni, złomu żelaznego i stalowego oraz surówki, z dodatkami stopowymi, takimi jak np. żelazokrzem, żelazofosfor lub żelazomangan. Wsad jest zazwyczaj topiony w żeliwiaku lub w elektrycznym piecu indukcyjnym. Żeliwiaki z gorącym nadmuchem są używane do topienia dużych ilości ciekłego żelaza o tym samym lub podobnym składzie, w trybie ciągłym i do produkcji wielkoseryjnej. Żeliwiaki z zimnym nadmuchem są zazwyczaj mniejsze. Umożliwiają co najmniej jednozmianową pracę ciągłą w celu topienia jednego stopu. Większe żeliwiaki z zimnym nadmuchem są używane w trybie ciągłym. Zmiana stopu żeliwa w żeliwiaku jest czasochłonna. Piece indukcyjne są zwykle eksploatowane w trybie wsadowym, co pozwala na częste zmiany stopu. Każdy wsad do pieca stanowi własną partię, a następny wsad może być z innego stopu. Najbardziej powszechny jest

piec indukcyjny średniej częstotliwości. „Bateria" dwóch lub więcej pieców indukcyjnych umożliwia quasi-ciągłą pracę. Piec indukcyjny o częstotliwości sieciowej jest starszym typem pieca, pracującym z ciekłym heblem. Jest używany do mniej lub bardziej ciągłej pracy z niewielkimi zmianami stopu żelaza. Piece obrotowe są zwykle mniejsze i topienie żeliwa odbywa się w trybie wsadowym. Krótkotrwałe przetrzymywanie, transport i obróbka metalu są przeprowadzane w kadziach. Piece indukcyjne stopniowo zyskują coraz większą popularność na rynku w porównaniu do żeliwiaków. Do topienia stosuje się bezrdzeniowe piece indukcyjne. Kanałowe piece indukcyjne są używane wyłącznie do podtrzymania, a ich głównym zastosowaniem jest połączenie z żeliwiakiem, w tak zwanej konfiguracji duplex. Można również stosować piece obrotowe opalane gazem i olejem, choć ich zastosowanie jest mniej powszechne. Krótkotrwałe przetrzymywanie, transport i obróbka metalu są przeprowadzane w kadziach.
Odlewnie stali nie przetapiają wlewków. Podobnie jak odlewnie żelaza, używają różnych materiałów wsadowych, ale o niskiej zawartości węgla. i tak samo jak huty stali, mogą przeprowadzać wtórną metalurgię w celu udoskonalenia składu staliwa.
Wsad różni się znacznie w przypadku gatunków staliw niestopowych, niskostopowych i wysokostopowych.
Wsad metaliczny składa się z:

- złomu stalowego (nowego lub pochodzącego z recyklingu) jako materiału żelaznego o niskiej zawartości węgla lub złomu odlewniczego wewnętrznego lub zewnętrznego, przeznaczonego do przetopienia, o składzie zbliżonym do pożądanego;

lub

- składników stopowych, takich jak żelazostopy.

Odlewnie stali topią stal o kontrolowanym składzie i temperaturze, dostarczaną w ilościach wystarczających do zaspokojenia zmiennego zapotrzebowania linii formierskiej.
Stal topi się zarówno w piecach łukowych, jak i indukcyjnych. Duże odlewnie stali mogą stosować piece łukowe, ale częściej stosuje się piece indukcyjne. Piece łukowe mogą wykorzystywać tani złom, ponieważ rafinacja odbywa się w piecu. Mają one jednak ograniczenie polegające na tym, że zawsze dochodzi do pewnego pobrania węgla z elektrod grafitowych, więc nie można wytwarzać stali nierdzewnych o bardzo niskiej zawartości węgla (< 0,03 % zawartości węgla). W piecu indukcyjnym rafinacja nie jest możliwa, więc należy stosować starannie dobrany ładunek. Można jednak topić każdy rodzaj stali. Krótkotrwałe przechowywanie, transport i obróbka metalu odbywają się w kadziach.
Piec do topienia stosowany w odlewniach metali nieżelaznych zależy od wielkości odlewni. Odlewnie metali nieżelaznych o małej wydajności często stosują wiele różnych stopów i/lub mają ograniczoną zdolność topienia. W tym przypadku topienie odbywa się w piecach o małej objętości, do których najlepiej nadają się piece tyglowe. Ponadto główną techniką odlewania jest odlewanie ciśnieniowe. W tym przypadku często nie ma potrzeby stosowania scentralizowanego topienia, ponieważ piec do topienia (i utrzymywania temperatury) jest zintegrowany z maszyną odlewniczą. Odlewnie metali nieżelaznych o większej wydajności i potrzebie (lub powodach) scentralizowanego topienia zazwyczaj stosują do topienia piece indukcyjne, paleniskowe lub szybowe, a następnie rozprowadzają stopiony metal do pieców do utrzymywania temperatury i kadzi odlewniczych.
[73. Brown, J. R. 2000], [120. TWG 2003] (zgłoszenie CAEF w [237. TWG 2023])

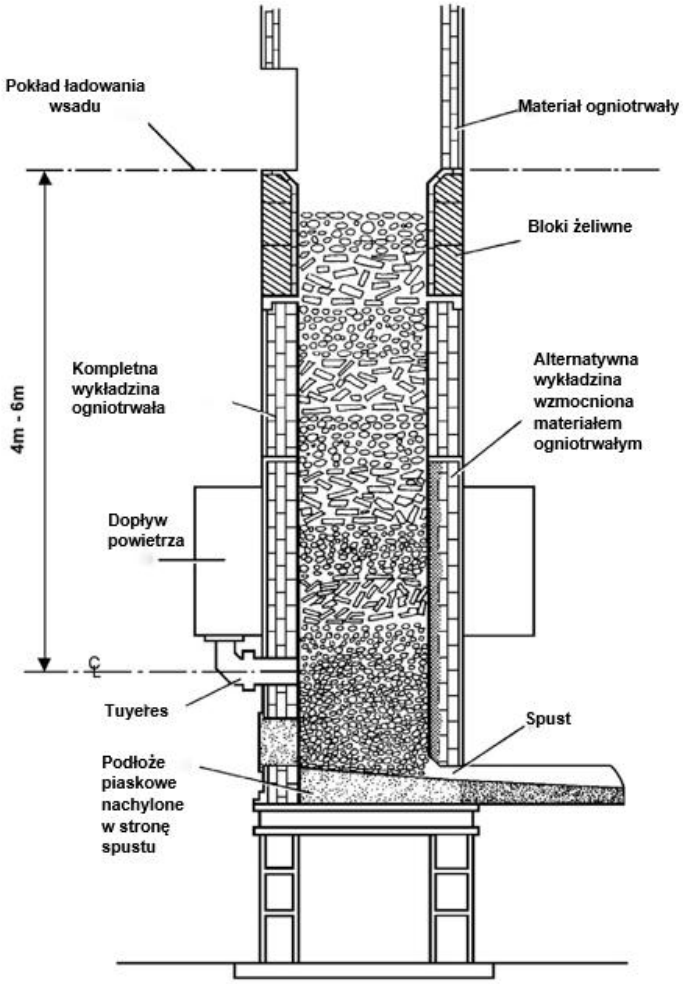
2.2.4.1 Żeliwiaki

2.2.4.1.1 Żeliwiak z zimnym nadmuchem

Opis Żeliwiak z zimnym nadmuchem to wyłożony materiałem ogniotrwałym piec szybowy. Metalowy wsad jest podgrzewany i topiony przez spalanie koksu, które odbywa się w dolnej części szybu („palenisko"). Powietrze z otoczenia o ciśnieniu atmosferycznym jest wtryskiwane do paleniska przez pierścień z kilkoma dyszami wylotowymi („tuyères"), co zapewnia równomierny jego przepływ. Wsad składa się z metali żelaznych (surówka, złom stalowy, złom żelazny, odpady z odlewni), koksu odlewniczego, pierwiastków stopowych (np. FeSi, SiC), żużla odlewniczego (SiO_2) i topników (np. $CaCO_3$). Jest dodawany przez drzwiczki zasypowe w górnej części szybu. Gazy spalinowe unoszą się z paleniska i ogrzewają wsad przed opuszczeniem żeliwiaka.

Działanie
W strefie spalania wsad metaliczny ulega stopieniu. Część koksu spala się z tlenem z powietrza. Stopiony metal spływa przez złoże koksu, rozpuszcza węgiel (efekt nawęglania) i gromadzi się poniżej w studni. Dynamiczna reakcja Boudouarda $2\,CO = C + CO_2$ (egzotermiczna) jest główną reakcją żeliwiaka. Wysokie temperatury przesuwają ją na stronę CO. Poniżej tuyères kropelki żelaza są chronione przez redukcję atmosfery. Powyżej, niektóre tlenki metali mogą zostać utlenione przed tuyères. Zanieczyszczenia (tlenki)

zostają zatrzymane w żużlu, składającym się z SiO_2, CaO, Al_2O_3 i FeO. Topniki obniżają lepkość żużla. Ze względu na niższą gęstość, żużel unosi się na stopionym metalu w studni. Gdy ciekły metal w studni osiągnie określony poziom, otwierany jest otwór spustowy. Metal przepływa przez wyłożony materiałem ogniotrwałym kanał do naczynia zbiorczego (przedpiec), kadzi lub pieca podtrzymującego.
Żużel jest oddzielnie spuszczany za pomocą zapory i wylewki żużla umieszczonej na wyższym poziomie. Jest on gromadzony w sposób nieciągły w zbiornikach lub granulowany w sposób ciągły w strumieniu wody lub na sucho w celu późniejszego wykorzystania, np. w budowie dróg.





Źródło: [20. ETSU 1993], [132. HUT 2003]

Rysunek 2.12: Zarys schematyczny oraz miniaturowy model żeliwiaka (z zimnym nadmuchem)

Ekonomika

Większe żeliwiaki z zimnym nadmuchem są eksploatowane w sposób ciągły. Mniejsze żeliwiaki są eksploatowane przez jedną wydłużoną zmianę.
W celu zmniejszenia emisji CO_2 i zwiększenia efektywności energetycznej można rozważyć konwersję pieców z zimnym nadmuchem na piece z gorącym nadmuchem. Jednak w przypadku średnich odlewni obsługujących mniej niż 2 000 ton/miesiąc odlewów dobrych, trudno będzie rozważyć zastosowanie żeliwiaka z gorącym nadmuchem ze względu na duże nakłady inwestycyjne, których wymaga. Zastosowanie żeliwiaka z gorącym nadmuchem jest również ograniczone do topienia ciągłego, w przeciwnym razie koszty eksploatacji są zbyt wysokie.
[20. ETSU 1993], [59. Godinot 2001], [100. TWG 2002], [134. CAEF 2020]

Konserwacja

Specyficzną cechą żeliwiaka jest to, że materiał wyłożenia (mieszanka kwarcowo-gliniana) pieca w strefie topienia i podgrzewania wystarcza tylko na jedną kampanię topienia. Intensywne ciepło i obecność żużla powodują chemiczne rozpuszczanie i mechaniczne zużycie wykładziny, co w konsekwencji przekształca

ją w żużel. Dlatego też żeliwiaki są zwykle budowane w parach. Podczas gdy jeden piec wytapia, drugi jest wykładany nowym materiałem ogniotrwałym. Operacja jest przełączana następnego dnia użytkowania. [38. Vito 2001]

Zalety

- Można stosować lekki rozdrobniony złom stalowy (ekonomiczny), utleniając niektóre pierwiastki śladowe i nawęglając koksem.
- Wydajność cieplna jest akceptowalna przy zastosowaniu odpowiednich środków.
- Możliwość przynajmniej częściowego zastąpienia koksu antracytowego biokoksem (zob. Sekcja 5.2.4).

Wady

- System produkcji nie jest elastyczny.
- Trudne zarządzanie produkcją ze względu na powolność systemu.
- Drogi wsad surówki i niewielka ilość złomu stalowego.
- Brak możliwości szybkiej zmiany stopu.
- Zbieranie/odbieranie siarki w żeliwiaku.
- Obciążenie dla środowiska powodowane przez odlewnię, tj. dużo pyłu, żużla i wykładziny ogniotrwałej.
- Potrzebne są duże instalacje odpylające ze względu na znaczną ilość gazów spalinowych.

[38. Vito 2001], (zgłoszenie CAEF w [237. TWG 2023])

2.2.4.1.2 Żeliwiak z gorącym nadmuchem

Opis

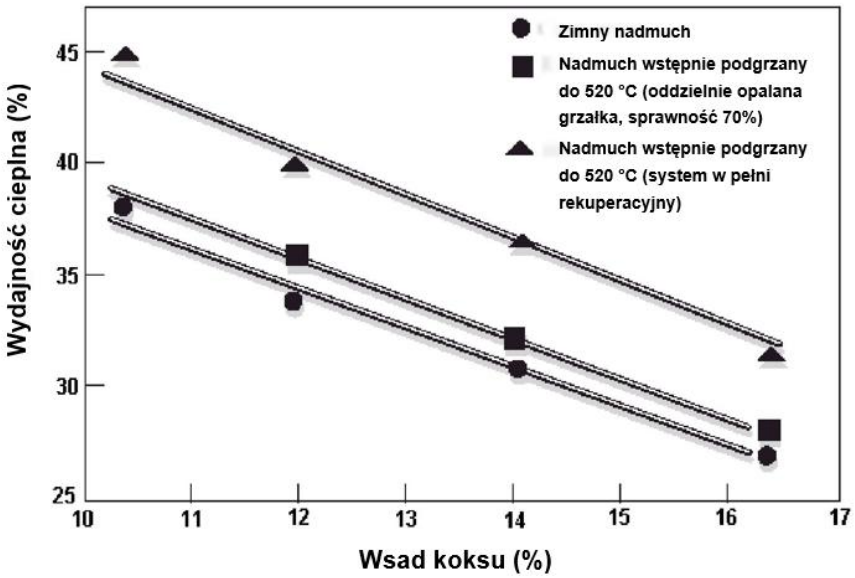
Żeliwiak z gorącym nadmuchem to wyłożony materiałem ogniotrwałym piec szybowy. Metalowy wsad jest podgrzewany i topiony przez spalanie koksu w dolnej części szybu („palenisko"). Wstępnie podgrzane powietrze o podwyższonym ciśnieniu jest wtryskiwane do paleniska przez pierścień z kilkoma dyszami wylotowymi (tuyères). Zwiększa to wydajność w porównaniu do żeliwiaka z zimnym nadmuchem.
Żeliwiaki z gorącym nadmuchem są używane do topienia dużych ilości ciekłego żelaza o tym samym lub podobnym składzie, w trybie ciągłym i do produkcji wielkoseryjnej.

Działanie

Wydajność pracy można poprawić dzięki palnikom tlenowo-paliwowym, które mogą zastąpić część koksu wsadowego. Specjalne palniki umożliwiają wtryskiwanie drobnego węgla metalurgicznego dowolnego rodzaju.
Istnieją dwie metody ogrzewania:

- *Ogrzewanie rekuperacyjne*: Polega na przekazywaniu ciepła resztkowego („utajonego") gazów spalinowych do powietrza spalania. Gazy spalinowe są zbierane w górnej części pieca, mieszane z odpowiednią ilością powietrza, a następnie spalane w jednostce dopalania. Powoduje to egzotermiczne utlenianie CO. Spalone gazy są prowadzone przez wymiennik ciepła (rekuperator), gdzie ciepło jest przekazywane do powietrza spalania. Zazwyczaj powietrze nadmuchu jest podgrzewane do temperatury od 500 ºC do 600 ºC. Powyżej tych temperatur pojawiają się problemy ze spiekaniem pyłu piecowego na powierzchni rekuperatora.
- *Ogrzewanie zewnętrzne* : W tym przypadku powietrze do spalania jest podgrzewane za pomocą środków zewnętrznych, np. palnika gazowego lub paliwowego, oporu elektrycznego lub palnika plazmowego.

Połączenie tych dwóch metod ogrzewania pozwala na przegrzanie powietrza nadmuchowego do 1 000 ºC. Tak wysokie temperatury wymagają jednak zastosowania droższych materiałów ogniotrwałych oraz stali żaroodpornych.
Systemy rekuperacyjne oferują zwiększoną efektywność energetyczną i termiczną. Wpływ wstępnego podgrzewania powietrza na wydajność cieplną i zużycie koksu przedstawiono na Rysunku 2.13. Należy zauważyć, że jakość koksu może mieć wpływ na ogólną wydajność nadmuchu.



Źródło: [20. ETSU 1993]

Rysunek 2.13: Wpływ wstępnego podgrzewania powietrza na wydajność nadmuchu pieca

Żeliwiak z gorącym nadmuchem pozostaje najczęściej stosowanym urządzeniem do topienia w odlewniach produkujących na skalę masową, np. części dla przemysłu motoryzacyjnego, odlewane odśrodkowo rury żeliwne, akcesoria drogowe. Żeliwiaki z gorącym nadmuchem są zwykle skonfigurowane do długotrwałej pracy, w celu zminimalizowania przestojów w procesie oraz czasu i wysiłku związanego z konserwacją. [14. CAEF 1997], [20. ETSU 1993], [59. Godinot 2001], [134. CAEF 2020] (zgłoszenie CAEF w [237. TWG 2023])

Zalety

- Można stosować lekki rozdrobniony złom stalowy (ekonomiczny), utleniając niektóre pierwiastki śladowe i nawęglając koksem.
- Zmniejszone zużycie koksu.
- Wysoka efektywność energetyczna, odzysk ciepła.
- Odzysk ciepła dla wewnętrznego ciepła procesowego (suszenie rdzenia itp.) lub do użytku zewnętrznego (sprzężenie sektorowe, ogrzewanie miejskie).
- Wysoka temperatura spustu.
- Wysoka zdolność topienia.
- Mniejsze gromadzenie się siarki w żeliwiaku.
- Możliwość wykorzystania różnych rodzajów taniego złomu żelaznego niższej jakości.
- Możliwość wykorzystania większej ilości złomu stalowego ze względu na wyższy wychwyt węgla przez surówkę.
- Możliwość przynajmniej częściowego zastąpienia koksu antracytowego biokoksem (zob. Sekcja 5.2.4).

Należy zauważyć, że nie wszystkie powyższe korzyści można osiągnąć w tym samym czasie. Na przykład, zwiększenie udziału złomu stalowego we wsadzie do pieca może wymagać zwiększenia udziału koksu do nawęglania, co z kolei zmniejszy szybkość topienia oraz zwiększy wychwyt siarki. Zmiany w zarządzaniu produkcją są wspierane przez cyfrowe systemy sterowania piecem. (zgłoszenie CAEF w [237. TWG 2023])

Wady

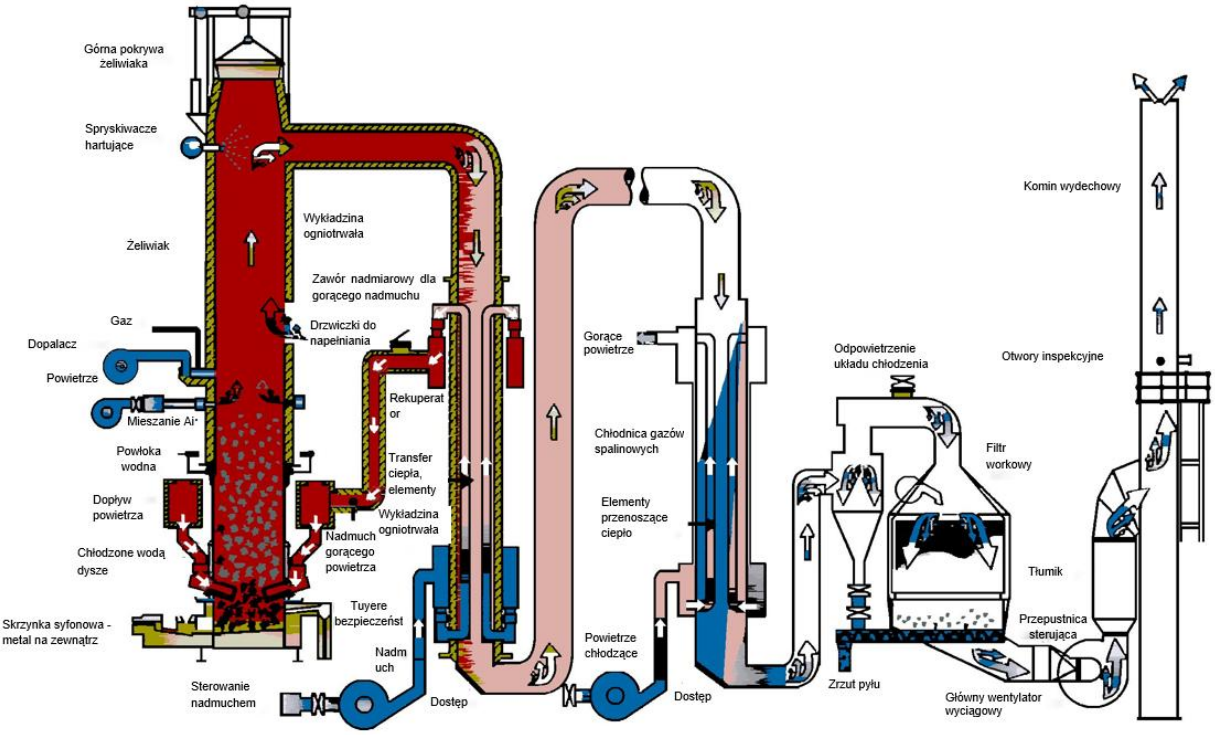
- System produkcji nie jest elastyczny (zaprojektowany z myślą o dostarczaniu jednego żelaza bazowego w dużych ilościach).
- Ograniczenie tylko do stopów żelaza, brak możliwości szybkiej zmiany stopu.
- Potrzebne są duże instalacje odpylające ze względu na znaczną ilość gazów spalinowych.

[38. Vito 2001], [134. CAEF 2020], (zgłoszenie CAEF w [237. TWG 2023])

2.2.4.1.3 Żeliwiak kampanijny

Żeliwiak kampanijny to zazwyczaj chłodzony wodą żeliwiak wyłożony materiałem ogniotrwałym, który

może pracować w trybie z gorącym lub zimnym nadmuchem. Takie żeliwiaki są eksploatowane codziennie przez jedną, dwie lub trzy zmiany i bardzo często są używane tylko jako pojedyncza jednostka. Ta forma ma żywotność kilku tygodni lub miesięcy. Żeliwiak bez wykładziny pozwala na znacznie dłuższy okres eksploatacji, ale straty ciepła przez płaszcz pieca mogą być duże. Nieustannie opracowywane są nowe materiały ogniotrwałe i praktyki operacyjne, które poprawiają żywotność i opłacalność żeliwiaka kampanijnego. Schemat żeliwiaka kampanijnego z dopalaczem w szybie przedstawiono na Rysunku 2.14.



Źródło: [54. ETSU 1998]

Rysunek 2.14: Schematyczne przedstawienie żeliwiaka kampanijnego

Aby umożliwić długotrwałą eksploatację, należy podjąć następujące środki:

- zastosować bardziej trwałą wykładzinę ogniotrwałą szybu, dna i paleniska;
- zastosować chłodzenie wodą ściany pieca: pozwala to utrzymać niską temperaturę ściany, a tym samym zapobiega szybkiemu zużyciu wykładziny paleniska;
- stosować chłodzone wodą rury nadmuchowe, wnikające głębiej w szyb pieca. W tym przypadku strefa spalania nie jest w bezpośrednim kontakcie z wykładziną pieca. Chłodzenie wodą jest również stosowane z powodów innych niż tylko zmniejszenie zużycia materiałów ogniotrwałych np.:
- aby wydłużyć czas trwania topienia;
- aby umożliwić zwiększenie wewnętrznej średnicy pieca, umożliwiając w ten sposób wyższą szybkość topienia.

W trybie bezwykładzinowym wsad jest w bezpośrednim kontakcie z chłodzonym wodą płaszczem stalowym pieca. Praca bez wykładziny jest stosowana tylko w żeliwiakach o stosunkowo dużej pojemności, topiące w długich kampaniach. Ma to następujące zalety:

- wymagany jest tylko jeden żeliwiak;
- żeliwiak wymaga wewnętrznych napraw dopiero po jednym lub kilku tygodniach pracy;
- dzienne zużycie koksu zostaje zmniejszone;
- monitorowanie jest łatwiejsze przez cały czas trwania kampanii ze względu na stałą średnicę i bardziej spójne warunki topienia.

[14. CAEF 1997], [20. ETSU 1993], [38. Vito 2001], [54. ETSU 1998], [134. CAEF 2020]

2.2.4.1.4 Charakter emisji do atmosfery

Żeliwiaki mogą być ładowane różnymi materiałami zawierającymi żelazo. Niektóre z nich mogą zawierać zanieczyszczenia, takie jak rdza, piasek, a nawet nieseparowane materiały nieżelazne. Koks metalurgiczny

może rozpadać się na małe kawałki, podobnie jak dodane materiały topnikowe. Pęknięcia i mechaniczne ścieranie podczas przygotowywania wsadu, a także podczas samego ładowania, generują cząstki, z których część jest natychmiast emitowana.
Podczas topienia, ścieranie wykładziny ogniotrwałej przez wsad będzie również generować pył (jak w każdym piecu do topienia).
Trzecim źródłem cząstek stałych jest popiół koksowy, który nie jest wychwytywany przez fazę żużlową.
Cząstki stałe z różnych źródeł, jeśli są wystarczająco lekkie, mogą być porywane przez gazy spalinowe żeliwiaka. W pewnych warunkach dym metalurgiczny może być generowany ze strefy topienia, prowadząc do widocznego pióropusza z komina żeliwiaka. Cząstki dymu składają się z submikronowych aglomeratów kulistych cząstek sadzy i tlenków metali, takich jak ZnO, PbO itp., jeśli metale są obecne w ładowanym złomie stalowym lub żelaznym, takim jak złom ocynkowany lub malowany. Emisja dymu będzie wzrastać wraz z proporcją koksu i zanieczyszczeń we wsadzie, temperaturą nadmuchu i prędkością wtrysku tlenu.
Dym węglowy to unosząca się w powietrzu substancja powstająca w wyniku niepełnego spalania substancji organicznych w żeliwiaku. Zanieczyszczenia złomu, takie jak olej i smar, tworzą oleiste opary w gazach kominowych. Opary i częściowo spalona materia organiczna mogą mieć nieprzyjemny zapach. Również w tym przypadku czystość złomu i jego rodzaj znacząco wpływają na charakter emisji. Czysty złom zapobiega powstawaniu i emisji substancji organicznych.
Spalanie koksu powoduje emisję gazów zawierających CO2, CO i SO2 (nieprzyjemny zapach). Zmniejszenie udziału wsadu koksowego (poprzez spalanie tlenowo-paliwowe) lub (częściowe lub całkowite) zastąpienie koksu antracytowego gazem ziemnym lub biokoksem może pomóc w obniżeniu poziomów tych substancji. (zgłoszenie CAEF w [237. TWG 2023])

2.2.4.2 Elektryczny piec łukowy (*electric arc furnace, EAF*)

2.2.4.2.1 Opis

EAF to piec do topienia wsadowego składający się z dużego, wyłożonego materiałem ogniotrwałym korpusu w kształcie misy z paleniskiem w kształcie naczynia. Szeroki kształt pieca pozwala na obsługę nieporęcznych materiałów wsadowych i prowadzi do wydajnych reakcji między żużlem a metalem. Zazwyczaj średnica płaszcza wynosi od 2 m do 4 m. Jak pokazano na Rysunku 2.15, piec jest pokryty ogniotrwałym dachem, w którym znajdują się otwory na trzy elektrody grafitowe. Elektrody są podtrzymywane przez ramiona, które umożliwiają ich ruch w górę i w dół. Większość pieców wykorzystuje ładowanie przez dach: przesuwając dach i elektrody na bok, piec można naładować za pomocą wiadra z otwieranym dnem lub magnesu. Metalowy wsad jest podgrzewany przez łuk elektryczny, który jest wytwarzany przez trójfazowy zmienny prąd elektryczny pomiędzy trzema elektrodami grafitowymi. Elektrody te umieszczone są nad wsadem, który sam w sobie pełni funkcję neutralną.



Źródło: [132. HUT 2003]

Rysunek 2.15: EAF

Spust odbywa się poprzez przechylenie pieca, zmuszając metal do wypłynięcia przez wylew. Naprzeciwko wylewu znajdują się otwierane drzwiczki, które umożliwiają odżużlanie i pobieranie próbek przed spustem. Wykładzina pieca może być kwasowa (materiał ogniotrwały na bazie SiO_2) lub zasadowa (materiał ogniotrwały na bazie MgO). Wykładziny zasadowe pozwala na wykorzystanie praktycznie wszystkich rodzajów złomu stalowego. Piec może być również wykorzystywany do produkcji stali wysokostopowych

i manganowych. Jeśli używany jest złom o wysokiej zawartości fosforu lub siarki, należy użyć wapna i kamienia wapiennego, które są zwykle dodawane w celu usunięcia fosforu i odsiarczenia. Wykładzina kwasowa zostałaby zaatakowana przez te związki. Dlatego też wykładziny ogniotrwałe typu kwasowego stosuje się wyłącznie do topienia złomu o niskiej zawartości siarki lub fosforu.
Elektryczne piece łukowe są prawie wyłącznie wykorzystywane do topienia staliwa. Tylko w nielicznych przypadkach są one wykorzystywane do produkcji żeliwa, która wymaga nawęglania wytopu. Elektryczne piece łukowe przeznaczone dla odlewni stali mają zwykle pojemność od 2 do 50 ton. Mogą pracować w trybie przerywanym i nadają się do szerokiego zakresu rodzajów stali. Mogą dostarczać stal w wysokich temperaturach, z typowym czasem topienia wynoszącym około jednej do dwóch godzin, jednocześnie osiągając wysoką sprawność cieplną do 80% (bez uwzględnienia sprawności wytwarzania energii elektrycznej). Zużycie energii waha się od 500 kWh/tonę do 800 kWh/tonę stopionej stali, w zależności od pojemności pieca, zużycia gorącego metalu oraz zastosowanych technik rafinacji, temperatury spustu i urządzeń do kontroli zanieczyszczeń. Całkowity czas topienia wynosi zazwyczaj od 1 do 4 godzin. Nowo wybudowane piece EAF są w stanie przetwarzać złom stalowy o niższej jakości. Wymagają jednak zasilania wysokim napięciem i specjalnych metod ekranowania. W przypadku żeliwa wymagane są środki metalurgiczne pozwalające uzyskać pożądaną strukturę grafitu (deklaracja CAEF w [237. TWG 2023]).

2.2.4.2.2 Topienie i rafinacja z użyciem EAF z wykładziną kwasową

Ze względu na chemiczny charakter wykładziny kwasowej (SiO_2), możliwości rafinacji tego typu pieców są ograniczone do odwęglania. W związku z tym należy zachować szczególną ostrożność przy wyborze wsadu, aby uzyskać akceptowalne poziomy siarki i fosforu, ponieważ nie można ich usunąć w procesie topienia w kwasie. Wsad składa się ze zrównoważonych ilości surówki, odpadów z odlewni i zakupionego złomu. Węgiel we wsadzie jest utrzymywany na wystarczająco wysokim poziomie, aby po topieniu znajdował się 0,2% do 0,4% powyżej poziomu końcowego.
Odwęglanie rozpoczyna się od wstrzyknięcia tlenu do kąpieli metalowej. Powoduje to silne mieszanie, podczas którego spalany jest węgiel zawarty w stopionym materiale. W tym samym czasie „wrzenie" wypala Si i wypłukuje H_2 i N_2 z kąpieli metalowej. Wszystkie zanieczyszczenia (tlenki) zostają uwięzione w żużlu. Podczas topienia można dodać piasek (SiO2), aby doprowadzić żużel do odpowiedniej konsystencji. Gdy węgiel osiągnie odpowiednie stężenie, wtrysk tlenu zostaje zatrzymany, a krzem i mangan są dodawane w celu zatrzymania reakcji wrzenia.
Po usunięciu żużla skład metalu jest kontrolowany i w razie potrzeby dostosowywany. Na koniec metal jest odtleniany poprzez dodanie aluminium lub innych środków do strumienia stopionego materiału podczas spustu, aby zapobiec tworzeniu się pęcherzyków CO podczas krzepnięcia. Dodatkowa rafinacja odsiarczająca lub odfosforyzowująca może być przeprowadzona w konwertorze AOD lub VOD (zob. Sekcje 2.2.4.9 oraz 2.2.4.10).
[14. CAEF 1997], [63. UK Environment Agency 2002]

2.2.4.2.3 Topienie i rafinacja z użyciem EAF z wykładziną zasadową

Alkaliczna wykładzina EAF na bazie MgO umożliwia rafinację metalu w samym piecu. Dlatego możliwe jest ładowanie pieca praktycznie dowolną kombinacją złomu i odpadów z odlewni. Praktyka wykładania zasadą jest stosowana, gdy zakupiony złom zawiera wyższe poziomy fosforu i/lub siarki niż pożądane.
Odfosforanowanie stopu odbywa się poprzez okresowe dodawanie wapna podczas topienia. Po wprowadzeniu tlenu do kąpieli powstaje tlenek fosforu, który zostaje uwięziony w żużlu wraz z innymi tlenkami metali i zanieczyszczeniami. Wapno sprawia, że żużel jest bardzo zasadowy, co stabilizuje tlenek fosforu. Jednocześnie spalany jest węgiel. Po upływie odpowiedniego czasu reakcji wtrysk tlenu zostaje zatrzymany, a żużel jest całkowicie usuwany.
Odsiarczanie odbywa się na drugim etapie, w podobny sposób, ale w wyższej temperaturze. Ponownie, wapno lub kamień wapienny jest dodawany do stopu, reagując z siarką tworząc nierozpuszczalny CaS, który jest wychwytywany przez żużel. Okresowe dodawanie węgla, aluminium lub FeSi redukuje tlenki metali (np. manganu, chromu), a tym samym minimalizuje straty tych pierwiastków z kąpieli metalowej. Wszystkie inne zanieczyszczenia (tlenki) są zatrzymywane w żużlu i usuwane podczas końcowej operacji odżużlania.
Po rafinacji skład metalu jest kontrolowany i w razie potrzeby dostosowywany. Na koniec metal jest odtleniany poprzez dodanie aluminium lub innych środków do strumienia stopionego materiału podczas spustu, aby zapobiec tworzeniu się pęcherzyków CO podczas krzepnięcia. Dalsza obróbka metalu, prowadzona jest przy użyciu konwertora AOD lub VOD (zob. Sekcje 2.2.4.9 oraz 2.2.4.10) i może być zastosowana, jeśli wymaga tego końcowy skład stopu. [14. CAEF 1997], [63. UK Environment Agency

2002]

2.2.4.2.4 Charakter emisji do atmosfery

Emisje z EAF pochodzą z operacji ładowania, topienia i rafinacji oraz podczas spustu z pieca.
Podczas ładowania z otwartego korpusu pieca emitowany jest pył i cząstki stałe. Podczas ładowania do gorącego pieca (na przykład podczas topienia za pomocą pieca ze stopionym metalem (*molten metal heel*)), wszelkie materiały palne, takie jak smar, farba lub olej zapalają się i powodują powstawanie smug dymu ze spalonego i częściowo spalonego materiału organicznego oraz cząstek pyłu. Mechaniczne ścieranie wkładziny pieca również generuje dodatkowy pył.

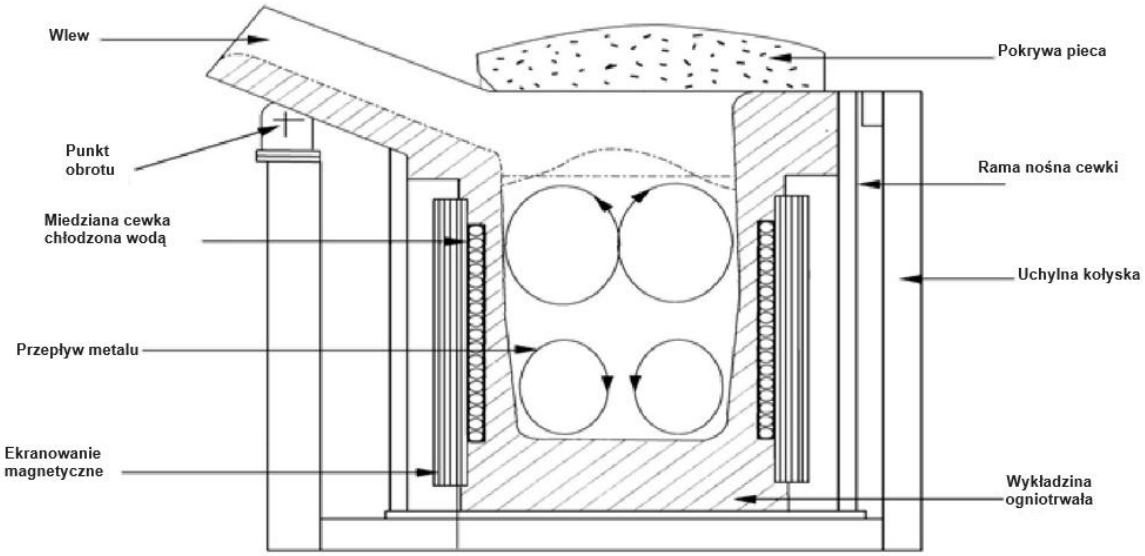
Podczas topienia, podgrzewanie złomu generuje opary tlenków metali, których ilość znacznie wzrasta podczas odwęglania. Wtryskiwanie tlenu gazowego do stopionego metalu powoduje powstawanie znacznych ilości oparów tlenku żelaza, które opuszczają piec w postaci czerwonych chmur. Dodanie materiałów tworzących żużel zwiększa emisję z pieca, ale tylko w niewielkich ilościach i tylko przez krótki okres czasu.
Mniejsze emisje występują podczas przenoszenia stopionego metalu do kadzi lub pieca podtrzymującego.
Emisje z samej operacji topienia są określane jako emisje pierwotne. Emisje wtórne to opary i pyły pochodzące z ładowania i spustu.
Rozważania dotyczące charakteru i wielkości emisji, różnych źródeł emisji pyłów i dymów, jak to opisano powyżej, pokazują, że istnieją duże różnice między odlewniami, w zależności od czystości materiału wsadowego, zastosowanej procedury ładowania, składu wsadu, obróbki rafinacyjnej i dodatków dodawanych do topionej masy. Ponieważ w piecu nie jest spalany węgiel ani paliwo, emisje zależą wyłącznie od tych parametrów.

2.2.4.3 Piec indukcyjny (*induction furnace, IF*)

Piece indukcyjne są wykorzystywane do topienia zarówno metali żelaznych, jak i nieżelaznych. Dostępnych jest kilka rodzajów pieców indukcyjnych, ale wszystkie działają w oparciu o silne pole magnetyczne wytwarzane przez przepuszczanie prądu elektrycznego przez cewkę owiniętą wokół pieca. Pole magnetyczne z kolei wytwarza napięcie, a następnie prąd elektryczny przepływający przez topiony metal. Opór elektryczny metalu wytwarza ciepło, które z kolei topi metal. Piece indukcyjne są produkowane w szerokiej gamie rozmiarów. Piec indukcyjny nadaje się do topienia staliwa, żeliwa oraz metali nieżelaznych, przy użyciu odpowiedniej dla każdego przypadku wykładziny ogniotrwałej.
Prawidłowe funkcjonowanie obwodów chłodzenia wodą ma kluczowe znaczenie dla zapobiegania przegrzaniu cewki. Systemy chłodzenia wodą są zaprojektowane tak, aby zapewnić najwyższy poziom niezawodności, a zatem zawierają różne termostaty i przepływomierze. [18, US EPA 1998], [38, Vito 2001].

2.2.4.3.1 Bezrdzeniowy piec indukcyjny

Opis
Bezrdzeniowy piec indukcyjny to piec do topienia wsadowego zawierający chłodzoną wodą miedzianą cewkę, którego wnętrze - tygiel - jest wewnątrz wyłożone materiałem ogniotrwałym. Zewnętrzna część tygla jest izolowana i zamknięta w stalowej obudowie. Korpus pieca jest zamontowany na ramie wyposażonej w mechanizm przechylający. Bezrdzeniowy piec indukcyjny jest zwykle wyłożonym materiałem ogniotrwałym kubłem, którego górna część jest otwarta dla operacji ładowania i odżużlania (zob. Rysunek 2.16).



Źródło: [23. ETSU 1992]

Rysunek 2.16: Układ ogólny bezrdzeniowego pieca indukcyjnego

W zależności od wydajności, piec jest ładowany za pomocą magnesu podnoszącego, czerpaków, przenośnika wibracyjnego lub manualnie. Wiele odlewni wykorzystuje piece indukcyjne do produkcji stosunkowo małych partii lub do zmiany składu stopu. Typowa pojemność pieca wynosi od około 100 kg do 30 ton. Rdzeń jest zasilany prądem przemiennym o średniej lub wysokiej częstotliwości (odpowiednio 50 Hz, 250 Hz lub 1 000 Hz).
W zależności od zainstalowanej gęstości mocy i praktyki topienia, wydajność cieplna wynosi od 60% do 75% (zob. Rysunek 2.147) bez uwzględnienia efektywności wytwarzania energii elektrycznej.
Bezrdzeniowy piec indukcyjny może być zaprojektowany do pracy z dowolną częstotliwością, zwykle od 50 Hz w górę, choć stosowane są również piece pracujące z niższą częstotliwością 35 Hz (rzadziej). Nagrzewanie indukcyjne ciekłego metalu powoduje efekt mieszania. Im niższa częstotliwość prądu pierwotnego, tym intensywniejsze jest mieszanie. Dlatego w piecu zasilanym prądem o częstotliwości 50 Hz lub 60 Hz turbulencje są większe niż w piecu zasilanym prądem o wyższej częstotliwości. Ze względu na wysokie turbulencje, moc wejściowa pieca zasilanego prądem o częstotliwości sieciowej jest ograniczona do około 250 kW na tonę pojemności. Przy wyższych częstotliwościach gęstość mocy można zwiększyć trzy- lub czterokrotnie.
Częstotliwość ma również wpływ na penetrację prądu. Im wyższa częstotliwość, tym mniejsza głębokość penetracji. Ma to wpływ na minimalną wielkość wsadu oraz efektywną wielkość pieca. Piece 50 Hz są niepraktyczne przy obciążeniach poniżej 750 kg. Przy częstotliwości 10 kHz można nagrzewać elementy wsadu o średnicy mniejszej niż 10 mm, dzięki czemu można stosować piece o pojemności nawet 5 kg. Częstotliwości są zwykle ograniczone do 250/350 Hz (w przypadku zmiennych częstotliwości), ponieważ przy wyższych częstotliwościach homogenizacja metalu staje się niewystarczająca. Wyższe częstotliwości są stosowane tylko w szczególnych przypadkach, np. w bardzo małych piecach lub do topienia stopów, które wymagają gładkiej powierzchni kąpieli w celu uniknięcia utleniania. Rysunek 2.17 przedstawia bezrdzeniowe piece indukcyjne o różnych rozmiarach.



Źródło: [132. HUT 2003]

Rysunek 2.17: Bezrdzeniowy piec indukcyjny

Systemy chłodzenia wodą są niezbędne do działania bezrdzeniowego pieca indukcyjnego. Chłodzenie cewki chroni zarówno cewkę, jak i izolację przed uszkodzeniem termicznym, nie tylko podczas normalnej pracy, ale także podczas okresu chłodzenia, gdy zasilanie zostało wyłączone, a piec opróżniony. Dostępnych jest kilka rodzajów chłodzenia, wykorzystujących zamknięte obiegi z wymiennikami ciepła lub otwarte systemy wyparne. System chłodzenia może być wykorzystywany do odzyskiwania energii wewnętrznej. Ze względu na małą różnicę temperatur, wynoszącą zazwyczaj około 40 K, jest on często wykorzystywany do ogrzewania hal lub wody.
[14. CAEF 1997], [23. ETSU 1992], [38. Vito 2001],[75. ETSU 1998], [100. TWG 2002], (zgłoszenie CAEF w [237. TWG 2023])

Praktyka stosowana podczas topienia

Bezrdzeniowy piec indukcyjny jest używany do topienia, ale nie może być używany do rafinacji. Dlatego w odlewniach stali piec indukcyjny musi być ładowany surowcami o „prawidłowym" składzie chemicznym, tj. odpowiadającym wymaganemu składowi stopu; stąd głównie wykorzystywany jest złom stalowy. Jeśli to konieczne, metal może być rafinowany po topieniu w konwertorze AOD lub w specjalnych kadziach do obróbki (zob. Sekcja 2.2.4.12).

Piece o dużej mocy umożliwiają topienie metodą „spuszczanie i ładowanie" (*tap and charge*). W tym przypadku piec jest całkowicie opróżniany i ładowany zimnym materiałem w celu rozpoczęcia kolejnego cyklu topienia. Metoda utrzymywania kąpieli zaczynowej w piecu jest stosowana w piecach o niskiej mocy (o częstotliwości sieciowej), w których około jedna trzecia stopionego materiału jest spuszczana przed dodaniem zimnego materiału wsadowego. Procedura ta może być stosowana podczas ładowania DRI/HBI (*Direct Reduced Iron/Hot Briquetted Iron*), jeśli jest dostępna, aby poradzić sobie z dużą ilością żużla. Ze względu na ich wysoką produktywność i większą elastyczność w większości odlewni żelaza i stali stosowane są piece indukcyjne średniej częstotliwości. Może mieć na to wpływ dostępność nowych złomów przedkonsumenckich. Rzeczywiście, średnia częstotliwość wymaga mniejszej głębokości penetracji pola niż w przypadku pieców o częstotliwości sieciowej. Z tego powodu wydajność cieplna dla materiałów żeliwnych jest lepsza, ponieważ można wykorzystać ferro-magnetyczne właściwości wsadu. Piece średniej częstotliwości są opróżniane po każdym załadunku a następny wsad może mieć inny skład. Piece indukcyjne średniej częstotliwości nigdy nie są stosowane w odlewniach stali.
Gatunki stali zawierające więcej niż 0,2% pierwiastków reaktywnych, takich jak Al, Ti i Zr, nie mogą być topione w środowisku utleniającym, takim jak powietrze. Wymagają one atmosfery obojętnej lub próżniowej metody topienia i odlewania. Uzyskuje się to poprzez umieszczenie pieca indukcyjnego w próżniowej lub hermetycznej komorze. Zastosowanie próżni zapewnia bardzo dobre odgazowanie stopionego materiału. W próżni lub po wypełnieniu gazem obojętnym dodawane są pierwiastki silnie utleniające.
Piece indukcyjne są doskonałymi urządzeniami do topienia i mogą być używane do jednoczesnego topienia i podtrzymywania. Dostępnych jest wiele typów bezrdzeniowych pieców indukcyjnych ze stałymi lub wyjmowanymi tyglami. W przypadku aluminium do topienia i podtrzymywania dostępne są zarówno kanałowe, jak i bezrdzeniowe piece indukcyjne. Typ kanałowy jest jednak rzadko stosowany ze względu na trudności w utrzymaniu otwartego kanału oraz konieczność utrzymywania przez cały czas kąpieli zaczynowej. [14. CAEF 1997], [24. ETSU 1994], [134. CAEF 2020], (zgłoszenie CAEF w [237. TWG 2023])

Zalety

Ze względu na swoje liczne zalety piec indukcyjny jest coraz częściej stosowany. Jego główne zalety to:

- większa elastyczność w zakresie stopów i reżimu topienia; w związku z tym jest to idealna technika topienia dla odlewni i stopów specjalnych;
- krótki czas topnienia;
- małe wymagania dotyczące konserwacji, zależne od żywotności wykładziny ogniotrwałej;
- dobra kontrola procesu: możliwa jest obsługa komputera i w pełni automatyczna praca, co pozwala na optymalną kontrolę temperatury;
- możliwa jest maksymalna wydajność cieplna, jeśli parametry procesu są lokalnie obliczone i skonfigurowane;
- możliwy jest odzysk ciepła z wody chłodzącej, głównie do zastosowań o niższym zużyciu energii, takich jak ogrzewanie hali lub wody;

- •intensywne mieszanie w kąpieli sprawia, że stopiony materiał staje się jednorodny;
- ładowanie, pobieranie próbek i odżużlanie ciekłego metalu, choć zazwyczaj z niską wydajnością, chociaż odnotowano wysoką wydajność podtrzymywania (temperatury) dla miedzi i aluminium.

Wady

- Operator jest w pełni zależny od warunków podłączenia do lokalnej sieci elektrycznej, kosztów energii i wszelkich możliwych dodatkowych kosztów (kontrola szczytów zapotrzebowania na energię itp.).
- Działanie czyszczące pieca indukcyjnego na stopiony materiał jest ograniczone ze względu na niewielką ilość żużla i stosunkowo niewielką powierzchnię styku między żużlem a stopionym materiałem. Wymaga to stosowania wsadu wysokiej jakości, a zatem droższego niż ten dla żeliwiaka lub EAF.
- Charakteryzuje się niską wydajnością podczas podtrzymywania ze względu na straty ciepła w chłodzonej wodą cewce indukcyjnej.

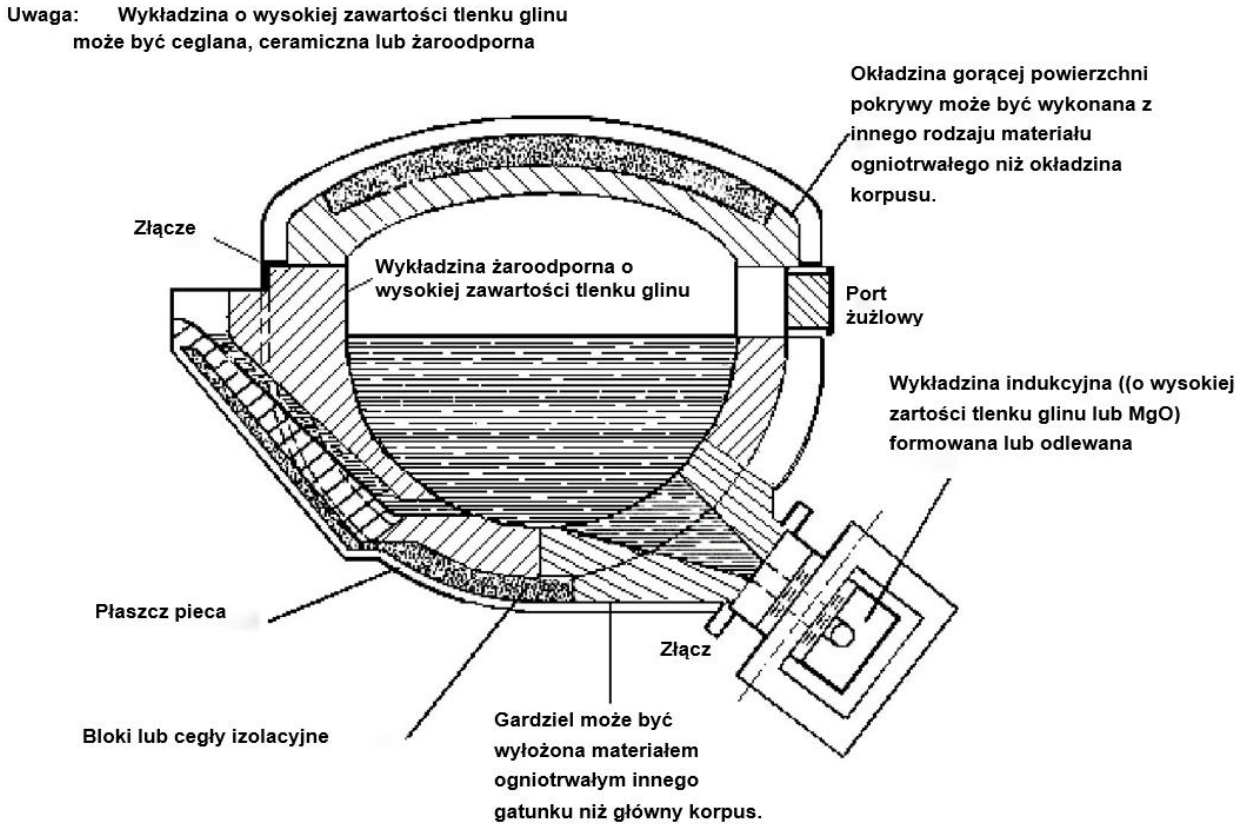
[38. Vito 2001], [134. CAEF 2020], (zgłoszenie CAEF w [237. TWG 2023])

2.2.4.3.2 Kanałowy piec indukcyjny

Opis

Ten typ pieca jest używany głównie do celów podtrzymywania, choć może być również używany jako piec łączący topienie i podtrzymywanie.

Kanałowy piec indukcyjny składa się z tygla z wysoce izolowaną wykładziną ogniotrwałą, wyposażonego w górną pokrywę. Ładunek jest wprowadzany od góry (Rysunek 2.18). Dno jest wyposażone w jeden lub więcej kanałów w kształcie litery u (metale żelazne) lub W (metale nieżelazne). Wokół tych kanałów znajduje się chłodzona powietrzem lub wodą cewka indukcyjna, która podgrzewa i wymusza cyrkulację metalu. Prąd indukcyjny ma częstotliwość lokalnej sieci elektrycznej. Piec jest zazwyczaj zamontowany na hydraulicznie odchylanej ramie na potrzeby spustu lub prac konserwacyjnych. W użyciu są również piece ciśnieniowe i nieprzechylne.



Źródło: [25. ETSU 1993]

Rysunek 2.18: Typowa konstrukcja pieca kanałowego z wanną

Aby umożliwić pracę, wewnątrz tygla i kanału musi pozostać minimalna ilość stopionego metalu. Tygiel musi być wypełniony do jednej trzeciej swojej pojemności. Przy określaniu pojemności pieca podtrzymującego zwykle podaje się dwie wartości: pojemność całkowitą i pojemność użytkową, na

przykład 60/35 ton. Różnica między tymi dwiema wartościami reprezentuje ilość metalu, która musi zostać zatrzymana w piecu. Ilość ciekłego metalu, która musi pozostać w piecu, zależy od konstrukcji zbiornika, położenia wzbudnika w zbiorniku i innych parametrów, takich jak moc, częstotliwość i rodzaj metalu.

Straty cieplne przez wodę chłodzącą i ścianę pieca są niskie w porównaniu do tych w bezrdzeniowym piecu indukcyjnym. Wyposażenie pieca w kanały do zalewania zgodnie z zasadą „czajnika" pozwala na ograniczenie utleniania stopu oraz zużycia materiału ogniotrwałego.

Ze względu na dużą zawartość tygla, wszelkie zmiany w składzie stopu są spłaszczane. Zasada ta jest jednak sprzeczna z elastycznością pieca, ponieważ zmiana składu stopu na inny wymaga długiego okresu przejściowego. W praktyce skład stopu jest więc utrzymywany na dość stałym poziomie.



Źródło: [132. HUT 2003]

Rysunek 2.19: Kanałowy piec indukcyjny

Kanałowy piec indukcyjny znajduje swoje główne zastosowanie jako piec do podtrzymywania i zalewania w odlewniach żelaza. Przykładowe zdjęcie przedstawiono na Rysunku 2.19. Pojemność waha się od 5 do ponad 100 ton. Piec podtrzymujący służy jako bufor pomiędzy wytapialnią a odlewnią. Ważne jest, aby w pełni ocenić wymagania odlewni i produkcji, rozważając, czy użyć pieca do podtrzymywania. Mogą istnieć bardziej opłacalne i efektywne energetycznie metody spełnienia wymagań, dlatego zaleca się dokładne zbadanie wszystkich możliwych rozwiązań przed podjęciem decyzji. W przypadku aluminium typ kanałowy jest rzadko stosowany ze względu na trudności w utrzymaniu otwartego kanału oraz potrzebę utrzymania przez cały czas kąpieli zaczynowej.

Wymagania wyjściowe są ważnym czynnikiem przy podejmowaniu decyzji o wielkości pieca kanałowego. [24. ETSU 1994], [25. ETSU 1993], [38. Vito 2001], (zgłoszenie CAEF w [237. TWG 2023])

Zalety

- Wysoka wydajność cieplna jako pieca podtrzymującego.
- Minimalne wypalenie elementów stopowych.
- Niewielkie wymagania konserwacyjne.
- Możliwość zalewania.

Wady

- W piecu musi być przechowywana znaczna ilość stopionego metalu.
- Piec nie może wykonać zimnego rozruchu ze względu na ograniczoną gęstość mocy, którą można osiągnąć w pętli indukcyjnej.
- Trudność w monitorowaniu zużycia kanału.
- Potencjalne niebezpieczeństwo przypadkowego wycieku z powodu cewki indukcyjnej na dnie.
- Trudno jest zapobiec kontaktowi wody chłodzącej z metalem.

[38. Vito 2001]

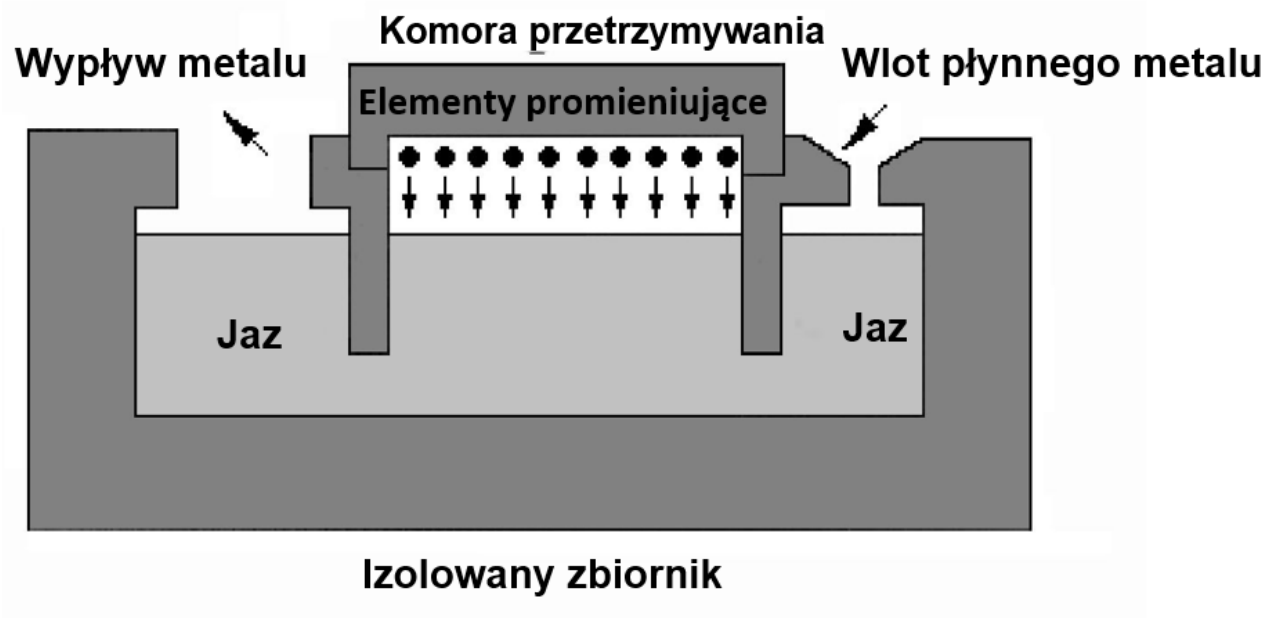
2.2.4.3.3 Charakter emisji

Ponieważ w piecu indukcyjnym nie jest spalany węgiel ani paliwo i nie są przeprowadzane żadne procedury rafinacji, emisje zależą wyłącznie od czystości i składu materiału wsadowego. Można wyróżnić dwie

główne kategorie emisji. Pierwsza i główna kategoria dotyczy czystości wsadu, np. ilości rdzy, brudu, piasku odlewniczego, farby, oleju, ocynkowanego metalu, które powodują emisję pyłu i oparów. Druga kategoria odnosi się do reakcji chemicznych zachodzących w wysokich temperaturach (np. podczas przechowywania lub dostosowywania składu metalu), które mogą powodować powstawanie oparów metalurgicznych w wyniku utleniania.
Dodatkowo wykładzina ogniotrwała (na bazie kwasu SiO_2, neutralna na bazie Al_2O_3 lub zasadowa na bazie MgO) może dodawać do emisji niewielką ilość cząstek pyłu.
Trudno jest uzyskać średnie dane dotyczące emisji, ponieważ czystość wsadu, która jest głównym czynnikiem wpływającym na emisje, różni się w zależności od odlewni.

2.2.4.4 Promiennikowy piec dachowy (*radiant-roof furnace*) (oporowy)

Promiennikowy piec dachowy to niskoenergetyczny podtrzymujący piec akumulacyjny o mocno izolowanej konstrukcji skrzynkowej z rzędami elementów oporowych w izolowanym dachu na zawiasach. Są one stosowane głównie w odlewniach ciśnieniowych metali nieżelaznych (aluminium) ze scentralizowanymi urządzeniami do topienia. Typowe jednostki mają pojemność od 250 do 1 000 kg przy podłączonym obciążeniu od 5 kW do 12 kW. Studzienki wylewowe i wsadowe są oddzielone od głównej wanny ścianami ogniotrwałymi z łącznikami na dole, aby umożliwić przepływ czystego metalu z jednego obszaru do drugiego. Rysunek 2.20 przedstawia schematycznie zasadę działania takiego pieca.



Źródło: [24. ETSU 1994]

Rysunek 2.20: Promiennikowy piec dachowy

Zalety promiennikowych pieców dachowych to:

- nie wymagają tygla;
- ścisła kontrola temperatury;
- czyste, chłodne i ciche warunki pracy.

Chociaż większość niskoenergetycznych pieców podtrzymujących obsługuje pojedyncze maszyny odlewnicze, niektóre większe są używane jako bufory między piecami topielnymi (topielnikami) a piecami mechanicznymi. To drugie zastosowanie pozwala na lepsze wykorzystanie topielnika, który rzadko jest wydajnym piecem przetrzymującym.
Niektóre odlewnie używają dużych pieców z dachem promiennikowym o większej mocy jako pieców topielnych, na przykład do wytwarzania stopionego metalu do odlewania niskociśnieniowego. Kilku producentów buduje wersje promiennikowych pieców dachowych, które mogą być w pełni uszczelnione i zasilane gazem, aby mogły funkcjonować jako piece dozujące. Piece dozujące zapewniają precyzyjne porcje metalu do odlewania ciśnieniowego lub grawitacyjnego i do pewnego stopnia konkurują z mechanicznymi systemami kadzi jako automatycznymi systemami zalewania. Pod warunkiem, że są starannie konserwowane i użytkowane, promiennikowe piece dachowe mogą zapewnić cenną kontrolę

zarówno temperatury, jak i masy wsadu oraz mogą poprawić wydajność. [24. ETSU 1994]

2.2.4.5 Piec obrotowy

Opis

Piec obrotowy składa się z cylindrycznego zbiornika obracającego się wokół prawie poziomej osi, w którym metalowy wsad jest podgrzewany przez palnik umieszczony po jednej stronie pieca. Gazy spalinowe opuszczają piec po przeciwnej stronie. Do wytworzenia wymaganego ciepła wykorzystywane jest paliwo lub gaz ziemny w połączeniu z powietrzem lub czystym tlenem.

Mechanizm przechyłu umożliwia pochylenie pieca pod określonym kątem lub pozycję pionową. Pozycja ta jest wykorzystywana do ładowania pieca za pomocą czerpaka z otwieranym dnem lub rynny wibracyjnej, a także do naprawy lub wymiany wykładziny. Podczas nagrzewania i topienia piec obraca się powoli, aby umożliwić transfer i rozprowadzanie ciepła. Atmosfera w piecu jest kontrolowana przez stosunek powietrza (tlenu) do paliwa.

Gdy metal jest już stopiony, po sprawdzeniu i dostosowaniu składu, otwierany jest otwór spustowy z przodu pieca, a roztopiony w piecu metal jest odprowadzany do kadzi. Ze względu na mniejszą gęstość, żużel unosi się na metalowej kąpieli w piecu i jest ostatecznie zbierany przez otwór spustowy do kadzi żużlowych.

Cykl topnienia trwa od 1,5 do kilku godzin. W celu ciągłej produkcji stopionego metalu, odlewnie instalują od dwóch do czterech pieców obrotowych, które pracują kolejno po sobie. Wydajność cieplna pieca obrotowego jest bardzo wysoka i wynosi od 50% do 65%.[4] w zależności od pojemności. Wysoką wydajność osiągnięto dzięki zastosowaniu czystego tlenu zamiast powietrza jako czynnika spalania. [14. CAEF 1997]

Praktyka stosowana podczas topienia

W przypadku topienia żeliwa piec jest ładowany surówką, odpadami z odlewni, złomem stalowym, żużlem (np. piaskiem, wapnem) i środkami nawęglającymi (np. grafitem). Cykl topienia rozpoczyna się od lekko utleniającego i krótkiego płomienia (współczynnik powietrza, $\lambda = 1{,}03$), który zapewnia najwyższą energię wejściową. Piec jest obracany stopniowo o 90º, a kierunek obrotu jest zmieniany od czasu do czasu. W ten sposób ściany pieca mogą wymieniać ciepło z wsadem poprzez konwekcję. Gdy tylko wsad zostanie stopiony, płomień jest redukowany, aby zapobiec nadmiernemu utlenianiu pierwiastków stopowych. Podczas przegrzewania i podtrzymywania stosowany jest długi i redukujący płomień ($\lambda = 0{,}9$), a ruch pieca jest zmieniany na pełny i ciągły obrót. Warstwa żużla zapewnia izolację termiczną i zapobiega wypalaniu się pierwiastków stopowych. Po kontroli i regulacji składu i temperatury stopu, otwór spustowy jest otwierany a metal spuszczany do kadzi. Żużel unosi się na kąpieli metalowej i jest zbierany oddzielnie, po usunięciu metalu.

Żywotność materiału ogniotrwałego zależy w dużej mierze od temperatury przegrzania i składu wsadu. Podczas ładowania należy zapobiegać wstrząsom mechanicznym i zimnym rozruchom. Atmosfera w piecu, czas podtrzymywania, prędkość obrotowa i pozycja palnika również wpływają na żywotność materiału ogniotrwałego. W normalnych warunkach żywotność materiału ogniotrwałego wynosi od 100 do 300 cykli topienia. [14. CAEF 1997], [38. Vito 2001].

Metalurgia

Piec obrotowy jest od wielu lat wykorzystywany do topienia metali nieżelaznych. W tym zastosowaniu tradycyjne palniki olejowo-powietrzne mogą zapewnić stosunkowo niskie temperatury topnienia. Rozwój palników tlenowo-powietrznych umożliwił produkcję żeliwa, wykorzystując większą względną ilość złomu stalowego oraz stosując grafit do nawęglania.

Istotną wadą pieca obrotowego jest fakt, że spala on również Fe, C, Si, Mn i S. Straty te muszą być kompensowane przez dodanie pierwiastków stopowych przed lub po stopieniu. Skuteczność absorpcji tych pierwiastków jest zwykle dość niska. Gradienty stężenia mogą występować między przednią i tylną częścią kąpieli metalowej z powodu braku ruchu osiowego oraz z powodu niejednorodności promieniowania i atmosfery nad szeroką powierzchnią kąpieli. [38. Vito 2001]

Zastosowanie

Ze względu na swój wsadowy charakter, piec obrotowy zapewnia elastyczność równą bezrdzeniowemu piecowi indukcyjnemu w odlewni żeliwa. Piece obrotowe są używane do topienia od 2 do 20 ton, z wydajnością produkcyjną od 1 do 6 ton na godzinę. [38. Vito 2001]

Zalety

- Możliwość szybkiej zmiany stopu.

[4] Wydajność cieplna jest obliczana przy założeniu, że energia do produkcji tlenu nie jest brana pod uwagę. W przypadku produkcji tlenu wydajność będzie niższa o 10-15%.

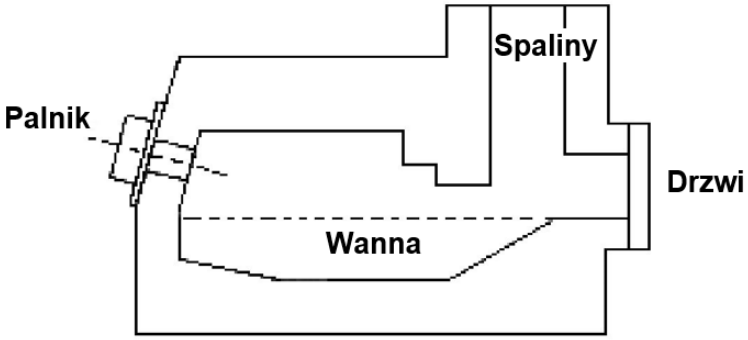
- Topienie bez zanieczyszczeń, np. bez gromadzenia się siarki.
- Niewielki system odpylania dzięki niskiej prędkości przepływu gazu spalinowego.
- Łatwość konserwacji.

Wady

- Łatwe wypalanie C, Si, Mn.
- Zużycie gazu i tlenu może być wysokie, jeśli urządzenie nie jest używane w sposób ciągły.
- Zużycie energii wzrasta, gdy do wsadu dodawana jest większa ilość stali. [38. Vito 2001], (zgłoszenie CAEF w [237. TWG 2023])

2.2.4.6 Piec trzonowy/płomienny

Piec trzonowy jest również znany jako piec płomienny lub piec do wylewania. Jest to piec statyczny z bezpośrednim ogrzewaniem Gorące powietrze i gazy spalinowe z palników olejowych lub gazowych są wdmuchiwane nad metal (topienie) i wydmuchiwane z pieca. Piec trzonowy znajduje swoje główne zastosowanie w topieniu metali nieżelaznych. Typową konstrukcję pieca przedstawiono na Rysunku 2.21.



Źródło: [74, Brown, J. R. 1999].

Rysunek 2.21: Przekrój pieca trzonowego

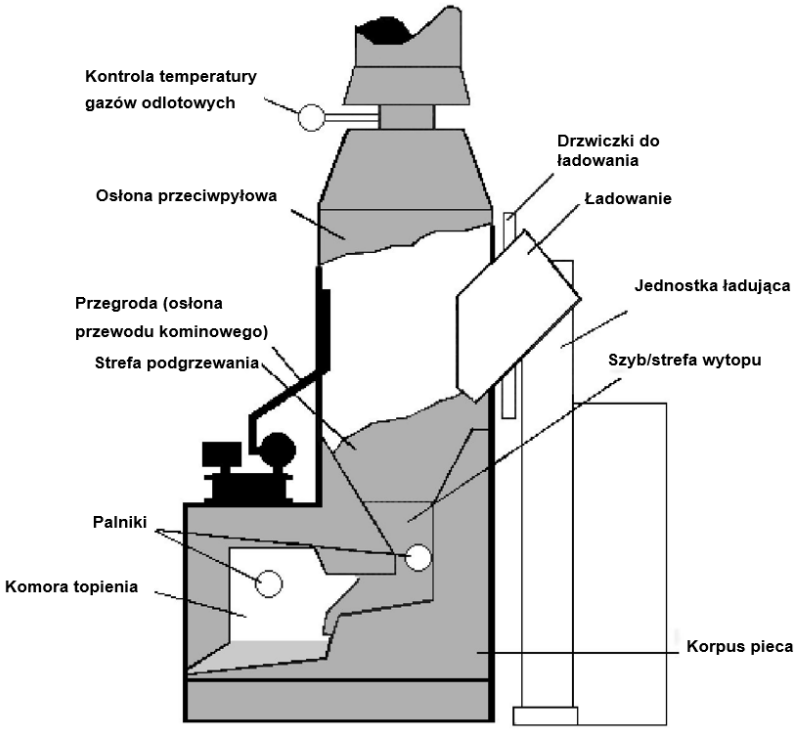
Jest to wyłożony materiałem ogniotrwałym, prostokątny lub okrągły piec z wanną, opalany palnikami ściennymi lub dachowymi. Stosowane są różne rodzaje paliw, a dodatkowo można użyć palników tlenowo-paliwowych w celu zwiększenia prędkości topienia. Zazwyczaj przeprowadza się ekstrakcję i oczyszczanie gazów spalinowych, w związku z czym piece są częściowo uszczelnione. Okapy i zakryte komory odciągowe zapewniają odsysanie podczas spustu i załadunku. Piec może być skonstruowany w wielu konfiguracjach, w zależności od konkretnego metalu i zastosowania. Odmiany obejmują pochyłe paleniska i boczne studnie do konkretnych celów topienia, tuyères i lance do dodawania gazów. Piece mogą być czasami przechylane w celu wylewania lub wydmuchiwania metalu.
Wydajność topienia w piecu trzonowym zwykle nie jest wysoka z powodu słabego transferu ciepła z palnika. Została w praktyce poprawiona poprzez zastosowanie wzbogacania tlenem lub poprzez zastosowanie kombinacji gazu i paliwa stałego w celu wydłużenia długości płomienia. Piece te są używane do topienia wsadowego, rafinacji i podtrzymywania (temperatury) różnych metali. Piece typu trzonowego są używane głównie do topienia dużych ilości metali nieżelaznych [1. COM 2017].
Duże piece trzonowe zapewniają szybkie topienie i mogą obsługiwać nieporęczne materiały wsadowe, ale bezpośredni kontakt płomienia z wsadem może prowadzić do dużych strat metalu, gromadzenia się gazów i znacznego zanieczyszczenia tlenkami. Kontrola temperatury również może być trudna. Trudności te można w pewnym stopniu przezwyciężyć dzięki stosowaniu dobrych praktyk. Na przykład, kożuch żużlowy można usunąć stosując odpowiednią praktykę topienia, a zastosowanie nowoczesnych palników zmniejsza problemy z kontrolą temperatury. Po spuście, filtrowaniu i odgazowaniu można zastosować dalszą obróbkę, gdy metal jest przenoszony do pieców podtrzymujących.
[18. US EPA 1998], [24. ETSU 1994], [1. COM 2017], [74. Brown, J. R. 1999].

2.2.4.7 Piec szybowy

Opis

Jest to piec pionowy z paleniskiem zbiorczym (wewnątrz lub na zewnątrz pieca), systemem palników w dolnej części oraz systemem załadunku surowca w górnej części. Palniki są zwykle opalane gazem. Metal

jest podawany do górnej części pieca a topienie odbywa się w miarę przechodzenia w dół szybu. Czasami dla każdego palnika zapewniona jest niezależna kontrola stosunku paliwa do powietrza. Ciągły monitoring CO lub wodoru jest również zapewniony dla każdego rzędu palników i monitoruje gazy spalinowe z każdego palnika po kolei. Gazy spalinowe są zazwyczaj odsysane i czasami oczyszczane. Dopalacz jest czasami używany do rozkładu wszelkich tlenków węgla, oleju, LZO lub dioksyn, które są wytwarzane. Dodanie tlenu powyżej strefy topienia zostało wykorzystane do zapewnienia dopalania na górnych poziomach szybów lub pieców hutniczych.
Piec jest używany do topienia czystego metalu, ale czasami może być używany metal zanieczyszczony materiałem organicznym. Jeśli do pieca wprowadzany jest zaolejony metal, przechodzi on przez gradient temperatury istniejący między obszarem ładowania a palnikami. Niska temperatura może wytworzyć mgiełkę częściowo spalonego materiału organicznego. Piec szybowy jest również używany do wstępnego podgrzewania materiału wsadowego przed wytapianiem. Typowy schemat takiego pieca przedstawiono na Rysunku 2.22.
Ten typ pieca jest używany wyłącznie do topienia metali nieżelaznych, głównie aluminium. Ze względu na złożoną konstrukcję i trudną wymianę materiału ogniotrwałego, piec ten jest używany tylko do metali o niskiej temperaturze topienia. W związku z tym wymagania dotyczące konserwacji wykładziny pieca są raczej ograniczone. Typowa żywotność materiałów ogniotrwałych wynosi od 4 do 8 lat.
Nowoczesne typy pieców z komputerowo sterowanymi systemami palników osiągają zużycie energii na poziomie 540 kWh/tonę stopionego aluminium (przy 720ºC). Teoretyczne zapotrzebowanie na energię wynosi około 340 kWh/tonę. Wydajność cieplna wynosi zatem 63%.
Piec szybowy to piec do topienia ciągłego o dużej wydajności, od 0,5 tony do 7 ton na godzinę i pojemności do 20 ton. Zmiana stopu jest możliwa, ale może być trudniejsza, gdy pojemność pieca jest duża. [24. ETSU 1994], [1. COM 2017].



Źródło: [24. ETSU 1994]

Rysunek 2.22: Piec szybowy

Zalety

- Dzięki długiemu podgrzewaniu, wsad jest bardzo dobrze wysuszony przed rozpoczęciem topienia. Sprawia to, że piec doskonale nadaje się do aluminium, ponieważ zapobiega ryzyku wybuchu podczas ładowania cieczy do stopionego aluminium a także poprawia jakość stopu.
- Dzięki wstępnemu podgrzewaniu wsadu osiągany jest wewnętrzny odzysk ciepła, co prowadzi do wysokiej wydajności cieplnej.
- Dzięki wstępnemu podgrzewaniu wsadu uzyskuje się krótki czas przebywania metalu w strefie topienia, co znacznie zmniejsza straty metalu.
- Dzięki ciągłemu procesowi topienia, stop jest zawsze dostępny w wymaganej temperaturze.

Wady

- W zależności od zdolności podtrzymania (tj. wysokiej zdolności podtrzymania), zmiana stopu może być trudna.
- Istnieją możliwe ograniczenia dotyczące rozmiaru i wagi materiałów wsadowych.

2.2.4.8 Piec tyglowy

Opis

Są to proste tygle, ogrzewane zewnętrznie gazami spalinowymi ze spalania gazu lub oleju, energią elektryczną lub, w przypadku niskich temperatur, płynem termicznym. Unika się kontaktu z bezpośrednim płomieniem, aby zapobiec powstawaniu lokalnych gorących punktów u podstawy tygla i aby można było utrzymać dobrą kontrolę temperatury topienia, zapobiegając utlenianiu i parowaniu metalu.
Ten typ pieca jest używany wyłącznie do topienia metali nieżelaznych. Ze względu na pośrednie ogrzewanie (przez ścianę tygla) nie może dochodzić do wypalania ani pobierania gazu. Piece tyglowe są używane do produkcji niewielkich ilości stopionego metalu (mniej niż 500 kg na partię) i przy niskich zdolnościach produkcyjnych. Przykładowe piece przedstawiono na Rysunku 2.23.



Źródło: [132. HUT 2003]

Rysunek 2.23: Piec tyglowy

Tygiel jest przechylany ręcznie, za pomocą dźwigu lub automatycznie w celu zalewania formy stopionym metalem. W przypadku materiałów na bazie miedzi stosuje się wyłącznie tygle grafitowe lub karborundowe (z węglika krzemu), natomiast aluminium można topić również w tyglach żeliwnych.
Tygle używane do przechowywania, transportu i obróbki metalu w odlewniach żelaza nazywane są kadziami. [38. Vito 2001], [41. Teknologisk 2000], [120. TWG 2003].

Praktyka stosowana podczas topienia

Zimny wsad jest wprowadzany do tygla, a ogrzewanie jest uruchamiane z pełną mocą w celu stopienia wsadu. W temperaturze od 50ºC do 100ºC poniżej temperatury topienia, zasilanie jest wyłączane, a ładunek jest dalej podgrzewany przez bezwładność cieplną tygla. Następnie temperatura jest wyrównywana za pomocą systemu sterowania. Po usunięciu żużla można przeprowadzić obróbkę metalu. Obejmuje ona usuwanie tlenu, odgazowanie, rafinację ziaren i regulację zawartości metali lotnych, takich jak cynk i magnez. Żużel jest następnie ponownie usuwany przed rozpoczęciem odlewania.
Oprócz regularnego odnawiania tygla, nie jest wymagana żadna konserwacja. Czas wymiany tygla zależy przede wszystkim od stopu, który ma być topiony. Wielokrotne zmiany stopu powodują szybsze zużycie tygla. Tygle SiC (z węglika krzemu), używane do stopów o niskiej temperaturze topienia, mają żywotność od 130 do 150 wsadów. W przypadku stopów o wysokiej temperaturze topnienia, okres użytkowania wynosi od 50 do 80 wsadów.
Wydajność cieplna wynosi 750-3 000 kWh na tonę aluminium, co oznacza wydajność na poziomie 15-30%. [15. Binninger, W. 1994], [38. Vito 2001], [41. Teknologisk 2000].

Zalety

- Prosta technologia.
- Niskie koszty utrzymania.
- Elastyczność w zakresie zmiany stopu.

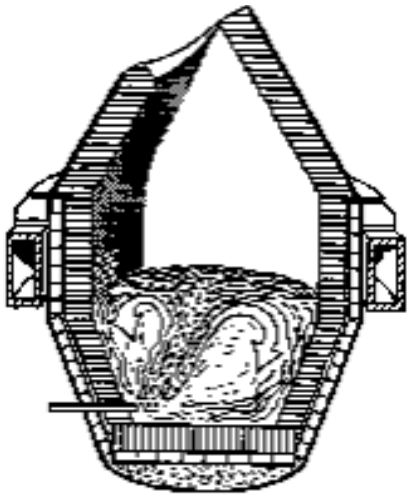
Wady

- Niska wydajność i zdolność produkcyjna.

[38. Vito 2001]

2.2.4.9 Konwertor argonowo-tlenowy (konwertor AOD) do rafinacji stali

Konwertor AOD (*argon oxygen decarburisation*) jest specjalnym zbiornikiem do rafinacji stali. Stopiony metal jest przenoszony bezpośrednio z pieca do topienia (zazwyczaj łukowego lub indukcyjnego) do konwertora. Jak pokazano na Rysunku 2.24, tlen (do usuwania węgla, krzemu) oraz argon (do mieszania) mogą być wtryskiwane do konwertora za pomocą dysz umieszczonych w jego dolnej części, w celu uszlachetnienia metalu. Konwertor jest wyposażony w mechanizm przechylania umożliwiający napełnianie i opróżnianie. Stal o precyzyjnym składzie chemicznym może być produkowana przy użyciu procesu odwęglania argonowo-tlenowego (AOD), ale wiąże się to z wysokimi kosztami. System ten, poza USA, nie jest powszechnie stosowany w odlewniach stali.



Źródło: [132. HUT 2003]

Rysunek 2.24: Konwertor AOD

Pierwsza faza procesu rafinacji polega na odwęgleniu poprzez wtrysk tlenu do konwertora. Jest to operacja rafinacji, która utrzymuje zawartość węgla w materiale wsadowym w określonym zakresie, zgodnie z wymaganiami. Odwęglanie jest inicjowane przez wprowadzenie tlenu do kąpieli metalowej. Powoduje to silne mieszanie, podczas którego spalany jest węgiel zawarty w stopionym materiale. W tym samym czasie „wrzenie" wypala krzem i wypłukuje wodór oraz azot z kąpieli metalowej. Wszystkie zanieczyszczenia (tlenki) zostają uwięzione w żużlu. Podczas topienia można dodać wapno, aby doprowadzić żużel do odpowiedniej zasadowości. Gdy węgiel osiągnie wymagane stężenie, wtrysk tlenu zostaje zatrzymany, a krzem i mangan są dodawane w celu zatrzymania reakcji wrzenia, szczególnie w produkcji stali nierdzewnych. Rozcieńczenie tlenu argonem lub azotem wspomaga utlenianie węgla, dając pierwszeństwo pierwiastkom metalicznym, takim jak żelazo, chrom itp. W związku z tym do metalu dodaje się Al lub Si i wapień, a argon jest wtryskiwany w celu usunięcia siarki. Ciągły wtrysk gazu powoduje gwałtowne mieszanie i intymne mieszanie żużla i metalu, co może obniżyć wartości siarki poniżej 0,005%. Zawartość gazu resztkowego w obrabianym metalu (wodór i azot) jest bardzo niska. Wszystkie zanieczyszczenia są zatrzymywane w żużlu i usuwane wraz z nim. Po dostosowaniu temperatury i stopu metal jest przenoszony do kadzi w celu zalewania.
[73. Brown, J. R. 2000], [14. CAEF 1997].

2.2.4.10 Konwertor próżniowo-tlenowy (VODC) do rafinacji stali

Konwertor VODC (*Vacuum Oxygen Decarburisation Converter*) działa w taki sposób, że stopiona stal znajduje się w konwertorze, który jest podłączony do pomp próżniowych, wyrzutników pary i źródła argonu. W celu uzyskania wyższego poziomu jakości podczas obróbki próżniowej stali nierdzewnej przeprowadzane są dwa różne procesy.
Najpierw stal jest odwęglana poprzez wprowadzenie tlenu do stopionego materiału. Jednocześnie z podstawy konwertora wtryskiwana jest pewna ilość argonu. Konwertor wykorzystuje pompy próżniowe do obniżenia ciśnienia cząstkowego tlenku węgla w takim stopniu, że można przeprowadzić skuteczne odwęglanie bez utleniania zbyt dużej ilości chromu. Ten pierwszy proces jest podobny do odwęglania AOD, ale potrzeba mniej argonu dzięki niższemu całkowitemu ciśnieniu gazu, a proces jest znacznie bardziej wydajny. Utleniony chrom jest ponownie redukowany do płynnej stali za pomocą aluminium.

Drugi proces obejmuje odgazowanie. Konwertor jest wprowadzany w stan głębokiej próżni (1-5 mbar) za

pomocą pompy z pierścieniem wodnym i wyrzutników pary. W celu utrzymania efektywnego ruchu stali kontynuowane jest lekkie przedmuchiwanie argonem. Przy bardzo niskim ciśnieniu zanieczyszczenia gazowe, takie jak wodór i azot, są skutecznie eliminowane. Jednocześnie całkowita zawartość tlenu i siarki jest drastycznie zmniejszana, co jest korzystne dla właściwości mechanicznych stali końcowej.
Stale niskostopowe są zwykle tylko odgazowywane.
Proces VODC zapewnia określone właściwości stali, których nie można uzyskać innymi metodami. Całkowita zawartość tlenu jest niższa niż typowa dla stali topionej łukiem elektrycznym i poddawanej obróbce AOD, ponieważ wysoki poziom wtrąceń tlenkowych jest usuwany ze stopu podczas procesu VODC, a większość rozpuszczonego tlenu jest następnie usuwana podczas fazy odgazowywania.
[100. TWG 2002]

2.2.4.11 Obróbka plastyczna stali

Aby zagwarantować dobrą jakość odlewu, staliwo wymaga dalszej obróbki w celu usunięcia zanieczyszczeń i możliwych przyczyn wad, tj.:

- *Odtlenianie*: Tlen rozpuszcza się w ciekłej stali w postaci FeO. Następnie, podczas krzepnięcia, tlen może łączyć się z C w stali, tworząc CO. Proces ten może zatem zmienić skład stali oraz generować porowatość. Konieczne jest zatem odtlenianie. Odtlenianie odbywa się za pomocą pierwiastka, który łatwo wiąże się z tlenem. Krzem, krzemek wapnia, tytan, cyrkon i aluminium są możliwymi odtleniaczami, przy czym aluminium jest najsilniejszym i najczęściej stosowanym. Aluminium jest dodawane w postaci pręta lub drutu (zob. Rysunek 2.25). Obróbka jest zwykle przeprowadzana w piecu i w kadzi. Wytworzony tlenek glinu jest nierozpuszczalny w stopie i miesza się z żużlem.



Źródło: [132. HUT 2003]

Rysunek 2.25: Odtlenianie przy użyciu drutu aluminiowego

- *Tworzenie się siarczków*: Wraz ze wzrostem wytrzymałości stali na rozciąganie wzrasta szkodliwy wpływ siarki. Siarka rozpuszcza się w ciekłej stali, a po zestaleniu wytrąca jako MnS. Osady mogą przybierać różne formy i powodować różne skutki. Postać siarczków jest związana z pozostałą zawartością aluminium po odtlenianiu. Pozostała ilość Al powinna umożliwić tworzenie się siarczków typu III.
[38. Vito 2001], [73. Brown, J. R. 2000].

2.2.4.12 Obróbka żeliwa

2.2.4.12.1 Stopowanie (wytwarzanie stopów)

Podczas topienia niektóre pierwiastki w stopie utleniają się i są tracone do żużla. Pod koniec okresu topienia należy przeprowadzić korektę składu, aby zagwarantować odpowiednią jakość końcową. W przypadku żeliwa niestopowego należy kontrolować zawartość podstawowych dodatków stopowych (C, Si, Mn), a ilość pierwiastków śladowych, takich jak S i P, musi zostać zminimalizowana. Do określonych celów stosuje się określone pierwiastki stopowe, zwykle poprzez dodanie żelazostopów. Generalnie są one dodawane w postaci bloków lub granulek. Dodatki są wprowadzane do ciekłego żelaza, ponieważ zmniejsza to ryzyko strat spowodowanych utlenianiem.
Dodawanie odbywa się w piecu, w strumieniu stopionego metalu podczas wylewania lub poprzez umieszczenie dodatków w kadzi transportowej przed wlaniem do niej stopionego metalu.
[38. Vito 2001]. (zgłoszenie CAEF w [237. TWG 2023])

2.2.4.12.2 Homogenizacja

Dodanie pierwiastków stopowych może wprowadzić zanieczyszczenia. Po dodaniu pierwiastków stopowych do stopionego żeliwa konieczna jest homogenizacja w celu równomiernego rozprowadzenia dodatków stopowych. Można to zrobić w piecu do topienia lub podtrzymywania. Podczas wykonywania tej czynności w piecu indukcyjnym, ze względu na mieszanie, mogą gromadzić się tlenki.
[38. Vito 2001]. (zgłoszenie CAEF w [237. TWG 2023])

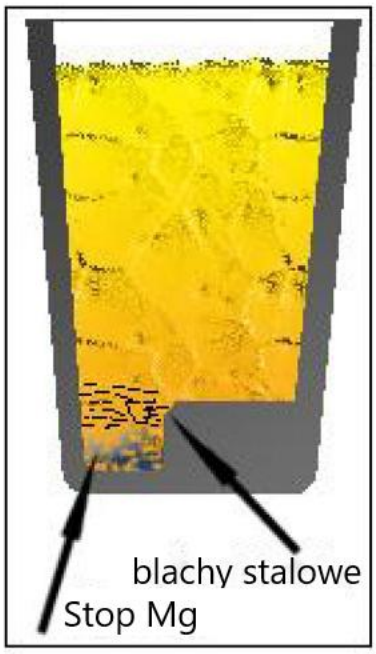
2.2.4.12.3 Odsiarczanie i ponowne nawęglanie żelaza stopionego w żeliwiaku

Siarka może pochodzić z koksu antracytowego. Ponieważ zwykle osłabia ona właściwości żelaza, jej zawartość jest obniżana przez odsiarczanie.
Podczas produkcji żeliwa sferoidalnego zawartość siarki musi być utrzymywana na szczególnie niskim poziomie, aby uniknąć zużycia magnezu (który jest wykorzystywany do sferoidyzacji).
Odsiarczanie uzyskuje się poprzez reakcję żużla, np. z sodą. (Zgłoszenie CAEF w [237. TWG 2023])

2.2.4.12.4 Sferoidyzacja stopu żelaza/stali

Podczas produkcji żeliwa sferoidalnego, wolny grafit w strukturze powinien mieć głównie okrągły kształt w celu dostosowania jego właściwości mechanicznych. Odbywa się to poprzez obróbkę Mg różnymi dodatkami stopowymi - od czystego magnezu po stopy zawierające magnez. Stosowanych jest kilka metod, z których każda powoduje gwałtowną reakcję i wytwarza różne ilości pyłu tlenku magnezu.
Istnieje kilka technik, które można zastosować w celu wprowadzenia Mg do ciekłego metalu:

- *Technika zalewania*: Jest to najprostsza metoda, w której ciekły metal jest zalewany stopem Mg na dnie kadzi.
- *Metoda „kanapkowa”* (warstwowa): W tej metodzie stop Mg jest umieszczany na dnie specjalnie zaprojektowanej kadzi i pokrywany blachą stalową lub FeSi, jak to pokazano na Rysunku 2.26. Metal jest wlewany do kadzi, a po stopieniu pokrywy zachodzi reakcja Mg.
- *Przykrycie kadzi*: Jest to ulepszona technika „kanapkowa”, w której kadź jest przykryta pokrywą po umieszczeniu stopu Mg na jej dnie. Metal jest wlewany do wklęsłej pokrywy i przepływa przez otwór do kadzi, gdzie zachodzi reakcja.
- *Metoda zanurzeniowa* : Za pomocą dzwonu wgłębnego stop Mg jest zanurzany w ciekłym metalu aż do zakończenia reakcji. Podczas obróbki pokrywa kadzi jest zamknięta, aby zapobiec emisji oparów MgO.
- *Konwertor G Fischera*: Proces ten wykorzystuje specjalną kadź, która jest szczelnie zamykana pokrywą po wlaniu metalu do konwertora w pozycji poziomej. Konwertor jest następnie przechylany do pozycji pionowej, umożliwiając stopowi Mg reakcję z metalem. Po zakończeniu reakcji konwertor jest obracany z powrotem do pozycji poziomej a po otwarciu pokrywy następuje spust stopu.
- *Wtrysk drutu rdzeniowego* : W tym przypadku bardzo drobno sproszkowany stop Mg jest walcowany w blasze stalowej, tworząc wypełniony drut. Drut ten jest następnie wtryskiwany za pomocą kontrolowanego mechanizmu do kadzi o smukłym kształcie, gdzie Mg jest uwalniany.
- *Obróbka przepływowa*: W tym przypadku metal jest wlewany do specjalnie zaprojektowanej komory reakcji, w której wcześniej umieszczono stop Mg.
- *Ductilator (obróbka wirowa)*: W tej metodzie metal jest zalewany do komory reakcji, w której wymuszany jest przepływ tworzący wir. Stop Mg jest wtryskiwany do wiru za pomocą obojętnego gazu nośnego. Obróbka może być wykonywana na dużych ilościach metalu lub podczas napełniania formy.
- *Proces inmold* : W tym procesie stop Mg, ukształtowany jako tabletka, jest umieszczany bezpośrednio we wnęce formy (układ wlewowy). Reakcja zachodzi podczas napełniania formy, zapewniając wysoką wydajność.



Źródło: [132. HUT 2003]

Rysunek 2.26: Kanapkowa metoda sferoidyzacji

Po obróbce metal musi zostać w określonym czasie wlany do formy, ponieważ efekt Mg ma tendencję do szybkiego zanikania, co wymaga ponownej obróbki w przypadku przekroczenia określonego limitu czasu (10-15 minut).
Wydajność, ocena jakościowa produkcji gazu spalinowego oraz złożoność różnych metod sferoidyzacji zostały porównane w Tabeli 2.14.
Wybór procesu obróbki Mg zależy od wyposażenia odlewni, dostosowanego do procesu odlewniczego, wielkości części i wielkości partii (zgłoszenie CAEF w [237. TWG 2023]).

Tabela 2.14: Porównanie różnych metod sferoidyzacji

	Kanapkowa	**Przykrycie kadzi**	**Zanurzeniowa**	**Przepływowa**	**Wtrysk drutu**	**Inmold**	**Ductilator**
Sprawność absorpcji Mg (%)	35 – 50	45 – 60	40 – 60	40 – 50	20 – 50	70 – 90	60 – 75
Produkcja gazów spalinowych	Wysoka	Niska	Niska	Niska	Niska	Brak	Wysoka
Komentarz	Łatwa operacja	Zoptymalizowana metoda „kanapkowa”, ale więcej czynności konserwacyjnych	Wymagająca konserwacja	Wymagająca konserwacja	Kosztowna instalacja	Inna konstrukcja systemu nalewania	Wymagająca konserwacja

Źródło: [110. Zalensas, D. L. 1993], [120. TWG 2003]

2.2.4.12.5 Inokulacja stopu

Stopione żeliwo wymaga obróbki, która wspomaga rozwój ziaren eutektycznych w stopie, minimalizując przechłodzenie, a tym samym tworzenie się twardych węglików. Proces ten nazywany jest inokulacją. Powoduje powstanie równomiernej wielkości ziaren eutektycznych i wolnego grafitu, czyli tak zwanego „szarego” krzepnięcia. Inokulacja jest przeprowadzana na późnym etapie topienia (zgłoszenie CAEF w [237. TWG 2023]).
Również w tym przypadku można zastosować kilka technik inokulacji stopionego metalu:

- *Wstrzyknięcie podczas spustu*: Tutaj inokulant jest wstrzykiwany bezpośrednio do strumienia metalu podczas jego spuszczania.

- *Wtrysk podczas nalewania*: W tym przypadku inokulant jest wtryskiwany bezpośrednio do strumienia metalu podczas zalewania formy (zob. Rysunek 2.27).
- *Wtrysk wypełnionego drutu do stopionego materiału* (zob. Sekcja 2.2.4.12.4).
- *Proces inmold* (zob. Sekcja 2.2.4.12.4).



Źródło: [132. HUT 2003]

Rysunek 2.27: Inokulacja podczas zalewania

2.2.4.13 Obróbka metali nieżelaznych

Istnieją trzy główne operacje obróbki (lub rafinacji) metali przeprowadzane w procesach topienia aluminium. Są to:

- *Odgazowanie*: Stopione aluminium rozpuszcza wodór, który jest następnie wydalany podczas chłodzenia, co może prowadzić do porowatości gotowego odlewu. Wodór musi więc zostać usunięty. Odbywa się to poprzez przedmuchanie stopionego materiału gazem obojętnym. Dobre metody odgazowywania dostarczają pęcherzyków o długim czasie przebywania i dużej powierzchni. Odgazowywanie aluminium jest najczęściej wykonywane przy użyciu stacji wirnikowej. Obróbka ta wykorzystuje szybkoobrotowy mieszalnik i wtrysk azotu do stopionego materiału. Odgazowanie jest często połączone z czyszczeniem stopionego materiału. Czyszczenie przeprowadza się w celu usunięcia zasad lub metali ziem alkalicznych, takich jak Ca. Czyszczenie można przeprowadzić za pomocą gazu Cl_2. Stosowanie HCE do tego celu zostało zakazane w UE (*Dyrektywa 97/16/WE*). Do jednoczesnego odgazowywania i czyszczenia zazwyczaj stosuje się mieszaninę azotu z 3% Cl_2. Alternatywne metody odgazowywania wykorzystują tabletki, lancę z porowatą głowicą lub porowaty kamień w piecu podtrzymującym.
- *Modyfikacja* i *uszlachetnianie ziarna*: W przypadku stopów aluminium polega to zazwyczaj na dodawaniu niewielkich ilości metalu do stopu. Dodatki te kontrolują wielkość ziarna i modyfikują mikrostrukturę krzepnącego metalu, a tym samym poprawiają właściwości mechaniczne odlewu. Do modyfikacji stosuje się sód lub stront, podczas gdy rozdrobnienie ziarna uzyskuje się za pomocą tytanu, borku tytanu, cyrkonu lub węgla. Obróbka ta jest najczęściej wykonywana w połączeniu z odgazowaniem w dedykowanej stacji obróbki metalu.
- *Topnikowanie*: Zwykle wiąże się z dodaniem do stopionego metalu stałych topników na bazie fluorków w celu usunięcia stałych zanieczyszczeń.
- *Filtrowanie*: W przypadku stopów aluminium i w celu utrzymania czystości metalu przed procesem krzepnięcia, często stosowanym procesem jest filtracja metalu w postaci ciekłej przy użyciu ceramicznych filtrów piankowych o różnej porowatości. Ceramiczne filtry piankowe zatrzymują tlenki i cząstki niemetalowe powstające w piecach podczas odlewania, a także żużel powstający w procesie odgazowywania. [227. ES 2021]

[65. UK Environment Agency 2002], [74. Brown, J. R. 1999], [77. Wenk, L. 1995], [227. ES 2021]

Istnieją cztery główne operacje obróbki (lub rafinacji) metalu przeprowadzane w procesach topienia **magnezu**. Są to:

- *Modyfikacja ziarna*: Modyfikatory ziarna w obróbce stopów magnezu mają zwykle postać cyrkonu lub wcześniej heksachloroetanu (HCE). Stosowanie HCE do tego celu zostało zakazane w UE (*Dyrektywa 97/16/WE*).
- *Topnikowanie*: Wiąże się to zazwyczaj z dodaniem do stopu topników zasadowych, ziem alkalicznych, chlorkowych i fluorkowych w celu usunięcia zanieczyszczeń stałych.
- *Odgazowanie*: W przypadku procesów z magnezem, w celu odgazowania i usunięcia tlenków można zastosować przedmuchiwanie azotem lub argonem. Odgazowanie stopów magnezu może być również

wykonane za pomocą mieszaniny argonu i chloru, gdy argon jest używany jako gaz nośny.

- *Kontrola utleniania* : Obecność berylu w stopionym ziarnie modyfikuje i zatrzymuje utlenianie. Gotowe stopy magnezu mogą zawierać wagowo do 15 ppm berylu. Do stopionego stopu magnezu można dodać stop aluminium/beryl, zawierający do 5% berylu, aby nadać mu odpowiednie obciążenie berylem. Kontrolę utleniania można również osiągnąć poprzez pokrycie powierzchni metalu gazem obojętnym, takim jak SO_2 lub mieszaniną azotu i R134a lub azotu i CO_2 i/lub SO_2 lub siarki i argonu. Czasami kontrola utleniania może być osiągnięta poprzez posypanie powierzchni stopionego metalu siarką w proszku.

Istnieją trzy główne operacje obróbki metalu (lub rafinacji) przeprowadzane w procesach topienia **miedzi**. Stopiona miedź rozpuszcza tlen i wodór, które mogą rekombinować tworząc parę wodną. To z kolei powoduje porowatość odlewu. Odgazowanie i odtlenianie są zatem stosowane w celu usunięcia odpowiednio wodoru oraz tlenu. Stosuje się następujące operacje obróbki:

- *Odtlenianie*: Odtlenianie odbywa się poprzez dodanie odczynnika, który wiąże tlen i tworzy płynny żużel. Należy zachować ostrożność, aby produkty odtleniania nie zostały uwięzione w zestalonym odlewie, a pozostałości odtleniacza nie wpłynęły negatywnie na właściwości stopu. Fosfor jest najczęściej stosowanym odczynnikiem odtleniającym. Alternatywami są magnez, mangan, wapń, krzem i bor.
- *Odgazowanie*: Wodór jest usuwany ze stopionego materiału poprzez przedmuchiwanie go gazem obojętnym. Można stosować zarówno argon, jak i azot. Technika ta jest porównywalna do odgazowywania aluminium.
- *Topnikowanie*: Aluminium w stopach może się utleniać i generować powłoki tlenkowe. Może to powodować problemy podczas odlewania. W stopach innych niż aluminium, śladowe ilości aluminium mogą powodować wady. Dlatego należy je usunąć za pomocą topników. Topniki są również stosowane do pokrywania powierzchni, aby zapobiec utlenianiu, utracie cynku i gromadzeniu się wodoru podczas topienia. Dla każdego rodzaju obróbki istnieją specjalne topniki.

[66. UK Environment Agency 2002], [81. Closset, B 2002], [134. CAEF 2020]

2.2.5 Produkcja form i rdzeni

Formowanie polega na wykonaniu formy, do której zostanie wlany stopiony metal.

Tak jak forma definiuje zewnętrzny kształt odlewu, tak rdzeń definiuje kształt wewnętrzny, a przynajmniej części, których nie można uzyskać bezpośrednio przez formowanie.

Formy można podzielić na dwie duże rodziny:

- **Formy tracone w procesie** (formy jednorazowego użytku): Są one wykonywane specjalnie dla każdego odlewu i niszczone po ich zalaniu. Formy te są zazwyczaj wykonane z piasku i są wiązane chemicznie, gliną lub nawet niezwiązane. Odlewanie precyzyjne może również należeć do tej rodziny.
- **Formy stałe** (formy wielokrotnego użytku): Są używane do odlewania grawitacyjnego i niskociśnieniowego, odlewania wysokociśnieniowego i odlewania odśrodkowego. Najczęściej są metalowe.

Rdzenie używane do odlewów żelaznych są praktycznie zawsze wykonane z piasku. Wybór stosowanej technologii spoiwa zależy od takich czynników, jak wielkość odlewu, tempo produkcji, wlewany metal, właściwości wytrząsania itp.

W przypadku formowania z piasku, forma może być wytwarzana przez ręczne lub mechaniczne ubijanie, takie jak wstrząsanie, ściskanie, uderzanie powietrzem, wibracje itp. Gdy forma ma wystarczającą wytrzymałość, jest uwalniana z modelu, który może być następnie wykorzystany do produkcji nowej formy.

Generalnie, rdzenie są produkowane tymi samymi technikami co formy, ale małe lub średnie rdzenie są często wdmuchiwane lub wstrzeliwane do drewnianych, plastikowych lub metalowych rdzennic.

W przypadku odlewania metali nieżelaznych, około 30% stopów miedzi jest odlewanych w formach piaskowych. Tylko około 10% lekkich metali nieżelaznych jest odlewanych w formach jednorazowych.

Produkcja szablonów i matryc jest zazwyczaj wykonywana przez wyspecjalizowanych dostawców zewnętrznych. Działania te występują w sektorach obróbki metali i tworzyw sztucznych.

[2. Hoffmeister i in. 1997], [14. CAEF 1997], [38 Vito 2001].

2.2.5.1 Techniki formowania stosowane w różnych typach odlewni

Tabela 2.15 zawiera przegląd różnych metod formowania, które mogą być stosowane (np. formy tracone lub formy stałe) w różnych typach odlewni.

Tabela 2.15: Metody formowania stosowane w różnych typach odlewni

	Formy tracone w procesie	Formy stałe

	Metody formowania				Technika odlewania				
	Formowanie z zielonego piasku	Piasek muszlowy	Fenol/Furan	System fenolowo-uretanowy PEP-SET	Odlewanie niskociśnieniowe	Odlewanie ciśnieniowe (na gorąco)	Odlewanie ciśnieniowe (na zimno)	Odlewanie odśrodkowe	Odlewanie ciągłe
Żeliwo									
Żeliwo szare	X	X	X		O	X		X	
Żeliwo sferoidalne	X	X	X	X		X		X	
Żeliwo ciągliwe	X	O	X	O					
Żeliwo białe	X	X	X						
Stal									
Niestopowa	X	X	X	X					X
Stal niskostopowa	X	X	X	X					X
Wysokostopowa stal manganowa	X	X	X	X	X				
Nierdzewna i odporna na wysoką temperaturę	X	X	X	X	O	X			
Metale ciężkie									
Mosiądz Brąz	X	X	X	X	X				
Miedź	X	X	X	X					
Stopy cynku	X	X	X	X	X	X	X	X	
					O	X	X		
Stopy lekkie									
Stopy aluminium	X	X	X	X	X	X	X		
Stopy magnezu	X	O	X	X	X	X			
Tytan	O	O	X	X	O				

X: Metoda może być używana
O: Metoda ta jest możliwa, ale nie jest często stosowana
Źródło: [41. Teknologisk 2000]

2.2.5.2 Materiały formierskie

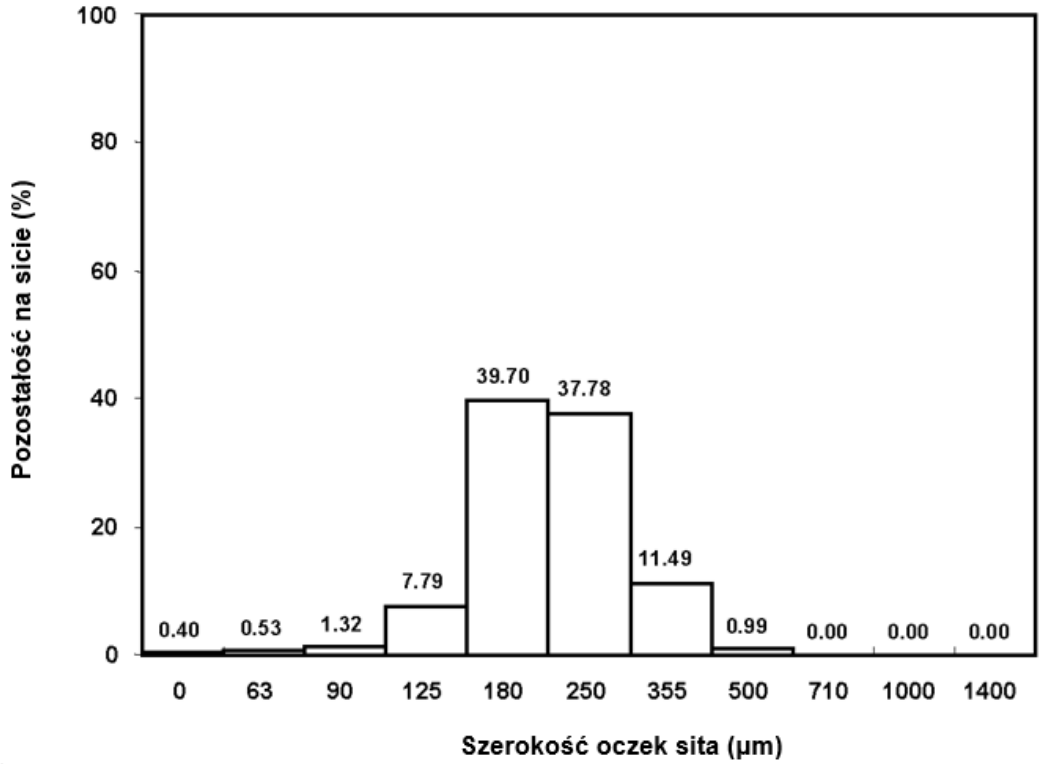
2.2.5.2.1 Piaski formierskie

Niezależnie od rodzaju zastosowanego spoiwa, właściwości fizyczne i chemiczne piasków formierskich używanych do produkcji form lub rdzeni wpływają na ich charakterystykę i zachowanie podczas zalewania. Nie jest to zaskakujące, ponieważ materiały te tworzą od 95% do 99% produkowanych form i rdzeni.
Na cenę zakupu każdego rodzaju piasku składają się cztery główne elementy - wydobycie, przygotowanie, pakowanie i transport. Koszty transportu różnią się w zależności od regionu. Głównym czynnikiem wpływającym na cenę jest jednak rodzaj piasku. Średnia cena zakupu różnych rodzajów piasku jest bardzo zróżnicowana.
[29. ETSU 1995], [120. TWG 2003], [134. CAEF 2020]
Różne rodzaje piasków ogniotrwałych stosowanych w odlewniach opisano w poniższych sekcjach.

2.2.5.2.1.1 Piasek kwarcowy

Ten rodzaj piasku jest najczęściej stosowany, głównie ze względu na jego szeroką dostępność i stosunkowo niski koszt. Piasek kwarcowy składa się z minerału „kwarcu" (SiO_2), który jest mniej lub bardziej czysty i klarowny, w zależności od jego pochodzenia. Jego ciężar właściwy w stanie suchym waha się między 2,5 kg/dm^3 a 2,8 kg/dm^3. Gęstość objętościowa w stanie suchym (lub masa objętościowa w stanie luźnym) piasku kwarcowego wynosi od 1,4 kg/dm^3 do 1,6 kg/dm^3.
Rozszerzalność cieplna piasku kwarcowego generuje ruch formy podczas zalewania i chłodzenia. W związku z tym stosuje się specjalne dodatki, zwłaszcza podczas produkcji rdzeni, aby zapobiec błędom odlewniczym. Mogą to być miał drzewny, tlenek żelaza lub dodatki syntetyczne. Piasek zawierający skaleń ma niższą rozszerzalność cieplną niż czysty piasek kwarcowy i niższą temperaturę spiekania, ale jest

szeroko stosowany w celu zminimalizowania wad rozszerzalności w odlewach.
Piasek kwarcowy jest neutralny i kompatybilny ze wszystkimi spoiwami i zwykłymi stopami odlewniczymi. Ponadto, mieszanie piasku kwarcowego z piaskiem chromitowym jest stosunkowo powszechne.
Respirabilna frakcja cząstek stałych (RPM) kwarcu jest sklasyfikowana przez IARC jako rakotwórcza [128. IARC 1997]. Pył respirabilnej krzemionki krystalicznej (SiO_2) wytwarzany w procesie nie podlega klasyfikacji zgodnie z Rozporządzeniem (WE) nr 1272/2008. Z drugiej strony, praca wiążąca się z narażeniem na pył respirabilnej krzemionki krystalicznej wytwarzanej w procesie roboczym jest uwzględniona w Załączniku i do Dyrektywy 2004/37/WE i ustanowiono wartość graniczną dla pyłu respirabilnej krzemionki krystalicznej („frakcja respirabilna"). Jest to głównie kwestia zdrowia w miejscu pracy. W zbiorze danych SF dane dotyczące emisji SiO_2 zostały zgłoszone przez sześć zakładów (16 punktów emisji) ze stężeniami w zakresie od 0,02 mg/Nm^3 do 3,1 mg/Nm^3; łącznie 15 z 16 punktów emisji zgłosiło stężenia niższe niż 0,27 mg/Nm^3. [169. TWG 2021]
Zarówno w przypadku technologii formowania z wykorzystaniem zielonego piasku, jak i piasku rdzeniowego, bardzo ważna jest kontrola rozkładu wielkości ziaren. Należy również wziąć pod uwagę kształt ziaren: im bardziej okrągły kształt ziaren, tym lepsza jakość powierzchni, przepuszczalność gazów i zapobieganie wadom odlewniczym. Rysunek 2.28 przedstawia typowy rozkład wielkości ziaren piasku kwarcowego. Rozkład wielkości ziaren jest wykorzystywany do obliczania liczby AFS (*AFS: American Foundry Society*). Daje to ogólny stopień rozdrobnienia piasku. Im wyższa liczba AFS, tym drobniejszy piasek. Alternatywnym systemem klasyfikacji jest średnia liczba ziarnowa lub MK.
Drobniejszy gatunek piasku będzie miał więcej ziaren na gram, a tym samym większą powierzchnię. Wymaga to dodania większej ilości spoiwa, aby uzyskać taką samą wytrzymałość formy. Dlatego operatorzy starają się używać najgrubszego piasku, ale takiego, który nadal zapewnia dobre wykończenie powierzchni. Standardowe wartości AFS to 50-60. W przypadku bardzo gładkich powierzchni wymagany jest drobny piasek, zwykle o wartości AFS 90-110. Drobne piaski są również używane w niektórych przypadkach do zastępowania powłok form.
[38. Vito 2001], [100. TWG 2002], [120. TWG 2003], [134. CAEF 2020]



Źródło: [38. Vito 2001].

Rysunek 2.28: Typowy rozkład wielkości ziaren odlewniczego piasku kwarcowego

2.2.5.2.1.2 Piasek chromitowy

Chromit to ruda chromu o teoretycznym wzorze $FeO.Cr_2O_3$, która zawiera inne składniki, takie jak tlenki magnezu i aluminium. Aby mógł być stosowany w odlewniach, jego zawartość krzemu musi być niższa niż 2%, aby zapobiec spiekaniu w niskich temperaturach. Ma następujące właściwości:

- gęstość: 4,3 do 4,6, w porównaniu do 2,65 dla piasku kwarcowego;
- teoretyczna temperatura topnienia: 2 180 ºC, ale obecność zanieczyszczeń może obniżyć tę wartość do 1 800 ºC;
- dyfuzyjność cieplna: ponad 25% wyższa niż w przypadku piasku kwarcowego;
- rozszerzalność cieplna: regularna, bez punktu przejścia i niższa niż w przypadku piasku kwarcowego;
- pH: raczej zasadowe, od 7 do 10.

Piasek chromitowy jest bardziej ogniotrwały niż krzemionkowy. Jest bardziej stabilny termicznie i ma większą moc chłodzenia. Piasek chromitowy zapewnia lepsze wykończenie powierzchni dużych odlewów. W związku z tym jest stosowany do produkcji dużych odlewów i w obszarach formy, gdzie wymagane jest chłodzenie.
[14. CAEF 1997]

2.2.5.2.1.3 Piasek cyrkonowy

Cyrkon to krzemian cyrkonu, $ZrSiO_4$. Cyrkon jest najbardziej rozpowszechnioną rudą cyrkonu. Ma następujące właściwości:
- gęstość: 4,4 do 4,7, w porównaniu do 2,65 dla piasku kwarcowego;
- temperatura topnienia: powyżej 2 000 ºC;
- dyfuzyjność cieplna: ponad 30% wyższa niż w przypadku piasku kwarcowego;
- rozszerzalność cieplna: regularna, bez punktu przejścia i niższa niż w przypadku piasku kwarcowego.

Ogólna charakterystyka piasku cyrkonowego jest podobna do chromitu, ale piasek cyrkonowy zapewnia lepsze wykończenie, gdy używany jest drobniejszy gatunek. Te właściwości fizyczne i termiczne pozwalają na jego wykorzystanie do formowania lub produkcji rdzeni dla trudnych przypadków, pomimo jego bardzo wysokiej ceny.
[14. CAEF 1997], [29. ETSU 1995]

2.2.5.2.1.4 Piasek oliwinowy

Piaski oliwinowe to grupa minerałów obejmująca forsteryt, fajalit i inne. Mają następujące właściwości:
- temperatura topnienia: forsteryt: 1 890 ºC, fajalit: 1 205 ºC;
- gęstość: 3.2 do 3.6;
- pH: około 9.

Zasadowe pH sprawia, że ten rodzaj piasku nie nadaje się do stosowania z katalizowanymi kwasem systemami wiążącymi (np. kwas furanowy).
Piasek oliwinowy powstaje w wyniku kruszenia naturalnych skał, co tłumaczy jego zróżnicowane właściwości. Jest zwykle używany do formowania i produkcji rdzeni w odlewnictwie stali manganowej. Obecność manganu wyklucza obecność krzemu, ponieważ te dwa składniki reagują, dając bardzo topliwy związek.
[14. CAEF 1997], [108. Martínez de Morentin Ronda, J. 2002]
Ponieważ jest to produkt kruszony, piasek oliwinowy wymaga więcej spoiwa niż piasek kwarcowy. W Szwecji piasek oliwinowy jest powszechnie stosowany, ponieważ nie generuje znacznych ilości pyłu krzemionki krystalicznej, który może powodować problemy z krzemicą (pylicą płuc). Jednak w przypadku systemów wiążących kwasy furanowe piasek oliwinowy nie może być stosowany.

2.2.5.2.2 Spoiwa i inne substancje chemiczne

2.2.5.2.2.1 Bentonit

Bentonit to minerał ilasty (montmorylonit, który jest krzemianem arkuszowym). Ziarna mają strukturę płatkową. Jego skład różni się w zależności od różnych związanych jonów metali alkalicznych. Po dodaniu wody struktura gliny pęcznieje z powodu adsorpcji cząsteczek wody. Glina staje się wtedy urabialna i może być rozprowadzana celem pokrycia ziaren piasku podczas mieszania.
Naturalne bentonity wapniowe nie pęcznieją ani nie żelują po zmieszaniu z wodą. Obecnie są rzadko używane, tylko w przypadku bardzo specjalnych odlewów. Alternatywnie, materiały te mogą być „aktywowane" przez obróbkę sodą kalcynowaną w celu uzyskania „bentonitów aktywowanych sodą". Są one szeroko stosowane w odlewniach żelaza w całej Europie, a ich właściwości są zbliżone do naturalnych bentonitów sodowych.

Naturalne bentonity sodowe znacznie pęcznieją po zmieszaniu z wodą. Głównymi cechami zielonego piasku są jego wysoka wytrzymałość w stanie suchym, dobra tolerancja na zmiany zawartości wody, wysoka odporność na wypalanie oraz zwiększona trwałość w wysokich temperaturach. Ponieważ są one importowane z USA, gdzie są w powszechnym użyciu, ich cena zazwyczaj ogranicza ich zastosowanie do odlewów staliwa wysokiej wartości lub w mieszankach z aktywowanymi bentonitami wapniowymi.
Wlewanie stopionego metalu do formy z zielonego piasku powoduje znaczne nagrzewanie się piasku formierskiego. Ciepło to usuwa wilgoć z piasku i niszczy strukturę związaną z gliną. Ziarna zostają „wypalone" i nie mogą być już aktywowane. Jeśli podczas wylewania i chłodzenia bentonit pozostaje poniżej temperatury dezaktywacji, struktura lamelarna zostaje zachowana, jak również jego zdolność do pęcznienia i zwiększania spójności. Temperatura dezaktywacji różni się w zależności od rodzaju bentonitu. [14. CAEF 1997], [30. ETSU 1995], [100. TWG 2002], [120. TWG 2003]

2.2.5.2.2.2 Żywice

W ciągu ostatnich kilku dekad opracowano szereg spoiw chemicznych. Są to systemy jedno- lub wieloskładnikowe, które miesza się z piaskiem odlewniczym, aż wszystkie ziarna zostaną pokryte cienką warstwą. Po wymieszaniu rozpoczyna się reakcja utwardzania, wiążąca ziarna piasku i zwiększająca wytrzymałość formy. Żywice można sklasyfikować według metody utwardzania:

- żywice utwardzane na zimno (zwane również żywicami bez spiekania);
- żywice utwardzane gazem;
- żywice utwardzane na gorąco.

Różne rodzaje żywic zostaną omówione w Sekcji 2.2.5.7. W Tabeli 2.16, Tabeli 2.17 oraz Tabeli 2.18, przedstawiono przegląd możliwości zastosowania i rozmieszczenia różnych systemów piaskowych.

Tabela 2.16: Przegląd różnych rodzajów żywic oraz ich zastosowania

Utwardzanie	Rodzaj żywicy	Produktywność formy	Produktywność rdzenia	Temperatura utwardzania	Czas utwardzania (*)	Rodzaj metalu
Na zimno	Żywica furanowa, utwardzana kwasem	Średnia do wysokiej	W pewnym stopniu	10 – 30 ºC	10 – 120 min	Żelazo + m. nieżelazne
	Fenol	Wysoka	W pewnym stopniu	10 – 30 ºC	10 – 180 min	Żelazo
	Poliuretan (izocyjanian fenolu)	Niska do średniej	W pewnym stopniu	10 – 30 ºC	5 – 60 min	Żelazo + m. nieżelazne
	Rezol-ester	Od niskiej do wysokiej	W pewnym stopniu	10 – 30 ºC	5 – 400 min	Żelazo + m. nieżelazne
	Olej alkidowy	Wysoka	W pewnym stopniu	10 – 30 ºC	50 min	Stal
	Krzemian - ester	Średnia do wysokiej	Nie	10 – 30 ºC	1 – 60 min	Żelazo + m. nieżelazne
Utwardzanie gazowe	Poliuretan Cold-box, katalizator aminowy („Cold-box", zimna skrzynka)	Niska	Tak	10 – 30 ºC	< 60 s	Żelazo + m. nieżelazne
	Rezol, utwardzanie mrówczanem metylu	Niska	Tak	10 – 30 ºC	< 60 s	Żelazo + m. nieżelazne
	Epoksyt/akryl, utwardzanie SO_2	Tak	Tak	10 – 30 ºC	< 60 s	Żelazo + m. nieżelazne

Utwardzanie	Rodzaj żywicy	Produktywność formy	Produktywność rdzenia	Temperatura utwardzania	Czas utwardzania (*)	Rodzaj metalu
	Krzemian, utwardzanie CO_2	Niska	Tak	10 – 30 ºC	< 60 s	Żelazo + m. nieżelazne
	Rezol, utwardzanie CO_2	Nie	Tak	10-30 ° C	< 60 s	Żelazo
Termoutwardzalny	Olej	Niska	Tak	180 – 240 ºC	10 – 60 min	Żelazo
	„Warm-box” (ciepła skrzynka)	Rzadko	Tak	150 – 220 ºC	< 60 s	Żelazo + m. nieżelazne
	„Hot-box” (gorąca skrzynka)	Rzadko	Tak	220 – 250 ºC	< 60 s	Żelazo + m. nieżelazne
	Formowanie skorupy, „Croning”	Tak	Tak	250 – 270 ºC	120 – 180 s	Żelazo + m. nieżelazne
	Krzemian; Spoiwo nieorganiczne	Nie	Tak	150 – 180 ° C	< 60 s	Al

Tabela 2.17: Udział piasków niewypalanych (osadzanych powietrzem) w niemieckich odlewniach metali żelaznych i nieżelaznych w 2012 r.

System	Udział [%]
Żywice furanowe	80
Żywice fenolowe	15
Żywice poliuretanowe	< 3
Żywica rezolowa (fenolowo-	< 3
Krzemian	< 3
Źródło: [133. DE UBA 2014]	

Tabela 2.18: Udział piasków rdzeniowych w produkcji seryjnej w niemieckich odlewniach metali żelaznych i nieżelaznych w 2012 r.

System	Udział [%]
Poliuretanowa cold-box, amina	78
Warm-box, Hot-box	7
System szkła wodnego	5
Epoksyd/akryl, utwardzanie SO_2	4
Rezol, utwardzanie CO_2	3
Formowanie skorupy/Croning	1
Utwardzanie mrówczanem metylu	1
Źródło: [133. DE UBA 2014]	

2.2.5.2.2.3 Pył węglowy

Pył węglowy jest zwykle dodawany do zielonego piasku do formowania żeliwa. Jest stosowany w ograniczonym zakresie w niektórych odlewniach metali nieżelaznych. Pył węglowy może być mieszany z niewielkimi ilościami żywic i produktów ropopochodnych. Podczas odlewania, degradacja termiczna wytwarza „węgiel błyszczący” (*lustrous carbon*), który poprawia wykończenie powierzchni odlewu i właściwości wytrząsania. Pył węglowy jest dodawany z trzech powodów:

- aby stworzyć obojętną atmosferę we wnęce formy podczas zalewania, poprzez spalanie związków organicznych, co z kolei spowalnia utlenianie metalu (powstawanie żużla);
- aby zmniejszyć penetrację metalu między ziarnami kwarcu, poprzez osadzanie się warstwy grafitu, która również tworzy płaską powierzchnię odlewu;
- aby zmniejszyć ilość piasku pozostającego na powierzchni odlewu po wytrząśnięciu.

Oprócz czarnego i lepkiego pyłu powstającego podczas przeładunku, pył węglowy może zawierać lub generować wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA) podczas przesypywania
W przypadku odlewów staliwnych pył węglowy nie jest stosowany ze względu na wychwytywanie węgla. W takim przypadku jest on zwykle zastępowany spoiwami zbożowymi, takimi jak skrobia lub dekstryna.
Istnieją różne rodzaje pyłu węglowego lub jego zamienników. Składają się z błyszczących materiałów węglowych zmieszanych z gliną.
[73. Brown, J. R. 2000], [120. TWG 2003], [134. CAEF 2020]

2.2.5.2.2.4 Spoiwa zbożowe

Spoiwa zbożowe są stosowane głównie w odlewniach stali celem zwiększenia wytrzymałości i twardości zielonego piasku. Istnieją dwa główne rodzaje spoiwa zbożowego: skrobia i dekstryna. Skrobia jest podstawowym materiałem i jest produkowana z wielu materiałów roślinnych, przy czym do celów odlewniczych najczęściej jest stosowana skrobia kukurydziana. Dekstryna jest repolimeryzowaną formą skrobi, wytwarzaną w wyniku późniejszej obróbki kwasowej i termicznej skrobi.
Skrobie mogą pomóc zredukować defekty ekspansji, ponieważ w miarę wypalania pozwalają ziarenkom piasku odkształcać się bez deformowania formy. Zboża zwiększają wytrzymałość zielonego piasku, wytrzymałość na suszenie oraz ciągliwość, ale mogą zmniejszać płynność. Dekstryny poprawiają płynność i zatrzymują wilgoć, zapobiegając wysychaniu form i kruszeniu się krawędzi.
Dodatki zbożowe nie poprawiają odporności piasku na erozję ani jego odporności na penetrację przez metal.
[73. Brown, J. R. 2000], [120. TWG 2003]

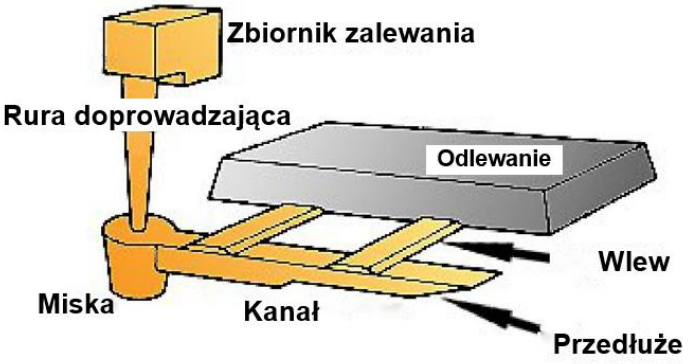
2.2.5.2.2.5 Tlenek żelaza

Tlenek żelaza reaguje z kwarcem w wysokiej temperaturze i tworzy niskotopliwy związek, fajalit. Ten szklisty, plastikowy produkt spieka ze sobą ziarna. Jest stosowany głównie w produkcji piasku rdzeniowego celem ograniczenia powstawania żył. [38. Vito 2001]
W produkcji odlewów stalowych, tlenek żelaza może być dodawany do piasku muszlowego na poziomie od 5% do 10% w celach jakościowych.

2.2.5.2.3 Uruchamianie, bramkowanie, podawanie i filtrowanie

Poszczególne części układu uruchamiania i bramkowania pokazano na Rysunku 2.29. System realizuje następujące funkcje:

- kontroluje przepływ metalu do wnęki formy w tempie niezbędnym do uniknięcia wad związanych z zimnym metalem w odlewie;
- zapobiega turbulencji metalu wchodzącego do formy;
- zapobiega przedostawaniu się do formy żużla i zgarów obecnych w stopionym materiale;
- pozwala uniknąć uderzenia strumienia metalu o dużej prędkości w rdzenie lub powierzchnie formy;
- sprzyja gradientom termicznym wewnątrz odlewu, co pomaga w produkcji odlewów dobrej jakości;
- umożliwia łatwe oddzielenie odlewu od układu działania/wlewowego.



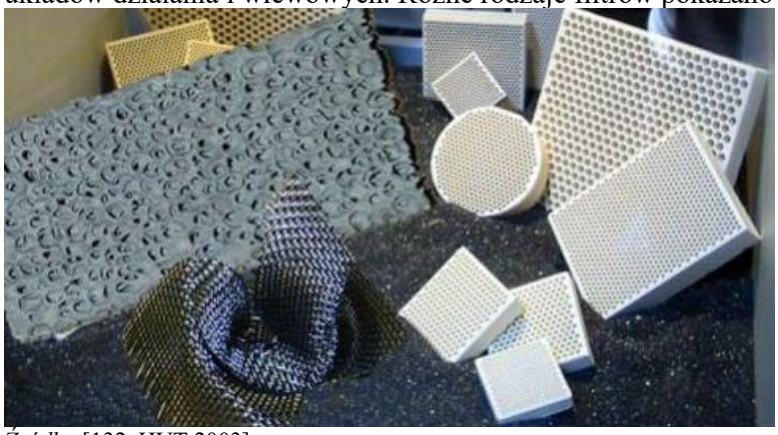
Źródło: [132, HUT 2003].

Rysunek 2.29: Elementy układu uruchamiania i bramkowania

Konstrukcja układu uruchamiania musi uwzględniać różne właściwości żużla i zgarów tworzących się w odlewanym metalu, np.:

- W przypadku żelaza lamelarnego może być obecny żużel piecowy, ale stop nie podlega wtrąceniom spowodowanym utlenianiem;
- Żelazo sferoidalne zawiera krzemian magnezu i żużel siarczkowy powstający w procesie sferoidyzacji;
- Stal jest podatna na utlenianie i tworzenie się żużla;
- Stopy aluminium (i brązy aluminiowe) są podatne na powstawanie kożucha żużlowego, w wyniku czego na każdej powierzchni metalu wystawionej na działanie powietrza natychmiast tworzy się warstwa tlenku.

Wtrącenia w stali mogą powstawać w wyniku uwięzienia żużla, erozji wykładzin pieca lub kadzi, materiałów ogniotrwałych lub odtleniania. Filtracja jest obecnie szeroko stosowana w celu zmniejszenia obecności wtrąceń. Wprowadzenie filtrów ceramicznych umożliwiło nawet uproszczenie konstrukcji układów działania i wlewowych. Różne rodzaje filtrów pokazano na Rysunku 2.30.



Źródło: [132. HUT 2003]

Rysunek 2.30: Różne rodzaje filtrów

Podnośniki/podajniki

Podczas chłodzenia i krzepnięcia większości metali dochodzi do zmniejszenia ich objętości. Zjawisko to znane jest jako skurcz. Może to prowadzić do uzyskania zestalonego odlewu, który będzie wykazywał dużą porowatość skurczową i nie będzie spełniał wymaganych specyfikacji produktu.

Aby uniknąć porowatości skurczowej, bardzo ważne jest zapewnienie wystarczającego dopływu dodatkowego stopionego metalu, podczas krzepnięcia odlewu, w aby wypełnić wszelkie ubytki, które mogłyby w przeciwnym razie powstać. Jest to znane jako zasilanie odlewu, a zbiornik dostarczający stopiony metal jest znany jako podajnik lub podnośnik. Konstrukcja podajników / podnośników ma kluczowe znaczenie dla zminimalizowania liczby wad w odlewach. W szczególności podajnik musi być zaprojektowany tak, aby zastygał później niż sam odlew. Podajnik musi zawierać wystarczającą ilość stopionego metalu, aby wypełnić wszelkie ubytki, które mogą powstać w wyniku skurczu. Ponadto, zazwyczaj jeden podajnik może być w stanie zasilić tylko część całego odlewu; dlatego odległość podawania musi być obliczona w celu określenia liczby podajników wymaganych do zasilenia danego odlewu [73. Brown, J. R. 2000].

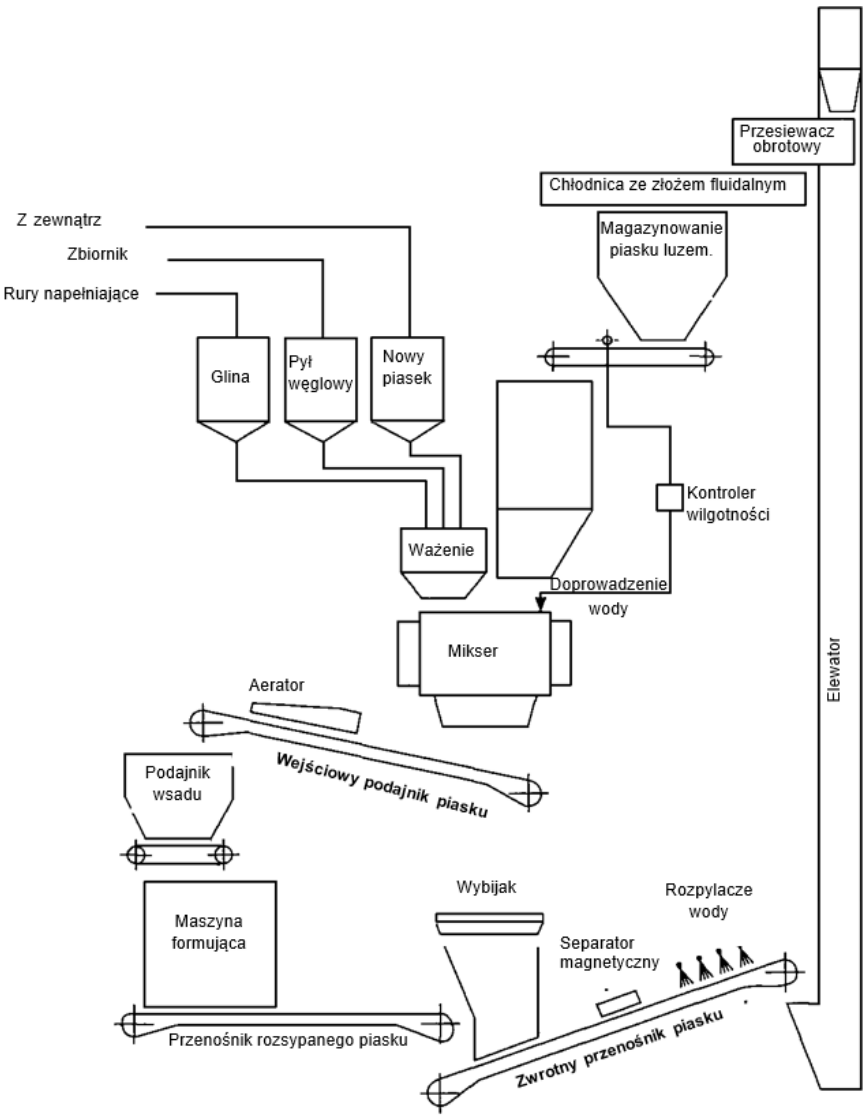
Dzięki optymalizacji konstrukcji podajników można uzyskać szereg korzyści, np.:

- większa liczba odlewów jest produkowana dla danej ilości stopionego metalu;
- można stosować mniejsze formy, zmniejszając zużycie piasku;
- topi się mniej metalu;
- mniej czasu jest wymagane do usunięcia podajników z odlewu.

2.2.5.3 Przygotowanie piasku (transport, przesiewanie, chłodzenie, mieszanie)

2.2.5.3.1 Kondycjonowanie (przygotowanie) do formowania zielonego piasku

Jedną z głównych zalet stosowania formowania zielonego piasku jest to, że piasek z form może być poddawany regeneracji w celu wielokrotnego ponownego użycia. Układ typowej instalacji do produkcji zielonego piasku przedstawiono na Rysunku 2.31, a kilka przykładów mieszarek piasku pokazano na Rysunku 2.32.



Źródło: [73. Brown, J. R. 2000]

Rysunek 2.31: Schemat przepływu dla typowego zakładu produkcji zielonego piasku



Źródło: [132. HUT 2003]

Rysunek 2.32: Różne typy mieszarek piasku

Ponieważ piasek zwykle zawiera elementy metaliczne, takie jak odpryski, pozostałości po zalewaniu,

kawałki wlewek, a nawet małe części odlewów, wszystkie one muszą zostać usunięte, najpierw za pomocą magnetycznych separatorów żelaza. Jeśli separacja magnetycznych odlewów żeliwnych nie jest osiągnięta lub nie jest możliwa, separację można przeprowadzić za pomocą separatorów wiroprądowych. Pozostałe grudki piasku są następnie rozbijane. Ważne jest, aby nie zgniatać piasku, celem zapobieżenia mieszaniu się piasku i bentonitu.
Zazwyczaj piasek musi zostać schłodzony, aby utrzymać poziom wilgotności przygotowanego piasku na możliwie stałym poziomie oraz uniknąć strat spowodowanych parowaniem. Chłodzenie jest często wykonywane w złożu fluidalnym, co pozwala również na odpylenie piasku poprzez usunięcie nadmiernych ilości drobnych cząstek.
Piasek jest następnie przesiewany w celu usunięcia pozostałych grudek i przechowywany przed zmieszaniem z wymaganymi ilościami dodatków, np. gliny, wody itp. w celu przygotowania zielonego piasku do ponownego użycia.
[14. CAEF 1997], [73. Brown, J. R. 2000]

2.2.5.4 Formowanie przy użyciu piasku naturalnego

Niektóre odlewnie używają naturalnie związanego piasku. Jest to piasek zawierający naturalny procent gliny. Aby aktywować zdolność wiązania, należy dodać tylko wodę. W razie potrzeby można również wymieszać pewne dodatki. Przybliżony skład naturalnego piasku podano w poniższej tabeli.

Tabela 2.19: Skład piasku naturalnego

Składniki	Przybliżony %
Piasek	80
Glina	15
Woda	5
Źródło: [41. Teknologisk 2000]	

Naturalny piasek, który występuje w postaci gotowej mieszanki, nie ma tak wysokich wymagań dotyczących sprzętu mieszającego jak piasek syntetyczny. Jest stosowany głównie w małych odlewniach metali nieżelaznych (np. miedzi) oraz rzadko w odlewniach odlewających żelazo i stal.

2.2.5.5 Formowanie z użyciem piasku związanego z gliną (formowanie z użyciem zielonego piasku)

Formowanie z użyciem zielonego piasku jest najpopularniejszym procesem formowania. Zielony piasek nie jest zwykle używany do produkcji rdzeni. Rdzenie są formowane przy użyciu chemicznego systemu wiążącego. Zielony piasek to jedyny proces wykorzystujący wilgotną mieszankę piasku. Mieszanka składa się z około 85-95% piasku kwarcowego; 5%-10% glinki bentonitowej; 3%-9% materiałów węglowych, takich jak sproszkowany węgiel, oraz 2%-5% wody. Glina i woda działają jak spoiwo, utrzymując ziarna piasku razem. Materiały węglowe spalają się, gdy stopiony metal jest zalewany w formie, tworząc atmosferę redukującą, która zapobiega utlenianiu się metalu podczas jego krzepnięcia. Tabela 2.20 zawiera przegląd dodatków stosowanych do różnych rodzajów odlewów metalowych.

Tabela 2.20: Skład mieszanki dodatków do przygotowania zielonego piasku (bez wody)

Metal	Dodatki do przygotowania zielonego piasku
Odlewanie żeliwa sferoidalnego Odlewanie żeliwa lamelarnego Odlewanie żeliwa ciągliwego	Bentonit Spoiwo zbożowe* Pył węglowy
Odlewanie staliwa	Bentonit Spoiwo zbożowe*
Odlewanie metali lekkich i aluminium	Bentonit Spoiwo zbożowe* Kwas borowy
Odlewanie magnezu	Bentonit Siarka w proszku Kwas borowy
Odlewanie metali ciężkich (stopy miedzi)	Bentonit Spoiwo zbożowe* Pył węglowy
* Opcjonalny dodatek. *Źródło:* [16. Winterhalter i in. 1992]	

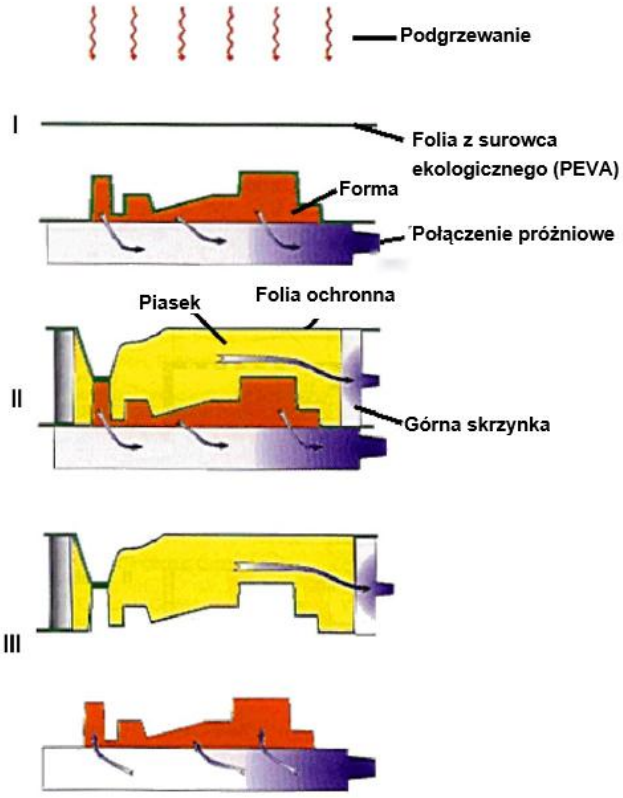
Zielony piasek, jak pokazuje jego powszechne zastosowanie, ma szereg zalet w porównaniu z innymi metodami odlewania. Proces ten może być stosowany zarówno do odlewania metali żelaznych, jak i nieżelaznych i może obsługiwać bardziej zróżnicowaną gamę produktów niż jakakolwiek inna metoda odlewania. Na przykład, zielony piasek jest używany do produkcji całej gamy odlewów, od małych precyzyjnych odlewów do dużych odlewów o wadze do tony. Przy równomiernym zagęszczeniu piasku i dokładnej kontroli jego właściwości można uzyskać bardzo wąskie tolerancje. Proces ten ma również tę zaletę, że wymaga stosunkowo krótkiego czasu na wyprodukowanie formy w porównaniu z wieloma innymi procesami. Ponadto względna prostota procesu sprawia, że idealnie nadaje się on do procesu zautomatyzowanego.
Chociaż formowanie ręczne jest nadal w użyciu, formowanie mechaniczne (zautomatyzowane) jest obecnie najbardziej rozpowszechnione. Maszyna do formowania musi wykonać dwie następujące po sobie operacje: pierwszą jest ubijanie piasku, a następnie oddzielenie szablonu od zagęszczonego piasku. Najczęściej stosowane procesy opierają się na zasadach opisanych poniżej.
Maszyny do formowania przez zgniatanie wykorzystują nacisk do upakowania masy, który jest wywierany przez głowicę zgniatającą lub wielotłokową głowicę zgniatającą. Formowanie za pomocą samego zgniatania staje się mniej efektywne wraz ze wzrostem głębokości półformy. W takich przypadkach wstrząsanie stołem roboczym znacznie zwiększa zagęszczenie masy.
W formowaniu udarowym piasek jest podawany grawitacyjnie do kolby i zagęszczany przez natychmiastowe uwolnienie sprężonego powietrza przez szybko działający zawór. Proces ten zapewnia wysokie i równomierne zagęszczenie, szczególnie w piasku otaczającym szablon.
Formowanie bezskrzynkowe, zarówno z pionowym, jak i poziomym podziałem, pozwala osiągnąć imponującą produktywność. Można osiągnąć wysoką dokładność formy, ale proces ten wymaga efektywnej konfiguracji i wysokiej jakości szablonów, aby osiągnąć pożądany cel.
[14. CAEF 1997], [18. US EPA 1998]

2.2.5.6 Formowanie za pomocą piasku niezwiązanego (proces V)

Proces ten wykorzystuje suchy piasek, ubijany przez wibracje bez dodatku spoiwa, z piaskiem utrzymywanym między dwoma arkuszami polietylenu za pomocą częściowej próżni.
Produkcja półformy została zilustrowana na Rysunku 2.33. Kolejne etapy procesu są następujące:

- Szablon jest mocowany w hermetycznej komorze, która jest podłączona do pompy próżniowej. Szablon jest odpowietrzany przez otwory o małej średnicy przechodzące przez hermetyczną komorę.
- Cienka folia z polietylenu i octanu winylu (PEVA), o grubości od 75 do 100 mikronów, jest podgrzewana do 85ºC.
- Ta folia, rozszerzająca się pod wpływem ciepła, jest nakładana na szablon i mocowana za pomocą próżni aplikowanej przez hermetyczną komorę.
- Skrzynka formierska, w której można wytworzyć próżnię, jest umieszczana na szablonie i wypełniana suchym piaskiem.
- Piasek ten jest zagęszczany za pomocą wibracji, wyrównywany, a następnie nakładana jest na niego druga warstwa PEVA.
- Powietrze jest usuwane ze skrzynki formierskiej, a w tym samym czasie w hermetycznej komorze uwalniana jest próżnia; próżnia usztywnia piasek, dzięki czemu można zdjąć półformę.
- Druga połowa formy jest wykonywana w ten sam sposób i obie są montowane i zamykane, przy czym próżnia jest nadal stosowana.
- Metal może być teraz nalewany, a dwie skrzynki formierskie pozostają pod próżnią, aż odlew ostygnie na tyle, by można go było wytrząsnąć.
- Wytrząsanie odbywa się po prostu przez wyłączenie próżni: piasek wypływa ze skrzynki przez kratkę i może być poddany recyklingowi po odpyleniu i oddzieleniu niespalonych arkuszy plastiku. [73. Brown, J. R. 2000]

Proces V może nie mieć zastosowania w przypadku skrzynek formierskich o dużych wymiarach. Zazwyczaj formowanie próżniowe jest możliwe tylko w przypadku skrzynek formierskich o wymiarach do 1,5 x 1,5 m.



I Model liniowy z folią PEVA
II Wypełnić piaskiem, przykryć i opróżnić
III Usunąć skrzynkę z modelu, nadmiar ciśnienia w modelu pozwala na jego łatwe uwolnienie

Źródło: [78. Hoppenstedt 2002]

Rysunek 2.33: Formowanie próżniowe

2.2.5.7 Formowanie i rdzeniowanie z użyciem piasku związanego chemicznie

Do produkcji rdzeni stosuje się przede wszystkim chemiczne systemy wiążące. Rdzenie wymagają innych właściwości fizycznych niż formy, dlatego systemy wiążące stosowane do produkcji rdzeni mogą różnić się od tych stosowanych do form. Rdzenie muszą być w stanie wytrzymać duże siły, które mogą wystąpić, gdy stopiony metal wypełnia formę, a często muszą być później usuwane z małych przejść w zestalonym odlewie. Oznacza to, że zastosowany system wiązania musi wytwarzać mocne, twarde rdzenie, które zapadną się, aby umożliwić usunięcie po utwardzeniu odlewu. Dlatego rdzenie są zwykle formowane z piasku kwarcowego (a czasami z piasku oliwinowego, cyrkonowego lub chromitowego lub mieszanek tych materiałów z piaskiem kwarcowym) i silnych spoiw chemicznych. Mieszanina piasku i spoiwa jest umieszczana w rdzennicy, gdzie utwardza się do pożądanego kształtu i jest usuwana. Utwardzanie odbywa się za pomocą reakcji chemicznej, katalitycznej lub ciepła.
Tabela 2.18 (w Sekcji 2.2.5.2.2.2) przedstawia względny udział różnych procesów produkcji rdzeni w niemieckich odlewniach w 2012 roku. Pokazuje to, że aminowe systemy cold-box i warm-box/hot-box dominują na rynku. Od 2010 roku rośnie udział nieorganicznych systemów krzemionkowych w odlewniach aluminium produkujących części samochodowe. Pozostałe procesy są wykorzystywane głównie do zastosowań uzupełniających, tj. do produkcji rdzeni o określonych wymaganiach (rozmiar, grubość itp.).
[18. US EPA 1998], [73. Brown, J. R. 2000], [134. CAEF 2020]

2.2.5.7.1 Procesy wiązania na zimno (bez wypalania)

Utwardzanie piasków wiązanych na zimno jest skuteczne w temperaturze otoczenia. Proces rozpoczyna się, gdy ostatni składnik preparatu zostanie wprowadzony do mieszanki. Następnie trwa od kilku minut do kilku godzin, w zależności od procesu, ilości spoiwa i siły utwardzacza.
Procesy te są częściej wykorzystywane do produkcji form i rdzeni, zwłaszcza w przypadku odlewów

o średnich lub dużych rozmiarach.

2.2.5.7.1.1 Utwardzanie kwasem fenolowym

Proces ten jest stosowany od 1958 roku. Ponieważ komponenty są stosunkowo tanie, jest on używany głównie do produkcji dużych części. Ma zastosowanie do wszystkich rodzajów stopów.
Żywice to kopolimery fenolowo-formaldehydowe (PF) lub mocznikowo-formaldehydowe/fenolowo-formaldehydowe (UF/PF), przy czym oba są „rezolami", ze stosunkiem formaldehydu do fenolu wyższym niż jeden.
Katalizatorami są silne kwasy sulfonowe, takie jak paratoluenowy, ksylenowy lub benzenosulfonowy, czasami z dodatkiem kwasu siarkowego, zwykle stosowanego w postaci rozcieńczonej.

2.2.5.7.1.2 Utwardzanie kwasem furanowym

Spoiwa te, po raz pierwszy wprowadzone do odlewni w 1958 roku, są powszechnie stosowane do formowania i produkcji rdzeni części o średnich i dużych rozmiarach, do produkcji małych i średnich partii oraz do wszystkich rodzajów stopów. Tylko niektóre typy są używane do odlewania staliwa, ponieważ mogą wystąpić pęknięcia, żebra lub otwory. Proces ten pozwala na dużą elastyczność w zakresie zastosowania i właściwości. Alkohol furfurylowy (FA) ma tę wadę, że jest (strategicznym) produktem podstawowym, przez co podlega wahaniom cen rynkowych. Spoiwa furanowe są porównywalne do spoiw fenolowych, ponieważ ich mechanizm wiązania i stosowane katalizatory kwasowe są takie same dla obu procesów. Niektóre przykłady rdzeni furanowych pokazano na Rysunku 2.34.



Źródło: [132. HUT 2003]

Rysunek 2.34: Rdzenie furanowe

Dodanie kwasu do żywicy furanowej powoduje egzotermiczną polikondensację, która powoduje utwardzanie spoiwa. Żywice furanowe są dostępne w różnych formułach, z których wszystkie są oparte na alkoholu furfurylowym:

- żywica furanowa — FA;
- mocznik - formaldehyd - alkohol furfurylowy — UF - FA;
- fenol - formaldehyd - alkohol furfurylowy — PF - FA;
- mocznik - formaldehyd - fenol - alkohol furfurylowy — UF - PF - FA;
- rezorcynol - alkohol furfurylowy — R - FA.

Silan jest prawie zawsze dodawany w celu wzmocnienia wiązania żywicy z piaskiem. Kwasy do utwardzania to silne kwasy sulfonowe, takie jak paratoluen, ksylen lub benzenosulfonowy, czasami z dodatkiem kwasu siarkowego lub fosforowego, zwykle stosowane w postaci rozcieńczonej.
[38. Vito 2001]

2.2.5.7.1.3 Poliuretan (izocyjanian fenolu)

Proces ten jest wykorzystywany w niewielkim stopniu do formowania i produkcji rdzeni, z ograniczeniami w przypadku odlewania staliwa, ponieważ mogą wystąpić pęknięcia lub otwory. Można im jednak zapobiec poprzez dodanie tlenku żelaza.
Proces ten opiera się na reakcji poliaddycji między żywicą fenolową a izocyjanianem (głównie MDI), katalizowanej przez pochodną pirydyny; w wyniku czego powstaje struktura poliuretanowa. Wszystkie składniki znajdują się w roztworze w aromatycznym i/lub polarnym rozpuszczalniku (tj. rozpuszczalniku alifatycznym) o wysokiej temperaturze wrzenia. Należy bezwzględnie unikać zanieczyszczenia wodą, ponieważ woda silnie reaguje z izocyjanianem.

2.2.5.7.1.4 Rezol-ester (utwardzanie alkalicznym estrem fenolowym)

Proces ten jest wykorzystywany do produkcji małych lub średnich partii. Może być stosowany do wszystkich rodzajów stopów, ale jest szczególnie interesujący dla lżejszych stopów ze względu na łatwość wytrząsania. Brak azotu w odczynnikach jest korzystny w przypadku odlewania staliwa.
Żywica jest alkalicznym roztworem fenolu, który reaguje z ciekłym estrem. Żywica i ester tworzą niestabilny kompleks, powodując żelowanie. Kompleks rozpada się i powoduje polimeryzację krzyżową żywicy, tworząc sól i alkohol.
W tym procesie szybkość utwardzania nie jest regulowana przez szybkość dodawania utwardzacza, ale przez użycie różnych gatunków. Czas utwardzania może wynosić od kilku minut do ponad godziny. Właściwości mechaniczne bezpośrednio po utwardzeniu są raczej słabe, ale poprawiają się po przechowywaniu.

2.2.5.7.1.5 Olej alkidowy, niewypalony

Proces ten jest najczęściej stosowany do pojedynczych odlewów lub do produkcji małoseryjnej w odlewniach staliwa. Zapewnia dobre wykończenie powierzchni i dobre właściwości usuwania. Jest jednak kosztowny.
Modyfikowana olejem żywica poliestrowa jest mieszana z izocyjanianem, tworząc żywicę poliuretanową, która utwardza się powoli. Utwardzanie formy jest przyspieszane przez katalizator i zakończone przez podgrzanie do 150 ºC.

2.2.5.7.1.6 Krzemian estrowy

Proces ten jest stosowany głównie w odlewniach staliwa, do średnich i dużych odlewów w średnich i małych seriach. Jest podobny do procesu niewypalonego oleju alkidowego. Ma jednak słabe właściwości wytrząsania i niższą odporność mechaniczną niż systemy wiązane żywicami organicznymi.
Utwardzanie piasku krzemianowo-estrowego przebiega przez etap pośredni, który polega na hydrolizie estru przez alkaliczny roztwór krzemianu. W wyniku hydrolizy powstaje glicerol i kwas octowy, który wytrąca żel krzemianowy, tworząc początkowe wiązanie. Wytrzymałość rośnie wraz z wysychaniem pozostałości krzemianu.

2.2.5.7.1.7 Cement

Proces ten jest stosowany tylko w przypadku odlewów o bardzo dużych rozmiarach. Jego zastosowanie jest istotne w przypadku robót publicznych. Nie generuje żadnych problemów z emisją podczas formowania lub produkcji rdzeni.

2.2.5.7.2 Procesy utwardzania gazem

W tych procesach utwardzanie odbywa się poprzez wstrzyknięcie katalizatora lub utwardzacza w postaci gazowej. Szybkość utwardzania może być bardzo wysoka, co pozwala na osiągnięcie wysokiego tempa produkcji. Proces nadaje się do form i rdzeni o ograniczonym rozmiarze, w średniej lub masowej produkcji. Jego zastosowanie w ciągu ostatnich dziesięcioleci stale rośnie.
Chemia stojąca za wieloma z procesów utwardzania gazowego jest podobna do procesów utwardzania na zimno. Ze względu na gazową formę katalizatorów, czasami konieczne jest zbieranie i oczyszczanie emisji z procesu.

2.2.5.7.2.1 Cold-box (katalizowane aminą spoiwo fenolowo-uretanowe)

Proces ten jest powszechnie stosowany do produkcji rdzeni o wadze do 100 kg i więcej oraz małych form. Zapewnia bardzo gładkie wykończenie powierzchni, a dokładność wymiarowa jest bardzo wysoka. Właściwości usuwania rdzenia są doskonałe, a piasek można łatwo odzyskać. Proces ten jest najczęściej stosowany w produkcji rdzeni. Przykładowy rdzeń cold-box pokazano na Rysunku 2.35.



Źródło: [132. HUT 2003]

Rysunek 2.35: Rdzennica typu cold-box

Skład chemiczny tego procesu opartego na poliuretanie jest bardzo podobny do poliuretanu utwardzanego na zimno, np. obejmuje żywicę fenolową i izocyjanian (MDI). Inny jest tylko katalizator; w tym przypadku stosuje się aminę trzeciorzędową, taką jak trietyloamina (TEA), dimetyloetyloamina (DMEA), dimetyloizopropyloamina (DMIPA) lub dimetylopropyloamina (DMPA). Aminę stosuje się w postaci pary, wykorzystując sprężone powietrze, azot lub CO_2 jako gaz nośny. Zarówno żywica, jak i izocyjanian znajdują się w roztworze w aromatycznych i/lub polarnych rozpuszczalnikach o wysokich temperaturach wrzenia. Należy bezwzględnie unikać zanieczyszczenia wodą, ponieważ wchodzi ona w silną reakcję z izocyjanianem i osłabia spoiwo.
Amina jest dostarczana albo przez generator, w którym gaz pomocniczy, najlepiej obojętny, jest nasycany oparami aminy, albo przez wtryskiwacz, który odmierza odpowiednią ilość aminy wymaganą do operacji, która jest przenoszona do piasku za pomocą sprężonego powietrza lub azotu. Stopień dodania spoiwa waha się od 1,0% do 2,0% w oparciu o masę piasku, z żywicą i izocyjanianem w stosunku 50:50.
Amin jest tylko katalizatorem i nie jest zużywany w reakcji. Po utwardzeniu pozostaje on w piasku formy lub rdzenia i musi zostać usunięty. Okres oczyszczania trwa obecnie od 10 do 15 razy dłużej niż wstrzyknięcie aminy. Ilość aminy wymagana do utwardzenia wynosi około 0,05% w oparciu o masę piasku, ale zazwyczaj stosuje się od 0,10% do 0,15%.
[38. Vito 2001]

2.2.5.7.2.2 Rezol-mrówczan metylu (alkaliczne utwardzanie fenolowym mrówczanem metylu)

Proces ten jest najczęściej wykorzystywany do produkcji rdzeni. Pomimo zgłaszanych trudności z recyklingiem zużytego piasku, proces ten jest stosowany, głównie ze względu na jego właściwości wytrząsania; zdolność do zapobiegania pękaniu, żyłkowaniu i otworom; oraz ze względu na niską emisję zapachów. Można go stosować do wszystkich rodzajów serii i stopów.
Żywica jest alkalicznym związkiem fenolowym, który reaguje z mrówczanem metylu, tworząc metanol i alkaliczny mrówczan. Żywica fenolowa jest wytrącana w postaci żelu, który wiąże ze sobą wszystkie związki. Dalsze sieciowanie prowadzi do jeszcze większej wytrzymałości podczas przechowywania.
Mrówczan metylu jest cieczą w temperaturze otoczenia, a jego temperatura wrzenia wynosi 32ºC, jednak jest on zgazowywany za pomocą powietrza, zazwyczaj podgrzanego do 80ºC; które działa również jako nośnik w tym procesie. Po okresie gazowania zawsze następuje przedmuchiwanie powietrzem, którego celem jest równomierne rozprowadzenie mrówczanu metylu w całej masie piasku.

2.2.5.7.2.3 Żywica epoksydowa/akrylowa, utwardzanie SO_2 (utwardzanie wolnorodnikowe)

Proces ten oferuje wiele zalet: dobrą zdolność zagęszczania; długą żywotność przygotowanego piasku (mieszalniki lub głowice strzelające nie muszą być czyszczone); dobre właściwości mechaniczne; brak azotu, fenolu lub formaldehydu; dobrą wydajność wytrząsania i brak powstawania pęknięć. Jedną z głównych wad jest jednak wyższy koszt składników wiążących.
Proces ten charakteryzuje się nie rodzajem żywicy, ale zasadą jej sieciowania, która zachodzi poprzez wolne rodniki. Żywica musi zawierać podwójne wiązania węglowe: można stosować żywice poliestrowo-akrylowe, poliestrowo-uretanowe lub poliestrowo-epoksydowe. Żywice te mają zazwyczaj niską masę cząsteczkową i są rozcieńczane rozpuszczalnikami organicznymi w prawie 50% wagowo, chociaż dostępne są również typy bezrozpuszczalnikowe. Są one mieszane z organicznym nadtlenkiem, który działa jako

inicjator reakcji. Podczas utwardzania dwutlenek siarki jest przenoszony przez piasek w postaci gazu. Może to być gaz obojętny, taki jak dwutlenek węgla lub azot, powietrze lub mieszanina powietrza z gazem obojętnym.
Po okresie gazowania zawsze następuje przedmuchiwanie, zwykle przy użyciu gazu lub mieszaniny gazów o takim samym składzie, jaki został użyty do utwardzania, którego celem jest usunięcie nieprzereagowanego nadmiaru dwutlenku siarki z masy piasku.

2.2.5.7.2.4 Krzemian sodu utwardzany CO_2 (szkło wodne)

Proces ten ma następujące zalety: jest tani, łatwy w obsłudze i czysty dla środowiska, a także dla zdrowia pracowników i niezawodności działania. Są to zalety w porównaniu ze spoiwami organicznymi. Jego popularność spadła jednak z powodów technicznych, takich jak słaba zdolność do zagęszczania i problemy z zapadalnością, słaba wytrzymałość mechaniczna, wrażliwość na kruszenie, wychwytywanie wilgoci i słaba zdolność do regeneracji. Ponadto stosowanie szkła wodnego może prowadzić do zwiększenia kosztów czyszczenia. Rdzenie osiągają pełną wytrzymałość dopiero po okresie suszenia. Ogranicza to ich zastosowanie w zautomatyzowanych procesach. Technika ta znajduje zatem swoje główne zastosowanie w małych odlewniach.
Powszechnie stosowanym krzemianem jest krzemian sodu, definiowany przez jego stężenie (zawartość suchego ciała stałego) i moduł (stosunek krzemionki sodowej SiO_2/Na_2O). Moduł ten waha się od 2,0 do 2,8, najczęściej od 2,0 do 2,3. Krzemian jest mieszany z piaskiem w stężeniu od 2% do 4%. Dodatki do wytrząsania i usuwania są powszechnie stosowane i zwykle są wstępnie mieszane z krzemianem.
Utwardzanie następuje poprzez gazowanie dwutlenkiem węgla, ze względu na jego lekko kwasowy charakter. Stosunek CO_2 nie powinien przekraczać 1 do 2% masy piasku, a czas gazowania powinien wynosić od 10 do 60 sekund. Utwardzone formy i rdzenie nie wymagają przedmuchiwania.
[41. Teknologisk 2000], [56. Notzon et al. 1998]

2.2.5.7.2.5 Rezol, utwardzanie CO_2

Proces ten został wprowadzony po raz pierwszy w 1989 roku i od tego czasu jest udoskonalany. Jest dostępny na rynku, ale jego zastosowanie nie jest powszechne.
Żywica jest alkaliczną żywicą fenolową, zawierającą substancję łączącą stabilizowaną przy wysokim pH, około 14. Utwardzanie następuje poprzez gazowanie dwutlenkiem węgla, który rozpuszcza się w rozpuszczalniku wodnym żywicy, obniżając jej pH i aktywując substancję łączącą.

2.2.5.8 Procesy utwardzania na gorąco

W tych procesach utwardzanie odbywa się poprzez podgrzanie mieszanki piasku i żywicy lub, częściej, poprzez umożliwienie jej kontaktu z podgrzanym szablonem lub rdzennicą. Wszystkie one zapewniają wysoką dokładność wymiarową, którą można osiągnąć jedynie poprzez zastosowanie wysokiej jakości (metalowych) szablonów, które bywają bardzo drogie. Z tego powodu procesy utwardzania na gorąco są wykorzystywane do produkcji rdzeni o ograniczonych rozmiarach, głównie w procesach produkcji masowej. Ich zastosowanie, bardzo rozpowszechnione przez lata, obecnie spada, ponieważ są zastępowane przez procesy utwardzania gazowego lub, w odlewniach aluminium produkujących części samochodowe, przez procesy wykorzystujące spoiwa nieorganiczne zamiast systemów typu warm-box lub hot-box.
Organiczne procesy utwardzania na gorąco charakteryzują się poważnymi problemami z emisją: po podgrzaniu żywice i katalizatory emitują szkodliwe substancje chemiczne, w tym amoniak i formaldehyd, które mogą być źródłem uciążliwych zapachów. Więcej informacji na temat powiązanych poziomów emisji podano w Sekcji 2.3.

2.2.5.8.1.1 Hot-box, na bazie fenolu i/lub furanu

Proces ten umożliwia wytwarzanie rdzeni o wysokiej dokładności wymiarowej i dobrej wytrzymałości mechanicznej. Jest obecnie wykorzystywany do produkcji małych lub średnich rdzeni w produkcji masowej. Ponadto, przy użyciu specjalnych maszyn, można wytwarzać puste rdzenie w celu zaoszczędzenia piasku oraz lepszego odgazowywania i usuwania.
Spoiwo żywiczne i katalizator aktywowany termicznie są wstępnie mieszane z piaskiem, a mieszanina jest wdmuchiwana do podgrzewanej rdzennicy lub szablonu, gdzie jest utwardzana przez około 5 do 60 sekund.
Można stosować szeroką gamę żywic, takich jak:

- mocznik - formaldehyd UF;
- mocznik - formaldehyd - alkohol furfurylowy UF - FA;
- fenol - formaldehyd PF;

- fenol - formaldehyd - alkohol furfurylowy PF - FA;
- mocznik - formaldehyd - fenol - formaldehyd UF - PF;
- mocznik - formaldehyd - fenol - formaldehyd - alkohol furfurylowy UF - PF - FA.

Współczynnik dodatku żywicy waha się od 1,2% do 3,0% w oparciu o masę piasku, średnio około 1,8%. Proporcje dodatku utwardzania wahają się od 10% do 25% w stosunku do masy żywicy, przy czym większość receptur jest optymalizowana na poziomie 20%. Temperatura najczęściej stosowana dla szablonu waha się od 230 ºC do 290 ºC, przy czym optymalny zakres wynosi od 220 ºC do 250 ºC. W przypadku użycia nadmiernej ilości ciepła w celu przyspieszenia reakcji utwardzania, powierzchnia rdzenia może ulec spaleniu, powodując kruchość podczas zalewania.

2.2.5.8.1.2 Warm-box

Proces ten jest bardzo podobny do procesu hot-box i wykorzystuje te same techniki produkcji. Różni się jedynie rodzajem żywicy, co pozwala na utwardzanie w niższej temperaturze. Chociaż proces warm-box ma pewne zalety w porównaniu z procesem hot-box, jego zastosowanie nie jest powszechne.
Spoiwo jest oparte na alkoholu furfurylowym, przy czym typowa kompozycja zawiera około 70% alkoholu furfurylowego lub polimeru o niskiej zawartości alkoholu furfurylowego. Katalizatorami są sole miedzi pochodzące z aromatycznych kwasów sulfonowych, w wodzie lub roztworze alkoholu. Charakterystyczną cechą tych katalizatorów jest ich doskonała stabilność w temperaturze otoczenia i stosunkowo niska temperatura dysocjacji, która wynosi 150 - 170 ºC. W związku z tym temperatura urządzenia może być utrzymywana na poziomie około 180ºC, co prowadzi do znacznych oszczędności energii wynoszących od 15% do 25% w porównaniu z komorą gorącą.

2.2.5.8.1.3 Formowanie skorupy (Croning)

Proces ten jest jedynym spośród wszystkich procesów formowania i produkcji rdzeni wykorzystującym wstępnie powlekany piasek, dostępny bezpośrednio od dostawców i gotowy do użycia, chociaż wstępne powlekanie piasku może być również wykonywane w odlewni.
W przypadku stali zwykle stosuje się piasek krzemionkowy o wysokim poziomie krzemionki > 90% z dodatkiem 5-10% tlenku żelaza.
Piasek jest utwardzany poprzez podgrzanie go w metalicznym szablonie, tworząc utwardzoną warstwę powierzchniową. Nieogrzany lub nieutwardzony piasek można wyrzucić, odwracając szablon do góry nogami, a następnie użyć go ponownie. Utwardzany piasek tworzy „skorupę", która nadaje nazwę temu procesowi. Dzięki specjalnym maszynom można również wytwarzać puste rdzenie w celu zaoszczędzenia piasku oraz lepszego odgazowywania i usuwania.
Proces ten zapewnia wysoką dokładność wymiarową i dobre wykończenie powierzchni odlewów, dobre właściwości wytrząsania i usuwania oraz umożliwia niemal nieograniczony czas przechowywania wstępnie powleczonego piasku. Ograniczeniami procesu są wysokie koszty inwestycyjne oraz operacyjne (koszty energii). Zastosowanie procesu jest ograniczone do produkcji małych lub średnich form i rdzeni w produkcji masowej. Przykładowe rdzenie i formy pokazane na Rysunku 2.36.
Źródło: [132. HUT 2003]



Rysunek 2.36: Rdzenie Croninga (u góry) i formy (u dołu)

Żywica stosowana do wstępnego powlekania to fenolowy „nowolak" o stosunku formaldehydu do fenolu niższym niż 1. Heksametylenotetramina jest dodawana do żywicy jako utwardzacz i rozkłada się w temperaturze 160ºC na dwa podstawowe składniki: formaldehyd i amoniak. Kiedy wstępnie pokryty piasek styka się z podgrzanym szablonem, heksametylenotetramina rozkłada się, a formaldehyd sieciuje spoiwo żywicy, tworząc charakterystyczne silne wiązanie.

2.2.5.8.1.4 Olej lniany

Ten starożytny proces jest prawdopodobnie najstarszym procesem przetwarzania chemicznie związanych piasków. Jest bardzo łatwy w użyciu, nie wymaga skomplikowanych szablonów i ma dobrą odporność na żyłkowanie i pękanie. Jest nadal szeroko stosowany do produkcji specjalistycznych małych rdzeni.
Piaski są wiązane mieszaniną olejów schnących, przy czym zazwyczaj są to w dużej mierze oleje lniane, często z dodatkiem dekstryny i kilku procent wody. Ilość dodawanego oleju waha się od 0,8% do 4% masy piasku. Można również dodać środki suszące. Utwardzanie następuje poprzez sieciowanie nienasyconych kwasów tłuszczowych zawartych w olejach suszących, indukowane przez tlen atmosferyczny i przyspieszane przez ogrzewanie w suszarce o temperaturze od 190ºC do 260ºC przez 1 do 2 godzin.

2.2.5.8.1.5 Olej alkidowy, wypalony

Proces ten jest podobny do wcześniej opisanego procesu z niewypalonym olejem alkidowym. Jedyną różnicą jest w tym przypadku obróbka cieplna elementów celem przyspieszenia procesu utwardzania.

2.2.5.8.2 Powlekanie form i rdzeni piaskowych wiązanych chemicznie

Umiejętnością odlewnika jest produkcja wysokiej jakości odlewów, bez wad, wymagających jedynie minimalnego wykończenia i poprawek. Aby to osiągnąć, ideałem jest zminimalizowanie wszystkich interakcji, które mogą wystąpić między formą, rdzeniem i metalem podczas zalewania. Efekty te mogą być generowane z różnych przyczyn, takich jak ekspansja (rozszerzalność cieplna) piasku, wady ubijania, ścieranie piasku, penetracja metalu, rozkład chemiczny lub interakcja między spoiwami itp.
Z tych powodów często korzystne jest pokrycie formy lub rdzenia ogniotrwałą okładziną, aby nadać odlewowi gładkie wykończenie powierzchni oraz zmniejszyć koszty obróbki.

2.2.5.8.2.1 Skład powłok

Powłoki są dostępne jako produkty gotowe do użycia lub jako masa do rozcieńczania wodą lub alkoholem. Zazwyczaj zawierają następujące składniki:

- jeden lub więcej wypełniaczy ogniotrwałych, takich jak talk, pirofilit, mika, cyrkon, magnezyt, kwarc itp. lub czernidło;
- płyn uzupełniający, którym może być alkohol (np. izopropanol, etanol) lub woda;
- wysokotemperaturowe środki wiążące, takie jak bentonity, żywice, kwas borowy;
- środki reologiczne, takie jak bentonity lub polimery syntetyczne;
- dodatki, takie jak środki powierzchniowo czynne, środki pianotwórcze, środki grzybobójcze itp.

2.2.5.8.2.2 Proces powlekania

Powłoka może być nakładana na formę lub na rdzeń za pomocą różnych środków:

- pędzlem, w przypadku małych rdzeni lub do miejscowego nakładania;
- przez zanurzenie, w przypadku rdzeni o złożonych kształtach; proces ten jest często zautomatyzowany;
- przez natryskiwanie, zwykle bezpowietrzne;
- przez powlekanie przepływowe, dla dużych lub średnich form lub rdzeni.

Jeśli stosowane są powłoki na bazie alkoholu, obszar roboczy musi być wentylowany, aby zapobiec niebezpieczeństwu pożaru lub wybuchu. Powlekane formy i rdzenie są w większości wypalane, co ogranicza emisje. Jeśli nie są wypalane, suszenie odbywa się z wykorzystaniem wyciągu, co pozwala kontrolować emisję LZO. Powlekanie przepływowe powłokami na bazie alkoholu, a następnie wypalanie lub suszenie przedstawiono na rysunku 2.37.



Źródło: [132. HUT 2003]

Rysunek 2.37: Powlekanie przepływowe powłoką na bazie alkoholu, a następnie wypalanie lub suszenie

Suszenie powłok na bazie wody odbywa się poprzez wygrzewanie w piecu suszącym przy użyciu gorącego powietrza, podczerwieni lub mikrofal. Powlekanie zanurzeniowe rdzeni, a następnie suszenie gorącym powietrzem przedstawiono na Rysunku 2.38. Powłoki na bazie wody nie stwarzają problemów związanych z emisją ani podczas powlekania, ani suszenia. Z tych powodów powłoki wodne coraz częściej zastępują powłoki na bazie alkoholu. Ich zastosowanie napotyka jednak na ograniczenia techniczne w zakresie jakości powłoki oraz suszenia. Pełne omówienie powłok na bazie wody w porównaniu z powłokami na bazie alkoholu znajduje się w Sekcji 3.2.1.5.5. [49. Inasmet oraz CTIF 2002]



Źródło: [132. HUT 2003]

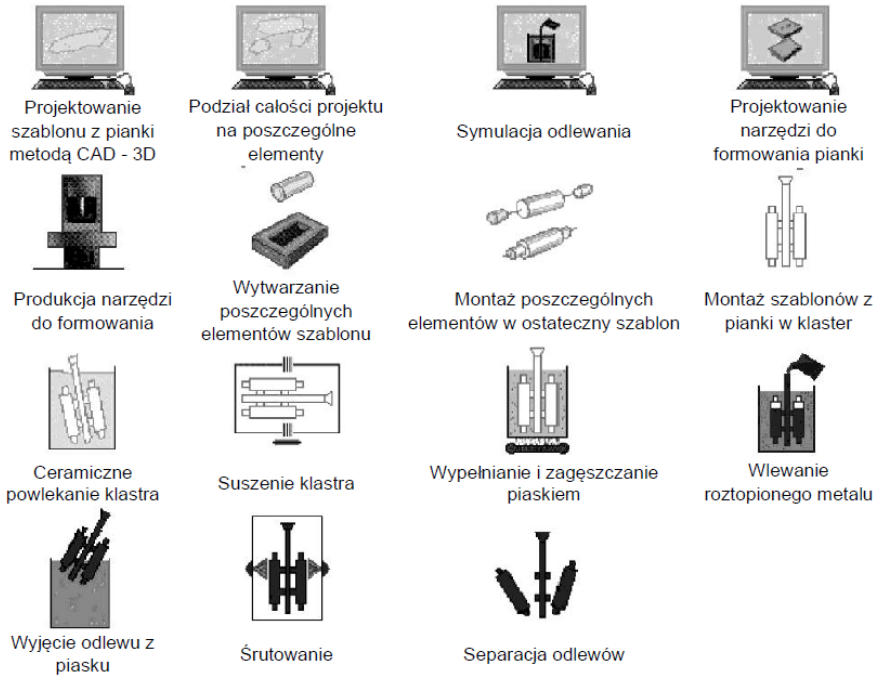
Rysunek 2.38: Powlekanie zanurzeniowe powłokami na bazie wody, a następnie suszenie w piecu z gorącym powietrzem

2.2.5.9 Odlewanie z użyciem szablonu jednorazowego użytku

W przypadku odlewania z użyciem szablonu jednorazowego użytku szablon nie jest usuwany z formy przed zalewaniem. Szablon wykonany z materiału jednorazowego użytku, ulega zniszczeniu podczas zalewania. Szablony jednorazowego użytku mogą być osadzone w chemicznie związanym piasku lub w piasku bez spoiwa, zagęszczonym przez wibracje.
Proces ten, wykorzystujący piasek bez spoiwa, jest powszechnie nazywany „odlewaniem metodą traconej pianki" i został opracowany kilkadziesiąt lat temu, a jego zastosowanie jest ograniczone. Jednak w ciągu ostatnich 10-15 lat stał się on coraz powszechniej stosowany, głównie do masowej produkcji części samochodowych lub podobnych produktów, pomimo znacznych trudności związanych z konfiguracją.

2.2.5.9.1 Piasek niezwiązany – proces odlewania metodą traconej pianki

Proces odlewania metodą traconej pianki (Rysunek 2.39) rozpoczyna się od projektu 3D-CAD oraz stworzenia precyzyjnie uformowanego szablonu wykonanego ze spienionego polistyrenu (*expanded polystyrene, EPS*) lub PMMA (polimetakrylanu metylu, potocznie znanego jako akryl lub pleksi), produkowanego przez zautomatyzowane wtryskarki. Szablony mogą być wykonane z jednego elementu lub poprzez montaż wielu części z użyciem klejów. W tym ostatnim przypadku kilka szablonów, w zależności od rozmiaru, jest przymocowanych do systemu wlewowego, wykonanego z tego samego materiału co szablon, tworząc w ten sposób klaster.



Źródło: [38, Vito 2001].

Rysunek 2.39: Proces odlewania metodą traconej pianki

Klastry są zanurzane w powłoce ogniotrwałej na bazie wody, która podczas zalewania tworzy barierę między roztopionym metalem a piaskiem. Po wyschnięciu, klaster jest umieszczany w kolbie formierskiej, która jest wypełniona niezwiązanym piaskiem. Do piasku można dodać żywicę o niskiej lepkości, aby zapobiec deformacji podczas zagęszczania. Piasek jest zagęszczany przez trójosiowe wibracje wokół szablonów, penetrując otwory i odtwarzając dokładnie wszystkie szczegóły, dzięki czemu rdzeń i sprzęt do produkcji rdzeni stają się zbędne. Podczas zalewania stopiony metal powoduje pirolizę polistyrenu i wypełnia opróżnioną przestrzeń.

Piasek, głównie kwarcowy, musi być bardzo przepuszczalny, aby zapewnić odprowadzanie gazów pirolitycznych. Stosowany jest piasek o liczbie AFS 35-50. Przerwanie zalewania może spowodować zapadnięcie się formy piaskowej. Dlatego też często stosuje się automatyczny system odlewania.

Odlewy charakteryzują się bardzo dobrą precyzją wymiarową, jak to pokazano na Rysunku 2.40. Technika ta może być stosowana do każdego rodzaju stopu i jest wykorzystywana do produkcji średnich i dużych serii. Proces jest przyjazny dla środowiska podczas wykonywania form, ale powoduje emisję gazów podczas zalewania i wytrząsania, ze względu na wyparowanie szablonów jednorazowego użytku. Odlewanie metodą traconej pianki umożliwia producentom odlewów metalowych wytwarzanie złożonych części, co często nie byłoby możliwe przy użyciu innych metod. Proces ten pozwala projektantom na opracowanie bardziej złożonych kształtów, zmniejszenie zapotrzebowania na obróbkę skrawaniem oraz minimalizację operacji montażowych. Aby zapewnić stałą, wysoką jakość odlewów, na każdym etapie procesu muszą być przeprowadzane odpowiednie kontrole. Brak dogłębnej wiedzy w całej branży na temat tego, jak ustanowić odpowiednie środki kontroli, spowolnił wdrażanie procesu odlewania metodą traconej pianki.

[14. CAEF 1997], [38. Vito 2001], [50. US Dept. of Energy 1998]



Źródło: [132. HUT 2003]

Rysunek 2.40: Odlew z użyciem szablonu jednorazowego użytku (R) dla procesu odlewania metodą traconej pianki oraz przykład odlewu wykonanego tą metodą (L).

2.2.5.9.2 Piasek chemicznie związany – proces odlewania metodą pełnej formy

Szablony jednorazowego użytku mogą być również wykorzystywane do produkcji jednoczęściowych prototypów, pozwalając tym samym na skrócenie czasu dostawy. Ponadto technika ta może być stosowana do produkcji bardzo dużych elementów, takich jak podstawy maszyn do obróbki metalu, prasy itp. z żeliwa, stali lub stopów nieżelaznych. Grubość ścianki może wynosić od 5 do 1000 mm. Przy użyciu tej techniki odlewano elementy o masie do 50 ton. Do produkcji tak dużych elementów konieczne jest zastosowanie spoiwa (furanowego) celem uzyskania niezbędnej wytrzymałości formy.
Proces z piaskiem chemicznie związanym, zwany „procesem odlewania metodą pełnej formy", jest najczęściej stosowany do produkcji odlewów o średnich lub dużych rozmiarach, w produkcji jednostkowej lub przy małych seriach.
Szablony są wykonywane z materiałów jednorazowego użytku o niskiej gęstości, takich jak:

- biały, spieniony polistyren o gęstości 16 - 20 g/dm^3;
- niebieski, spieniony polistyren, zwany również „poresta-blue", o gęstości 18-22 g/dm^3;
- spieniony polimetakrylan metylu, zwany również PMMA, o gęstości 25 g/dm^3.

Materiały te są wycinane w postaci różnych elementów, które są następnie łączone i sklejane ze sobą za pomocą topliwego kleju, tworząc w ten sposób ostateczny kształt odlewu i biorąc pod uwagę ewentualny skurcz metalu.
Zmontowany szablon, wraz z systemem wlewowym i podającym, musi zostać pokryty, głównie systemem powlekania na bazie wody, i dokładnie wysuszony przed osadzeniem w piasku. Proces wiązania piasku musi być specjalnie dobrany, aby uniknąć gromadzenia się wilgoci w szablonie przed zalewaniem.
Sam proces, jeśli chodzi o wykonywanie form, jest bardzo przyjazny dla środowiska, ale powoduje emisję gazów podczas zalewania i wytrząsania, ze względu na wyparowywanie szablonów jednorazowego użytku oraz niszczenie spoiwa piaskowego.
Proces odlewania metodą pełnej formy ma następujące zalety:

- wysoka precyzja wymiarów;
- tworzenie złożonych geometrii, zwłaszcza wnęk wewnętrznych;
- integracja kilku części w jeden odlewany element;
- redukcja lub wykluczenie krawędzi oddzielających;
- możliwość regeneracji piasku.

Pomimo faktu, że techniki traconej pianki i pełnej formy są znane od dawna, nie są one powszechnie stosowane w Europie. Dzieje się tak głównie dlatego, że ich optymalizacja wymaga wielu badań i rozwoju. Główne trudności to:

- zdefiniowanie gamy produktów, czyli określenie, które elementy można wykonać łatwiej w porównaniu z tradycyjnymi metodami;
- wybór techniki zagęszczania, czyli metody dodawania piasku celem idealnego wypełnienia wszystkich ubytków;
- wybór rodzaju powłoki i piasku, które powinny mieć wystarczającą przepuszczalność gazu, aby umożliwić ucieczkę spalin.

[38. Vito 2001]

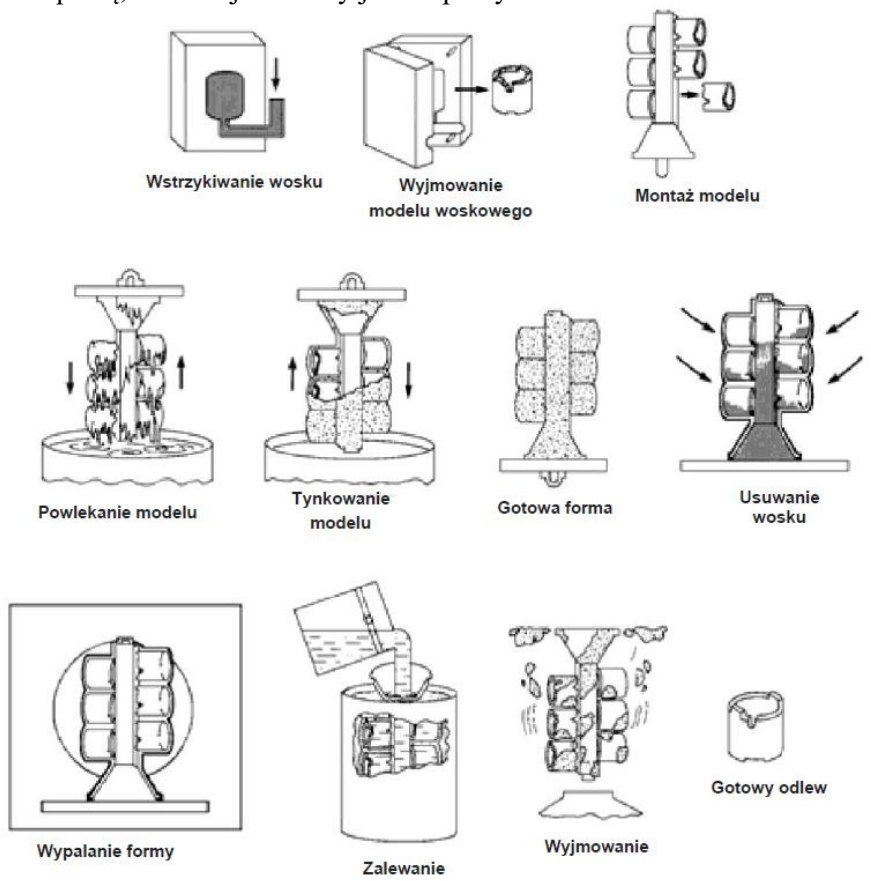
2.2.5.10 Przygotowywanie form trwałych (metalowych)

Formy trwałe wykonywane są z metalowych elementów dostosowanych do kształtu odlewu, których montaż umożliwia wykonywanie form, zalewanie i wyjmowanie odlewu. Tego rodzaju metalowe formy stosowane są do odlewania grawitacyjnego, wysokociśnieniowego, odśrodkowego, ciągłego oraz do odlewania pod niskim ciśnieniem. W przeciwieństwie do form piaskowych, mogą być one wielokrotnie używane i z tego powodu nazywane są formami trwałymi.
Jeśli kształt odlewu nie może być łatwo wykonany przy użyciu metalowych trzpieni odlewniczych, można użyć trzpieni piaskowych. Na przykład, trzpienie piaskowe są używane do formowania poszerzenia rur odlewanych odśrodkowo.
Formy trwałe są zazwyczaj powlekane „białą lub czarną powłoką". Te środki antyadhezyjne na bazie wody

są oparte na materiale ogniotrwałym w przypadku białej powłoki i na bazie grafitu w przypadku powłoki czarnej. Ich funkcją jest zapewnienie ochrony matrycy, regulacja chłodzenia matrycy poprzez odparowanie wody oraz zapewnienie smarowania. Działają również jako związki rozdzielające.
W kilku przypadkach czernienie jest zapewniane przez spalanie acetylenu przy braku powietrza, wytwarzając czerń acetylenową, która częściowo przywiera do matrycy. Nieprzywierająca czerń musi zostać zebrana i przefiltrowana przed emisją.
Formy trwałe (lub matryce) zazwyczaj nie są wykonywane w odlewni, chociaż odlewnie posiadają warsztat do montażu, konserwacji i naprawy takich matryc. Ten rodzaj działalności nie generuje jednak żadnych skutków dla środowiska.

2.2.5.11 Odlewanie precyzyjne i ceramiczna powłoka

Proces ten stosuje się do produkcji skomplikowanych, cienkich elementów o wysokiej dokładności wymiarowej, drobnych szczegółach i bardzo gładkich powierzchniach.
Etapy procesu pokazano na Rysunku 2.41. Rozpoczynają się od wykonania szablonów jednorazowego użytku z wosku, poprzez wtryskiwanie stopionego wosku do aluminiowej lub epoksydowej formy w celu uzyskania szablonu, który jest praktycznie dokładną repliką pożądanego odlewu. Wosk może zawierać wypełniacze. W przypadku mniejszych odlewów kilka szablonów woskowych mocuje się do systemu wlewowego z wosku. Aby ułatwić wyjęcie modelu woskowego, stosuje się rozpuszczalne w wodzie środki antyadhezyjne.
Szablony woskowe są czyszczone wodą lub rozpuszczalnikiem organicznym i pokrywane środkiem zwilżającym, który ułatwia przyleganie zawiesiny ceramicznej do wosku. Następnie klaster zanurza się w ciekłej zawiesinie ceramicznej, pokrywa granulowanym krzemionką, cyrkonem lub ogniotrwałymi materiałami z tlenku glinu/krzemionki, a następnie suszy przed nałożeniem kolejnej warstwy. Proces powlekania kontynuuje się do uzyskania wystarczająco grubej powłoki.
Wysuszona forma jest następnie pozbawiana wosku poprzez umieszczenie jej w autoklawie parowym, w którym szablony woskowe są topione, lub w „piecu zawiesinowym", w którym wosk może zostać częściowo spalony. Następnie skorupa jest wypalana w piecu w wysokiej temperaturze. Powoduje to wypalenie resztek wosku i utwardzenie ceramiki, pozostawiając jednoczęściową ceramiczną formę skorupową, do której wlewany jest stopiony metal w celu uformowania odlewu.



Źródło: [38. Vito 2001].

Rysunek 2.41: Proces odlewania precyzyjnego

W procesie tym zanieczyszczenie powietrza może wystąpić podczas dwóch operacji: odlewania i usuwania wosku.

Odlewanie

Płynna zawiesina ceramiczna składa się ze spoiwa i bardzo drobnego proszku ogniotrwałego, zredukowanego do postaci szlamu poprzez ciągłe mieszanie. Spoiwem może być krzemionka koloidalna, hydrolizowany krzemian etylu lub hydrolizowany krzemian sodu, a wybór zastosowanej technologii zależy od względów technicznych. W przypadku stosowania krzemianu etylu suszenie przebiega szybciej, co pozwala na zwiększenie częstotliwości cykli, ale powstają opary alkoholu etylowego. Opary te, jeśli występują w zbyt dużej ilości, muszą być zbierane i oczyszczane przed emisją.

Usuwanie wosku i wypalanie

Usuwanie wosku za pomocą autoklawu parowego (pieca zawiesinowego) nie ma znaczącego wpływu na powietrze. Nie dotyczy to jednak sytuacji, gdy usuwanie wosku odbywa się w piecu wypalającym, podczas wypalania powłoki, gdzie spalane są pozostałości wosku.

Spalanie to często odbywa się w warunkach niedostatecznego dopływu powietrza, co powoduje powstawanie cząstek sadzy. Cząstki te muszą być zebrane i zniszczone poprzez dopalanie lub usunięte. Do tego celu z powodzeniem stosuje się filtry ceramiczne, które są przystosowane do wysokich temperatur gazów wydechowych, jednak ta najnowsza technologia nie jest jeszcze powszechnie stosowana.

Technika ta jest stosowana np. w odlewnictwie precyzyjnym i artystycznym. Nie jest ona zazwyczaj stosowana w odlewniach o dużej wydajności (> 20 ton/dobę), dlatego też została tutaj wspomniana jedynie w celach informacyjnych.

Proces powlekania ceramicznego/ceramicznej powłoki (opatentowany jako Replicast®) rozszerza jakość i precyzję odlewania precyzyjnego na większe elementy, wykorzystując połączenie zasad odlewania metodą traconej pianki i odlewania precyzyjnego. Technika ta wykorzystuje obojętną, wypaloną formę ceramiczną. Aby stworzyć formę, produkuje się replikę wymaganego elementu z ekspandowanego polistyrenu, która jest precyzyjna wymiarowo i ma wysoką jakość wykończenia powierzchni. Nie są wymagane żadne linie podziału ani rdzenie, ani kąty pochylenia, a repliki polistyrenowe można sklejać ze sobą, tworząc złożone geometrie. Polistyren jest wypalany przed odlewaniem, co pozwala na odlewanie w formie szerokiej gamy stopów - od stali nierdzewnej o ultra-niskiej zawartości węgla po stopy na bazie niklu. Jest to przeciwieństwo procesu odlewania metodą traconej pianki, w którym ciekły metal konsumuje i zastępuje szablon polistyrenowy, co sprawia, że nie nadaje się on do większości elementów stalowych (polistyren składa się w 92% z węgla).

[117. Castings Technology International 2003]

2.2.6 Odlewanie

Zalewanie jest podstawową czynnością w produkcji odlewów. Gotowa forma jest wypełniana ciekłym metalem pod wpływem siły grawitacji lub odśrodkowej albo pod ciśnieniem. Po zalaniu odlew jest schładzany w celu zestalenia, a następnie wyjmowany z formy w celu dalszego schładzania i obróbki.

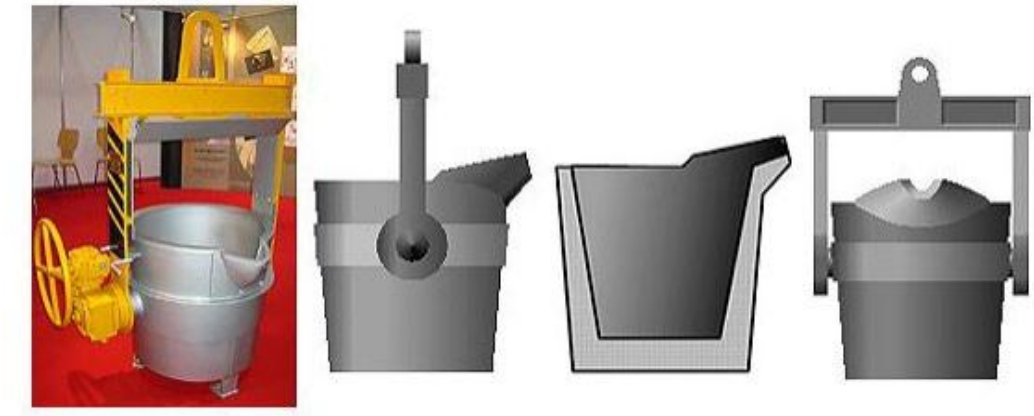
[14. CAEF 1997]

2.2.6.1 Odlewanie w formach traconych (jednorazowego użytku)

2.2.6.1.1 Zalewanie

Do zalewania płynnego metalu stosuje się zazwyczaj dwa rodzaje kadzi: kadzie z wylewką i kadzie czajnikowe. Trzeci rodzaj (tj. kadź zatyczkowa) jest bardziej charakterystyczny dla stali.

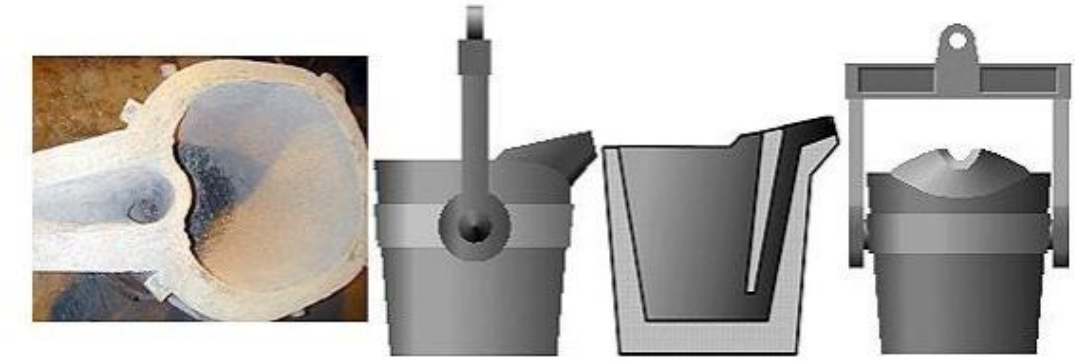
- *Kadź z wylewką*: W tego typu kadziach (Rysunek 2.42) metal jest ładowany do poziomu wylewki, a wypływ jest kontrolowany poprzez przechylanie kadzi za pomocą koła ręcznego z przekładnią. Ponieważ metal wypływa z górnej części kadzi, powierzchnia metalu musi być wolna od żużla lub należy użyć zgarniacza, aby zapobiec przedostawaniu się żużla do formy. Kadzie z wylewką są używane do zalewania małych odlewów stalowych.



Źródło: [132. HUT 2003]

Rysunek 2.42: Kadź z wylewką do zalewania stopionym metalem

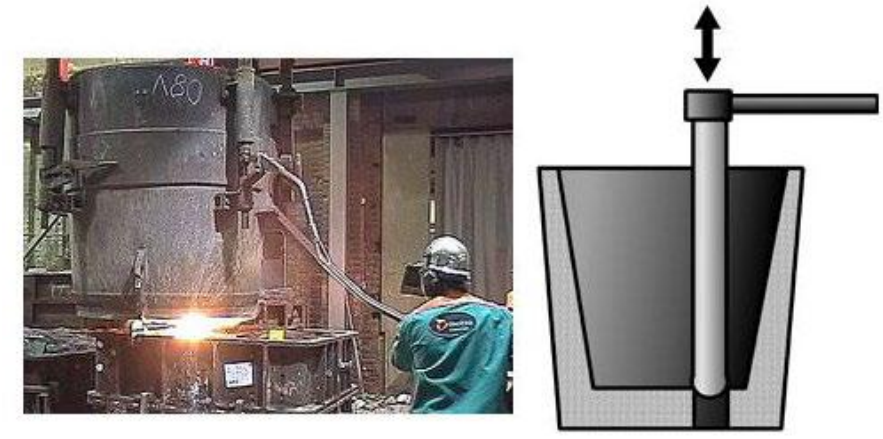
- *Kadź czajnikowa (syfonowa):* Jak pokazano na Rysunku 2.43, , ogniotrwała przegroda ulokowana przed wylewką gwarantuje, że metal jest pobierany z dna kadzi, dzięki czemu strumień jest wolny od żużlu. Stopiony metal jest zazwyczaj czystszy niż w przypadku kadzi z wylewką. Wadą tego rozwiązania jest to, że wąska wylewka może czasami powodować zamarzanie ciekłej stali, jeśli spust jest zimny lub zalewanie trwa zbyt długo.



Źródło: [132. HUT 2003]

Rysunek 2.43: Kadź czajnikowa do zalewania stopionym metalem

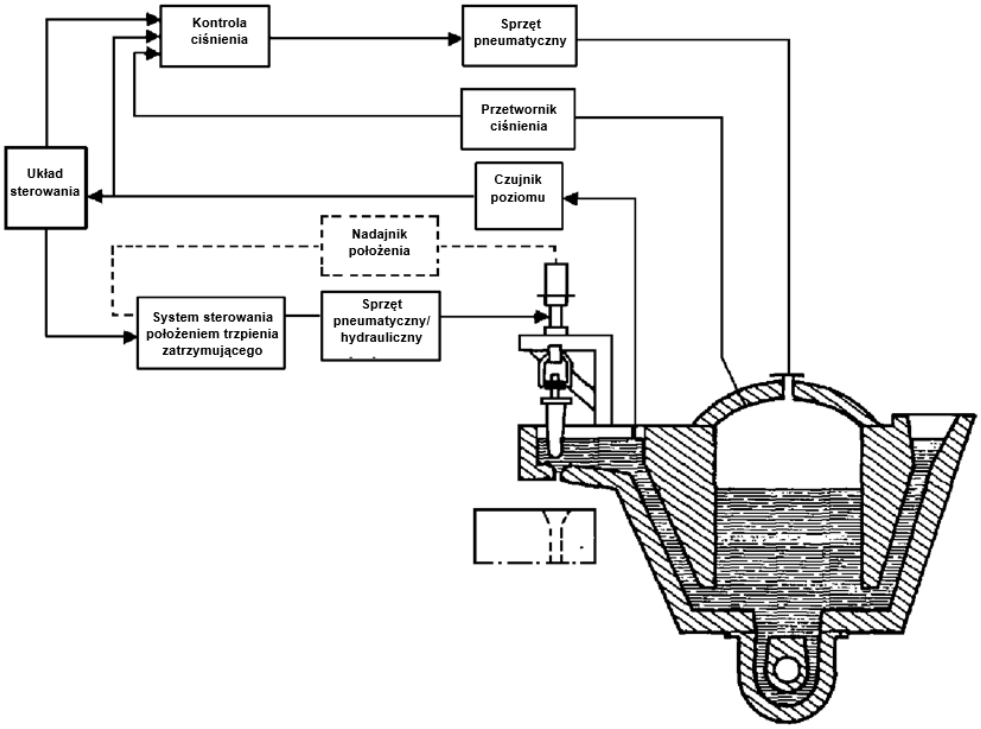
- *Kadź zatyczkowa*: Kadź jest wyposażona w dyszę do zalewania umieszczoną w podstawie, wyposażoną w zatyczkę w postaci pręta z materiału ogniotrwałego. Metal jest pobierany z dna, dzięki czemu jest wolny od żużlu, a elementy niemetalowe, takie jak produkty odtleniania, mogą wypływać z topionego metalu. Strumień metalu płynie w dół, dzięki czemu podczas zalewania nie dochodzi do jego przemieszczania. Wadą jest to, że prędkość i natężenie przepływu zmieniają się podczas zalewania wraz ze zmianą ciśnienia ferrostatycznego.



Źródło: [132. HUT 2003]

Rysunek 2.44: Kadź zatyczkowa do zalewania stopionym metalem

Automatyczne linie odlewnicze są często wyposażone w piec odlewniczy. Zasada działania jednego z przykładowych pieców została przedstawiona na Rysunku 2.45. Linia odlewania zatrzymuje się, gdy forma znajduje się we właściwej pozycji, tj. pod wylotem zalewania. Metal jest wylewany przez określony czas poprzez podniesienie korka. Ponieważ poziom metalu w odbiorniku odlewniczym jest utrzymywany na stałym poziomie, do formy wlewana jest stała objętość stopionego metalu. Poziom metalu w piecu jest kontrolowany przez pływak, kontrolujący ciśnienie gazu wewnątrz pieca. Piec odlewniczy jest napełniany metalem z pieca do topienia w ustalonych odstępach czasu. [38. Vito 2001], [73. Brown, J. R. 2000]



Źródło: [38. Vito 2001].

Rysunek 2.45: Piec odlewniczy

2.2.6.1.2 Krzepnięcie (pierwsze chłodzenie)

Zalane formy są transportowane wzdłuż linii formierskiej na linie chłodzące. Długość linii chłodzącej decyduje o końcowej temperaturze odlewu w momencie wytrząsania. Temperatura ta musi być wystarczająco niska, aby zapewnić odlewowi odpowiednią wytrzymałość podczas wytrząsania i dalszej obróbki.
Duże formy nie są przemieszczane podczas chłodzenia. Czas chłodzenia może wynosić do kilku dni. [38. Vito 2001]

2.2.6.1.3 Wytrząsanie

W przypadku odlewania indywidualnego formy gliniane lub związane chemicznie można zazwyczaj zniszczyć za pomocą wibracji. W większości przypadków odbywa się to poprzez umieszczenie skrzynki formierskiej na kratownicy wibracyjnej za pomocą dźwigu. W wyniku wibracji piasek oddziela się od odlewu i skrzynki formierskiej. Odlew i skrzynka formierska pozostają na prętach kratownicy, natomiast piasek spada i jest ponownie przetwarzany. Odlew jest zazwyczaj transportowany do strefy chłodzenia w celu dalszego schłodzenia w powietrzu otoczenia (drugie chłodzenie).
Podobną procedurę wytrząsania stosuje się często w systemach zmechanizowanych i starszych automatycznych systemach o małej wydajności (Rysunek 2.46). W tym przypadku skrzynki formierskie są zdejmowane z przenośników taśmowych za pomocą wciągników lub innego sprzętu transportowego i umieszczane na wibratorach. Na koniec odlewy pozostawia się do ostygnięcia lub umieszcza w urządzeniu do chłodzenia odlewów. W wielu systemach odlew piaskowy jest wyciskany z skrzynki formierskiej, a potem następuje kontrolowane chłodzenie odlewów i piasku w połączonych lub oddzielnych urządzeniach chłodzących, takich jak bębny chłodzące, rury wahadłowe, przenośniki łańcuchowe, chłodnice ze złożem fluidalnym itp.



Źródło: [132. HUT 2003]

Rysunek 2.46: Wybijanie na końcu zautomatyzowanej linii formierskiej

Formy piaskowe łączone próżniowo są niszczone poprzez uwolnienie próżni. Wiadro odlewnicze lub skrzynka formierska zawierająca luźny piasek i odlew są opróżniane, a następnie odlew jest schładzany jedną z opisanych metod. [14. CAEF 1997]

2.2.6.1.4 Chłodzenie odlewów (drugie chłodzenie)

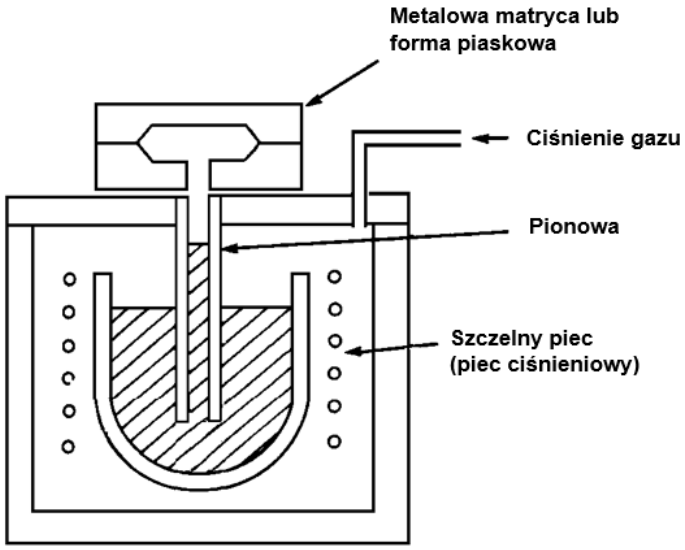
Kontrolowane chłodzenie odlewów i piasku odbywa się w bębnach obrotowych, bębnach wahadłowych lub na przenośnikach wahadłowych. Odlew jest chłodzony w przenośnikach wahadłowych lub w koszach wyciągów linowych. W wielu przypadkach do chłodzenia stosuje się strumień powietrza, często skierowany w kierunku przeciwnym do przemieszczania się odlewu. W niektórych przypadkach stosuje się drobne strumienie wody w celu zwiększenia efektu chłodzenia.

2.2.6.2 Odlewanie w formach trwałych

2.2.6.2.1 Odlewanie grawitacyjne i niskociśnieniowe

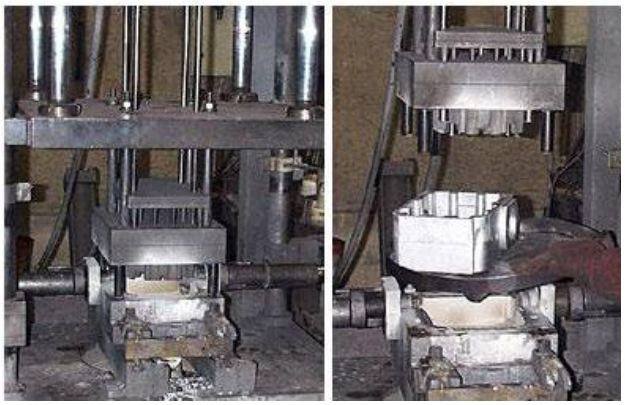
Odlewanie grawitacyjne i niskociśnieniowe (pod niskim ciśnieniem) wykorzystuje stałą stalową matrycę, do której roztopiony materiał jest wlewany pod wpływem grawitacji lub gazu pod niskim ciśnieniem. Rdzenie piaskowe mogą być wykorzystywane do tworzenia podcięć i złożonych kształtów wewnętrznych w odlewach. Ze względu na szybki proces krzepnięcia, odlewy w formach trwałych mają gęstą, drobnoziarnistą strukturę o dobrych właściwościach wytrzymałościowych.

Zasada odlewania pod niskim ciśnieniem została przedstawiona na Rysunku 2.47. Metalowa matryca jest zamontowana nad szczelnym piecem zawierającym stopiony metal. Wyłożona materiałem ogniotrwałym pionowa rura doprowadzająca rozciąga się od dołu matrycy do stopionego metalu. Gdy powietrze jest wprowadzane do pieca pod niskim ciśnieniem (15-100 kPa), stopiony metal unosi się w górę rury, aby wpłynąć do wnęki matrycy z niską turbulencją, a powietrze z matrycy uchodzi przez otwory wentylacyjne i przegrody matrycy. Gdy metal zestali się, ciśnienie powietrza jest uwalniane, pozwalając wciąż stopionemu metalowi w rurze wznoszącej spaść z powrotem do pieca. Po dalszym czasie chłodzenia, matryca jest otwierana i odlew jest wyciągany. Ze względu na brak podajników i taśm nośnych, wydajność odlewania jest wyjątkowo wysoka, zwykle ponad 90%. Możliwe jest uzyskanie dobrej dokładności wymiarowej i wykończenia powierzchni, a złożone odlewy mogą być wykonywane przy użyciu rdzeni piaskowych. Technika ta jest zwykle stosowana do odlewów aluminiowych, np. części samochodowych, takich jak koła, głowice cylindrów i obudowy silników elektrycznych, a także do domowych naczyń kuchennych. Aby zoptymalizować uwalnianie i chłodzenie odlewu, matryca musi być powlekana. Na ogół powłoka matrycy jest nakładana raz na zmianę. Żywotność matrycy wynosi zwykle około 30 000 - 50 000 odlewów. Przykład maszyny do odlewania pod niskim ciśnieniem przedstawiono na Rysunku 2.48.



Źródło: [[74. Brown, J. R. 1999]

Rysunek 2.47: Zasada działania maszyny do odlewania pod niskim ciśnieniem



Źródło: [132. HUT 2003]

Rysunek 2.48: Maszyna do odlewania pod niskim ciśnieniem

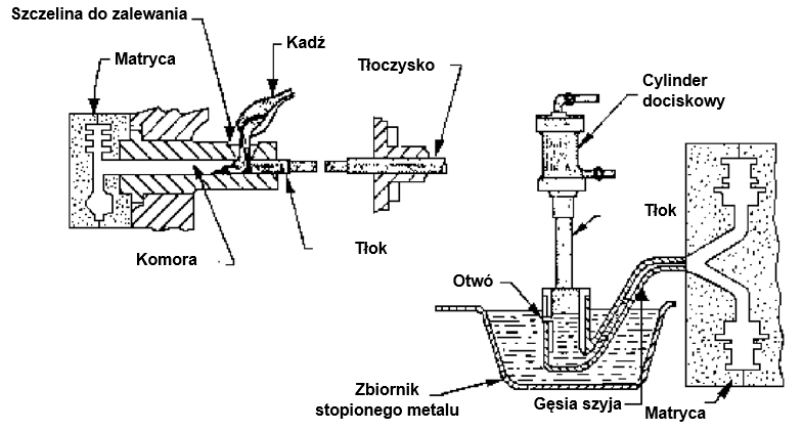
W przypadku odlewania grawitacyjnego, stopiony metal jest grawitacyjnie wlewany do formy trwałej lub matrycy. Maszyny do odlewania grawitacyjnego obejmują zarówno proste, ręcznie obsługiwane zestawy matryc z mechanizmem zębatkowym i ręcznie obsługiwane, jak i maszyny karuzelowe, które zwykle mają mechanizm przechylający do napełniania matrycy i które często są obsługiwane za pomocą robota do zalewania. Matryce są pokryte powłoką ogniotrwałą, która kontroluje szybkość chłodzenia. Czas przed wyjęciem odlewu z matrycy waha się od 4 do 10 minut w zależności od rodzaju odlewu. Proces ten jest zatem stosunkowo powolny w porównaniu do odlewania ciśnieniowego. Aby osiągnąć rozsądną wydajność, operator obsługuje od dwóch do czterech zestawów matryc w sekwencji, co pozwala na wykonanie od 30 do 60 odlewów na godzinę. Automatyczne maszyny karuzelowe mogą mieć od czterech do sześciu stacji z wieloma zestawami matryc, co pozwala na osiągnięcie tempa produkcji około jednego odlewu na minutę. Proces ten jest najczęściej stosowany w odlewaniu aluminium w seriach od 1 000 do ponad 100 000 sztuk rocznie, na przykład do kolektorów, głowic cylindrów, pomp wodnych.
Powłoki form trwałych są zwykle formowane przy użyciu wody jako nośnika, spoiwa wysokotemperaturowego (zwykle krzemianu sodu) i ogniotrwałego wypełniacza lub mieszanki wypełniaczy. Istnieją dwie kategorie powłok:

- izolacyjne: zawierające mieszanki minerałów izolacyjnych, takich jak talk, mika, ziemia okrzemkowa, dwutlenek tytanu, tlenek glinu itp.;
- smarujące: na bazie koloidalnego grafitu lub azotku boru, wspomagające uwalnianie odlewu.

Powłoki są zazwyczaj natryskiwane na matrycę. Zwrócenie szczególnej uwagi na przygotowanie matrycy, przygotowanie i nakładanie powłoki oraz rodzaj używanego sprzętu do powlekania może przynieść znaczące korzyści w zakresie jakości i produktywności.
[74. Brown, J. R. 1999]

2.2.6.2.2 Odlewanie wysokociśnieniowe

Termin „odlewanie ciśnieniowe” często oznacza „odlewanie wysokociśnieniowe (odlewanie pod wysokim ciśnieniem, HPDC)”. Proces ten wykorzystuje stałą matrycę (metalową formę), do której stopiony metal jest wtłaczany pod wysokim ciśnieniem. Zastosowanie wysokiego ciśnienia powoduje wysoki i turbulentny przepływ metalu, co pozwala na produkcję odlewów o dużej powierzchni i małej grubości ścianek. Matryce są zwykle wykonane z dwóch bloków staliwa, z których każdy zawiera część wnęki, i które są blokowane razem podczas wykonywania odlewu. Ze względu na wysokie ciśnienie metalu, maksymalny rozmiar odlewu jest ograniczony przez maksymalną siłę blokującą połówek odlewu. Chowane i wyjmowane rdzenie są używane do formowania powierzchni wewnętrznych. Ze względu na wysokie ciśnienie metalu, można stosować tylko metalowe rdzenie. Ogranicza to złożoność odlewanego elementu. Metal jest utrzymywany pod ciśnieniem, aż ostygnie i zestali się. Następnie połówki matrycy są otwierane i odlew jest usuwany, zwykle za pomocą automatycznego systemu wyrzucania. Przed użyciem matryce są wstępnie podgrzewane i smarowane, a także chłodzone powietrzem lub wodą w celu utrzymania pożądanej temperatury roboczej. Ponadto, aby utrzymać temperaturę roboczą w wysokociśnieniowych formach wtryskowych (HPDC), często stosuje się termoregulację olejem diatermicznym. Stosowane są dwa podstawowe typy maszyn HPDC: z gorącą lub zimną komorą (zob. Rysunek 2.49).



Źródło: [18, US EPA 1998].

Rysunek 2.49: Wysokociśnieniowe urządzenia odlewnicze z komorą zimną i gorącą

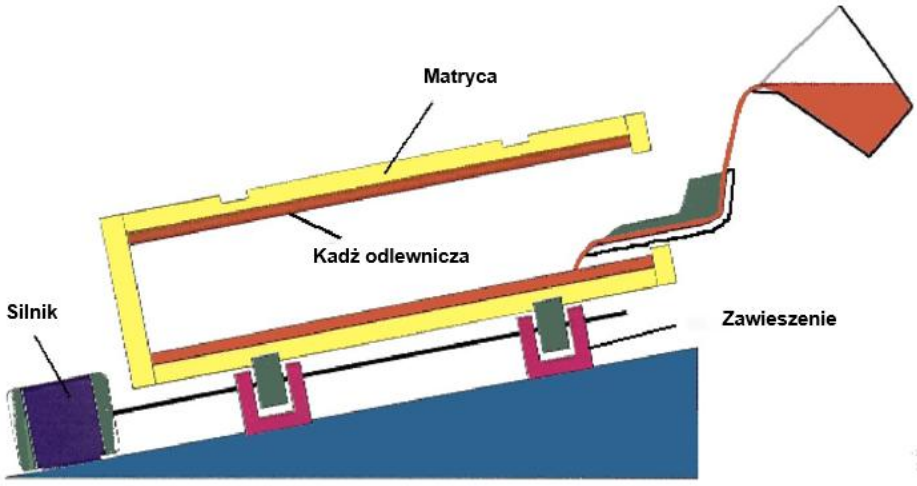
Maszyny HPDC z gorącą komorą składają się ze zbiornika stopionego metalu, matrycy i urządzenia przenoszącego metal, które automatycznie pobiera stopiony metal ze zbiornika i wtłacza go pod ciśnieniem do matrycy. Do wytworzenia niezbędnego ciśnienia w matrycy wykorzystywany jest stalowy tłok i system cylindrów z tzw. gęsią szyją. Maszyna z gęsią szyją wykorzystuje żeliwny kanał do przenoszenia stopionego metalu ze zbiornika do matrycy. Ciśnienie może wynosić od kilku barów do ponad 350 barów. Techniki z gorącą komorą są stosowane głównie do stopów cynku i magnezu.
Maszyny HPDC z zimną komorą mają zbiorniki stopionego metalu oddzielone od maszyny odlewniczej. Metal w ilości wystarczającej do wykonania jednego odlewu jest wlewany lub dozowany do kadzi lub małej komory, z której jest wtłaczany do matrycy pod wysokim ciśnieniem. Ciśnienie jest wytwarzane przez układ hydrauliczny połączony z tłokiem i zazwyczaj mieści się w zakresie od kilkuset barów do 700 barów. W maszynach z zimną komorą metal znajduje się tuż powyżej temperatury topienia i jest w stanie przypominającym breję.
Ponieważ metal jest w kontakcie z tłokiem i cylindrem tylko przez krótki czas, proces ten ma zastosowanie głównie do stopów aluminium, a w mniejszym stopniu do stopów magnezu, cynku, a nawet stopów o wysokiej temperaturze topnienia, takich jak mosiądze i brązy.
Odpowiednie smarowanie matryc i tłoków jest niezbędne do udanego odlewania wysokociśnieniowego. Smarowanie matrycy wpływa na jakość, gęstość i wykończenie powierzchni odlewu, łatwość wypełniania wnęki i łatwość wyrzucania odlewu. Odpowiednie smarowanie może również przyspieszyć odlewanie, zmniejszyć wymagania konserwacyjne i ograniczyć gromadzenie się materiału na powierzchni matrycy. Chociaż konkretne formuły są zastrzeżone, ogólnie smary (zwane również środkami antyadhezyjnymi) są mieszaniną smaru i materiału nośnego. Formuły mogą również zawierać dodatki hamujące korozję, zwiększające stabilność podczas przechowywania i odporność na degradację bakteryjną. Materiały smarne to zazwyczaj oleje mineralne i woski w emulsjach wodnych. Oleje silikonowe i woski syntetyczne znajdują coraz szersze zastosowanie. Obecnie stosowane są zarówno smary na bazie wody, jak i rozpuszczalników. Smary na bazie wody dominują jednak na rynku (95%). Smar jest nakładany na otwartą matrycę poprzez

rozpylanie, pomiędzy każdym wtryskiem roztopionego metalu. Stosowane są rozcieńczone roztwory smaru (stosunek 1:20 - 1:200 środka antyadhezyjnego do wody). Tam, gdzie to możliwe, stosuje się mikrorozpylanie. Przy odpowiedniej geometrii odlewu, może być możliwe użycie systemów bezwodnych, ponieważ zapewniają one dobre wyjmowanie z formy i smarowanie. Często stosuje się wszystkie rodzaje środków antyadhezyjnych w zależności od odlewu i późniejszych procesów.
Obecnie dostępne są również elektrostatyczne suche powłoki proszkowe. Przy użyciu tej techniki, minimalna ilość suchego smaru (np. 0,3 - 0,5 g/kg wtryskiwanego aluminium) jest nakładana na formę w temperaturze 250 °C przy użyciu elektrostatycznego osadzania. Po wejściu w kontakt z gorącą formą, rozprowadzona elektrostatycznie powłoka proszkowa topi się tworząc wysoce wydajną warstwę antyadhezyjną, bez tworzenia pozostałości i powstawania nagaru. Stanowi to znaczącą przewagę nad systemami smarowania na bazie wody. [193. Neto i in. 2009] Ponadto, eliminując stosowanie środków antyadhezyjnych na bazie wody, unika się emisji mgły olejowej i ścieków.
Odlewanie wysokociśnieniowe nie ma zastosowania do żeliwa i staliwa oraz innych stopów o wysokiej temperaturze topienia. Technika ta znajduje szerokie zastosowanie w przypadku odlewów aluminiowych, magnezowych i cynkowych. Matryce są drogie, ale mogą mieć żywotność 150 000 lub więcej odlewów. Proces ten jest zatem najbardziej odpowiedni dla długich serii odlewów. Co więcej, HPDC produkuje odlewy, które mają wysoki stopień dokładności wymiarowej i jakości powierzchni, co może pomóc zredukować lub wyeliminować kosztowne etapy obróbki skrawaniem. Wreszcie, metodą HPDC można wytwarzać odlewy o stosunkowo cienkich ściankach. Może to skutkować znacznymi oszczędnościami w kosztach materiałów i zmniejszeniem masy komponentów.
W rzeczywistym procesie HPDC generowanych jest stosunkowo niewiele odpadów. Podczas wtryskiwania metalu dochodzi jednak do pewnych emisji gazów i oparów. Opary tlenku metalu powstają, gdy część metalu odparowuje i skrapla się. Emisje gazowe mogą pochodzić z samego stopionego metalu, wydzielania się substancji chemicznych ze smaru rozpylanego na gorącą metalową matrycę i stykającego się ze stopionym metalem. Emisje do wody mogą wystąpić w wyniku wycieku lub rozlania oleju hydraulicznego lub grzewczego oraz wody chłodzącej.
[18. US EPA 1998], [42. IHOBE 1998], [74. Brown, J. R. 1999], [120. TWG 2003], [134. CAEF 2020], [19., Neto i in. 2009]

2.2.6.2.3 Odlewanie odśrodkowe

W odlewaniu odśrodkowym forma trwała obraca się z dużą prędkością wokół własnej osi podczas wlewania metalu. Prędkość obrotowa i szybkość zalewania metalu różnią się w zależności od stopu oraz wielkości i kształtu odlewu. Oś obrotu jest zazwyczaj pozioma lub nachylona pod niewielkim kątem (Rysunek 2.50). Niektóre specjalne urządzenia wykorzystują obrót wokół osi pionowej. Powstały materiał ma bardzo gęstą strukturę i właściwości, których nie można uzyskać w odlewaniu w formach piaskowych.

Technika ta jest stosowana do produkcji wyrobów cylindrycznych z żeliwa, stali oraz stopów aluminium, miedzi i niklu. Typowe elementy wytwarzane w tym procesie to rury, kotły, zbiorniki ciśnieniowe, koła zamachowe, tuleje cylindrowe i inne elementy osiowo-symetryczne. [78. Hoppenstedt 2002].

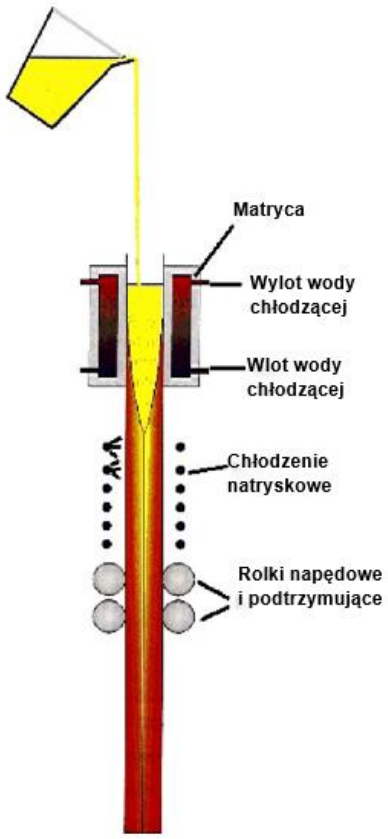


Źródło: [78. Hoppenstedt 2002].

Rysunek 2.50: Schematyczne przedstawienie maszyny do odlewania odśrodkowego

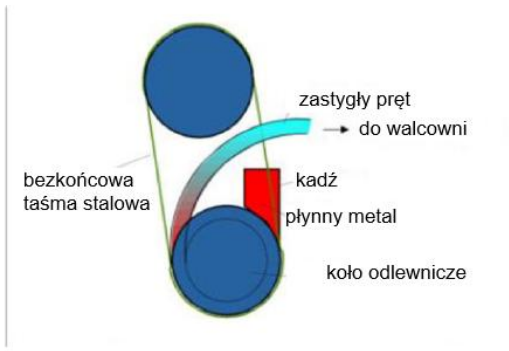
2.2.6.2.4 Odlewanie ciągłe

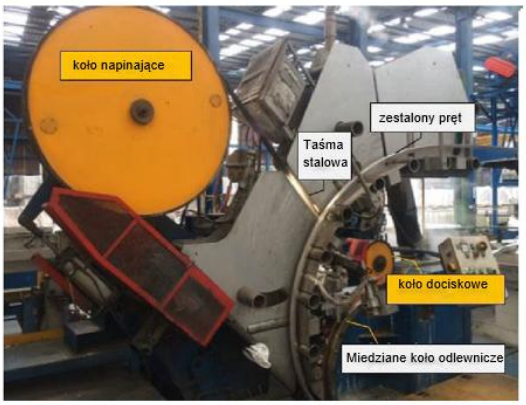
Do odlewania ciągłego stosuje się urządzenia o wysokiej wydajności, służące do produkcji prętów, rur i profili, w których dzięki szybkiemu chłodzeniu uzyskuje się materiał o drobnej strukturze i dobrych właściwościach mechanicznych. W odlewaniu ciągłym stopiony metal wlewa się do chłodzonej wodą formy, która jest otwarta od dołu lub z boku (Rysunek 2.51). matryca nadaje produktowi pożądany kształt. Dzięki intensywnemu chłodzeniu zewnętrzna część produktu metalowego krzepnie, podczas gdy jest on powoli wyciągany z matrycy. Dzięki ciągłemu zalewaniu i wyciąganiu produktu z matrycy, produkt staje się dłuższy. Palnik odcina produkt po osiągnięciu żądanej długości. Technika ta jest stosowana zarówno do odlewania metali żelaznych, jak i nieżelaznych. Stosuje się ją do odlewania prętów, płyt i blach jako ostatni etap produkcji żelaza, stali i metali nieżelaznych. Jego zastosowanie w tym kontekście opisano w dokumencie BREF NFM [1. COM 2017]. oraz BREF IS [109. COM 2013].



Rysunek 2.51: Schematyczne przedstawienie maszyny do odlewania gwintów stosowanej przy odlewach ciągłych

Jednym z najbardziej znanych procesów odlewania ciągłego stosowanych w odlewniach do produkcji walcówki aluminiowej i miedzianej jest proces Properzi. [227. ES 2021]
Ta technika odlewania ciągłego jest również wykorzystywana w przypadku stopów aluminium i innych metali, takich jak cynk i ołów. W tym odlewaniu forma jest tworzona przez obracające się koło odlewnicze z miedzi, które jest otoczone obracającym się pasem stalowym. Średnica koła odlewniczego może wynosić do 2600 mm. Ciekły metal jest dostarczany do obracającego się koła odlewniczego z miedzi (temperatura 660–740°C). Ponieważ ciekły metal jest podawany w sposób ciągły, podczas gdy koło odlewnicze i stalowy pas nieprzerwanie się obracają, pręt obraca się wraz z kołem. Zasadę działania oraz główne elementy odlewarki ciągłej przedstawiono na Rysunku 2.52.
Od momentu wprowadzenia płynnego metalu rozpoczyna się proces krzepnięcia produktu, a chłodzenie odbywa się w kontrolowany sposób poprzez dodawanie wody pod ciśnieniem z czterech stron otaczających formę. Po osiągnięciu obrotu o 180°, pręt znajduje się w pozycji odwróconej i następuje proces wyjmowania z formy pod wpływem grawitacji. Proces ten jest również wspomagany przez kurczenie się objętości pręta, gdy aluminium przechodzi ze stanu ciekłego (gęstość 2,7 g/cm^3) do stałego (gęstość pozorna/usypowa 2,3 g/cm^3). Po wyjęciu z formy odlewany pręt ma temperaturę od 350 °C do 575 °C, w zależności od warunków krzepnięcia. Jest on natychmiast walcowany na gorąco w celu uzyskania zwojów walcówki.





Źródło: [227. ES 2021]

Rysunek 2.52: Odlewanie ciągłe przy użyciu obrotowego koła odlewniczego z miedzi (po lewej) wraz z głównymi komponentami (po prawej)

Istotną zaletą tego typu odlewów jest szybkość krzepnięcia. Odlewanie tego typu jest bardziej uniwersalne w porównaniu z innymi technologiami i sprawdza się szczególnie dobrze w przypadku niskiej szybkości chłodzenia, co ma znaczenie dla uzyskania pręta o małej ziarnistości. Ze względów praktycznych istnieją jednak pewne ograniczenia tej technologii, które wpływają na szybkość chłodzenia:

- Koło odlewnicze musi pracować w określonym zakresie prędkości, aby proces przebiegał w sposób ciągły. Przy niskich prędkościach obrotowych proces chłodzenia jest szybszy i bardziej gwałtowny, co stwarza ryzyko pęknięcia pręta.
- Dodawanie wody chłodzącej można regulować, ale istnieją minimalne natężenia przepływu niezbędne do zapobiegania zgrzewaniu się aluminium z miedzianą formą koła.
- Istnieją ograniczenia dotyczące przekroju pręta i średnicy koła odlewniczego wynikające z konstrukcji walcarki.

2.2.7 Operacje po odlewaniu oraz wykańczające

Wykańczanie surowych odlewów obejmuje wszystkie zabiegi niezbędne do uzyskania gotowego produktu. W zależności od procesu mogą być wymagane różne etapy, takie jak:

- usunięcie elementów układu wlewowego;
- usunięcie resztek piasku formierskiego z powierzchni oraz pozostałości rdzenia we wnękach odlewniczych;
- usuwanie zadziorów po zalewaniu;
- naprawa błędów odlewniczych;
- przygotowanie odlewu do obróbki mechanicznej, montażu, obróbki cieplnej, powlekania itp.

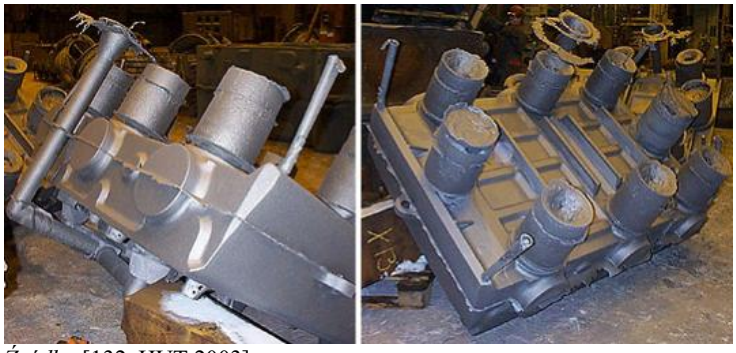
W niektórych przypadkach odlewnie zajmują się również montażem, wykańczaniem powierzchni i powlekaniem odlewów. Działania te nie zostały jednak omówione w niniejszym dokumencie. Techniki wykańczania powierzchni i powlekania zostały omówione w STM BREF [171. COM 2006] oraz STS BREF [208. COM 2020]. [38. Vito 2001], [120. TWG 2003].

2.2.7.1 Usunięcie elementów układu wlewowego

Podczas wykańczania surowych odlewów i usuwania układu jezdnego (patrz Rysunek 2.53)mają miejsce następujące operacje:

- *Uderzanie, prasowanie*: W przypadku materiałów kruchych, takich jak odlewy z żeliwa szarego i białego żeliwa ciągliwego, można zazwyczaj wybić zadziory i nadlewki. Do tego zadania coraz częściej stosuje się urządzenia hydrauliczne.
- *Szlifowanie za pomocą tarcz szlifierskich*: może być ręczne, półautomatyczne lub automatyczne.
- *Cięcie*: do usuwania masywnych elementów ze stali węglowej lub stali niskostopowej stosuje się przecinarkę acetylenowo-tlenową. Do żeliwa lub stali wysokostopowej stosuje się przecinarki proszkowe acetylenowo-tlenowe lub proszkowe acetylenowo-LPG. W przypadku cięcia stali niskostopowej odlewy i stop są wrażliwe na pękanie, dlatego odlewy są cięte na zimno lub na gorąco po obróbce cieplnej homogenizującej.

- *Piłowanie*: materiały wrażliwe na ciepło, takie jak stopy aluminium, są zwykle piłowane.



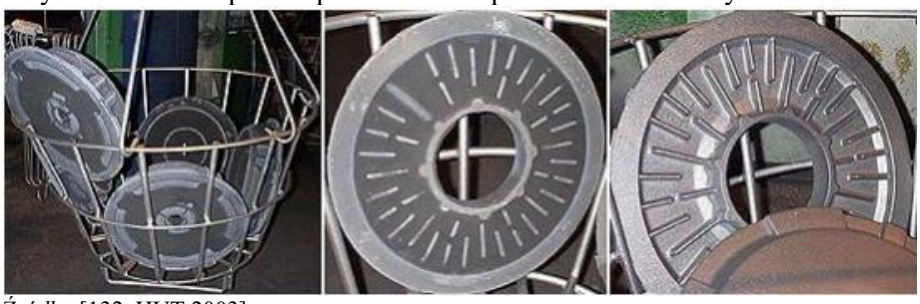
Źródło: [132. HUT 2003]

Rysunek 2.53: Odlewanie z użyciem systemu ciągłego i wlewowego

Dzięki dobrej konstrukcji punktów połączeń system podawania może nawet ulec zerwaniu podczas wytrząsania. Jest to możliwe głównie w przypadku żeliwa szarego.
[14. CAEF 1997], [100. TWG 2002]

2.2.7.2 Usuwanie piasku

Usuwanie piasku z odlewu odbywa się zazwyczaj metodą wytrząsania. Technika ta polega na użyciu stołu wibracyjnego, który porusza i wytrząsa odlew, pomagając w usunięciu piasku z odlewu. Luźny piasek spada przez otwory w stole do pojemnika umieszczonego pod spodem. W ten sposób piasek może zostać ponownie wykorzystany do kolejnych odlewów, co pozwala obniżyć koszty oraz zapewnia możliwość recyklingu.
Do usuwania rdzeni wewnętrznych stosuje się maszynę do usuwania rdzeni, w której odlew oscyluje i jednocześnie obraca się w celu usunięcia rdzeni z odlewu, a także ich rozbicia. Te dwie metody są zazwyczaj stosowane przed śrutowaniem, które służy do dalszego usuwania materiału przylegającego do wewnętrznych kanałów skomplikowanych odlewów.
Ostateczne usunięcie piasku odbywa się w kabinach do śrutowania. Środek do śrutowania jest dostosowany do obrabianego materiału i może być różny – od żwiru do śrutowania po kulki szklane. Czyszczenie wzorców i form trwałych odbywa się za pomocą kulek szklanych, aluminiowych lub granulek lodu CO_2. Przykład odlewów przed i po śrutowaniu przedstawiono na Rysunku 2.54.



Źródło: [132. HUT 2003]

Rysunek 2.54: Odlewy przed (L, C) i po (R) usunięciu piasku przez śrutowanie

Istnieją różne techniki śrutowania. Przyspieszenie żwiru odbywa się za pomocą sprężonego powietrza lub łopatek turbiny. Obróbka odbywa się w zamkniętym pomieszczeniu z drzwiami uszczelnionymi gumą.
Odlewy są zawieszane na torze jednoszynowym i przemieszczane partiami przez kabinę do śrutowania. W przypadku mniejszych elementów stosuje się specjalny przenośnik taśmowy. Duże elementy są śrutowane ręcznie za pomocą lancy w zamkniętej kabinie. W tym przypadku bardzo ważne są środki bezpieczeństwa osobistego. Wymagane jest użycie kasku z maską przeciwpyłową oraz sprzętu do ochrony dróg oddechowych.
Gruboziarnisty pył (piasek i płatki metalu) powstający podczas śrutowania elementu obrabianego jest zbierany wraz z ziarnem ściernym. Jest odpylany, oddzielany magnetycznie i przesiewany. Frakcja drobna jest usuwana z powietrza wylotowego wraz z frakcją gruboziarnistą za pomocą filtra workowego. Oczyszczenie ziarna ściernego przed ponownym użyciem ma ogromne znaczenie, ponieważ obecność piasku może powodować szybkie zużycie łopatek rzucających.

2.2.7.3 Usuwanie gratu (zadziorów)

Zadziory, które powstają w miejscach połączenia form i rdzeni, przy żyłkach i innych nierównościach powierzchni, są usuwane za pomocą ściernic i kamieni szlifierskich. Ściernice są ręczne lub stanowią część szlifierek, natomiast w przypadku kamieni szlifierskich odlew jest dociskany do obracającego się kamienia. Inne stosowane techniki obejmują:

- *Szlifowanie ślizgowe*: Zadziory szlifierskie i niewielkie ilości innego nadmiaru materiału na powierzchni odlewu można usunąć bez szlifowania ręcznego. Części są obracane w bębnach lub pojemnikach wibracyjnych wraz z kształtkami ściernymi, powodując ich tarcie o siebie i o tarcze ścierne. W typowym urządzeniu odlewy są szlifowane przy użyciu złoża kamieni szlifierskich w kształcie piramidy, wraz z dodatkiem emulsji wodno-mydlanej. Chropowatość i rozmiar kamieni szlifierskich różnią się w zależności od wielkości odlewów.
- *Bębnowanie (tumbling)*: Technika ta, zwana również usuwaniem przez ścieranie, stosowana jest do usuwania cienkich zadziorów lub niewielkich ilości pozostałości po odlewaniu. Podczas tego procesu zadziory usuwają się samoczynnie w procesie oczyszczania przez ścieranie bez dostępu powietrza w wyniku uderzania się części w obracającym się bębnie. Jednocześnie krawędzie są zaokrąglane. Czasami proces jest wspomagany przez ciecz. Bębnowanie może zwiększać napięcie powierzchniowe i wpływać na operacje cięcia, zwiększając zużycie narzędzi i podnosząc zapotrzebowanie na większą siłę cięcia.



Źródło: [132. HUT 2003]

Rysunek 2.55: Zadziory (l.) i ich usuwanie za pomocą kamienia szlifierskiego (C) i szlifowania ślizgowego (R)

Automatyzacja tych operacji jest trudna ze względu na zmienność kształtu zadziorów oraz konieczność łatwego i szybkiego poprawienia odlewu. Niemniej jednak, automatyczne szlifierki są coraz częściej stosowane w produkcji seryjnej. Nieobrobione (surowe) części odlewnicze są wkładane do takich maszyn w celu wytworzenia odpowiednio obrobionych części, które nie wymagają dalszej obróbki lub ręcznego szlifowania.

Ponadto w zautomatyzowanych liniach stosowane są następujące techniki:

- *Wykrawanie*: Ze względu na zastosowanie technik cięcia i formowania, seryjne części odlewnicze są często projektowane w taki sposób, że nieuniknione zadziory występują w z góry określonych ilościach, które są łatwo dostępne, jeśli chodzi o obróbkę. Jeśli seria jest wystarczająco duża, można zaprojektować dedykowane narzędzia do wykrawania, aby szybko usunąć zadzior i nadać odlewowi jednolity kontur.
- *Frezowanie*: Wraz z rozwojem elektronicznego sterowania maszynami do obróbki, coraz łatwiejsze stało się tworzenie programów do obróbki poszczególnych elementów. Dzięki temu możliwe jest stosowanie frezarek do mniejszych serii zamiast wykrawarek z ich narzędziami jednofunkcyjnymi. Podczas takiego procesu obrabiane elementy są pobierane przez urządzenie i przepuszczane przez kilka różnych frezarek.

Wreszcie, spawanie może być stosowane do łączenia odlewów, a także do produkcji i naprawy wad odlewów. W większości takich przypadków stosuje się spawanie łukowe. W zależności od wymagań i sprzętu, prace wykonywane są za pomocą ręcznych elektrod otulonych lub drutu spawalniczego z gazem obojętnym lub bez. Do odlewów staliwnych stosuje się oczyszczanie płomieniowe (*scarfing*), które polega na nanoszeniu bruzd w celu złagodzenia naprężeń. Wykorzystuje się do tego palnik tnący z elektrodą węglową pokrytą miedzią.

[14. CAEF 1997], [38. Vito 2001], [100. TWG 2002]

2.2.8 Obróbka cieplna

2.2.8.1 Wprowadzenie

W przypadku odlewów żeliwnych stosuje się zasadniczo dwa rodzaje obróbki cieplnej: wyżarzanie i utwardzanie. W przypadku wyżarzania zmniejsza się naprężenia powstałe w odlewie w wyniku zalewania i następującego po nim schładzania, a także wyrównuje się strukturę. W przypadku utwardzania temperatura jest podnoszona powyżej temperatury przemiany, a następnie odlew jest gwałtownie schładzany w procesie zwanym hartowaniem. Powoduje to zmianę właściwości materiału. Różne wyniki można uzyskać poprzez hartowanie w wodzie, oleju lub powietrzu. „Hartowanie i odpuszczanie" to nazwa procedury, w której po hartowaniu element jest ponownie podgrzewany do temperatury odpuszczania, a następnie proces hartowania jest powtarzany.
Uplastycznianie żelaza jest obróbką cieplną, która różni się od wyżarzania i utwardzania. W tym przypadku plastyczny półwyrób jest przekształcany w odlew z żeliwa o białym lub czarnym przełomie, w zależności od procedury.
Wiele odlewów nieżelaznych wykorzystuje się w stanie „surowym" (tak jak materiał odlano), ale niektóre zastosowania wymagają wyższych właściwości mechanicznych niż materiał w stanie surowym. Możliwe obróbki to wyżarzanie, kontrolowane chłodzenie, obróbka cieplna w roztworze, starzenie przyspieszone i obróbka wydzieleniowa.
[14. CAEF 1997], [74. Brown, J. R. 1999]

2.2.8.2 Piece do obróbki cieplnej

2.2.8.2.1 Piece komorowe

Piece komorowe to najpopularniejszy typ pieców. Ich konstrukcja została dostosowana do wielu różnych zastosowań, żeby spełniać wymagania różnych procesów obróbki cieplnej różnych rodzajów odlewów i produkcji. Przykładami pieców komorowych są piece z ruchomym podestem, piece kołpakowe/dzwonowe, piece z otwartym paleniskiem itp. Piece komorowe z ciągłym transportem materiału nazywane są piecami tunelowymi. Ogrzewanie jest elektryczne, gazowe lub olejowe.
W przypadku materiałów nieżelaznych niektóre obróbki cieplne przeprowadza się w temperaturze zbliżonej do temperatury topienia odlewu, dlatego konieczna jest dokładna kontrola temperatury. Aby zapewnić stałą i równomierną temperaturę we wszystkich częściach pieca, stosuje się wymuszony obieg powietrza.
[14. CAEF 1997], [74. Brown, J. R. 1999]

2.2.8.2.2 Piece szybowe

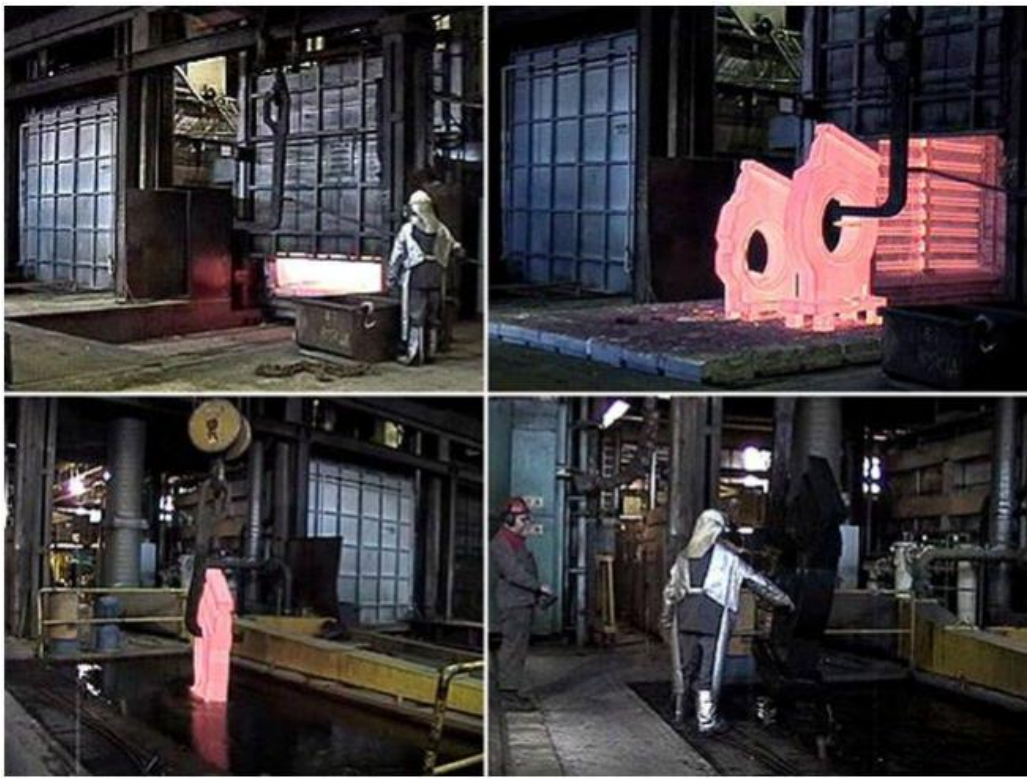
Rury, długie faliste elementy i podobne części są często poddawane obróbce w pozycji pionowej w piecach szybowych. W piecach szybowych ogrzewanie zapewnia energia elektryczna, gaz lub olej opałowy.

2.2.8.2.3 Piece do wyżarzania

Piece komorowe, kołpakowe/dzwonowe lub tunelowe służą do odpuszczania odlewów nieobrobionych. Ogrzewanie takich pieców odbywa się za pomocą energii elektrycznej, gazu lub oleju opałowego.

2.2.8.3 Hartowanie

W procesach obróbki cieplnej chłodzenie polega na schładzaniu obrabianego przedmiotu z większą prędkością niż w nieruchomym powietrzu. Można to osiągnąć poprzez szybkie zanurzenie w wodzie lub oleju (zob. Rysunek 2.56), jak również poprzez wymuszone chłodzenie powietrzem. Należy zwrócić uwagę, aby elementy były chłodzone w sposób równomierny. Podczas zanurzania w płynach należy poruszać elementami lub zapewnić ciągłą cyrkulację płynu, aby wszystkie części elementu były całkowicie i równomiernie schłodzone. Podobnie w przypadku hartowania powietrzem należy tak ustawić nadmuch, aby powietrze objęło całą powierzchnię.



Źródło: [132. HUT 2003]

Rysunek 2.56: Hartowanie gorącego odlewu krótko po obróbce cieplnej

2.2.8.4 Obróbka cieplna żeliwa sferoidalnego (SG)

Z oczywistych względów pożądane jest uzyskanie wymaganych właściwości metalu w stanie „odlanym", aby uniknąć konieczności dalszej obróbki, ale nie zawsze jest to możliwe ze względu na różnice grubości przekroju itp. Obróbka cieplna odlewów pozwala wyeliminować węgliki w cienkich przekrojach, uzyskać bardziej jednolitą strukturę matrycy i, w przypadku danej struktury, często poprawić jej właściwości mechaniczne, zwłaszcza poprzez normalizację struktury ziarna. W przypadku gdy wymagane są struktury martenzytu odpuszczonego, obróbka cieplna jest niezbędna.
[14. CAEF 1997], [73. Brown, J. R. 2000]

2.2.8.4.1 Wyżarzanie odprężające (odprężanie)

Odprężanie polega na podgrzaniu odlewów w tempie 50–100 °C/h do temperatury 600 °C (uważając, aby nie przekroczyć temperatury 610 °C), a następnie wygrzewaniu ich przez co najmniej jedną godzinę, plus dodatkową godzinę na każde 25 mm grubości przekroju w najgrubszym miejscu, a następnie schładzaniu w tempie 50–100 °C/h lub wolniej. Odlewy muszą być odpowiednio osadzone w piecu, aby nie były poddawane naprężeniom.

2.2.8.4.2 Usuwanie węglików

Cienkie odlewy mogą zawierać węgliki w strukturze „odlewanej". Można je usunąć poprzez wygrzewanie odlewów w temperaturze 900–925ºC przez 3–5 godzin.

2.2.8.4.3 Wyżarzanie w celu uzyskania ferrytycznej matrycy

Wyżarzanie polega na wygrzewaniu odlewów w temperaturze 900–925ºC przez 3–5 godzin, a następnie powolnym schładzaniu w tempie około 20–35ºC/h w zakresie temperatur krytycznych (około 800–710ºC) i wreszcie schładzaniu w piecu w tempie około 50–100ºC/h do 200ºC.

2.2.8.4.4 Normalizacja w celu uzyskania perlitowej matrycy

W celu uzyskania perlitowej matrycy konieczne jest prażenie odlewów powyżej temperatury krytycznej, a następnie schłodzenie powietrzem. Ponownie stosuje się temperaturę wygrzewania 900–925ºC, aby zapewnić rozbicie węglików. Do utworzenia perlitu stosuje się wymuszone chłodzenie powietrzem. Rodzaj dostępnego pieca do obróbki cieplnej i wielkość wsadu determinują możliwy cykl procesu. Konieczne

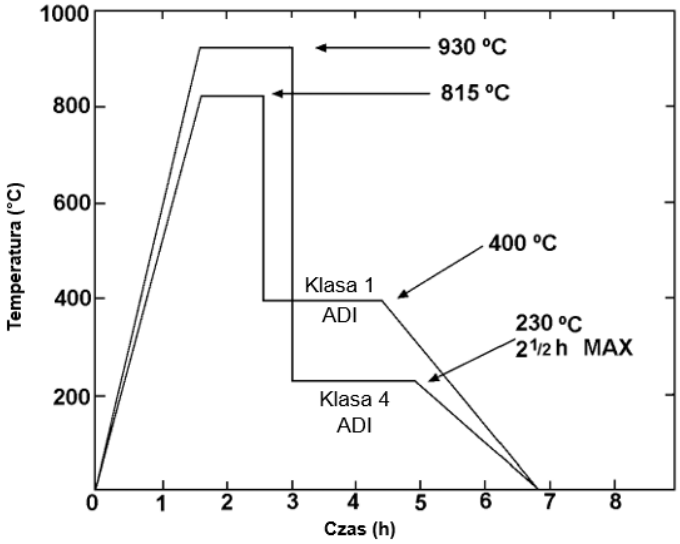
może być dostosowanie składu metalu za pomocą cyny lub miedzi, aby wspomóc tworzenie się struktur całkowicie perlitowych.

2.2.8.4.5 Wytwarzanie utwardzonych i odpuszczonych struktur

Konstrukcje utwardzane wytwarza się poprzez austenityzację odlewu w temperaturze 900–920ºC, a następnie hartowanie w oleju. Odpuszczanie przeprowadza się zazwyczaj w temperaturze 600–650ºC.

2.2.8.4.6 Żeliwo sferoidalne hartowane izotermicznie (*ADI - austempered ductile iron*)

Hartowanie izotermiczne jest izotermiczną obróbką cieplną służącą do uzyskania struktur austenitycznych. Pozwala podwoić wytrzymałość żeliwa sferoidalnego, zachowując jednocześnie jego dobrą plastyczność i wytrzymałość. Odporność na zużycie i zmęczenie jest doskonała, do tego stopnia, że ADI można porównać do stali kutej i hartowanej.
Obróbka cieplna ADI jest procesem dwuetapowym, jak pokazano na Rysunku 2.57. Austenityzację przeprowadza się w temperaturze 815–930ºC w celu całkowitej przemiany matrycy w austenit. Odbywa się to w piecu z atmosferą nieutleniającą lub w wysokotemperaturowej kąpieli solnej. Temperatury i czasy są określane na podstawie składu chemicznego, wielkości przekroju i wymaganej klasy ADI; zazwyczaj wystarcza 1 do 1,5 godziny. Pożądane jest powolne początkowe ogrzewanie odlewu, aby uniknąć ryzyka pękania skomplikowanych kształtów. Odlewy są następnie hartowane do wymaganej temperatury izotermicznej obróbki cieplnej, zazwyczaj między 210 ºC a 400 ºC. Zazwyczaj odbywa się to w kąpieli solnej. Odlewy utrzymuje się w tej temperaturze przez 1 do 2 godzin, aby zakończyć przemianę austenitu w ausferryt. Niższe temperatury zapewniają wysoką twardość, wytrzymałość i odporność na zużycie, natomiast wyższe temperatury powodują większą plastyczność i odporność na pękanie. Po obróbce izotermicznej odlewy schładza się do temperatury otoczenia.



Źródło: [73. Brown, J. R. 2000]

Rysunek 2.57: Typowe etapy obróbki cieplnej w procesie austemperingu

Żeliwa sferoidalne niestopowe mogą być hartowane izotermicznie w sekcjach o grubości do około 8 mm. Odlewy o większej grubości wymagają dodatku Mo lub Ni w celu zwiększenia utwardzalności.
Żeliwo sferoidalne hartowane izotermicznie jest stosowane jako zamiennik elementów ze stali kutej w przemyśle rolniczym, kolejowym, motoryzacyjnym i ogólnym, np. w lemieszach pługów, zębach koparek, wspornikach sprężyn, wspornikach tylnej osi, kołach zębatych itp. Produkcja ADI rośnie, ale jej zastosowanie jest w pewnym stopniu ograniczone przez brak odpowiednich zakładów obróbki cieplnej.
[14. CAEF 1997], [73. Brown, J. R. 2000]

2.2.8.5 Obróbka cieplna stali

Odlewy stalowe są zazwyczaj poddawane obróbce cieplnej przed dostawą, np. normalizacji, która powoduje zmianę struktury. Dodatkowo należy zredukować potencjalne naprężenia odlewnicze (wyżarzanie odprężające). Wiele gatunków stali odlewniczej wymaga dodatkowego odpuszczania po wyżarzaniu odprężającym (utwardzanie i odpuszczanie).

Większość odlewów stalowych poddaje się obróbce cieplnej, celem uzyskania pożądanych właściwości mechanicznych, oraz wyżarzaniu odprężającym, aby uzyskać odpowiednią odporność na korozję i uniknąć trudności podczas operacji wykańczających. Obróbka cieplna jest określana w zależności od gatunku stali. W celu usunięcia segregacji chemicznej i strukturalnej zazwyczaj przeprowadza się wyżarzanie w wysokiej temperaturze. Stale węglowe i niskostopowe poddaje się:

- normalizacji i chłodzeniu powietrzem; lub
- austenityzacji, hartowaniu i odpuszczaniu.

Austenityczne lub dupleksowe stale nierdzewne poddawane są wyżarzaniu w roztworze i hartowaniu w wodzie. Dodatkowe obróbki cieplne, takie jak wyżarzanie odprężające (odprężanie) lub obróbka po spawaniu, są również stosowane w celu wyeliminowania wewnętrznych naprężeń materiału.
[14. CAEF 1997], [100. TWG 2002], [120. TWG 2003]

2.2.8.6 Obróbka cieplna aluminium

Odlewy aluminiowe są poddawane obróbce cieplnej w celu: homogenizacji, zmniejszenia naprężeń, poprawy stabilności wymiarowej i skrawalności, optymalizacji wytrzymałości, plastyczności, ciągliwości i odporności na korozję.
Najczęściej obróbka cieplna jest kompromisem między różnymi efektami, maksymalizując ważne właściwości jednego z nich, często kosztem innych. Obróbka cieplna aluminium może obejmować: wyżarzanie, obróbkę cieplną w roztworze, hartowanie, starzenie przyspieszone i obróbkę wydzieleniową. Rodzaj zastosowanej obróbki jest wskazywany przez przyrostek do oznaczenia stopu. Jest to tak zwane oznaczenie temperamentu. W przypadku odlewów piaskowych, grawitacyjnych i niskociśnieniowych możliwe są wszystkie rodzaje obróbki, choć nie wszystkie są znormalizowane. Odlewy ciśnieniowe nie są poddawane obróbce w roztworze i hartowaniu w taki sam sposób jak odlewy piaskowe, grawitacyjne i niskociśnieniowe. Uwięzione pęcherzyki gazu mogą się rozszerzać i powodować wady odlewnicze. Obróbka cieplna nie jest powszechnym etapem w przypadku odlewów wysokociśnieniowych; tylko około 1% tego typu odlewów jest poddawanych obróbce cieplnej. Wszystkie odlewy ciśnieniowe mogą być hartowane z matrycy, poddawane obróbce wydzieleniowej i odprężane bez żadnych szkodliwych skutków. W produkcji niskociśnieniowych odlewów felg aluminiowych 90% odlewów poddawanych jest obróbce cieplnej
[120. TWG 2003].

2.2.8.6.1 Odprężanie i wyżarzanie

W odlewach o zmiennym przekroju lub złożonym kształcie mogą powstawać naprężenia wewnętrzne. Może to spowodować zmiany wymiarów podczas obróbki skrawaniem. Aby ustabilizować odlew i usunąć naprężenia wewnętrzne, odlewy są podgrzewane do temperatury 200ºC przez 5 godzin, a następnie powoli chłodzone w piecu.

2.2.8.6.2 Obróbka w roztworze i hartowanie

Odlewy są podgrzewane do temperatury nieco poniżej temperatury topnienia i utrzymywane w tej temperaturze przez długi czas, aby składniki stopu stały się jednorodnym roztworem stałym. Odlewy są następnie szybko schładzane do temperatury pokojowej w celu zatrzymania pierwiastków w roztworze. Stosowana jest woda lub specjalne środki hartujące. Zbiorniki do hartowania są umieszczane blisko pieca, aby zapewnić możliwość szybkiego chłodzenia. Chociaż wrażliwość na czas hartowania różni się w zależności od stopu, dobra praktyka powinna ograniczyć ten czas do 5-10 s.

2.2.8.6.3 Obróbka wydzieleniowa

Kontrolowane wydzielanie składników stopowych jest promowane poprzez podgrzanie odlewu do temperatury od 150ºC do 200ºC. Zwiększa to wytrzymałość i twardość odlewu. Proces ten jest więc również określany jako utwardzanie strukturalne. Każdy stop ma optymalny cykl obróbki cieplnej.

2.2.8.6.4 Starzenie przyspieszone

Niektóre stopy odlewnicze zwiększają swoją wytrzymałość i twardość pozostawione w temperaturze pokojowej. Proces ten może trwać kilka tygodni, ale można go przyspieszyć poprzez podgrzanie powyżej temperatury pokojowej, a następnie utrzymywanie tego ciepła przez dłuższy czas.
[74. Brown, J. R. 1999], [100. TWG 2002], [111. CTIF i in. 2002], [110. Zalensas, D. L. 1993]

2.2.9 Kontrola jakości

Podczas kontroli jakości gotowy odlew jest sprawdzany pod kątem zgodności z wymaganiami produktu dotyczącymi np. wymiarów, wad struktury metalu, struktury powierzchni. W zależności od rodzaju odlewu i wielkości serii, kontrola jakości może być realizowana poprzez kontrolę wizualną, za pomocą narzędzi pomiarowych lub automatycznie.
W produkcji felg aluminiowych odlewy są kontrolowane za pomocą analizy rentgenowskiej. Standardowy obraz gotowego odlewu jest używany do weryfikacji przez program komputerowy. Jeśli występują jakiekolwiek różnice, obraz jest analizowany i oceniany przez człowieka. Losowe testy stopu są analizowane za pomocą analizy spektralnej.
Procedura kontroli jakości określa ostateczną decyzję o odrzuceniu odlewu lub zezwoleniu na jego dalszą wysyłkę na rynek. Odrzucone odlewy są przenoszone z powrotem na wsad surowcowy w celu ponownego przetopienia.
[120. TWG 2003]

2.2.10 Regeneracja i odzyskiwanie piasku

Ponieważ odlewnie intensywnie wykorzystują piasek jako obojętny materiał pierwotny, odzyskanie tego piasku jest głównym punktem rozważań w ramach efektywności środowiskowej.
Istnieją dwa główne procesy: odzyskiwanie i regeneracja piasku; zostały one pokrótce omówione w poniższych akapitach.
Należy dokonać wyraźnego rozróżnienia między piaskiem zielonym a piaskiem związanym chemicznie. Zielony piasek może być łatwo regenerowany po użyciu. Recyrkulowany zielony piasek wykazuje lepszą jakość techniczną niż nowy piasek. Wszystkie odlewnie zielonego piasku przeprowadzają przygotowanie zużytego piasku (odzyskanie).

Odzyskiwanie piasku

Odzyskiwanie piasku, znane również jako rozdrabnianie lub cząstkowanie, polega na rozbiciu piasku z form lub rdzeni z powrotem do jego pierwotnego rozmiaru ziarna. Po zniszczeniu form i rdzeni piasek jest przesiewany, wybierane są z niego cząstki metalu, a drobiny i aglomeraty są oddzielane i usuwane. Piasek jest następnie chłodzony i przechowywany do ponownego wykorzystania w systemie formierskim (wykonywania form). Zregenerowany piasek jest mieszany z dodatkami i spoiwami, ewentualnie z piaskiem pierwotnym, i nawilżany. Głównymi systemami, z których pochodzi piasek wysyłany do ponownego użycia, są wytrząsarka wibracyjna, bęben obrotowy i maszyny do śrutowania. Odzyskany zielony piasek jest używany głównie do produkcji form i tylko w kilku szczególnych przypadkach do produkcji rdzeni.

Regeneracja piasku

Regeneracja polega na dalszym przetwarzaniu wcześniej rozdrobnionego piasku w celu usunięcia resztek spoiwa. Piasek jest przywracany do jakości podobnej lub lepszej niż nowy piasek. Aby usunąć resztki spoiwa, potrzebne są bardziej agresywne techniki niż w przypadku odzyskiwania. Regeneracja zużytego piasku polega na oczyszczeniu ziaren piasku z wszelkich spoiw (pozostałości spoiwa, żywic itp.). Do tego procesu wymagane są specjalne zakłady przetwórcze. Regeneracja może być przeprowadzana mechanicznie, przy użyciu płukania na mokro, termicznie lub przy użyciu połączonych procesów mechanicznych i termicznych. Jest to proces energochłonny i stosowany głównie w przypadku dużych ilości jednorodnego piasku. Regeneracja mechaniczna wytwarza dużą ilość pyłu, który nie może być poddany recyklingowi ze względu na zawartość substancji organicznych i powinien być unieszkodliwiany. Zregenerowany piasek jest zwykle używany jako piasek /do wykonywania form (zwykle bez wypalania) i piasek rdzeniowy.
Główne techniki regeneracji to:

- obróbka mechaniczna na zimno;
- ścieranie niskoenergetyczne: tarcie, uderzanie (dla żywic utwardzanych na zimno);
- ścieranie wysokoenergetyczne: tarcie pneumatyczne, mielenie, tarcie odśrodkowe;
- obróbka termiczna (zwykle w złożu fluidalnym);
- płukanie (oczyszczanie) na mokro.

Piaski związane żywicami wiążącymi na zimno mogą być regenerowane przy użyciu prostych technik obróbki, ze względu na kruchość warstwy spoiwa. Mechaniczne systemy regeneracji oparte są na tarciu międzycząsteczkowym lub uderzaniu.
Piaski wiązane żywicami utwardzanymi gazowo i termoutwardzalnymi wymagają bardziej intensywnej obróbki w celu usunięcia warstwy spoiwa. Obejmuje ona mielenie, tarcie pneumatyczne i tarcie

odśrodkowe. Obróbka termiczna polega na spalaniu spoiwa organicznego. Bentonit jest dezaktywowany przez wysoką temperaturę obróbki. W przypadku strumieni piasku zawierających zielony piasek, obróbka termiczna powinna być połączona z obróbką mechaniczną.
Regeneracja na mokro obejmuje usuwanie spoiwa poprzez mielenie międzycząsteczkowe. Technika ta ma zastosowanie wyłącznie do piasku zielonego oraz piasków krzemianowych lub związanych CO_2 i nie jest powszechnie stosowana.
Regeneracja zielonego piasku jako monopiasku ma ograniczone zastosowanie. W przypadku piasków wiązanych chemicznie najczęściej stosowana jest regeneracja mechaniczna (> 200 jednostek w Niemczech w 1999 r.) [33. ERM Lahmeyer International GmbH 1999]. Możliwości zastosowania różnych technik regeneracji i zregenerowanego piasku podsumowano w Tabeli 2.21 (monopiaski/piaski jednoskładnikowe) i Tabeli 2.22 (piaski zmieszane). Każda z przedstawionych technik zostanie omówiona bardziej szczegółowo w kolejnych sekcjach.
Najważniejszymi strumieniami **monopiasków** do regeneracji wtórnej są piaski rdzeniowe w odlewniach metali nieżelaznych. Ponadto monopiaski są wytwarzane z form i rdzennic z czysto organicznymi systemami, takimi jak croning, żywica furanowa i uretanowy cold-box (zimna rdzennica). Mniejszy strumień monopiasków to nieutwardzony piasek rdzeniowy, powstający z uszkodzonych lub odrzuconych rdzeni w odlewni rdzeni oraz piasek resztkowy z maszyn do produkcji rdzeni.
Piaski zmieszane zazwyczaj zawierają piasek związany z bentonitem, jak również piasek związany chemicznie. Są one generowane głównie w odlewniach żeliwa i stanowią około 75% całkowitej produkcji piasku odpadowego.

Tabela 2.21: Obszary zastosowania różnych systemów regeneracji dla monopiasków

Rodzaj piasku	Techniki regeneracji	Sprzęt do regeneracji	Wykorzystanie	Warunki graniczne	Minimalna ilość (tona/h)
Monosystemy organiczne					
Żywice utwardzane na zimno	Mechaniczne lub termiczne	Mechaniczne: tarcie, uderzanie, tarcie pneumatyczne Termiczne: złoże turbulentne, złoże fluidalne lub piec obrotowy	- do tworzenia form przy użyciu żywic wiążących na zimno - 20 - 25% zastąpienie nowego piasku do produkcji rdzeni na zimno	- mechaniczne: tylko jeśli skorupa spoiwa stała się wystarczająco krucha po zalewaniu - muszą być spełnione docelowe wartości jakości regeneratu	1,5
Cold-Box, SO2, Hot-Box i piasek croningowy	Mechaniczne lub termiczne	Mechaniczne: tarcie pneumatyczne, tarcie odśrodkowe, tarcie w złożu fluidalnym Termiczna: złoże turbulentne, złoże fluidalne lub piec obrotowy	W produkcji rdzeni, jako nowy substytut piasku	- mechaniczne: tylko jeśli skorupa spoiwa stała się wystarczająco krucha po zalewaniu - muszą być spełnione orientacyjne wartości jakości regeneratu - ponowne wykorzystanie miału	0,75
Piasek utwardzany estrem metylowym	Mechaniczne	Mechaniczne: tarcie, uderzanie, tarcie pneumatyczne	Z ograniczeniami, w produkcji form z użyciem piasków z mrówczanem metylu	- regeneracja jak w przypadku poliestrów rezolowych na zimno, ale z niższą wydajnością - kruchość składników spoiwa	
Monosystemy nieorganiczne					
Zielony piasek	Mechaniczna	tarcie pneumatyczne, mielenie	Piasek do ponownego użycia w obiegu piasku zielonego	- wymaga wstępnego suszenia - ponowne wykorzystanie miału	0,75
Piasek z krzemianem sodu	Mechaniczne		Tylko do wykonywania form i rdzeni przy użyciu piasku z krzemianem sodu	Kruchość składników spoiwa w temperaturze 200 °C	0,5
Źródło: [42. IHOBE 1998], [120. TWG 2003]					

Tabela 2.22: Obszary zastosowania różnych systemów regeneracji dla piasków zmieszanych

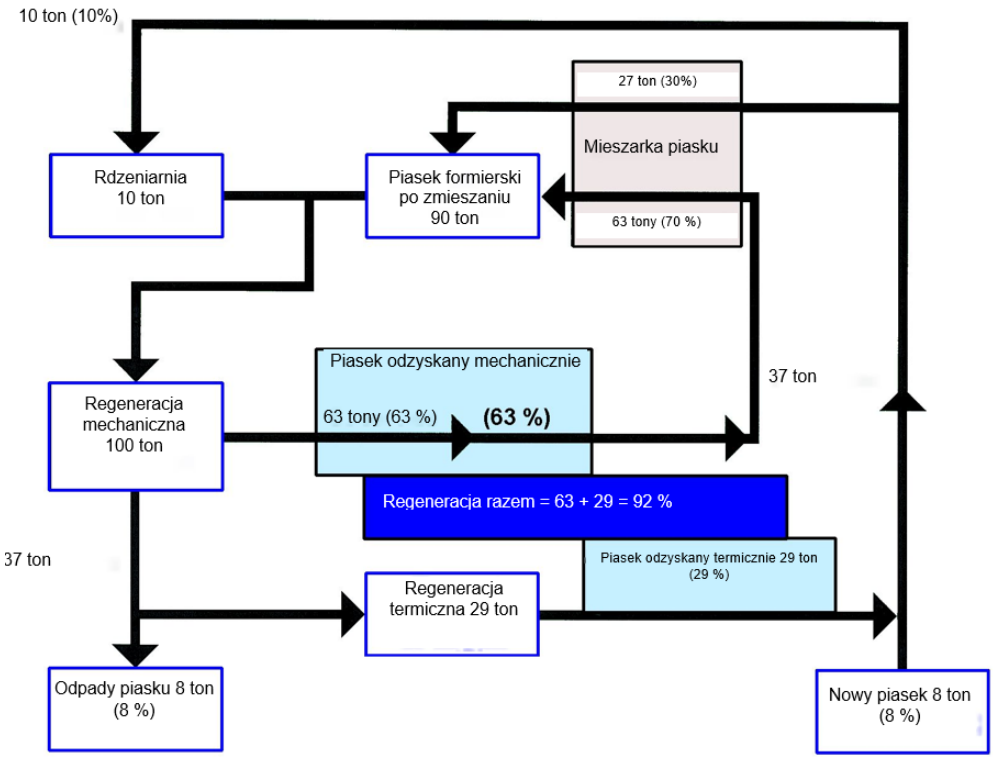
Rodzaj piasku	Technika regeneracji	Sprzęt do regeneracji	Wykorzystanie	Warunki graniczne	Minimalna ilość (tona/h)
Zmieszane systemy organiczne	Mechaniczne lub termiczne	Mechaniczne: tarcie pneumatyczne, tarcie odśrodkowe, tarcie w złożu fluidalnym Termiczne: złoże turbulentne, złoże fluidalne lub piec obrotowy	- produkcja rdzeni z zastępowaniem nowego piasku	- mechaniczne: tylko jeśli skorupa spoiwa stała się wystarczająco krucha po zalewaniu - muszą być spełnione orientacyjne wartości jakości regeneratu - ponowne wykorzystanie miału	0,75
Piaski zmieszane zawierające bentonit	Mechaniczne lub mechaniczno-termiczno-mechaniczne	Mechaniczne: mielenie, rozdrabnianie pneumatyczne, rozdrabnianie w złożu fluidalnym Termiczne: złoże turbulentne, złoże fluidalne lub piec obrotowy	- produkcja rdzeni z zastępowaniem nowego piasku - piasek do ponownego użycia w obiegu piasku zielonego	- wymaga wstępnego suszenia - połączona regeneracja termiczna regeneracja wymaga wydajnej regeneracji mechanicznej celem usunięcia aktywnego bentonitu - ponowne wykorzystanie miału	0,75
Źródło: [42. IHOBE 1998]					

Możliwości zastosowania różnych systemów oczyszczania zostały podsumowane w poniższej tabeli i zostaną omówione w sekcjach poświęconych konkretnym możliwościom zastosowania.

Tabela 2.23: Zastosowanie różnych technik regeneracji piasku do różnych rodzajów piasku

	Proste systemy mechaniczne	Mechaniczne na zimno			Regeneracja na mokro	Termiczne	Mechaniczno - termiczno - mechaniczne
		Mielenie	Bęben uderzeniowy	Rozdrabnianie			
Monopiaski							
Na zimno	x	x	x	x	x	x	0
Cold-box, SO_2, Hot-box, Croning	0	x	x	x	0	x	0
Krzemian (CO_2 lub ester)	0	0	0	x	x	0	0
Odzyskiwanie zielonego piasku	x	0	0	0	0	0	0
Regeneracja zielonego piasku	0	x	0	x	x	0	0
Piaski zmieszane							
Zmieszane, organiczne	0	x	x	x	0	x	0
Zmieszane, zielone + organiczne	0	x	0	x	x	0	x
x: stosowane; 0: nie stosowane							

Zastosowanie zarówno odzyskiwania, jak i regeneracji w odlewni piasku zmieszanego w celu osiągnięcia całkowitego współczynnika ponownego wykorzystania na poziomie 92% pokazano na Rysunku 2.58. Ten uproszczony schemat nie uwzględnia różnych strat na etapach przetwarzania. Dodawanie nowego piasku można ograniczyć do minimum poprzez włączenie (grubej frakcji) piasku z filtrów pyłowych (z wylotów linii formowania ręcznego, linii usuwania rdzenia, silosów magazynowych itp.)



Źródło: [27. ETSU 1998]

Figura 2.58 Wykres bilansu piasku dla termiczno-mechanicznego systemu regeneracji

Ogólny współczynnik ponownego użycia wynoszący 92%, jak podano powyżej, jest normalną wartością dla zmieszanych systemów bentonitu/piasku związanego chemicznie. Odnotowano współczynniki ponownego użycia sięgające 98%. Rzeczywisty współczynnik zależy od objętości i składu chemicznego użytych rdzeni. W przypadku monopiasków furanowych wiązanych na zimno zgłaszane są wartości przekraczające 90%.

Generalnie, mieszanie różnych rodzajów piasku ma negatywny wpływ na wytrzymałość rdzeni, a następnie form wykonanych z piasku zregenerowanego, choć istnieje kilka wyjątków od tej ogólnej zasady. Celem wyprodukowania dobrej jakości piasku zregenerowanego bardzo ważne jest zatem oddzielenie niekompatybilnych rodzajów piasku. Optymalizacja potencjału ponownego wykorzystania może zatem oznaczać zmianę na kompatybilne systemy spoiw, jeśli używane są piaski zmieszane, lub zastosowanie technik (wytrząsania), które pozwalają na oddzielenie różnych rodzajów piasku. Tabela 2.24 zawiera tabelę wzajemnej kompatybilności.

Tabela 2.24: Kompatybilność zregenerowanych piasków źródłowych z różnymi spoiwami

Cele / Źródła		Bentonit	Krzemian	Na zimno	Hot-box	Croning	Cold-box		
							Metylofo rmat	Aminy	SO_2
Bentonit		+	0	0	-	0	0	0	0
Krzemian		0	+	-	-	-	-	-	-
Na zimno		+	-	+	-	0	-	0	+
Hot-box		0	-	+	+	+	-	0	+
Croning		+	+	+	+	+	+	+	+
Cold-box	Metylofo rmat	0	+	0/-	-	-	0	0	-
	Aminy	+	+	+	+	+	0	+	+
	SO_2	+	-	+	-	0	0	+	+

+: Kompatybilny, 0:Ograniczona kompatybilność, -: Niekompatybilny
Źródło: [17. Winterhalter i in. 1992], [120. TWG 2003]

Literatura źródłowa

[17. Winterhalter i in. 1992], [27. ETSU 1998], [42. IHOBE 1998], [120. TWG 2003], [46. Metaalgieterij Giesen B.V. 1996], [57. Umweltbundesamt 2002], [100. TWG 2002],

2.3 Obecne poziomy zużycia i emisji w odlewniach

W poniższych sekcjach przedstawiono dane dotyczące zużycia i emisji zgłoszone przez odlewnie (metali żelaznych i nieżelaznych), które wzięły udział w gromadzeniu danych SF BREF 2020 w całej UE (w sumie 158 zakładów). Stosowne zakłady wymieniono w Sekcji 8.1.1, w której można znaleźć wykaz instalacji/zakładów, które uczestniczyły w gromadzeniu danych za 2020 r. na potrzeby przeglądu SF BREF. Poziomy emisji i zużycia przedstawiono i uporządkowano zgodnie z zagadnieniami środowiskowymi w następujący sposób:

W przypadku emisji do powietrza zgłoszone poziomy przedstawiono na poziomie procesu dla:

- topienia metalu;
- produkcji rdzeni i wykonywaniu form przy użyciu form traconych (jednorazowego użytku);
- odlewania, chłodzenia i wytrząsania przy użyciu form traconych;
- odlewania przy użyciu alternatywnych procesów odlewania (np. metodą traconej pianki);
- odlewania przy użyciu form trwałych;
- wykańczania;
- odzyskiwania i regeneracji piasku.

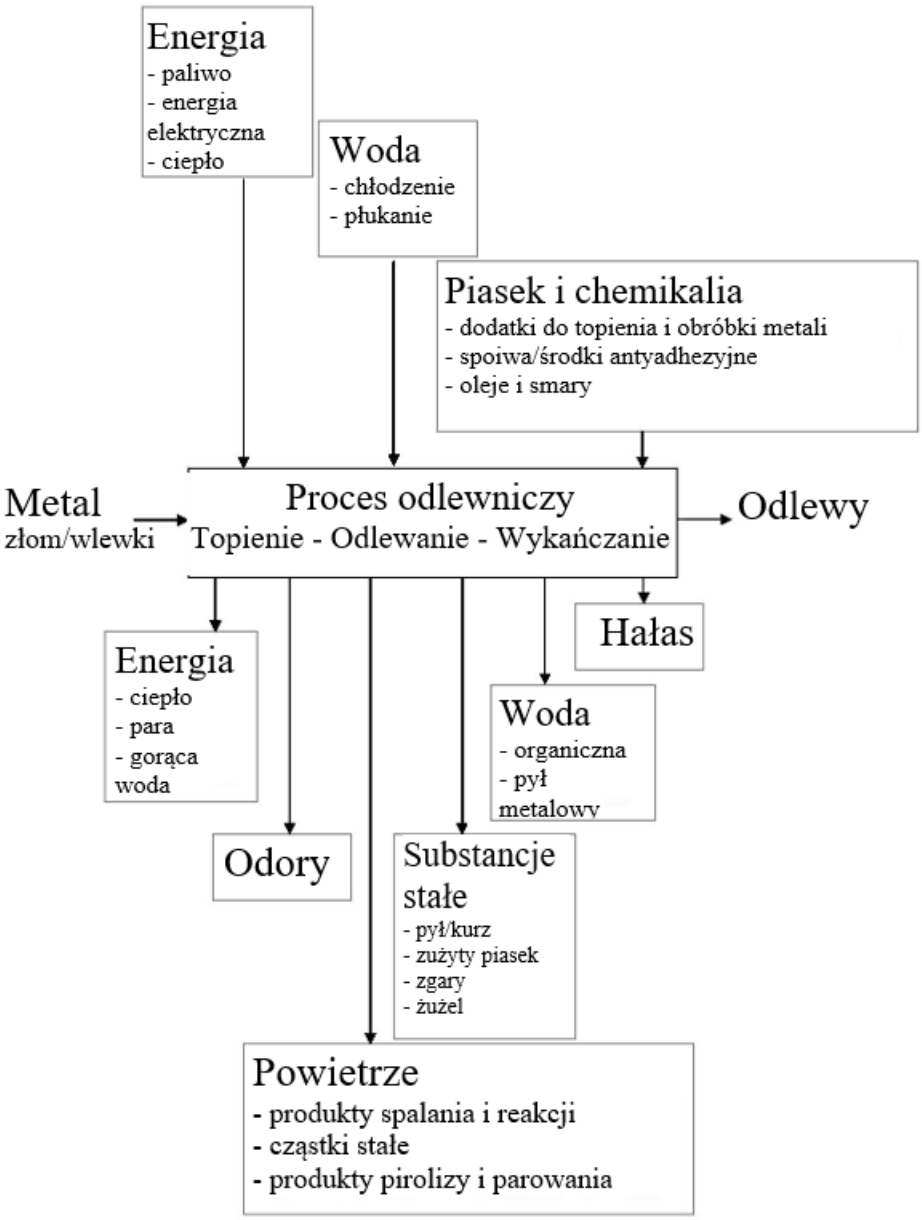
W przypadku emisji do wody, zużycia wody, wydajności materiałów operacyjnych, regeneracji piasku i ilości pozostałości przekazanych do unieszkodliwiania, raportowane poziomy przedstawiono na poziomie zakładu. Dane dotyczące zużycia energii odnoszą się zarówno do poziomu zakładu, jak i procesu.

Postępowanie z poufnymi informacjami handlowymi (*Confidential Business Information, CBI*)

Dane dotyczące zużycia energii zostały uznane przez operatorów elektrowni za CBI. Aby zachować poufność danych, nazwy zakładów nie są bezpośrednio wymieniane na wykresach opisujących zużycie energii, ale są zastępowane anonimowymi i losowo przypisywanymi kodami CBI. Ponadto nie uwzględniono żadnych informacji kontekstowych (np. parametrów procesu lub zastosowanych technik), ponieważ mogłoby to ujawnić tożsamość zakładów. Wszystkie dane dotyczące zużycia energii są przedstawione w porządku rosnącym według maksymalnych wartości jednostkowego zużycia energii.

2.3.1 Przegląd strumienia masy

Ogólny przegląd strumienia masy dla procesu odlewniczego przedstawiono na Rysunku 2.59. Schemat ten dotyczy zarówno odlewni metali żelaznych, jak i nieżelaznych. Konkretne aspekty różnych etapów i typów procesu zostały wyszczególnione poniżej.



Rysunek 2.59: Przegląd strumienia masy dla procesu w odlewni

Materiały wsadowe/produkty wyjściowe dla głównych typów pieców są również omówione w tej sekcji.

Tabela 2.25: Typowe właściwości pieców topielnych stosowanych w odlewniach żelaza, właściwości i dane dotyczące emisji

Proces	**Stal**			**Żeliwo**				
Typ pieca	PIEC ŁUKOWY		PIEC INDUKCYJNY	PIEC INDUKCYJNY	ŻELIWIAK			PIEC OBROTOWY
Podtyp	Wyłożony kwasem	Wyłożony zasadą	Bezrdzeniowy	Bezrdzeniowy	Z zimnym dmuchem	Z gorącym dmuchem	Z gorącym dmuchem - praca ciągła	
Źródło energii	Energia elektryczna	Energia elektryczna	Energia elektryczna	Energia elektryczna	Koks	Koks	Koks	Gaz/paliwo
Wydajność cieplna[1] (%)	60 – 70	60 – 70	50 – 60	50 – 60	30 – 40	40 – 45	35 – 45	50 – 60
Podstawowa wydajność cieplna[2] (%)	21 – 25	21 – 25	15 – 20	15 – 20	30 – 40	40 – 45	35 – 45	35 – 45[3]
kWh/tonę wsadu metalu	500 – 700	500 – 700	520 – 800	520 – 800	950 – 1200	800 – 900	810 – 1100	600 – 800
Praca wsadowa/ciągła	Wsadowa	Wsadowa	Wsadowa	Wsadowa	Ciągła	Ciągła	Ciągła	Wsadowa
Wydajność produkcji[4] (tony/h)					2 - 10	8 - 70	8 - 70	
Pojemność pieca[5] (tony)	2 – 50	2 – 50	0,01 – 30	0,01 – 30				1 – 20
Czas topienia (h)	1 – 4	1 – 4	1 – 2	1 – 2				2 – 4
Zdolność rafinacji	Możliwa	Możliwa	Nie	Nie	Tak	Tak	Tak	Nie
Koszty kapitałowe	Wysokie	Wysokie	Wysokie	Wysokie	Średnie	Wysokie	Wysokie	Niskie
Produkcja żużla (kg/tonę wsadu metalu)	10 – 40	20 – 80	10 – 20		40 – 80	40 – 80		20 – 60
Produkcja pyłu[6] (kg/tonę wsadu metalu)	5 – 8		0,06 – 1		5 – 13	4 – 12		0,3 – 2,9

1 Wskazane wartości podają rząd wielkości, ale w dużej mierze zależą od warunków eksploatacji, takich jak temperatura metalu, pojemność pieca i tempo produkcji.
2 Przyjęto, że sprawność wytwarzania energii elektrycznej wynosi 35%.
3 Biorąc pod uwagę zużycie energii do produkcji tlenu i surowców, takich jak grafit i FeSi, w celu zastąpienia utlenionych pierwiastków podczas topienia.
4 Tylko dla procesów ciągłych.
5 Tylko dla procesów wsadowych.
Źródło: [14. CAEF 1997], [38. Vito 2001], [100. TWG 2002], [120. TWG 2003] oraz komentarze CTIF

Tabela 2.26: Typowe właściwości pieców topielnych do topienia aluminium

	j.m.	Piec obrotowy	Piec z paleniskiem (płomienny)	Piec szybowy	Piec tyglowy		
Podtyp			Jedna komora		Ogrzewany paliwem	Oporowy	Indukcyjny
Źródła energii		Paliwa (ciekłe, gazowe)	Paliwa (ciekłe, gazowe)	Paliwa (ciekłe, gazowe)	Paliwa (ciekłe, gazowe)	Energia elektryczna	Energia elektryczna
Wydajność cieplna[1]	%	15 – 40	30 – 57	35 – 65	15 – 40	65	65 – 70
Podstawowa wydajność cieplna[2]	%	15 – 40	< 30 – 57	35 – 60	15 – 40	22	22 – 25
Jednostkowe zapotrzebowanie na energię[3]	kWh/t Al[4]	600 – 1250	975 – 1150	540 – 900 *610 – 720*	900 – 1200 *610 – 680*	750 *470 – 590*	475 – 640 *440 – 470*
Praca wsadowa/ciągła		Wsadowa	Wsadowa	Ciągła	Wsadowa	Wsadowa	Wsadowa
Zdolność topienia	t lub t/h[5]	3 – 10	0,5 – 30	0.5 – 7 (-15)	0,1 – 1,2	0,1 – 0,4	0,2 – 25
Zdolność utrzymywania	t	N/D	N/D	1 – 20	0,1 – 1,5	0,1 – 1,5	0,15 – 6
Czas topnienia	h	2 – 4	3 – 4	N/D	0,5 – 1	4 – 5	0,2 – 0,5
Zdolność rafinacji		Niska	Niska	Niska	Dobra	Bardzo dobra	Niska
Strata przez spalenie	%	Brak danych	Brak danych	1 – 3	1 – 2	1 – 2	1 – 2
Techniki redukcji emisji		Filtr tkaninowy dla większych instalacji	Filtr tkaninowy dla większych instalacji	Filtr tkaninowy dla większych instalacji	Zazwyczaj nie jest to konieczne ze względu na mały rozmiar pieca	Nie jest wymagane	Nie jest wymagane

1 Definicja: zależność między ciepłem stopionej kąpieli a dostarczonym ciepłem paliwa; wskazane wartości dają rząd wielkości, ale w dużej mierze zależą od warunków eksploatacji, takich jak temperatura metalu.
2 Przyjęto, że sprawność wytwarzania energii elektrycznej (paliwa) wynosi 35%.
3 Zależy od środków odzyskiwania ciepła; ważne tylko w przypadku topienia; wartości podane przez [52. Eurofine 2002]zaznaczono *kursywą.*
4 Jednostki „na tonę Al" odnoszą się do tony stopionego stopu aluminium.
5 W przypadku pieców wsadowych jednostką jest t, a w przypadku pieców ciągłych jednostką jest t/h.
Źródła informacji: Badanie wewnętrzne VDG; Aluminium Taschenbuch, Band 2, 15. Auflage, Aluminium Verlag GmbH, Düsseldorf, 1996; Recykling aluminium, Aluminium Verlag GmbH, Düsseldorf, 2000; [52. Eurofine 2002] ;komentarze CTIF *Źródło*: [52. Eurofine 2002] oraz komentarze CTIF i VDG, tabela uaktualniona na podstawie komentarzy CAEF[210. TWG 2022]

2.3.1.1 Materiały wsadowe/produkty wyjściowe w topieniu metali

Poniżej podsumowano dane dotyczące wsadów i produktów wyjściowych głównych typów pieców stosowanych w odlewniach żelaza i metali nieżelaznych. Termin „topienie" w niniejszym dokumencie odnosi się do produkcji stopionego metalu żelaznego lub nieżelaznego z wykorzystaniem pieców. Obejmuje również przetapianie stopionego metalu i utrzymywanie temperatury stopionego metalu w piecach podgrzewających.
Główne dane dotyczące wsadów i produktów wyjściowych dla żeliwiaków przedstawiono w poniższej tabeli.

Wsad (materiał wejściowy)	**Produkty wyjściowe (produkty)**
– Materiały żelazne (surówka, żelazo gąbczaste, złom stalowy, odpady odlewnicze…) – Metale stopowe (żelazostopy…) – Topniki (wapień…) – Energia (koks, gaz, olej opałowy, energia elektryczna) – Tlen – Woda chłodząca – Woda	– Stopy metali (żeliwo) – Pył (zawartość metalu) – CO/CO_2, SO_2, NO_X – HF – Dioksyny, furany – Zanieczyszczenia organiczne – Żużel – Odpady z wykładziny ogniotrwałej

W przypadku pracy z zimnym dmuchem zużycie koksu między wsadami wynosi zazwyczaj 90–120 kg/tonę wsadu metalu, ale może być mniejsze niż 70 kg/tonę, np. w przypadku przeciwwag. Uwzględniając ilość koksu w złożu, całkowite zużycie koksu wynosi 110–140 kg/tonę wsadu metalu. Ponieważ wartość opałowa koksu europejskiego wynosi 8,5 kWh/kg, odpowiada to zużyciu energii cieplnej wynoszącemu 950–1200 kWh/tonę wsadu metalu.
Całkowite zużycie koksu w żeliwiaku z gorącym dmuchem wynosi zazwyczaj 110–145 kg/tonę wsadu metalu. Jednakże, ponieważ średnia zawartość stali wynosi 50 %, a na odwęglanie zużywa się około 1,5 % wsadu metalu, rzeczywisty udział spalonego koksu wynosi 95–130 kg/tonę, co odpowiada 810–1 100 kWh/tonę wsadu metalu. Odpowiada to wydajności cieplnej wynoszącej 35–45 %.
W zależności od układu instalacji należy dodać energię zużywaną przez urządzenia na oczyszczanie spalin i piec podgrzewający, zgodnie z Tabelą 2.27. Dane niemieckie wskazują, że jednostkowe zużycie energii elektrycznej przez urządzenia do oczyszczania gazów spalinowych wynosi około 20 kWh na tonę gotowego odlewu. [100. TWG 2002]

Tabela 2.27: Średnie zużycie energii na oczyszczanie gazów wylotowych oraz podtrzymywanie

Rodzaj nośnika energii	**Średnia zużycie kWh/tonę wsadu metalu**
Gaz do komory spalania	40
Energia elektryczna dla urządzeń do oczyszczania gazów spalinowych (wentylatory itp.)	40
Energia elektryczna dla pieca podgrzewającego	60
Źródło: [100. TWG 2002]	

Główne materiały wsadowe oraz produkty wyjściowe dla pieców łukowych przedstawiono w poniższej tabeli.

Wsad (materiał wejściowy)	**Produkt wyjściowy (produkt)**
- Materiały żelazne (złom stalowy, wióry z odlewni, surówka...) - Metale stopowe (żelazostopy…) - Topniki (wapień…) - Energia (energia elektryczna, gaz, olej) - Tlen - Elektrody	- Stopy metali (staliwo) - Pył (zawartość metalu, materiał ogniotrwały) - NO_X, CO_2, CO - Organiczne zanieczyszczenia powietrza, HC - Opary tlenków metali - Żużel (CaO, SiO_2, MgO) - Odpady materiałów ogniotrwałych

Główne materiały wsadowe oraz produkty wyjściowe dla pieców obrotowych przedstawiono w poniższej tabeli.

Wsad (materiał wejściowy)	**Produkt wyjściowy (produkt)**

- Materiał żelazny (surówka, złom stalowy, wióry, odpady odlewnicze...) - Metale stopowe (żelazostopy…) - Środki nawęglające, topniki - Energia (energia elektryczna, olej, gaz) - Woda chłodząca	- Stopy metali (żeliwo) - Pył - Opary organiczne i metaliczne - Żużel - Odpady ogniotrwałe

Główne materiały wsadowe oraz produkty wyjściowe dla pieców indukcyjnych przedstawiono w poniższej tabeli.

Wsad (materiał wejściowy)	**Produkt wyjściowy (produkt)**
- Materiał żelazny (surówka, złom stalowy, wióry, odpady odlewnicze...) - Metale stopowe (żelazostopy…) - Środki nawęglające, topniki - Energia (energia elektryczna) - Woda chłodząca	- Stopy metali (żeliwo) - Pył - Opary organiczne i metaliczne - Żużel - Odpady ogniotrwałe

Główne materiały wsadowe oraz produkty wyjściowe dla pieców indukcyjnych w odlewniach aluminium przedstawiono w poniższej tabeli

Wsad (materiał wejściowy)	**Produkt wyjściowy (produkt)**
- Wlewki aluminiowe, odpady odlewnicze - Energia elektryczna - Woda chłodząca	- Stopione aluminium - Pył - Zużyty materiał ogniotrwały

Główne materiały wsadowe oraz produkty wyjściowe dla konwertorów argonowo-tlenowych (konwertorów AOD) przedstawiono w poniższej tabeli

Wsad (materiał wejściowy)	**Produkt wyjściowy (produkt)**
- Stopiona stal - Metale stopowe (żelazostopy) - Al, FeSi, wapno - O_2, N_2, Ar	- Stal odwęglona - Pyły i opary tlenków metali (Fe, Mn, Cr, Ni) - Gazy (CO_2, CO, gazy obojętne) - Żużel (CaO, SiO_2, AlO_3)

Główne materiały wsadowe oraz produkty wyjściowe dla pieców szybowych przedstawiono w poniższej tabeli.

Wsad (materiał wejściowy)	**Produkt wyjściowy (produkt)**
- Wlewki aluminiowe, odpady odlewnicze - Energia - Produkty do odtleniania i usuwania gazów	- Stopione aluminium - Pył - NO_X, CO - Zużyty materiał ogniotrwały

Główne materiały wsadowe oraz produkty wyjściowe dla pieców tyglowych przedstawiono w poniższej tabeli.

Wsad (materiał wejściowy)	**Produkt wyjściowy (produkt)**
- Wlewki aluminiowe, odpady odlewnicze lub ciekłe aluminium, jeśli używane jest piec podgrzewający - Energia elektryczna lub paliwo	- Stopione aluminium - Pył

2.3.1.2 Materiały wsadowe/produkty wyjściowe przy wykonywaniu form oraz produkcji rdzeni

Wykonywanie form z użyciem masy z bentonitem

Główne materiały wsadowe oraz produkty wyjściowe z użyciem masy z bentonitem (wykonywanie form przy użyciu masy z bentonitem) przedstawiono w poniższej tabeli.

Wsad (materiał wejściowy)	**Produkt wyjściowy (produkt)**
- Piasek - Glinka wiążąca (np. bentonit) - Pył węglowy, dekstryna - Woda (do przygotowania mieszanki formierskiej)	- Formy z bentonitu - Pył (drobinki krzemionki, częściowo wypalona glina, niespalony pył węglowy i popiół)

Skład bentonitu dodawanego do piasku zależy od specyficznych właściwości zarówno piasku, jak i bentonitu, a także od pożądanej wytrzymałości i przepuszczalności gazowej gotowej formy. Poniższa tabela przedstawia niektóre parametry masy z bentonitem, uzyskane na podstawie wyboru 105 próbek piasku pobranych z odlewni żeliwa.

Tabela 2.28: Typowe właściwości bentonitu zmierzone na 105 próbkach piasku pochodzących ze 105 odlewni żelaza

Parametr	j.m.	Średnia	% próbek w zakresie wartości średniej ± 10 %		Wartość maksymalna	Wartość minimalna
			Zakres	%		
Zawartość wody	%	4,1	3,4 – 4,5	48	6,9	2,4
Zawartość bentonitu	%	8,3	7,5 – 9,1	45	11,9	5,6
Gęstość	g/cm³	0,940	1,00 – 0,85	75	1,06	0,73
Strata podczas prażenia	%	5,0	4,5 – 5,5	20	15,0	1,0
Wytrzymałość na ściskanie	N/cm²	18,6	16,7 – 20,5	54	24,5	13,2
Źródło: [16. Winterhalter i in. 1992]						

Do mieszanki bentonitu dodaje się dalsze dodatki [73. Brown, J. R. 2000]:

- *Pył węglowy*: Stosowany głównie w odlewniach żeliwa, ale w mniejszym stopniu również w niektórych odlewniach metali nieżelaznych. Zawartość pyłu węglowego w bentonicie waha się od 2% lub 3% w przypadku małych odlewów, aż do 7% lub 8% w przypadku odlewów o dużych przekrojach. Zbyt duża ilość pyłu węglowego może powodować powstawanie otworów w odlewach lub niedopasowanie. Istnieją różne produkty zastępujące pył węglowy. Zazwyczaj dodaje się je w nieco zmienionym stężeniu w porównaniu z pyłem węglowym.
- *Spoiwa zbożowe*: Skrobia i dekstryna są stosowane głównie w odlewniach stali w celach zapobiegania defektom spowodowanym rozszerzaniem się krzemionki oraz w celu kontrolowania nadmiernej wilgotności mieszanki piaskowej. Skuteczne dodatki spoiw zbożowych do nowych mieszanek bentonitu wynoszą od 0,5% do 0,75%. W bentonitach typu jednoskładnikowego część spoiw zbożowych ulega zniszczeniu podczas procesu odlewania. Zalecana domieszka przy każdym recyklingu wynosi od 0,1% do 0,25%, w zależności od stopnia wypalenia spoiw zbożowych oraz rozcieńczenia przez rdzenie i nowy piasek.

Wykonywanie form z użyciem piasku niezwiązanego (proces V)

Główne materiały wsadowe oraz produkty wyjściowe z użyciem piasku niezwiązanego (proces V) przedstawiono w poniższej tabeli.

Wsad (materiał wejściowy)	Produkt wyjściowy (produkt)
- Suchy piasek	- Formy
- Arkusze polietylenowe	- Pył
- Energia (do wytwarzania i utrzymywania próżni)	

Szok termiczny wywołany kontaktem z roztopionym metalem powoduje rozpad ziaren piasku, wytwarzając pył, który jest w większości emitowany podczas wytrząsania. Pył pozostały w piasku musi zostać usunięty, aby umożliwić ponowne wykorzystanie piasku do wykonywania form. Dzięki tej metodzie podczas napełniania skrzynek formierskich powinny powstawać jedynie niewielkie ilości pyłu.

Proces ten jest interesujący ze względu na bardzo mały wpływ na środowisko. Jednakże, ponieważ jego cykl obejmuje wiele etapów, wydajność wykonywania form jest niska, a przerwy między rozpoczęciem każdego nowego odlewu są długie. Ponadto koszty inwestycyjne są bardzo wysokie. W rezultacie proces ten znalazł jedynie ograniczone zastosowanie.

Wykonywanie form oraz produkcja rdzeni z użyciem piasku związanego chemicznie

W poniższej tabeli przedstawiono główne materiały wsadowe oraz produkty wyjściowe dla wykonywania form i produkcji rdzeni z użyciem piasku związanego chemicznie

Wsad (materiał wejściowy)	Produkt wyjściowy (produkt)
- Piasek	- Formy piaskowe i rdzenie
- Żywica	- Nadmiar odczynników
- Katalizator, utwardzacz, dodatki	- Produkty reakcji

- Pył

Poziomy zużycia różnych rodzajów spoiw, utwardzaczy, katalizatorów i dodatków podano w Tabeli 2.29.

Tabela 2.29: Poziomy zużycia różnych rodzajów żywic, katalizatorów, utwardzaczy i dodatków stosowanych do przygotowania piasku związanego chemicznie

Rodzaj utwardzania	Rodzaj żywicy	Masa żywicy w stosunku do masy piasku [%]	Rodzaj katalizatora/ utwardzacza	Masa katalizatora/ utwardzacza w stosunku do masy żywicy [%]	Rodzaj dodatku	Masa dodatku w stosunku do masy piasku [%]
Na zimno	Furan	0,8 – 1,5	Kwas sulfonowy	25 – 60	Silan	0,1 – 0,2
	Fenol	1 – 2	Kwas sulfonowy	25 – 50	N/D	N/D
	Poliuretan	0,8 – 1,5	Pochodna pirydyny	2 – 6	N/D	N/D
	Rezol	1,0 – 1,5	Ester	22 – 25	N/D	N/D
	Olej alkidowy	1,0 – 2,0	Izocyjanian	18 – 20	Katalizator	0,002 –
	Ester	2,0 – 4,5	Ester	10 – 15	N/D	N/D
Utwardzanie	Fenol/Furan	0,8 – 1,2	SO_2	0,3 – 3	Nadtlenek	0,1 – 0,5
	Poliuretanowy cold-box	1,0 – 1,8	Aminy	0,05 – 0,15	N/D	N/D
	Rezol	1,2 – 1,8	Mrówczan metylu	0,3 – 0,5	N/D	N/D
	Rezol	2 – 2,5	CO_2	0,7 – 1,25	N/D	N/D
	Akryl/ żywica	1,2 – 1,6	SO_2	0,02 – 0,05	Nadtlenek	0,05 –
	Krzemian	2 – 4	CO_2	1 – 2	N/D	N/D
Termoutwardzanie	Olej	0,8 – 4			N/D	N/D
	Warm-box na bazie alkoholu furfurylowego	1,0 – 1,5	Sole Cu kwasów sulfonowych	10 – 30	N/D	N/D
	Hot-box na bazie fenolu lub furanu	1,2 – 3,0	Sole amonowe	10 – 25	N/D	N/D
	Croning fenolowy	1,5 – 5	Heksametylenotetramina (HMTA)	15	N/D	N/D
Źródło: [73. Brown, J. R. 2000], [120. TWG 2003]						

Emisje dla procesów wiązania na zimno można opisać w następujący sposób [14. CAEF 1997]:

- *Fenol*: Opary formaldehydu i fenolu mogą być emitowane ze względu na prężność par tych składników. Jednak ponieważ polimeryzacja zachodzi w temperaturze otoczenia, wspomniane prężności par są niskie, a biorąc pod uwagę wskaźniki zużycia, emisje są nieznaczne.
- *Furan*: Opary formaldehydu, fenolu, alkoholu furfurylowego i alkoholi mogą być emitowane ze względu na prężność par tych składników. Jednak ponieważ polimeryzacja zachodzi w temperaturze otoczenia, wspomniane prężności par są niskie, a biorąc pod uwagę wskaźniki zużycia, emisje są nieznaczne.
- *Poliuretan*: Opary formaldehydu, fenolu, izocyjanianu i rozpuszczalników aromatycznych mogą być emitowane ze względu na prężność par tych składników. Ponieważ polimeryzacja zachodzi w temperaturze otoczenia, prężność par tych składników jest niska, a biorąc pod uwagę wskaźniki zużycia, emisje są nieznaczne. W obszarze wykonywania form mogą powstawać nieprzyjemne zapachy, ale nie powinny one być uciążliwe dla otoczenia.
- *Rezol-ester:* Żywica zawiera nieprzereagowany fenol i formaldehyd, ale ich emisja jest bardzo niska i nieistotna dla środowiska.
- *Olej alkidowy:* Podczas produkcji form i rdzeni nie występują problemy z emisją, chyba że są one utwardzane za pomocą ciepła, w którym to przypadku mogą wystąpić problemy z zapachem.
- *Krzemian estrowy*: Proces ten nie generuje żadnych problemów związanych z emisją.

Emisje dla procesów utwardzania gazem można opisać w następujący sposób [14. CAEF 1997]:

- *Cold-box (zimna rdzennica)*: Opary formaldehydu, fenolu, izocyjanianu i rozpuszczalników

aromatycznych są emitowane w niewielkich ilościach, pomimo ich niskiej prężności par. Emisja rozpuszczalników aromatycznych jest najwyższa podczas oczyszczania/przedmuchiwania. Najbardziej znaczącą emisją są aminy, które mają niski próg wykrywalności zapachu i mogą powodować uciążliwość zewnętrzną. Aminy są niebezpieczne, mają stosunkowo niski limit wartości ekspozycji i posiadają silny charakterystyczny zapach przy bardzo niskich stężeniach.

- *Rezol-ester*: Żywica zawiera nieprzereagowany fenol i formaldehyd, ale ich poziomy emisji, nawet w okresach gazowania i oczyszczania/przedmuchiwania, są bardzo niskie. Mrówczan metylu nie jest toksyczny, nie ma nieprzyjemnego zapachu, a jego limit wartości ekspozycji jest stosunkowo wysoki.
- *Rezol-CO_2*: Żywica ma niską zawartość nieprzereagowanego fenolu i formaldehydu, a ich poziomy emisji, nawet podczas okresów gazowania i oczyszczania/przedmuchiwania, są bardzo niskie.
- *Żywica fenolowa i furanowa utwardzana SO_2*: Żywice i przygotowane piaski generują emisje formaldehydu. Głównym problemem związanym z emisją jest dwutlenek siarki, który jest bardzo niebezpieczny.
- *Żywica epoksydowa/akrylowa utwardzana SO_2 :* Podczas procesu produkcji rdzeni generowane są minimalne emisje.
- *Krzemian CO_2*: Proces ten nie generuje żadnych problemów związanych z emisją podczas wykonywania form lub produkcji rdzeni.

Emisje dla procesów utwardzania na gorąco można opisać w następujący sposób:

- *Emisje z hot-box (gorącej rdzennicy)*: Szablony są zazwyczaj ogrzewane przez palniki gazowe na otwartym powietrzu, co powoduje emisję gazów spalinowych. Gaz wylotowy może zawierać fenol, amoniak, formaldehyd i monoizocyjanianу (jeśli żywica zawiera azot).
- *Emisje z warm-box (ciepłej rdzennicy)*: W porównaniu do procesu z hot-box, emisje są znacznie niższe. Emisje nie zawierają fenolu ani amoniaku, a emisje formaldehydu są zmniejszone 4-krotnie. Ponieważ temperatura szablonu jest również niższa w porównaniu do tej stosowanej w procesie z hot-box, warunki pracy również ulegają poprawie. Wpływ na środowisko jest uważany za stosunkowo niski.
- *Emisje z powlekania*: W porównaniu do procesu z hot-box, zużycie utwardzanego piasku jest bardzo niskie. Wstępnie powlekany piasek zawiera od dwóch do trzech razy więcej żywicy, ale ponieważ temperatury szablonu są w przybliżeniu takie same, wynikający z tego wpływ na warunki pracy jest podobny.
- *Emisje oleju lnianego* : Ponieważ oleje są często rozpuszczane w rozpuszczalnikach organicznych, takich jak benzyna lakowa lub nafta, podczas utwardzania generowana jest duża ilość lotnych związków organicznych, co może powodować zewnętrzne uciążliwości zapachowe. Problem ten jest jeszcze bardziej uporczywy podczas zalewania. Problemy te, jak również niska produktywność, są jednymi z powodów spadku zainteresowania stosowaniem tego procesu.

[14. CAEF 1997]

2.3.2 Emisje do powietrza

2.3.2.1 Topienie metali

2.3.2.1.1 Emisje pyłu

Zgłoszone poziomy emisji pyłu do powietrza z topienia metali przedstawiono na następujących rysunkach:

- Rysunek 2.60: Emisje pyłu do powietrza z topienia metali w odlewniach żeliwa wykorzystujących piece indukcyjne, obrotowe lub łukowe (*Electric Arc Furnace, EAF*);
- Rysunek 2.61: Emisje pyłu z topienia metalu w odlewniach żeliwa stosujących żeliwiaki z zimnym dmuchem (*cold blast cupola, CBC*) lub żeliwiaki z gorącym dmuchem (*hot blast cupola, HBC*);
- Rysunek 2.62: Emisje pyłu z topienia metali w odlewniach stali;
- Rysunek 2.63 oraz Rysunek 2.64: Emisje pyłu z topienia metali w odlewniach metali nieżelaznych (*non-ferrous metal foundry, NFM foundry*).

Niektóre dane statystyczne dotyczące zgłoszonych emisji pyłu (wartości maksymalne) w zależności od typu pieca przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 2.30: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji pyłu

			90 percentyl	Średnia	Mediana	10 percentyl

Parametr /Rodzaj pieca	Liczba punktów emisji	Liczba zakładów	mg/Nm^3			
CBC	9	6	11,67	4,25	1,75	0,45
HBC	24	20	56,14	163,5	6,8	1,33
Tyglowy	13	7	9,7	3,9	2,0	0,43
EAF	8	8	-	2,16	1,0	-
Indukcyjny bezrdzeniowy	77	18	11,6	3,53	1	0,42
Indukcyjny tyglowy średniej częstotliwości	27	11	6,94	2,96	2	0,18
Indukcyjny tyglowy o częstotliwości zasilania/sieci energetycznej	11	1	6,9	4,05	1	0,6
Obrotowy	6	1	-	6,4	2	-
Z kopułą nagrzewającą (*radiant roof*)	3	2	-	2,64	2	-
Oporowy/rezystancyjny	5	1	-	2,63	1	-
Obrotowy płomienny	19	5	12,34	6,41	5	1,92
Szybowy	49		14,02	5,84	3	1,1
Źródło: [169. TWG 2021]						

W przypadku żeliwiaków wielkość cząstek waha się od poniżej 1 µm do 10 mm, z czego 50% jest mniejsze niż 100 µm. Jednak 5% do 20% jest mniejszych niż 2 µm, co utrudnia zbieranie pyłu. Pył z żeliwiaka składa się głównie z koksu, krzemionki, rdzy i wapienia, jak to widać w Tabeli 2.31.

Tabela 2.31: Typowy skład pyłu z żeliwiaka (jako procent masy)

Substancja	Skład (wt%)	
	[14. CAEF 1997]	[61. Winterhalter i in. 1998]
Tlenek żelaza	30 – 60	15 – 25
SiO_2	25	15 – 30
Pył koksowniczy	3 – 15	Brak danych
MnO	3 – 10	2 – 5
Al_2O_3	1 – 3	2 – 5
MgO	1 – 3	0 – 2
CaO	< 1	5 – 10
S	< 2	Brak danych
ZnO_2 w zależności od wsadu	< 3	0 - 30 Zn*
PbO, w zależności od wsadu	< 1	0 - 5 Pb*
* W postaci tlenków i krzemianów; ma zastosowanie do pyłów wzbogaconych w Zn. *Źródło:* [14. CAEF 1997], [61. Charbonnier i in. 1998]		

2.3.2.1.2 Emisje metali

Zgłoszone poziomy emisji Pb do powietrza z topienia metali przedstawiono na następujących rysunkach:
- Rysunek 2.67: Emisje Pb do powietrza z topienia w odlewniach żeliwa stosujących CBC lub HBC;
- Rysunek 2.68: Emisje Pb do powietrza z topienia w odlewniach NFM.

2.3.2.1.3 Emisje polichlorowanych dibenzo-p-dioksyn i furanów (PCDD/F)

W procesach topienia dioksyny mogą być wytwarzane, jeśli warunki powodujące powstawanie takich zanieczyszczeń występują w tym samym miejscu i czasie w procesie. Warunki te są następujące:
- obecność jonów chlorkowych - mogą one pochodzić z zanieczyszczonego złomu, ze stosowania węgla, koksu, oleju opałowego lub z niektórych topników;
- obecność węgla organicznego - może pochodzić z zanieczyszczonego złomu oraz z węgla, koksu lub oleju stosowanego jako paliwo;
- temperatura w zakresie od 250ºC do 450ºC, z wystarczającym czasem przebywania gazu w tym przedziale temperatur;

- obecność katalizatora, takiego jak miedź;
- obecność tlenu.

Oceniając ryzyko powstawania dioksyn, można dokonać rozróżnienia między odlewniami metali nieżelaznych i żelaznych:

- Odlewnie metali nieżelaznych (odlewnie NMF): Gdy topione są tylko wlewki i złom własny odlewni, ryzyko powstawania dioksyn na etapie topienia jest bardzo niskie. W topieniu czystych metali nieżelaznych brakuje zarówno chloru, jak i węgla, które są niezbędne do tworzenia się dioksyn. Jednak przetapianie złomu metali nieżelaznych pochodzącego spoza odlewni w celu produkcji metali może wiązać się z ryzykiem powstawania dioksyn.
- Odlewnie żelaza: W zależności od rodzaju pieca i obciążenia metalem mogą wystąpić warunki do powstawania dioksyn. Biorąc pod uwagę wysokie temperatury w piecu topielnym, emisja dioksyn (jeśli w ogóle wystąpi) będzie pochodzić głównie z syntezy de-novo (łac. *z nowego*). Wyżej wymienione warunki można wykorzystać do oceny ryzyka powstawania dioksyn.

Dane dotyczące emisji dioksyn zostały zebrane w zbiorze danych SF BREF z szerokiej gamy pieców topielnych. Podsumowano je w Tabeli 2.32.
Zgłoszone poziomy emisji PCCD/F do powietrza z topienia metali przedstawiono na Rysunku 2.65 dla odlewni żeliwa i na Rysunku 2.66 dla odlewni NFM.
Niektóre dane statystyczne dotyczące zgłoszonych emisji PCDD/F (wartości maksymalne) przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 2.32: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji PCDD/F

Rodzaj pieca	**Liczba punktów emisji**	**90 percentyl**	**Średnia**	**Mediana**	**10 percentyl**
		ng WHO-TEQ/Nm^3			
CBC	8	0,16	0,07	0,0255	0,0146
HBC	7	1,93	0,69	0,04	0,0077
Obrotowy	3	0,0368	0,02	0,02	0,014
Indukcyjny (elektryczny bezrdzeniowy oraz tyglowy średniej częstotliwości) w odlewniach żeliwa	16	0,0115	0,01	0,01	0,00035
Szybowy	14	0,191	0,06	0,0085	0,003
Źródło: [169. TWG 2021]					

Dodatkowe dane dotyczące emisji PCDD/F są dostępne w projekcie DIOFUR. Zakres emisji dioksyn dla różnych rodzajów pieców przedstawiono w Tabeli 2.33 dla żeliwiaków (HBC i CBC), Tabeli 2.34 dla pieców obrotowych i w Tabeli 2.35 dla pieców łukowych.

Tabela 2.33: Zakres emisji dioksyn dla żeliwiaków

Rodzaj pieca	**ng I-TEQ/Nm^3**
Żeliwiak z gorącym dmuchem	0,0017 – 0,4166
Żeliwiak z zimnym dmuchem	0,0010 – 0,3290
Źródło: [180. DIOFUR 2010]	

Tabela 2.34: Zakres emisji dioksyn dla pieców obrotowych

Rodzaj pieca	**ng I-TEQ/Nm^3**
Obrotowy (mały)	0,0160 – 0,0190
Obrotowy (duży)	0,0019 – 0,0022
Źródło: [180. DIOFUR 2010]	

Tabela 2.35: Zakres emisji dioksyn dla pieców łukowych

Rodzaj pieca	**ng I-TEQ/Nm^3**
Łukowy 1	0,0019 – 0,0023
Łukowy 2	0,0020 – 0,0370
Źródło: [180. DIOFUR 2010]	

2.3.2.1.4 Emisje tlenków azotu (NO_X)

Zgłoszone poziomy emisji NO_X do powietrza z topienia metalu i wstępnego podgrzewania kadzi przedstawiono na rysunkach

- Rysunek 2.69: Emisje NO_X z topienia w odlewniach żeliwa stosujących HBC;
- Rysunek 2.70: Emisje NO_X z topienia w odlewniach żeliwa stosujących CBC lub piece obrotowe;
- Rysunek 2.71: Emisje NO_X z topienia w odlewniach NFM.

Niektóre dane statystyczne dotyczące zgłoszonych emisji NO_X (wartości maksymalne) w odniesieniu do rodzaju pieca przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 2.36: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji NO_X

Rodzaj pieca	Liczba punktów emisji	90 percentyl	Średnia	Mediana	10 percentyl
		mg/Nm^3			
CBC	11	70	35	34	8,0
HBC	15	158	94	77,0	27
Tyglowy	14	52	31,0	31,5	16
EAF	3	-	14	8	-
Indukcyjny (elektryczny bezrdzeniowy oraz tyglowy średniej częstotliwości)	23	13	7	4,0	2
Obrotnica	5	-	106	526	-
Z kopułą nagrzewającą (*radiant roof*)	2	-	15	-	-
Obrotowy płomienny	14	110	51	26	17
Szybowy	47	60	31	27	10
Źródło: [169. TWG 2021]					

2.3.2.1.5 Emisje tlenku węgla (CO)

Zgłoszone poziomy emisji CO do powietrza z topienia metalu i wstępnego podgrzewania kadzi przedstawiono na rysunkach

- Rysunek 2.72: Emisje CO do powietrza z topienia w odlewniach żeliwa stosujących CBC, HBC lub piece obrotowe;
- Rysunek 2.73: Emisje CO do powietrza z topienia w odlewniach NFM.

Niektóre dane statystyczne dotyczące zgłoszonych emisji CO (wartości maksymalne) w odniesieniu do rodzaju pieca przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 2.37: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji CO

Rodzaj pieca	Liczba punktów emisji	90 percentyl	Średnia	Mediana	10 percentyl
		mg/Nm^3			
CBC	5	-	4809	219	-
HBC	18	881	388	66	16
Tyglowy	8	115	53	19	8
Indukcyjny (elektryczny bezrdzeniowy oraz tyglowy średniej częstotliwości)	20	36	21	13	9
Obrotowy	4	-	29	18	-
Z kopułą nagrzewającą (*radiant roof*)	5	-	4	4	-
Obrotowy płomienny	10	142	58	11	4
Szybowy	37	118	60	16	4
Źródło: [169. TWG 2021]					

2.3.2.1.6 Emisje dwutlenku siarki (SO_2)

Zgłoszone poziomy emisji SO_2 do powietrza z topienia metalu i wstępnego podgrzewania kadzi przedstawiono na rysunkach

- Rysunek 2.74:Emisje SO_2 do powietrza z topienia w odlewniach żeliwa stosujących HBC, CBC lub

piece obrotowe;

- Rysunek 2.75: Emisje SO_2 do powietrza z topienia w odlewniach NFM.

Niektóre dane statystyczne dotyczące zgłoszonych emisji SO_2 (wartości maksymalne) w odniesieniu do rodzaju pieca przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 2.38: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji SO_2

Rodzaj pieca	Liczba punktów emisji	90 percentyl	Średnia	Mediana	10 percentyl
		mg/Nm³			
CBC	11	220	112	70	51
HBC	16	185	80	50	18
Tyglowy	4	-	7	6	-
Indukcyjny (elektryczny bezrdzeniowy oraz tyglowy	11	13	6	4	0
Obrotowy	3	-	67	46	-
Z kopułą nagrzewającą (*radiant roof*)	5	-	13	3	-
Obrotowy płomienny	6	-	12	10	-
Szybowy	12	8	9	5	1
Źródło: [169. TWG 2021]					

2.3.2.1.7 Emisje całkowitych LZO (lotnych związków organicznych)

Zgłoszone poziomy emisji całkowitych LZO do powietrza z topienia metali przedstawiono na Rysunku 2.76 (odlewnie żeliwa) i Rysunku 2.77 (odlewnie NFM).
Niektóre dane statystyczne dotyczące zgłoszonych danych emisji całkowitych LZO (wartości maksymalne) w odniesieniu do rodzaju pieca przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 2.39: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji całkowitych LZO

Rodzaj pieca	Liczba punktów emisji	90 percentyl	Średnia	Mediana	10 percentyl
		mg/Nm³			
CBC	7	-	45,6	7,5	-
HBC	4	-	26,5	18,5	-
Tyglowy	12	17,5	8,6	6,5	2,1
EAF	3	-	10,8	9,4	-
Indukcyjny (elektryczny bezrdzeniowy oraz tyglowy średniej częstotliwości)	25	51,6	65,1	6,8	1,9
Obrotowy płomienny	10	22,5	14,5	12,8	1
Szybowy	27	38,5	15,6	10	3,6
Źródło: [169. TWG 2021]					

2.3.2.1.8 Emisje kwasu solnego (HCl)

Zgłoszone poziomy emisji HCl do powietrza z topienia metali przedstawiono na Rysunku 2.78 (odlewnie żeliwa) i Rysunku 2.79 (odlewnie NFM).
Niektóre dane statystyczne dotyczące zgłoszonych emisji HCl (wartości maksymalne) przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 2.40: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji HCl

Parametr	Liczba punktów emisji	90 percentyl	Średnia	Mediana	10 percentyl
		mg/Nm³			
HCl	36	7,1	4,3	0,8	0,3
Źródło: [169. TWG 2021]					

2.3.2.1.9 Emisje fluorowodoru (HF)

Zgłoszone poziomy emisji HF do powietrza z topienia metali przedstawiono na Rysunku 2.80 (odlewnie żeliwa) i Rysunku 2.81 (odlewnie NFM).
Niektóre dane statystyczne dotyczące zgłoszonych emisji HF (wartości maksymalne) przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 2.41: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji HF

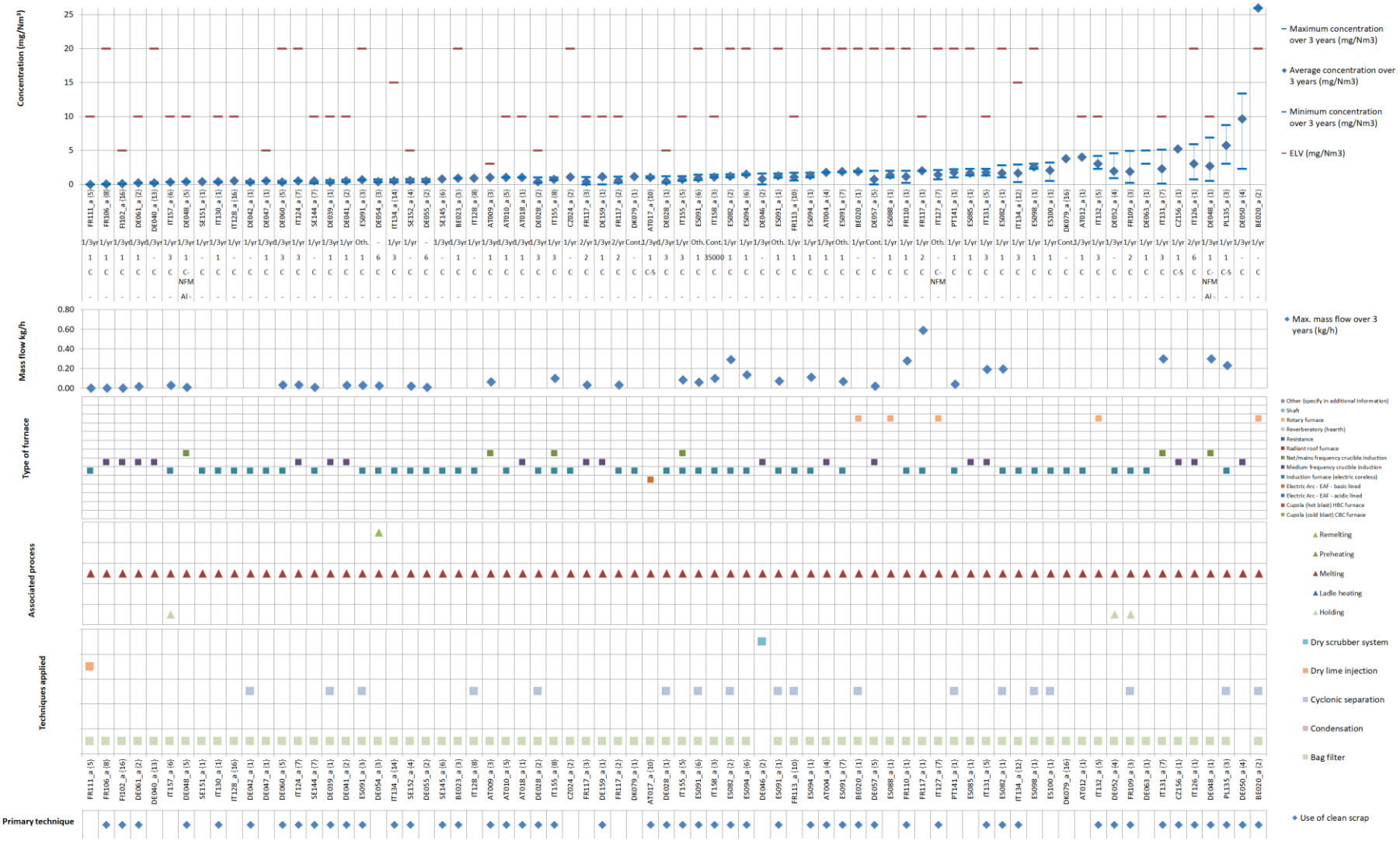
Parametr	Liczba punktów emisji	90 percentyl	Średnia	Mediana	10 percentyl
		mg/Nm^3			
HF	36	2,9	1,4	0,5	0,1
Źródło: [169. TWG 2021]					

2.3.2.1.10 Dane dla emisji do powietrza

Dane liczbowe dotyczące emisji do powietrza przedstawione w niniejszej sekcji i kolejnych odpowiednich sekcjach składają się z kilku części (sekcji):

- Górna część (pierwsza sekcja) rysunku zawsze przedstawia maksymalne, średnie i minimalne stężenia dla okresu sprawozdawczego posortowane od minimum do maksimum. Poniżej osi X znajdują się dodatkowe informacje kontekstowe, takie jak kod punktu emisji, częstotliwość monitorowania i liczba pomiarów wykonywanych każdego roku.
- W drugiej części (sekcji) rysunku podano dodatkowe informacje, takie jak maksymalne wartości przepływu masowego w ciągu 3 lat sprawozdawczych.
- Trzecia część (sekcja) rysunku zawiera informacje kontekstowe (np. rodzaj pieca stosowanego w przypadku topienia metali, rodzaj żywic stosowanych w przypadku wykonywania form). W przypadku pieców informacje te są uzupełniane przez dwie dodatkowe sekcje rysunku zawierające informacje na temat powiązanych procesów (topienie, przetapianie, podtrzymywanie, podgrzewanie wstępne, podgrzewanie kadzi) oraz rodzaju stosowanego paliwa.
- Ostatnia sekcja rysunku zawiera informacje na temat zastosowanych technik.

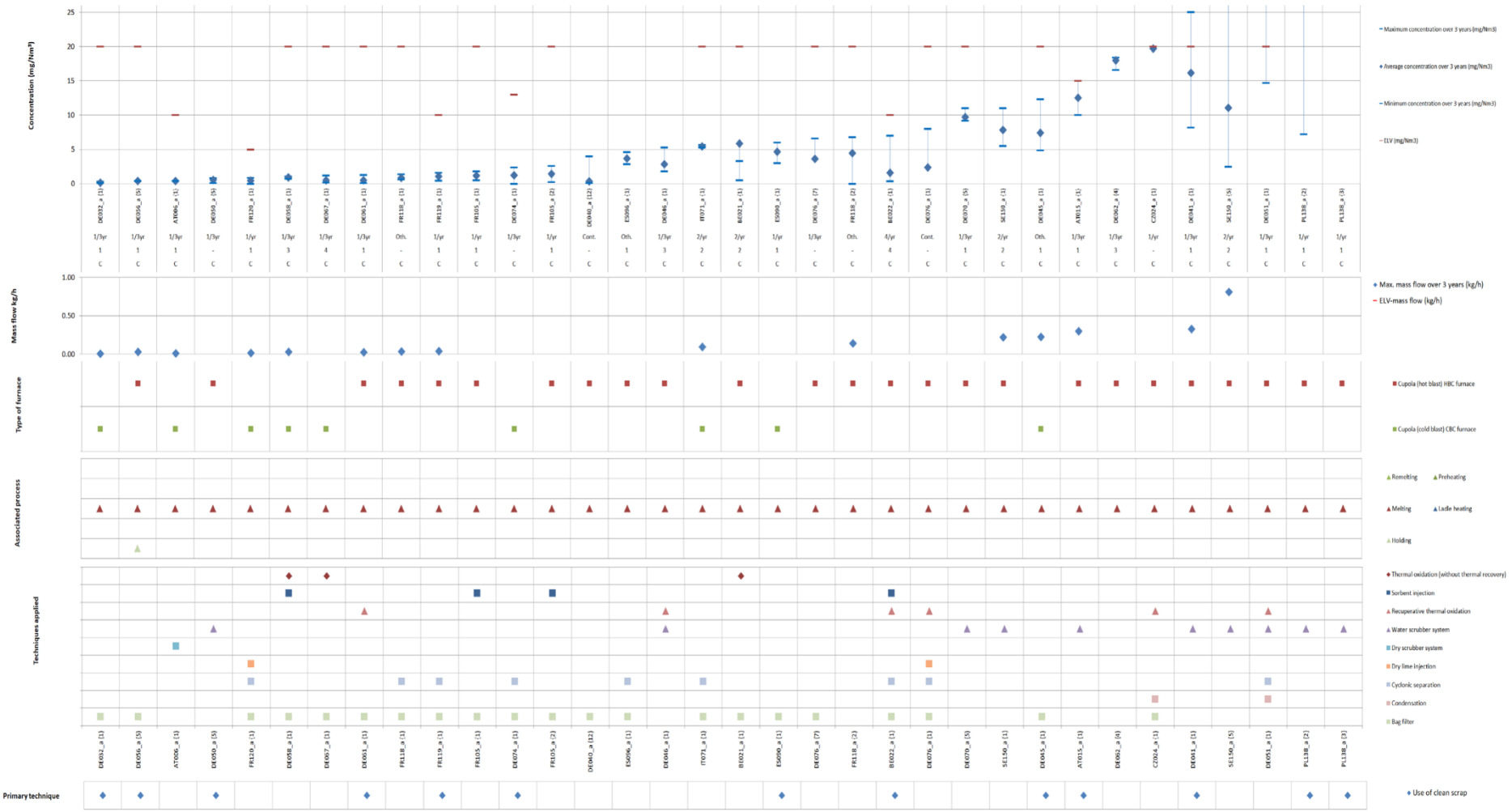
Objaśnienia skrótów użytych na wykresach można znaleźć w Słowniczku.



Źródło: [169. TWG 2021]

Rysunek 2.60: Emisje pyłów do powietrza z topienia metali w odlewniach żeliwa stosujących piece indukcyjne, obrotowe lub EAF

Concentration (mg/Nm^3)	Stężenie (mg/Nm^3)
Mass flow kg/h	Przepływ masowy kg/h
Type of furnace	Typ pieca
Associated process	Powiązany proces
Techniques applied	Zastosowane techniki
Primary technique	Główna technika
Maximum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Maksymalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Average concentration over 3 years (mg/Nm3)	Średnie stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Minimum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Minimalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
ELV (mg/Nm3)	Dopuszczalna wartość emisji (ELV) (mg/Nm^3)
Max. mass flow over 3 years(kg/h)	Maks. przepływ masowy w ciągu 3 lat (kg/h)
Other (specify in additional information)	Pozostałe (określić w informacjach dodatkowych)
Shaft	Piec szybowy
Rotary furnace	Piec obrotowy
Reverberatory (hearth)	Piec płomienny
Resistance	Piec oporowy
Radiant roof furnace	Piec z kopułą nagrzewającą
Net/mains frequency crucible induction	Piec indukcyjny tyglowy o częstotliwości zasilania/sieci energetycznej
Medium frequency crucible induction	Piec indukcyjny tyglowy średniej częstotliwości
Induction furnace (electric coreless)	Piec indukcyjny (elektryczny bezrdzeniowy)
Electric Arc - EAF - basic lined	Piec łukowy - EAF - wyłożony zasadą
Electric Arc - EAF - acidic lined	Piec łukowy - EAF - wyłożony kwasem
Cupola (hot blast) HBC furnace	Żeliwiak z gorącym dmuchem - HBC
Cupola (cold blast) CBC furnace	Żeliwiak z zimnym dmuchem - CBC
Remelting	Przetapianie
Preheating	Podgrzewanie
Melting	Topienie
Ladle heating	Podgrzewanie kadzi
Holding	Podtrzymywanie (temp.)
Dry scrubber system	System suchego odsiarczania
Dry lime injection	Wtrysk suchego wapna
Cyclonic separation	Separacja cyklonem
Condensation	Kondensacja
Bag filter	Filtr workowy
Use of clean scrap	Wykorzystanie czystego złomu



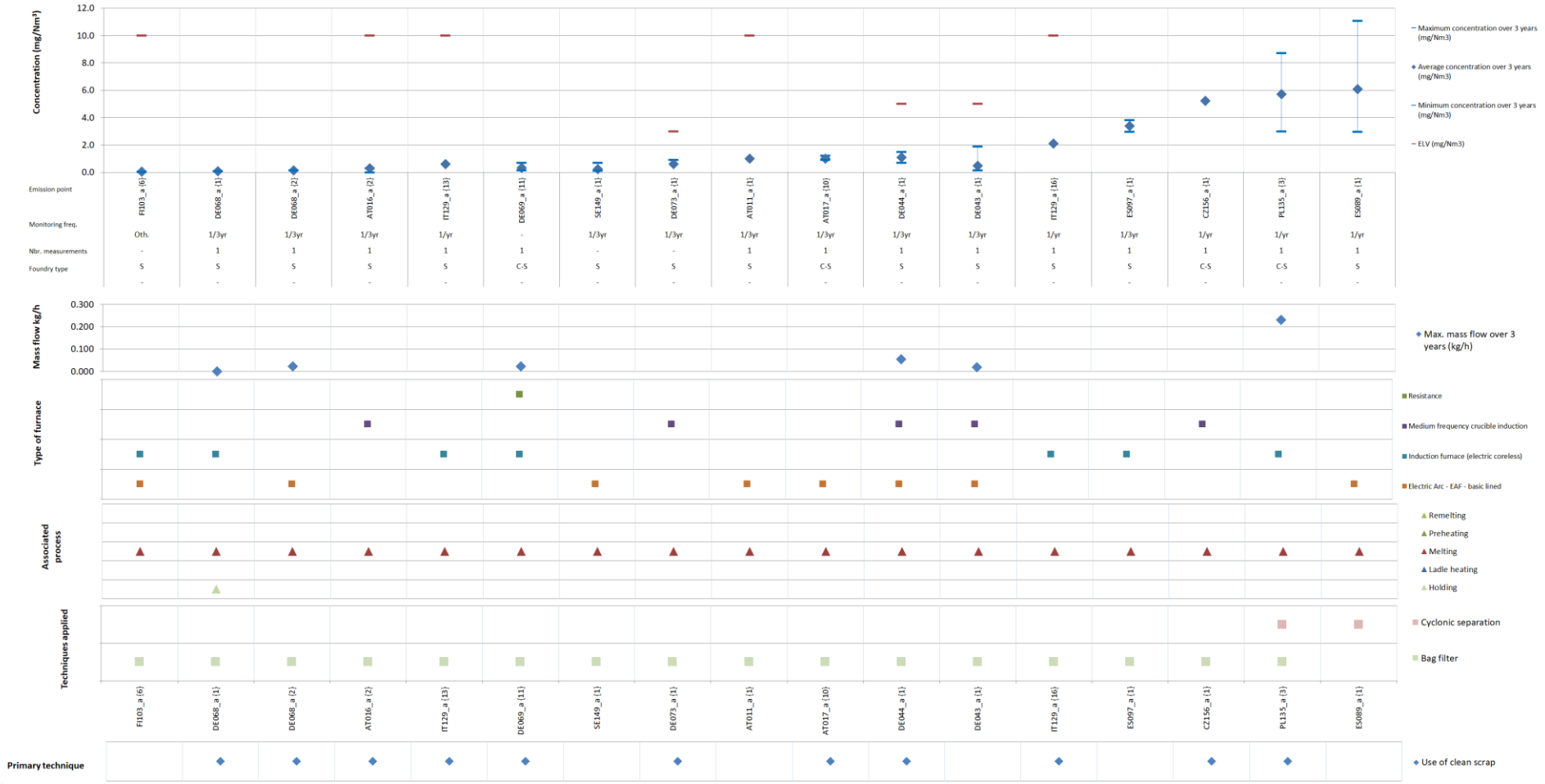
Uwaga: Dla lepszej wizualizacji poniższe wartości nie są wyświetlane na wykresie:

Punkt emisji	Minimum (mg/Nm3)	Średnia (mg/Nm3)	Maksimum (mg/Nm3)
DE051_a {1}		26,9	62,2
PL138_a {2}		391,4	1119,1
PL138_a {3}	607	1336,2	2556,7

Rysunek 2.61: Emisje pyłów do powietrza z topienia metali w odlewniach żeliwa stosujących piece CBC lub HBC

Concentration (mg/Nm3)	Stężenie (mg/Nm3)

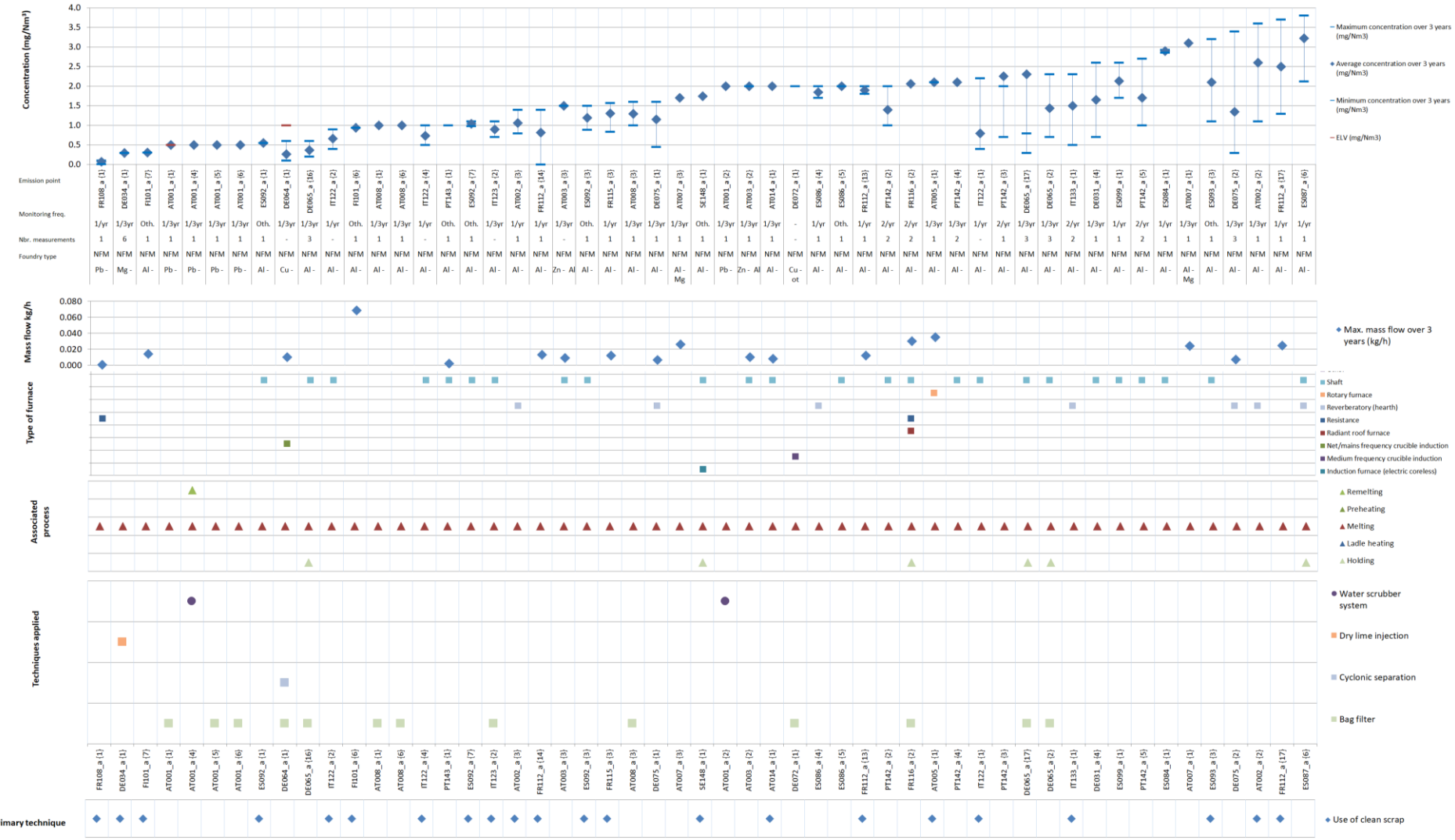
Mass flow kg/h	Przepływ masowy kg/h
Type of furnace	Typ pieca
Associated process	Powiązany proces
Techniques applied	Zastosowane techniki
Primary technique	Główna technika
Maximum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Maksymalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Average concentration over 3 years (mg/Nm3)	Średnie stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Minimum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Minimalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
ELV (mg/Nm3)	Dopuszczalna wartość emisji (ELV) (mg/Nm^3)
Max. mass flow over 3 years(kg/h)	Maks. przepływ masowy w ciągu 3 lat (kg/h)
ELV-mass flow (kg/h)	ELV - przepływ masowy (kg/h)
Cupola (hot blast) HBC furnace	Żeliwiak z gorącym dmuchem - HBC
Cupola (cold blast) CBC furnace	Żeliwiak z zimnym dmuchem - CBC
Remelting	Przetapianie
Preheating	Podgrzewanie
Melting	Topienie
Ladle heating	Podgrzewanie kadzi
Holding	Podtrzymywanie (temp.)
Thermal oxidation (without thermal recovery)	Utlenianie termiczne (bez odzysku termicznego)
Sorbent injection	Wtrysk sorbentu
Water scrubber system	System płukania (oczyszczania) na mokro
Dry scrubber system	System suchego odsiarczania
Dry lime injection	Wtrysk suchego wapna
Cyclonic separation	Separacja cyklonem
Condensation	Kondensacja
Bag filter	Filtr workowy
Use of clean scrap	Wykorzystanie czystego złomu
NB: For better visualisation, the following values are not shown in the graph:	Uwaga: Dla lepszej wizualizacji poniższe wartości nie są wyświetlane na wykresie:
EP	Punkt emisji
Minimum (mg/Nm3)	Minimum (mg/Nm3)
Average (mg/Nm3)	Średnia (mg/Nm3)
Maximum (mg/Nm3)	Maksimum (mg/Nm3)



Źródło: [169. TWG 2021]

Rysunek 2.62: Emisje pyłu do powietrza z topienia metali w odlewniach stali

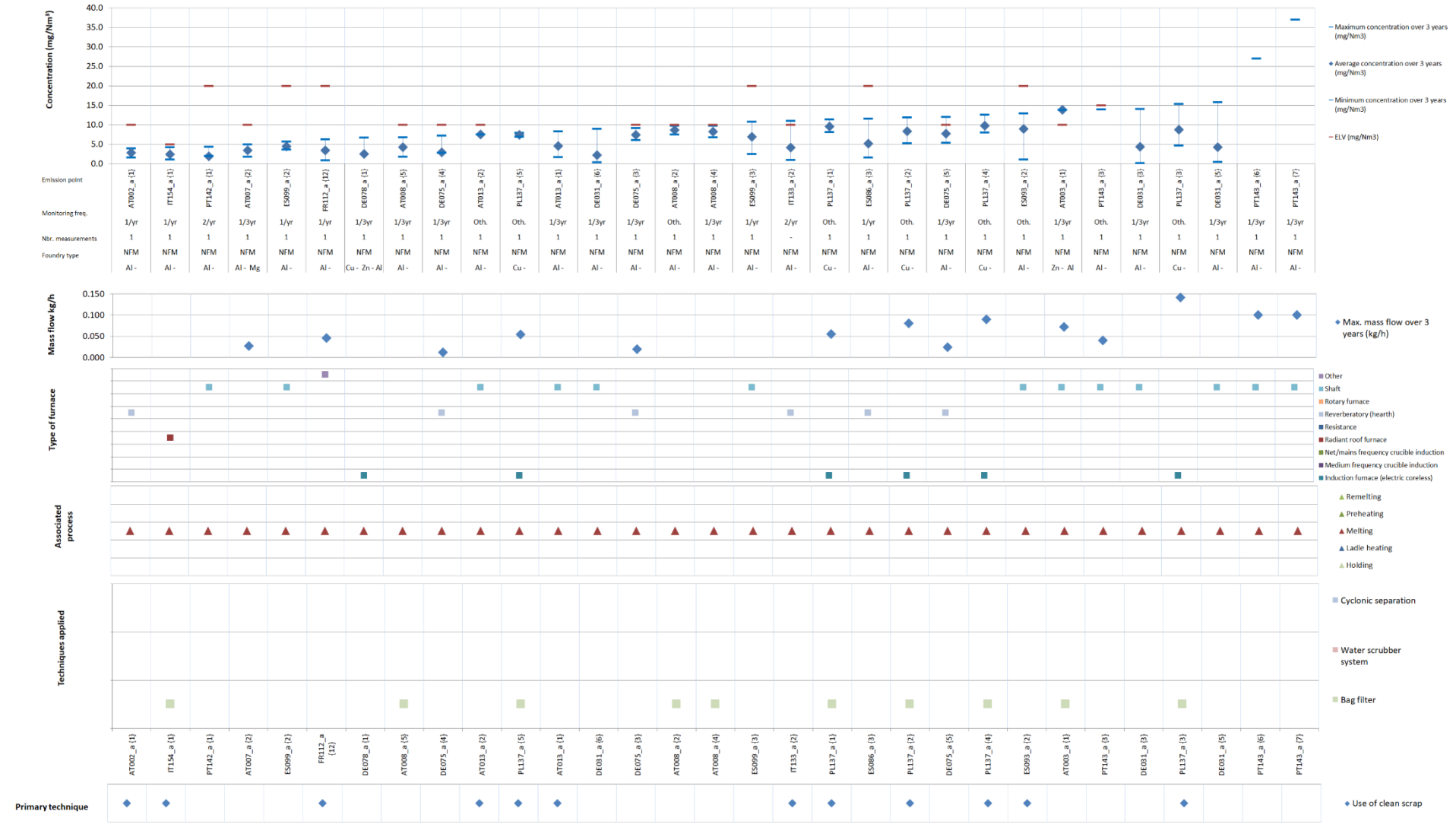
Concentration (mg/Nm3)	Stężenie (mg/Nm3)
Mass flow kg/h	Przepływ masowy kg/h
Type of furnace	Typ pieca
Associated process	Powiązany proces
Techniques applied	Zastosowane techniki
Primary technique	Główna technika
Emissoin point	Punkt emisji
Monitoring freq.	Częstotliwość monitorowania
Nbr. measurements	Liczba pomiarów
Foundry type	Typ odlewni
Maximum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Maksymalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Average concentration over 3 years (mg/Nm3)	Średnie stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Minimum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Minimalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
ELV (mg/Nm3)	Dopuszczalna wartość emisji (ELV) (mg/Nm^3)
Max. mass flow over 3 years(kg/h)	Maks. przepływ masowy w ciągu 3 lat (kg/h)
ELV-mass flow (kg/h)	ELV - przepływ masowy (kg/h)
Resistance	Piec oporowy
Medium frequency crucible induction	Piec indukcyjny tyglowy średniej częstotliwości
Induction furnace (electric coreless)	Piec indukcyjny (elektryczny bezrdzeniowy)
Electric Arc - EAF - basic lined	Piec łukowy - EAF - wyłożony zasadą
Remelting	Przetapianie
Preheating	Podgrzewanie
Melting	Topienie
Ladle heating	Podgrzewanie kadzi
Holding	Podtrzymywanie (temp.)
Cyclonic separation	Separacja cyklonem
Bag filter	Filtr workowy
Use of clean scrap	Wykorzystanie czystego złomu



Źródło: [169. TWG 2021]

Rysunek 2.63: Emisje pyłu do powietrza z topienia metali w odlewniach NMF (1/2)

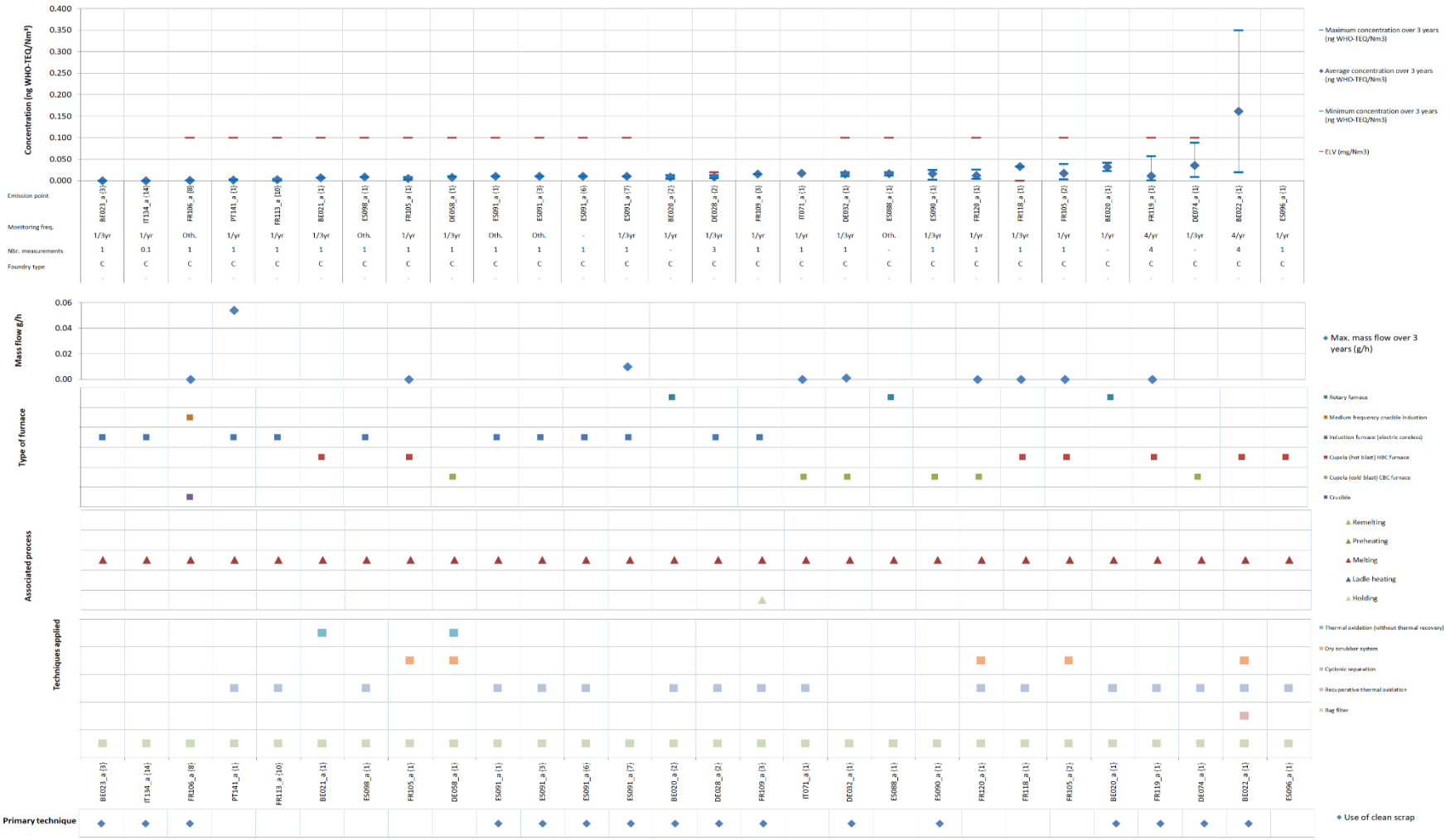
Concentration (mg/Nm3)	Stężenie (mg/Nm3)
Mass flow kg/h	Przepływ masowy kg/h
Type of furnace	Typ pieca
Associated process	Powiązany proces
Techniques applied	Zastosowane techniki
Primary technique	Główna technika
Emissoin point	Punkt emisji
Monitoring freq.	Częstotliwość monitorowania
Nbr. measurements	Liczba pomiarów
Foundry type	Typ odlewni
Maximum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Maksymalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Average concentration over 3 years (mg/Nm3)	Średnie stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Minimum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Minimalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
ELV (mg/Nm3)	Dopuszczalna wartość emisji (ELV) (mg/Nm^3)
Max. mass flow over 3 years(kg/h)	Maks. przepływ masowy w ciągu 3 lat (kg/h)
Shaft	Piec szybowy
Rotary furnace	Piec obrotowy
Reverberatory (hearth)	Piec płomienny
Resistance	Piec oporowy
Radiant roof furnace	Piec z kopułą nagrzewającą
Net/mains frequency crucible induction	Piec indukcyjny tyglowy o częstotliwości zasilania/sieci energetycznej
Medium frequency crucible induction	Piec indukcyjny tyglowy średniej częstotliwości
Induction furnace (electric coreless)	Piec indukcyjny (elektryczny bezrdzeniowy)
Remelting	Przetapianie
Preheating	Podgrzewanie
Melting	Topienie
Ladle heating	Podgrzewanie kadzi
Holding	Podtrzymywanie (temp.)
Water scrubber system	System płukania (oczyszczania) na mokro
Dry scrubber system	System suchego odsiarczania
Dry lime injection	Wtrysk suchego wapna
Cyclonic separation	Separacja cyklonem
Bag filter	Filtr workowy
Use of clean scrap	Wykorzystanie czystego złomu



Źródło: [169. TWG 2021]

Rysunek 2.64: Emisje pyłu do powietrza z topienia metali w odlewniach NMF (2/2)

Concentration (mg/Nm3)	Stężenie (mg/Nm3)
Mass flow kg/h	Przepływ masowy kg/h
Type of furnace	Typ pieca
Associated process	Powiązany proces
Techniques applied	Zastosowane techniki
Primary technique	Główna technika
Emission point	Punkt emisji
Monitoring freq.	Częstotliwość monitorowania
Nbr. measurements	Liczba pomiarów
Foundry type	Typ odlewni
Maximum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Maksymalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Average concentration over 3 years (mg/Nm3)	Średnie stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Minimum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Minimalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
ELV (mg/Nm3)	Dopuszczalna wartość emisji (ELV) (mg/Nm^3)
Max. mass flow over 3 years(kg/h)	Maks. przepływ masowy w ciągu 3 lat (kg/h)
Other (specify in additional information)	Pozostałe (określić w informacjach dodatkowych)
Shaft	Piec szybowy
Rotary furnace	Piec obrotowy
Reverberatory (hearth)	Piec płomienny
Resistance	Piec oporowy
Radiant roof furnace	Piec z kopułą nagrzewającą
Net/mains frequency crucible induction	Piec indukcyjny tyglowy o częstotliwości zasilania/sieci energetycznej
Medium frequency crucible induction	Piec indukcyjny tyglowy średniej częstotliwości
Induction furnace (electric coreless)	Piec indukcyjny (elektryczny bezrdzeniowy)
Remelting	Przetapianie
Preheating	Podgrzewanie
Melting	Topienie
Ladle heating	Podgrzewanie kadzi
Holding	Podtrzymywanie (temp.)
Dry scrubber system	System suchego odsiarczania
Cyclonic separation	Separacja cyklonem
Use of clean scrap	Wykorzystanie czystego złomu

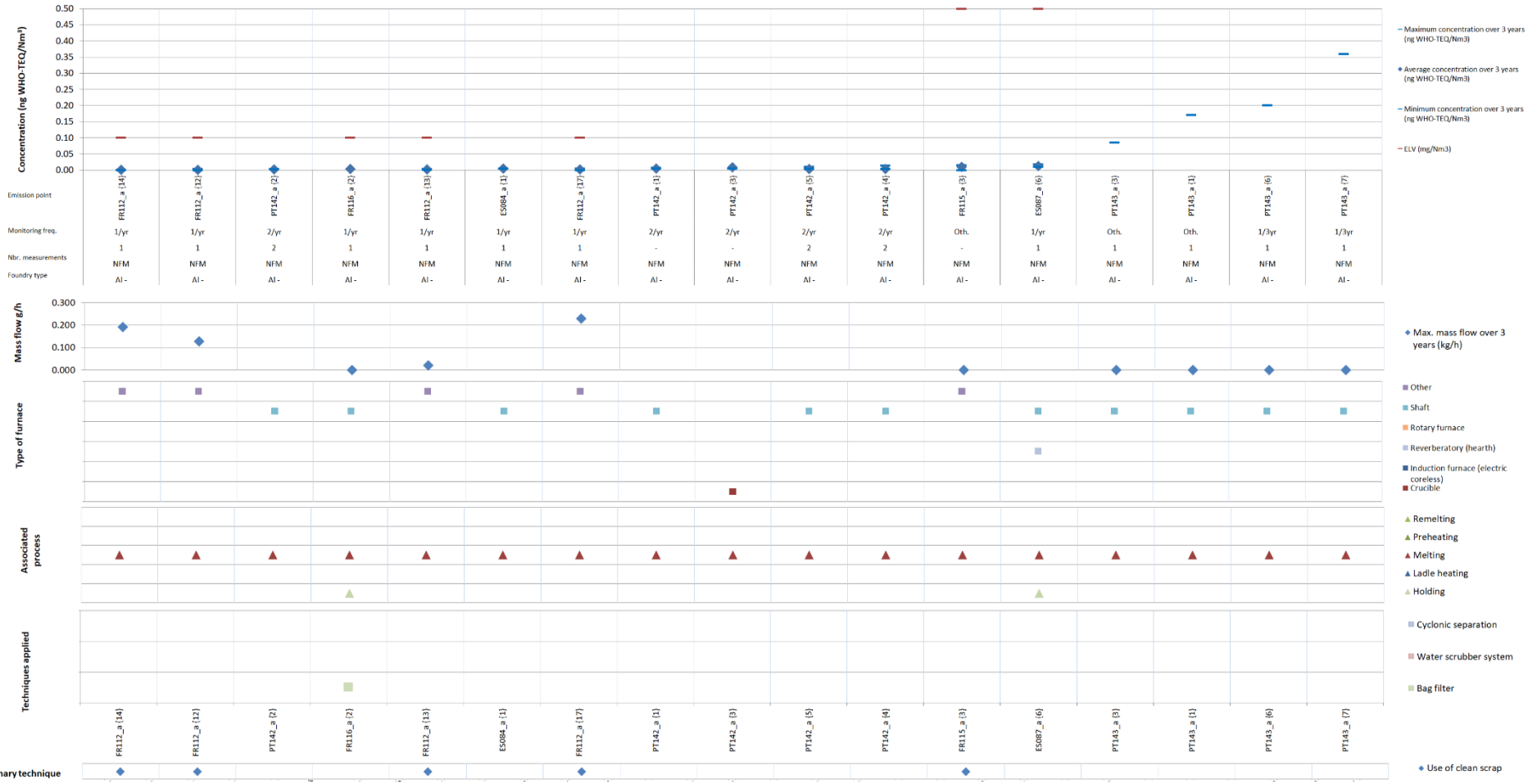


Uwaga: Dla lepszej wizualizacji poniższe wartości nie są wyświetlane na wykresie:

EP	Minimum (ng WHO-TEQ/Nm3)	Średnia (ng WHO-TEQ /Nm3)	Maksimum (ng WHO-TEQ /Nm3)
ES096_a {1}	1,4	3,2	4,3

Źródło: [169. TWG 2021]

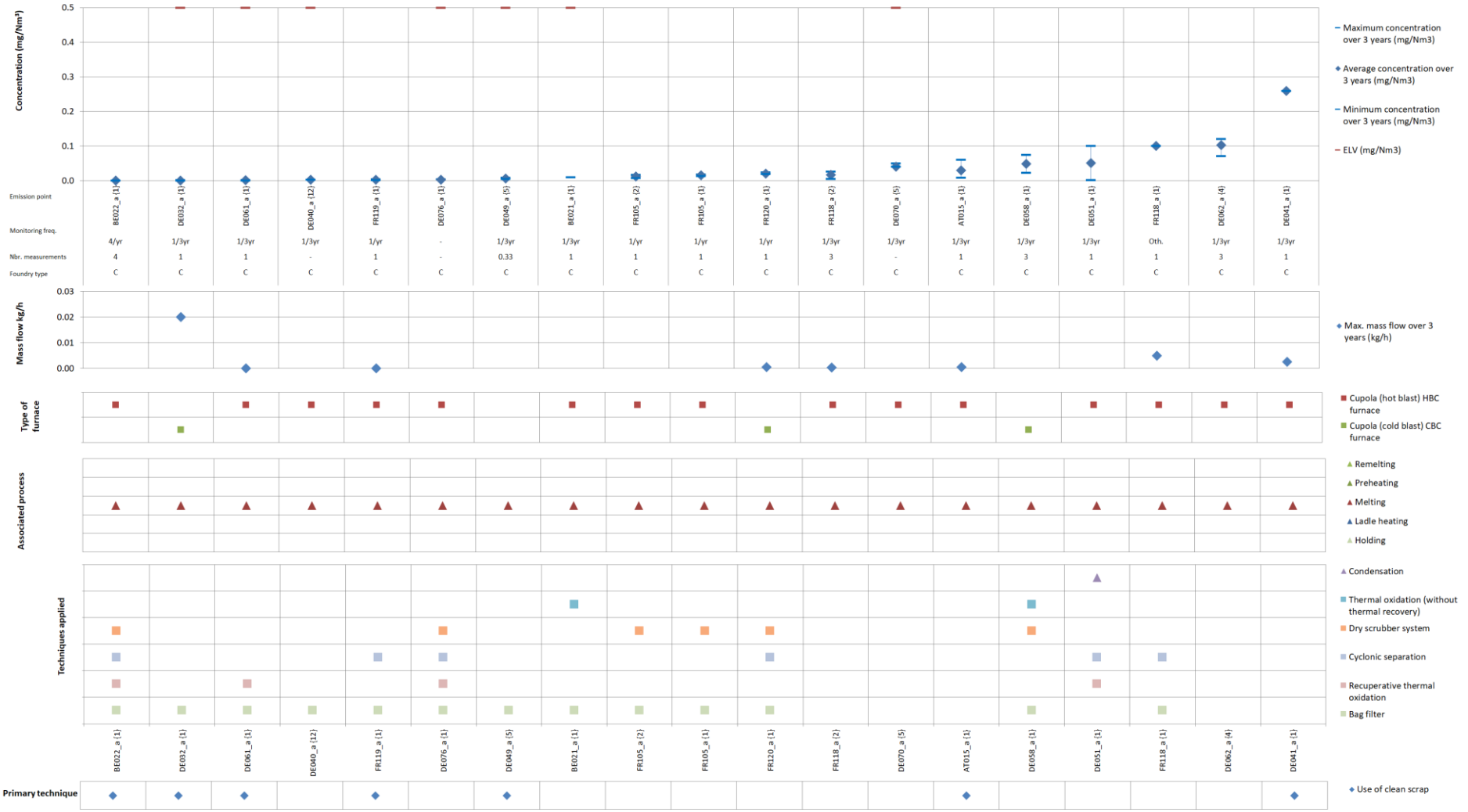
Rysunek 2.65: Emisje PCDD/F do powietrza z topienia metali w odlewniach żeliwa



Źródło: [169. TWG 2021]

Rysunek 2.66: Emisje PCDD/F do powietrza z topienia metali w odlewniach NMF

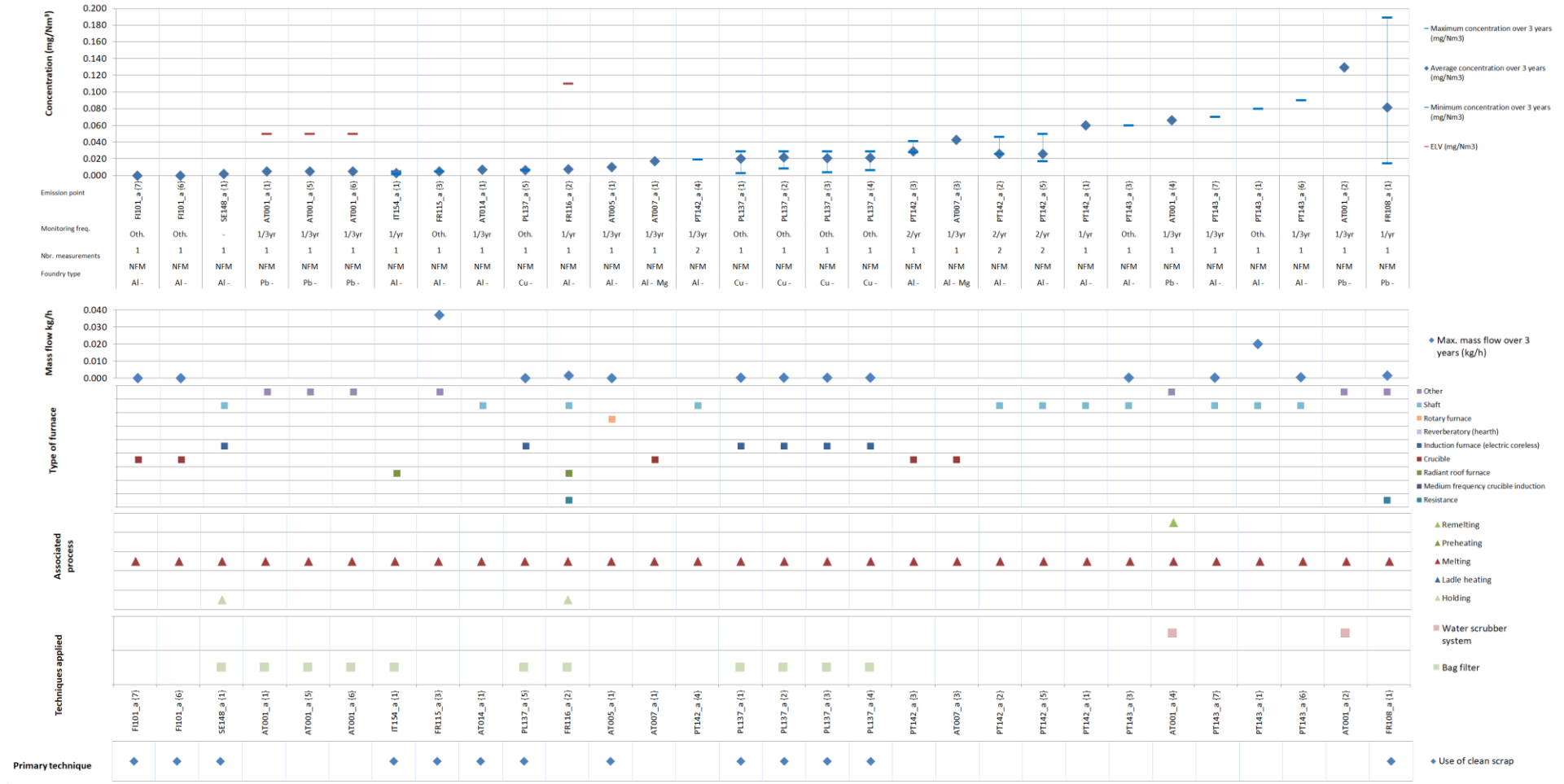
Concentration (ng WHO-TEQ/Nm^3)	Stężenie (ng WHO-TEQ/Nm^3)
Mass flow kg/h	Przepływ masowy kg/h
Type of furnace	Typ pieca
Associated process	Powiązany proces
Techniques applied	Zastosowane techniki
Primary technique	Główna technika
Emission point	Punkt emisji
Monitoring freq.	Częstotliwość monitorowania
Nbr. measurements	Liczba pomiarów
Foundry type	Typ odlewni
Maximum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Maksymalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Average concentration over 3 years (mg/Nm3)	Średnie stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Minimum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Minimalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
ELV (mg/Nm3)	Dopuszczalna wartość emisji (ELV) (mg/Nm^3)
Max. mass flow over 3 years(kg/h)	Maks. przepływ masowy w ciągu 3 lat (kg/h)
Rotary furnace	Piec obrotowy
Medium frequency crucible induction	Piec indukcyjny tyglowy średniej częstotliwości
Induction furnace (electric coreless)	Piec indukcyjny (elektryczny bezrdzeniowy)
Cupola (hot blast) HBC furnace	Żeliwiak z gorącym dmuchem - HBC
Cupola (cold blast) CBC furnace	Żeliwiak z zimnym dmuchem - CBC
Crucible	Piec tyglowy
Remelting	Przetapianie
Preheating	Podgrzewanie
Melting	Topienie
Ladle heating	Podgrzewanie kadzi
Holding	Podtrzymywanie (temp.)
Thermal oxidation (without thermal recovery)	Utlenianie termiczne (bez odzysku termicznego)
Dry scrubber system	System suchego odsiarczania
Cyclonic separation	Separacja cyklonem
Recuperative thermal oxidation	Rekuperacyjne utlenianie termiczne
Bag filter	Filtr workowy
NB: For better visualisation, the following values are not showing the graph:	Uwaga: Dla lepszej wizualizacji poniższe wartości nie są wyświetlane na wykresie:
EP	Punkt emisji
Minimum (ng WHO-TEQ/Nm3)	Minimum (ng WHO-TEQ/Nm^3)
Average (ng WHO-TEQ /Nm3)	Średnia (ng WHO-TEQ /Nm^3)
Maximum (ng WHO-TEQ /Nm3)	Maksimum (ng WHO-TEQ /Nm^3)



Źródło: [169. TWG 2021]

Rysunek 2.67: Emisje Pb do powietrza z topienia metali w odlewniach żeliwa stosujących piece CBC lub HBC

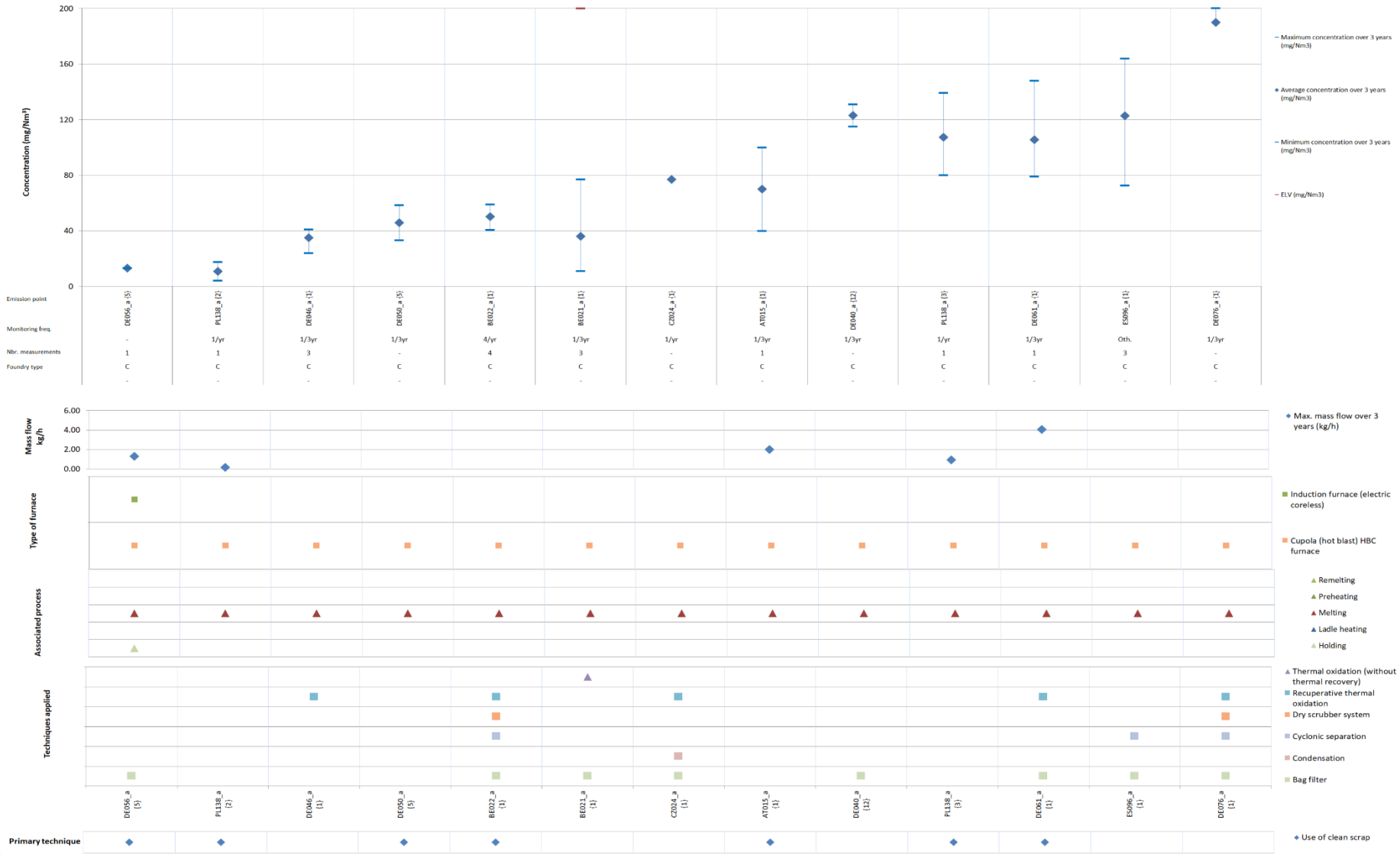
Concentration (ng WHO-TEQ/Nm^3)	Stężenie (ng WHO-TEQ/Nm^3)
Type of furnace Mass flow g/h	Typ pieca Przepływ masowy kg/h
Techniques applied	Zastosowane techniki
Associated process	Powiązany proces
Primary technique	Główna technika
Maximum concentration over 3 years (ng WH0-TEQ/Nm3)	Maksymalne stężenie w ciągu 3 lat (ng WHO-TEQ/Nm^3)
Average concentration over 3 years (ng WH0-TEQ/Nm3)	Średnie stężenie w ciągu 3 lat (ng WHO-TEQ/Nm^3)
Minimum concentration over 3 years (ng WH0-TEQ/Nm3)	Minimalne stężenie w ciągu 3 lat (ng WHO-TEQ/Nm^3)
ELV (mg/Nm3)	Dopuszczalna wartość emisji (ELV) (mg/Nm^3)
Max. mass flow over 3 years(kg/h)	Maks. przepływ masowy w ciągu 3 lat (kg/h)
Other	Pozostałe
Shaft	Piec szybowy
Rotary furnace	Piec obrotowy
Reverberatory (hearth)	Piec płomienny
Induction furnace (electric coreless)	Piec indukcyjny (elektryczny bezrdzeniowy)
Crucible	Piec tyglowy
Remelting	Przetapianie
Preheating	Podgrzewanie
Melting	Topienie
Ladle heating	Podgrzewanie kadzi
Holding	Podtrzymywanie (temp.)
Water scrubber system	System płukania (oczyszczania) na mokro
Cyclonic separation	Separacja cyklonem
Bag filter	Filtr workowy
Use of clean scrap	Wykorzystanie czystego złomu



Źródło: [169. TWG 2021]

Rysunek 2.68: Emisje Pb do powietrza z topienia metali w odlewniach NMF

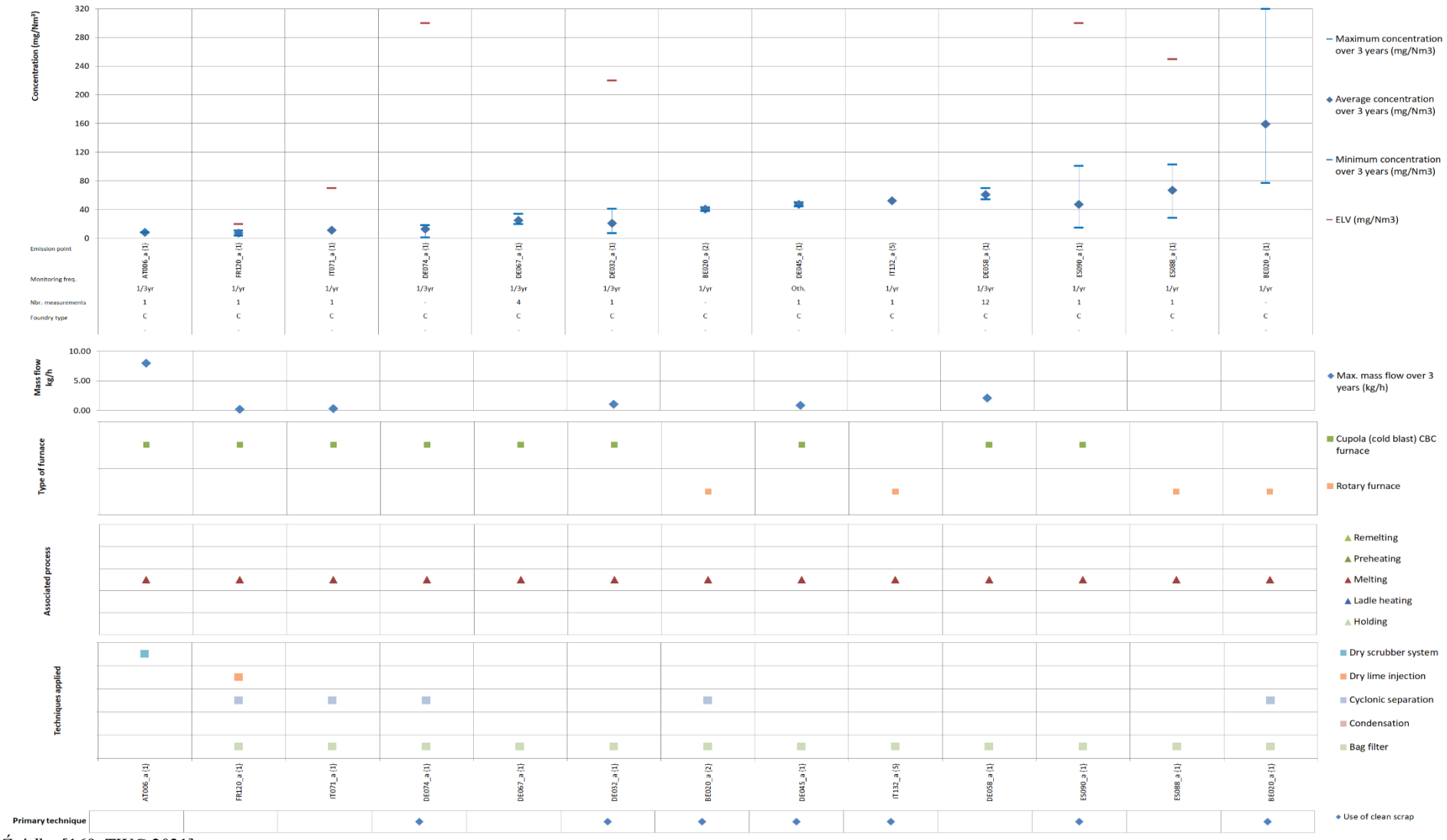
Concentration (mg/Nm^3)	Stężenie (mg/Nm^3)
Mass flow kg/h	Przepływ masowy kg/h
Type of furnace	Typ pieca
Associated process	Powiązany proces
Techniques applied	Zastosowane techniki
Primary technique	Główna technika
Emission point	Punkt emisji
Monitoring freq.	Częstotliwość monitorowania
Nbr. measurements	Liczba pomiarów
Foundry type	Typ odlewni
Maximum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Maksymalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Average concentration over 3 years (mg/Nm3)	Średnie stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Minimum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Minimalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
ELV (mg/Nm3)	Dopuszczalna wartość emisji (ELV) (mg/Nm^3)
Max. mass flow over 3 years(kg/h)	Maks. przepływ masowy w ciągu 3 lat (kg/h)
Cupola (hot blast) HBC furnace	Żeliwiak z gorącym dmuchem - HBC
Cupola (cold blast) CBC furnace	Żeliwiak z zimnym dmuchem - CBC
Remelting	Przetapianie
Preheating	Podgrzewanie
Melting	Topienie
Ladle heating	Podgrzewanie kadzi
Holding	Podtrzymywanie (temp.)
Thermal oxidation (without thermal recovery)	Utlenianie termiczne (bez odzysku termicznego)
Dry scrubber system	System suchego odsiarczania
Cyclonic separation	Separacja cyklonem
Recuperative thermal oxidation	Rekuperacyjne utlenianie termiczne
Condensation	Kondensacja
Use of clean scrap	Wykorzystanie czystego złomu



Źródło: [169. TWG 2021]

Rysunek 2.69: Emisje NO_X do powietrza z topienia metali w odlewniach żeliwa stosujących piece HBC

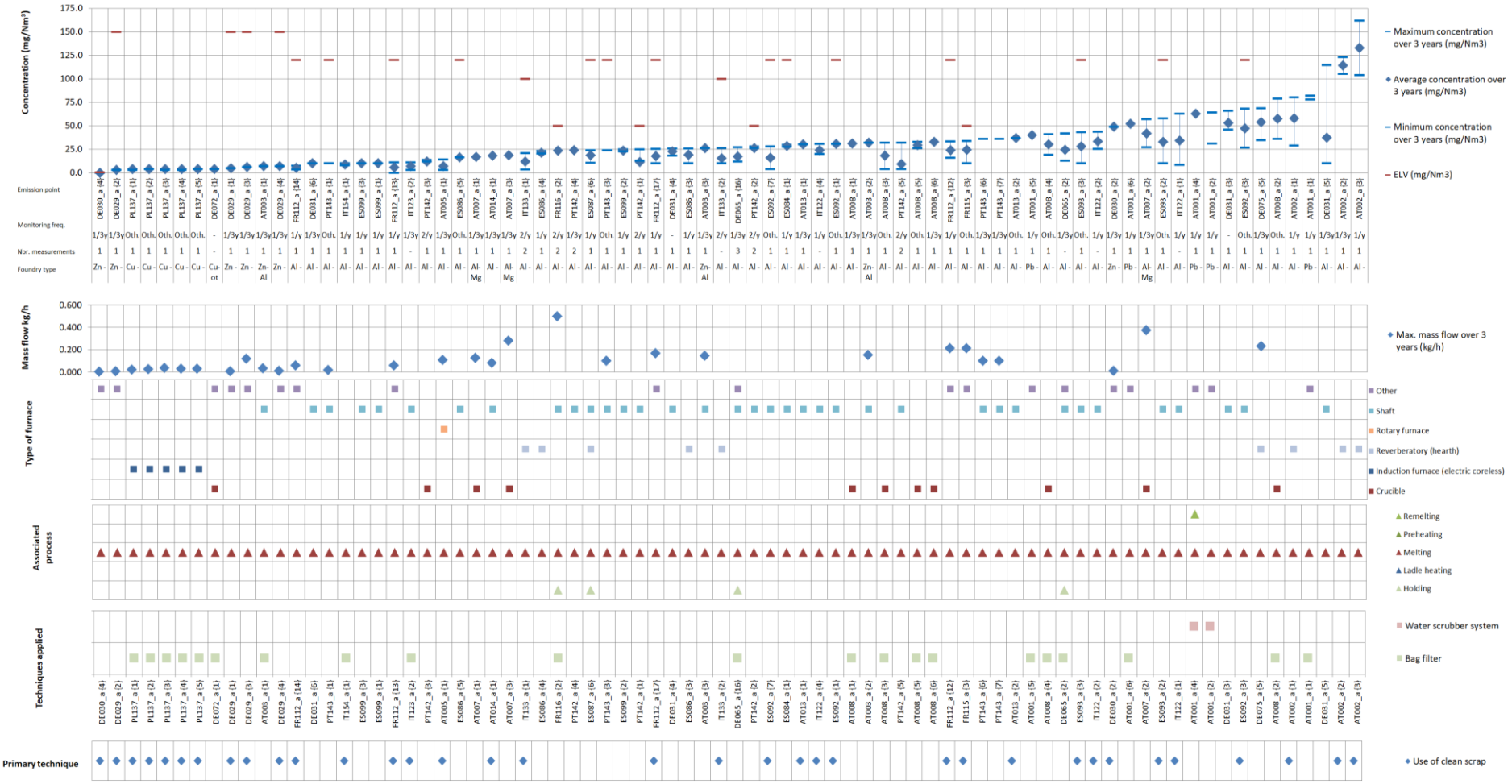
Concentration (mg/Nm^3)	Stężenie (mg/Nm^3)
Mass flow kg/h	Przepływ masowy kg/h
Type of furnace	Typ pieca
Associated process	Powiązany proces
Techniques applied	Zastosowane techniki
Primary technique	Główna technika
Emission point	Punkt emisji
Monitoring freq.	Częstotliwość monitorowania
Nbr. measurements	Liczba pomiarów
Foundry type	Typ odlewni
Maximum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Maksymalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Average concentration over 3 years (mg/Nm3)	Średnie stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Minimum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Minimalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
ELV (mg/Nm3)	Dopuszczalna wartość emisji (ELV) (mg/Nm^3)
Max. mass flow over 3 years(kg/h)	Maks. przepływ masowy w ciągu 3 lat (kg/h)
Other	Pozostałe
Shaft	Piec szybowy
Rotary furnace	Piec obrotowy
Reverberatory (hearth)	Piec płomienny
Resistance	Piec oporowy
Radiant roof furnace	Piec z kopułą nagrzewającą
Medium frequency crucible induction	Piec indukcyjny tyglowy średniej częstotliwości
Induction furnace (electric coreless)	Piec indukcyjny (elektryczny bezrdzeniowy)
Crucible	Piec tyglowy
Remelting	Przetapianie
Preheating	Podgrzewanie
Melting	Topienie
Ladle heating	Podgrzewanie kadzi
Holding	Podtrzymywanie (temp.)
Water scrubber system	System płukania (oczyszczania) na mokro
Bag filter	Filtr workowy
Use of clean scrap	Wykorzystanie czystego złomu



Źródło: [169. TWG 2021]

Rysunek 2.70: Emisje NO_X do powietrza z topienia w odlewniach żeliwa stosujących CBC lub piece obrotowe

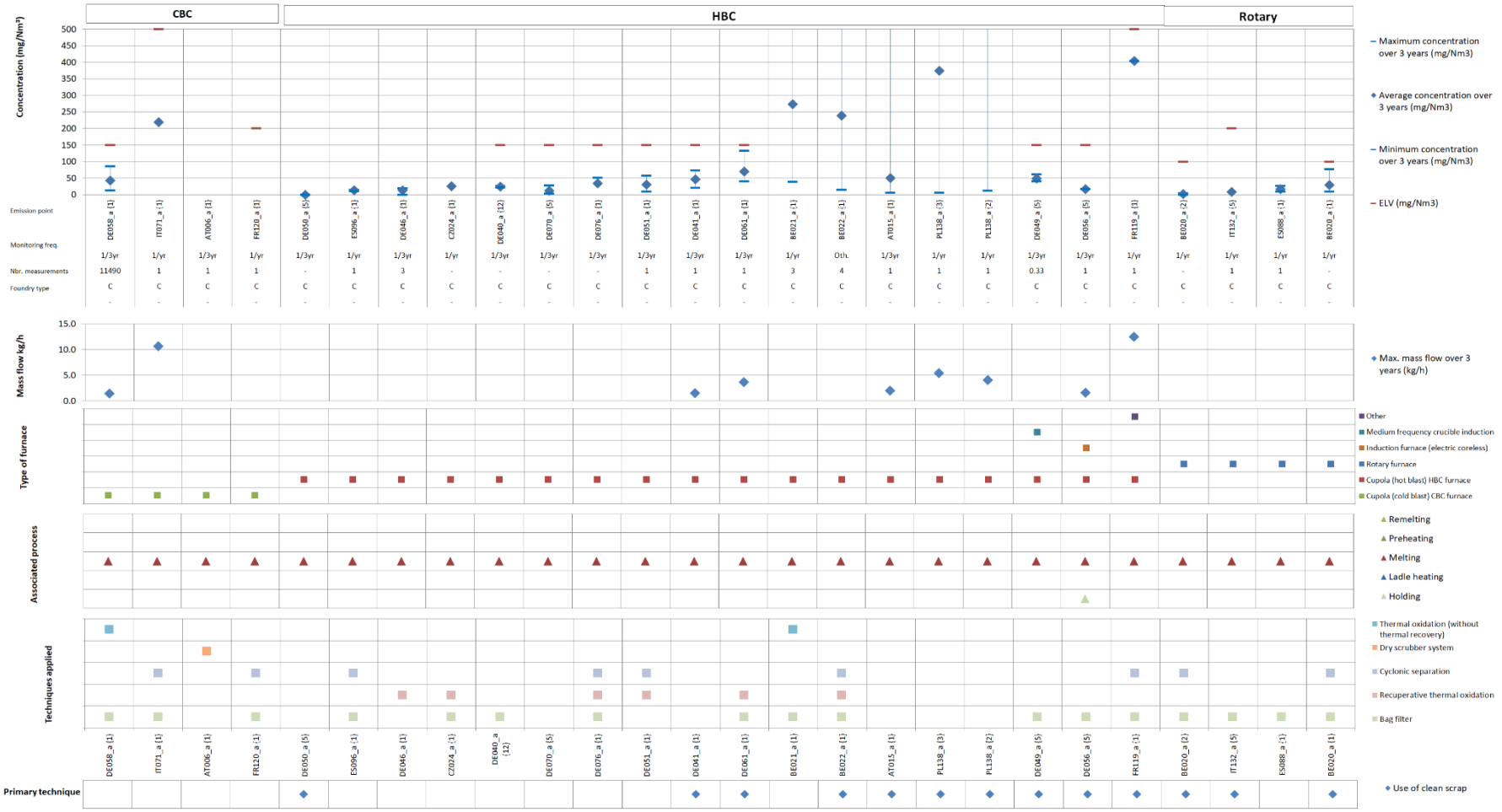
Concentration (mg/Nm3)	Stężenie (mg/Nm3)
Mass flow kg/h	Przepływ masowy kg/h
Type of furnace	Typ pieca
Associated process	Powiązany proces
Techniques applied	Zastosowane techniki
Primary technique	Główna technika
Emission point	Punkt emisji
Monitoring freq.	Częstotliwość monitorowania
Nbr. measurements	Liczba pomiarów
Foundry type	Typ odlewni
Maximum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Maksymalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Average concentration over 3 years (mg/Nm3)	Średnie stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Minimum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Minimalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
ELV (mg/Nm3)	Dopuszczalna wartość emisji (ELV) (mg/Nm^3)
Max. mass flow over 3 years(kg/h)	Maks. przepływ masowy w ciągu 3 lat (kg/h)
Induction furnace (electric coreless)	Piec indukcyjny (elektryczny bezrdzeniowy)
Cupola (hot blast) HBC furnace	Żeliwiak z gorącym dmuchem - HBC
Remelting	Przetapianie
Preheating	Podgrzewanie
Melting	Topienie
Ladle heating	Podgrzewanie kadzi
Holding	Podtrzymywanie (temp.)
Thermal oxidation (without thermal recovery)	Utlenianie termiczne (bez odzysku termicznego)
Dry scrubber system	System suchego odsiarczania
Cyclonic separation	Separacja cyklonem
Bag filter	Filtr workowy
Recuperative thermal oxidation	Rekuperacyjne utlenianie termiczne
Condensation	Kondensacja
Use of clean scrap	Wykorzystanie czystego złomu



Źródło: [169. TWG 2021]

Rysunek 2.71: Emisje NO_X do powietrza z topienia metali w odlewniach NMF

Concentration (mg/Nm3)	Stężenie (mg/Nm3)
Mass flow kg/h	Przepływ masowy kg/h
Type of furnace	Typ pieca
Associated process	Powiązany proces
Techniques applied	Zastosowane techniki
Primary technique	Główna technika
Emission point	Punkt emisji
Monitoring freq.	Częstotliwość monitorowania
Nbr. measurements	Liczba pomiarów
Foundry type	Typ odlewni
Maximum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Maksymalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Average concentration over 3 years (mg/Nm3)	Średnie stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Minimum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Minimalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
ELV (mg/Nm3)	Dopuszczalna wartość emisji (ELV) (mg/Nm^3)
Max. mass flow over 3 years(kg/h)	Maks. przepływ masowy w ciągu 3 lat (kg/h)
Other	Pozostałe
Shaft	Piec szybowy
Rotary furnace	Piec obrotowy
Reverberatory (hearth)	Piec płomienny
Induction furnace (electric coreless)	Piec indukcyjny (elektryczny bezrdzeniowy)
Crucible	Piec tyglowy
Remelting	Przetapianie
Preheating	Podgrzewanie
Melting	Topienie
Ladle heating	Podgrzewanie kadzi
Holding	Podtrzymywanie (temp.)
Water scrubber system	System płukania (oczyszczania) na mokro
Bag filter	Filtr workowy
Use of clean scrap	Wykorzystanie czystego złomu



Uwaga: Dla lepszej wizualizacji poniższe wartości nie są wyświetlane na wykresie:

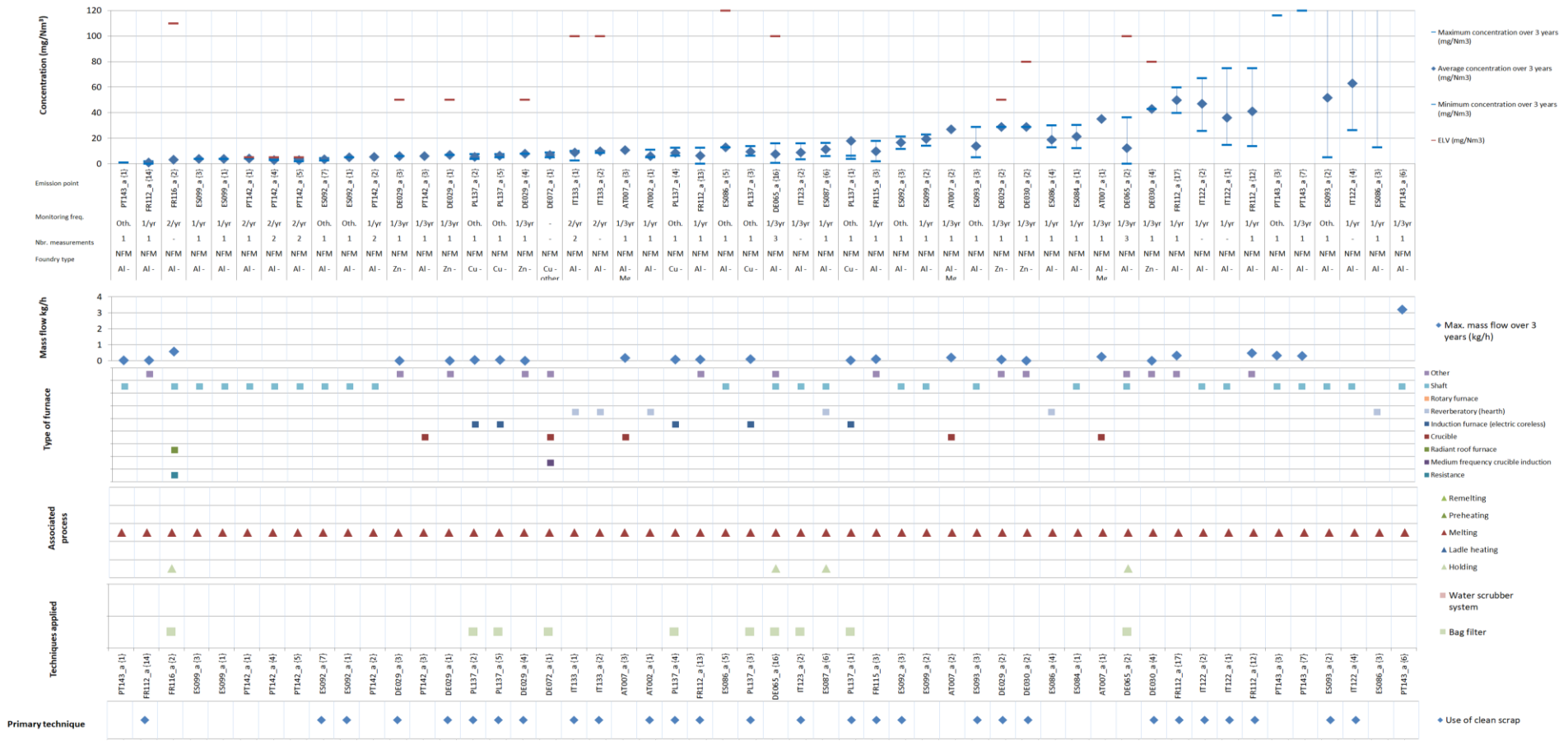
Punkt emisji	Minimum (mg/Nm3)	Średnia (mg/Nm3)	Maksimum (mg/Nm3)	Punkt emisji	Minimum (mg/Nm3)	Średnia (mg/Nm3)	Maksimum (mg/Nm3)
BE021_a {1}	39	273,5	508	PL138_a {3}	6,3	373,8	1187,5
BE022_a {1}	14,34	239,2	609	PL138_a {2}	12,5	680,7	2443,7
AT015_a {1}	6	50	750	AT006_a {1}	8 490	8 549	8 621
				FR120_a {1}	7 023	11 758	14 923

Źródło: [169. TWG 2021]

Rysunek 2.72: Emisje CO do powietrza z topienia w odlewniach żeliwa stosujących CBC, HBC lub piece obrotowe

Concentration (mg/Nm3)	Stężenie (mg/Nm3)
Mass flow kg/h	Przepływ masowy kg/h
Type of furnace	Typ pieca
Associated process	Powiązany proces
Techniques applied	Zastosowane techniki
Primary technique	Główna technika
Emission point	Punkt emisji
Monitoring freq.	Częstotliwość monitorowania
Nbr. measurements	Liczba pomiarów
Foundry type	Typ odlewni
Maximum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Maksymalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Average concentration over 3 years (mg/Nm3)	Średnie stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Minimum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Minimalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
ELV (mg/Nm3)	Dopuszczalna wartość emisji (ELV) (mg/Nm^3)
Max. mass flow over 3 years(kg/h)	Maks. przepływ masowy w ciągu 3 lat (kg/h)
Other	Pozostałe
Rotary furnace	Piec obrotowy
Medium frequency crucible induction	Piec indukcyjny tyglowy średniej częstotliwości
Induction furnace (electric coreless)	Piec indukcyjny (elektryczny bezrdzeniowy)
Cupola (hot blast) HBC furnace	Żeliwiak z gorącym dmuchem - HBC
Cupola (cold blast) CBC furnace	Żeliwiak z zimnym dmuchem - CBC
Remelting	Przetapianie
Preheating	Podgrzewanie
Melting	Topienie
Ladle heating	Podgrzewanie kadzi
Holding	Podtrzymywanie (temp.)
Thermal oxidation (without thermal recovery)	Utlenianie termiczne (bez odzysku termicznego)
Dry scrubber system	System suchego odsiarczania
Cyclonic separation	Separacja cyklonem
Bag filter	Filtr workowy
Recuperative thermal oxidation	Rekuperacyjne utlenianie termiczne
Use of clean scrap	Wykorzystanie czystego złomu
NB: For a better visualisation the following values are not shown in the graph:	Uwaga: Dla lepszej wizualizacji poniższe wartości nie są wyświetlane na wykresie:
Minimum (mg/Nm3)	Minimum (mg/Nm^3)
Average (mg/Nm3)	Średnia (mg/Nm^3)
Maximum (mg/Nm3)	Maksimum (mg/Nm^3)
EP	Punkt emisji
Minimum (mg/Nm3)	Minimum (mg/Nm^3)

Average (mg/Nm3)	Średnia (mg/Nm3)



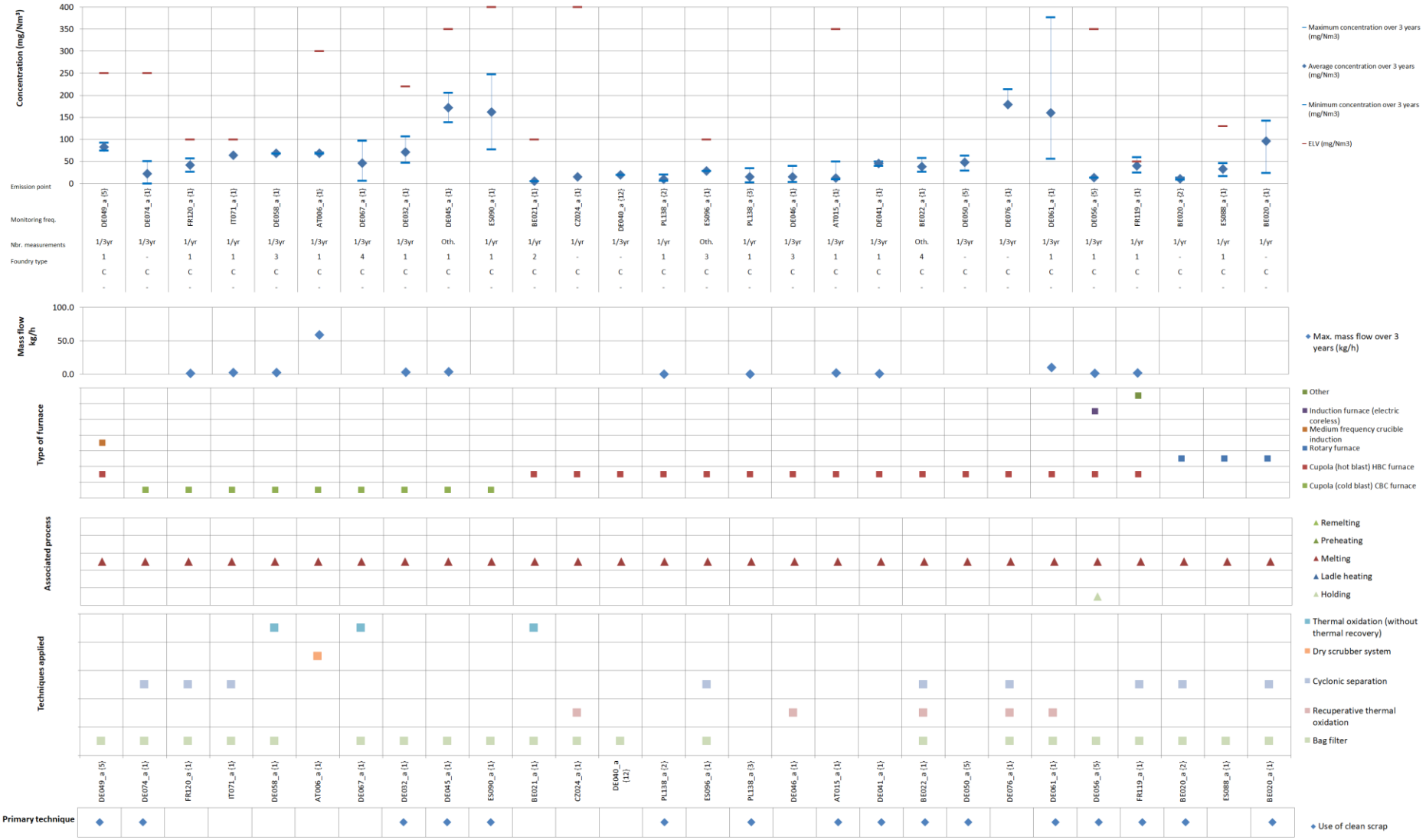
Uwaga: Dla lepszej wizualizacji poniższe wartości nie są wyświetlane na wykresie:

Punkt emisji	Średnia (mg/Nm3)	Maksimum (mg/Nm3)
ES093_a {2}		136,3
IT122_a {4}		156
ES086_a {3}	152,1	373,3
PT143_a {6}		1020

Źródło: [169. TWG 2021]

Rysunek 2.73: Emisje CO do powietrza z topienia metali w odlewniach NMF

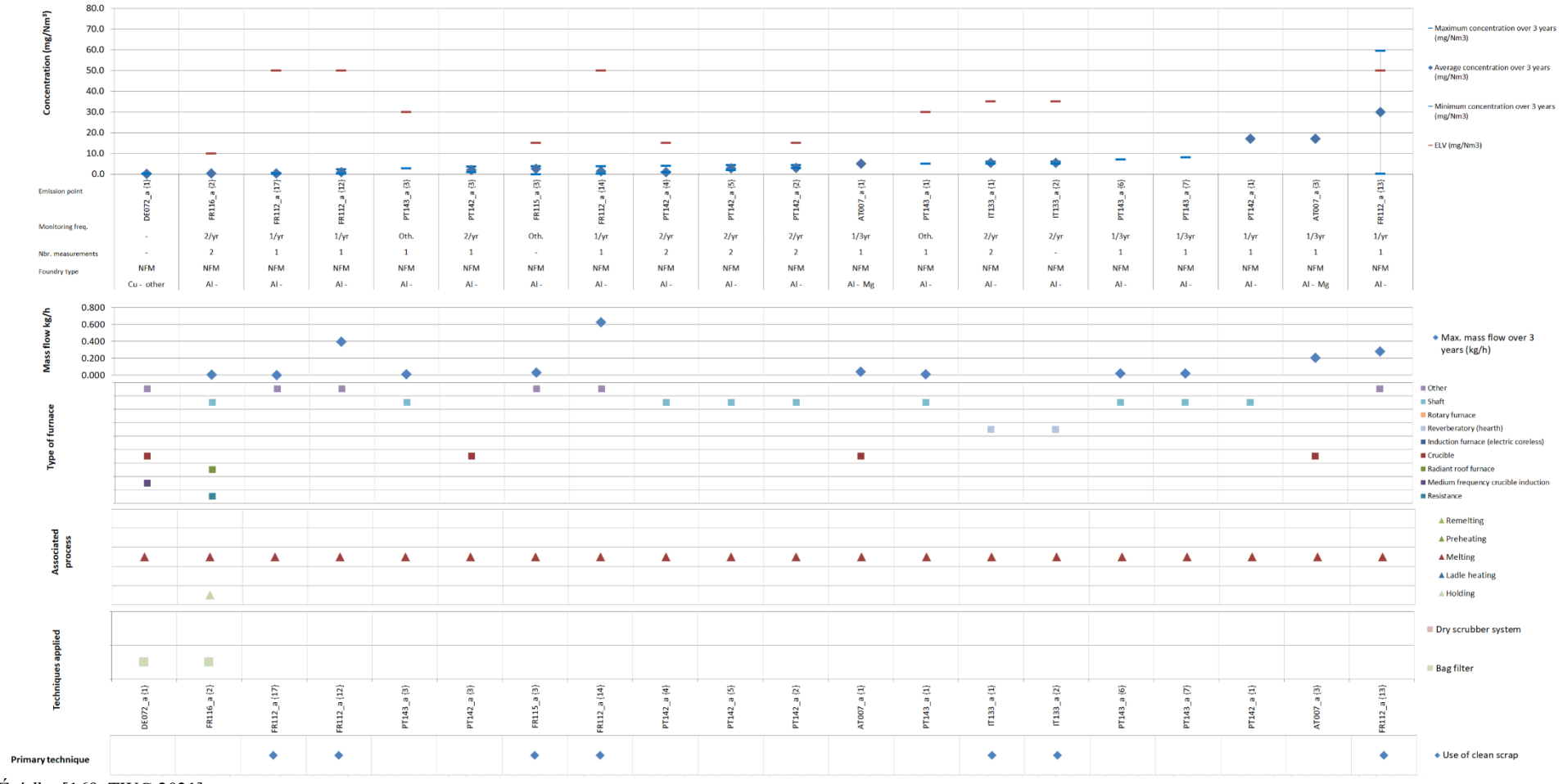
Concentration (mg/Nm^3)	Stężenie (mg/Nm^3)
Mass flow kg/h	Przepływ masowy kg/h
Type of furnace	Typ pieca
Associated process	Powiązany proces
Techniques applied	Zastosowane techniki
Primary technique	Główna technika
Emission point	Punkt emisji
Monitoring freq.	Częstotliwość monitorowania
Nbr. measurements	Liczba pomiarów
Foundry type	Typ odlewni
Maximum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Maksymalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Average concentration over 3 years	Średnie stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
(mg/Nm3)	
Minimum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Minimalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
ELV (mg/Nm3)	Dopuszczalna wartość emisji (ELV) (mg/Nm^3)
Max. mass flow over 3 years(kg/h)	Maks. przepływ masowy w ciągu 3 lat (kg/h)
Rotary furnace	Piec obrotowy
Reverberatory (hearth)	Piec płomienny
Induction furnace (electric coreless)	Piec indukcyjny (elektryczny bezrdzeniowy)
Crucible	Piec tyglowy
Radiant roof furnace	Piec z kopułą nagrzewającą
Medium frequency crucible induction	Piec indukcyjny tyglowy średniej częstotliwości
Resistance	Piec oporowy
Remelting	Przetapianie
Preheating	Podgrzewanie
Melting	Topienie
Ladle heating	Podgrzewanie kadzi
Holding	Podtrzymywanie (temp.)
Water scrubber system	System płukania (oczyszczania) na mokro
Bag filter	Filtr workowy
Use of clean scrap	Wykorzystanie czystego złomu
NB: For a better visualisation, the following values are not shown in the graph:	Uwaga: Dla lepszej wizualizacji poniższe wartości nie są wyświetlane na wykresie:
Average (mg/Nm^3)	Średnia (mg/Nm^3)
Maximum (mg/Nm^3)	Maksimum (mg/Nm^3)



Źródło: [169. TWG 2021]

Rysunek 2.74: Emisje SO_2 do powietrza z topienia w odlewniach żeliwa stosujących HBC, CBC lub piece obrotowe

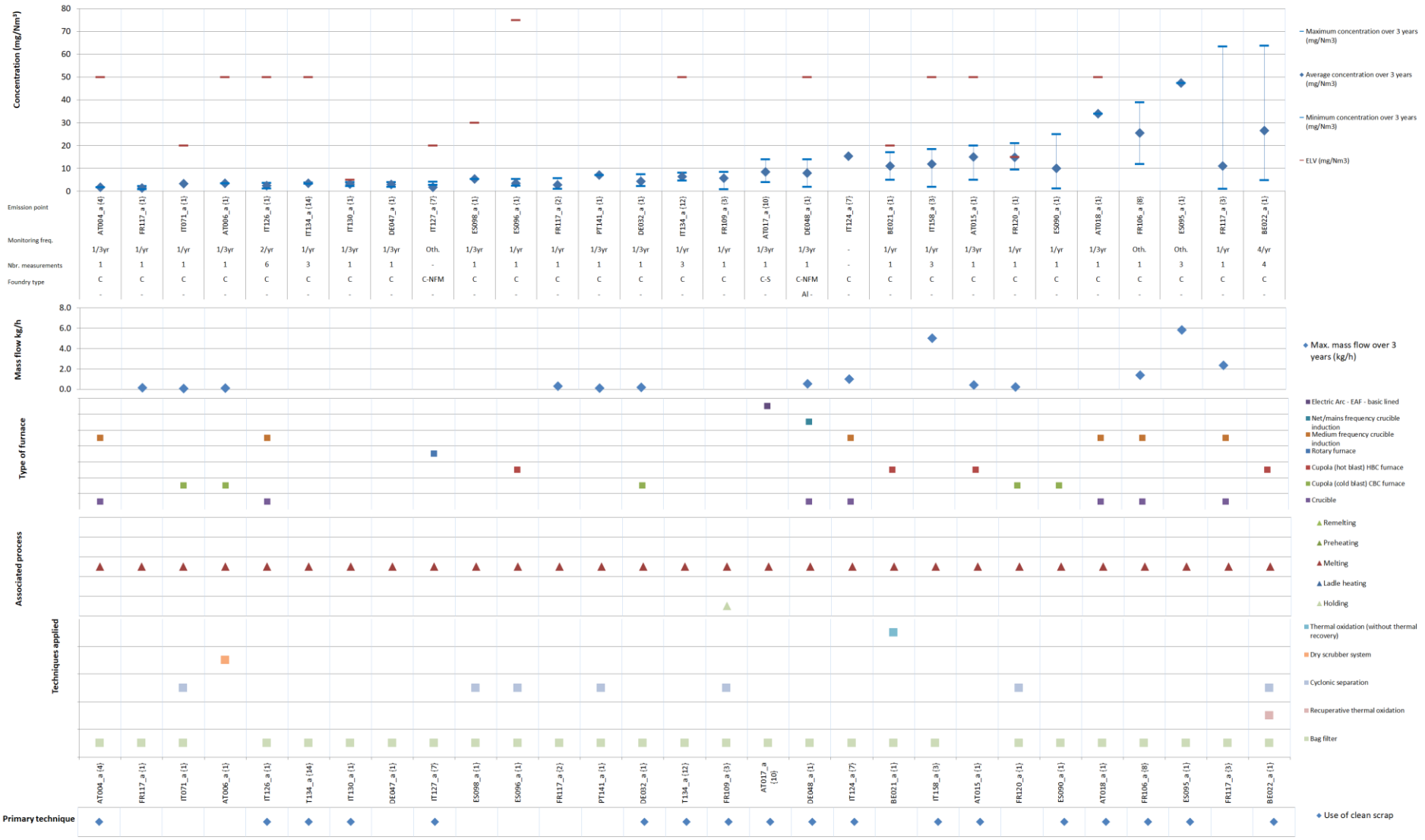
Concentration (mg/Nm^3)	Stężenie (mg/Nm^3)
Mass flow kg/h	Przepływ masowy kg/h
Type of furnace	Typ pieca
Associated process	Powiązany proces
Techniques applied	Zastosowane techniki
Primary technique	Główna technika
Emission point	Punkt emisji
Monitoring freq.	Częstotliwość monitorowania
Nbr. measurements	Liczba pomiarów
Foundry type	Typ odlewni
Maximum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Maksymalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Average concentration over 3 years	Średnie stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
(mg/Nm3)	
Minimum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Minimalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
ELV (mg/Nm3)	Dopuszczalna wartość emisji (ELV) (mg/Nm^3)
Max. mass flow over 3 years(kg/h)	Maks. przepływ masowy w ciągu 3 lat (kg/h)
Other	Pozostałe
Induction furnace (electric coreless)	Piec indukcyjny (elektryczny bezrdzeniowy)
Medium frequency crucible induction	Piec indukcyjny tyglowy średniej częstotliwości
Rotary furnace	Piec obrotowy
Cupola (hot blast) HBC furnace	Żeliwiak z gorącym dmuchem - HBC
Cupola (cold blast) CBCfurnace	Żeliwiak z zimnym dmuchem - CBC
Remelting	Przetapianie
Preheating	Podgrzewanie
Melting	Topienie
Ladle heating	Podgrzewanie kadzi
Holding	Podtrzymywanie (temp.)
Thermal oxidation (without thermal recovery)	Utlenianie termiczne (bez odzysku termicznego)
Dry scrubber system	System suchego odsiarczania
Cyclonic separation	Separacja cyklonem
Recuperative thermal oxidation	Rekuperacyjne utlenianie termiczne
Bag filter	Filtr workowy
Use of clean scrap	Wykorzystanie czystego złomu



Źródło: [169. TWG 2021]

Rysunek 2.75: Emisje SO_2 do powietrza z topienia metali w odlewniach NMF

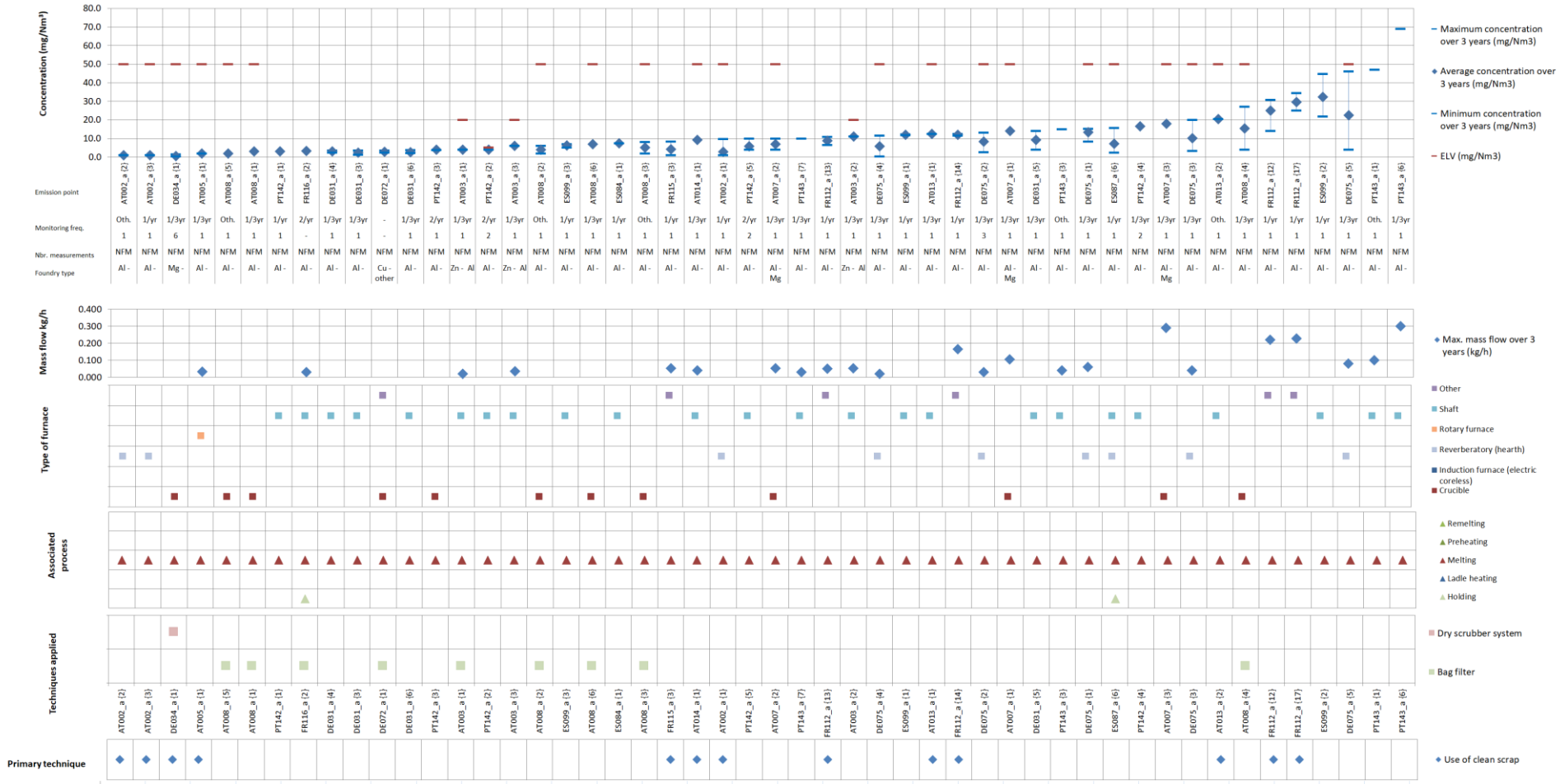
Concentration (mg/Nm^3)	Stężenie (mg/Nm^3)
Mass flow kg/h	Przepływ masowy kg/h
Type of furnace	Typ pieca
Associated process	Powiązany proces
Techniques applied	Zastosowane techniki
Primary technique	Główna technika
Emission point	Punkt emisji
Monitoring freq.	Częstotliwość monitorowania
Nbr. measurements	Liczba pomiarów
Foundry type	Typ odlewni
Maximum concentration over 3 years	Maksymalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Average concentration over 3 years (mg/Nm3)	Średnie stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Minimum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Minimalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
ELV (mg/Nm3)	Dopuszczalna wartość emisji (ELV) (mg/Nm^3)
Max. mass flow over 3 years(kg/h)	Maks. przepływ masowy w ciągu 3 lat (kg/h)
Other	Pozostałe
Shaft	Piec szybowy
Rotary furnace	Piec obrotowy
Reverberatory (hearth)	Piec płomienny
Induction furnace (electric coreless)	Piec indukcyjny (elektryczny bezrdzeniowy)
Crucible	Piec tyglowy
Radiant roof furnace	Piec z kopułą nagrzewającą
Medium frequency crucible induction	Piec indukcyjny tyglowy średniej częstotliwości
Resistance	Piec oporowy
Remelting	Przetapianie
Preheating	Podgrzewanie
Melting	Topienie
Ladle heating	Podgrzewanie kadzi
Holding	Podtrzymywanie (temp.)
Dry scrubber system	System suchego odsiarczania
Bag filter	Filtr workowy
Use of clean scrap	Wykorzystanie czystego złomu



Źródło: [169. TWG 2021]

Rysunek 2.76: Emisje całkowitych LZO do powietrza z topienia metali w odlewniach żeliwa

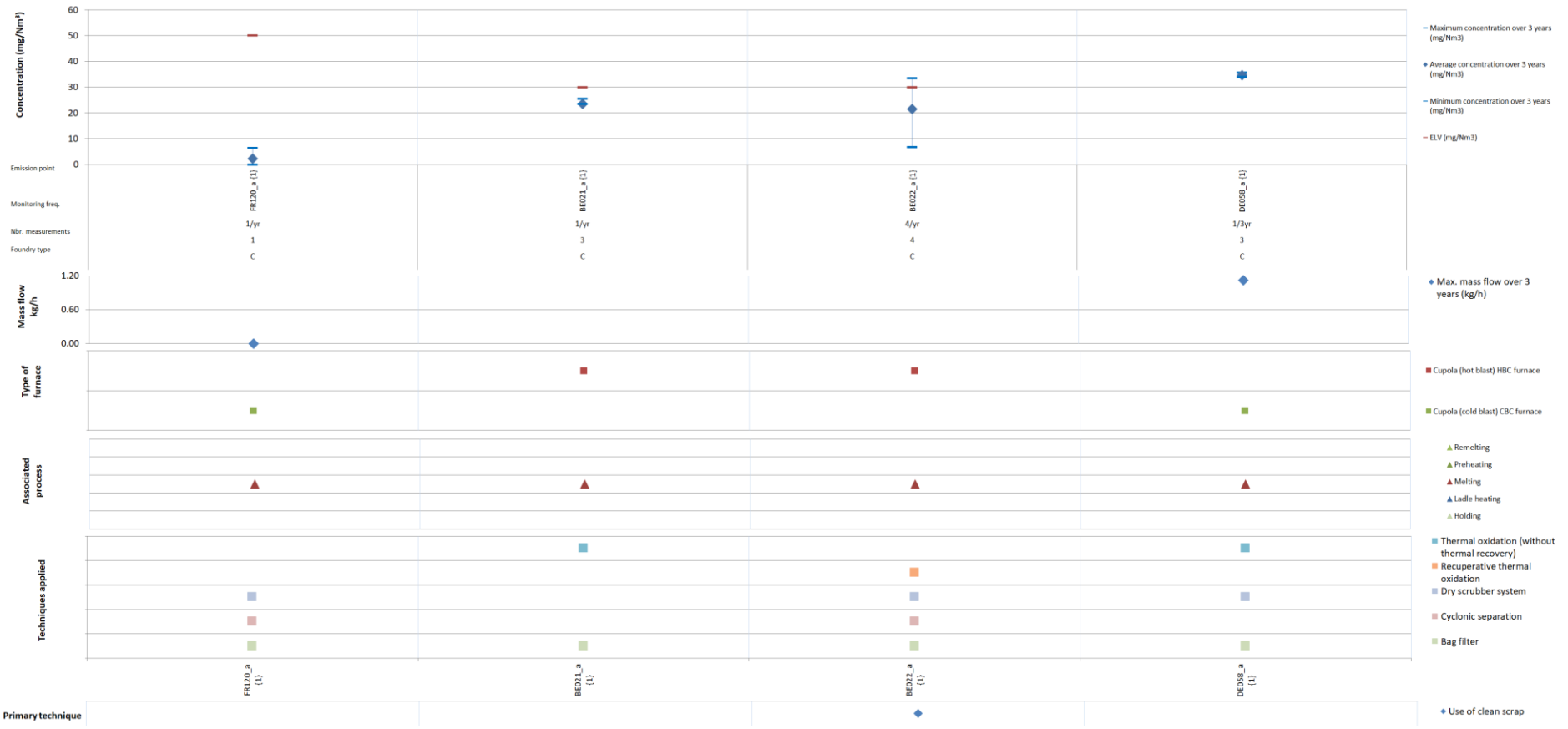
Concentration (mg/Nm^3)	Stężenie (mg/Nm^3)
Mass flow kg/h	Przepływ masowy kg/h
Type of furnace	Typ pieca
Associated process	Powiązany proces
Techniques applied	Zastosowane techniki
Primary technique	Główna technika
Emission point	Punkt emisji
Monitoring freq.	Częstotliwość monitorowania
Nbr. measurements	Liczba pomiarów
Foundry type	Typ odlewni
Maximum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Maksymalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Average concentration over 3 years	Średnie stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
(mg/Nm3)	
Minimum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Minimalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
ELV (mg/Nm3)	Dopuszczalna wartość emisji (ELV) (mg/Nm^3)
Max. mass flow over 3 years(kg/h)	Maks. przepływ masowy w ciągu 3 lat (kg/h)
Electric Arc - EAF - basic lined	Piec łukowy - EAF - wyłożony zasadą
Net/mains frequency crucible induction	Piec indukcyjny tyglowy o częstotliwości zasilania/sieci energetycznej
Medium frequency crucible induction	Piec indukcyjny tyglowy średniej częstotliwości
Rotary furnace	Piec obrotowy
Cupola (hot blast) HBC furnace	Żeliwiak z gorącym dmuchem - HBC
Cupola (cold blast) CBC furnace	Żeliwiak z zimnym dmuchem - CBC
Crucible	Piec tyglowy
Remelting	Przetapianie
Preheating	Podgrzewanie
Melting	Topienie
Ladle heating	Podgrzewanie kadzi
Holding	Podtrzymywanie (temp.)
Thermal oxidation (without thermal recovery)	Utlenianie termiczne (bez odzysku termicznego)
Cyclonic separation	Separacja cyklonem
Recuperative thermal oxidation	Rekuperacyjne utlenianie termiczne
Bag filter	Filtr workowy
Use of clean scrap	Wykorzystanie czystego złomu



Źródło: [169. TWG 2021]

Rysunek 2.77: Emisje całkowitych LZO do powietrza z topienia metali w odlewniach NMF

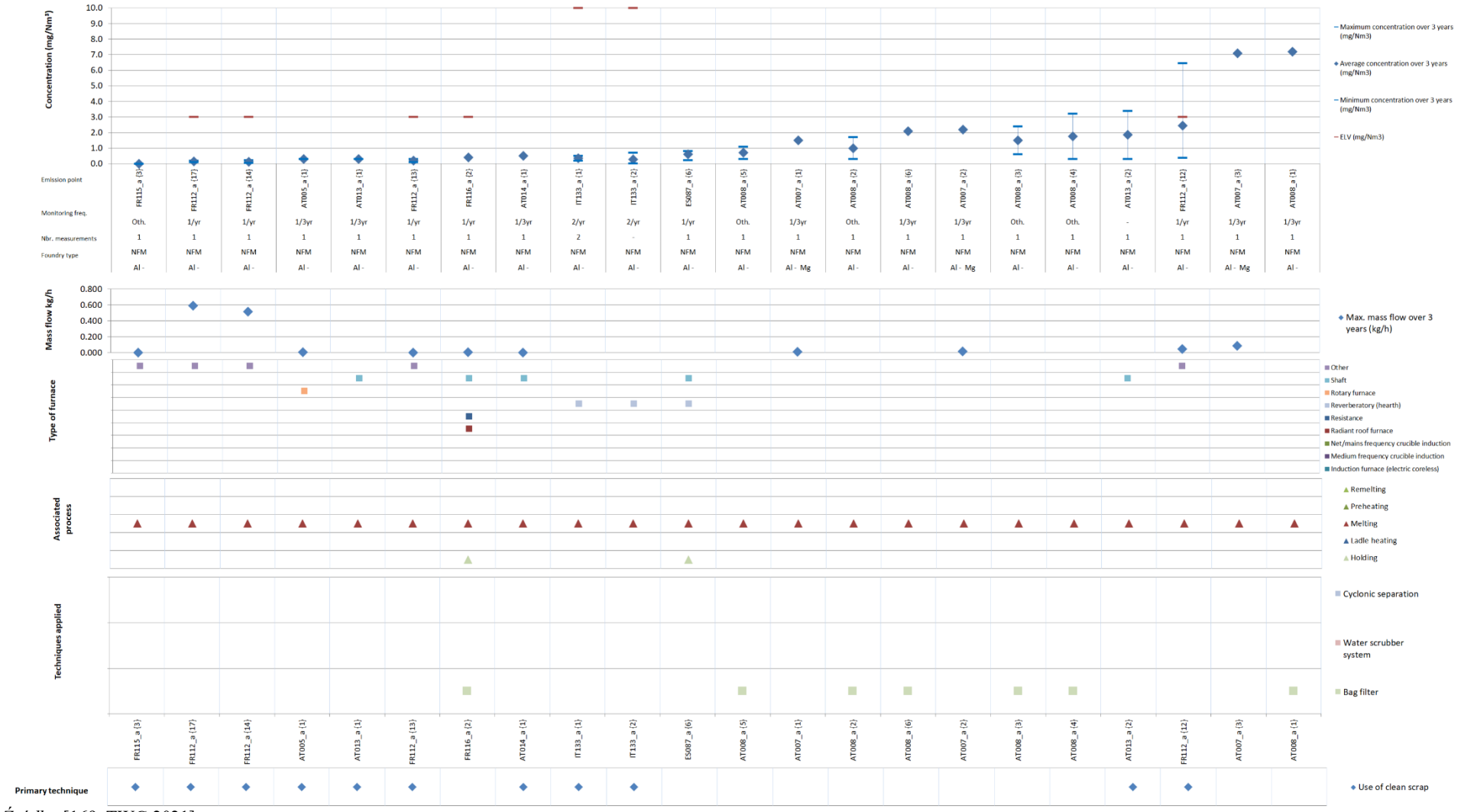
Concentration (mg/Nm^3)	Stężenie (mg/Nm^3)
Mass flow kg/h	Przepływ masowy kg/h
Type of furnace	Typ pieca
Associated process	Powiązany proces
Techniques applied	Zastosowane techniki
Primary technique	Główna technika
Emission point	Punkt emisji
Monitoring freq.	Częstotliwość monitorowania
Nbr. measurements	Liczba pomiarów
Foundry type	Typ odlewni
Maximum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Maksymalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Average concentration over	Średnie stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
3 years (mg/Nm3)	
Minimum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Minimalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
ELV (mg/Nm3)	Dopuszczalna wartość emisji (ELV) (mg/Nm^3)
Max. mass flow over 3 years(kg/h)	Maks. przepływ masowy w ciągu 3 lat (kg/h)
Other	Pozostałe
Shaft	Piec szybowy
Rotary furnace	Piec obrotowy
Reverberatory (hearth)	Piec płomienny
Induction furnace (electric coreless)	Piec indukcyjny (elektryczny bezrdzeniowy)
Crucible	Piec tyglowy
Remelting	Przetapianie
Preheating	Podgrzewanie
Melting	Topienie
Ladle heating	Podgrzewanie kadzi
Holding	Podtrzymywanie (temp.)
Dry scrubber system	System suchego odsiarczania
Bag filter	Filtr workowy
Use of clean scrap	Wykorzystanie czystego złomu



Źródło: [169. TWG 2021]

Rysunek 2.78: Emisje HCl do powietrza z topienia metali w odlewniach żeliwa stosujących piece CBC lub HBC

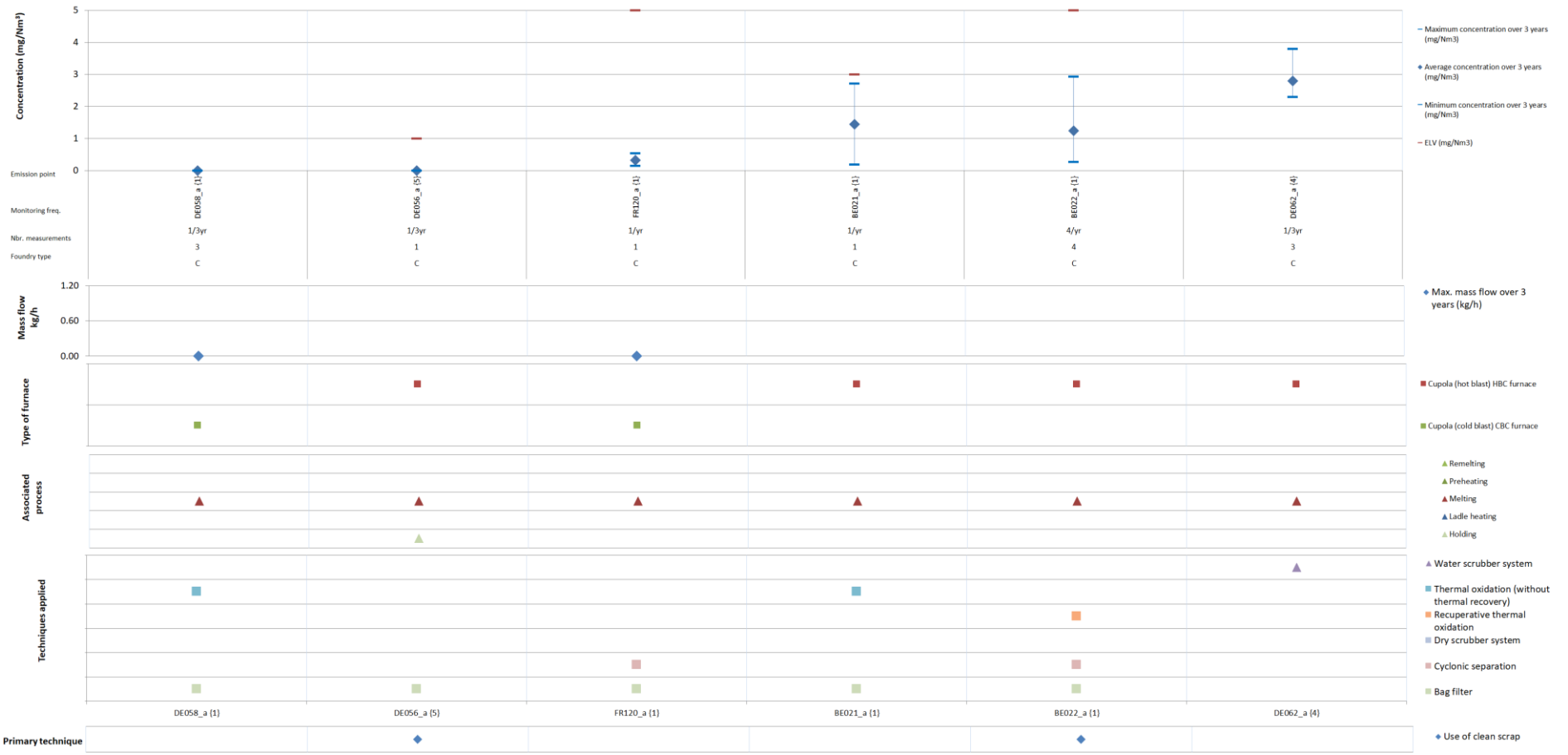
Concentration (mg/Nm^3)	Stężenie (mg/Nm^3)
Mass flow kg/h	Przepływ masowy kg/h
Type of furnace	Typ pieca
Associated process	Powiązany proces
Techniques applied	Zastosowane techniki
Primary technique	Główna technika
Emission point	Punkt emisji
Monitoring freq.	Częstotliwość monitorowania
Nbr. measurements	Liczba pomiarów
Foundry type	Typ odlewni
Maximum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Maksymalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Average concentration over 3 years (mg/Nm3)	Średnie stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Minimum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Minimalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
ELV (mg/Nm3)	Dopuszczalna wartość emisji (ELV) (mg/Nm^3)
Max. mass flow over 3 years(kg/h)	Maks. przepływ masowy w ciągu 3 lat (kg/h)
Cupola (hot blast) HBC furnace	Żeliwiak z gorącym dmuchem - HBC
Cupola (cold blast) CBC furnace	Żeliwiak z zimnym dmuchem - CBC
Remelting	Przetapianie
Preheating	Podgrzewanie
Melting	Topienie
Ladle heating	Podgrzewanie kadzi
Holding	Podtrzymywanie (temp.)
Thermal oxidation (without thermal recovery)	Utlenianie termiczne (bez odzysku termicznego)
Recuperative thermal oxidation	Rekuperacyjne utlenianie termiczne
Dry scrubber system	System suchego odsiarczania
Cyclonic separation	Separacja cyklonem
Bag filter	Filtr workowy
Use of clean scrap	Wykorzystanie czystego złomu



Źródło: [169. TWG 2021]

Rysunek 2.79: Emisje HCl do powietrza z topienia metali w odlewniach NMF

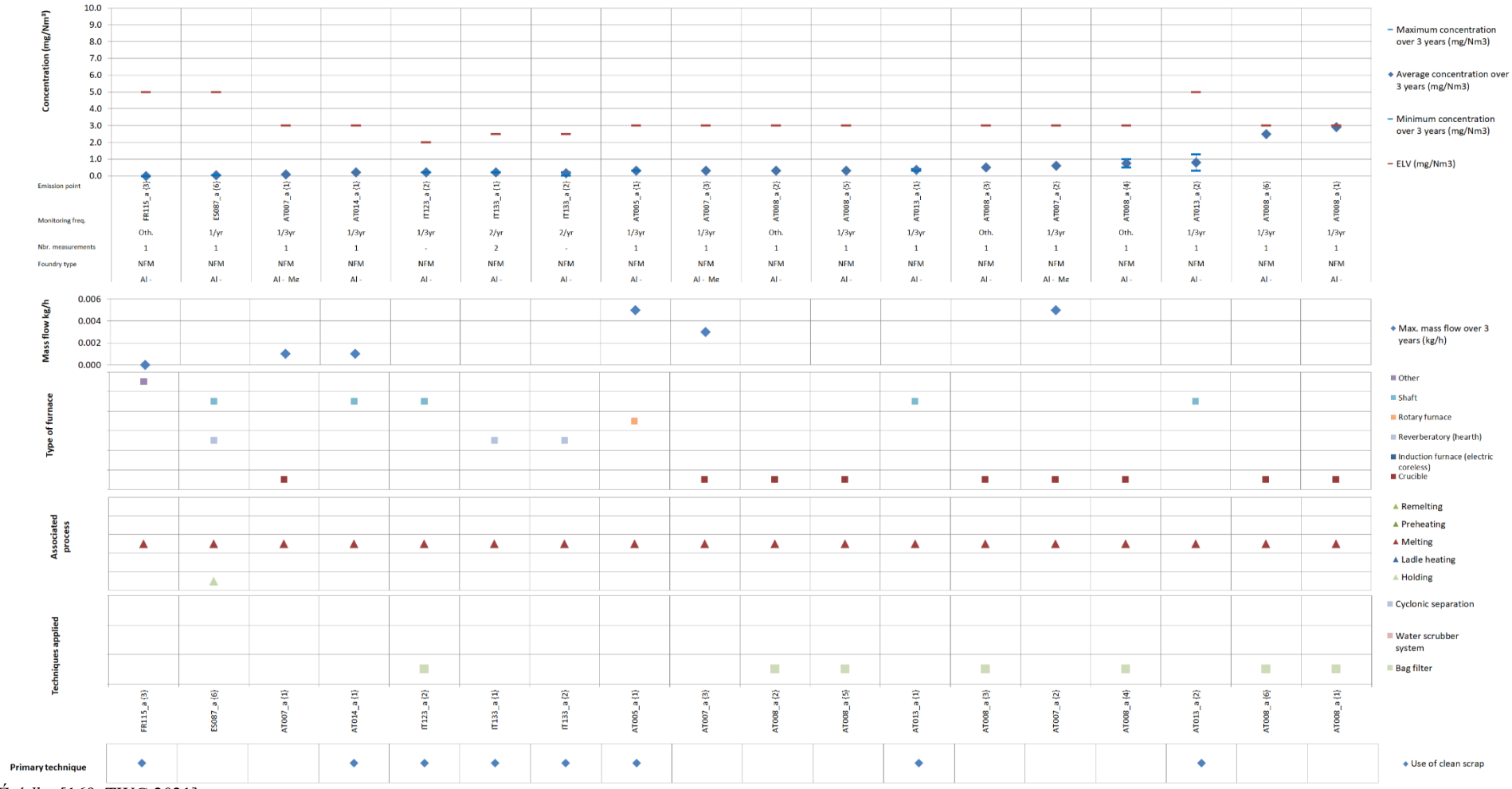
Concentration (mg/Nm^3)	Stężenie (mg/Nm^3)
Mass flow kg/h	Przepływ masowy kg/h
Type of furnace	Typ pieca
Associated process	Powiązany proces
Techniques applied	Zastosowane techniki
Primary technique	Główna technika
Emission point	Punkt emisji
Monitoring freq.	Częstotliwość monitorowania
Nbr. measurements	Liczba pomiarów
Foundry type	Typ odlewni
Maximum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Maksymalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Average concentration over 3 years	Średnie stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
(mg/Nm3)	
Minimum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Minimalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
ELV (mg/Nm3)	Dopuszczalna wartość emisji (ELV) (mg/Nm^3)
Max. mass flow over 3 years(kg/h)	Maks. przepływ masowy w ciągu 3 lat (kg/h)
Other	Pozostałe
Shaft	Piec szybowy
Rotary furnace	Piec obrotowy
Reverberatory (hearth)	Piec płomienny
Resistance	Piec oporowy
Radiant roof furnace	Piec z kopułą nagrzewającą
Net/mains frequency crucible induction	Piec indukcyjny tyglowy o częstotliwości zasilania/sieci energetycznej
Medium frequency crucible induction	Piec indukcyjny tyglowy średniej częstotliwości
Induction furnace (electric coreless)	Piec indukcyjny (elektryczny bezrdzeniowy)
Remelting	Przetapianie
Preheating	Podgrzewanie
Melting	Topienie
Ladle heating	Podgrzewanie kadzi
Holding	Podtrzymywanie (temp.)
Cyclonic separation	Separacja cyklonem
Water scrubber system	System płukania (oczyszczania) na mokro
Bag filter	Filtr workowy
Use of clean scrap	Wykorzystanie czystego złomu



Źródło: [169. TWG 2021]

Rysunek 2.80: Emisje HF do powietrza z topienia metali w odlewniach żeliwa stosujących piece CBC lub HBC

Concentration (mg/Nm^3)	Stężenie (mg/Nm^3)
Mass flow kg/h	Przepływ masowy kg/h
Type of furnace	Typ pieca
Associated process	Powiązany proces
Techniques applied	Zastosowane techniki
Primary technique	Główna technika
Emission point	Punkt emisji
Monitoring freq.	Częstotliwość monitorowania
Nbr. measurements	Liczba pomiarów
Foundry type	Typ odlewni
Maximum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Maksymalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Average concentration over 3 years (mg/Nm3)	Średnie stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Minimum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Minimalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
ELV (mg/Nm3)	Dopuszczalna wartość emisji (ELV) (mg/Nm^3)
Max. mass flow over 3 years(kg/h)	Maks. przepływ masowy w ciągu 3 lat (kg/h)
Cupola (hot blast) HBC furnace	Żeliwiak z gorącym dmuchem - HBC
Cupola (cold blast) CBC furnace	Żeliwiak z zimnym dmuchem - CBC
Remelting	Przetapianie
Preheating	Podgrzewanie
Melting	Topienie
Ladle heating	Podgrzewanie kadzi
Holding	Podtrzymywanie (temp.)
Water scrubber system	System płukania (oczyszczania) na mokro
Thermal oxidation (without thermal recovery) Recuperative thermal oxidation	Utlenianie termiczne (bez odzysku termicznego) Rekuperacyjne utlenianie termiczne
Dry scrubber system	System suchego odsiarczania
Cyclonic separation	Separacja cyklonem
Bag filter	Filtr workowy
Use of clean scrap	Wykorzystanie czystego złomu



Źródło: [169. TWG 2021]

Rysunek 2.81: Emisje HF do powietrza z topienia metali w odlewniach NMF

Concentration (mg/Nm^3)	Stężenie (mg/Nm^3)
Mass flow kg/h	Przepływ masowy kg/h
Type of furnace	Typ pieca
Associated process	Powiązany proces
Techniques applied	Zastosowane techniki
Primary technique	Główna technika
Emission point	Punkt emisji
Monitoring freq.	Częstotliwość monitorowania
Nbr. measurements	Liczba pomiarów
Foundry type	Typ odlewni
Maximum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Maksymalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Average concentration over 3 years (mg/Nm3)	Średnie stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Minimum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Minimalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
ELV (mg/Nm3)	Dopuszczalna wartość emisji (ELV) (mg/Nm^3)
Max. mass flow over 3 years(kg/h)	Maks. przepływ masowy w ciągu 3 lat (kg/h)
Other	Pozostałe
Shaft	Piec szybowy
Rotary furnace	Piec obrotowy
Reverberatory (hearth)	Piec płomienny
Induction furnace (electric coreless)	Piec indukcyjny (elektryczny bezrdzeniowy)
Crucible	Piec tyglowy
Remelting Preheating Melting Ladle heating	Przetapianie Podgrzewanie Topienie Podgrzewanie kadzi
Holding	Podtrzymywanie (temp.)
Cyclonic separation	Separacja cyklonem
Water scrubber system	System płukania (oczyszczania) na mokro
Bag filter	Filtr workowy
Use of clean scrap	Wykorzystanie czystego złomu

2.3.2.2. Obróbka cieplna

W kolejnych sekcjach przedstawiono dane dotyczące emisji dla procesu obróbki cieplnej.

2.3.2.2.1 Emisje pyłu

Zgłoszone poziomy emisji pyłu do powietrza z obróbki cieplnej przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 2.42: Dane dotyczące emisji pyłu dla obróbki cieplnej

Punkt emisji	Powiązany proces	Rodzaj paliwa	Stężenie minimalne z ponad 3 lat	Stężenie średnie z ponad 3 lat	Stężenie maksymalne z ponad 3 latz ponad 3 lat	Stężenie dopuszczalnej wartości emisji (ELV)	Kombinacja technik	Częstotliwość monitorowania	Metoda monitorowania	Całkowita liczba zgłoszonych pomiarów	Rodzaj odlewni
FR112/EP15	Piec 3	Energia elektryczna - Gaz ziemny	0	0,2215	0,443	20	Nie zastosowano żadnej techniki	1/rok	EN 13284-1	2	NFM – Al
DE065/EP18	Piec 6	Gaz ziemny	0,3	0,4	0,5	10	Nie zastosowano żadnej techniki	1/3 lata	EN 13284-1	3	NFM – Al
AT002/EP4	Piec 9	Gaz ziemny	0,6	0,6	0,6	10	Nie zastosowano żadnej techniki	-	EN 13284-1	1	NFM – Al
DE065/EP7	Piec 6	Gaz ziemny	0,2	0,45	0,7	5	Nie zastosowano żadnej techniki	1/3 lata	EN 13284-1	6	NFM – Al
DE065/EP13	Piec 5	Gaz ziemny	0,2	0,45	0,7	10	Filtr workowy - utleniacz termiczny	1/3 lata	EN 13284-1	6	NFM – Al
AT006/EP5	Piec 5, Piec 6, Piec 7, Piec 8	Gaz ziemny	1	1	1	10	Nie zastosowano żadnej techniki	1/3 lata	EN 13284-1	3	Odlewnie żeliwa
ES086/EP13	Piec 5	Gaz ziemny	1,3	1,3	1,3	20	Nie zastosowano żadnej techniki	-	EN 13284-1	1	NFM – Al
ES086/EP14	Piec 5	Gaz ziemny	1,3	1,3	1,3	20	Nie zastosowano żadnej techniki	-	EN 13284-1	1	NFM – Al
ES086/EP15	Piec 4	Gaz ziemny	1,3	1,3	1,3	20	Nie zastosowano żadnej techniki	-	EN 13284-1	1	NFM – Al
DE065/EP10	Piec 5	Gaz ziemny	0,2	0,65	2,4	10	Filtr workowy	1/3 lata	EN 13284-1	6	NFM – Al
FR112/EP19	Piec 6	Energia elektryczna - Gaz ziemny	1,5	2,27	3,04	20	Nie zastosowano żadnej techniki	1/rok	EN 13284-1	2	NFM – Al
DE065/EP11	Piec 5	Gaz ziemny	0,2	2,15	5,4	10	Filtr workowy	1/3 lata	EN 13284-1	6	NFM – Al
DE065/EP14	Piec 5	Gaz ziemny	1,6	4,3	10	10	Filtr workowy - utleniacz termiczny	1/3 lata	EN 13284-1	9	NFM – Al

2.3.2.2.2 Emisje NO_x

Zgłoszone poziomy emisji tlenków azotu (NO_X) do powietrza z obróbki cieplnej przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 2.43: Dane dotyczące emisji NO_X dla obróbki cieplnej

Punkt emisji	Powiązany proces	Rodzaj paliwa	Minimalne stężenie z ponad 3 lat	Stężenie średnie z ponad 3 lat	Stężenie maksymalne z ponad 3 lat	Stężenie dopuszczalnej [illegible]	Maksymalny przepływ masowy z ponad 3 lat [kg/h]	ELV - przepływ masowy (g/h)	Kombinacja technik	Częstotliwość monitorowania	Metoda monitorowania	Całkowita liczba zgłoszonych pomiarów	Rodzaj odlewni
FR112/EP15	Piec 3	Energia elektryczna - Gaz ziemny	0	0,515	1,03	120	0,16	0,09	Nie zastosowano żadnej techniki	1/rok	14792 EN	2	NFM – Al
ES093/EP6	Piec 6	Gaz ziemny	10,3	10,3	10,3	300	-	-	Nie zastosowano żadnej techniki	Inna	EN 14792	2	NFM – Al
ES086/EP13	Piec 5	Gaz ziemny	16,13	16,13	16,13	615	-	-	Nie zastosowano żadnej techniki	Inna	EN 14792	1	NFM – Al
DE065/EP7	Piec 6	Gaz ziemny	1	8,05	17,4	80	-	-	Nie zastosowano żadnej techniki	1/3 lata	EN 14792	0	NFM – Al
ES086/EP14	Piec 5	Gaz ziemny	24	24	24	615	-	-	Nie zastosowano żadnej techniki	Inna	EN 14792	1	NFM – Al
ES086/EP15	Piec 4	Gaz ziemny	24	24	24	615	-	-	Nie zastosowano żadnej techniki	Pozostałe	EN 14792	1	NFM – Al
DE065/EP12	Piec 5	Gaz ziemny	4,7	13,6	26,5	100	-	-	Nie zastosowano żadnej techniki	1/3 lata	EN 14792	6	NFM – Al
DE065/EP18	Piec 6	Gaz ziemny	11	19,2	27,8	200	-	-	Nie zastosowano żadnej techniki	1/3 lata	EN 14792	9	NFM – Al
ES092/EP2	Piec 2	Energia elektryczna - Gaz ziemny	28,7	32,9	37,1	300	-	-	Nie zastosowano żadnej techniki	Inna	EN 14792	2	NFM – Al
FR112/EP19	Piec 6	Energia elektryczna - Gaz ziemny	10,8	25,5	40,2	120	0,0303	0,09	Nie zastosowano żadnej techniki	1/rok	EN 14792	2	NFM – Al
DE065/EP13	Piec 5	Gaz ziemny	37,9	40,4	45	100	-	-	Filtr workowy - utleniacz termiczny	1/3 lata	EN 14792	6	NFM – Al

ES092/EP4	Piec 4	Energia elektryczna - Gaz ziemny	20,5	54,35	88,2	300	-	-	Nie zastosowano żadnej techniki	Inna	EN 14792	2	NFM – Al
ES093/EP7	Piec 7	Gaz ziemny	89,4	89,4	89,4	300	-	-	Nie zastosowano żadnej techniki	Inna	EN 14792	1	NFM – Al
DE065/EP14	Piec 5	Gaz ziemny	84,5	95,87	104	250	-	-	Filtr workowy - utleniacz termiczny	1/3 lata	14792 EN	9	NFM – Al
AT006/EP5	Piec 5, Piec 6, Piec 7, Piec 8	Gaz ziemny	259	263	268	-	-	-	Nie zastosowano żadnej techniki	1/3 lata	EN 14792	3	Odlewnie żeliwa
AT002/EP4	Piec 9	Gaz ziemny	289	292	295	350	-	-	Nie zastosowano żadnej techniki	1/3 lata	EN 14792	1	NFM – Al

3.2.2.3 Emisje CO

Zgłoszone poziomy emisji tlenku węgla (CO) do powietrza z obróbki cieplnej przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 2.44: Dane dotyczące emisji CO dla obróbki cieplnej

Punkt emisji	Powiązany proces	Rodzaj paliwa	Minimalne stężenie z ponad 3 lat	Stężenie średnie z ponad 3 lat	Stężenie maksymalne z ponad 3 lat	Stężenie dopuszczalnej	Kombinacja technik	Częstotliwość monitorowania	Metoda monitorowania	Całkowita liczba pomiarów	Rodzaj odlewni
DE065/EP7	Piec 6	Gaz ziemny	1,7	2,15	2,8	80	Nie zastosowano żadnej techniki	1/3 lata	EN 15058	0	NFM – Al
DE065/EP12	Piec 5	Gaz ziemny	1,3	1,85	3,4	100	Nie zastosowano żadnej techniki	1/3 lata	EN 15058	6	NFM – Al
FR112/EP15	Piec 3	Energia elektryczna - Gaz ziemny	0	5,35	10,7	-	Nie zastosowano żadnej techniki	1/rok	EN 15058	2	NFM – Al
DE065/EP13	Piec 5	Gaz ziemny	9,5	11,25	12,6	80	Filtr workowy, utleniacz termiczny	1/3 lata	EN 15058	6	NFM – Al
ES086/EP13	Piec 5	Gaz ziemny	17,23	17,23	17,23	625	Nie zastosowano żadnej techniki	Inna	EN 15058	1	NFM – Al
ES086/EP14	Piec 5	Gaz ziemny	22,2	22,2	22,2	625	Nie zastosowano żadnej techniki	Inna	EN 15058	1	NFM – Al
ES093/EP6	Piec 6	Gaz ziemny	10,3	18,3	26,3	100	Nie zastosowano żadnej techniki	Inna	EN 15058	2	NFM – Al
DE065/EP14	Piec 5	Gaz ziemny	7,8	19,47	26,6	80	Filtr workowy, utleniacz termiczny	1/3 lata	EN 15058	9	NFM – Al
ES093/EP7	Piec 7	Gaz ziemny	34,55	34,55	34,55	100	Nie zastosowano żadnej techniki	Inna	EN 15058	1	NFM – Al
ES086/EP15	Piec 4	Gaz ziemny	47,03	47,03	47,03	625	Nie zastosowano żadnej techniki	Inna	15058 EN	1	NFM – Al
ES092/EP4	Piec 4	Energia elektryczna - Gaz ziemny	3,8	26,3	48,8	100	Nie zastosowano żadnej techniki	Inna	EN 15058	2	NFM – Al
ES092/EP2	Piec 2	Energia elektryczna - Gaz ziemny	83,8	83,9	84	100	Nie zastosowano żadnej techniki	Inna	15058 EN	2	NFM – Al
DE065/EP18	Piec 6	Gaz ziemny	70,9	85,27	96,6	100	Nie zastosowano żadnej techniki	1/3 lata	EN 15058	9	NFM – Al
FR112/EP19	Piec 6	Energia elektryczna - Gaz ziemny	369	369	369	-	Nie zastosowano żadnej techniki	1/rok	EN 15058	1	NFM – Al

2.3.2.3 Sferoidyzacja żeliwa

Podczas sferoidyzacji żeliwa mogą powstawać znaczne ilości tlenku magnezu, w zależności od zastosowanej metody sferoidyzacji. Wydajność, ocena jakościowa generowania gazu spalinowego i złożoność różnych metod sferoidyzacji zostały porównane w Tabeli 2.45.

Tabela 2.45: Porównanie różnych procedur sferoidyzacji

	Warstwowa	**Z pośrednią pokrywą kadzi**	**Zanurzeniowa**	**Przepływowa**	**Z wprowadzeniem drutu**	**W formie**	**Kanałowa**
Skuteczność odbioru Mg (%)	35 – 50	45 – 60	40 – 60	40 – 50	20 – 50	70 – 90	60 – 75
Wytwarzanie gazu	Wysokie	Niskie	Niskie	Niskie	Niskie	Brak	Wysokie
Komentarz	Łatwa operacja	Zoptymalizowana procedura warstwowa, ale więcej czynności	Wysokie koszty utrzymania	Wysokie koszty utrzymania	Kosztowna instalacja	Inna konstrukcja systemu zalewania	Wysokie koszty utrzymania
Źródło: [38. Vito 2001], [120. TWG 2003]							

Lista zakładów, które zgłosiły zastosowanie sferoidyzacji została przedstawiona w poniższej tabeli.

Tabela 2.46: Lista zakładów, które zgłosiły stosowanie sferoidyzacji (sklasyfikowane według zastosowanej techniki)

Zastosowany proces sferoidyzacji	**Liczba zakładów**	**Kody zakładów**
Metoda kanałowa	1	AT004.
Wprowadzenie drutu rdzeniowego	20	AT017, IT132, PL138, AT018, BE022, BE023, CZ156, DE028, DE032, DE042, DE045, DE051, DE056, DE074, ES100, FR106, FR110, IT071, IT124, PL135.
Metoda konwertorowa G Fischer ‘a	3	DE049, DE050, DE051.
Metoda warstwowa	14	ES088, FI102, DE060, DE069, DK079, ES095, ES098, FR104, FR106, IT130, IT131, PL135, PT140, PT141.
Metoda z pośrednią pokrywą kadzi	13	AT009, DE028, DE039, ES082, ES094, FR109, IT131, IT134, IT155, IT158, SE144, SE145, SE152.
Technika wlewania	9	BE019, CZ026, CZ156, DE041, DE048, DE057, DE067, ES091, IT124.
Proces in mold (w formie)	5	BE021, DE028, DE069, FR106, IT126.
Metoda zanurzeniowa	1	ES096.
Metoda przepływowa	2	FR109, IT155.
Inna	2	IT127, IT125.
Źródło: [169. TWG 2021]		

Zgłoszone poziomy emisji pyłu do powietrza ze sferoidyzacji żeliwa przedstawiono na Rysunku 2.82.



Źródło: [169. TWG 2021]

Rysunek 2.82: Emisje pyłu ze sferoidyzacji żeliwa

Concentration (mg/Nm^3)	Stężenie (mg/Nm^3)
Emission point	Punkt emisji
Monitoring freq.	Częstotliwość monitorowania
Nbr. measurements	Liczba pomiarów
Foundry type	Typ odlewni
Mass flow kg/h	Przepływ masowy kg/h
Nodularisation method	Sferoidyzacja
Associated processes	Powiązane procesy
Techniques applied	Zastosowane techniki
Maximum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Maksymalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Average concentration over 3 years (mg/Nm3)	Średnie stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Minimum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Minimalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
ELV (mg/Nm3)	Dopuszczalna wartość emisji (ELV) (mg/Nm^3)
Max. mass flow over 3 years (kg/h)	Maks. przepływ masowy w ciągu 3 lat (kg/h)
Core wire injection	Wprowadzenie drutu rdzeniowego
Sandwich method	Metoda warstwowa
G Fischer converter	Metoda konwertorowa G Fischer’a
Tundish cover method	Metoda z pośrednią pokrywą kadzi
Nodularisation	Sferoidyzacja
Furnace	Piec
Casting	Odlewanie
Cooling	Chłodzenie
Shake-out	Wytrząsanie/wybijanie
Roof extraction	Ekstrakcja/odciąganie przez kopułę
Dry scrubber system	System suchego odsiarczania
Cyclonic separation	Separacja cyklonem
Bag filter	Filtr workowy

2.3.2.4 Rafinacja stali

2.3.2.4.1 Konwertor argonowo-tlenowy (konwertor AOD)

Materiały wsadowe/produkty wyjściowe konwertora AOD podsumowano w poniższej tabeli.

Wsad (materiał wejściowy)	**Produkt wyjściowy (produkt)**
- Stopiona stal	- Stal odwęglona
- Metale stopowe (żelazostopy)	- Pył i opary tlenków metali
- Al, żelazokrzem (FeSi), wapno	(Fe, Mn, Cr, Ni)
- O_2, N_2, Ar	- Gazy (CO_2, CO, gazy obojętne)
	- Żużel (CaO, SiO_2, AlO_3)

2.3.2.4.1.1 Materiał wejściowy (wsad)

Konwertor AOD jest stosowany głównie do produkcji stali nierdzewnych o niskiej zawartości węgla, a w szczególnych przypadkach stali węglowych i niskostopowych: do usuwania zanieczyszczeń, takich jak węgiel, siarka i tlenki, a także do odwęglenia stali nierdzewnych o wysokiej zawartości chromu. Przetwarzanym materiałem jest stal płynna, która została stopiona w piecach łukowych lub indukcyjnych, a następnie wlana do zbiornika za pomocą kadzi. Technika ta jest najczęściej stosowana w przemyśle stalowym, ale znajduje również ograniczone zastosowanie w odlewniach. W celu odwęglenia do konwertora wtryskiwany jest tlen, utleniający węgiel do CO, który następnie ulatnia się z płynnego metalu. Jedynym źródłem energii jest energia reakcji spalania tlenu z węglem podczas utleniania, a następnie tlenu z aluminium (i/lub z krzemem) podczas redukcji.
Zużycie węgla wynosi od 0,4% do 1%, co stanowi około 50–120 m^3 CO na tonę stali i 25–60 m^3 tlenu. Aby wyeliminować siarkę, konieczne jest zastosowanie żużla o wysokiej zasadowości w całkowicie zredukowanej płynnej stali. Do konwertora AOD dodaje się materiały redukujące, takie jak aluminium lub krzem, oraz wapno. Poziomy zużycia zależą od jakości gatunku stali i podano je w Tabeli 2.47.

Tabela 2.47: Poziomy zużycia dla obróbki AOD stali

Związek	**Zużycie (na tonę stali)**
CO	50 - 120 m^3
O_2	25 - 60 m^3
Al	1 - 2,5 kg
Wapno	10 - 20 kg
Si	1 - 2 kg
Ar	1 - 5 m^3
Źródło: [100. TWG 2002]	

2.3.2.4.1.2 Emisje

Emisje pyłu są porównywalne z emisjami pyłu z pieców łukowych, zarówno pod względem ilości, jak i jakości. Emisje pyłu konwertorowego AOD charakteryzują się niższym poziomem pozostałości (organicznych) ze złomu, ale z drugiej strony zawierają wyższy poziom tlenków metali (Cr, Ni), ponieważ w zbiornikach AOD przetwarzana jest głównie stal nierdzewna.
Gazy wydechowe z AOD składają się z tlenku węgla i gazu obojętnego. Szybkość wydzielania tlenku węgla zależy od szybkości wtrysku tlenu do tuyères (dysz) oraz wydajności tlenu, czyli procentowej zawartości tlenu, który reaguje z węglem. Wydajność tlenu, zwana również „wydajnością usuwania węgla", jak tradycyjnie określa się ją w procesie AOD, zmienia się w trakcie trwania procesu AOD w odpowiedzi na połączone zmienne, takie jak poziom węgla w kąpieli, temperatura, skład chemiczny kąpieli oraz mieszanka wtryskiwanych gazów.
Mieszanina CO i gazu obojętnego opuszcza zbiornik w temperaturze zbliżonej do temperatury kąpieli. Mieszanina CO opuszczająca zbiornik jest mieszana z powietrzem nadmiarowym w celu całkowitego spalenia CO do CO_2 na samym początku kanału wydechowego. Ma to na celu zapobieżenie przedostawaniu się mieszanek palnych lub wybuchowych do kanału prowadzącego do urządzenia filtrującego.
Ponadto wytworzony żużel jest wyjątkowo „czysty" pod względem zawartości tlenków metali, ponieważ ze względu na specyfikę procesu są one zazwyczaj spalane. Skład żużlu podano w **Tabeli 2.48.**

Tabela 2.48: Skład żużlu w AOD

Związek	%
Wapno	50 – 70
Al_2O_3	5 – 25
SiO_2	10 – 25
MgO	5 – 15
Źródło: [100. TWG 2002]	

Dwa zakłady (AT017 i FR104) zgłosiły stosowanie AOD do rafinacji stali. Zgłoszone emisje pyłów przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 2.49: Zgłoszone emisje pyłu z konwertora AOD

Zakład/ Punkt emisji	Powiązany proces	Zastosowana technika redukcji emisji pyłu	Zgłoszone poziomy emisji pyłu (mg/Nm³)
FR104/EP2	Konwertor AOD	Filtr tkaninowy	2,3 – 2,6
Źródło: [169. TWG 2021]			

2.3.2.4.2 Konwertor próżniowo-tlenowy (VODC)

Proces VODC obejmuje odwęglanie pod zmniejszonym ciśnieniem. Jest znacznie rzadziej stosowany niż proces AOD. Technika ta zużywa 1 Nm3 Ar na tonę stali, charakteryzuje się niskim stopniem utleniania chromu i zużyciem krzemu na poziomie 3–5 kg/tonę. Proces VODC umożliwia produkcję gatunków stali o bardzo niskiej zawartości węgla i azotu. [100. TWG 2002]
Stosowanie VODC zostało zgłoszone przez dwa zakłady (DE068 i FR103). Deklarowane emisje pyłów przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 2.50: Zgłoszone emisje pyłu z VODC

Zakład/ Punkt emisji	Powiązane procesy	Zastosowana technika redukcji emisji pyłu	Zgłoszone poziomy emisji pyłu (mg/Nm³)
FR103/EP6	Piece łukowe A i D, piec indukcyjny KJ, VODC, podgrzewanie kadzi	Filtr tkaninowy	0,02 – 0,05
Źródło: [169. TWG 2021]			

2.3.2.4.3 Odtlenianie stali

Do odtleniania powszechnie stosuje się aluminium w postaci prętów. Dodatki wahają się od 0,1% dla stali średniowęglowej do 0,2% dla stali niskowęglowej. Odzysk wynosi od 35% do 80%. Stosuje się również mechaniczne podawanie drutu aluminiowego. [73. Brown, J. R. 2000].
Sześć zakładów objętych zbiorem danych SF BREF zgłosiło stosowanie odtleniania: BE019, DE044, PL135, PT140 i SE146. [169. TWG 2021]

2.3.2.5 Obróbka stopionego aluminium

Do połączenia odgazowania i czyszczenia w stacji wirówek stosuje się zazwyczaj mieszaninę argonu lub azotu z 3 % Cl2. Do samego odgazowania używa się z reguły gazów Ar lub N_2 bez Cl_2. Zastosowany przepływ i czas odgazowania zależą od rodzaju użytego stopu i wielkości zbiornika do obróbki. Zużycie środków modyfikujących, środków do rozdrabniania ziarna i topników zależy od rodzaju stopu, ale z reguły wynosi od 100 g do 1 kg na 50 kg stopionego metalu.
W przypadku topienia aluminium informacje przekazane podczas gromadzenia danych SF BREF są następujące [169. TWG 2021]:

- DE066/EP1: Zakład ten zgłosił emisje Cl_2 poniżej 0,1 mg/Nm^3 przy użyciu czystego N_2 (w postaci tabletek lub gazu) jako środka odgazowującego. Nie zgłoszono stosowania Cl_2.
- PT143 (punkty emisji EP1, EP3 oraz EP6): Zakład ten zgłosił stosowanie środków odgazowujących na bazie fluorków (bez stosowania Cl_2). W przypadku EP3 emisje Cl_2 wynosiły < 0,1 mg/Nm^3. W przypadku EP1 emisje Cl_2 były niższe niż 0,1 mg/Nm^3 w 2018 i 2019 r., ale w 2013 r. zgłoszono emisje na poziomie 2 mg/Nm^3. W przypadku EP6 emisje Cl_2 były niższe niż 0,1 mg/Nm^3 w 2018 i 2019 r., ale w 2017 r. zgłoszono emisje na poziomie 11 mg/Nm^3.

- PT142 (punkty emisji EP1 do EP5): Zakład ten zgłaszał emisje Cl_2 najczęściej w zakresie od < 0,1 mg/Nm^3 do 0,6 mg/Nm^3 przy użyciu czystego N_2 (w postaci tabletek lub gazu) jako środka odgazowującego. Nie zgłoszono stosowania Cl_2.

Na podstawie otrzymanych informacji wydaje się, że zakłady, które zgłosiły dane dotyczące emisji chloru, nie zgłosiły faktycznego stosowania chloru jako środka odgazowującego. W przypadku niektórych stosunkowo wysokich wartości zgłoszonych (przez zakład PT143) uważa się, że emisje te mogą być związane z wykorzystaniem Cl_2 w przeszłości (np. PT143/EP1 – 2013) lub sporadycznym stosowaniem (PT143/EP6). W przypadku tych zakładów wymóg monitorowania Cl2 może być starym wymogiem zawartym w pozwoleniu dla tych instalacji: niektóre z tych odlewni faktycznie nie używają już chloru, ale mogą nadal prowadzić monitorowanie. Ogólny konsensus w Technicznej Grupie Roboczej jest taki, że chlor gazowy nie jest już stosowany w odlewniach jako środek odgazowujący.

2.3.2.6 Produkcja szablonów

W ramach gromadzenia danych 11 zakładów (10 odlewni żeliwa: AT006, AT012, FR104, DK079, DE060, IT130, IT157, SE145, IT127, SE153 oraz 1 odlewnię stali: AT016) zgłosiło emisje z produkcji szablonów (czasami obejmujące malowanie szablonów – zob. zakład IT 130).

Wszystkie zakłady zgłosiły stosowanie filtrów tkaninowych, z wyjątkiem jednego (IT130). Wszystkie zakłady zgłosiły emisje pyłu, tylko jeden zakład zgłosił emisje formaldehydu (IT157), a dwa zakłady zgłosiły emisje całkowitych LZO (AT006, IT130). W przypadku pyłu wszystkie zakłady, które zgłosiły dedykowany punkt emisji dla produkcji szablonów, zgłosiły bardzo niskie emisje w zakresie 0,3–3,5 mg/Nm^3. Zgłoszone emisje całkowitych LZO wynosiły od 3,9 mg/Nm^3 do 4,6 mg/Nm^3, a emisje formaldehydu były poniżej 0,2 mg/Nm^3.

2.3.2.7 Wykonywanie form z wykorzystaniem form traconych (jednorazowego użytku) oraz produkcja rdzeni

Produkcja form i rdzeni polega na mieszaniu piasku z różnymi chemikaliami, w niektórych przypadkach po czym następuje etap nagrzewania. Emitowane są gazowe lub lotne produkty reakcji oraz nadmiar odczynników. Tabela 2.51 przedstawia przegląd emisji i innych oddziaływań na środowisko podczas mieszania, formowania i przechowywania form oraz rdzeni.

Tabela 2.51: Wpływ systemów wiążących (spoiw) na środowisko naturalne

Nazwa systemu i składniki spoiwa	Metoda wiązania i względne zapotrzebowanie na energię	Emisje do powietrza podczas mieszania i wiązania	Inny wpływ na środowisko
BENTONIT Glina Pył węglowy lub substytut Woda	Ciśnienie - niskie	Pył zawieszony - brak znaczącej emisji do środowiska	Należy unikać rozsypywania piasku wokół przenośników, aby zmniejszyć prawdopodobieństwo emisji niezorganizowanej. Zmniejszenie emisji z procesu mieszania nie jest istotne (proces jest zwykle samowystarczalny, z wypartym powietrzem odprowadzanym do odlewni).
PIASEK MUSZLOWY Żywica fenolowo-formaldehydowa (nowolak)	Wygrzewanie - wysokie	Formaldehyd* Amoniak* Fenol* Substancje aromatyczne HCN (cyjanowodór)	Zapach może być problemem, ponieważ powietrze z maszyn do powlekania jest zazwyczaj odprowadzane na zewnątrz.

Nazwa systemu i składniki spoiwa	Metoda wiązania i względne zapotrzebowanie na energię	Emisje do powietrza podczas mieszania i wiązania	Inny wpływ na środowisko
ALKALICZNA ŻYWICA FENOLOWA Rezol - alkaliczna żywica fenolowo-formaldehydowa 1. Utwardzanie gazem (alkaliczno-fenolowy cold-box/zimna rdzennica) 2. Samoutwardzanie (alkaliczna żywica fenolowa typu no-bake/niewypalana)	Utwardzanie gazowe parami mrówczanu metylu - niskie Utwardzanie na zimno estrami - niskie	Formaldehyd* Fenol* Mrówczan metylu Formaldehyd* Fenol* Estry	
POIWO FENOLOWO-URETANOWE 1. Utwardzanie gazem: cold-box/zimna rdzennica 2. Samoutwardzanie (spoiwo fenolowo-uretanowe niewypalane)	Opary amin - niskie Samoutwardzanie z dodaną pirydyną - niskie	Izocyjanian (MDI) Aminy* Formaldehyd* Fenol Izocyjaniany (MDI) Formaldehyd* Fenol	Zapach jest często problemem - tam, gdzie stosuje się DMEA (dimetyloaminoetanol), powstają nieprzyjemne zapachy, których eliminacja jest niezbędna. Może to być spalanie lub oczyszczanie gazowe (z wykorzystaniem kwasów siarkowego lub fosforowego) - w tym drugim przypadku powstają ciecze, które są odpadem specjalnym. Tam, gdzie używana jest TEA (trietanoloamina), oczyszczanie jest wymagane tylko wtedy, gdy pojawiają się problemy z nieprzyjemnym zapachem.
FURAN Kombinacja żywic: fenolowych mocznikowych z alkoholem furfurylowym z formaldehydem	Utwardzanie na zimno kwasami - niskie	Formaldehyd* Fenol* Alkohol furfurylowy* Siarkowodór Kwaśne mgły	Żywice i kwasy muszą być trzymane oddzielnie (chyba że obecny jest piasek), ponieważ w kontakcie są silnie egzotermiczne.
HOT-BOX/GORĄCA RDZENNICA Kombinacja żywic fenolowych mocznikowych z alkoholem furfurylowym z formaldehydem	Wygrzewanie– wysokie	Formaldehyd* Kwasy Alkohol furfurylowy* Fenol* Amoniak Kwas izocyjanowy Izocyjanian metylu	Zapach może być problemem, ponieważ powietrze z maszyn do powlekania jest zazwyczaj odprowadzane na zewnątrz.
PIASEK BITUMICZNY Olej lniany i skrobia	Wygrzewanie– wysokie	Akroleina* Złożone substancje organiczne	Zapach może być problemem, ponieważ powietrze z pieców rdzeniowych jest zazwyczaj odprowadzane na zewnątrz.
PROCES Z CO_2 Krzemian sodu	Utwardzanie gazowe z użyciem CO_2 - niskie	Brak	
KRZEMIAN ESTROWY Krzemian sodu	Zestalanie na zimno z estrami - niskie	Estry	

Nazwa systemu i składniki spoiwa	Metoda wiązania i względne zapotrzebowanie na energię	Emisje do powietrza podczas mieszania i wiązania	Inny wpływ na środowisko
Uwaga 1: Wszystkie powyższe procesy powodują powstawanie zużytego piasku (w tym połamanych rdzeni, wycieków i pozostałości po mieszaniu), który może być składowany na wysypiskach. Uwaga 2: Substancje oznaczone * to te, które z największym prawdopodobieństwem mogą powodować powstawanie zapachu w wyniku wspomnianego procesu. Uwaga 3: Każdy składnik spoiwa żywicznego będzie traktowany jako odpad specjalny do celów unieszkodliwiania i w przypadku rozlania może spowodować ryzyko skażenia systemów wodnych. Uwaga 4: Aminy i mrówczany metylu stosowane do utwardzania gazem są wysoce łatwopalne i nieprzyjemnie pachnące. Niezbędne jest unikanie wycieków podczas przechowywania. *Źródło*: [41. Teknologisk 2000], [62. UK Environment Agency (Brytyjska Agencja Ochrony Środowiska) 2002], [120. TWG 2003], [124. Lilja i in. 2000]			

2.3.2.7.1 Emisje pyłu

Zgłoszone poziomy emisji pyłu do powietrza z produkcji rdzeni i wykonywania form z wykorzystaniem form traconych (jednorazowego użytku) przedstawiono na Rysunku 2.83, Rysunku 2.84 oraz Rysunku 2.85.
Niektóre dane statystyczne dotyczące zgłoszonych emisji pyłu przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 2.52: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji pyłu

Parametr/ proces	Liczba danych	Liczba punktów emisji	Liczba zakładów	90 percentyl	Średnia	Mediana	10 percentyl
				mg/Nm^3			
Wykonywanie form	137	60	29	8,34	3,37	1,83	0,22
Produkcja rdzeni	128	56	31	6,62	1,96	1,06	0,33
Uwaga: Powyższe dane odnoszą się do punktów emisji, które są związane tylko z jednym procesem - wykonywaniem form lub produkcją rdzeni.							

2.3.2.7.2 Emisje amin

Zgłoszone poziomy emisji amin do powietrza z produkcji rdzeni przedstawiono na Rysunku 2.86.
Niektóre dane statystyczne dotyczące zgłoszonych emisji amin przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 2.53: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji amin

Parametr/ proces	Liczba danych	Liczba punktów emisji	Liczba zakładów	90 percentyl	Średnia	Mediana	10 percentyl
				mg/Nm^3			
Wykonywanie form	7	3	3	-	0,56	-	-
Produkcja rdzeni	88	45	24	2,06	0,79	0,39	0,04
Uwaga: Powyższe dane odnoszą się do punktów emisji, które są związane tylko z jednym procesem - wykonywaniem form lub produkcją rdzeni. *Źródło:* [169. TWG 2021]							

2.3.2.7.3 Emisje formaldehydu

Zgłoszone poziomy emisji formaldehydu do powietrza z produkcji rdzeni i wykonywania form z wykorzystaniem form traconych (jednorazowego użytku) przedstawiono na Rysunku 2.87, Rysunku 2.88 oraz Rysunku 2.89.
Niektóre dane statystyczne dotyczące zgłoszonych emisji formaldehydu przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 2.54: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji formaldehydu

Parametr/ proces	Liczba danych	Liczba punktów emisji	Liczba zakładów	90 percentyl	Średnia	Mediana	10 percentyl
				mg/Nm^3			
Wykonywanie form	28	12	8	2,80	0,83	0,16	0,04

Produkcja rdzeni	53	24	16	4,93	1,29	0,25	0,03
Uwaga: Powyższe dane odnoszą się do punktów emisji, które są związane tylko z jednym procesem - wykonywaniem form lub produkcją rdzeni. *Źródło:* [169. TWG 2021]							

2.3.2.7.4 Emisje benzenu

Zgłoszone poziomy emisji benzenu do powietrza z produkcji rdzeni i wykonywania form z wykorzystaniem form traconych przedstawiono na Rysunku 2.90 oraz Rysunku 2.91.
Niektóre dane statystyczne dotyczące zgłoszonych emisji benzenu przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 2.55: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji benzenu

Parametr/ proces	Liczba danych	Liczba punktów emisji	Liczba zakładów	90 percentyl	Średnia	Mediana	10 percentyl
				mg/Nm^3			
Wykonywanie form	27	13	9	4,22	1,63	0,95	0,05
Produkcja rdzeni	16	8	6	0,20	0,11	0,11	0,01
Uwaga: Powyższe dane odnoszą się do punktów emisji, które są związane tylko z jednym procesem - wykonywaniem form lub produkcją rdzeni. *Źródło:* [169. TWG 2021]							

2.3.2.7.5 Emisje fenolu

Zgłoszone poziomy emisji fenolu do powietrza z produkcji rdzeni i wykonywania form z wykorzystaniem form traconych przedstawiono na Rysunku 2.92, Rysunku 2.93 oraz Rysunku 2.94.
Niektóre dane statystyczne dotyczące zgłoszonych emisji fenolu przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 2.56: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji fenolu

Parametr/ proces	Liczba danych	Liczba punktów emisji	Liczba zakładów	90 percentyl	Średnia	Mediana	10 percentyl
				mg/Nm^3			
Wykonywanie form	32	12	8	5,17	1,80	0,86	0,05
Produkcja rdzeni	23	11	9	1,06	0,35	0,15	0,01
Uwaga: Powyższe dane odnoszą się do punktów emisji, które są związane tylko z jednym procesem - wykonywaniem form lub produkcją rdzeni. *Źródło:* [169. TWG 2021]							

2.3.2.7.6 Emisje całkowitych LZO

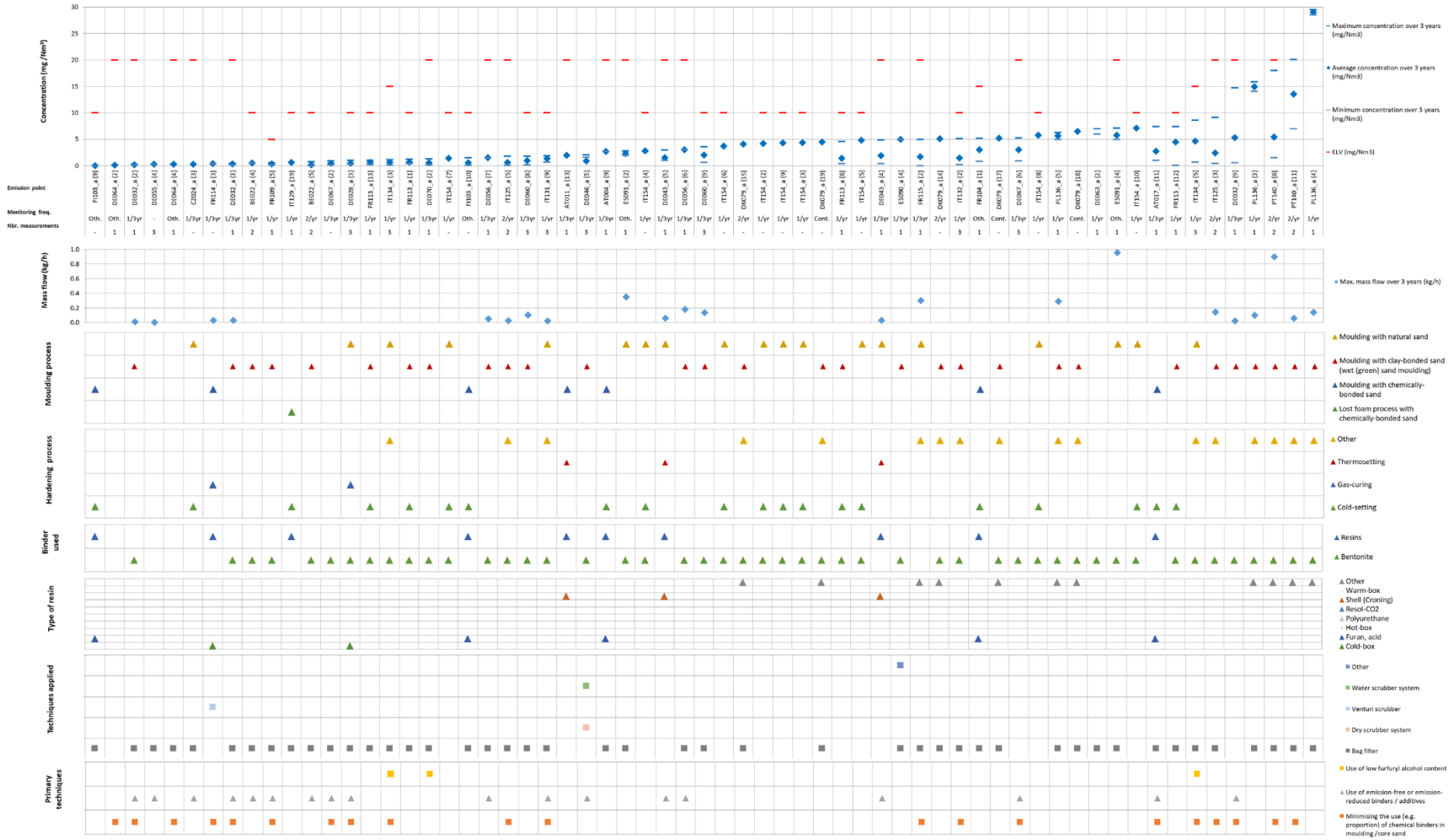
Zgłoszone poziomy emisji całkowitych LZO do powietrza z produkcji rdzeni i wykonywania form z wykorzystaniem form traconych przedstawiono na Rysunku 2.95, Rysunku 2.96 oraz Rysunku 2.97.
Niektóre dane statystyczne dotyczące zgłoszonych emisji całkowitych LZO przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 2.57: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji TVOC

Parametr/ proces	Liczba danych	Liczba punktów emisji	Liczba zakładów	90 percentyl	Średnia	Mediana	10 percentyl
				mg/Nm^3			
Wykonywanie form	25	11	9	47,64	26,93	19,35	9,92
Produkcja rdzeni	67	29	12	297,42	108,81	56,00	11,96
Uwaga: Powyższe dane odnoszą się do punktów emisji, które są związane tylko z jednym procesem - wykonywaniem form lub produkcją rdzeni. *Źródło:* [169. TWG 2021]							

2.3.2.7.7 Dane dla emisji do powietrza

Struktura rysunków przedstawionych w tej sekcji została wyjaśniona w Sekcji 2.3.2.1.10.

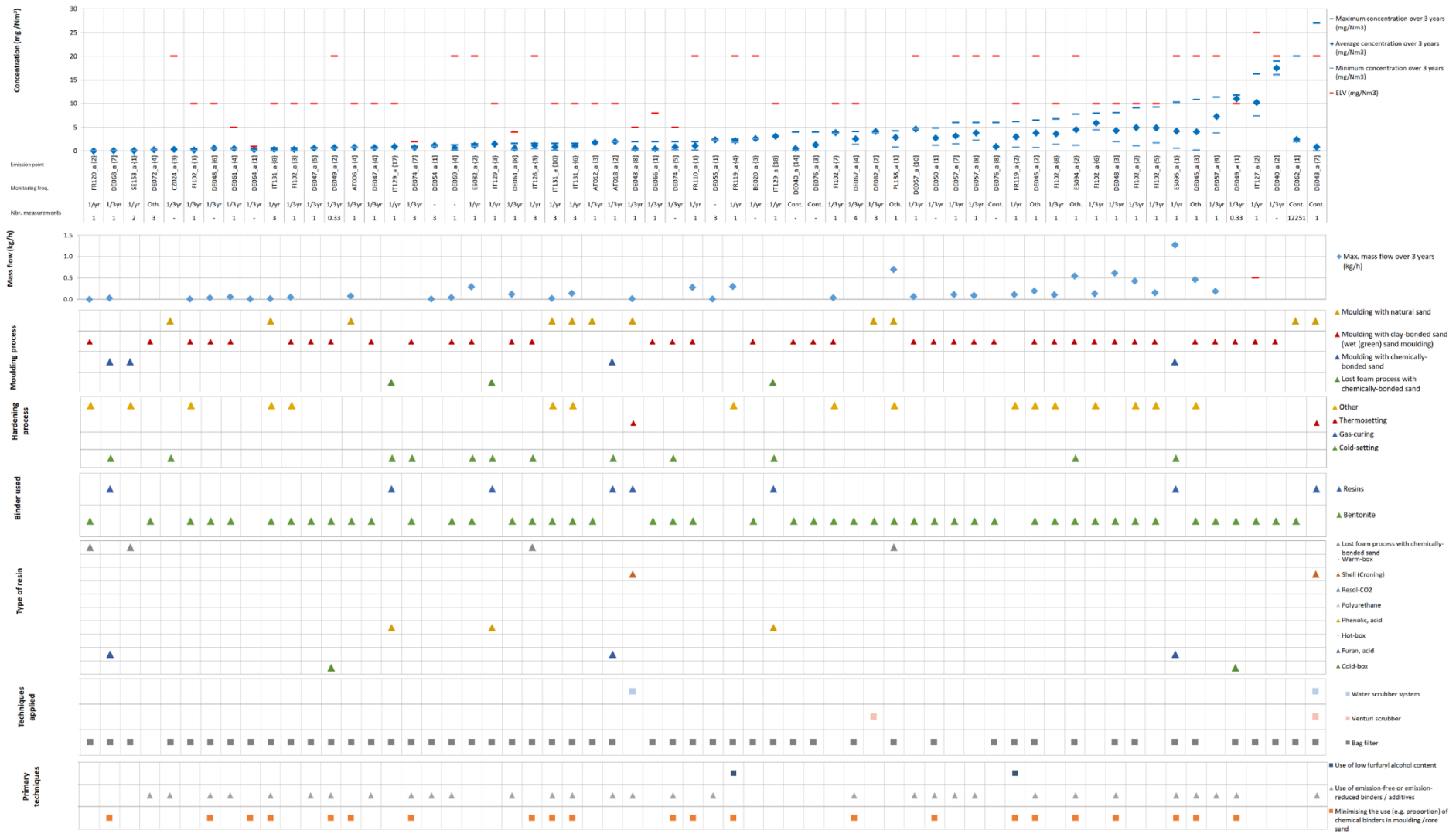


Źródło: [169. TWG 2021]

Rysunek 2.83: Emisje pyłu podczas wykonywania form z wykorzystaniem form traconych

Concentration (mg/Nm^3)	Stężenie (mg/Nm^3)
Emission point	Punkt emisji
Monitoring freq.	Częstotliwość monitorowania
Nbr. measurements	Liczba pomiarów
Mass flow (kg/h)	Przepływ masowy (kg/h)
Moulding process	Proces formowania
Hardening process	Proces hartowania
Binder used	Zastosowane spoiwo
Type of resin	Rodzaj żywicy
Techniques applied	Zastosowane techniki
Primary techniques	Podstawowe techniki
Maximum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Maksymalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Average concentration over 3 years (mg/Nm3)	Średnie stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Minimum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Minimalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
ELV (mg/Nm3)	Dopuszczalna wartość emisji (ELV) (mg/Nm3)
Max. mass flow over 3 years (kg/h)	Maks. przepływ masowy w ciągu 3 lat (kg/h)
Moulding with natural sand	Wykonywanie form z użyciem naturalnej masy (piasku)
Moulding with clay-bonded sand (wet (green) sand moulding)	Wykonywanie form z użyciem masy z bentonitem (wykonywanie form z zielonego piasku na mokro)
Moulding with chemically-bonded sand	Wykonywanie form z użyciem masy (piasku) związanej chemicznie
Lost foam process with chemically-bonded sand	Proces traconej pianki z użyciem masy związanej chemicznie
Other	Pozostałe
Thermosetting	Termoutwardzanie
Gas-curing	Utwardzanie gazem
Cold-setting	Utwardzanie na zimno
Resins	Żywice
Bentonite	Bentonit
Other	Pozostałe
Warm-box	Ciepła rdzennica (*warm-box*)
Shell (Croning)	Skorupa (Croning)
Resol-CO2	Rezol-CO_2
Polyurethane	Poliuretan
Hot-box	Gorąca rdzennica (*hot-box*)
Furan, acid	Furan, kwas

Cold-box	Zimna rdzennica (*cold-box*)
Other	Pozostałe
Water scrubber system	System płukania (oczyszczania) na mokro
Venturi scrubber	Płuczka Venturiego (płuczka gazowa zwężkowa)
Dry scrubber system	System suchego odsiarczania
Bag filter	Filtr workowy
Use of low furfuryl alcohol content	Zastosowanie niskiej zawartości alkoholu furfurylowego
Use of emission-free or emission-reduced binders / additives	Zastosowanie spoiw/dodatków bezemisyjnych lub o zmniejszonej emisji
Minimising the use (e.g. proportion) of chemical binders in moulding / core sand	Ograniczenie stosowania (np. proporcji) chemicznych środków wiążących w masie (piasku) formierskiej/rdzeniowej

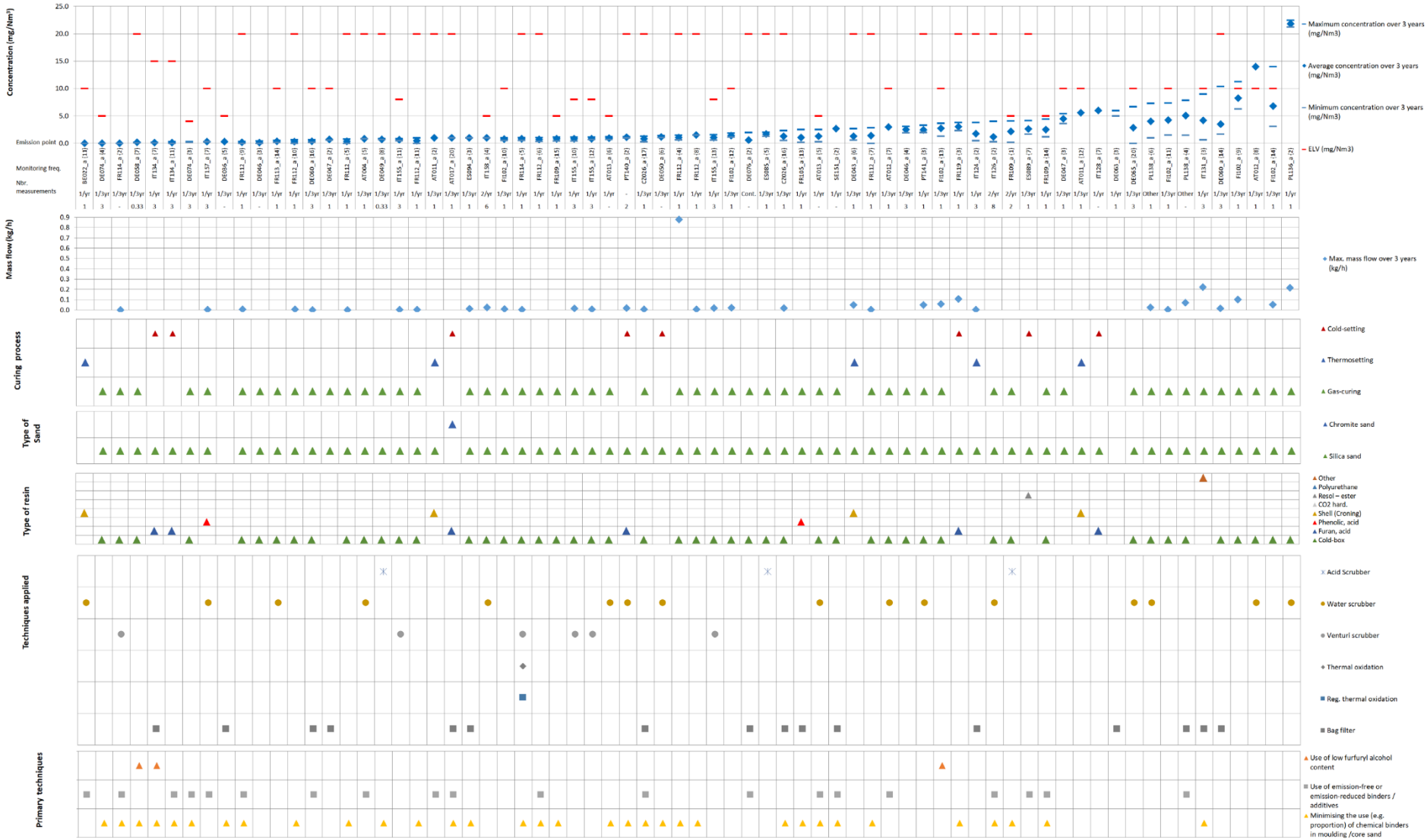


Źródło: [169. TWG 2021]

Rysunek 2.84: Emisje pyłu podczas wykonywania form z wykorzystaniem form traconych oraz z innych procesów

Concentration (mg/Nm^3)	Stężenie (mg/Nm3)
Emission point	Punkt emisji
Monitoring freq.	Częstotliwość monitorowania
Nbr. measurements	Liczba pomiarów
Mass flow (kg/h)	Przepływ masowy (kg/h)
Moulding process	Proces formowania
Hardening process	Proces hartowania
Binder used	Zastosowane spoiwo
Type of resin	Rodzaj żywicy
Techniques applied	Zastosowane techniki
Primary techniques	Podstawowe techniki
Maximum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Maksymalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Average concentration over 3 years (mg/Nm3)	Średnie stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Minimum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Minimalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
ELV (mg/Nm3)	Dopuszczalna wartość emisji (ELV) (mg/Nm^3)
Max. mass flow over 3 years (kg/h)	Maks. przepływ masowy w ciągu 3 lat (kg/h)
Moulding with natural sand	Wykonywanie form z użyciem naturalnej masy (piasku)
Moulding with clay-bonded sand (wet (green) sand moulding)	Wykonywanie form z użyciem masy z bentonitem (wykonywanie form z zielonego piasku na mokro)
Moulding with chemically-bonded sand	Wykonywanie form z użyciem masy (piasku) związanej chemicznie
Lost foam process with chemically-bonded sand	Proces traconej pianki z użyciem masy związanej chemicznie
Other	Pozostałe
Thermosetting	Termoutwardzalne
Gas-curing	Utwardzanie gazem
Cold-setting	Utwardzanie na zimno
Resins	Żywice
Bentonite	Bentonit
Lost foam process with chemically-bonded sand	Proces traconej pianki z użyciem masy związanej chemicznie
Warm box	Ciepła rdzennica (*warm-box*)
Shell (Croning)	Skorupa (Croning)
Resol-CO2	Rezol-CO_2
Polyurethane	Poliuretan
Phenolic, acid	Fenol, kwas
Hot-box	Gorąca rdzennica (*hot-box*)

Furan, acid	Furan, kwas
Cold-box	Zimna rdzennica (*cold-box*)
Water scrubber system	System płukania (oczyszczania) na mokro
Venturi scrubber	Płuczka Venturiego (płuczka gazowa zwężkowa)
Bag filter	Filtr workowy
Use of low furfuryl alcohol content	Zastosowanie niskiej zawartości alkoholu furfurylowego
Use of emission-free or emission-reduced binders / additives	Zastosowanie spoiw/dodatków bezemisyjnych lub o zmniejszonej emisji
Minimising the use (e.g. proportion) of chemical binders in moulding / core sand	Ograniczenie stosowania (np. proporcji) chemicznych środków wiążących w masie (piasku) formierskiej/rdzeniowej

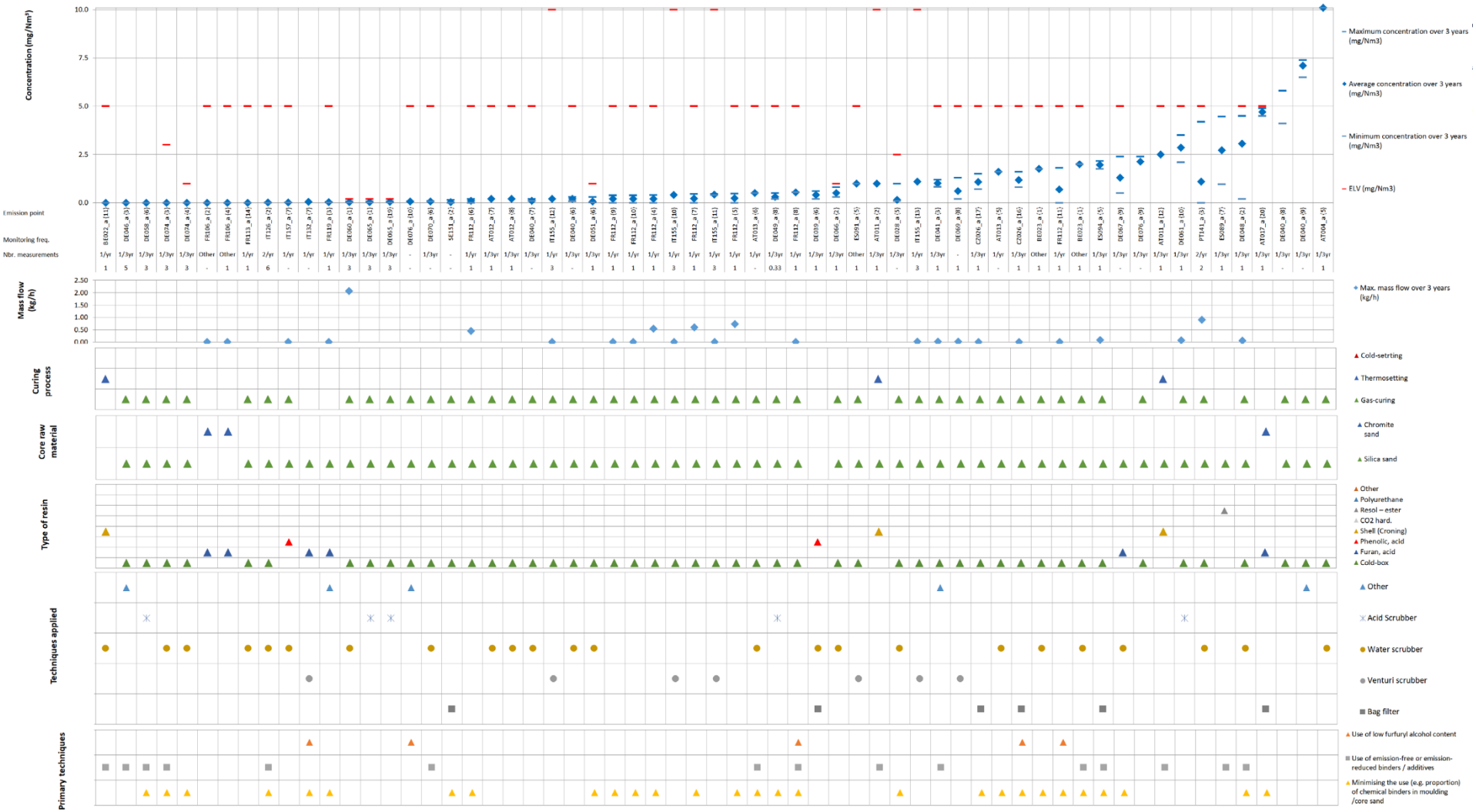


Źródło: [169. TWG 2021]

Rysunek 2.85: Emisje pyłu z produkcji rdzeni

Concentration (mg/Nm^3)	Stężenie (mg/Nm^3)
Emission point	Punkt emisji
Monitoring freq.	Częstotliwość monitorowania
Nbr. measurements	Liczba pomiarów
Mass flow (kg/h)	Przepływ masowy (kg/h)
Curing process	Proces utwardzania
Type of Sand	Rodzaj masy (piasku)
Type of resin	Rodzaj żywicy
Techniques applied	Zastosowane techniki
Primary techniques	Podstawowe techniki
Maximum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Maksymalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Average concentration over 3 years (mg/Nm3)	Średnie stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Minimum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Minimalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
ELV (mg/Nm3)	Dopuszczalna wartość emisji (ELV) (mg/Nm3)
Max. flow over 3 years (kg/h)	Maksymalny przepływ masowy w ciągu 3 lat (kg/h)
Cold-setting	Utwardzanie na zimno
Thermosetting	Termoutwardzalne
Gas-curing	Utwardzanie gazem
Chromite sand	Piasek (masa) chromitowy
Silica sand	Piasek (masa) kwarcowy
Other	Pozostałe
Polyurethane	Poliuretan
Resol - ester	Rezol - ester
CO2 hard.	Utwardzanie CO_2
Shell (Croning)	Skorupa (Croning)
Phenolic, acid	Fenol, kwas
Furan, acid	Furan, kwas
Cold-box	Zimna rdzennica (*cold-box*)
Acid Scrubber	Płuczka kwaśna
Water scrubber	Płuczka wodna
Venturi scrubber	Płuczka Venturiego (płuczka gazowa zwężkowa)
Thermal oxidation	Utlenianie termiczne
Reg. thermal oxidation	Reg. utlenianie termiczne
Bag filter	Filtr workowy

Use of low furfuryl alcohol content	Zastosowanie niskiej zawartości alkoholu furfurylowego
Use of emission-free or emission-reduced binders / additives	Zastosowanie spoiw/dodatków bezemisyjnych lub o zmniejszonej emisji
Minimising the use (e.g. proportion) of chemical binders in moulding / core sand	Ograniczenie stosowania (np. proporcji) chemicznych środków wiążących w masie (piasku) formierskiej/rdzeniowej

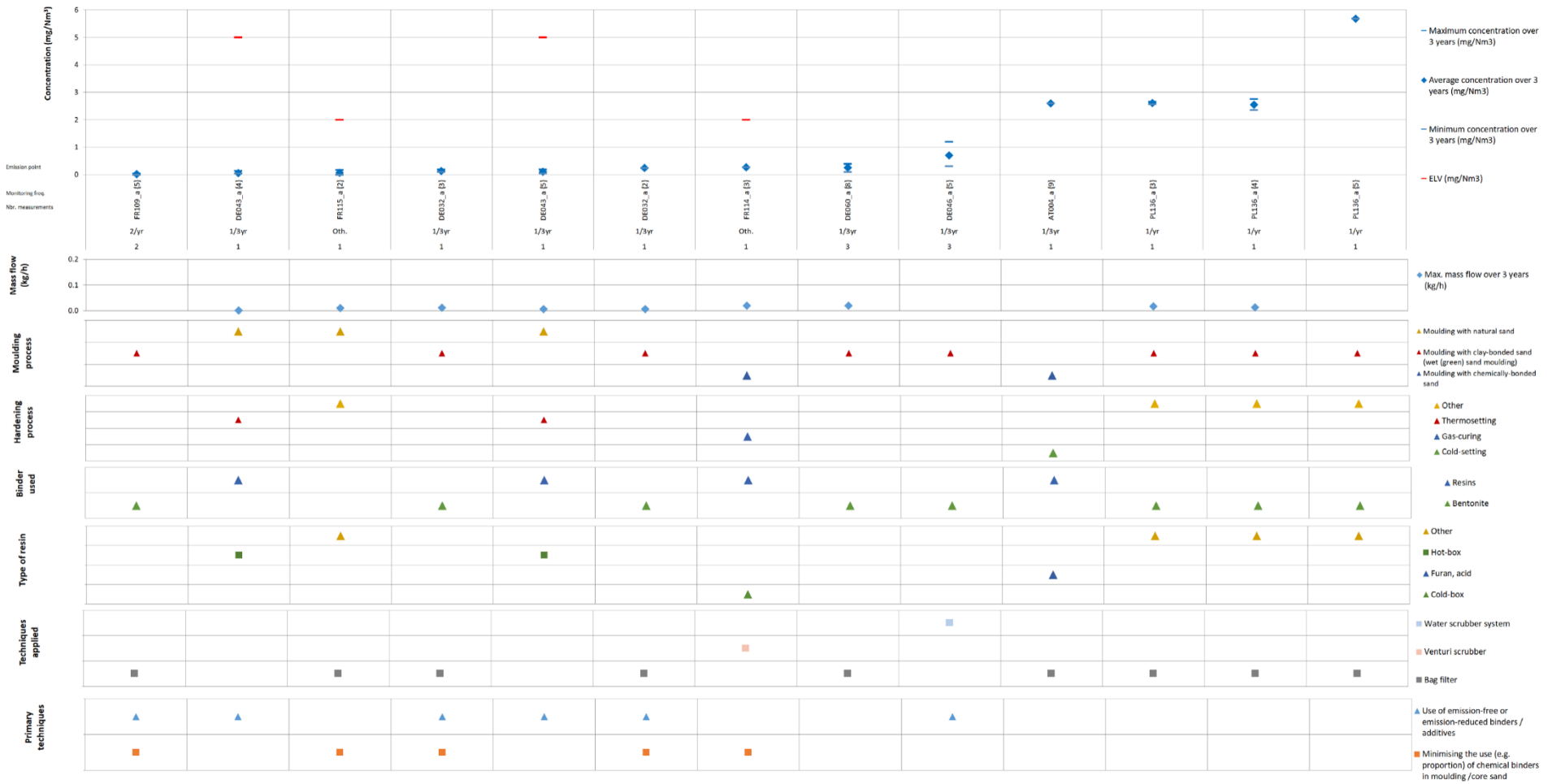


Źródło: [169. TWG 2021]

Rysunek 2.86: Emisje amin z produkcji rdzeni

Concentration (mg/Nm^3)	Stężenie (mg/Nm^3)
Emission point	Punkt emisji
Monitoring freq.	Częstotliwość monitorowania
Nbr. measurements	Liczba pomiarów
Mass flow (kg/h)	Przepływ masowy (kg/h)
Curing process	Proces utwardzania
Core raw material	Surowiec podstawowy
Type of resin	Rodzaj żywicy
Techniques applied	Zastosowane techniki
Primary techniques	Podstawowe techniki
Maximum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Maksymalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Average concentration over 3 years (mg/Nm3)	Średnie stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Minimum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Minimalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
ELV (mg/Nm3)	Dopuszczalna wartość emisji (ELV) (mg/Nm^3)
Max. mass flow over 3 years (kg/h)	Maks. przepływ masowy w ciągu 3 lat (kg/h)
Cold-setrting	Utwardzanie na zimno
Thermosetting	Termoutwardzanie
Gas-curing	Utwardzanie gazem
Chromite sand	Piasek (masa) chromitowy
Silica sand	Piasek (masa) kwarcowy
Other	Pozostałe
Polyurethane	Poliuretan
Resol – ester	Rezol - ester
CO2 hard.	Utwardzanie CO_2
Shell (Croning)	Skorupa (Croning)
Phenolic, acid	Fenol, kwas
Furan, acid	Furan, kwas
Cold-box	Zimna rdzennica (*cold-box*)
Other	Pozostałe
Acid Scrubber	Płuczka kwaśna
Water scrubber	Płuczka wodna
Venturi scrubber	Płuczka Venturiego (płuczka gazowa zwężkowa)
Bag filter	Filtr workowy
Use of low furfuryl alcohol content	Zastosowanie niskiej zawartości alkoholu furfurylowego

Use of emission-free or emission-reduced binders / additives	Zastosowanie spoiw/dodatków bezemisyjnych lub o zmniejszonej emisji
Minimising the use (e.g. proportion) of chemical binders in moulding / core sand	Ograniczenie stosowania (np. proporcji) chemicznych środków wiążących w masie (piasku) formierskiej/rdzeniowej

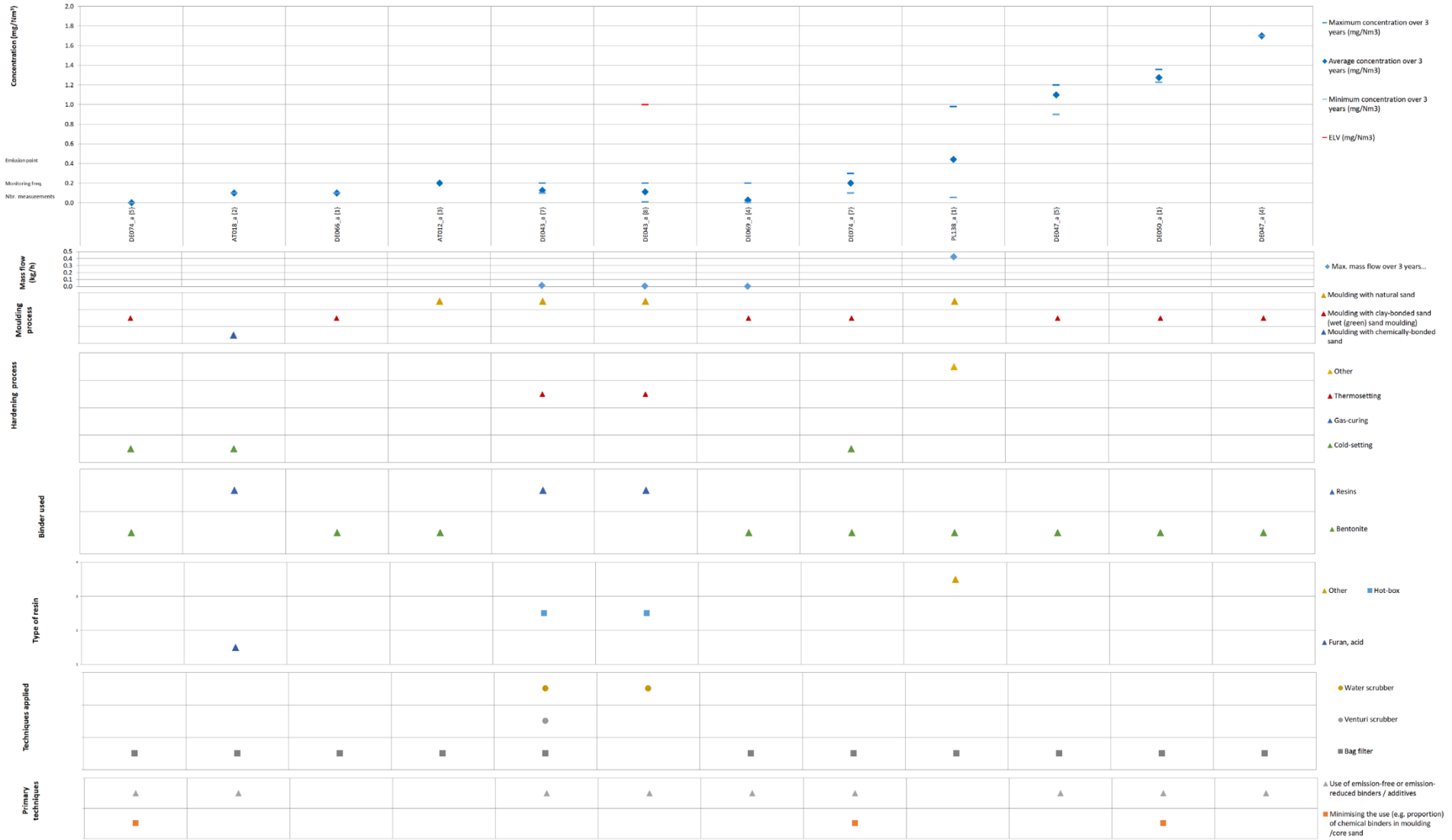


Źródło: [169. TWG 2021]

Rysunek 2.87: Emisje formaldehydu podczas wykonywania form z wykorzystaniem form traconych

Concentration (mg/Nm^3)	Stężenie (mg/Nm^3)
Emission point	Punkt emisji
Monitoring freq.	Częstotliwość monitorowania
Nbr. measurements	Liczba pomiarów
Mass flow (kg/h)	Przepływ masowy (kg/h)
Moulding process	Proces formowania
Hardening process	Proces hartowania
Binder used	Zastosowane spoiwo
Type of resin	Rodzaj żywicy
Techniques applied	Zastosowane techniki
Primary techniques	Podstawowe techniki
Maximum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Maksymalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Average concentration over 3 years (mg/Nm3)	Średnie stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Minimum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Minimalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
ELV (mg/Nm3)	Dopuszczalna wartość emisji (ELV) (mg/Nm^3)
Max mass flow over 3 years (kg/h)	Maksymalny przepływ masowy w ciągu 3 lat (kg/h)
Moulding with natural sand	Wykonywanie form z użyciem naturalnej masy (piasku)
Moulding with clay-bonded sand (wet (green) sand moulding)	Wykonywanie form z użyciem masy z bentonitem (wykonywanie form z zielonego piasku na mokro)
Moulding with chemically-bonded sand	Wykonywanie form z użyciem masy (piasku) związanej chemicznie
Other	Pozostałe
Thermosetting	Termoutwardzanie
Gas-curing	Utwardzanie gazem
Cold-setting	Utwardzanie na zimno
Resins	Żywice
Bentonite	Bentonit
Other	Pozostałe
Hot-box	Gorąca rdzennica (hot-box)
Furan, acid	Furan, kwas
Cold-box	Zimna rdzennica (cold-box)
Water scrubber system	System płukania (oczyszczania) na mokro
Venturi scrubber	Płuczka Venturiego (płuczka gazowa zwężkowa)
Bag filter	Filtr workowy
Use of emission-free or emission-reduced binders / additives	Zastosowanie spoiw/dodatków bezemisyjnych lub o zmniejszonej emisji

Minimising the use (e.g. proportion) of chemical binders in moulding / core sand	Ograniczenie stosowania (np. proporcji) chemicznych środków wiążących w masie (piasku) formierskiej/rdzeniowej

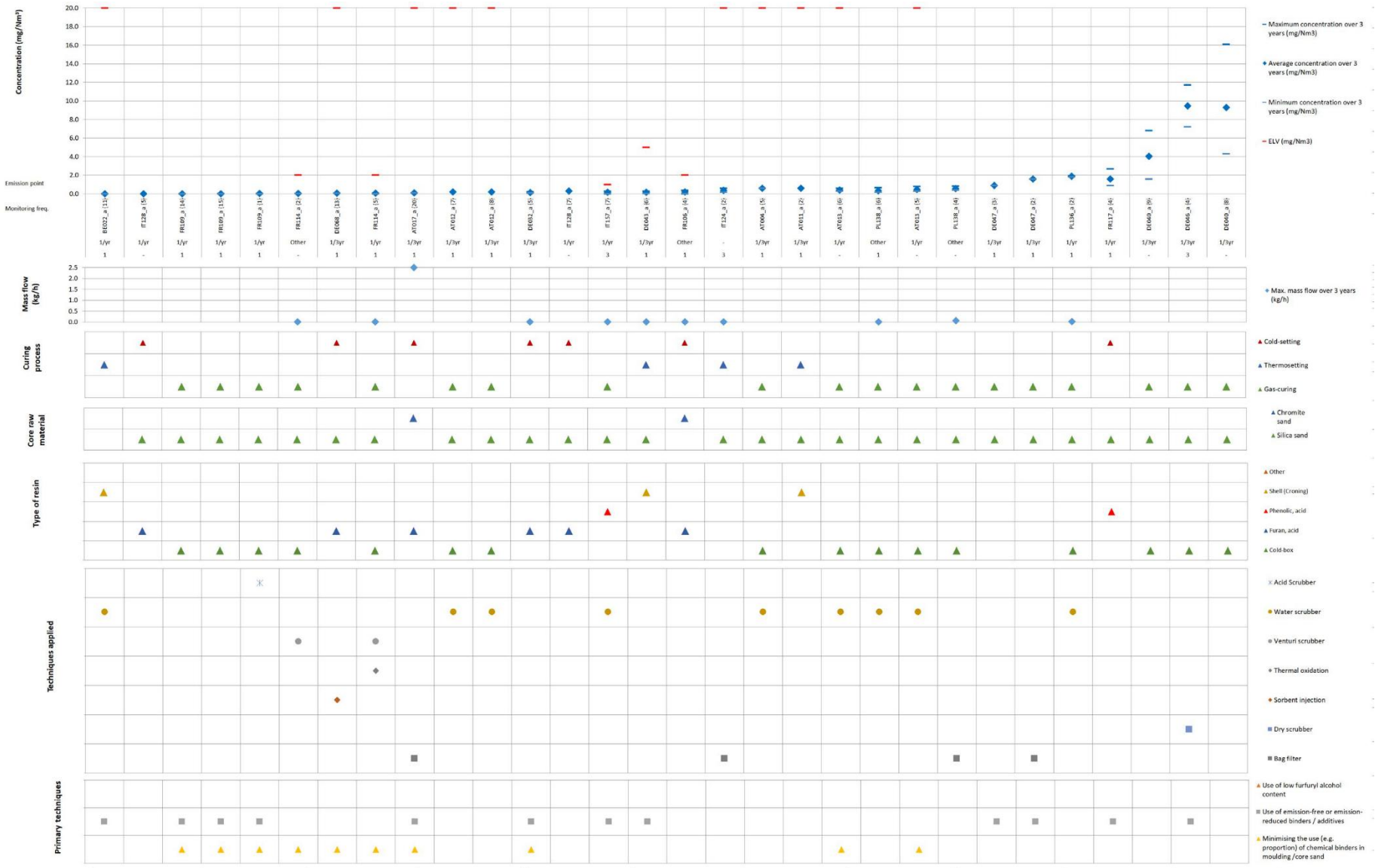


Źródło: [169. TWG 2021]

Rysunek 2.88: Emisje formaldehydu podczas wykonywania form z wykorzystaniem form traconych oraz z innych procesów

Concentration (mg/Nm^3)	Stężenie (mg/Nm^3)
Emission point	Punkt emisji
Monitoring freq.	Częstotliwość monitorowania
Nbr. measurements	Liczba pomiarów
Mass flow (kg/h)	Przepływ masowy (kg/h)
Moulding process	Proces formowania
Hardening process	Proces hartowania
Binder used	Zastosowane spoiwo
Type of resin	Rodzaj żywicy
Techniques applied	Zastosowane techniki
Primary techniques	Podstawowe techniki
Maximum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Maksymalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Average concentration over 3 years (mg/Nm3)	Średnie stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Minimum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Minimalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
ELV (mg/Nm3)	Dopuszczalna wartość emisji (ELV) (mg/Nm^3)
Max. mass flow over 3 years…	Maksymalny przepływ masowy w ciągu 3 lat (kg/h)
Moulding with natural sand	Wykonywanie form z użyciem naturalnej masy (piasku)
Moulding with clay-bonded sand (wet (green) sand moulding)	Wykonywanie form z użyciem masy z bentonitem (wykonywanie form z zielonego piasku na mokro)
Moulding with chemically-bonded sand	Wykonywanie form z użyciem masy (piasku) związanej chemicznie
Other	Pozostałe
Thermosetting	Termoutwardzanie
Gas-curing	Utwardzanie gazem
Cold-setting	Utwardzanie na zimno
Resins	Żywice
Bentonite	Bentonit
Other	Pozostałe
Hot-box	Gorąca rdzennica (*hot-box*)
Furan, acid	Furan, kwas
Water scrubber	Płuczka wodna
Venturi scrubber	Płuczka Venturiego (płuczka gazowa zwężkowa)
Bag filter	Filtr workowy
Use of emission-free or emission-reduced binders / additives	Zastosowanie spoiw/dodatków bezemisyjnych lub o zmniejszonej emisji

Minimising the use (e.g. proportion) of chemical binders in moulding/core sand	Ograniczenie stosowania (np. proporcji) chemicznych środków wiążących w masie (piasku) formierskiej/rdzeniowej

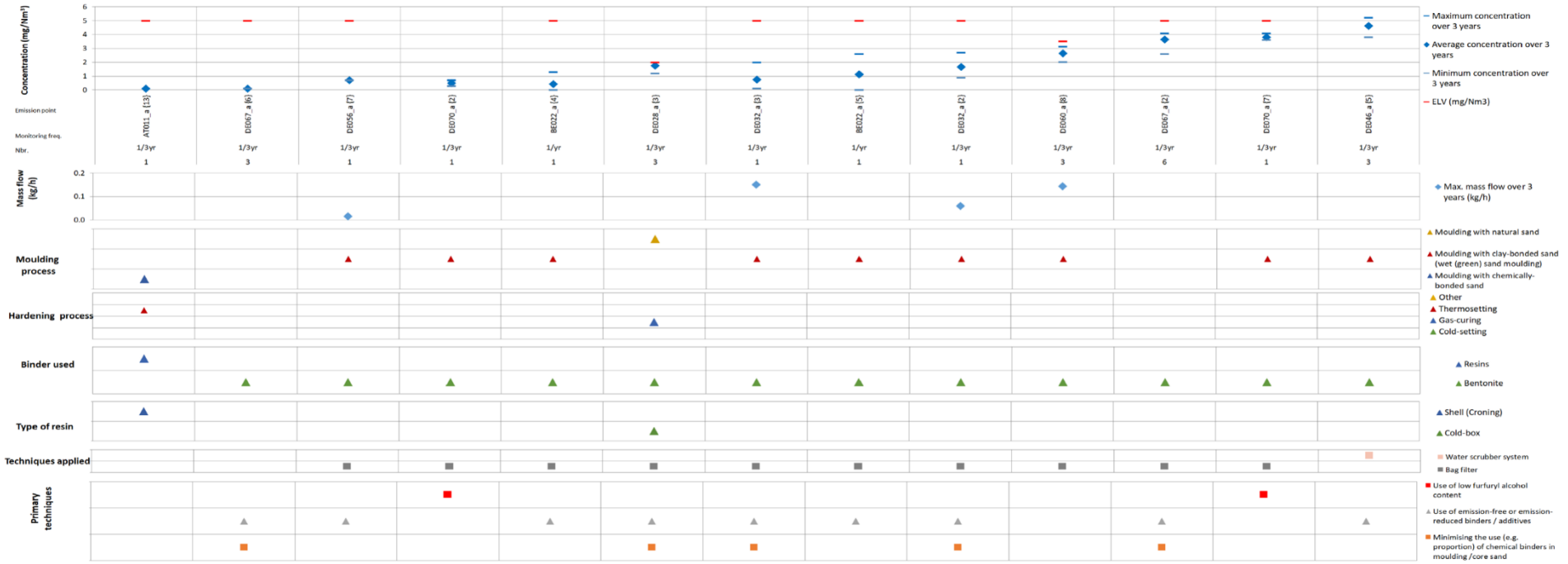


Źródło: [169. TWG 2021]

Rysunek 2.89: Emisje formaldehydu z produkcji rdzeni

Concentration (mg/Nm^3)	Stężenie (mg/Nm^3)
Emission point	Punkt emisji
Monitoring freq.	Częstotliwość monitorowania
Mass flow (kg/h)	Przepływ masowy (kg/h)
Curing process	Proces utwardzania
Core raw material	Surowiec podstawowy
Type of resin	Rodzaj żywicy
Techniques applied	Zastosowane techniki
Primary techniques	Podstawowe techniki
Maximum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Maksymalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Average concentration over 3 years (mg/Nm3)	Średnie stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Minimum concentration over 3 years (mg/Nm3)	
ELV (mg/Nm3)	Dopuszczalna wartość emisji (ELV) (mg/Nm^3)
Max. mass flow over 3 years (kg/h)	Maks. przepływ masowy w ciągu 3 lat (kg/h)
Cold-setting	Utwardzanie na zimno
Thermosetting	Termoutwardzanie
Gas-curing	Utwardzanie gazem
Chromite sand	Piasek (masa) chromitowy
Silica sand	Piasek (masa) kwarcowy
Other	Pozostałe
Shell (Croning)	Skorupa (Croning)
Phenolic, acid	Fenol, kwas
Furan, acid	Furan, kwas
Cold-box	Zimna rdzennica (cold-box)
Acid Scrubber	Płuczka kwaśna
Water scrubber	Płuczka wodna
Venturi scrubber	Płuczka Venturiego (płuczka gazowa zwężkowa)
Thermal oxidation	Utlenianie termiczne
Sorbent injection	Wtrysk sorbentu
Dry scrubber	Płuczka sucha
Bag filter	Filtr workowy
Use of low furfuryl alcohol content	Zastosowanie niskiej zawartości alkoholu furfurylowego
Use of emission-free or emission-reduced binders / additives	Zastosowanie spoiw/dodatków bezemisyjnych lub o zmniejszonej emisji

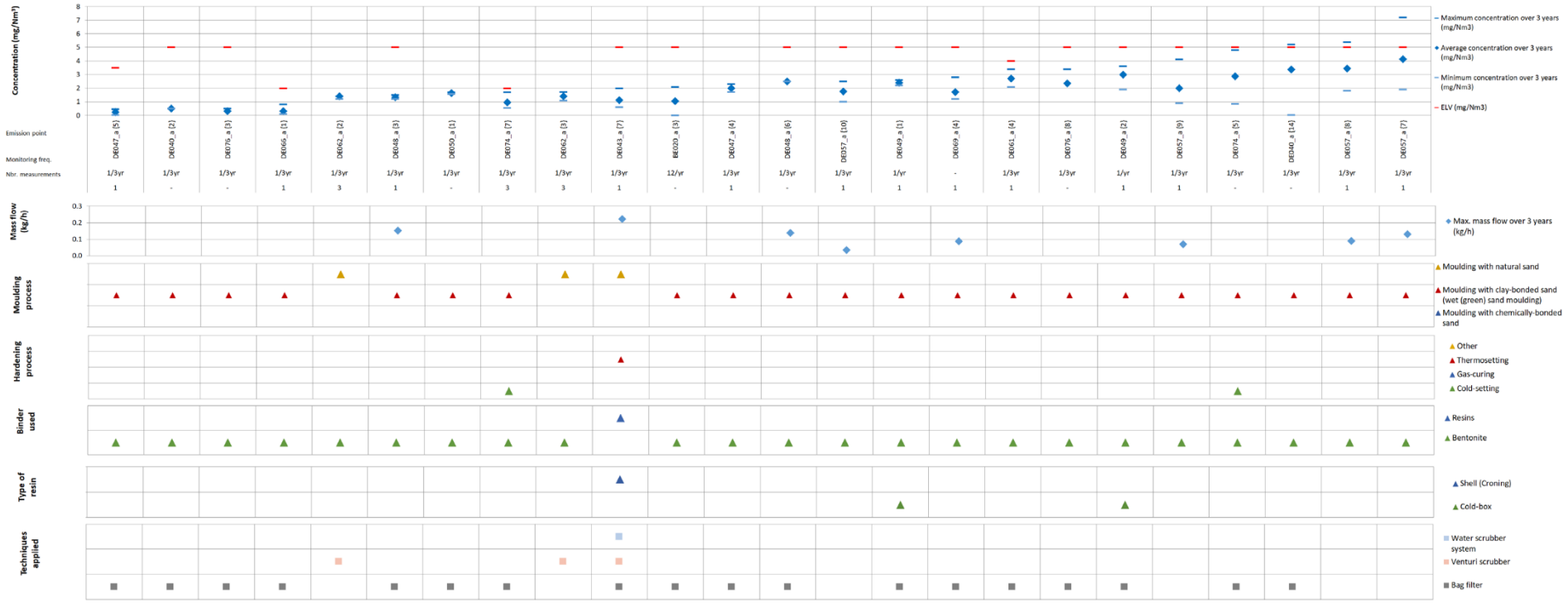
Minimising the use (e.g. proportion) of chemical binders in moulding/core sand	Ograniczenie stosowania (np. proporcji) chemicznych środków wiążących w masie (piasku) formierskiej/rdzeniowej



Źródło: [169. TWG 2021]

Rysunek 2.90: Emisje benzenu podczas wykonywania form z wykorzystaniem form traconych

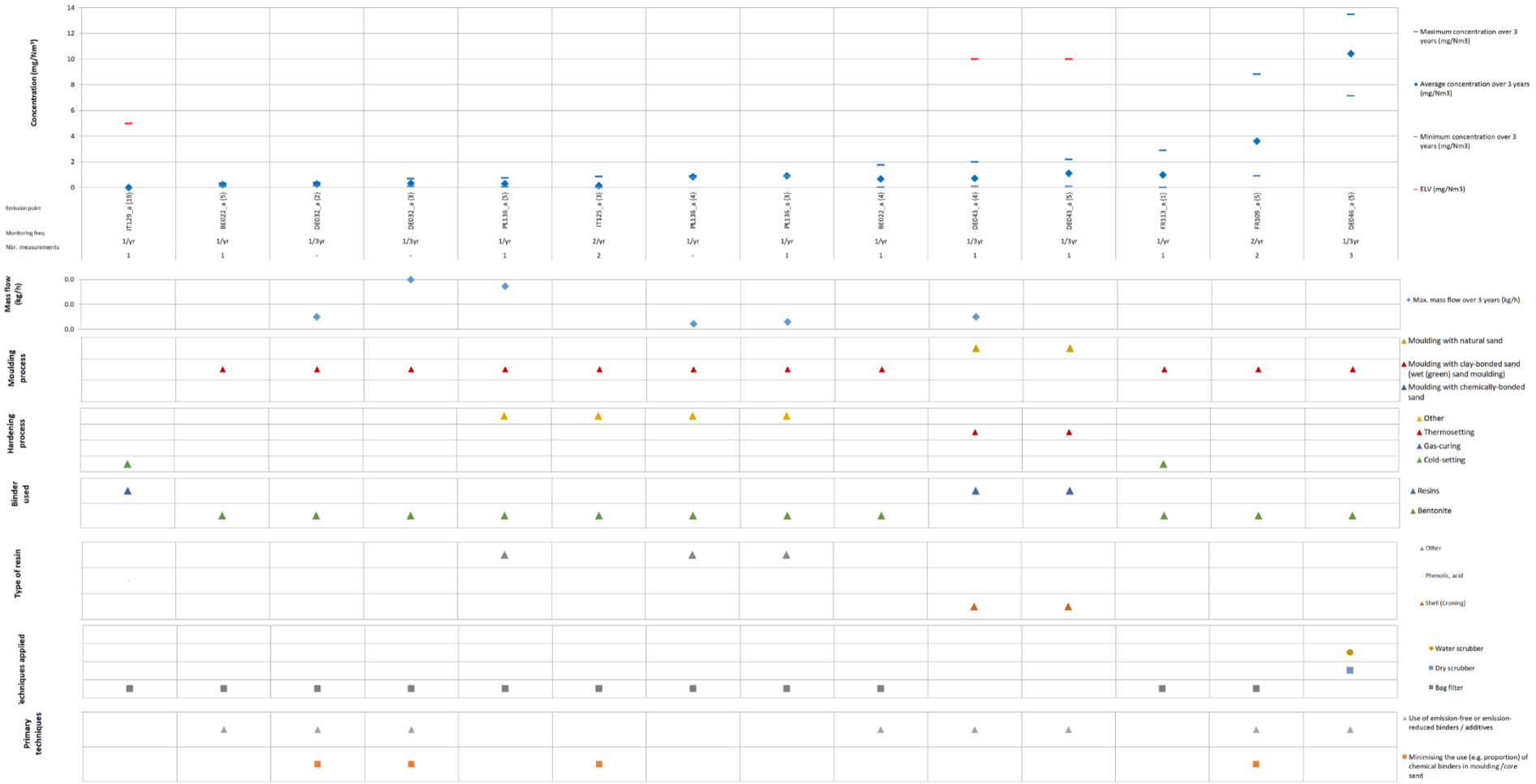
Concentration (mg/Nm^3)	Stężenie (mg/Nm^3)
Emission point	Punkt emisji
Monitoring freq.	Częstotliwość monitorowania
Nbr.	Liczba pomiarów
Mass flow (kg/h)	Przepływ masowy (kg/h)
Moulding process	Proces formowania
Hardening process	Proces hartowania
Binder used	Zastosowane spoiwo
Type of resin	Rodzaj żywicy
Techniques applied	Zastosowane techniki
Primary techniques	Podstawowe techniki
Maximum concentration over 3 years	Maksymalne stężenie w ciągu 3 lat
Average concentration over 3 years	Średnie stężenie w ciągu 3 lat
Minimum concentration over 3 years	Minimalne stężenie w ciągu 3 lat
ELV (mg/Nm3)	Dopuszczalna wartość emisji (ELV) (mg/Nm^3)
Max. mass flow over 3 years (kg/h)	Maks. przepływ masowy w ciągu 3 lat (kg/h)
Moulding with natural sand	Wykonywanie form z użyciem naturalnej masy (piasku)
Moulding with clay-bonded sand (wet (green) sand moulding)	Wykonywanie form z użyciem masy z bentonitem (wykonywanie form z zielonego piasku na mokro)
Moulding with chemically-bonded sand	Wykonywanie form z użyciem masy (piasku) związanej chemicznie
Other	Pozostałe
Thermosetting	Termoutwardzanie
Gas-curing	Utwardzanie gazem
Cold-setting	Utwardzanie na zimno
Resins	Żywice
Bentonite	Bentonit
Shell (Croning)	Skorupa (Croning)
Cold-box	Zimna rdzennica (*cold-box*)
Water scrubber system	System płukania (oczyszczania) na mokro
Bag filter	Filtr workowy
Use of low furfuryl alcohol content	Zastosowanie niskiej zawartości alkoholu furfurylowego
Use of emission-free or emission-reduced binders / additives	Zastosowanie spoiw/dodatków bezemisyjnych lub o zmniejszonej emisji
Minimising the use (e.g. proportion) of chemical binders in moulding/core sand	Ograniczenie stosowania (np. proporcji) chemicznych środków wiążących w masie (piasku) formierskiej/rdzeniowej



Źródło: [169. TWG 2021]

Rysunek 2.91: Emisje benzenu podczas wykonywania form z wykorzystaniem form traconych oraz z innych procesów

Concentration (mg/Nm^3)	Stężenie (mg/Nm^3)
Emission point	Punkt emisji
Monitoring freq.	Częstotliwość monitorowania
Nbr. measurements	Liczba pomiarów
Mass flow (kg/h)	Przepływ masowy (kg/h)
Moulding process	Proces formowania
Hardening process	Proces hartowania
Binder used	Zastosowane spoiwo
Type of resin	Rodzaj żywicy
Techniques applied	Zastosowane techniki
Maximum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Maksymalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Average concentration over 3 years (mg/Nm3)	Średnie stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Minimum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Minimalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
ELV (mg/Nm3)	Dopuszczalna wartość emisji (ELV) (mg/Nm3)
Max. mass flow over 3 years (kg/h)	Maks. przepływ masowy w ciągu 3 lat (kg/h)
Moulding with natural sand	Wykonywanie form z użyciem naturalnej masy (piasku)
Moulding with clay-bonded sand (wet (green) sand moulding)	Wykonywanie form z użyciem masy z bentonitem (wykonywanie form z zielonego piasku na mokro)
Moulding with chemically-bonded sand	Wykonywanie form z użyciem masy (piasku) związanej chemicznie
Other	Pozostałe
Thermosetting	Termoutwardzanie
Gas-curing	Utwardzanie gazem
Cold-setting	Utwardzanie na zimno
Resins	Żywice
Bentonite	Bentonit
Shell (Croning)	Skorupa (Croning)
Cold-box	Zimna rdzennica (*cold-box*)
Water scrubber system	System płukania (oczyszczania) na mokro
Venturi scrubber	Płuczka Venturiego (płuczka gazowa zwężkowa)
Bag filter	Filtr workowy

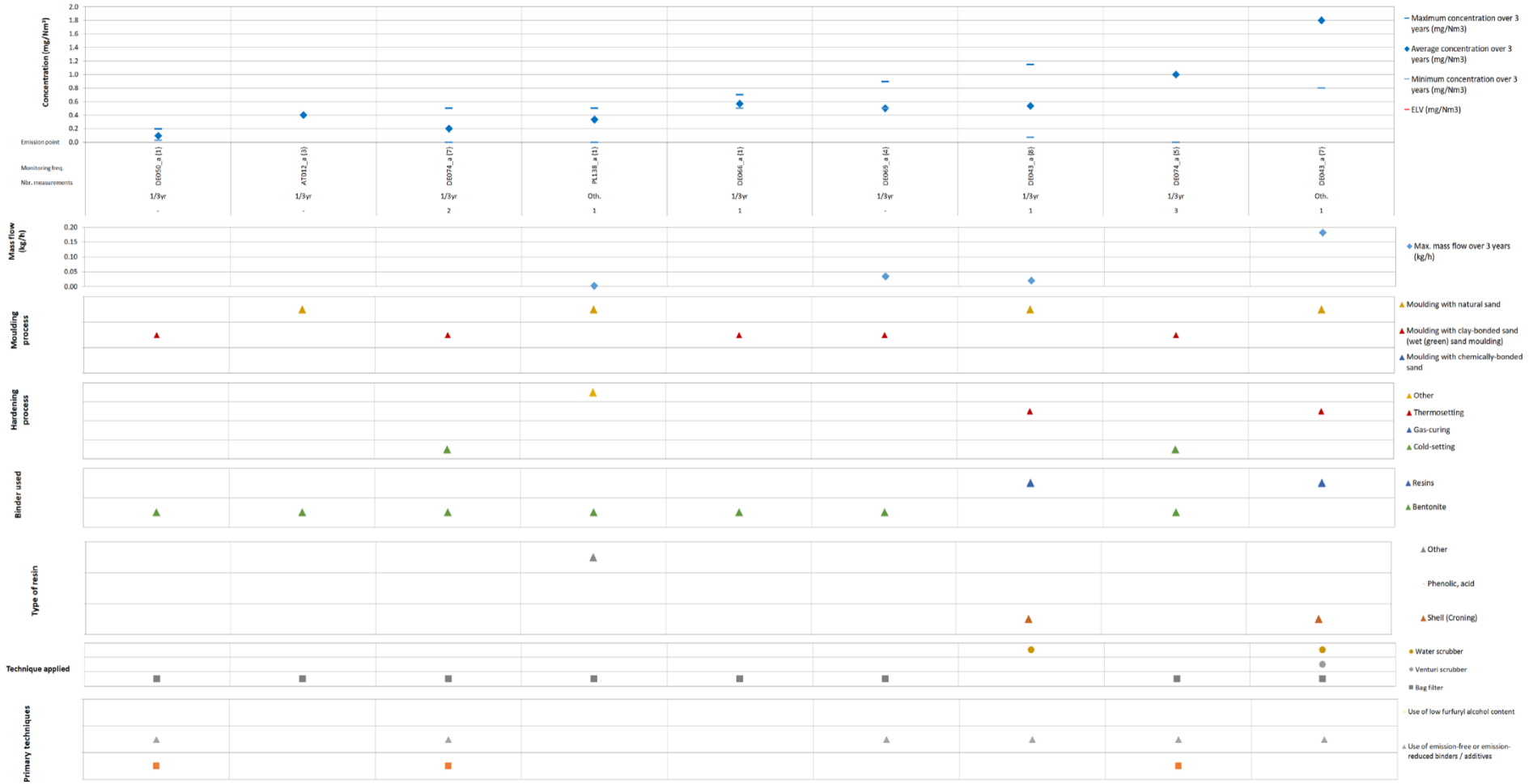


Źródło: [169. TWG 2021]

Rysunek 2.92: Emisje fenolu podczas wykonywania form z wykorzystaniem form traconych

Concentration (mg/Nm^3)	Stężenie (mg/Nm^3)
Emission point	Punkt emisji
Monitoring freq.	Częstotliwość monitorowania
Nbr. measurements	Liczba pomiarów
Mass flow (kg/h)	Przepływ masowy (kg/h)
Moulding process	Proces formowania
Hardening process	Proces hartowania
Binder used	Zastosowane spoiwo
Type of resin	Rodzaj żywicy
Techniques applied	Zastosowane techniki
Primary techniques	Podstawowe techniki
Maximum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Maksymalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Average concentration over 3 years (mg/Nm3)	Średnie stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Minimum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Minimalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
ELV (mg/Nm3)	Dopuszczalna wartość emisji (ELV) (mg/Nm^3)
Max. mass flow over 3 years (kg/h)	Maks. przepływ masowy w ciągu 3 lat (kg/h)
Moulding with natural sand	Wykonywanie form z użyciem naturalnej masy (piasku)
Moulding with clay-bonded sand (wet (green) sand moulding)	Wykonywanie form z użyciem masy z bentonitem (wykonywanie form z zielonego piasku na mokro)
Moulding with chemically-bonded sand	Wykonywanie form z użyciem masy (piasku) związanej chemicznie
Other	Pozostałe
Thermosetting	Termoutwardzanie
Gas-curing	Utwardzanie gazem
Cold-setting	Utwardzanie na zimno
Resins	Żywice
Bentonite	Bentonit
Other	Pozostałe
Phenolic, acid	Fenol, kwas
Shell (Croning)	Skorupa (Croning)
Water scrubber	Płuczka wodna
Dry scrubber	Płuczka sucha
Bag filter	Filtr workowy
Use of emission-free or emission-reduced binders/ additives	Zastosowanie spoiw/dodatków bezemisyjnych lub o zmniejszonej emisji

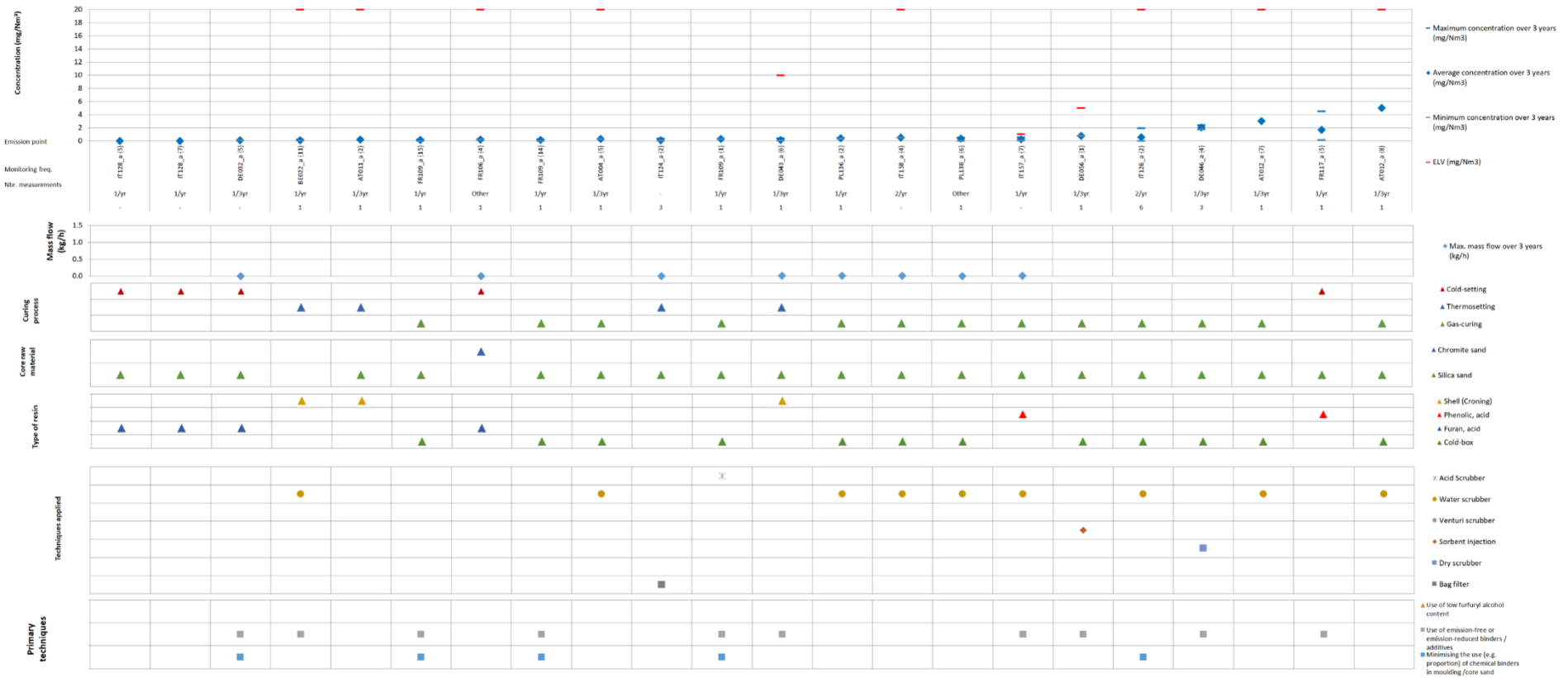
Minimising the use (e.g. proportion) of chemical binders in moulding/core sand	Ograniczenie stosowania (np. proporcji) chemicznych środków wiążących w masie (piasku) formierskiej/rdzeniowej



Źródło: [169. TWG 2021]

Rysunek 2.93: Emisje fenolu podczas wykonywania form z wykorzystaniem form traconych oraz z innych procesów

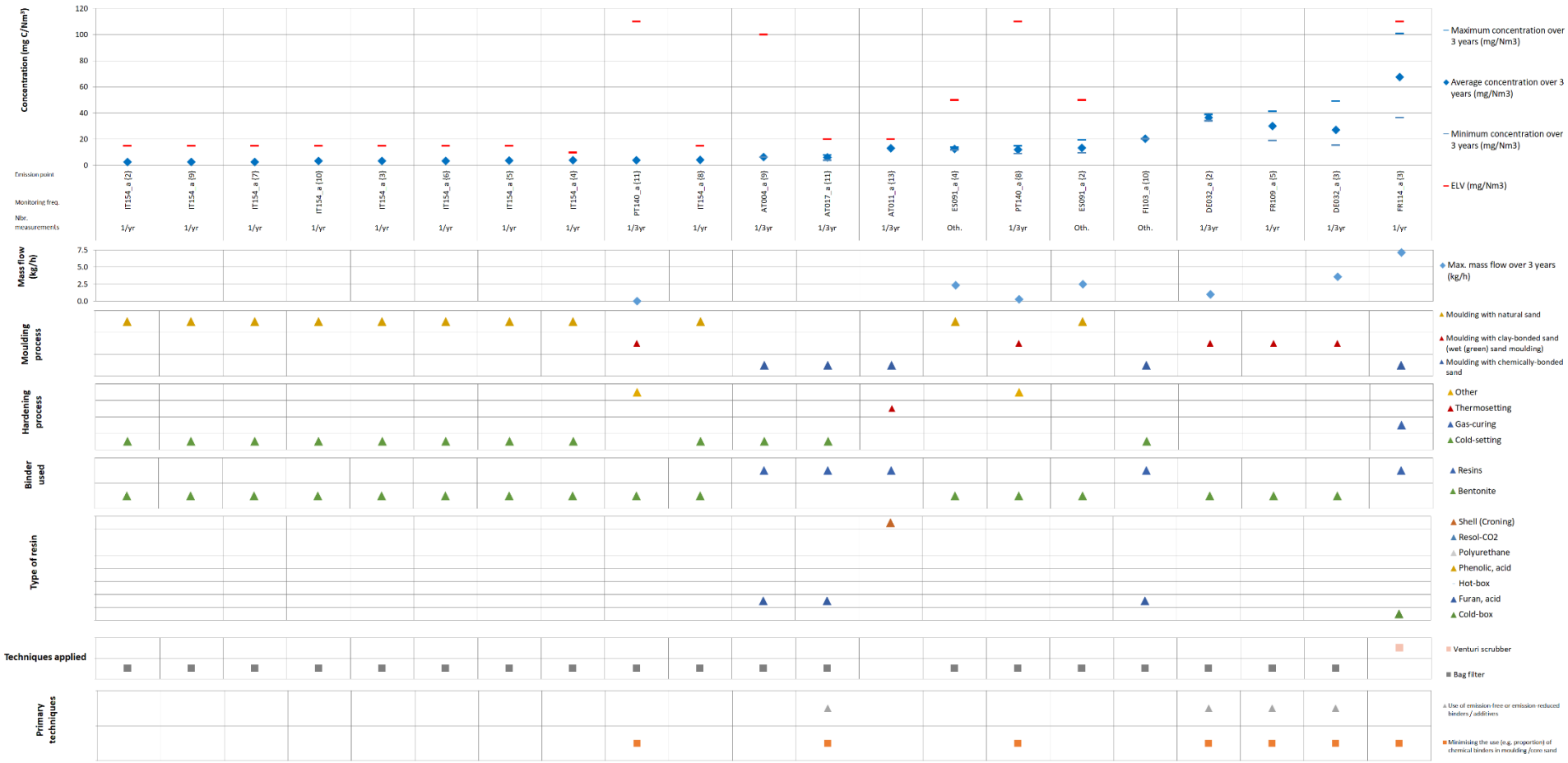
Concentration (mg/Nm^3)	Stężenie (mg/Nm^3)
Emission point	Punkt emisji
Monitoring freq.	Częstotliwość monitorowania
Nbr. measurements	Liczba pomiarów
Mass flow (kg/h)	Przepływ masowy (kg/h)
Moulding process	Proces formowania
Hardening process	Proces hartowania
Binder used	Zastosowane spoiwo
Type of resin	Rodzaj żywicy
Technique applied	Zastosowana technika
Primary techniques	Podstawowe techniki
Maximum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Maksymalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Average concentration over 3 years (mg/Nm3)	Średnie stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Minimum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Minimalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
ELV (mg/Nm3)	Dopuszczalna wartość emisji (ELV) (mg/Nm^3)
Max. mass flow over 3 years (kg/h)	Maks. przepływ masowy w ciągu 3 lat (kg/h)
Moulding with natural sand	Wykonywanie form z użyciem naturalnej masy (piasku)
Moulding with clay-bonded sand (wet (green) sand moulding)	Wykonywanie form z użyciem masy z bentonitem (wykonywanie form z zielonego piasku na mokro)
Moulding with chemically-bonded sand	Wykonywanie form z użyciem masy (piasku) związanej chemicznie
Other	Pozostałe
Thermosetting	Termoutwardzanie
Gas-curing	Utwardzanie gazem
Cold-setting	Utwardzanie na zimno
Resins	Żywice
Bentonite	Bentonit
Other	Pozostałe
Phenolic, acid	Fenol, kwas
Shell (Croning)	Skorupa (Croning)
Water scrubber	Płuczka wodna
Venturi scrubber	Płuczka Venturiego (płuczka gazowa zwężkowa)
Bag filter	Filtr workowy
Use of low furfuryl alcohol content	Zastosowanie niskiej zawartości alkoholu furfurylowego
Use of emission-free or emission-reduced binders/ additives	Zastosowanie spoiw/dodatków bezemisyjnych lub o zmniejszonej emisji



Źródło: [169. TWG 2021]

Rysunek 2.94: Emisje fenolu z produkcji rdzeni

Concentration (mg/Nm^3)	Stężenie (mg/Nm^3)
Emission point	Punkt emisji
Monitoring freq.	Częstotliwość monitorowania
Nbr. measurements	Liczba pomiarów
Mass flow (kg/h)	Przepływ masowy (kg/h)
Curing process	Proces utwardzania
Core raw material	Surowiec podstawowy
Type of resin	Rodzaj żywicy
Techniques applied	Zastosowane techniki
Primary techniques	Podstawowe techniki
Maximum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Maksymalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Average concentration over 3 years (mg/Nm3)	Średnie stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Minimum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Minimalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
ELV (mg/Nm3)	Dopuszczalna wartość emisji (ELV) (mg/Nm^3)
Max. mass flow over 3 years (kg/h)	Maks. przepływ masowy w ciągu 3 lat (kg/h)
Cold-setting	Utwardzanie na zimno
Thermosetting	Termoutwardzanie
Gas-curing	Utwardzanie gazem
Chromite sand	Piasek (masa) chromitowy
Silica sand	Piasek (masa) kwarcowy
Shell (Croning)	Skorupa (Croning)
Phenolic, acid	Fenol, kwas
Furan, acid	Furan, kwas
Cold-box	Zimna rdzennica (*cold-box*)
Acid Scrubber	Płuczka kwaśna
Water scrubber	Płuczka wodna
Venturi scrubber	Płuczka Venturiego (płuczka gazowa zwężkowa)
Sorbent injection	Wtrysk sorbentu
Dry scrubber	Płuczka sucha
Bag filter	Filtr workowy
Use of low furfuryl alcohol content	Zastosowanie niskiej zawartości alkoholu furfurylowego
Use of emission-free or emission-reduced binders / additives	Zastosowanie spoiw/dodatków bezemisyjnych lub o zmniejszonej emisji
Minimising the use (e.g. proportion) of chemical binders in moulding/core sand	Ograniczenie stosowania (np. proporcji) chemicznych środków wiążących w masie (piasku) formierskiej/rdzeniowej

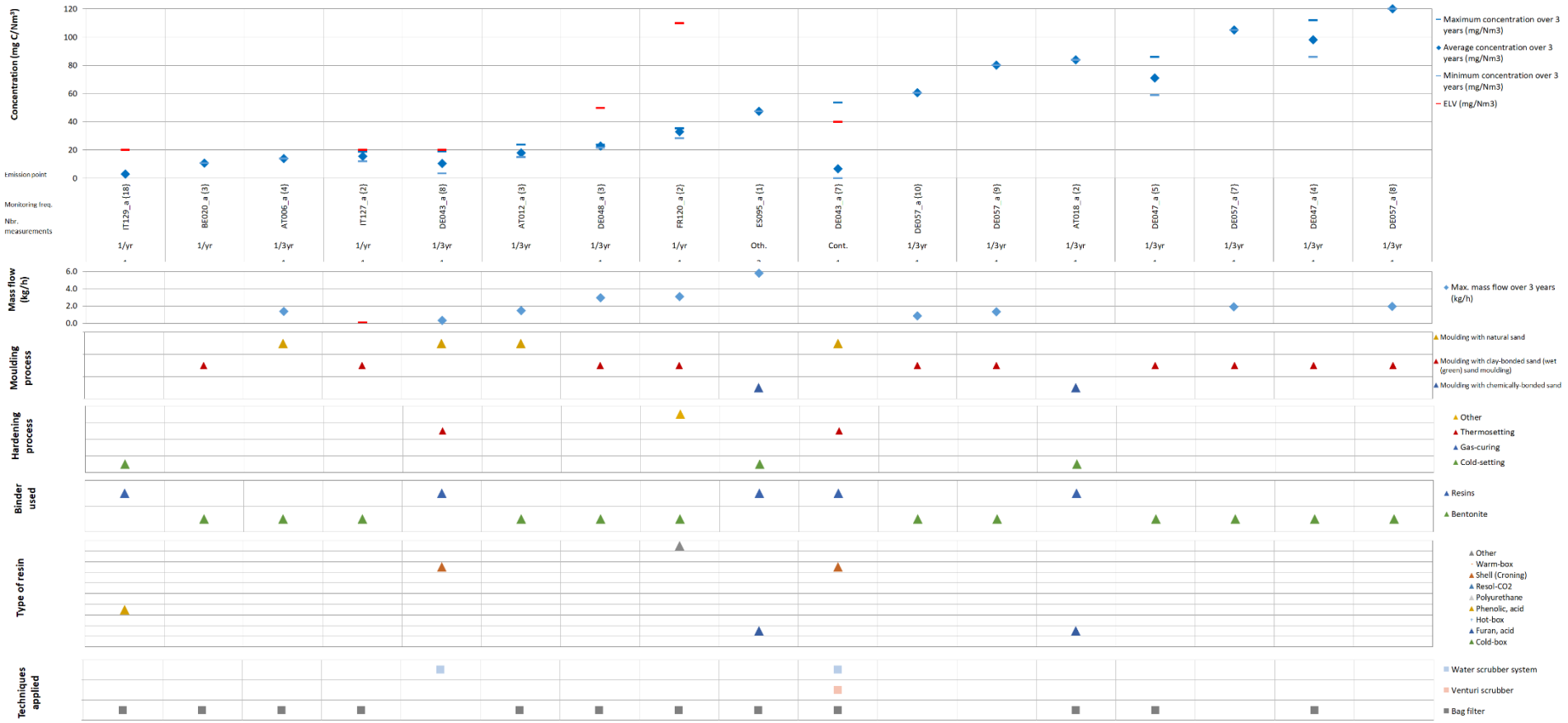


Źródło: [169. TWG 2021]

Rysunek 2.95: Emisje całkowitych LZO podczas wykonywania form z wykorzystaniem form traconych

Concentration (mg C/Nm^3)	Stężenie (mg C/Nm^3)
Emission point	Punkt emisji
Monitoring freq.	Częstotliwość monitorowania
Nbr. measurements	Liczba pomiarów
Mass flow (kg/h)	Przepływ masowy (kg/h)
Moulding process	Proces formowania
Hardening process	Proces hartowania
Binder used	Zastosowane spoiwo
Type of resin	Rodzaj żywicy
Techniques applied	Zastosowane techniki
Primary techniques	Podstawowe techniki
Maximum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Maksymalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Average concentration over 3 years (mg/Nm3)	Średnie stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Minimum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Minimalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
ELV (mg/Nm3)	Dopuszczalna wartość emisji (ELV) (mg/Nm^3)
Max. mass flow over 3 years (kg/h)	Maks. przepływ masowy w ciągu 3 lat (kg/h)
Moulding with natural sand	Wykonywanie form z użyciem naturalnej masy (piasku)
Moulding with clay-bonded sand (wet (green) sand moulding)	Wykonywanie form z użyciem masy z bentonitem (wykonywanie form z zielonego piasku na mokro)
Moulding with chemically-bonded sand	Wykonywanie form z użyciem masy (piasku) związanej chemicznie
Other	Pozostałe
Thermosetting	Termoutwardzanie
Gas-curing	Utwardzanie gazem
Cold-setting	Utwardzanie na zimno
Resins	Żywice
Bentonite	Bentonit
Shell (Croning)	Skorupa (Croning)
Resol-CO2	Rezol-CO_2
Polyurethane	Poliuretan
Phenolic, acid	Fenol, kwas
Hot-box	Gorąca rdzennica (hot-box)
Furan, acid	Furan, acid
Cold-box	Cold-box
Venturi scrubber	Płuczka Venturiego (płuczka gazowa zwężkowa)

Bag filter	Filtr workowy
Use of emission-free or emission-reduced binders / additives	Zastosowanie spoiw/dodatków bezemisyjnych lub o zmniejszonej emisji
Minimising the use (e.g. proportion) of chemical binders in moulding/core sand	Ograniczenie stosowania (np. proporcji) chemicznych środków wiążących w masie (piasku) formierskiej/rdzeniowej

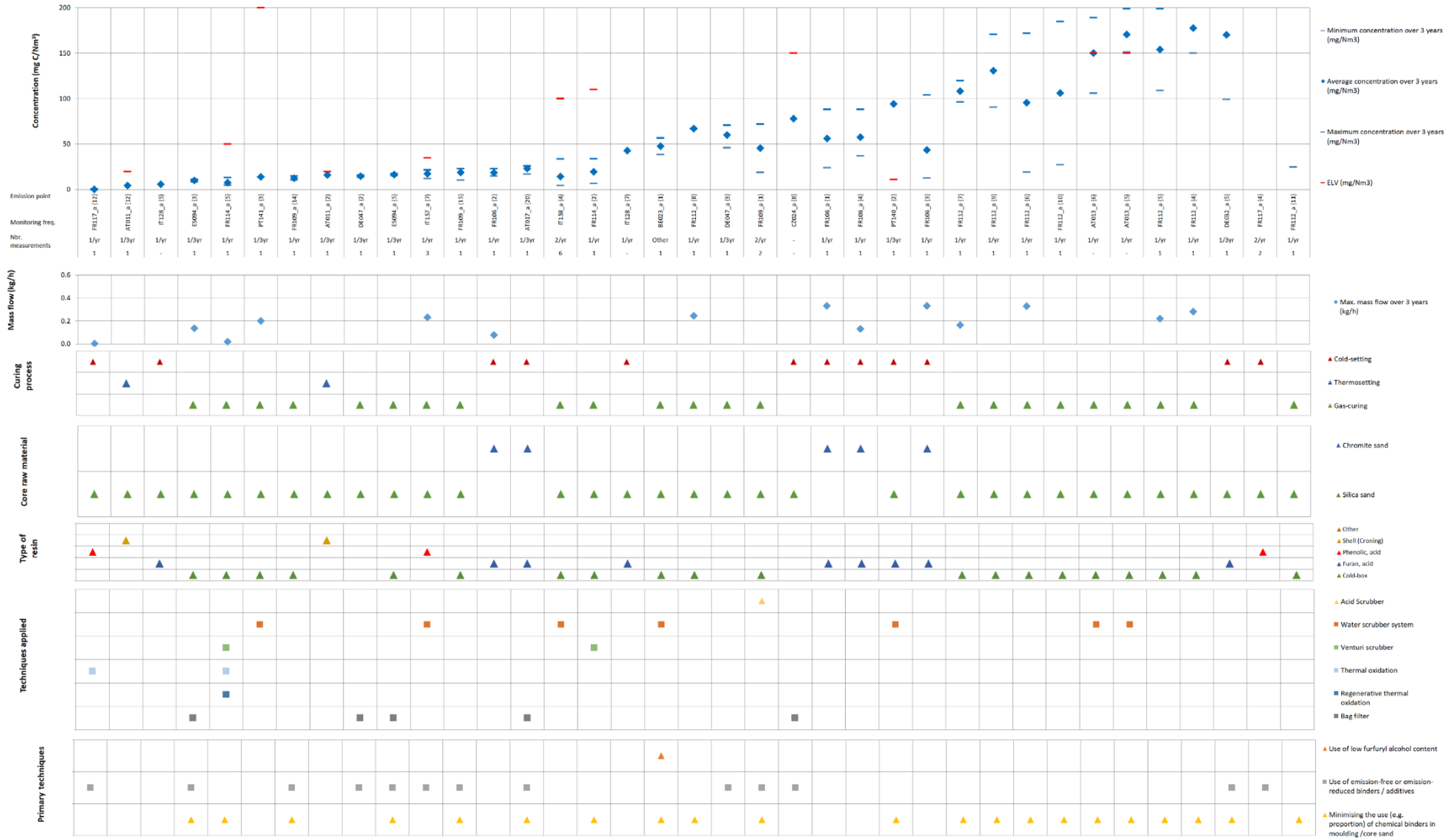


Źródło: [169. TWG 2021]

Rysunek 2.96: Emisje całkowitych LZO podczas wykonywania form z wykorzystaniem form traconych oraz z innych procesów

Concentration (mg C/Nm^3)	Stężenie (mg/Nm^3)
Emission point	Punkt emisji
Monitoring freq.	Częstotliwość monitorowania
Nbr. Measurements	Liczba pomiarów Wymiary
Mass flow (kg/h)	Przepływ masowy (kg/h)
Moulding process	Proces formowania
Hardening process	Proces hartowania
Binder used	Zastosowane spoiwo
Type of resin	Rodzaj żywicy
Techniques applied	Zastosowane techniki
Maximum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Maksymalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Average concentration over 3 years (mg/Nm3)	Średnie stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Minimum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Minimalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
ELV (mg/Nm3)	Dopuszczalna wartość emisji (ELV) (mg/Nm^3)
Max. mass flow over 3 years (kg/h)	Maks. przepływ masowy w ciągu 3 lat (kg/h)
Moulding with natural sand	Wykonywanie form z użyciem naturalnej masy (piasku)
Moulding with clay-bonded sand (wet (green) sand moulding)	Wykonywanie form z użyciem masy z bentonitem (wykonywanie form z zielonego piasku na mokro)
Molding with chemically-bonded sand	Wykonywanie form z użyciem masy (piasku) związanej chemicznie
Other	Pozostałe
Thermosetting	Termoutwardzanie
Gas-curing	Utwardzanie gazem
Cold-setting	Utwardzanie na zimno
Resins	Żywice
Bentonite	Bentonit
Other	Pozostałe
Warm-box	Ciepła rdzennica (*warm-box*)
Shell (Croning)	Skorupa (Croning)
Resol-CO2	Reszl-CO_2
Polyurethane	Poliuretan
Phenolic, acid	Fenol, kwas
Hot-box	Gorąca rdzennica (*hot-box*)
Furan, acid	Furan, kwas
Cold-box	Zimna rdzennica (*cold-box*)

Water scrubber system	System płukania (oczyszczania) na mokro
Venturi scrubber	Płuczka Venturiego (płuczka gazowa zwężkowa)
Bag filter	Filtr workowy



Źródło: [169. TWG 2021]

Rysunek 2.97: Emisji całkowitych LZO z produkcji rdzeni

Concentration (mg C/Nm^3)	Stężenie (mg C/Nm^3)
Emission point	Punkt emisji
Monitoring freq.	Częstotliwość monitorowania
Nbr. measurements	Liczba pomiarów
Mass flow (kg/h)	Przepływ masowy (kg/h)
Curing process	Proces utwardzania
Core raw material	Surowiec podstawowy
Type of resin	Rodzaj żywicy
Techniques applied	Zastosowane techniki
Primary techniques	Podstawowe techniki
Minimum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Minimalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Average concentration over 3 years (mg/Nm3)	Średnie stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Maximum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Maksymalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
ELV (mg/Nm3)	Dopuszczalna wartość emisji (ELV) (mg/Nm^3)
Max. mass flow over 3 years (kg/h)	Maks. przepływ masowy w ciągu 3 lat (kg/h)
Cold-setting	Utwardzanie na zimno
Thermosetting	Termoutwardzanie
Gas-curing	Utwardzanie gazem
Chromite sand	Piasek (masa) chromitowy
Silica sand	Piasek (masa) kwarcowy
Other	Pozostałe
Shell (Croning)	Skorupa (Croning)
Phenolic, acid	Fenol, kwas
Furan, acid	Furan, kwas
Cold-box	Zimna rdzennica (*cold-box*)
Acid Scrubber	Płuczka kwaśna
Water scrubber system	System płukania (oczyszczania) na mokro
Venturi scrubber	Płuczka Venturiego (płuczka gazowa zwężkowa)
Thermal oxidation	Utlenianie termiczne
Regenerative thermal oxidation	Regeneracyjne utlenianie termiczne
Bag filter	Filtr workowy
Use of low furfuryl alcohol content	Zastosowanie niskiej zawartości alkoholu furfurylowego
Use of emission-free or emission-reduced binders / additives	Zastosowanie spoiw/dodatków bezemisyjnych lub o zmniejszonej emisji

Minimising the use (e.g. proportion) of chemical binders in moulding / core sand	Ograniczenie stosowania (np. proporcji) chemicznych środków wiążących w masie (piasku) formierskiej/rdzeniowej

2.3.2.8 Powlekanie form i rdzeni

Materiały wsadowe/produkty wyjściowe dla procesów powlekania form i rdzeni wiązanych chemicznie przedstawiono w poniższej tabeli.

Wsad (materiał wejściowy)	Produkt wyjściowy (produkt)
- Powłoki gotowe do użycia lub masa do rozcieńczenia wodą lub alkoholem - Ciepło do odparowania rozpuszczalnika	- LZO (na bazie alkoholu)

2.3.2.8.1 Emisje pyłu i całkowitych LZO

Niektóre dane statystyczne dotyczące zgłoszonych emisji pyłu i całkowitych LZO przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 2.58: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji pyłu oraz całkowitych LZO

Parametr	Liczba danych	Liczba punktów emisji	Liczba zakładów	90 percentyl	Średnia	Mediana	10 percentyl
				mg/Nm^3			
Pył	9	6	4	-	1,96	2,00	-
Całkowite LZO	14	7	4	327,60	98,96	20,41	2,79
Uwaga: Powyższe dane odnoszą się do punktów emisji związanych wyłącznie z procesem powlekania. *Źródło:* [169. TWG 2021]							

2.3.2.9 Odlewanie, chłodzenie i wytrząsanie przy użyciu form traconych (jednorazowego użytku)

Materiały wsadowe/produkty wyjściowe dla procesów odlewania, chłodzenia i wytrząsania przedstawiono w poniższej tabeli.

Wsad (materiał wejściowy)	Produkt wyjściowy (produkt)
- Gotowe formy - Stopiony metal	- Odlewy - Zużyty piasek - Produkty spalania (ze wstępnego podgrzewania kadzi do zalewania) - Zanieczyszczenia organiczne z pirolizy i degradacji termicznej spoiwa, czernienia form itp. (fenol, formaldehyd, amina, cyjanowodór, WWA, benzen, LZO) - Zapach - Odpady z oczyszczania powietrza wylotowego (suche/osady) - Pył z wytrząsania

Podczas wstępnego **podgrzewania kadzi** generowane są gazy spalinowe w wyniku wykorzystania gazu ziemnego jako wspólnego źródła energii.
Podczas **zalewania** mogą wystąpić następujące rodzaje emisji:

- Składniki ulegające degradacji termicznej, takie jak egzotermiczne rękawy, reagują uwalniając dymy i/lub opary.
- Związki chemiczne ze spoiwa i niektórych systemów czernienia (oksydacji), które mogą być uwalniane w wyniku degradacji termicznej i/lub ulatniania się, np. gazy spalinowe, para wodna i lotne związki organiczne. Niektóre z produktów degradacji mogą mieć nieprzyjemny zapach.

Doświadczenie pokazuje, że maksymalne emisje (związane z całkowitym węglem) występują dopiero po 10 minutach lub później po zalewaniu. CO jest głównym składnikiem, a poziom CO wskazuje na uwalnianie innych związków. [38. Vito 2001]
Podczas **chłodzenia i wytrząsania** zachodzą procesy rozkładu termicznego i generowane są lotne związki, kontrolowane głównie przez dyfuzję i szybkość parowania.
Usuwanie (wytrząsanie) form piaskowych i rdzeni z odlewów jest procedurą produkującą duże ilości

pyłu, ponieważ formy, przynajmniej częściowo, muszą zostać zmiażdżone.
W przypadku zakładów, w których do chłodzenia wykorzystywany jest strumień wody, **drugi etap chłodzenia** nie uwalnia niczego poza parą wodną. [14. CAEF 1997]
Rodzaj emisji podczas procesu odlewania zależy od rodzaju zastosowanego spoiwa. Emisje są porównywalne do tych na etapie mieszania, z dodatkiem produktów pirolizy występujących w kontakcie z gorącym metalem. Tabela 2.59 przedstawia wyniki badania jakościowego emisji związanych z różnymi rodzajami spoiw.

Tabela 2.59: Wpływ systemów wiążących na środowisko podczas zalewania, wytrząsania i chłodzenia

Nazwa systemu i składniki spoiwa	Emisje do powietrza podczas odlewania	Uwagi
BENTONIT Glina Pył węglowy lub substytut Woda	Pył zawieszony - sadza ze spalania węgla Tlenek i dwutlenek węgla Benzen Toluen Ksylen	Potencjalny zapach (może być związany z zawartością siarki w węglu)
PIASEK MUSZLOWY Żywica fenolowo-formaldehydowa (nowolak)	Cząstki stałe - sadza z niecałkowitego spalania żywic na bazie węgla Tlenki węgla Fenol*, krezole* i ksylenole* Amoniak Aldehydy Benzen WWA	Problemy z nieprzyjemnym zapachem są bardziej powszechne - może być konieczne oczyszczanie, chociaż może wystarczyć dyspersja (rozproszenie).
ALKALICZNA ŻYWICA FENOLOWA Rezol - alkaliczna żywica fenolowo-formaldehydowa 1. Utwardzanie gazem 2. Samoutwardzanie	Cząstki stałe - sadza z niecałkowitego spalania żywic na bazie węgla Tlenki węgla Formaldehyd Fenol, krezole i ksylenole Aromaty	Zapach może stanowić problem
SPOIWO FENOLOWO-URETANOWE 1. Utwardzanie gazem, np. cold-box (zimna rdzennica) 2. Samoutwardzanie (spoiwo fenolowo-uretanowe niewypalane)	Cząstki stałe - sadza z niecałkowitego spalania żywic na bazie węgla Tlenki węgla Tlenki azotu Monoizocyjaniany Formaldehyd Fenol, krezole i ksylenole Aromaty (w tym policykliczne) Aniliny Naftaleny Amoniak	apach może stanowić problem
FURAN Kombinacja żywic: fenolowych mocznikowych z alkoholem furfurylowym z formaldehydem	Cząstki stałe - sadza z niecałkowitego spalania żywic na bazie węgla Tlenki węgla Fenol, krezole i ksylenole Formaldehyd Aromaty (w tym policykliczne) Dwutlenek siarki Amoniak Anilina Kwas izocyjanowy* Izocyjanian metylu*	Zapach może czasami stanowić problem

Nazwa systemu i składniki spoiwa	Emisje do powietrza podczas odlewania	Uwagi
HOT-BOX/GORĄCA RDZENNICA Kombinacja żywic fenolowych mocznikowych z alkoholem furfurylowym z formaldehydem	Cząstki stałe - sadza z niecałkowitego spalania żywic na bazie węgla Tlenki węgla Tlenki azotu Formaldehyd Fenol, krezole i ksylenole Aromaty (w tym policykliczne) Aniliny Amoniak Kwas izocyjanowy* Izocyjanian metylu*	
PIASEK BITUMICZNY Olej lniany i skrobia	Cząstki stałe - sadza z niecałkowitego spalania żywic na bazie węgla Tlenki węgla Butadien Ketony Akroleina	Zapach może stanowić problem
PROCES Z CO_2 Krzemian sodu	Tlenki węgla	
KRZEMIAN ESTROWY Krzemian sodu	Tlenki węgla Alkany Aceton Kwas octowy Akroleina	
* Dla żywicy zawierającej azot (mocznik). *Źródło:* [62. UK Environment Agency (Brytyjska Agencja Ochrony Środowiska) 2002].		

2.3.2.9.1 Emisje pyłu

Zgłoszone poziomy emisji pyłu do powietrza z procesów zalewania, chłodzenia i wytrząsania przy użyciu form traconych przedstawiono na Rysunku 2.98 oraz Rysunku 2.99.
Niektóre dane statystyczne dotyczące zgłoszonych danych emisji pyłu przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 2.60: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji pyłu

Parametr/ proces	Liczba danych	Liczba punktów emisji	Liczba zakładów	90 percentyl	Średnia	Mediana	10 percentyl
				mg/Nm^3			
Odlewanie	101	53	25	5,93	2,68	1,99	0,56
Chłodzenie	43	22	16	18,81	6,10	2,67	0,71
Wytrząsanie	81	33	27	11,91	4,22	1,87	0,29
Uwaga: Powyższe dane odnoszą się do punktów emisji, które są związane tylko z procesem zalewania, chłodzenia lub wytrząsania. *Źródło:* [169. TWG 2021]							

2.3.2.9.2 Emisje amin

Niektóre dane statystyczne dotyczące zgłoszonych danych emisji amin przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 2.61: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji amin

Parametr/ proces	Liczba danych	Liczba punktów emisji	Liczba zakładów	90 percentyl	Średnia	Mediana	10 percentyl
				mg/Nm^3			
Odlewanie	2	2	1	-	0	-	-
Chłodzenie	3	3	3	-	0,2	-	-
Wytrząsanie	2	1	1	-	0,43	-	-
Uwaga: Powyższe dane odnoszą się do punktów emisji, które są związane tylko z procesem zalewania, chłodzenia lub wytrząsania. *Źródło:* [169. TWG 2021]							

2.3.2.9.3 Emisje benzenu

Zgłoszone poziomy emisji benzenu do powietrza z procesów zalewania, chłodzenia i wytrząsania przy użyciu form traconych przedstawiono na Rysunku 2.100.
Niektóre dane statystyczne dotyczące zgłoszonych danych emisji benzenu przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 2.62: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji benzenu

Parametr/ proces	Liczba danych	Liczba punktów emisji	Liczba zakładów	90 percentyl	Średnia	Mediana	10 percentyl
				mg/Nm^3			
Odlewanie	18	8	6	1,09	0,59	0,31	0,08
Chłodzenie	16	10	8	7,09	3,18	2,20	0,39
Wytrząsanie	4	2	2	-	2,95	-	-
Uwaga: Powyższe dane odnoszą się do punktów emisji, które są związane tylko z procesem zalewania, chłodzenia lub wytrząsania. *Źródło:* [169. TWG 2021]							

2.3.2.9.4 Emisje formaldehydu

Zgłoszone poziomy emisji formaldehydu do powietrza z procesów zalewania, chłodzenia i wytrząsania przy użyciu form traconych przedstawiono na Rysunku 2.101.
Niektóre dane statystyczne dotyczące zgłoszonych danych emisji formaldehydu przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 2.63: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji formaldehydu

Parametr/ proces	Liczba danych	Liczba punktów emisji	Liczba zakładów	90 percentyl	Średnia	Mediana	10 percentyl
				mg/Nm^3			
Odlewanie	14	5	4	0,90	0,27	0,15	0,01
Chłodzenie	10	4	2	0,14	0,05	0,03	0,01
Wytrząsanie	7	4	3	-	0,36	0,25	-
Uwaga: Powyższe dane odnoszą się do punktów emisji, które są związane tylko z procesem zalewania, chłodzenia lub wytrząsania. *Źródło:* [169. TWG 2021]							

2.3.2.9.5 Emisje fenolu

Zgłoszone poziomy emisji fenolu do powietrza z procesów zalewania, chłodzenia i wytrząsania przy użyciu form traconych przedstawiono na Rysunku 2.102.
Niektóre dane statystyczne dotyczące zgłoszonych danych emisji fenolu przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 2.64: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji fenolu

Parametr/ proces	Liczba danych	Liczba punktów emisji	Liczba zakładów	90 percentyl	Średnia	Mediana	10 percentyl
				mg/Nm^3			
Odlewanie	9	3	3	-	0,06	0,02	-
Chłodzenie	10	4	2	2,23	1,12	0,92	0,06
Wytrząsanie	2	2	1	-	0,27	-	-
Uwaga: Powyższe dane odnoszą się do punktów emisji, które są związane tylko z procesem zalewania, chłodzenia lub wytrząsania. *Źródło:* [169. TWG 2021]							

2.3.2.9.6 Emisje chromu (Cr)

Niektóre dane statystyczne dotyczące zgłoszonych emisji Cr przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 2.65: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji Cr

Parametr/ proces	Liczba danych	Liczba punktów emisji	Liczba zakładów	90 percentyl	Średnia	Mediana	10 percentyl
				mg/Nm^3			
Odlewanie	5	3	3	-	0,006	-	-
Chłodzenie	1	1	1	-	0,0007	-	-
Wytrząsanie	10	5	4	0,0096	0,006	0,007	0,000057
Uwaga: Powyższe dane odnoszą się do punktów emisji, które są związane tylko z procesem zalewania, chłodzenia lub wytrząsania. *Źródło:* [169. TWG 2021]							

2.3.2.9.7 Emisje ołowiu (Pb)

Niektóre dane statystyczne dotyczące zgłoszonych emisji Pb przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 2.66: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji Pb

Parametr/ proces	Liczba danych	Liczba punktów emisji	Liczba zakładów	90 percentyl	Średnia	Mediana	10 percentyl
				mg/Nm^3			
Odlewanie	13	12	5	0,16	0,078	0,07	0,0034
Chłodzenie	-	-	-	-	-	-	-
Wytrząsanie	12	6	5	0,0048	0,0017	0,0007	0,0
Uwaga: Powyższe dane odnoszą się do punktów emisji, które są związane tylko z procesem zalewania, chłodzenia lub wytrząsania. *Źródło:* [169. TWG 2021]							

2.3.2.9.8 Emisje całkowitych LZO

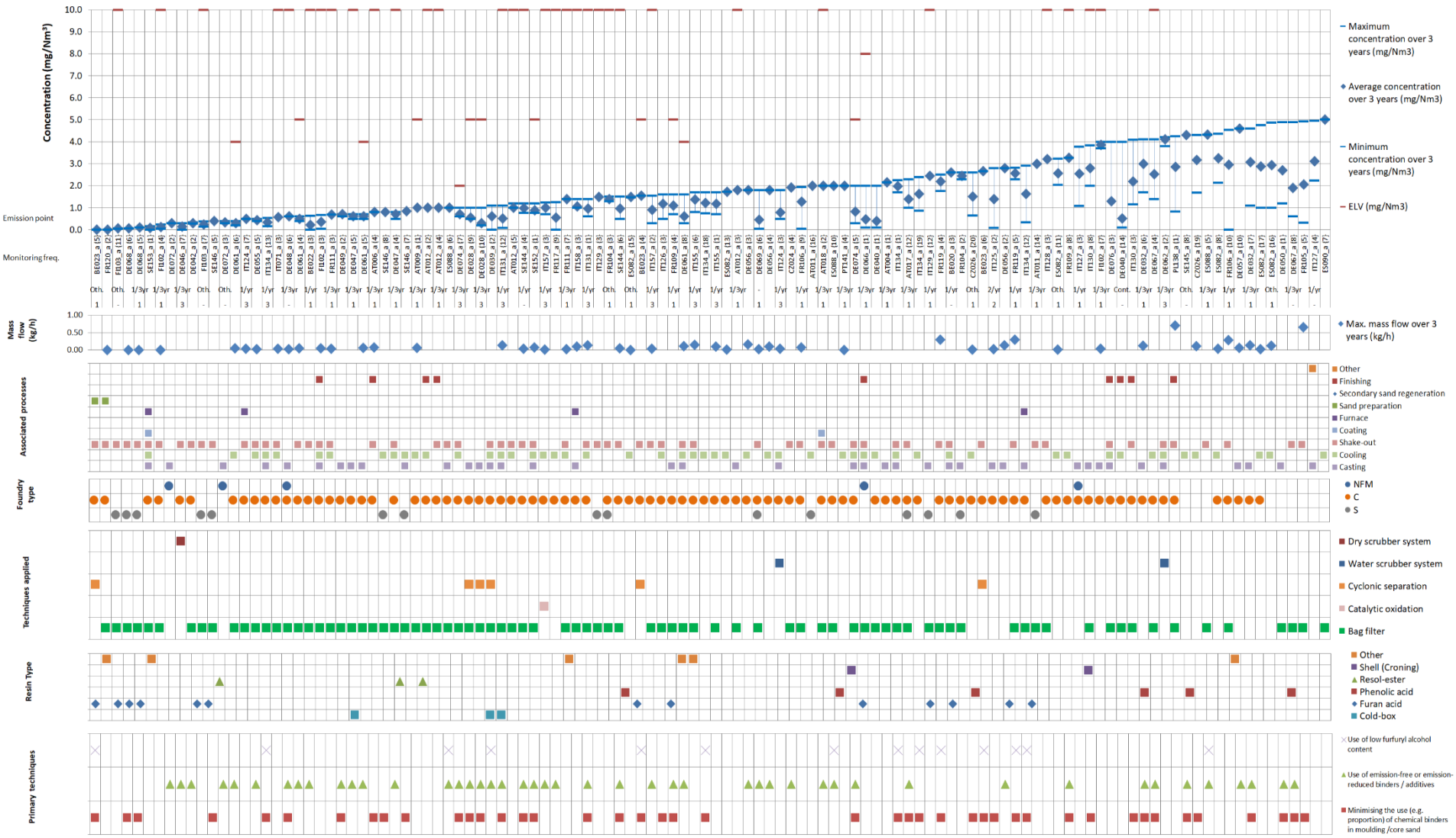
Zgłoszone poziomy emisji całkowitych LZO do powietrza z procesów zalewania, chłodzenia i wytrząsania przy użyciu form traconych przedstawiono na Rysunku 2.103.
Niektóre dane statystyczne dotyczące zgłoszonych emisji całkowitych LZO przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 2.67: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji całkowitych LZO

Parametr/ proces	Liczba danych	Liczba punktów emisji	Liczba zakładów	90 percentyl	Średnia	Mediana	10 percentyl
				mg/Nm^3			
Odlewanie	74	31	15	46,92	16,82	7,75	2,98
Chłodzenie	27	10	5	84,60	36,92	24,50	5,28
Wytrząsanie	21	9	7	60,40	29,46	19,17	6,76
Uwaga: Powyższe dane odnoszą się do punktów emisji, które są związane tylko z procesem zalewania, chłodzenia lub wytrząsania. *Źródło:* [169. TWG 2021]							

2.3.2.9.9 Dane dla emisji do powietrza

Struktura rysunków przedstawionych w tej sekcji została wyjaśniona w Sekcji 2.3.2.1.10.

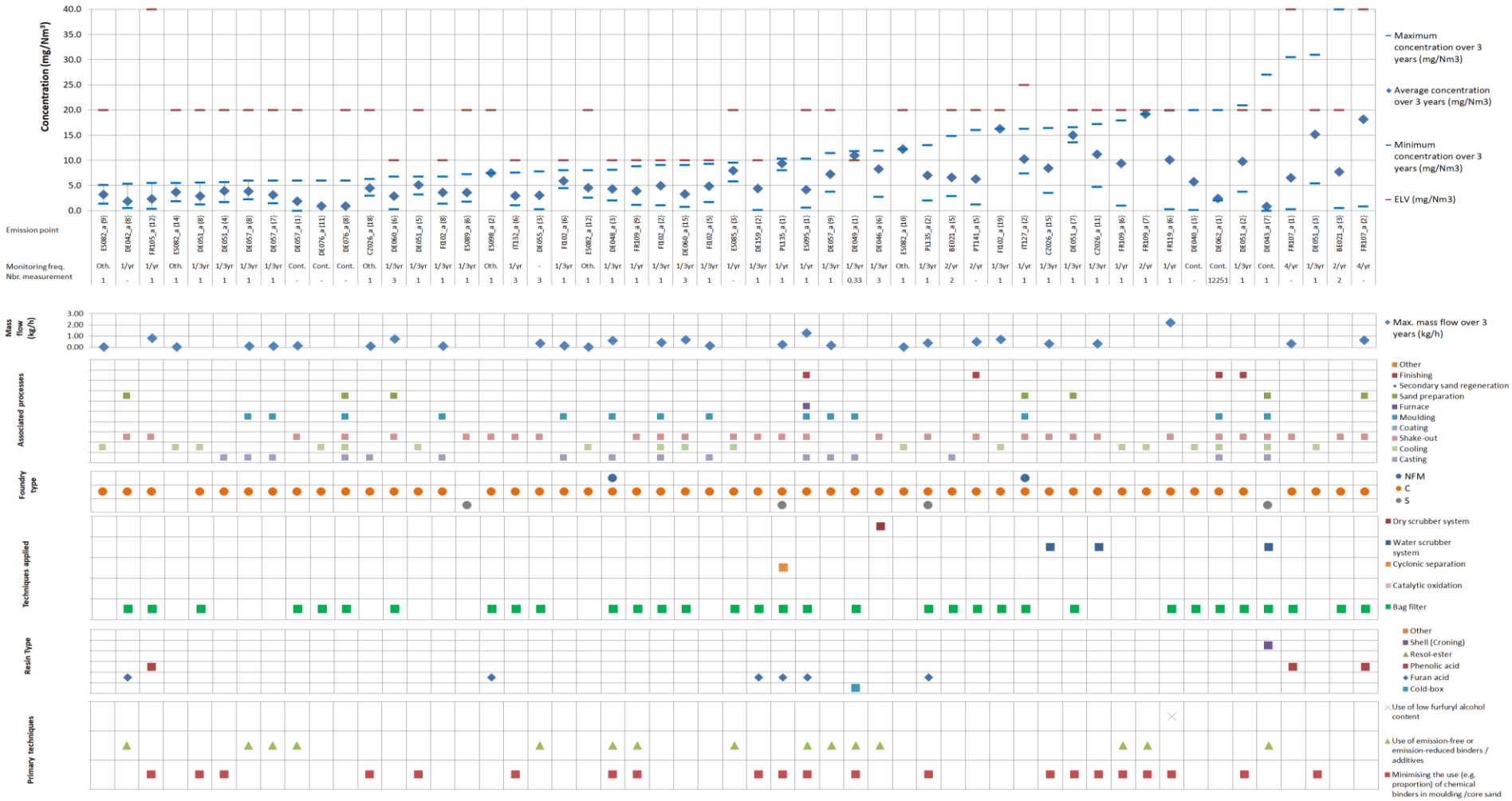


Źródło: [169. TWG 2021]

Rysunek 2.98: Emisje pyłu z procesów zalewania, chłodzenia i wytrząsania przy użyciu form traconych (1/2)

Concentration (mg/Nm^3)	Stężenie (mg/Nm^3)
Emission point	Punkt emisji
Monitoring freq.	Częstotliwość monitorowania
Mass flow (kg/h)	Przepływ masowy (kg/h)
Associated processes	Powiązane procesy
Foundry type	Typ odlewni
Techniques applied	Zastosowane techniki
Resin Type	Rodzaj żywicy
Primary techniques	Podstawowe techniki
Maximum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Maksymalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Average concentration over 3 years (mg/Nm3)	Średnie stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Minimum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Minimalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
ELV (mg/Nm3)	Dopuszczalna wartość emisji (ELV) (mg/Nm^3)
Max. mass flow over 3 years (kg/h)	Maks. przepływ masowy w ciągu 3 lat (kg/h)
Other	Pozostałe
Finishing	Wykańczanie
Secondary sand regeneration	Wtórna regeneracja masy/piasku
Sand preparation	Przygotowanie piasku
Furnace	Piec
Coating	Powłoka
Shake-out	Wytrząsanie/wybijanie
Cooling	Chłodzenie
Casting	Odlewanie
NFM	Metali nieżelaznych
C	Żeliwa
S	Staliwa
Dry scrubber system	System suchego odsiarczania
Water scrubber system	System płukania (oczyszczania) na mokro
Cyclonic separation	Separacja cyklonem
Catalytic oxidation	Utlenianie katalityczne
Bag filter	Filtr workowy
Other	Pozostałe
Shell (Croning)	Skorupa (Croning)
Resol-ester	Rezol-ester

Phenolic acid	Kwas fenolowy
Furan acid	Kwas furanowy
Cold-box	Zimna rdzennica (*cold-box*)
Use of low furfuryl alcohol content	Zastosowanie niskiej zawartości alkoholu furfurylowego
Use of emission-free or emission reduced binders / additives	Zastosowanie spoiw/dodatków bezemisyjnych lub o zmniejszonej emisji
Minimising the use (e.g. proportion) of chemical binders in moulding / core sand	Ograniczenie stosowania (np. proporcji) chemicznych środków wiążących w masie (piasku) formierskiej/rdzeniowej

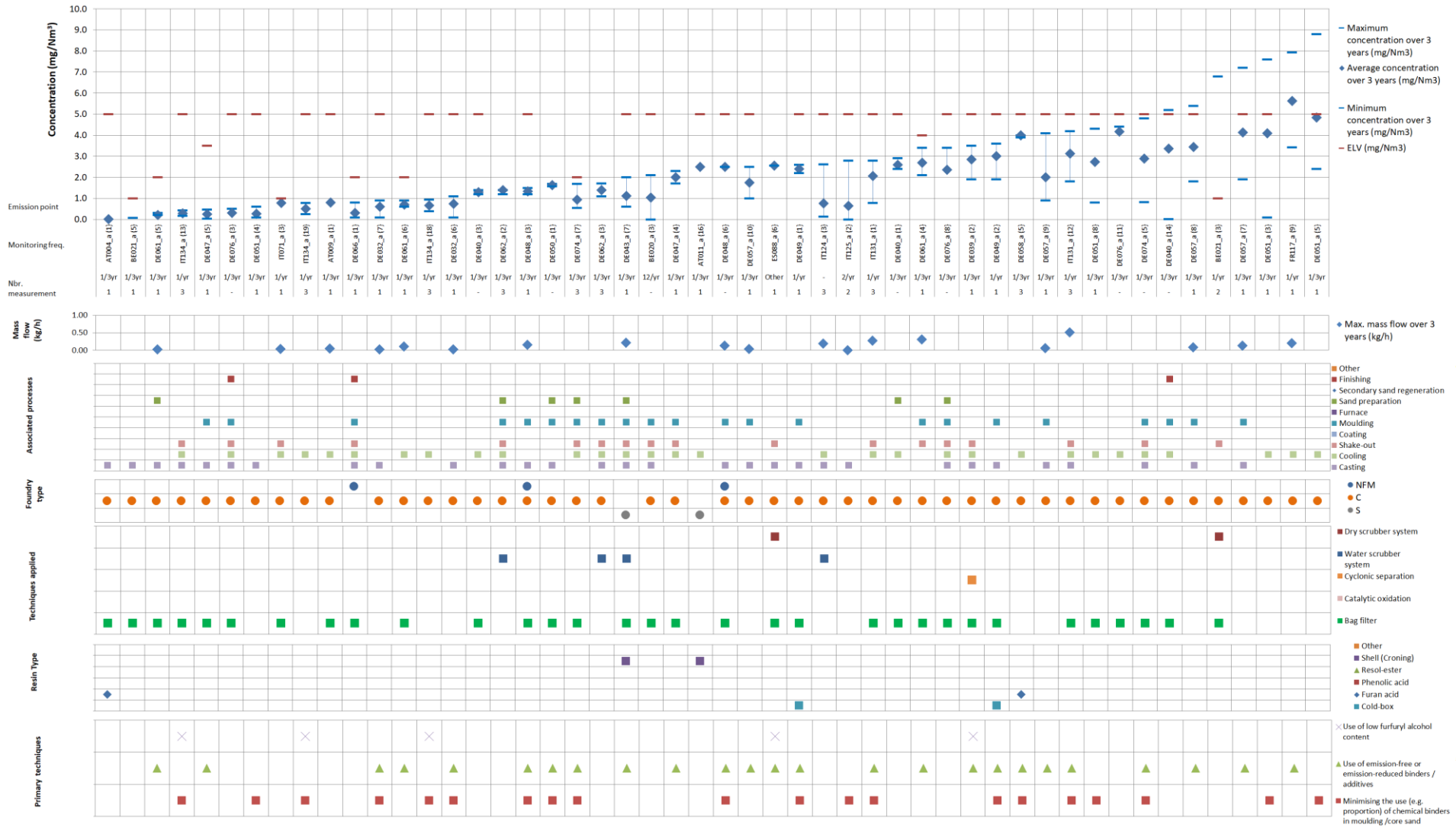


Źródło: [169. TWG 2021]

Rysunek 2.99: Emisje pyłu z procesów zalewania, chłodzenia i wytrząsania przy użyciu form traconych (2/2)

Concentration (mg/Nm^3)	Stężenie (mg/Nm^3)
Emission point	Punkt emisji
Monitoring freq.	Częstotliwość monitorowania
Nbr. measurement	Liczba pomiarów
Mass flow (kg/h)	Przepływ masowy (kg/h)
Associated processes	Powiązane procesy
Foundry type	Typ odlewni
Techniques applied	Zastosowane techniki
Resin type	Rodzaj żywicy
Primary techniques	Podstawowe techniki
Maximum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Maksymalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Average concentration over 3 years (mg/Nm3)	Średnie stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Minimum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Minimalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
ELV (mg/Nm3)	Dopuszczalna wartość emisji (ELV) (mg/Nm^3)
Max. mass flow over 3 years (kg/h)	Maks. przepływ masowy w ciągu 3 lat (kg/h)
Other	Pozostałe
Finishing	Wykańczanie
Secondary sand regeneration	Wtórna regeneracja masy/piasku
Sand preparation	Przygotowanie piasku
Furnace	Piec
Moulding	Wykonywanie form
Coating	Powłoka
Shake-out	Wytrząsanie/wybijanie
Cooling	Chłodzenie
Casting	Odlewanie
NFM	Metali nieżelaznych
C	Żeliwa
S	Staliwa
Dry scrubber system	System suchego odsiarczania
Water scrubber system	System płukania (oczyszczania) na mokro
Cyclonic separation	Separacja cyklonem
Catalytic oxidation	Utlenianie katalityczne
Bag filter	Filtr workowy
Other	Pozostałe

Shell (Croning)	Skorupa (Croning)
Resol-ester	Rezol-ester
Phenolic acid	Kwas fenolowy
Furan acid	Kwas furanowy
Cold-box	Zimna rdzennica (*cold-box*)
Use of low furfuryl alcohol content	Zastosowanie niskiej zawartości alkoholu furfurylowego
Use of emission-free or emission reduced binders / additives	Zastosowanie spoiw/dodatków bezemisyjnych lub o zmniejszonej emisji
Minimising the use (e.g. proportion) of chemical binders in moulding / core sand	Ograniczenie stosowania (np. proporcji) chemicznych środków wiążących w masie (piasku) formierskiej/rdzeniowej

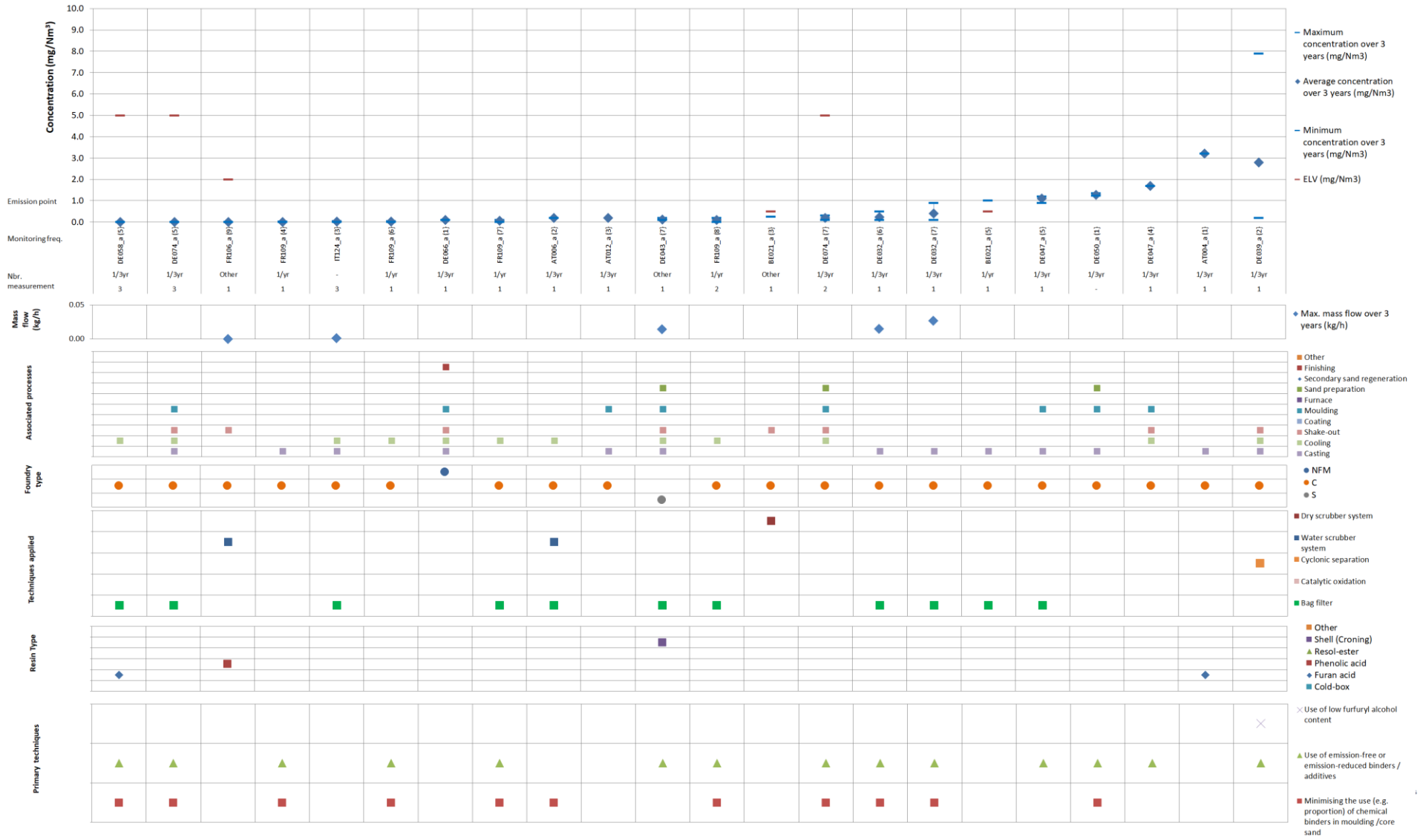


Źródło: [169. TWG 2021]

Rysunek 2.100: Emisje benzenu z procesów zalewania, chłodzenia i wytrząsania przy użyciu form traconych

Concentration (mg/Nm^3)	Stężenie (mg/Nm^3)
Emission point	Punkt emisji
Monitoring freq.	Częstotliwość monitorowania
Nbr. measurement	Liczba pomiarów
Mass flow (kg/h)	Przepływ masowy (kg/h)
Associated processes	Powiązane procesy
Foundry type	Typ odlewni
Techniques applied	Zastosowane techniki
Resin type	Rodzaj żywicy
Primary techniques	Podstawowe techniki
Maximum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Maksymalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Average concentration over 3 years (mg/Nm3)	Średnie stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Minimum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Minimalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
ELV (mg/Nm3)	Dopuszczalna wartość emisji (ELV) (mg/Nm^3)
Max. mass flow over 3 years (kg/h)	Maks. przepływ masowy w ciągu 3 lat (kg/h)
Other	Pozostałe
Finishing	Wykańczanie
Secondary sand regeneration	Wtórna regeneracja masy/piasku
Sand preparation	Przygotowanie piasku
Furnace	Piec
Moulding	Wykonywanie form
Coating	Powłoka
Shake-out	Wytrząsanie/wybijanie
Cooling	Chłodzenie
Casting	Odlewanie
NFM	Metali nieżelaznych
C	Żeliwa
S	Staliwa
Dry scrubber system	System suchego odsiarczania
Water scrubber system	System płukania (oczyszczania) na mokro
Cyclonic separation	Separacja cyklonem
Catalytic oxidation	Utlenianie katalityczne
Bag filter	Filtr workowy
Other	Pozostałe

Shell (Croning)	Skorupa (Croning)
Resol-ester	Rezol-ester
Phenolic acid	Kwas fenolowy
Furan acid	Kwas furanowy
Cold-box	Zimna rdzennica (*cold-box*)
Use of low furfuryl alcohol content	Zastosowanie niskiej zawartości alkoholu furfurylowego
Use of emission-free or emission reduced binders / additives	Zastosowanie spoiw/dodatków bezemisyjnych lub o zmniejszonej emisji
Minimising the use (e.g. proportion) of chemical binders in moulding / core sand	Ograniczenie stosowania (np. proporcji) chemicznych środków wiążących w masie (piasku) formierskiej/rdzeniowej

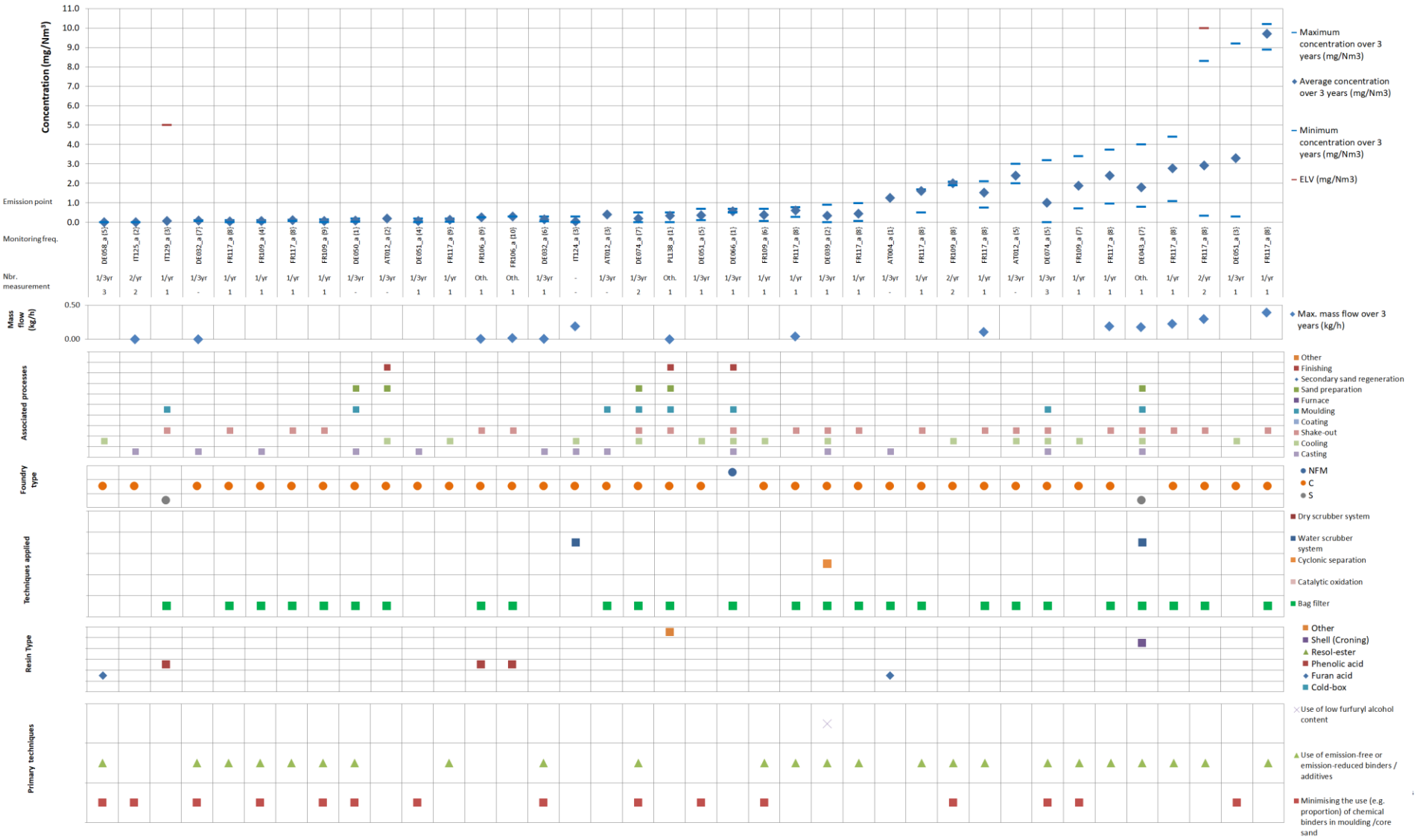


Źródło: [169. TWG 2021]

Rysunek 2.101: Emisje formaldehydu z procesów zalewania, chłodzenia i wytrząsania przy użyciu form traconych

Concentration (mg/Nm^3)	Stężenie (mg/Nm^3)
Emission point	Punkt emisji
Monitoring freq.	Częstotliwość monitorowania
Nbr. measurement	Liczba pomiarów
Mass flow (kg/h)	Przepływ masowy (kg/h)
Associated processes	Powiązane procesy
Foundry type	Typ odlewni
Techniques applied	Zastosowane techniki
Resin type	Rodzaj żywicy
Primary techniques	Podstawowe techniki
Maximum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Maksymalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Average concentration over 3 years (mg/Nm3)	Średnie stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Minimum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Minimalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
ELV (mg/Nm3)	Dopuszczalna wartość emisji (ELV) (mg/Nm^3)
Max. mass flow over 3 years (kg/h)	Maks. przepływ masowy w ciągu 3 lat (kg/h)
Other	Pozostałe
Finishing	Wykańczanie
Secondary sand regeneration	Wtórna regeneracja masy/piasku
Sand preparation	Przygotowanie piasku
Furnace	Piec
Moulding	Wykonywanie form
Coating	Powłoka
Shake-out	Wytrząsanie/wybijanie
Cooling	Chłodzenie
Casting	Odlewanie
NFM	Metali nieżelaznych
C	Żeliwa
S	Staliwa
Dry scrubber system	System suchego odsiarczania
Water scrubber system	System płukania (oczyszczania) na mokro
Cyclonic separation	Separacja cyklonem
Catalytic oxidation	Utlenianie katalityczne
Bag filter	Filtr workowy
Other	Pozostałe

Shell (Croning)	Skorupa (Croning)
Resol-ester	Rezol-ester
Phenolic acid	Kwas fenolowy
Furan acid	Kwas furanowy
Cold-box	Zimna rdzennica (*cold-box*)
Use of low furfuryl alcohol content	Zastosowanie niskiej zawartości alkoholu furfurylowego
Use of emission-free or emission reduced binders / additives	Zastosowanie spoiw/dodatków bezemisyjnych lub o zmniejszonej emisji
Minimising the use (e.g. proportion) of chemical binders in moulding / core sand	Ograniczenie stosowania (np. proporcji) chemicznych środków wiążących w masie (piasku) formierskiej/rdzeniowej

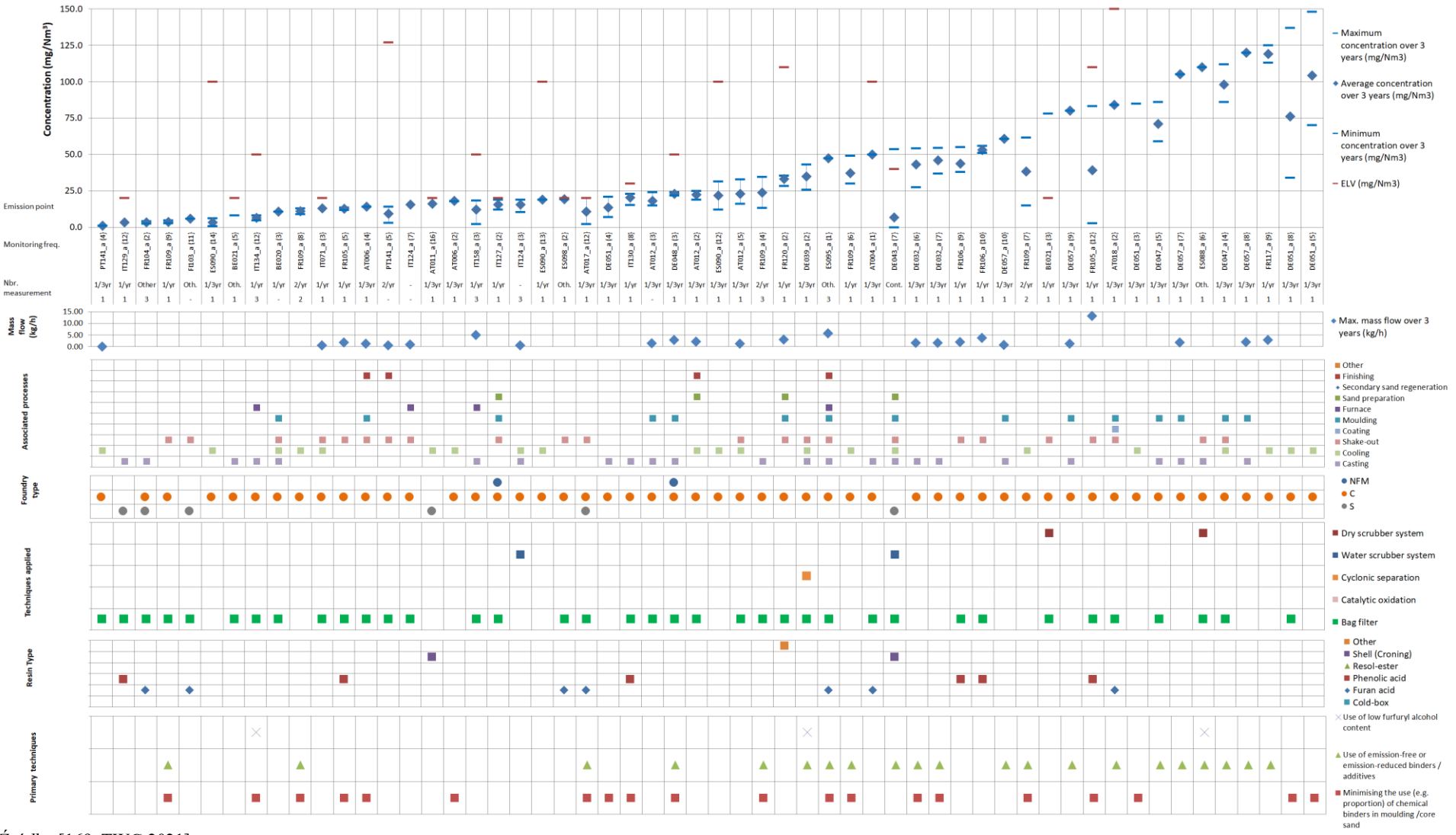


Źródło: [169. TWG 2021]

Rysunek 2.102: Emisje fenolu z procesów zalewania, chłodzenia i wytrząsania przy użyciu form traconych

Concentration (mg/Nm^3)	Stężenie (mg/Nm^3)
Emission point	Punkt emisji
Monitoring freq.	Częstotliwość monitorowania
Nbr. measurement	Liczba pomiarów
Mass flow (kg/h)	Przepływ masowy (kg/h)
Associated processes	Powiązane procesy
Foundry type	Typ odlewni
Techniques applied	Zastosowane techniki
Resin type	Rodzaj żywicy
Primary techniques	Podstawowe techniki
Maximum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Maksymalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Average concentration over 3 years (mg/Nm3)	Średnie stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Minimum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Minimalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
ELV (mg/Nm3)	Dopuszczalna wartość emisji (ELV) (mg/Nm3)
Max. mass flow over 3 years (kg/h)	Maks. przepływ masowy w ciągu 3 lat (kg/h)
Other	Pozostałe
Finishing	Wykańczanie
Secondary sand regeneration	Wtórna regeneracja masy/piasku
Sand preparation	Przygotowanie piasku
Furnace	Piec
Moulding	Wykonywanie form
Coating	Powłoka
Shake-out	Wytrząsanie/wybijanie
Cooling	Chłodzenie
Casting	Odlewanie
NFM	Metali nieżelaznych
C	Żeliwa
S	Staliwa
Dry scrubber system	System suchego odsiarczania
Water scrubber system	System płukania (oczyszczania) na mokro
Cyclonic separation	Separacja cyklonem
Catalytic oxidation	Utlenianie katalityczne
Bag filter	Filtr workowy
Other	Pozostałe

Shell (Croning)	Skorupa (Croning)
Resol-ester	Rezol-ester
Phenolic acid	Kwas fenolowy
Furan acid	Kwas furanowy
Cold-box	Zimna rdzennica (*cold-box*)
Use of low furfuryl alcohol content	Zastosowanie niskiej zawartości alkoholu furfurylowego
Use of emission-free or emission reduced binders / additives	Zastosowanie spoiw/dodatków bezemisyjnych lub o zmniejszonej emisji
Minimising the use (e.g. proportion) of chemical binders in moulding / core sand	Ograniczenie stosowania (np. proporcji) chemicznych środków wiążących w masie (piasku) formierskiej/rdzeniowej



Źródło: [169. TWG 2021]

Rysunek 2.103: Emisje całkowitych LZO z procesów zalewania, chłodzenia i wytrząsania przy użyciu form traconych

Concentration (mg/Nm^3)	Stężenie (mg/Nm^3)
Emission point	Punkt emisji
Monitoring freq.	Częstotliwość monitorowania
Nbr. measurement	Liczba pomiarów
Mass flow (kg/h)	Przepływ masowy (kg/h)
Associated processes	Powiązane procesy
Foundry type	Typ odlewni
Techniques applied	Zastosowane techniki
Resin type	Rodzaj żywicy
Primary techniques	Podstawowe techniki
Maximum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Maksymalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Average concentration over 3 years (mg/Nm3)	Średnie stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Minimum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Minimalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
ELV (mg/Nm3)	Dopuszczalna wartość emisji (ELV) (mg/Nm^3)
Max. mass flow over 3 years (kg/h)	Maks. przepływ masowy w ciągu 3 lat (kg/h)
Other	Pozostałe
Finishing	Wykańczanie
Secondary sand regeneration	Wtórna regeneracja masy/piasku
Sand preparation	Przygotowanie piasku
Furnace	Piec
Moulding	Wykonywanie form
Coating	Powłoka
Shake-out	Wytrząsanie/wybijanie
Cooling	Chłodzenie
Casting	Odlewanie
NFM	Metali nieżelaznych
C	Żeliwa
S	Staliwa
Dry scrubber system	System suchego odsiarczania
Water scrubber system	System płukania (oczyszczania) na mokro
Cyclonic separation	Separacja cyklonem
Catalytic oxidation	Utlenianie katalityczne
Bag filter	Filtr workowy
Other	Pozostałe

Shell (Croning)	Skorupa (Croning)
Resol-ester	Rezol-ester
Phenolic acid	Kwas fenolowy
Furan acid	Kwas furanowy
Cold-box	Zimna rdzennica (*cold-box*)
Use of low furfuryl alcohol content	Zastosowanie niskiej zawartości alkoholu furfurylowego
Use of emission-free or emission reduced binders / additives	Stosowanie spoiw / dodatków bezemisyjnych lub o obniżonej emisji
Minimising the use (e.g. proportion) of chemical binders in moulding / core sand	Ograniczenie stosowania (np. proporcji) chemicznych środków wiążących w masie (piasku) formierskiej/rdzeniowej

2.3.2.10 Alternatywne procesy odlewania (metodą traconej pianki, w formach skorupowych)

2.3.2.10.1 Piasek niezwiązany – odlewanie metodą traconej pianki

Materiały wsadowe/produkty wyjściowe dla procesu odlewania metodą traconej pianki z wykorzystaniem piasku niezwiązanego przedstawiono w poniższej tabeli.

Wsad (materiał wejściowy)	**Produkt wyjściowy (produkt)**
- Granulat styropianowy EPS	- Formy piaskowe
- Klej EPS	- Pozostałości z EPS
- Powłoka ogniotrwała	- Produkty pirolizy i spalania
- Piasek	- Pył

Dane dotyczące emisji związków organicznych podano w Tabeli 2.68. Odnoszą się one do odlewni aluminium wykorzystującej technologię traconej pianki, produkującej 1,5 t/h, w porównaniu z odlewnią wykorzystującą bentonit, produkującą 1,2 t/h i stosującą zimne rdzennice (cold-box) w ilości 1,9 t/h. Odlewnia wykorzystująca technologię traconej pianki została wyposażona w filtr workowy oraz instalację do dopalania spalin. Dane dotyczące odlewni wykorzystującej bentonit odnoszą się do instalacji wyposażonej w filtr workowy. Dane pokazują, że odlewnia stosująca metodę traconej pianki, przy zastosowaniu intensywniejszego oczyszczania gazów spalinowych, emituje większe ilości lotnych węglowodorów aromatycznych (BTEX) i formaldehydu, ale wyraźnie mniej węgla organicznego. Spalanie gazów wylotowych z odlewni jest konieczne w celu rozłożenia produktów pirolizy EPS podczas zalewania.

Tabela 2.68: Dane dotyczące emisji z kominów dla odlewni aluminium stosujących metodę traconej pianki oraz bentonit

Związek	**Odlewnia stosująca metodę traconej pianki**	**Odlewnia wykorzystująca bentonit**
Benzen	35,33	8,5
Toluen, ksylen, etylobenzen, styren	354,67	18,58
Nieznane związki organiczne	96,67	655,0
Całkowity węgiel organiczny	857,33	1283,33
WWA	1,45	1,43
Formaldehyd	18,00	2,08
Fenol	18,00	69,83
Uwaga: Wszystkie wartości w g/tonę stopionego aluminium. *Źródło:* [35. Spillner, A. 1997]		

W poniższej tabeli podsumowano dane dotyczące emisji zgłoszone przez cztery odlewnie (żeliwa i aluminium) stosujące proces odlewania metodą traconej pianki oraz wykorzystujące techniki redukcji emisji.

Tabela 2.69: Dane dotyczące emisji z odlewni żeliwa i aluminium stosujących proces odlewania metodą traconej pianki

Rodzaj odlewni	**Numer zakładu /** punkt emisji EP / **Powiązany proces**	**Zgłoszona technika ograniczania**	**Pył**	**Całkowite**	**Benzen**	**Formaldehyd**
			(mg /Nm³)	**(mg C/Nm³)**	**(mg /Nm³)**	**(mg /Nm³)**
Aluminium	FR115 / EP2 / Linia formierska	Filtr tkaninowy	0.0 (2017) 0.0 (2018) 5.0 (2019)	25.1 (2017) 38.0 (2018) 26.0 (2019)	0.04 (2017) 0.04 (2018) 0.05 (2019)	0.04 (2017) 0.00 (2018) 0.17 (2019)
Aluminium	FR115 / EP4 / Wytrząsanie	płuczka Venturiego + regeneracyjne utlenianie termiczne	1.42 (2017) 0.78 (2018) 0.50 (2019)	7.8 (2017) 11.7 (2019)	0.00 (2017)	0.03 (2017) 1.60 (2018) 0.34 (2019)

Rodzaj odlewni	Numer zakładu / punkt emisji EP / Powiązany proces	Zgłoszona technika ograniczania	Pył (mg /Nm³)	Całkowite (mg C/Nm³)	Benzen (mg /Nm³)	Formaldehyd (mg /Nm³)
Aluminium	DE038 / EP2 / Odlewanie	Filtr tkaninowy + regeneracyjne utlenianie termiczne	1,0 (2019)	Brak zgłoszonych danych	Brak zgłoszonych danych	Brak zgłoszonych danych
Żeliwo	IT130 / EP8 / Odlewanie	Filtr tkaninowy	2.58 (2017) 3.84 (2018) 1.99 (2019)	15.2 (2017) 22.7 (2018) 22.8 (2019)	Brak zgłoszonych danych	Brak zgłoszonych danych

Ostatnie badania łączą stosowanie procesu z traconą pianką z podwyższoną emisją BTEX, spowodowaną termicznym rozkładem polistyrenu spienionego (EPS), co prowadzi do emisji benzenu, toluenu i styrenu. [181. Rząd Kraju Basków 2019]. Ponieważ związki BTEX mają charakter aromatyczny i dlatego mają charakterystyczny zapach, mogą powodować uciążliwości zapachowe w otoczeniu. Zgłoszone stężenia benzenu w otoczeniu wynosiły od 1 µg/Nm^3 do 2,8 µg/Nm^3, natomiast zgłoszone poziomy emisji były rzędu:

- benzen: 290 – 4 140 µg/Nm^3;
- toluen: 280–7 600 µg/Nm^3;
- styren: 560–3 730 µg/Nm^3;
- izopropanol: 350–2 330 µg/Nm3.

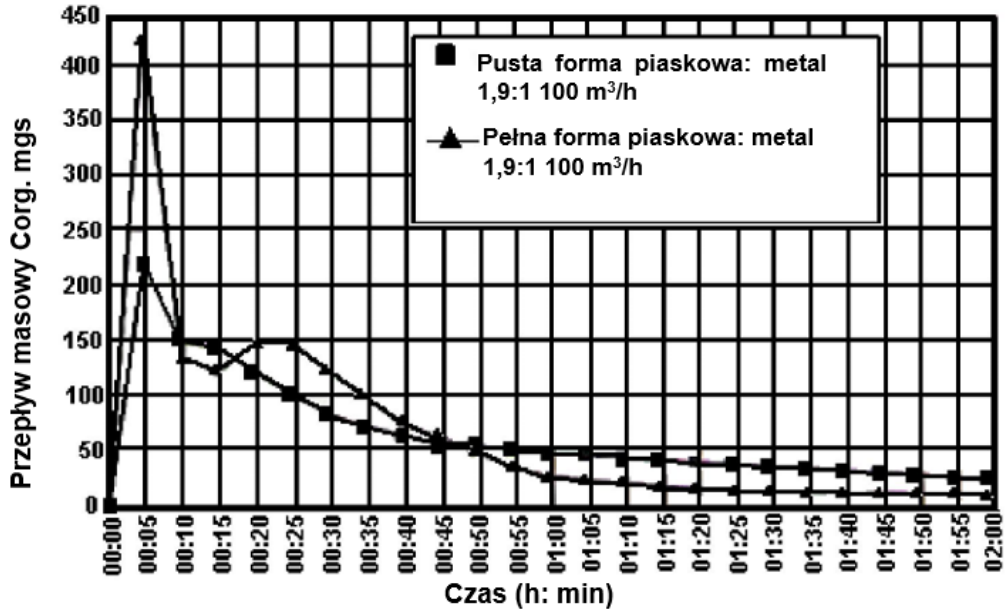
Należy zauważyć, że powyższe poziomy emisji nie są związane ze stosowaniem żadnych technik ich ograniczania.

2.3.2.10.2 Piasek chemicznie związany – pełna forma

Materiały wsadowe/produkty wyjściowe dla procesu odlewania metodą pełnej formy przedstawiono w poniższej tabeli.

Wsad (materiał wejściowy)	Produkt wyjściowy (produkt)
- Granulat styropianowy EPS - Klej EPS - Powłoka ogniotrwała - Piasek - Spoiwa	- Formy piaskowe - Pozostałości z EPS - Produkty pirolizy i spalania - Pył

Przepływ masowy emisji z procesów odlewania metodą pełnej formy i metodą pustej formy należy uznać za podobny. Można to zaobserwować na Rysunku 2.104 który pokazuje przepływ masowy węgla organicznego w funkcji czasu podczas zalewania. Czas „0:00” odpowiada rozpoczęciu zalewania. Dane zebrano dla piasków związanych furanem, zarówno w przypadku form pełnych, jak i pustych.
W procesie odlewania metodą pełnej formy występuje wysoka emisja podczas zalewania i początkowy szczyt emisji bezpośrednio po zalaniu, który stabilizuje się w ciągu 1 godziny. W procesie odlewania metodą pustej formy początkowa emisja jest niższa, ale stabilizacja przebiega wolniej i trwa do 2 godzin. Dlatego całkowita emisja węgla organicznego w całym etapie chłodzenia jest taka sama dla obu procesów. Dodatkowe pomiary wykazały, że ten sam profil dotyczy benzenu, etylobenzenu, fenolu i alkoholu furfurylowego. Maksymalna emisja styrenu i toluenu występuje po 15–30 minutach. Wynika to z początkowej kondensacji cząsteczek na chłodniejszych częściach formy. [113. Müller, G. 1996].



Źródło: [113. Müller, G. 1996].

Rysunek 2.104: Obciążenie gazem odlotowym podczas zalewania z użyciem form pełnych i pustych (stal stopowa: żeliwo; forma: piasek związany furanem; 1,9 tony piasku: 1 tona Fe)

2.3.2.10.3 Odlewanie w formach skorupowych

Żaden zakład w zbiorze danych SF BREF nie zgłosił stosowania techniki odlewania w formach skorupowych.

2.3.2.11 Odlewanie w formach trwałych (kokilowe)

Materiały wsadowe/produkty wyjściowe dla procesu odlewania w formach trwałych przedstawiono w poniższej tabeli.

Wsad (materiał wejściowy)	**Produkt wyjściowy (produkt)**
- Środek antyadhezyjny na bazie wody - Woda chłodząca - Stopiony metal - Rdzenie	- Odlewanie - Oleista mgiełka z rozpylonego środka antyadhezyjnego - Zanieczyszczenia organiczne z degradacji termicznej spoiwa rdzenia - Pyły zawierające tlenki metali z pieca podgrzewającego - Pył z wytrząsania rdzeni - Ścieki

Dane bilansu masy dla trzech różnych odlewni stosujących odlewanie ciśnieniowe stopionego aluminium podano w Tabeli 2.70.

Tabela 2.70: Dane bilansu masowego, w tym dane materiałów wejściowych (wsadu), skład gazów wylotowych i zanieczyszczenia dla trzech odlewni ciśnieniowych aluminium

	Odlewnia A	**Odlewnia B**	**Odlewnia C**
Wsad			
Woda	802 l/tonę	935 l/tonę	1709 l/tonę
Środek antyadhezyjny	16 l/tonę	8,26 l/tonę	1,12 l/tonę
Energia elektryczna	1 103 kWh/tonę	1 380 kWh/tonę	652 kWh/tonę
		Produkt	
Ścieki[1]		122 l/tonę	

	Odlewnia A	Odlewnia B	Odlewnia C
ChZT pH SS Olej i smar BZT_5 Al	18 000 mg/l 7.5 1 300 mg/l 3 000 mg/l 2 000 mg/l 5 mg/l		126 mg/l 7.5 1 mg/l 1 mg/l (suma węglowodorów) 78 mg/l 0,6 mg/l
Gaz wylotowy NO_X Pył LZO		0,006 kg/tonę 0,28 kg/tonę 1,8 kg/tonę	0.14 – 0,27 kg/tonę 0,030 – 0,16 kg/tonę
Wszystkie wartości są wyrażone na tonę gotowego odlewu lub w mg/l zanieczyszczenia. [1] W przypadku odlewni C jakość ścieków po oczyszczeniu obejmuje destylarnię i chłodnie kominowe. *Źródło:* [76. Silva Ribeiro, C. A. 2002], [100. TWG 2002]			

W procesie odlewania ciśnieniowego środki antyadhezyjne na bazie wody są natryskiwane na otwartą matrycę po rozcieńczeniu w stosunku 1:50 - 1:200. Oprócz powlekania matryc, natryskiwanie to jest wykorzystywane do ich chłodzenia. Wyjaśnia to różnicę w zużyciu wody przedstawioną w tabeli. Praktyka ta powoduje utratę i rozlewanie wody oraz wyciek do 40% wody/środka antyadhezyjnego do kanalizacji odlewni.
Poziomy emisji i zużycia w procesach z formą trwałą zależą od rodzaju użytego stopu, powierzchni stopionego materiału, ilości rdzeni piaskowych umieszczonych w formie oraz wskaźnika powierzchni/objętości odlewu. Rdzenie piaskowe są głównymi źródłami emisji. Nie ma istotnej różnicy między różnymi technikami odlewania. Ze względu na dużą różnorodność procesów i zastosowań, nie jest możliwe podanie danych średnich. [100. TWG 2002]
Zużycie energii elektrycznej zależy od parametrów procesu, takich jak siła zamykania matrycy, które są wybierane ze względów technicznych.
Współczynniki emisji dla odlewania brązu, mosiądzu i zamaku stosowane w Belgii podano w Tabeli 2.71.

Tabela 2.71: 71: Orientacyjne wskaźniki emisji dla odlewów z brązu, mosiądzu i zamaku

Stop	CuO	SnO	PbO	ZnO	Al_2O_3	MnO
Brąz	0,06	0,04	2 – 20	625/6/250	N/D	N/D
Mosiądz	0,01	N/D	0,007 – 1	125/21/500	N/D	N/D
Zamak	N/D	N/D	N/D	0,004	0,2	0,01
Wszystkie dane zostały wyrażone w g/tonę stopionego metalu. *Źródło:* [38. Vito 2001].						

2.3.2.11.1 Emisje pyłu

Zgłoszone poziomy emisji pyłu do powietrza z odlewania w formach trwałych przedstawiono na Rysunku 2.105.
Niektóre dane statystyczne dotyczące zgłoszonych emisji pyłu przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 2.72: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji pyłu

Parametr	Liczba danych	Liczba punktów emisji	Liczba zakładów	90 percentyl	Średnia	Mediana	10 percentyl
				mg/Nm^3			
Pył	152	69	28	4,19	1,82	1,0	0,2
Źródło: [169. TWG 2021]							

2.3.2.11.2 Emisje całkowitych LZO

Zgłoszone poziomy emisji całkowitych LZO do powietrza z odlewania w formach stałych przedstawiono na Rysunku 2.106.
Niektóre dane statystyczne dotyczące zgłoszonych emisji całkowitych LZO przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 2.73: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji całkowitych LZO

Parametr	Liczba danych	Liczba punktów emisji	Liczba zakładów	90 percentyl	Średnia	Mediana	10 percentyl
				mg/Nm^3			
Całkowite LZO	72	30	10	28,08	7,5	3,9	0,5
Uwaga: Powyższe dane odnoszą się wyłącznie do punktów emisji związanych z procesem odlewania w formach stałych. *Źródło:* [169. TWG 2021]							

2.3.2.11.3 Emisje ołowiu (Pb)

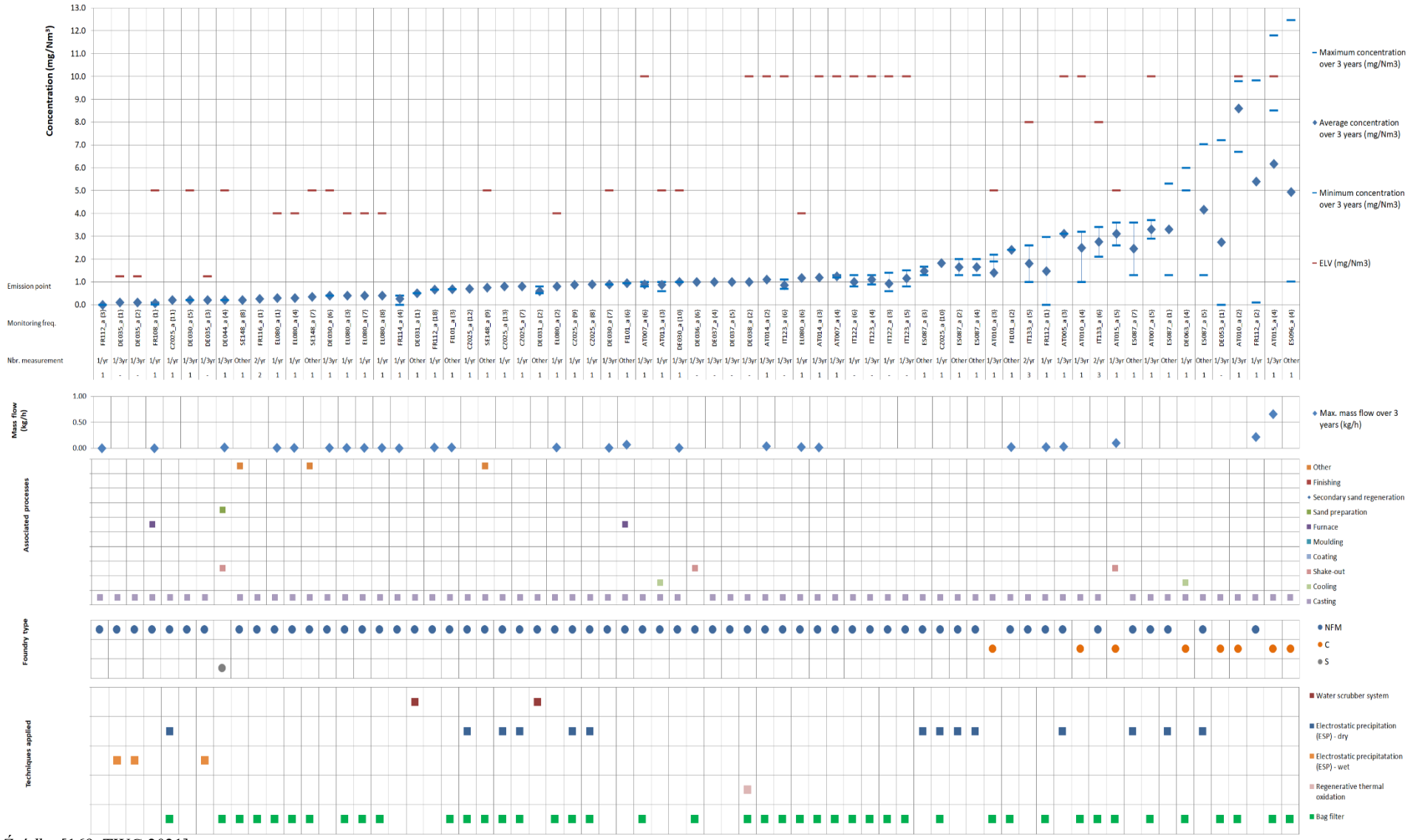
Zgłoszone poziomy emisji Pb do powietrza z odlewania w formach stałych przedstawiono na Rysunku 2.107.
Niektóre dane statystyczne dotyczące zgłoszonych emisji Pb przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 2.74: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji Pb

Parametr	Liczba danych	Liczba punktów emisji	Liczba zakładów	90 percentyl	Średnia	Mediana	10 percentyl
				mg/Nm^3			
Ołów (Pb)	23	17	7	0,171	0,064	0,014	0,00005
Źródło: [169. TWG 2021]							

2.3.2.11.4 Dane dla emisji do powietrza

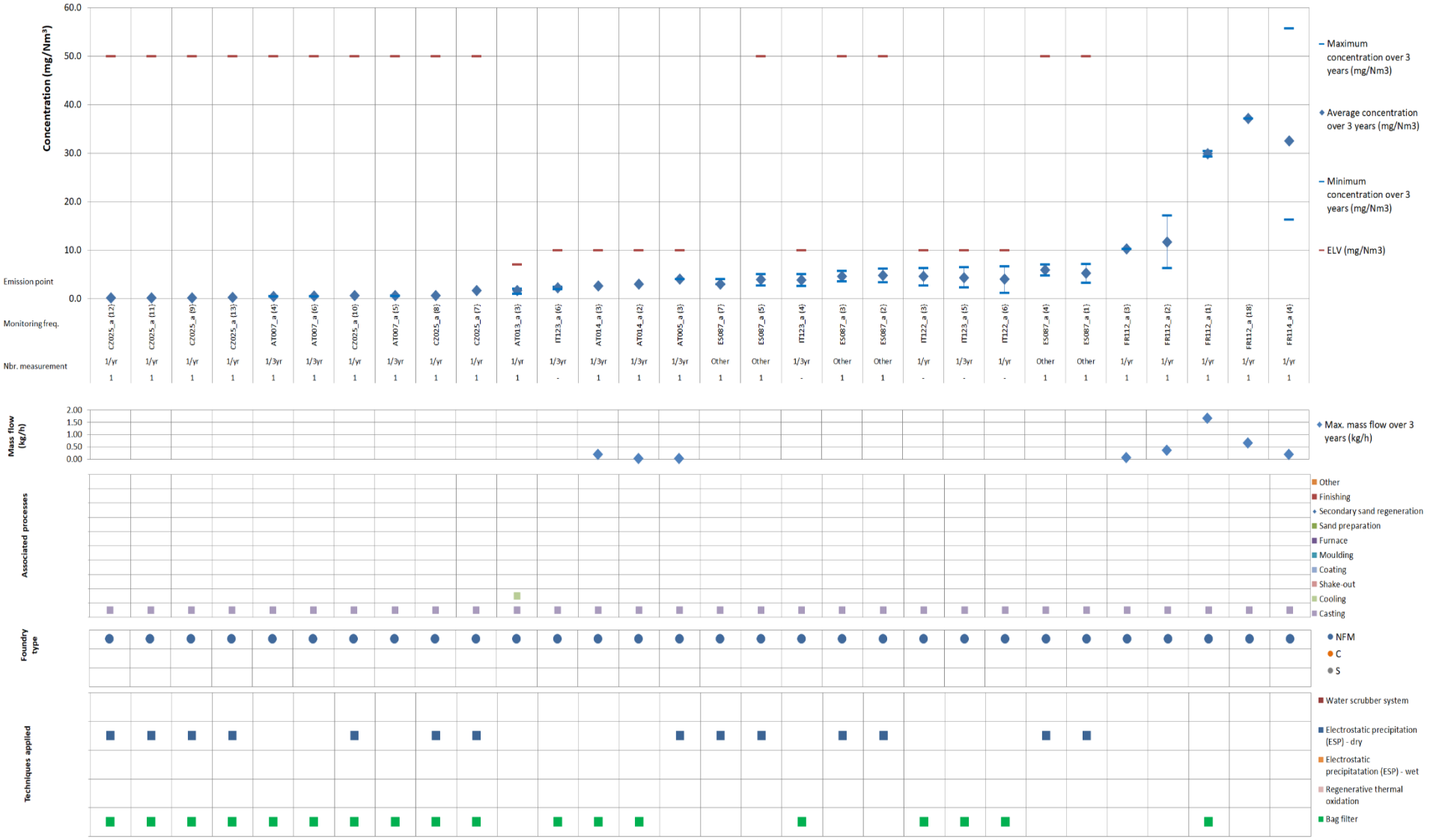
Struktura rysunków przedstawionych w tej sekcji została wyjaśniona w Sekcji 2.3.2.1.10.



Źródło: [169. TWG 2021]

Rysunek 2.105: Emisje pyłu z procesu odlewania w formach trwałych

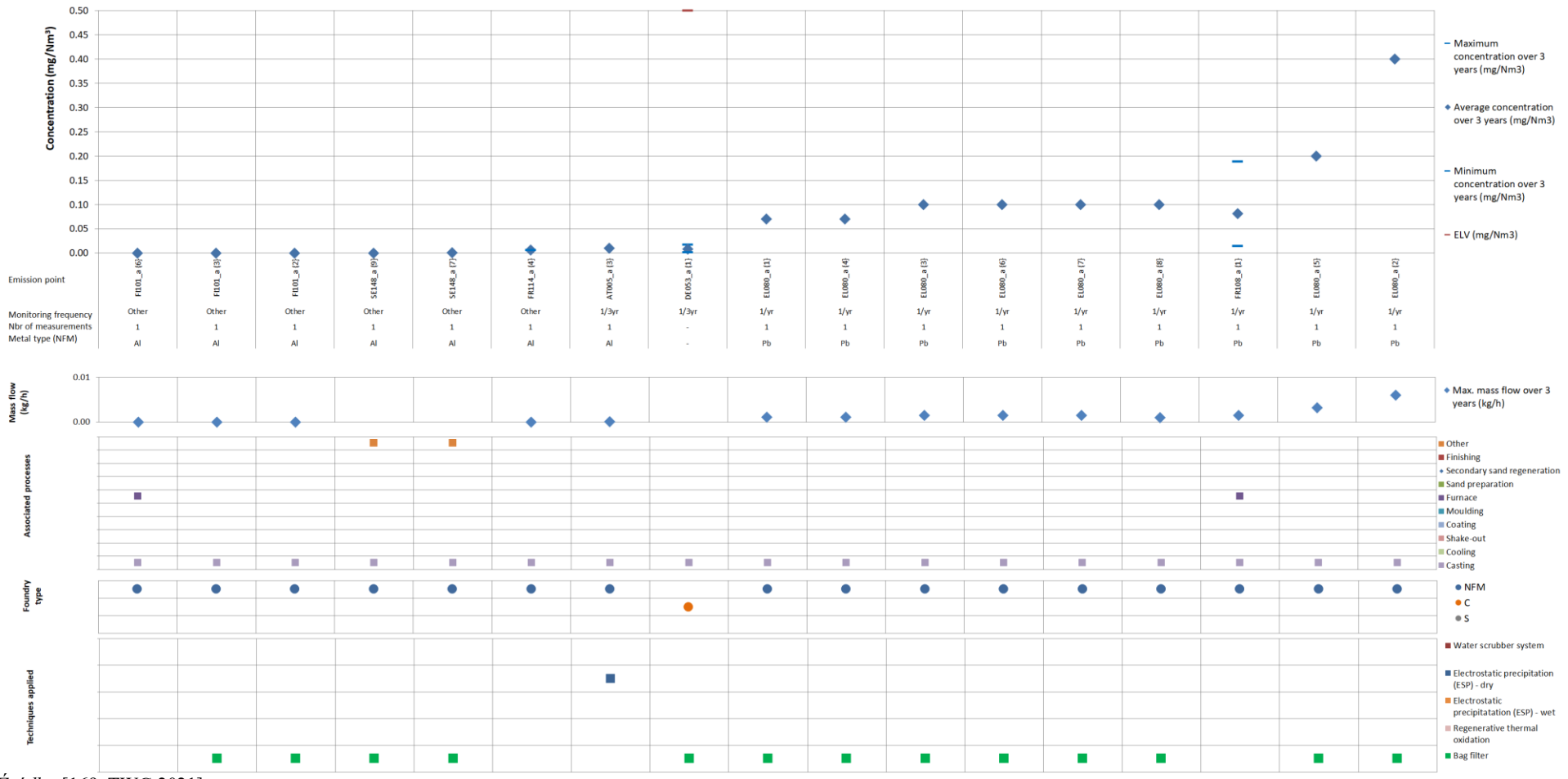
Concentration (mg/Nm^3)	Stężenie (mg/Nm^3)
Emission point	Punkt emisji
Monitoring freq.	Częstotliwość monitorowania
Nbr. measurement	Liczba pomiarów
Mass flow (kg/h)	Przepływ masowy (kg/h)
Associated processes	Powiązane procesy
Foundry type	Typ odlewni
Techniques applied	Zastosowane techniki
Maximum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Maksymalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Average concentration over 3 years (mg/Nm3)	Średnie stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Minimum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Minimalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
ELV (mg/Nm3)	Dopuszczalna wartość emisji (ELV) (mg/Nm^3)
Max. mass flow over 3 years (kg/h)	Maks. przepływ masowy w ciągu 3 lat (kg/h)
Other	Pozostałe
Finishing	Wykańczanie
Secondary sand regeneration	Wtórna regeneracja masy/piasku
Sand preparation	Przygotowanie piasku
Furnace	Piec
Moulding	Wykonywanie form
Coating	Powłoka
Shake-out	Wytrząsanie/wybijanie
Cooling	Chłodzenie
Casting	Odlewanie
NFM	Metali nieżelaznych
Water scrubber system	System płukania (oczyszczania) na mokro
Electrostatic precipitation (ESP) – dry	Wytrącanie elektrostatyczne (filtr elektrostatyczny - ESP) - suchy
Electrostatic precipitatation (ESP) – wet	Wytrącanie elektrostatyczne (filtr elektrostatyczny - ESP) - mokry
Regenerative thermal oxidation	Regeneracyjne utlenianie termiczne
Bag filter	Filtr workowy



Źródło: [169. TWG 2021]

Rysunek 2.106: Emisje całkowitego LZO z procesu odlewania w formach trwałych

Concentration (mg/Nm^3)	Stężenie (mg/Nm^3)
Emission point	Punkt emisji
Monitoring freq.	Częstotliwość monitorowania
Nbr. measurement	Liczba pomiarów
Mass flow (kg/h)	Przepływ masowy (kg/h)
Associated processes	Powiązane procesy
Foundry type	Typ odlewni
Techniques applied	Zastosowane techniki
Maximum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Maksymalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Average concentration over 3 years (mg/Nm3)	Średnie stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Minimum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Minimalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
ELV (mg/Nm3)	Dopuszczalna wartość emisji (ELV) (mg/Nm^3)
Max. mass flow over 3 years (kg/h)	Maks. przepływ masowy w ciągu 3 lat (kg/h)
Other	Pozostałe
Finishing	Wykańczanie
Secondary sand regeneration	Wtórna regeneracja masy/piasku
Sand preparation	Przygotowanie piasku
Furnace	Piec
Moulding	Wykonywanie form
Coating	Powłoka
Shake-out	Wytrząsanie/wybijanie
Cooling	Chłodzenie
Casting	Odlewanie
NFM	Metali nieżelaznych
Water scrubber system	System płukania (oczyszczania) na mokro
Electrostatic precipitation (ESP) – dry	Wytrącanie elektrostatyczne (filtr elektrostatyczny - ESP) - suchy
Electrostatic precipitatation (ESP) – wet	Wytrącanie elektrostatyczne (filtr elektrostatyczny - ESP) - mokry
Regenerative thermal oxidation	Regeneracyjne utlenianie termiczne
Bag filter	Filtr workowy



Źródło: [169. TWG 2021]

Rysunek 2.107: Emisje Pb z procesu odlewania w formach trwałych

Concentration (mg/Nm^3)	Stężenie (mg/Nm^3)
Emission point	Punkt emisji
Monitoring freq.	Częstotliwość monitorowania
Nbr. measurement	Liczba pomiarów
Mass flow (kg/h)	Przepływ masowy (kg/h)
Associated processes	Powiązane procesy

Foundry type	Typ odlewni
Techniques applied	Zastosowane techniki
Maximum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Maksymalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Average concentration over 3 years (mg/Nm3)	Średnie stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
Minimum concentration over 3 years (mg/Nm3)	Minimalne stężenie w ciągu 3 lat (mg/Nm^3)
ELV (mg/Nm3)	Dopuszczalna wartość emisji (ELV) (mg/Nm^3)
Max. mass flow over 3 years (kg/h)	Maks. przepływ masowy w ciągu 3 lat (kg/h)
Other	Pozostałe
Finishing	Wykańczanie
Secondary sand regeneration	Wtórna regeneracja masy/piasku
Sand preparation	Przygotowanie piasku
Furnace	Piec
Moulding	Wykonywanie form
Coating	Powłoka
Shake-out	Wytrząsanie/wybijanie
Cooling	Chłodzenie
Casting	Odlewanie
NFM	Metali nieżelaznych
Water scrubber system	System płukania (oczyszczania) na mokro
Electrostatic precipitation (ESP) – dry	Wytrącanie elektrostatyczne (filtr elektrostatyczny - ESP) - suchy
Electrostatic precipitatation (ESP) – wet	Wytrącanie elektrostatyczne (filtr elektrostatyczny - ESP) - mokry
Regenerative thermal oxidation	Regeneracyjne utlenianie termiczne
Bag filter	Filtr workowy

2.3.2.12 Wykańczanie

W odlewniach obróbka wykańczająca obejmuje szereg operacji mechanicznych wykonywanych po procesie odlewania, w tym usuwanie zadziorów, cięcie, dłutowanie, igłowanie, kucie, szlifowanie, śrutowanie i spawanie.
Materiały wsadowe/produkty wyjściowe dla procesu wykańczania przedstawiono w poniższej tabeli.

Wsad (materiał wsadowy)	**Produkt wyjściowy (produkt)**
- Niewykończone odlewy - Materiały ścierne - Woda, mydło - Energia elektryczna	- Gotowe odlewy - Pył *(piasek, cząstki metalu)* z operacji mechanicznych - Metale lotne, produkty spalania z operacji termicznych - Ścieki

2.3.2.12.1 Emisje pyłu

Zgłoszone poziomy emisji pyłu do powietrza z prac wykończeniowych przedstawiono na Rysunku 2.108, Rysunku 2.109, Rysunku 2.110 oraz Rysunku 2.111.
Niektóre dane statystyczne dotyczące zgłoszonych emisji pyłu przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 2.75: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji pyłu

Parametr	Liczba danych	Liczba punktów emisji	Liczba zakładów	90 percentyl	Średnia	Mediana	10 percentyl
				mg/Nm^3			
Pył	427	199	78	10,75	2,77	1,22	0,20
Uwaga: Powyższe dane odnoszą się do punktów emisji, które są związane wyłącznie z wykańczaniem. *Źródło:* [169. TWG 2021]							

2.3.2.12.2 Emisje całkowitych LZO

Niektóre dane statystyczne dotyczące zgłoszonych emisji całkowitych LZO przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 2.76: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji całkowitych LZO

Parametr	Liczba danych	Liczba punktów emisji	Liczba zakładów	90 percentyl	Średnia	Mediana	10 percentyl
				mg/Nm^3			
Całkowite LZO	18	12	6	5,08	3,62	3,80	2,16
Uwaga: Powyższe dane odnoszą się do punktów emisji, które są związane wyłącznie z wykańczaniem. *Źródło:* [169. TWG 2021]							

2.3.2.12.3 Emisje ołowiu (Pb)

Niektóre dane statystyczne dotyczące zgłoszonych emisji Pb przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 2.77: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji Pb

Parametr	Liczba danych	Liczba punktów emisji	Liczba zakładów	90 percentyl	Średnia	Mediana	10 percentyl
				mg/Nm^3			
Ołów (Pb)	29	18	7	0,009	0,0041	0,0018	0,00036
Uwaga: Powyższe dane odnoszą się do punktów emisji, które są związane wyłącznie z wykańczaniem. *Źródło:* [169. TWG 2021]							

2.3.2.12.4 Emisje niklu (Ni)

Niektóre dane statystyczne dotyczące zgłoszonych emisji Ni przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 2.78: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji Ni

Parametr	Liczba danych	Liczba punktów emisji	Liczba zakładów	90 percentyl	Średnia	Mediana	10 percentyl
				mg/Nm^3			
Nikiel (Ni)	44	23	10	0,01225	0,0047	0,0025	0,000643
Uwaga: Powyższe dane odnoszą się do punktów emisji, które są związane wyłącznie z wykańczaniem. *Źródło:* [169. TWG 2021]							

2.3.2.12.5 Emisje kadmu (Cd)

Niektóre dane statystyczne dotyczące zgłoszonych emisji Cd przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 2.79: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji Cd

Parametr	Liczba danych	Liczba punktów emisji	Liczba zakładów	90 percentyl	Średnia	Mediana	10 percentyl
				mg/Nm^3			
Kadm (Cd)	29	18	7	0,00134	0,0005	0,0002	0
Uwaga: Powyższe dane odnoszą się do punktów emisji, które są związane wyłącznie z wykańczaniem. *Źródło:* [169. TWG 2021]							

2.3.2.12.6 Emisje chromu (Cr)

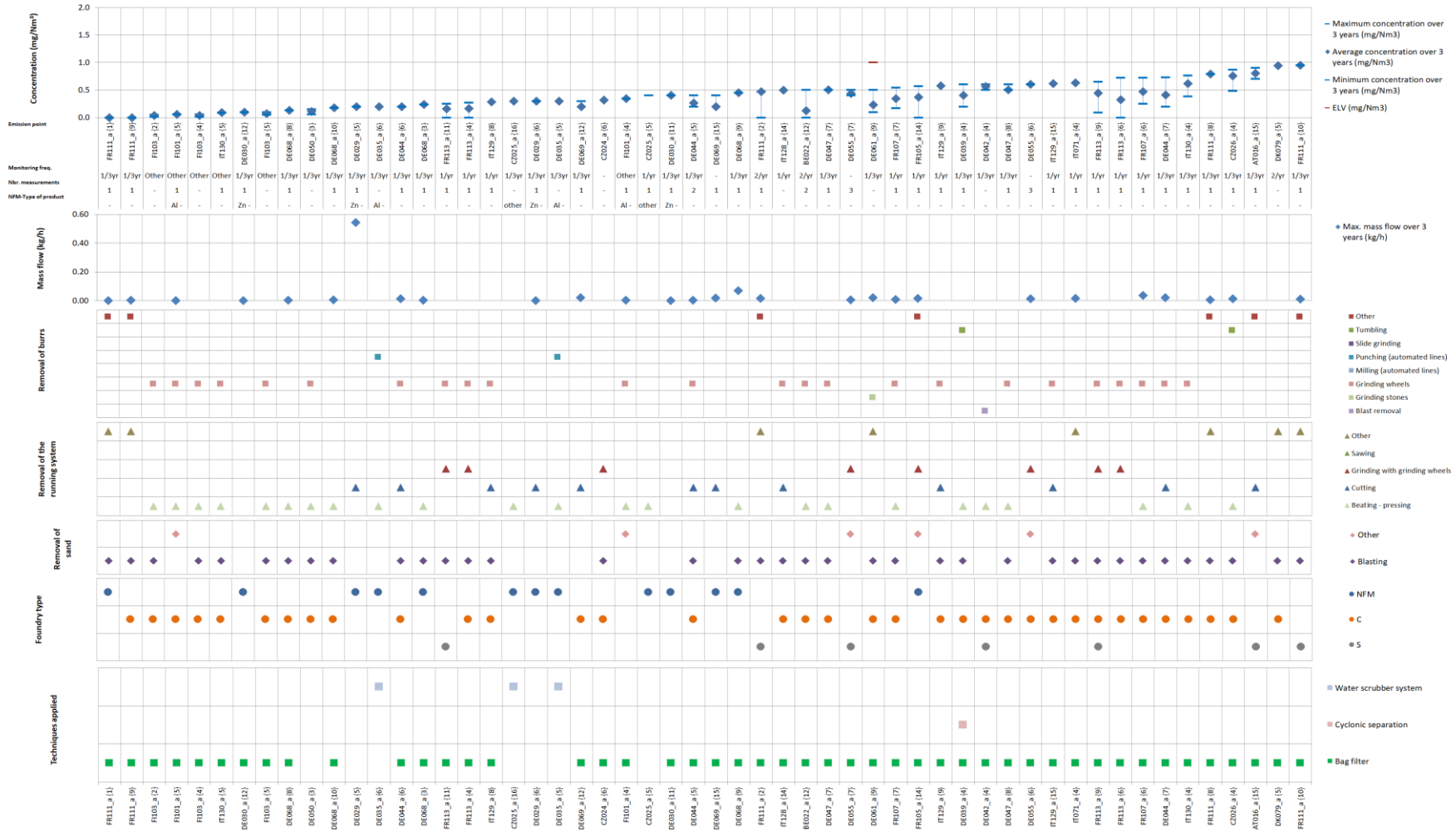
Niektóre dane statystyczne dotyczące zgłoszonych emisji Cr przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 2.80: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji Cr

Parametr	Liczba danych	Liczba punktów emisji	Liczba zakładów	90 percentyl	Średnia	Mediana	10 percentyl
				mg/Nm^3			
Chrom (Cr)	41	21	9	0,0743	0,0283	0,0134	0,001
Uwaga: Powyższe dane odnoszą się do punktów emisji, które są związane wyłącznie z wykańczaniem. *Źródło:* [169. TWG 2021]							

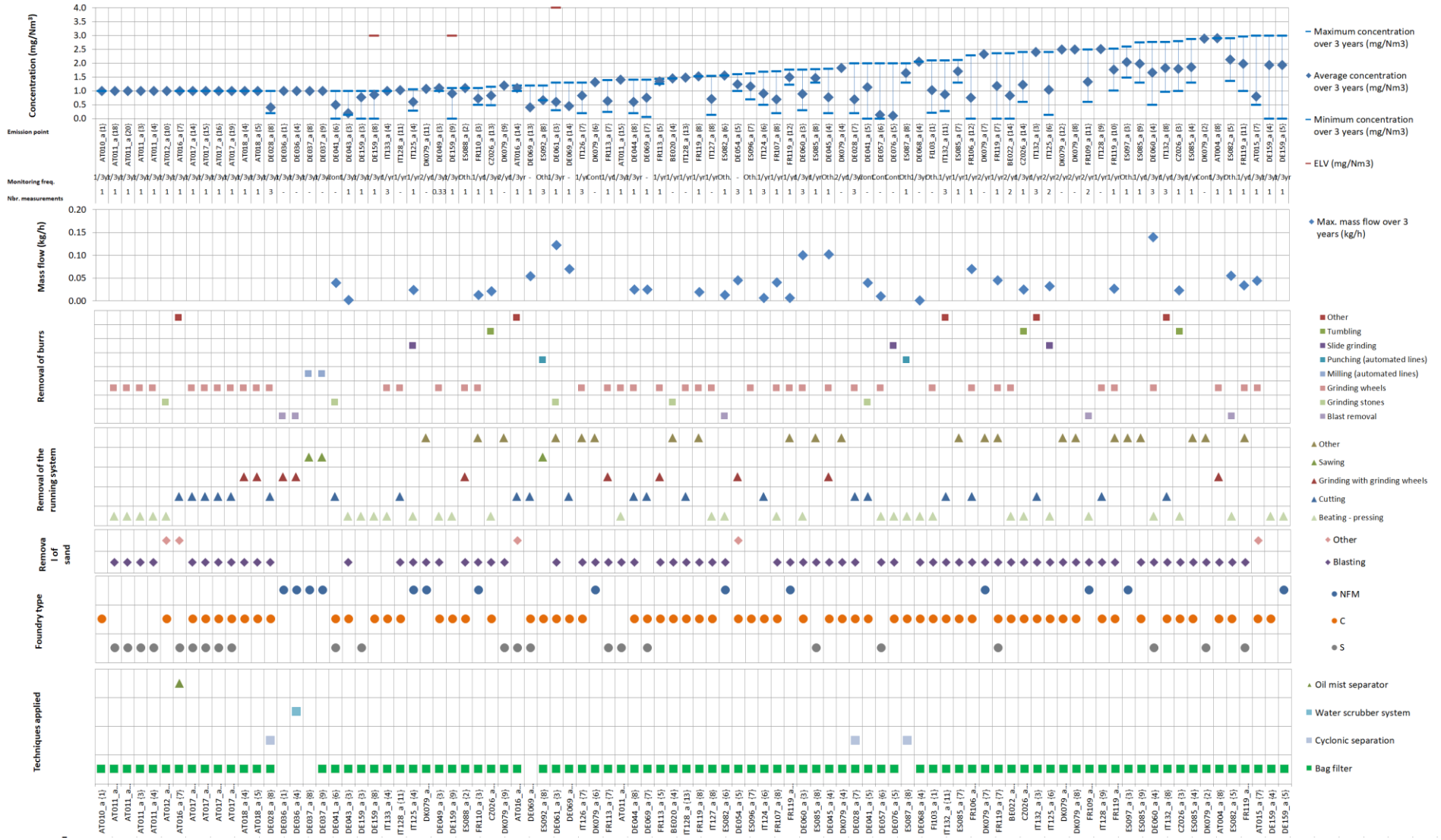
2.3.2.12.7 Dane dla emisji do powietrza

Struktura rysunków przedstawionych w tej sekcji została wyjaśniona w Sekcji 2.3.2.1.10.



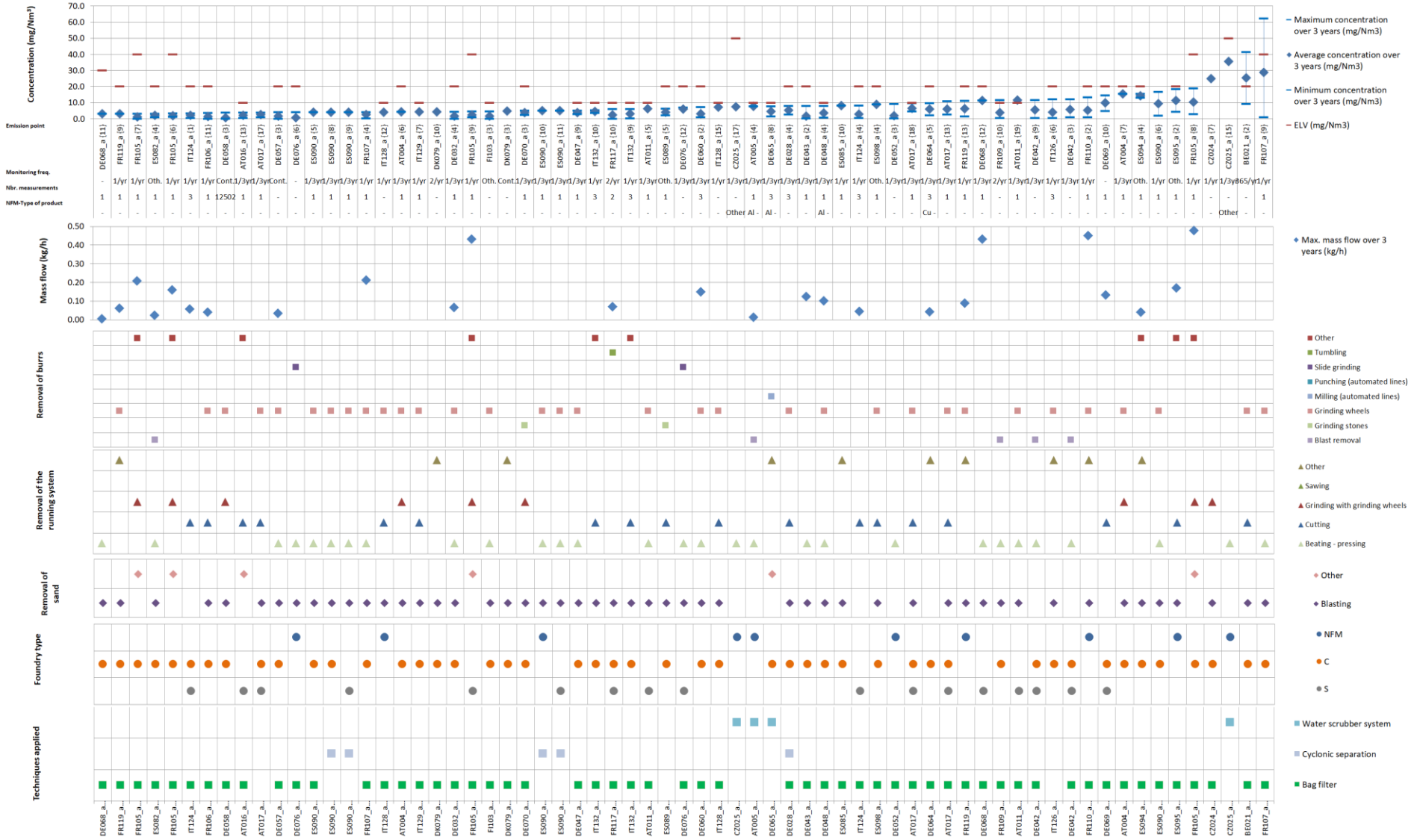
Uwaga: Dla lepszej wizualizacji, wartości ELV powyżej 2 mg/Nm³ nie są pokazane. Zakres ELV, który nie został pokazany, wynosi od 5 mg/Nm3 do 100 mg/Nm3.
Źródło: [169. TWG 2021]

Rysunek 2.108: Emisje pyłu z wykańczania (1/4)



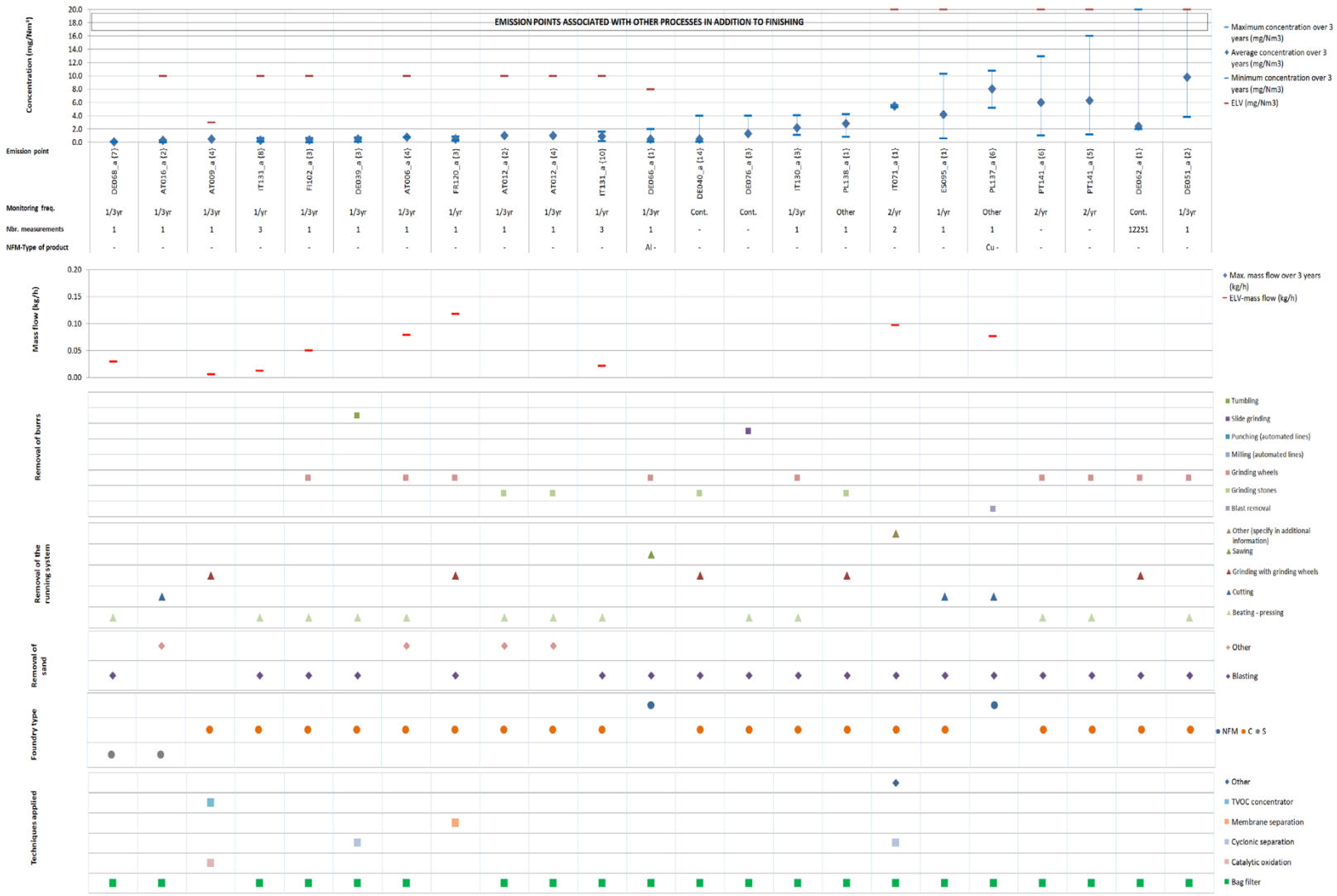
Uwaga: Dla lepszej wizualizacji, wartości ELV powyżej 4 mg/Nm³ nie są pokazane. Zakres ELV, który nie został pokazany, wynosi od 5 mg/Nm3 do 100 mg/Nm3.
Źródło: [169. TWG 2021]

Rysunek 2.109: Emisje pyłu z wykańczania (2/4)



Źródło: [169. TWG 2021]

Rysunek 2.110: Emisje pyłu z wykańczania (3/4)



Źródło: [169. TWG 2021]

Rysunek 2.111: Emisje pyłu z wykańczania i z innych procesów (4/4)

2.3.2.13 Odzyskiwanie i regeneracja piasku

W poniższych sekcjach przedstawiono dane dotyczące emisji dla procesów odzyskiwania (przygotowania) i regeneracji piasku.
Odzyskiwanie piasku oznacza wszelkie operacje mechaniczne związane z przygotowaniem i odzyskiwaniem piasku zielonego (bentonitu) i/lub naturalnego. Obejmuje to przesiewanie, usuwanie metali obcych, oddzielanie i usuwanie drobnych cząstek oraz aglomeratów o zbyt dużych rozmiarach. Następnie piasek jest schładzany i przekazywany do magazynowania/ponownego wykorzystania.
Z drugiej strony regeneracja piasku odnosi się do wszelkich operacji mechanicznych i/lub termicznych związanych z regeneracją piasku związanego chemicznie w celu usunięcia pozostałości spoiw. Obejmuje to wstępny etap mechaniczny (np. kruszenie, przesiewanie), a następnie procesy mechaniczne (np. ściernica, bęben udarowy) i/lub termiczne (np. piec ze złożem fluidalnym lub piec obrotowy).

2.3.2.13.1 Emisje pyłu

Zgłoszone poziomy emisji pyłu do powietrza z regeneracji i odzyskiwania piasku przedstawiono na Rysunku 2.112 oraz Rysunku 2.113.
Niektóre dane statystyczne dotyczące zgłoszonych emisji pyłu przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 2.81: Ocena statystyczna zgłoszonych danych dotyczących emisji pyłu

Parametr	Liczba danych	Liczba punktów pomiarowych	Liczba zakładów	90 percentyl	Wartość średnia	Mediana	10 percentyl
				mg/Nm³			
Pył	214	89	58	11,93	4,26	1,83	0,29
Uwaga: Powyższe dane odnoszą się wyłącznie do punktów pomiarowych związanych z procesami regeneracji i odzyskiwania piasku. *Źródło:* [169, TWG 2021].							

2.3.2.13.2 Emisje benzenu

W poniższej tabeli przedstawiono niektóre dane statystyczne dotyczące zgłoszonych emisji benzenu.

Tabela 2.82: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji benzenu

Parametr	Liczba danych	Liczba punktów pomiarowych	Liczba zakładów	90 percentyl	Wartość średnia	Mediana	10 percentyl
				mg/Nm³			
Benzen	25	10	8	1,53	0,51	0,15	0,10
Uwaga: Powyższe dane odnoszą się wyłącznie do punktów pomiarowych związanych z procesami regeneracji i odzyskiwania piasku. *Źródło:* [169, TWG 2021].							

2.3.2.13.3 Emisje formaldehydu

Niektóre dane statystyczne dotyczące zgłoszonych emisji formaldehydu przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 2.83 Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji formaldehydu

Parametr	Liczba danych	Liczba punktów pomiarowych	Liczba zakładów	90 percentyl	Wartość średnia	Mediana	10 percentyl
				mg/Nm³			
Formaldehyd	23	10	10	1,11	0,50	0,11	0,03
Uwaga: Powyższe dane odnoszą się wyłącznie do punktów pomiarowych związanych z procesami regeneracji i odzyskiwania piasku. *Źródło:* [169, TWG 2021].							

2.3.2.13.4 Emisje tlenków azotu NO_X

Zgłoszone poziomy emisji NO_X do powietrza z regeneracji i odzyskiwania piasku przedstawiono na Rysunku 2.114 oraz Rysunku 2.114.

Niektóre dane statystyczne dotyczące zgłoszonych emisji NO_X przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 2.84: Ocena statystyczna zgłoszonych danych dotyczących emisji NO_X

Parametr	Liczba danych	Liczba punktów pomiarowych	Liczba zakładów	90 percentyl	Wartość średnia	Mediana	10 percentyl
				mg/Nm³			
NO_X	29	13	10	125	29	11,5	1,7
Uwaga: Powyższe dane odnoszą się wyłącznie do punktów pomiarowych związanych z procesami regeneracji i odzyskiwania piasku. *Źródło:* [169, TWG 2021].							

2.3.2.13.5 Emisje dwutlenku siarki SO_2

Zgłoszone poziomy emisji SO_2 do powietrza z regeneracji i odzyskiwania piasku przedstawiono na Rysunku 2.115.
W poniższej tabeli przedstawiono niektóre dane statystyczne dotyczące zgłoszonych emisji SO_2.

Tabela 2.85: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji SO_2

Parametr	Liczba danych	Liczba punktów pomiarowych	Liczba zakładów	90 percentyl	Umiarkowana	Mediana	10 percentyl
				mg/Nm³			
SO_2	19	7	6	335	100	1,7	0,1
Uwaga: Powyższe dane odnoszą się wyłącznie do punktów pomiarowych związanych z procesami regeneracji i odzyskiwania piasku. *Źródło:* [169, TWG 2021]. *Źródło:* [169, TWG 2021].							

2.3.2.13.6 Emisje całkowitych LZO

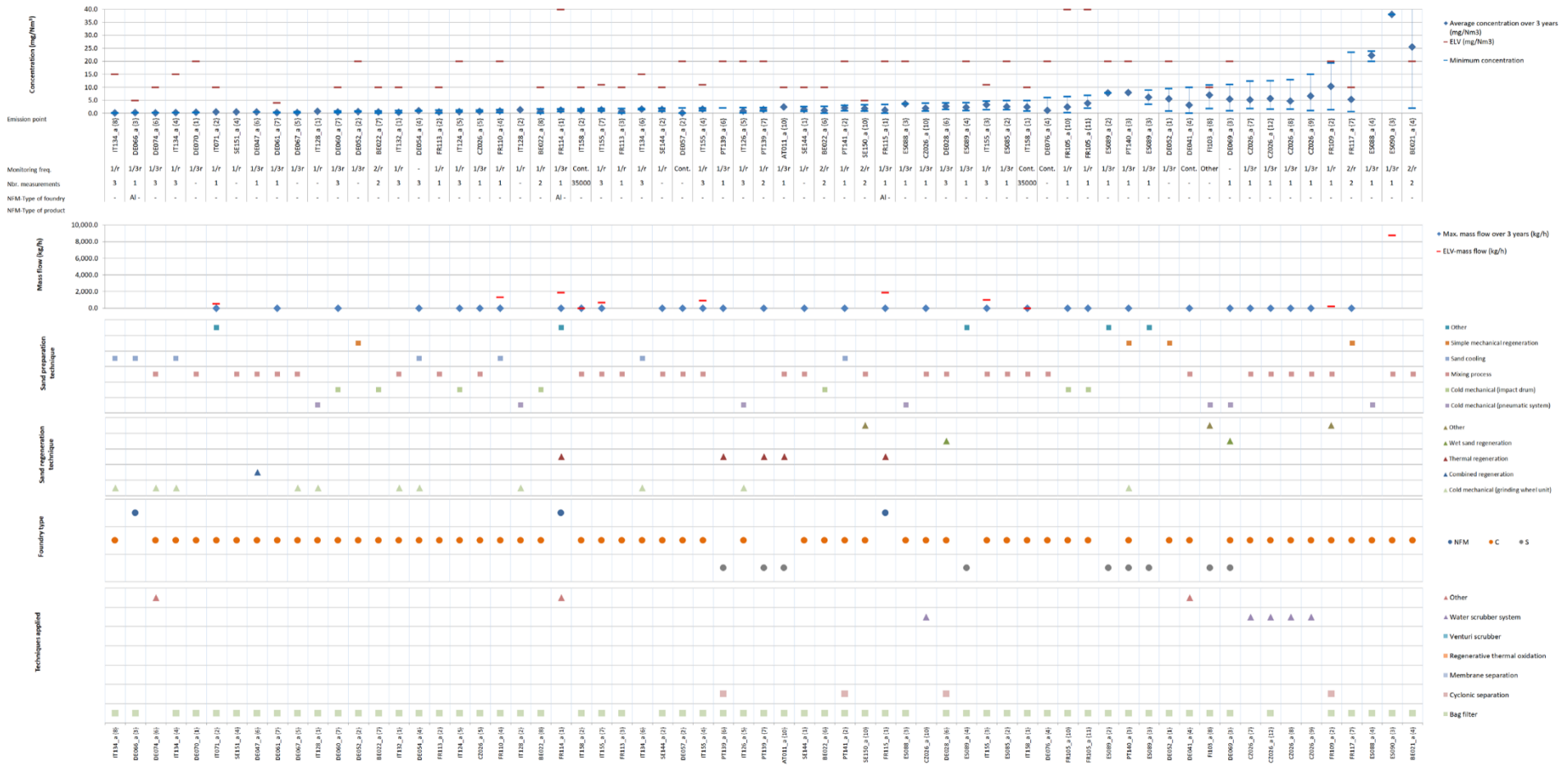
Zgłoszone poziomy emisji całkowitych LZO do powietrza z regeneracji i odzyskiwania piasku przedstawiono na Rysunku 2.116.
W poniższej tabeli przedstawiono niektóre dane statystyczne dotyczące zgłoszonych emisji całkowitych LZO.

Tabela 2.86: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji całkowitych LZO

Parametr	Liczba danych	Liczba punktów pomiarowych	Liczba zakładów	90 percentyl	Umiarkowana	Mediana	10 percentyl
				mg/Nm³			
Całkowite LZO	32	16	13	61,73	31,79	7,90	1,06
Uwaga: Powyższe dane odnoszą się wyłącznie do punktów pomiarowych związanych z procesami regeneracji i odzyskiwania piasku. *Źródło:* [169, TWG 2021]. *Źródło:* [169, TWG 2021].							

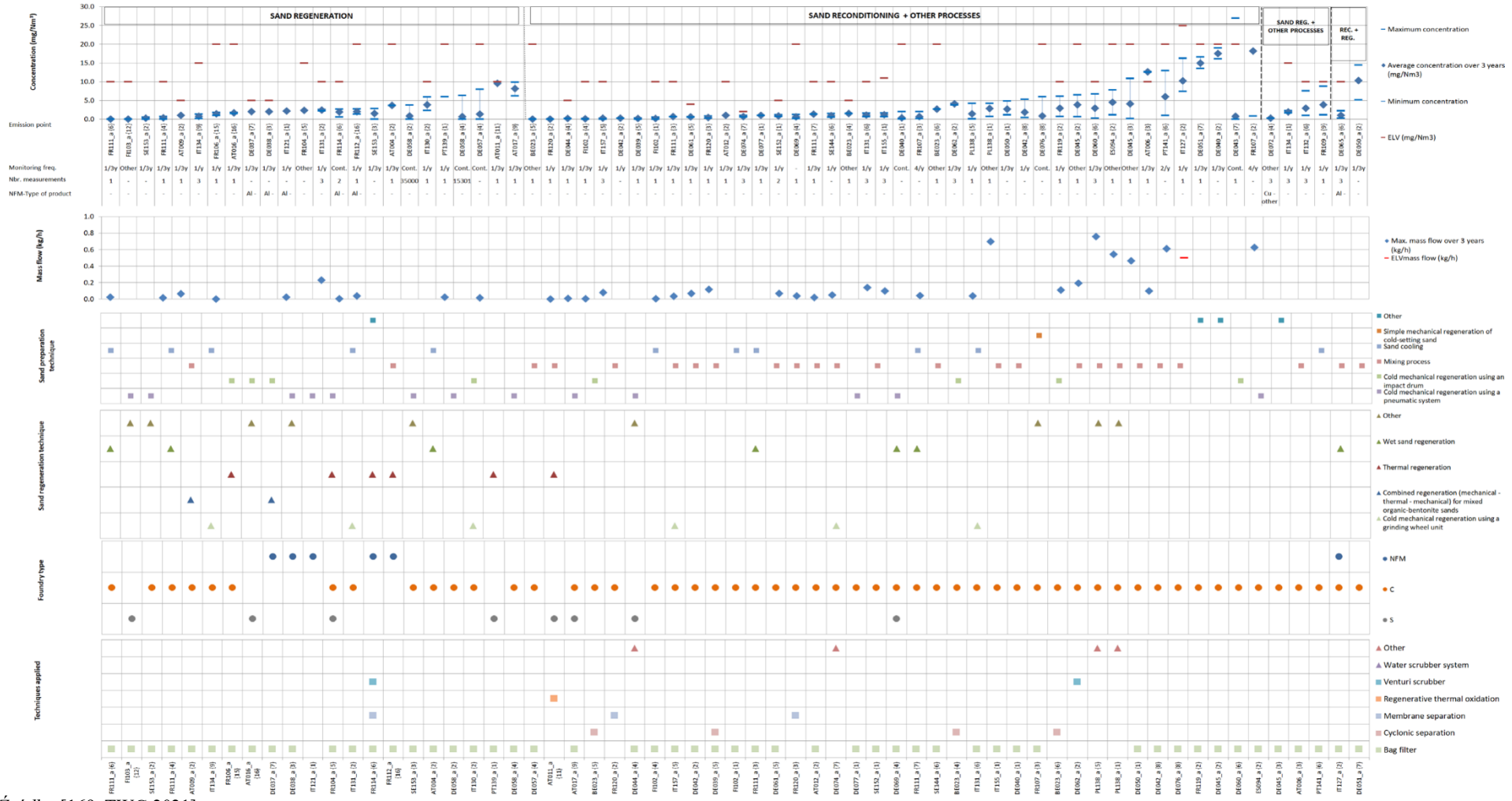
2.3.2.13.7 Dane dotyczące emisji do powietrza

Struktura danych przedstawionych w niniejszej sekcji została wyjaśniona w sekcji 2.3.2.1.10.



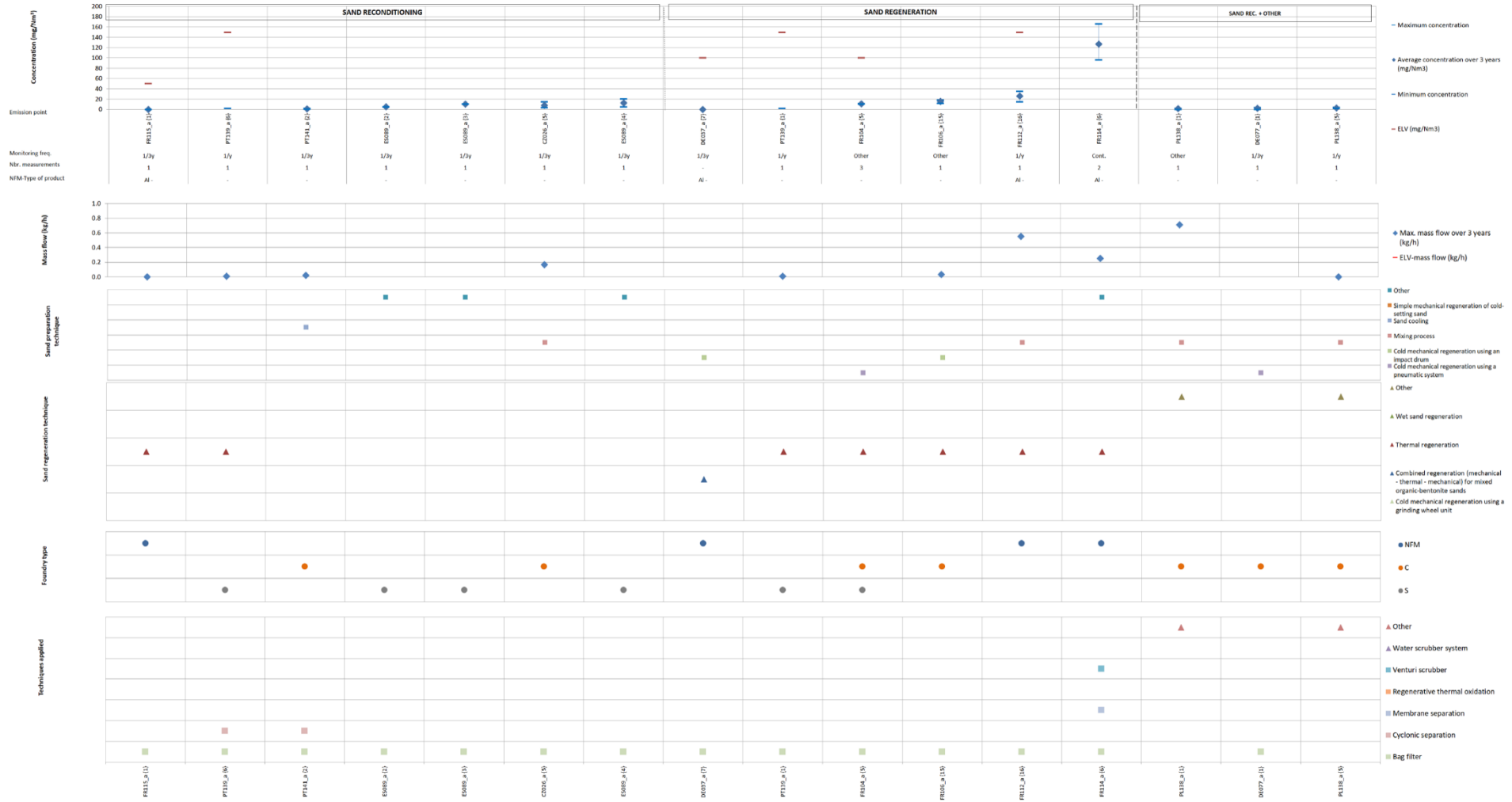
Uwaga: Dla lepszej wizualizacji nie pokazano dopuszczalnych wartości emisji (ELV) powyżej 40 mg/Nm^3. Nie pokazano także zakresu wartości ELV od 50 mg/Nm^3 do 150 mg/Nm^3.
Dla lepszej wizualizacji wartość podana przez zakład BE021_a {4} (maks. = 103,3 mg/Nm^3) nie została pokazana na rysunku.
Źródło: [169, TWG 2021].

Rysunek 2.112: Emisje pyłu podczas odzyskiwania piasku (1/2)



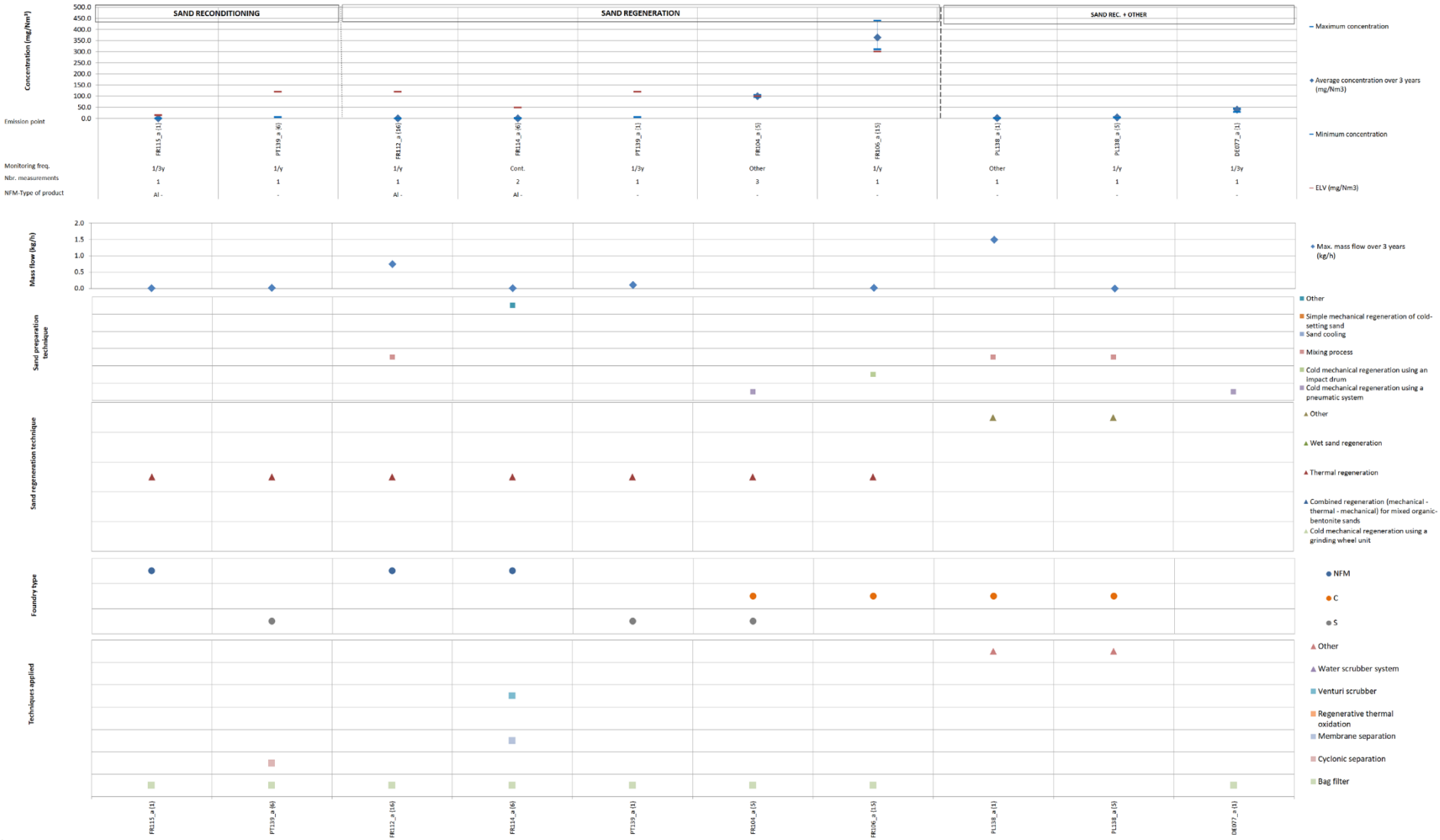
Źródło: [169, TWG 2021].

Rysunek 2.113: Emisje pyłu podczas odzyskiwania i regeneracji piasku (2/2)



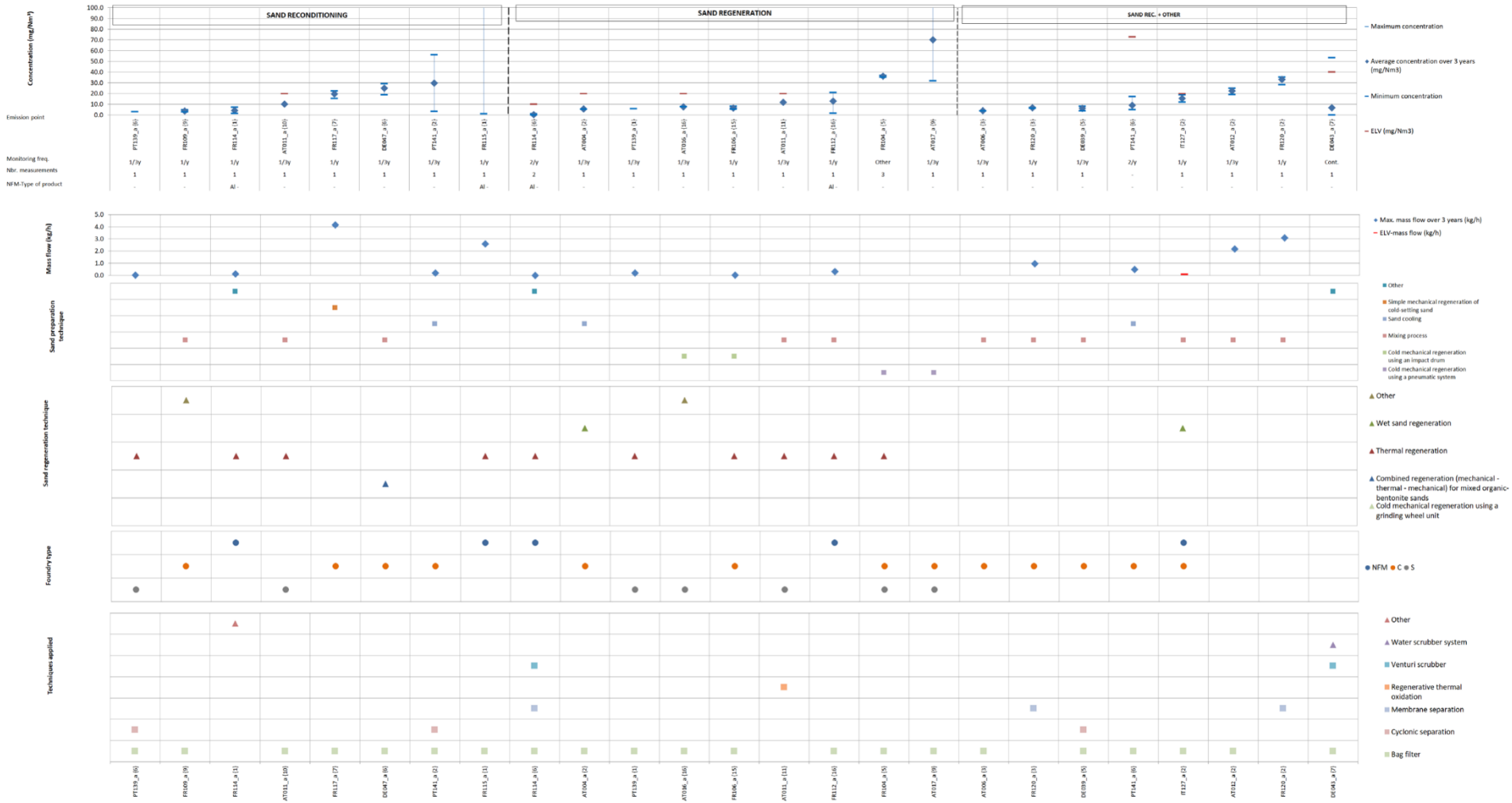
Źródło: [169, TWG 2021].

Rysunek 2.114: Emisje NO_X podczas odzyskiwania i regeneracji piasku



Źródło: [169, TWG 2021].

Rysunek 2.115: Emisje SO_2 podczas odzyskiwania i regeneracji piasku



Źródło: [169, TWG 2021].

Rysunek 2.116: Emisje całkowitych LZO podczas odzyskiwania i regeneracji piasku

2.3.3 Emisje do wody

Ta sekcja zawiera informacje na temat emisji do wody z odlewni (bezpośredni i pośredni zrzut do zbiornika przyjmującego).
Dane dotyczące emisji do wody składają się z czterech sekcji:

- Górna część (sekcja) przedstawia maksymalne i minimalne stężenie w każdym z 3 lat sprawozdawczych oraz średnią wartość uzyskaną w całym okresie sprawozdawczym. Poniżej osi X znajdują się informacje, takie jak punkt uwolnienia, częstotliwość monitorowania i liczba zgłoszonych pomiarów.
- Druga część (sekcja) przedstawia średnie wartości stężenia masowego, albo dla maksymalnego stężenia uzyskanego w okresie sprawozdawczym, albo średnią dla roku, w którym uzyskano maksymalne stężenie.
- Trzecia część (sekcja) wykresu zawiera informacje na temat procesów związanych z wytwarzaniem ścieków.
- Czwarta część (sekcja) wykresu zawiera informacje na temat zastosowanych kandydatów na BAT.

Wszystkie liczby zostały uporządkowane rosnąco według maksymalnych wartości stężeń dla 3 lat sprawozdawczych.

Poniższe tabele zawierają przegląd zgłoszonych danych dotyczących emisji do wody (bezpośrednich i pośrednich).

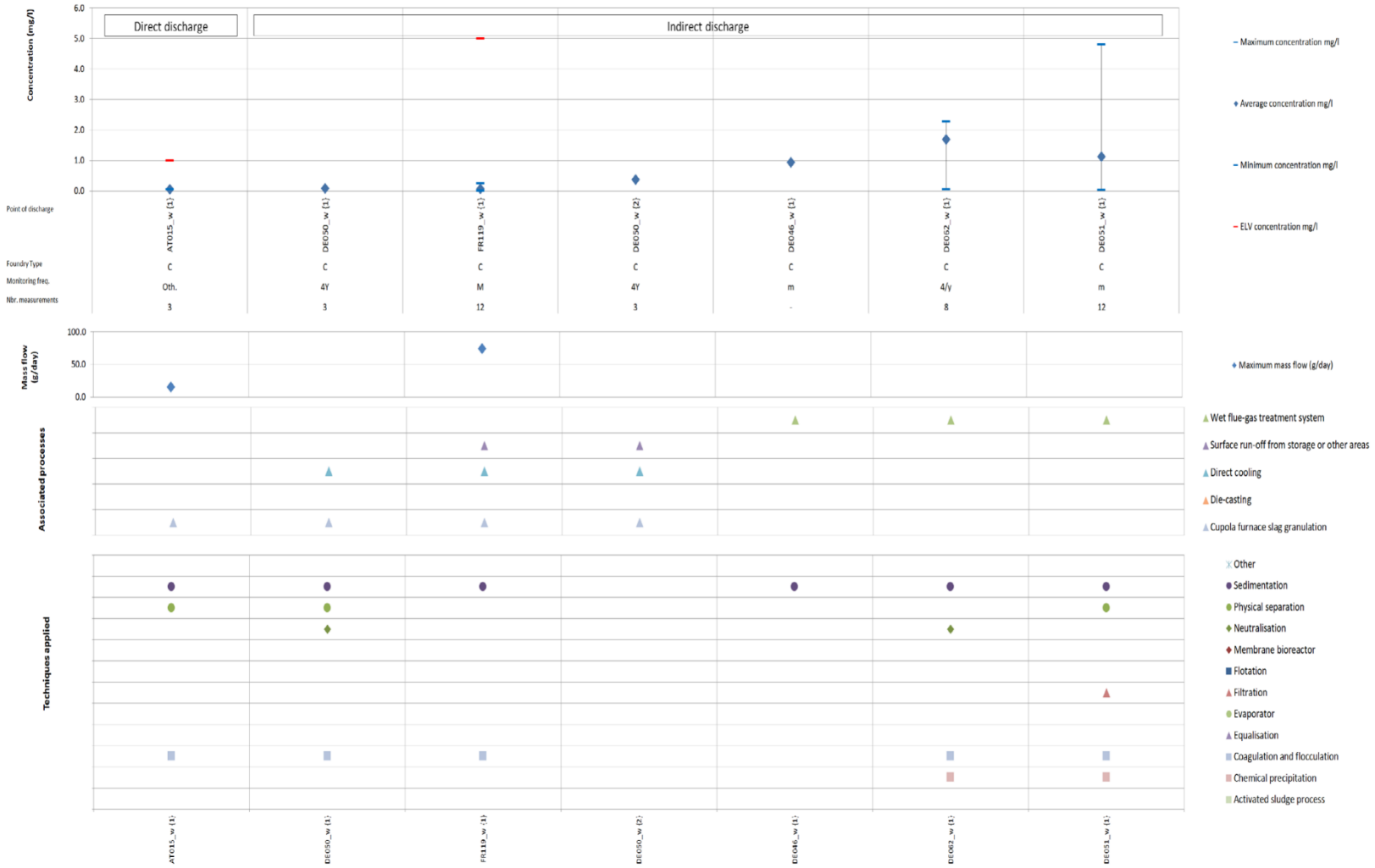
Tabela 2.87: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji dla zrzutu bezpośredniego

Substancja/ parametr	Liczba punktów emisji	Maks. stężenie	80 percentyl	Wartość średnia	Mediana	20 percentyl
		mg/l				
ChZT	12	120	49	38,1	30	12
Zawiesina ogólna	10	120	28,2	27,3	17,4	9,6
Zn	8	0.8	-	0,2	0,1	-
Fe	7	5,5	-	1,6	1,1	-
Ni	6	0,12	-	0,02	0,01	-
Azot ogólny	6	25,4	-	12,1	8,9	-
As	5	0,06	-	0,01	-	-
Cr	5	0,01	-	0,0033	0,0003	-
Cu	5	0,6	-	0,062	0,003	-
Indeks oleju	5	1,29	-	0,39	0,10	-
Cd	4	0,01	-	0,0011	0,004	-
Oleje/węglowodory ogółem	4	1,0	-	0,29	0,10	-
Pb	4	0,02	-	0,006	0,00004	-
Fosfor ogólny	4	1,0	-	0,39	0,3	-
Al	3	0,8	-	0,3	0,34	-
Adsorbowalne	2	0,14	-	0,12	-	-
BZT5	2	14	-	12	-	-

Tabela 2.88: Statystyczna ocena zgłoszonych danych dotyczących emisji dla zrzutu pośredniego

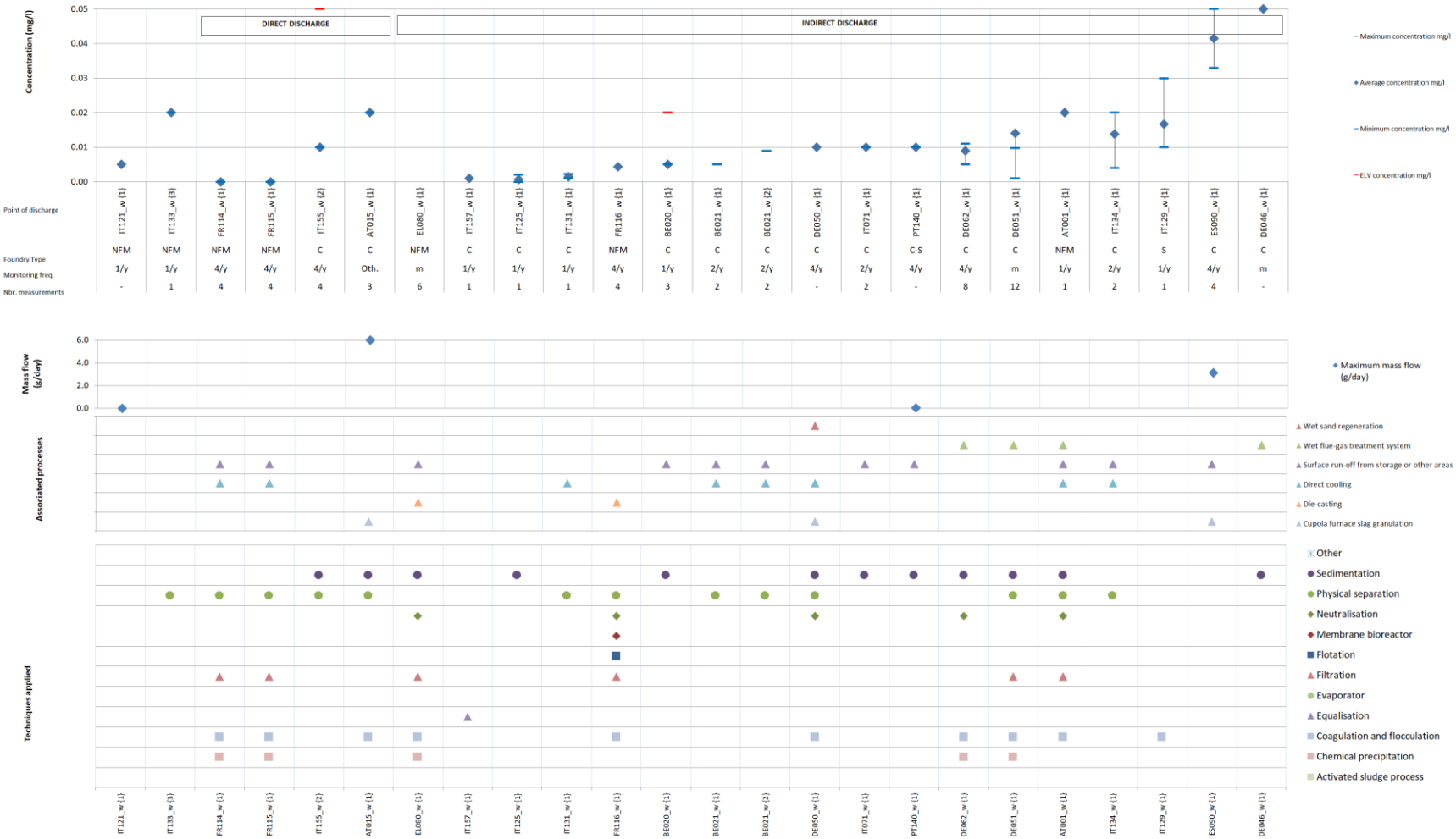
Substancja/ parametr	Liczba punktów emisji	Maks. stężenie	80 percentyl	Umiarkowana	Mediana	20 percentyl
		mg/l				
ChZT	38	43 800	1 340	2 222	67	27,8
TSS	33	408	160	85,6	56,3	16
Zn	50	4,9	0,82	0,43	0,13	0,04
Fe	11	35	4,52	4,17	1,1	0,19
Ni	33	2,5	0,08	0,09	0,01	0,004
Azot ogólny	24	120	42,4	23,2	10,4	2,77
Fluor	5	6,64	-	2,44	0,74	-
As	17	0,05	0,026	0,0086	0,005	0,0021
Cr	34	1,3	0,04	0,05	0,01	0,004
Cu	41	0,7	0,13	0,08	0,04	0,02
Indeks oleju	18	2 410	15	162,32	1,2	0,7
Cd	20	0,02	0,0047	0,0022	0,0008	0,0001
Oleje/węglowodory ogółem	24	25,30	9,33	4,42	10,4	0,16
Pb	38	0,35	0,05	0,034	0,01	0,003
Fosfor ogólny	9	1.3	0,04	0,05	0,01	0,002
Al	11					
Adsorbowalne	23	4,8	1,6	0,72	0,22	0,05
Hg	11	0,0019	0,0012	0,0003	0,0002	0,0001
Fenole (indeks fenolowy)	10	2,6	0,4	0,27	0,059	0,0058
Mn	6	0,51	-	0,13	0,05	-

2.3.3.1 Dane dotyczące emisji do wody



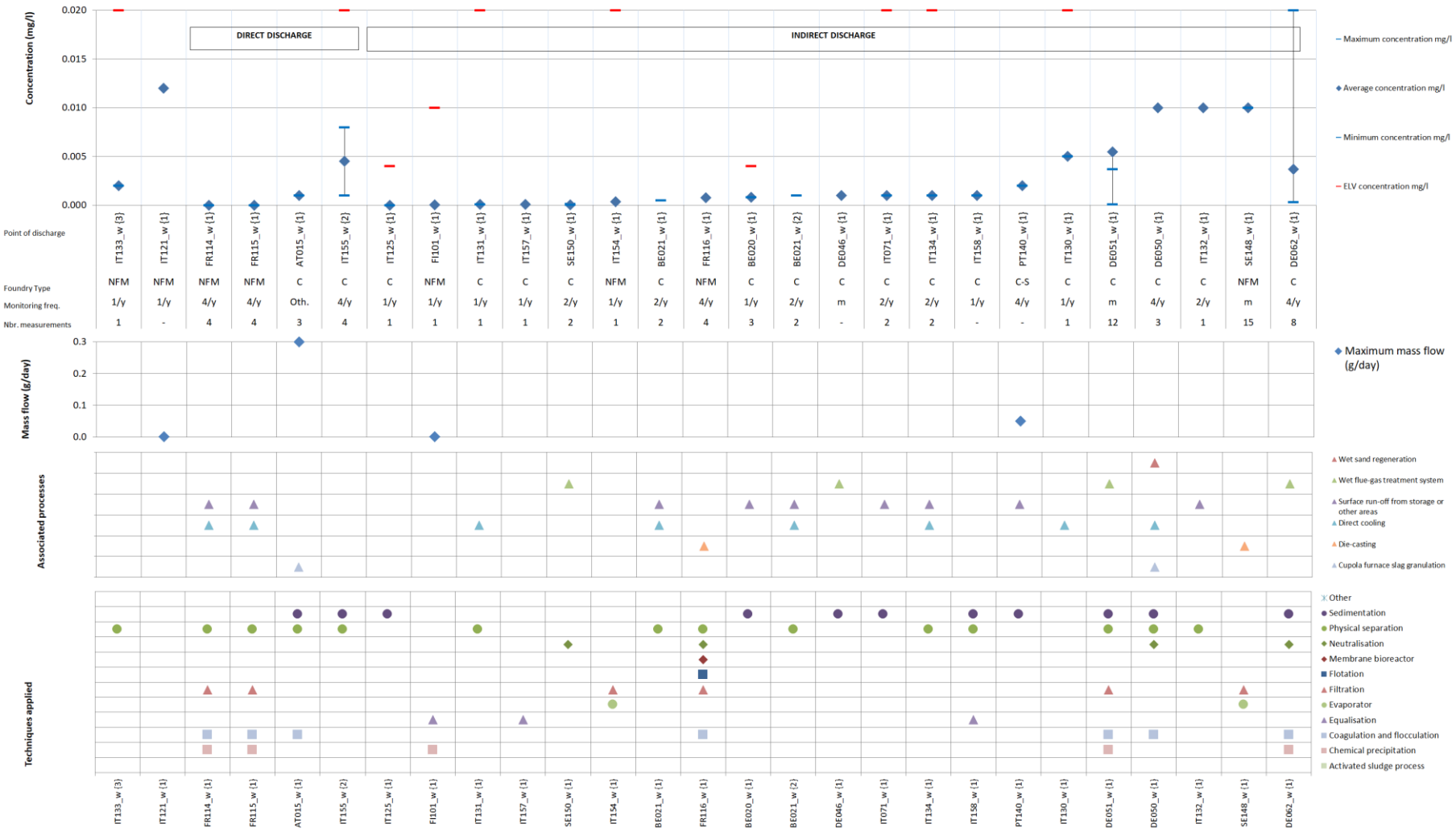
Źródło: [169, TWG 2021].

Rysunek 2.117: Emisje adsorbowalnych związków chlorganicznych (AOX) dla bezpośrednich i pośrednich zrzutów z oczyszczania/płukania na mokro oraz granulacji żużla w odlewniach żeliwa wykorzystujących żeliwiaki



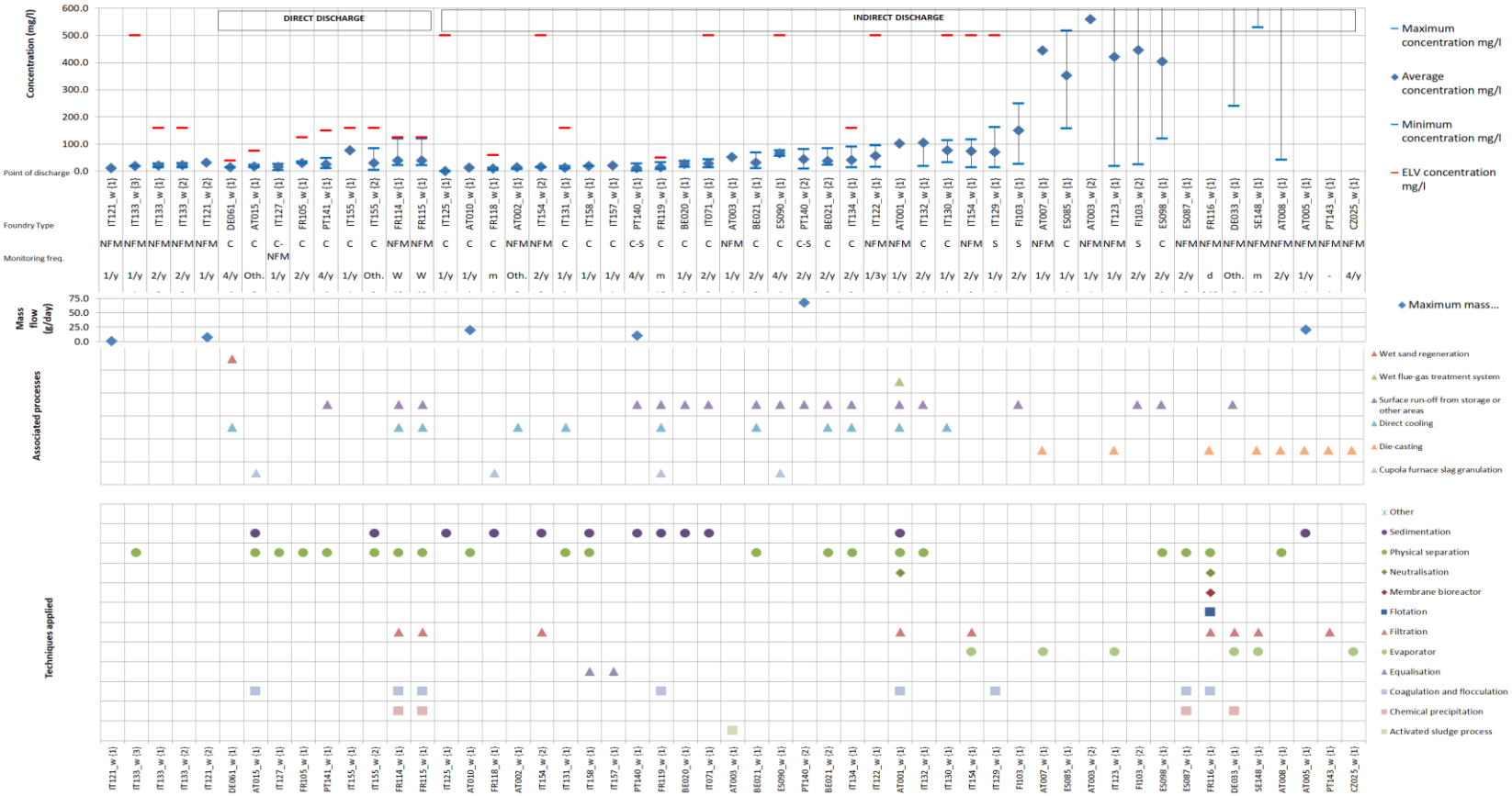
Uwaga: Dla lepszej wizualizacji nie pokazano dopuszczalnych wartości emisji (ELV) powyżej 0,05 mg/l. Nie pokazano także zakresu wartości ELV od 0,1 mg/l do 1 mg/l.
(*) Zakład IT157_w {1} oraz AT001_w {1} zgłosiły % ścieków odprowadzanych z odlewni poniżej 50%.
Źródło: [169, TWG 2021].

Rysunek 2.118: Emisje arsenu (As) dla zrzutów bezpośrednich i pośrednich



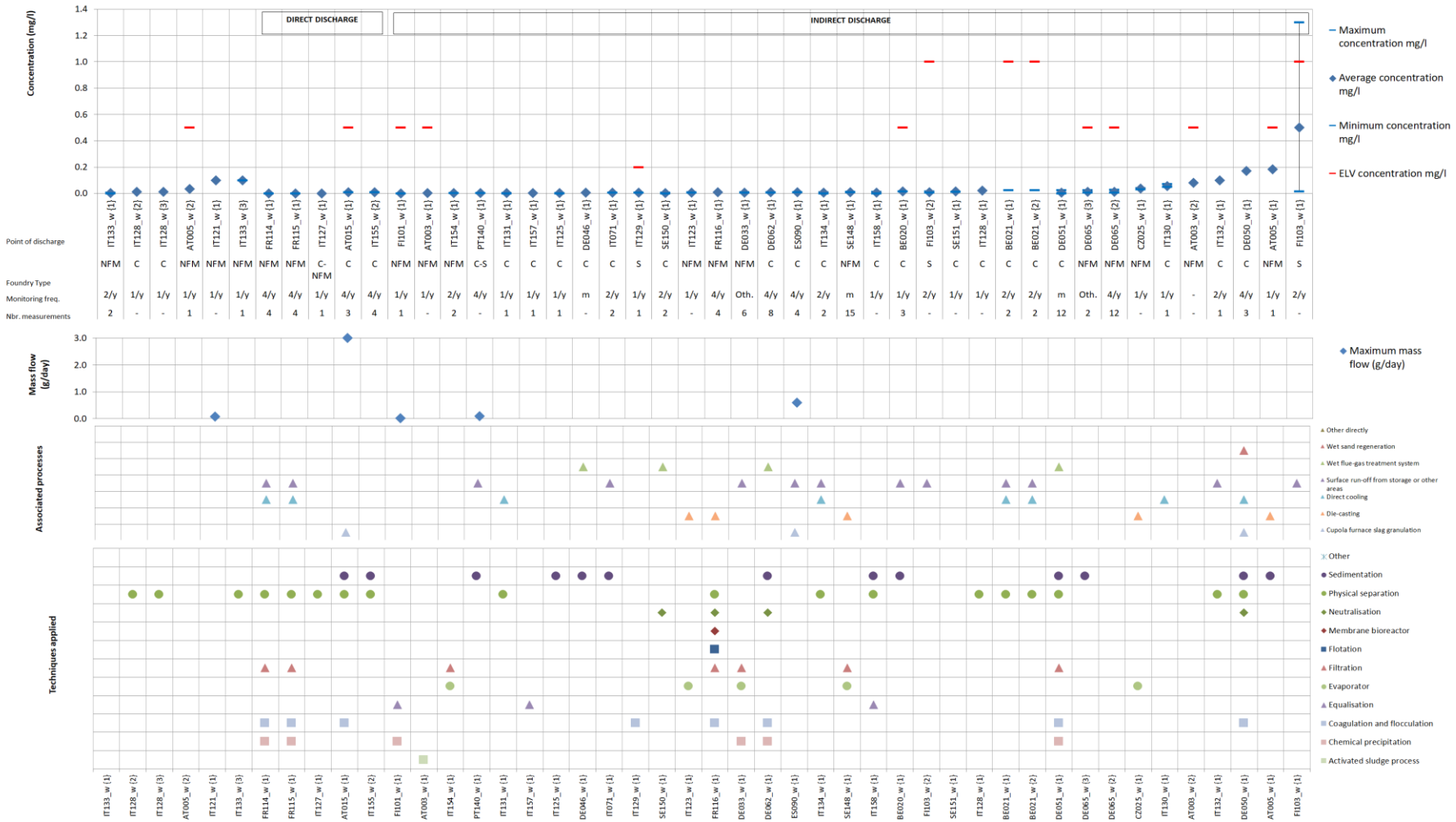
Uwaga: Dla lepszej wizualizacji, wartość ELV podana przez zakład AT015_w {1} wynosząca 0,1 mg/l nie została pokazana.
(*) Zakład IT157_w {1} zgłosił % ścieków odprowadzanych z odlewni poniżej 50%.
Źródło: [169, TWG 2021].

Rysunek 2.119: Emisje kadmu (Cd) dla zrzutów bezpośrednich i pośrednich



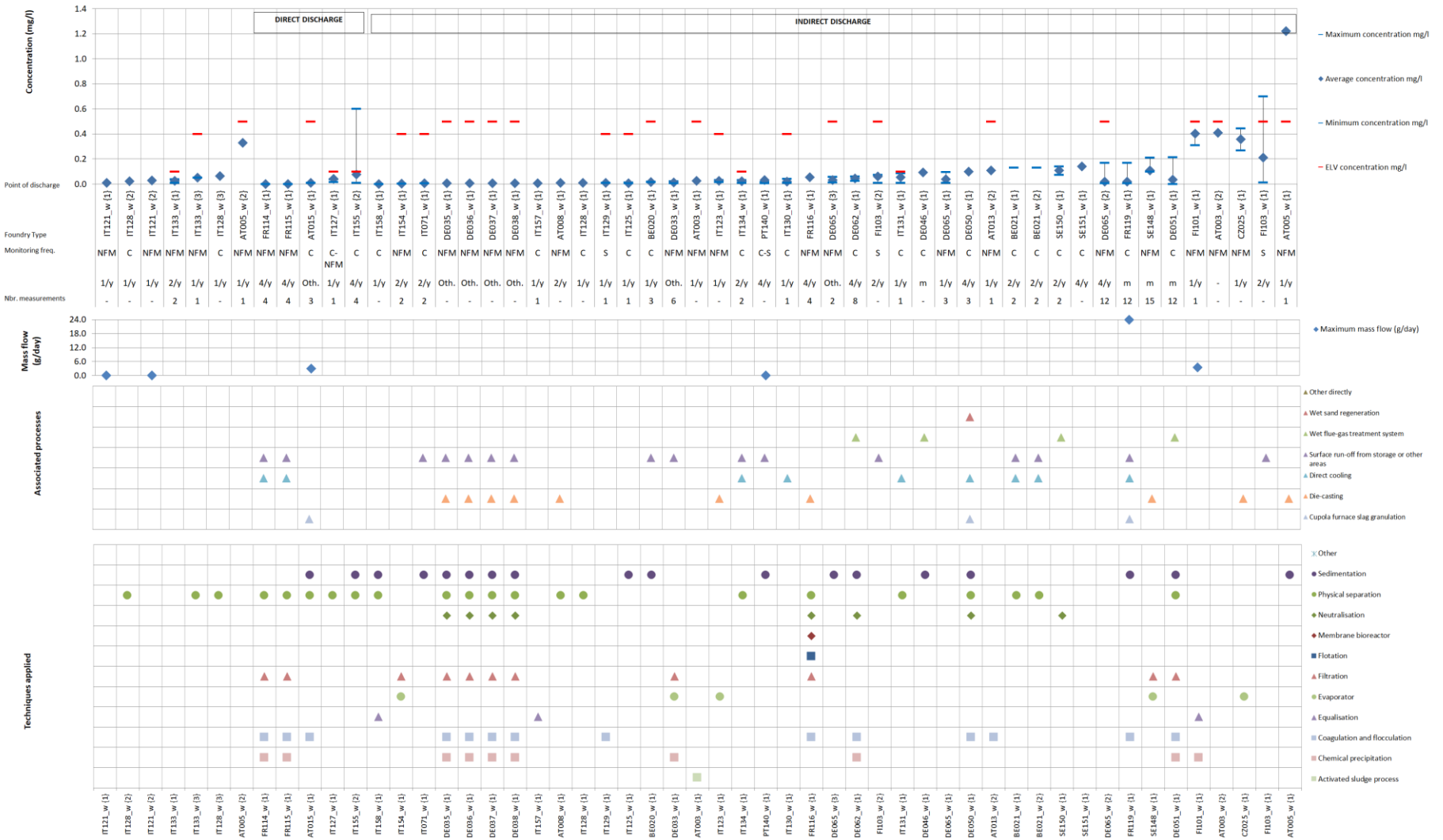
Uwaga: Dla lepszej wizualizacji nie pokazano dopuszczalnych wartości emisji (ELV) powyżej 600 mg/l. Nie pokazano także zakresu wartości ELV od 150 mg/l do 160 mg/l. Dla lepszej wizualizacji, wartości podane przez zakład ES098_w {1} (maks. = 1 200 mg/l), ES087_w {1} (śr. = 1 170 mg/l, maks. = 1 900 mg/l), zakład FR116_w {1} (śr. = 2 179 mg/l), zakład DE033_w {1} (maks. = 2 900 mg/l), zakład SE148_w {1} (śr. = 1 595 mg/l, maks. = 4 100 mg/l), zakład AT008_w {1} (śr. = 1 755 mg/l, maks. = 7 550 mg/l), zakład AT005_w {1} (śr. = 8 700 mg/l), zakład PT143_w {1} (maks. = 12 000 mg/l) oraz zakład CZ025_w {1} (min. = 23 300 mg/l, śr. = 32 260 mg/l, maks. = 43 800 mg/l) nie zostały na rysunku pokazane. (*) Zakłady IT157_w {1}, AT001_w {1} oraz CZ025_w {1} zgłosiły % ścieków odprowadzanych z odlewni poniżej 50%.
Źródło: [169, TWG 2021].

Rysunek 2.120: Emisje ChZT dla zrzutów bezpośrednich i pośrednich



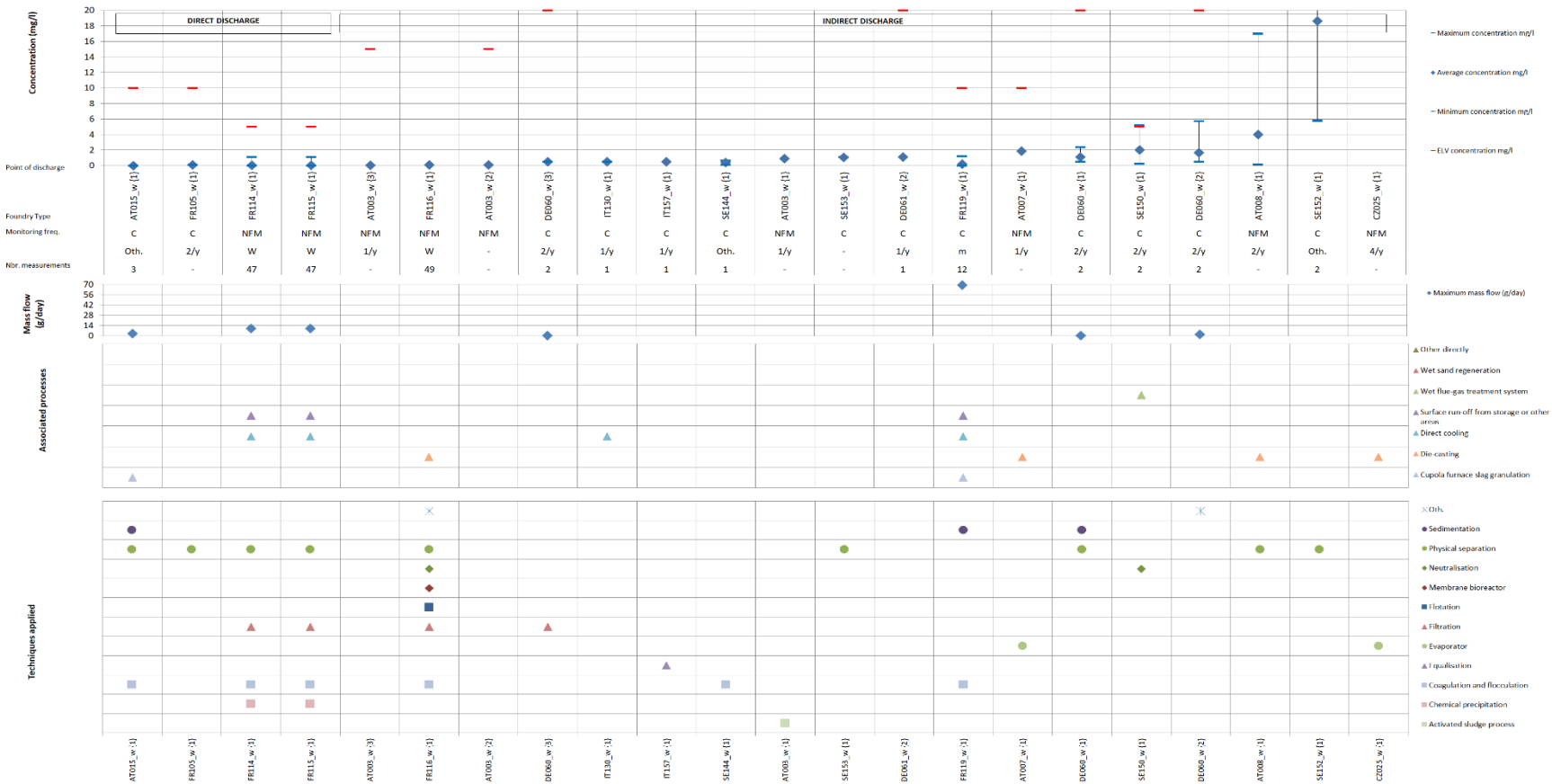
(*) Zakłady IT157_w {1} oraz CZ025_w {1} zgłosiły % ścieków odprowadzanych z odlewni poniżej 50%.
Źródło: [169, TWG 2021].

Rysunek 2.121: Emisje chromu (Cr) dla zrzutów bezpośrednich i pośrednich



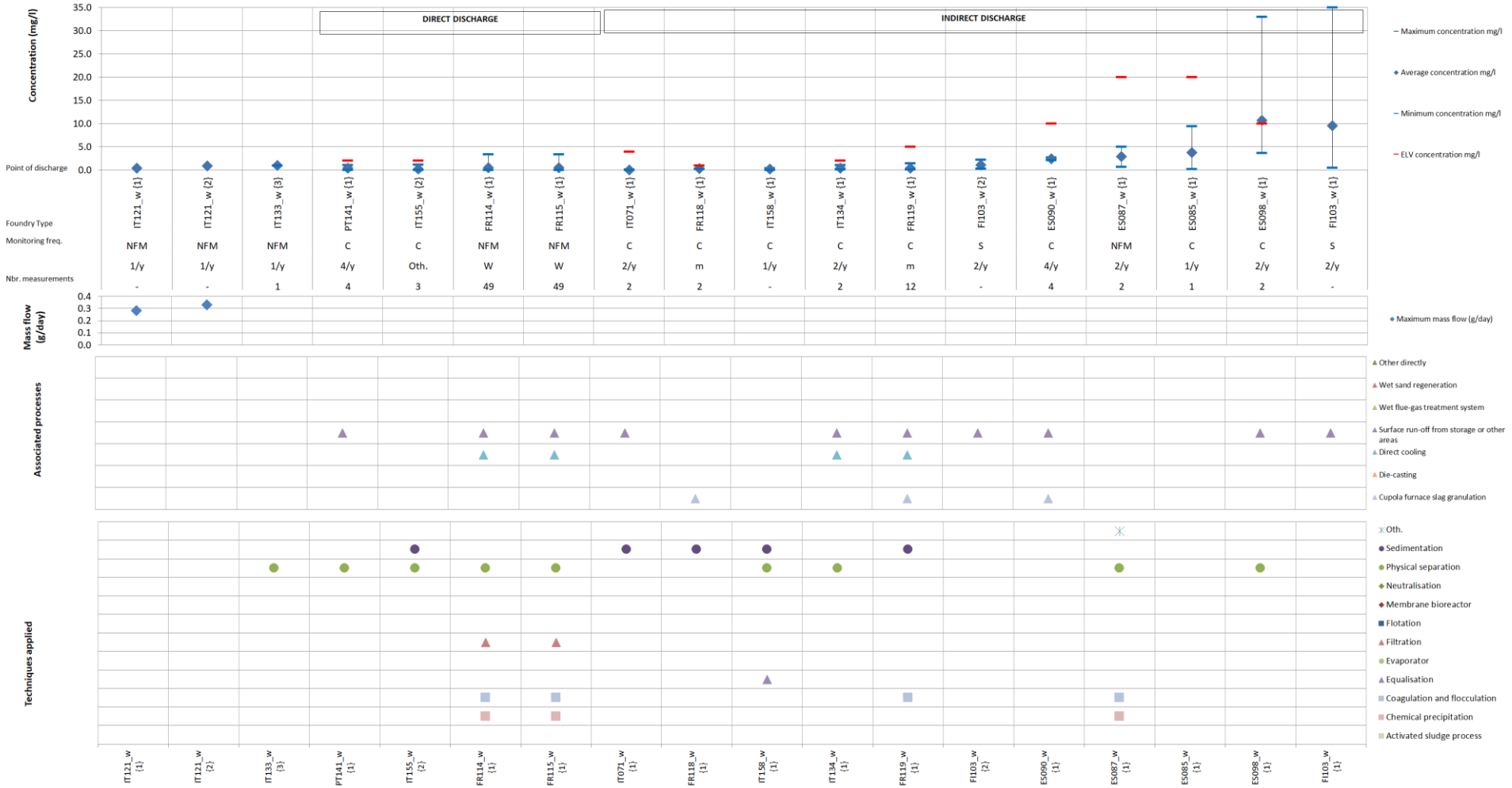
(*) Zakłady IT157_w {1} oraz CZ025_w {1} zgłosiły % ścieków odprowadzanych z odlewni poniżej 50%.
Źródło: [169, TWG 2021].

Rysunek 2.122: Emisje miedzi (Cu) dla zrzutów bezpośrednich i pośrednich



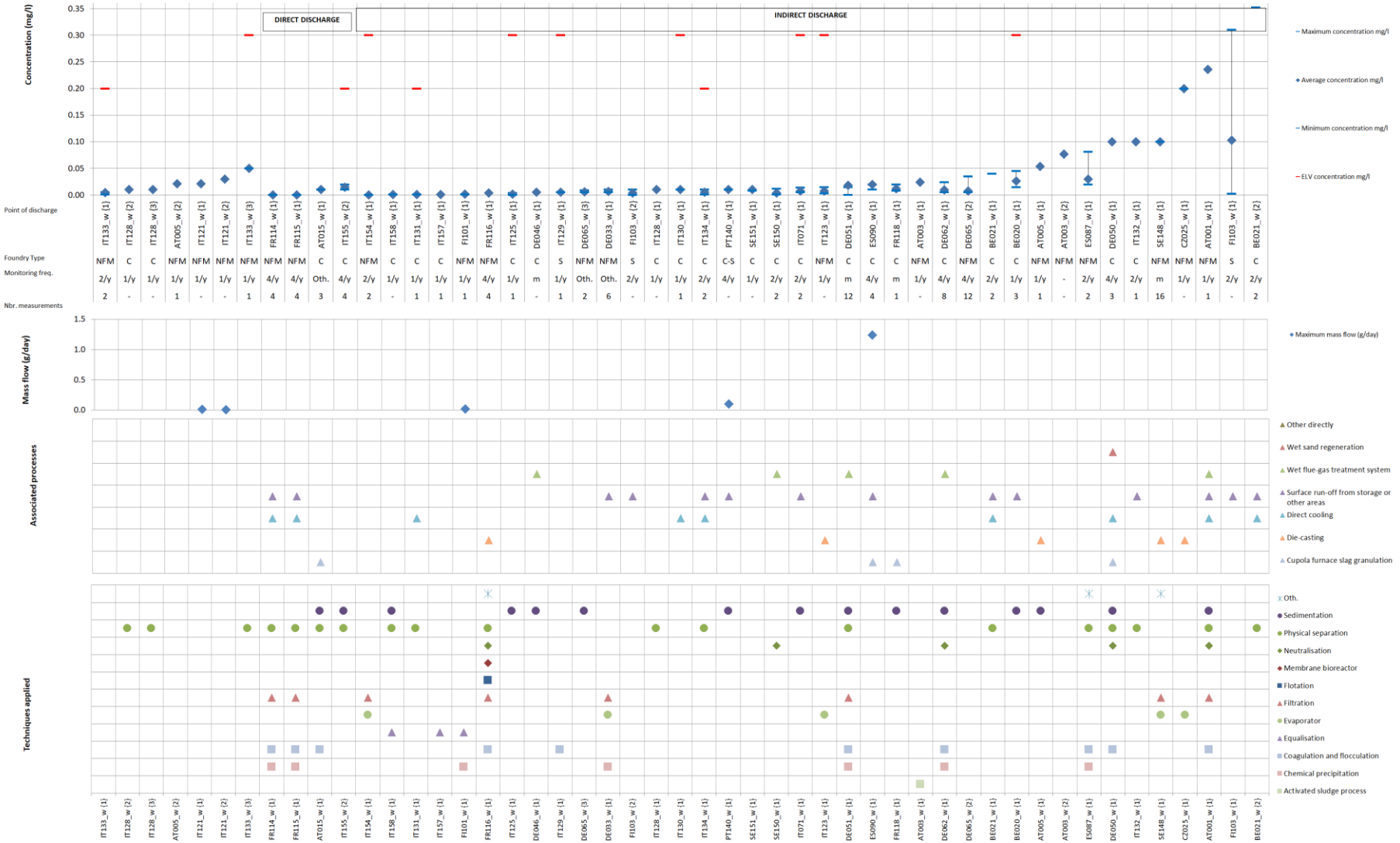
Uwaga: Dla lepszej wizualizacji wartości podane przez zakłady SE152_w {1} (maks. = 48 mg/l) oraz CZ025_w {1} (min. = 126 mg/l, śr. = 1 136 mg/l, maks. = 2 410 mg/l) nie zostały pokazane na rysunku. (*) Zakłady IT157_w {1} oraz CZ025_w {1} zgłosiły % ścieków odprowadzanych z odlewni poniżej 50%.
Źródło: [169, TWG 2021].

Rysunek 2.123: Emisje HOI dla zrzutów bezpośrednich i pośrednich



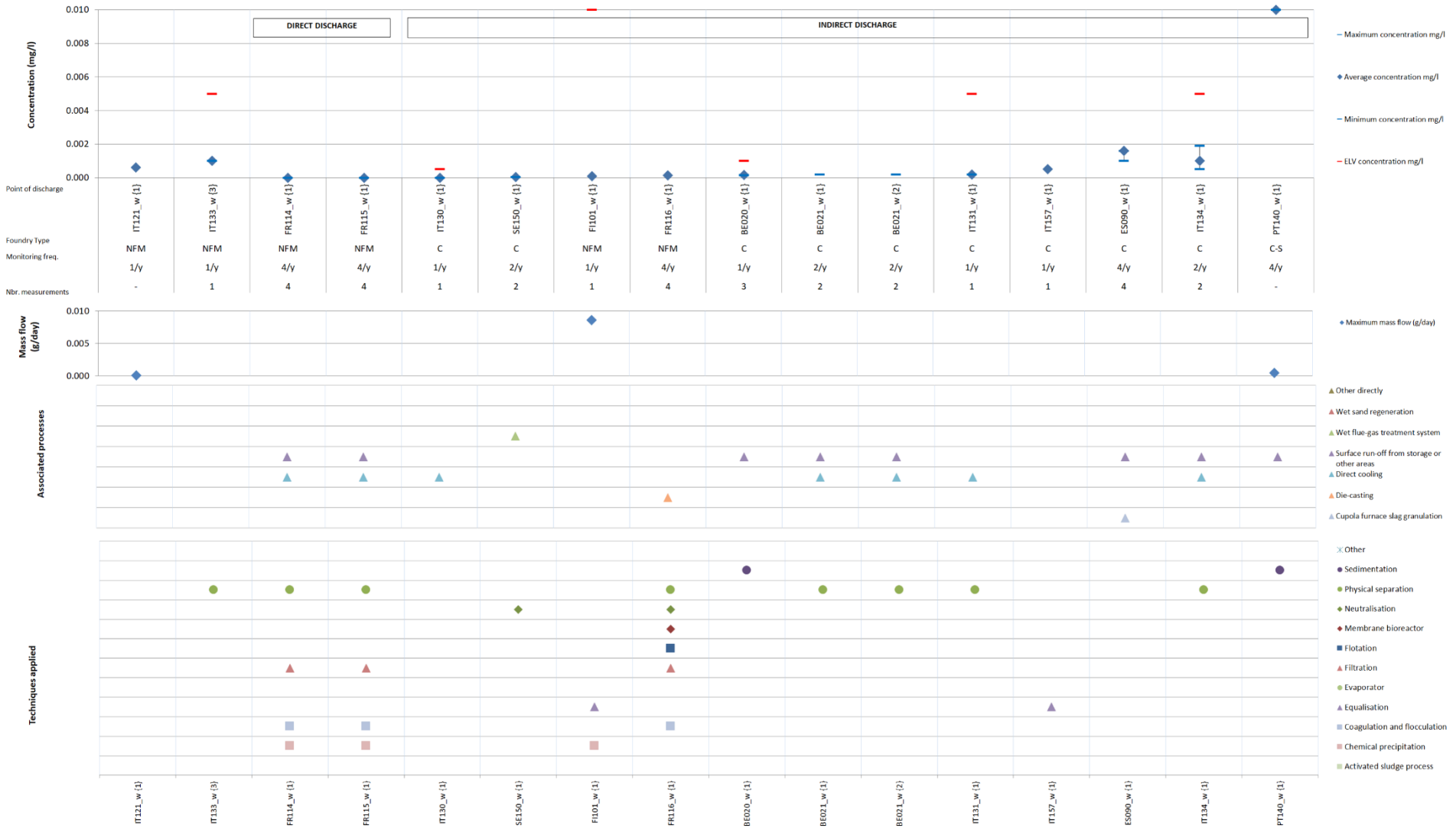
Źródło: [169, TWG 2021].

Rysunek 2.124: Emisje żelaza (Fe) dla zrzutów bezpośrednich i pośrednich

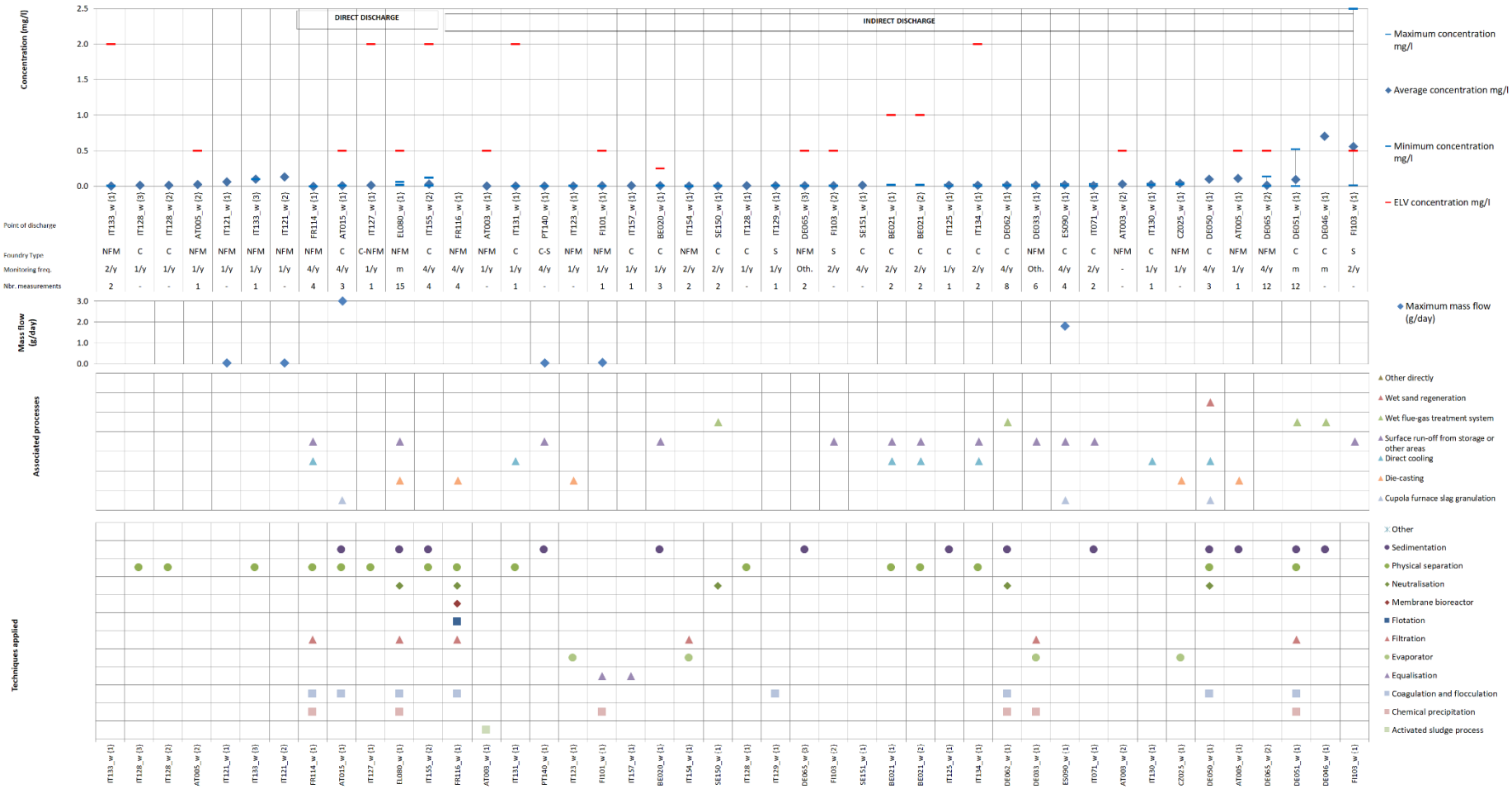


Źródło: [169, TWG 2021].

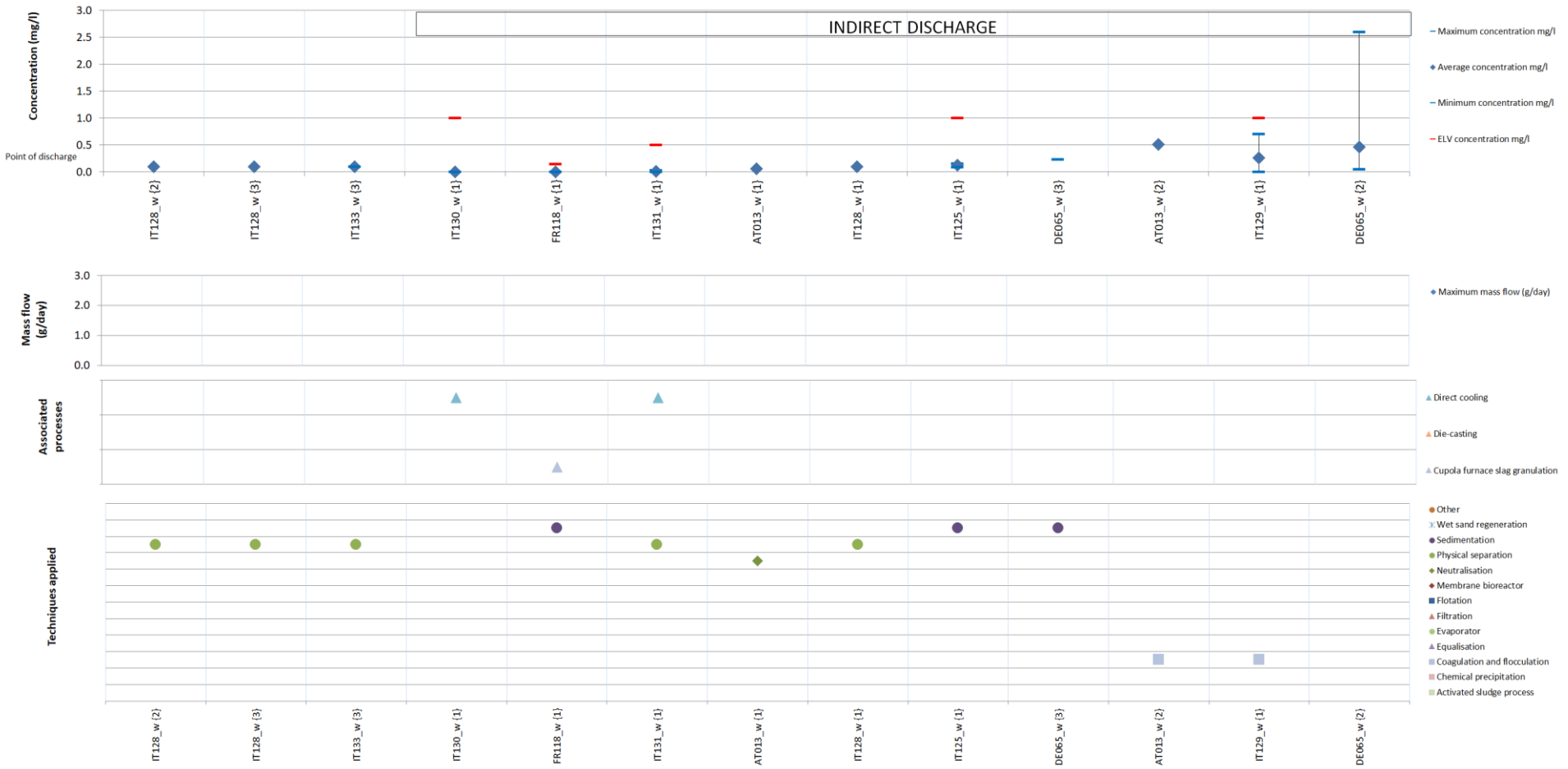
Rysunek 2.125: Emisje ołowiu (Pb) dla zrzutów bezpośrednich i pośrednich



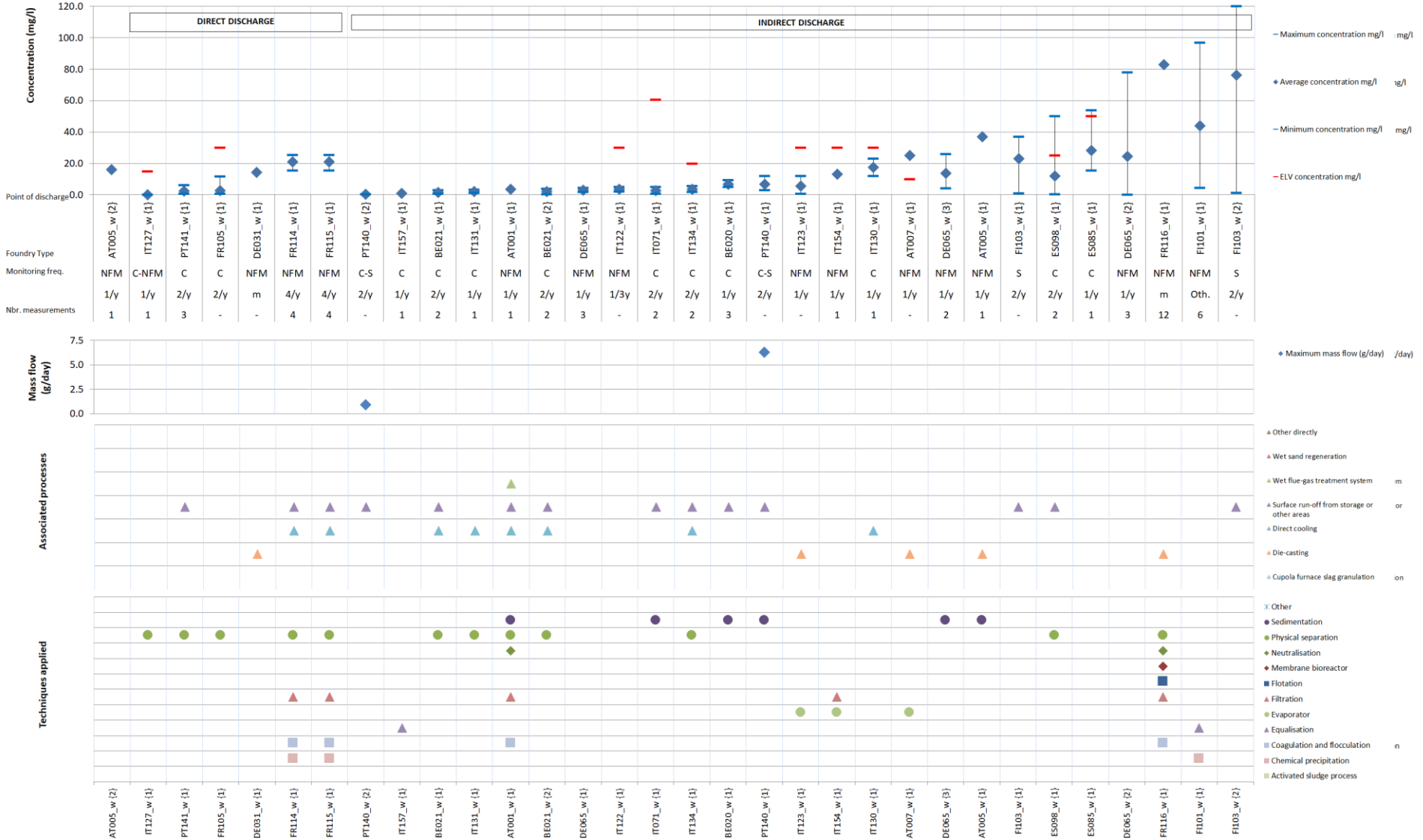
Rysunek 2.126: Emisje rtęci (Hg) dla zrzutów bezpośrednich i pośrednich



Rysunek 2.127: Emisje niklu (Ni) dla zrzutów bezpośrednich i pośrednich

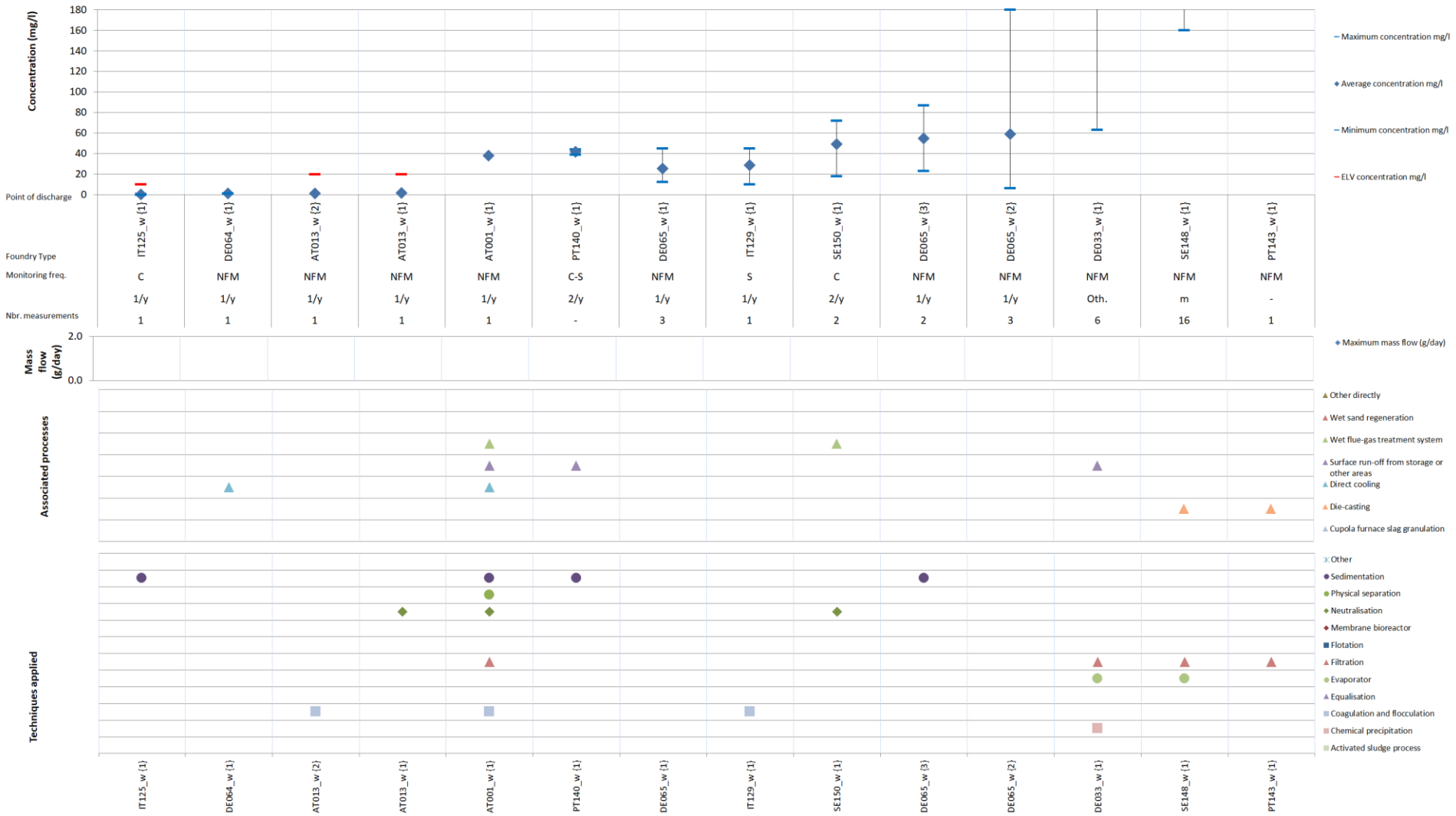


Rysunek 2.128: Emisje indeksu fenolowego (PI) dla zrzutów pośrednich



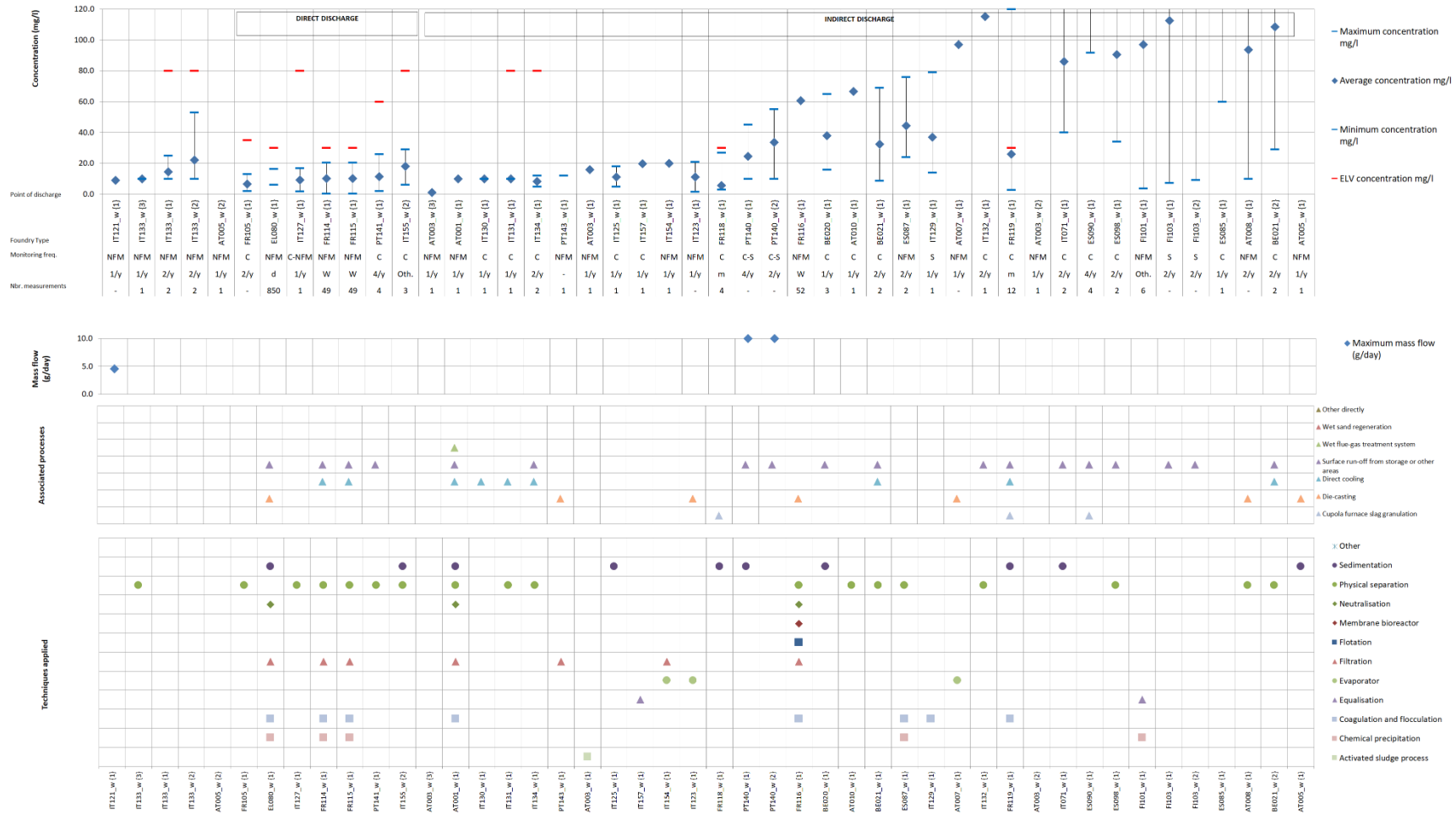
Uwaga: (*) Zakłady IT157_w {1} oraz AT001_w {1} zgłosiły % ścieków odprowadzanych z odlewni poniżej 50%. *Źródło:* [169, TWG 2021].

Rysunek 2.129: Emisje azotu ogólnego (N) dla zrzutów bezpośrednich i pośrednich



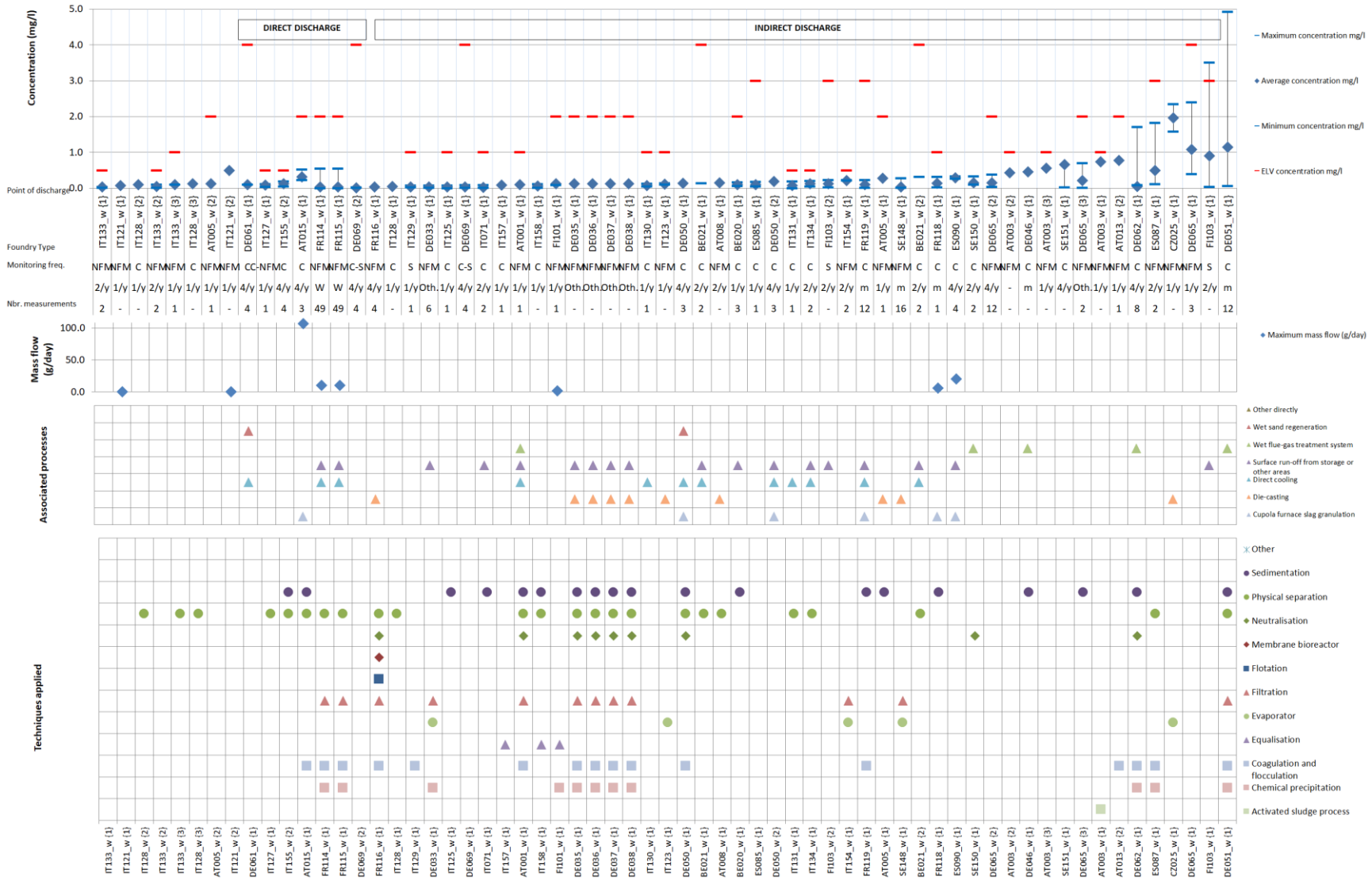
Uwaga: Dla lepszej wizualizacji, wartości zgłoszone przez zakłady DE033_w {1} (śr. = 306 mg/l, maks. = 760 mg/l), SE148_w {1} (śr. = 453 mg/l, maks. = 1 100 mg/l) oraz PT143_w {1} (maks. = 4 000 mg/l) nie zostały pokazane na rysunku.
(*) Zakład AT001_w {1} zgłosił % ścieków odprowadzanych z odlewni poniżej 50%. *Źródło:* [169, TWG 2021].

Rysunek 2.130: Emisje OWO dla zrzutów pośrednich



Źródło: [169, TWG 2021].

Rysunek 2.131: Emisje zawiesiny ogólnej (TSS) dla zrzutów bezpośrednich i pośrednich



Źródło: [169, TWG 2021].

Rysunek 2.132: Emisje cynku (Zn) dla zrzutów bezpośrednich i pośrednich

2.3.4 Zużycie wody i wytwarzanie ścieków

2.3.4.1 Procesy związane ze zużyciem wody

Tabela 2.89 poniżej przedstawia liczbę zakładów, które zgłosiły dane dotyczące jednostkowego zużycia wody (wyrażonego w m3 na tonę ciekłego metalu) dla określonych procesów odlewniczych. [169. TWG 2021].

Tabela 2.89: Liczba zakładów które zgłosiły poziomy jednostkowego zużycia wody dla określonych procesów odlewniczych

Proces	Liczba zakładów które zgłosiły dane dotyczące zużycia wody
Wykonywanie form z użyciem mokrego piasku	36
Odlewanie wysokociśnieniowe	23
Obróbka zużytego piasku na mokro	12
Płukanie (oczyszczanie) na mokro celem produkcji	10
Proces wykańczania	5
Chłodzenie	4
Płukanie (oczyszczanie) na mokro celem produkcji rdzeni	4
Płukanie (oczyszczanie) na mokro żeliwiaka	3

Zgłoszone poziomy jednostkowego zużycia wody na poziomie zakładu, wyrażone w m^3 na tonę ciekłego metalu, przedstawiono na Rysunku 2.133, Rysunku 2.134 oraz Rysunku 2.135.
Na Rysunku 2.136, przedstawiono rozkład zgłoszonych poziomów zużycia wody na poziomie procesu dla poszczególnych operacji odlewniczych.

2.3.4.2 Wytwarzanie ścieków podczas składowania złomu

Złom może zawierać pozostałości gleby, a złom pochodzący z powierzchni zewnętrznych zazwyczaj zawiera zanieczyszczenia charakterystyczne dla procesu produkcji. Zanieczyszczenia pozostałe na złomie mogą zostać zmyte podczas opadów deszczu, a następnie przedostać się do gleby i wód gruntowych. Przegląd możliwych zanieczyszczeń przedstawiono w poniższej tabeli.

Tabela 2.90: Możliwe zanieczyszczenia dla określonych rodzajów złomu

Rodzaj złomu	**Zanieczyszczenia**
Wióry	Oleje z procesu cięcia, emulsje (mogą zawierać chlor)
Złom po wykrawaniu	Oleje z procesu wykrawania (mogą zawierać chlor)
Uszkodzone odlewy maszyn, niezgodne ze specyfikacją	Oleje hydrauliczne, oleje przekładniowe
Złom z formowania na zimno i z kuźni	Fosforany, mydła cynkowe, grafit, oleje z procesu formowania
Źródło: [93, UBA 2003].	

Jeśli zanieczyszczenia pozostające na złomie są substancjami stwarzającymi zagrożenie dla wody (oleje, emulsje), należy spełnić wymagania dotyczące przechowywania substancji stwarzających zagrożenie dla wody.

2.3.4.3 Wytwarzanie ścieków przez płuczki gazowe mokre stosowane podczas topienia w żeliwiakach

Płuczki gazowe mokre są stosowane w wytapialniach do oczyszczania gazów wylotowych z żeliwiaków. Wykorzystują wodę do usuwania cząstek pyłu (średnie obciążenie: 10 – 15 g/Nm3) oraz gazów, takich jak dwutlenek siarki, z gazów wylotowych żeliwiaków. W osadniku wychwytana jest duża część cząstek stałych, które są w ten sposób prawie całkowicie usuwane z wody płuczącej.
Częściowo kwaśne gazy wypłukane z gazów wylotowych żeliwiaka, takie jak dwutlenek siarki, gromadzą się w wodzie płuczącej, powodując wzrost stężenia soli (np. tworzenie się siarczanu sodu) oraz spadek pH. Gromadzenie się soli jest wspomagane przez straty spowodowane parowaniem, dlatego konieczne jest okresowe odprowadzanie wody.

Ścieki z systemów odpylania na mokro w wytapialniach zawierają głównie:

- substancje stałe, takie jak tlenki krzemu, żelaza i aluminium, węglany wapnia i cyjanki;
- metale ciężkie, takie jak miedź lub cynk;
- zanieczyszczenia organiczne, które mogą przedostawać się do ścieków poprzez zanieczyszczony złom.

W wodzie używanej do oczyszczania gazów wylotowych z żeliwiaków poziom AOX (adsorbowalnych związków chloroorganicznych) może wynosić kilka miligramów. Możliwą przyczyną powstawania AOX są resztki powłok i przylegające chlorowane związki organiczne, które przedostają się do wody podczas procesu oczyszczania gazów. Chlorowane związki organiczne mogą również przedostawać się do wody poprzez środki pomocnicze, takie jak kwas solny o jakości handlowej lub chlorki żelaza i glinu, które są stosowane jako flokulanty.
Tabela 2.91 zawiera zestawienie stężeń zanieczyszczeń w ściekach z filtrów po odwadnianiu osadów pochodzących z płuczek gazowych mokrych żeliwiaków.

Tabela 2.91: Stężenia zanieczyszczeń w ściekach z filtrów po odwadnianiu osadów pochodzących z płuczek gazowych mokrych żeliwiaków.

Analit	j.m.	Wartość
wartość pH		7,2 – 9,9
Przewodność	∝S/cm	1 400 – 18 400
Ołów	mg/l	< 0,01 – 2,5
Kadm	mg/l	< 0,01 – 0,03
Chrom	mg/l	< 0,01 – 0,13
Miedź	mg/l	0,02 – 0,89
Nikiel	mg/l	0,04 – 0,23
Rtęć	mg/l	< 0,001
Cynk	mg/l	1,8 – 27,9
Siarczan	mg/l	430 – 1 550
Chlorki	mg/l	1 330 – 3 947
ChZT	mg/l	154 – 7 580
Źródło: [93. UBA 2003].		

2.3.4.4 Powstawanie ścieków z procesu odlewania, chłodzenia i wytrząsania oraz z produkcji form / przygotowania piasku

W strefie odlewania, chłodzenia i wytrząsania oraz przy produkcji form i przygotowywaniu piasku podczas odpylania wychwytywane są nierozpuszczalne drobinki materiału formierskiego wraz z niewielką ilością substancji organicznych pochodzących ze środka wiążącego. W przypadku stosowania odpylania na mokro związki te trafiają do strumienia ścieków. Nieorganiczne substancje stałe to tlenki żelaza i glinki, które są częściowo drobno zdyspergowane i trudne do usunięcia.

2.3.4.5 Wytwarzanie ścieków przy produkcji rdzeni

W zakładach produkcji rdzeni stosuje się chemiczne urządzenia do oczyszczania gazów. Wykorzystują one kwas (proces zimnej rdzennicy) lub zasadę (proces SO_2 i Croninga). Ilość odprowadzanych ścieków zależy od nagromadzenia zanieczyszczeń i soli w wodzie obiegowej. Jeśli poziom zanieczyszczenia jest zbyt wysoki, część zanieczyszczonej wody musi zostać odprowadzona.
Roztwory płuczące z produkcji rdzeni w zimnych (cold-box) i gorących (hot-box) rdzennicach zawierają łatwo biodegradowalne aminy i fenole.
Oczyszczanie roztworów płuczących zawierających aminy wymaga etapu nitryfikacji/denitryfikacji. Te etapy oczyszczania można również przeprowadzić w zewnętrznej biologicznej oczyszczalni ścieków. Alternatywą dla odprowadzania ścieków jest odzyskiwanie amin.
Po utlenianiu roztwory płuczące z procesu SO_2 zawierają głównie siarczan sodu. Ponieważ wysokie stężenia siarczanów (> 600 mg/l) mogą prowadzić do uszkodzenia systemów kanalizacyjnych, właściwy organ ustala wartość graniczną zgodnie z lokalnymi warunkami (np. obecność rur odpornych na siarczany i rozcieńczenie innymi ściekami).
[93. UBA 2003].

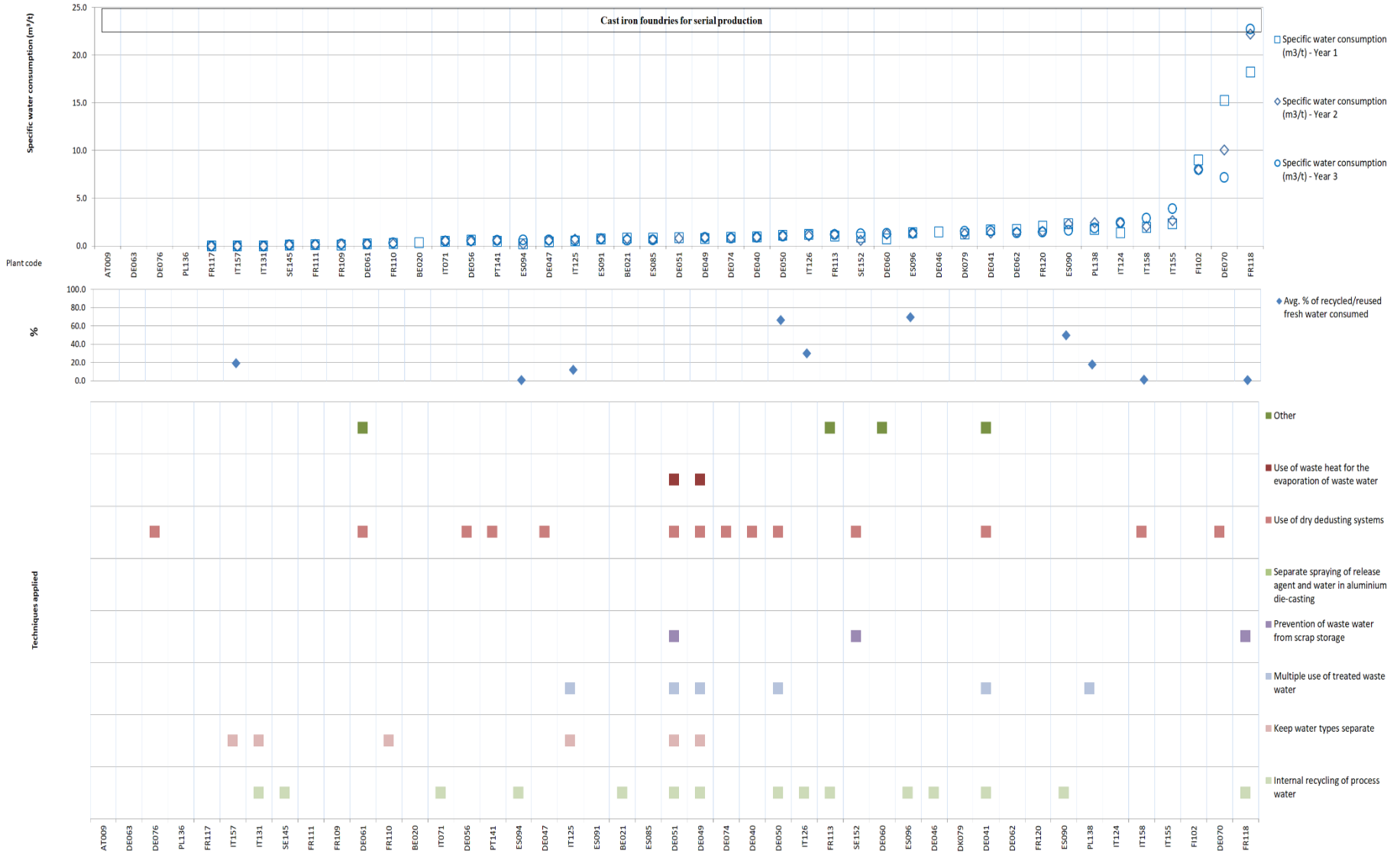
2.3.4.6 Dane dotyczące poziomów jednostkowego zużycia wody

Dane dotyczące jednostkowego zużycia wody przedstawione w niniejszej sekcji składają się z trzech części (sekcji):

- W górnej części (pierwsza sekcja) wykresu zawsze przedstawiono maksymalne, średnie i minimalne zgłoszone wartości jednostkowego zużycia wody dla trzech lat sprawozdawczych oraz średnie wartości uzyskane w okresie sprawozdawczym. Pod osią X podano dodatkowe informacje kontekstowe, takie jak numer zakładu i rodzaj odlewni.
- W drugiej części (sekcji) wykresu podano informacje dotyczące wody poddanej recyklingowi/ponownemu wykorzystaniu, wyrażone jako procent (%) (w ciągu 3-letniego okresu sprawozdawczego) zużytej wody świeżej.
- Trzecia sekcja wykresu zawiera informacje na temat technik stosowanych w celu zmniejszenia zużycia wody.

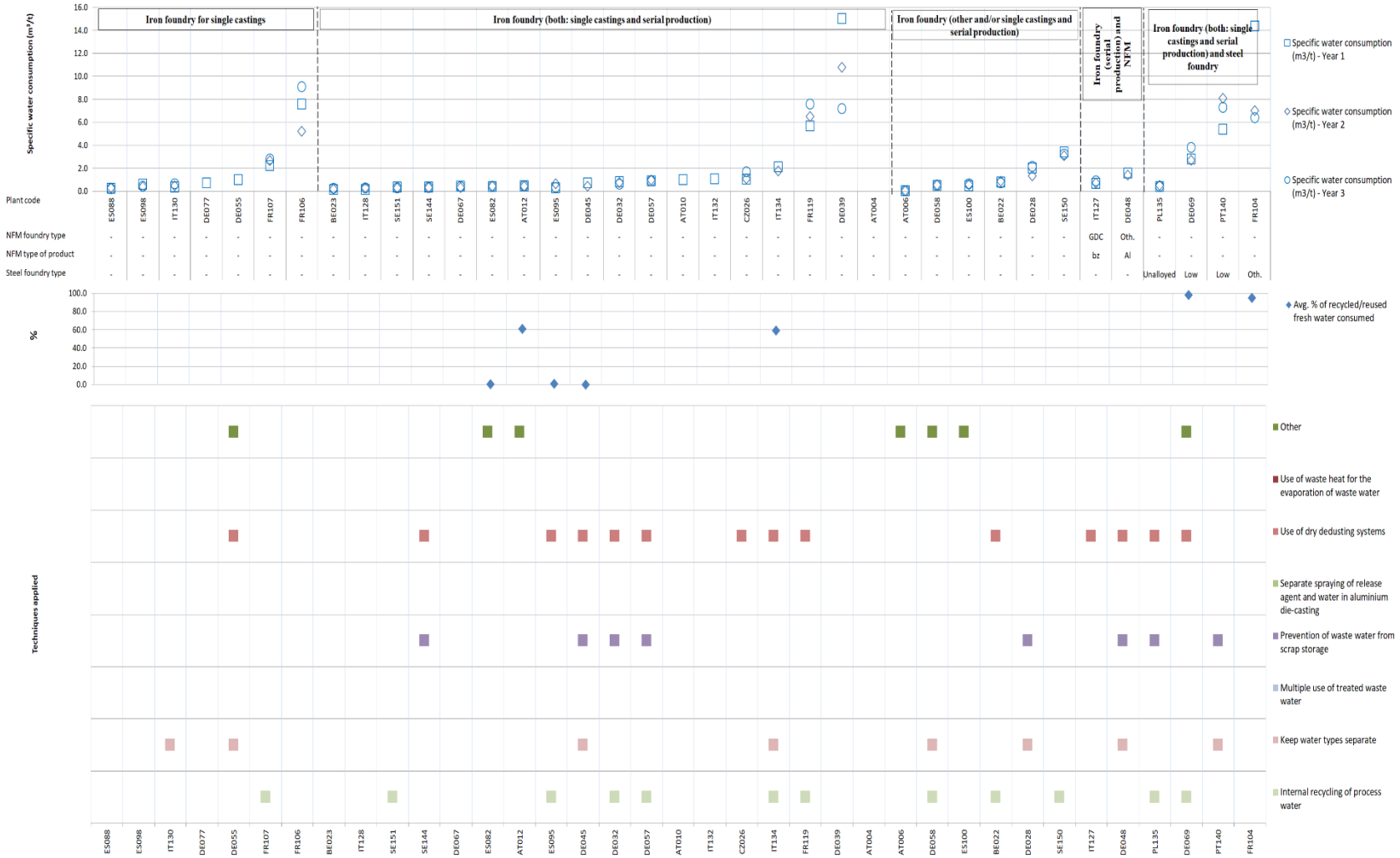
Oprócz trzech wykresów zawierających zgłoszone dane dotyczące jednostkowego zużycia wody na poziomie zakładu, dodatkowy wykres przedstawia rozkład jednostkowego zużycia wody na poziomie procesu. Odpowiednie procesy (zgodnie z przedłożonymi danymi) to:

- odlewanie wysokociśnieniowe;
- formowanie z użyciem mokrego piasku;
- obróbka na mokro zużytego piasku;
- płukanie (oczyszczanie) na mokro gazów wylotowych z żeliwiaka;
- procesy wykończeniowe (obróbka skrawaniem);
- płukanie (oczyszczanie) na mokro gazów wylotowych z produkcji rdzeni.



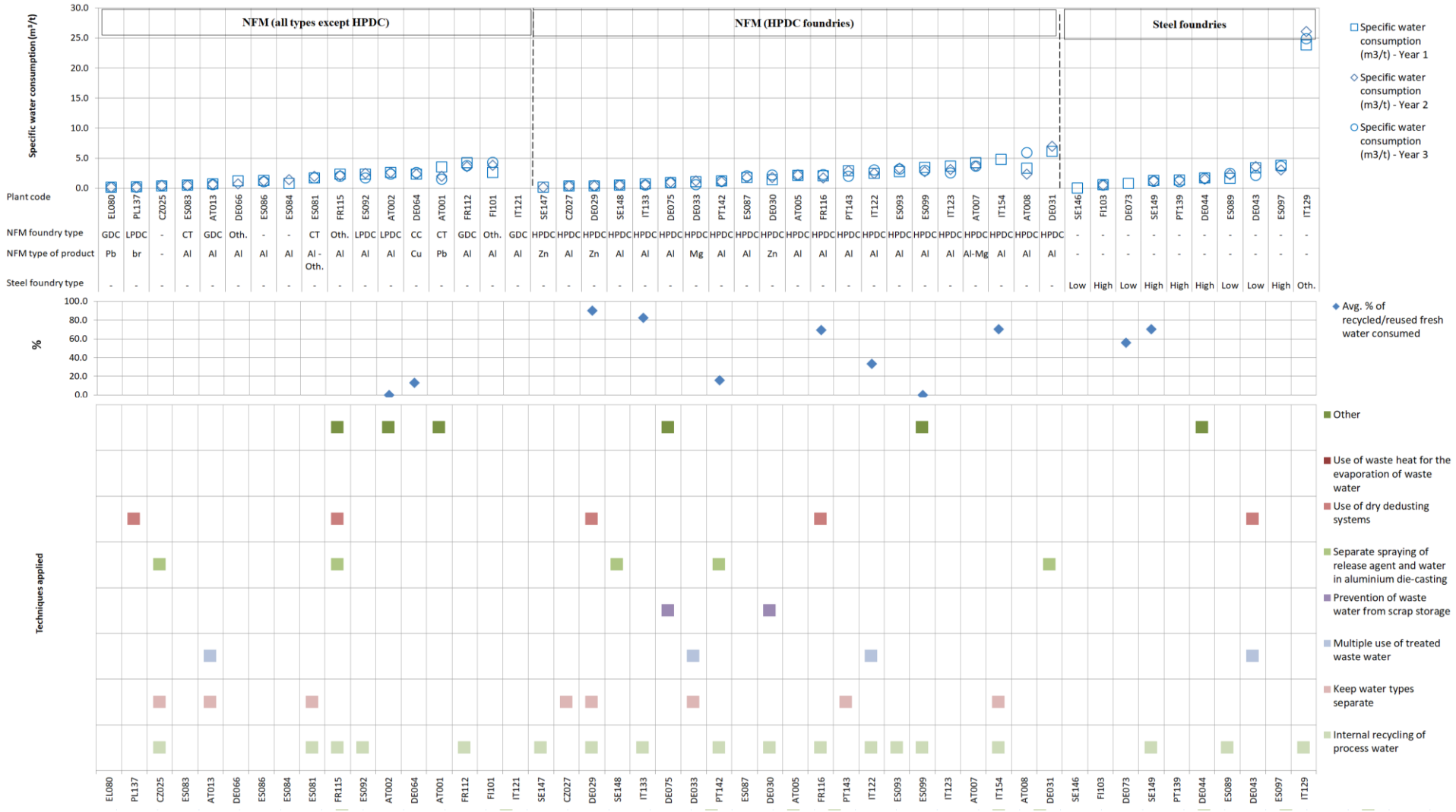
Źródło: [169. TWG 2021].

Rysunek 2.133: Jednostkowe zużycie wody (na poziomie zakładu) (1/3)



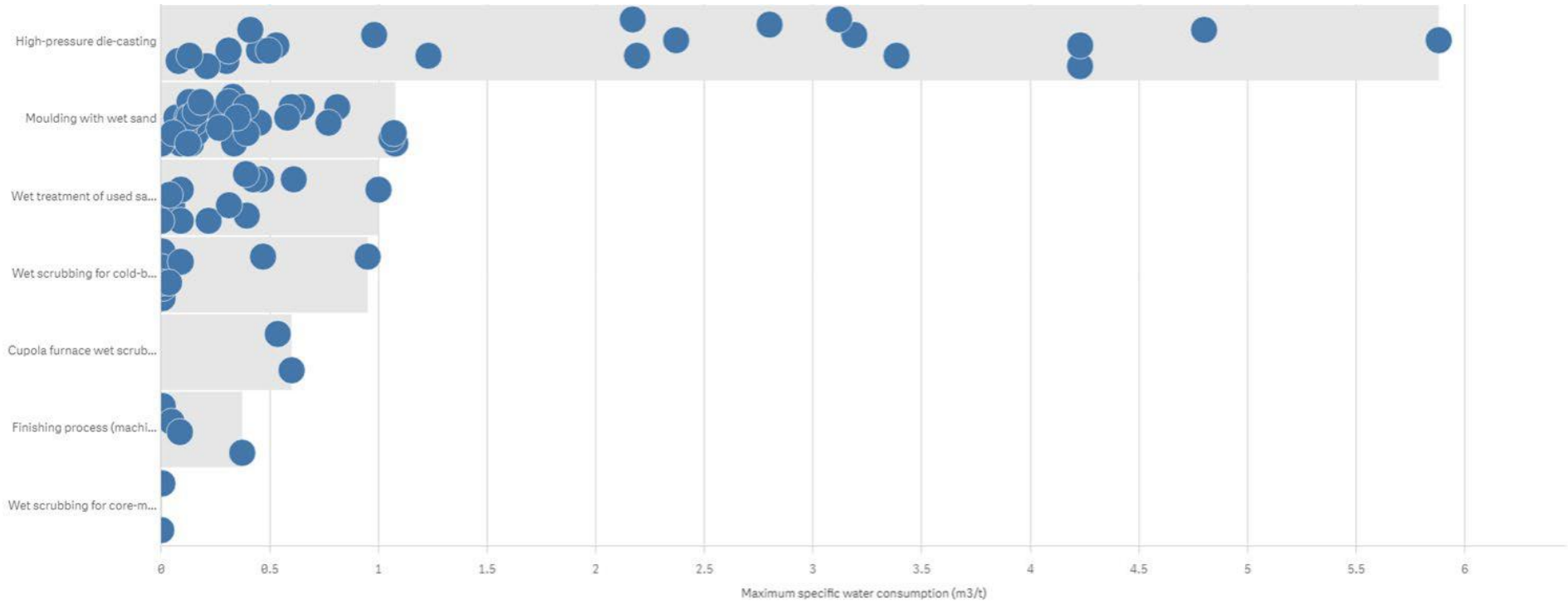
Uwaga: Dla lepszej wizualizacji wartości podane przez zakład AT004 wynoszące 57 330 m^3/t ciekłego metalu nie zostały przedstawione na wykresie.
Źródło: [169. TWG 2021].

Rysunek 2.134: Jednostkowe zużycie wody (na poziomie zakładu) (2/3)



Uwaga: Dla lepszej wizualizacji, wartości podane przez zakład IT121 (3 584 m³/t ciekłego metalu, 5 949 m³/t ciekłego metalu i 10 284 m³/t ciekłego metalu) nie są pokazane na rysunku. *Źródło:* [169. TWG 2021].

Rysunek 2.135: Jednostkowe zużycie wody (na poziomie zakładu) (3/3)



Źródło: [169. TWG 2021].

Rysunek 2.136: Rozkład jednostkowego zużycia wody na poziomie procesu

2.3.5 Operacyjna wydajność materiałowa (materiałochłonność, OWM)

Operacyjna wydajność materiałowa (OWM), zwana również uzyskiem metalu, jest stosunkiem całkowitej rocznej ilości (wyrażonej w tonach) odlewów końcowych bez wad do całkowitej rocznej ilości wyprodukowanego metalu płynnego. Na OWM wpływa pięć głównych czynników:

- wymagania jakościowe;
- wybór rozmiaru skrzynki formierskiej;
- zakres systemów wlewowych i zasilających;
- skurcz metalu;
- wskaźnik odrzutu odlewów (wyrażony najczęściej jako procent odrzuconych odlewów)

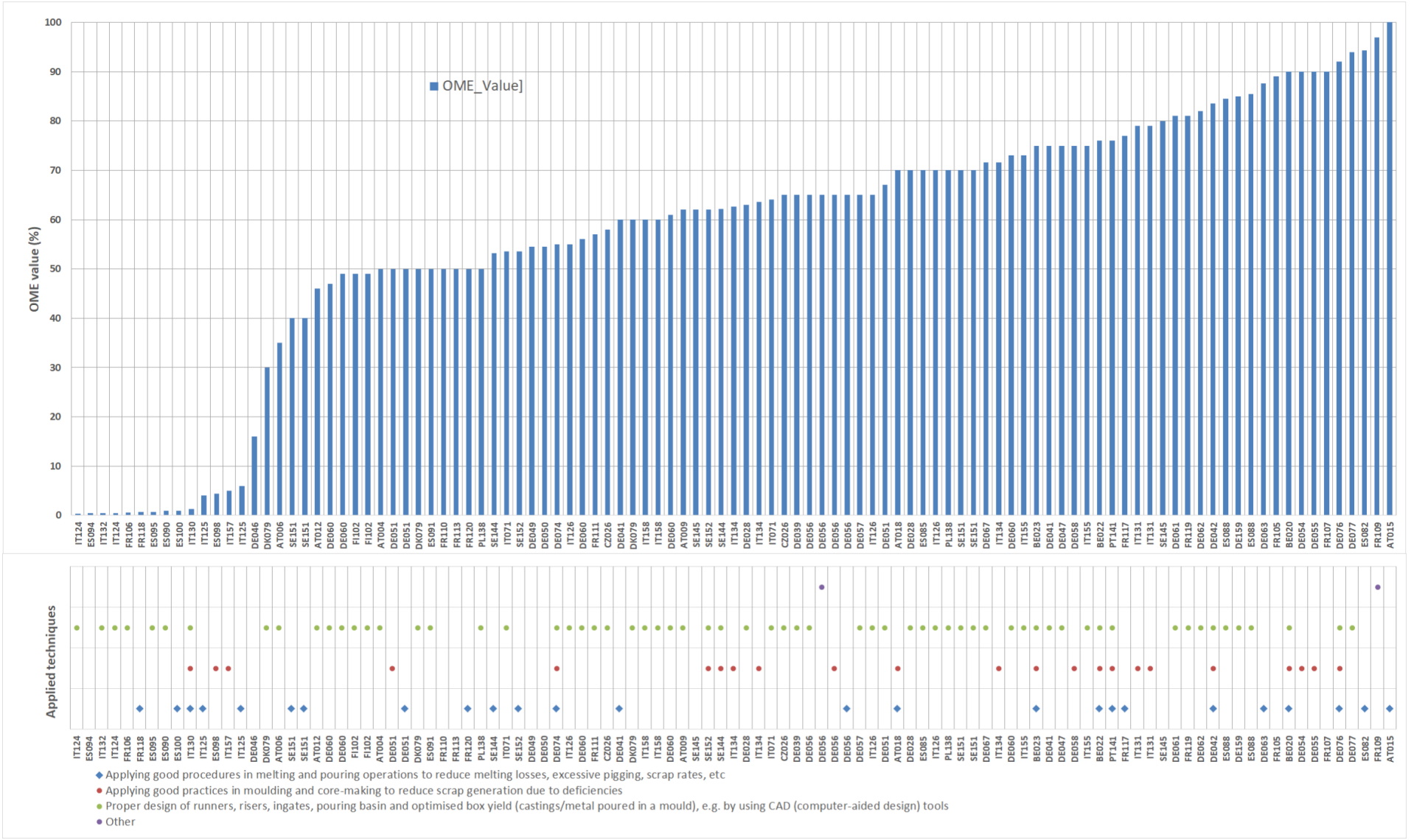
[30. ETSU 1995].
Utrata dobrych odlewów (a tym samym zmniejszenie OWM) występuje podczas wszystkich następujących etapów procesu [182, Salonitis et al. 2016]:

- topienie: w postaci zgarów
- przechowywanie: w postaci zgarów;
- odlewanie: w postaci zgarów;
- oczyszczanie odlewów: główny proces generujący złom do recyklingu;
- obróbka skrawaniem: drugi główny proces generujący złom do recyklingu;
- kontrola: recykling odrzuconych produktów.

Oczyszczanie odlewów służy do oddzielenia odlewu od jego układu podającego (systemu kanałów przez który stopiony metal przepływa z punktu wtrysku do formy). Sam odlew stanowi tylko około 50% masy całego systemu odlewniczego, chociaż zależy to od wielu aspektów, takich jak liczba odlewów na jeden wtrysk metalu, system podawania i prowadzenia itp. i może wynosić do 90% w przypadku zastosowań takich jak w sektorze lotniczym. W związku z tym, zmniejszenie masy układu podającego może zmniejszyć straty metalu podczas oczyszczania odlewów. Obróbka skrawaniem (w tym szlifowanie, wiercenie i frezowanie) również przyczynia się do strat metalu. Dlatego im bardziej odlew jest zbliżony do kształtu netto, tym bardziej zmniejsza się zapotrzebowanie na operacje obróbki skrawaniem. Na wydajność wpływają również odrzuty podczas procesu kontroli. Wady takie jak niska tolerancja, słabe wykończenie powierzchni, wtrącenia i porowatość prowadzą do odrzucenia podczas kontroli. Ostatnie trzy rodzaje strat to tzw. złom obiegowy (złom własny/wewnętrzny). [182. Salonitis et al. 2016]
Zgłoszone poziomy OWM dla różnych typów odlewni przedstawiono na Rysunku 2.137, Rysunku 2.138, Rysunku 2.139 oraz Rysunku 2.140.
Niektóre dane statystyczne dotyczące zgłoszonych wartości OWM dla określonych typów odlewni przedstawiono w poniższej tabeli.

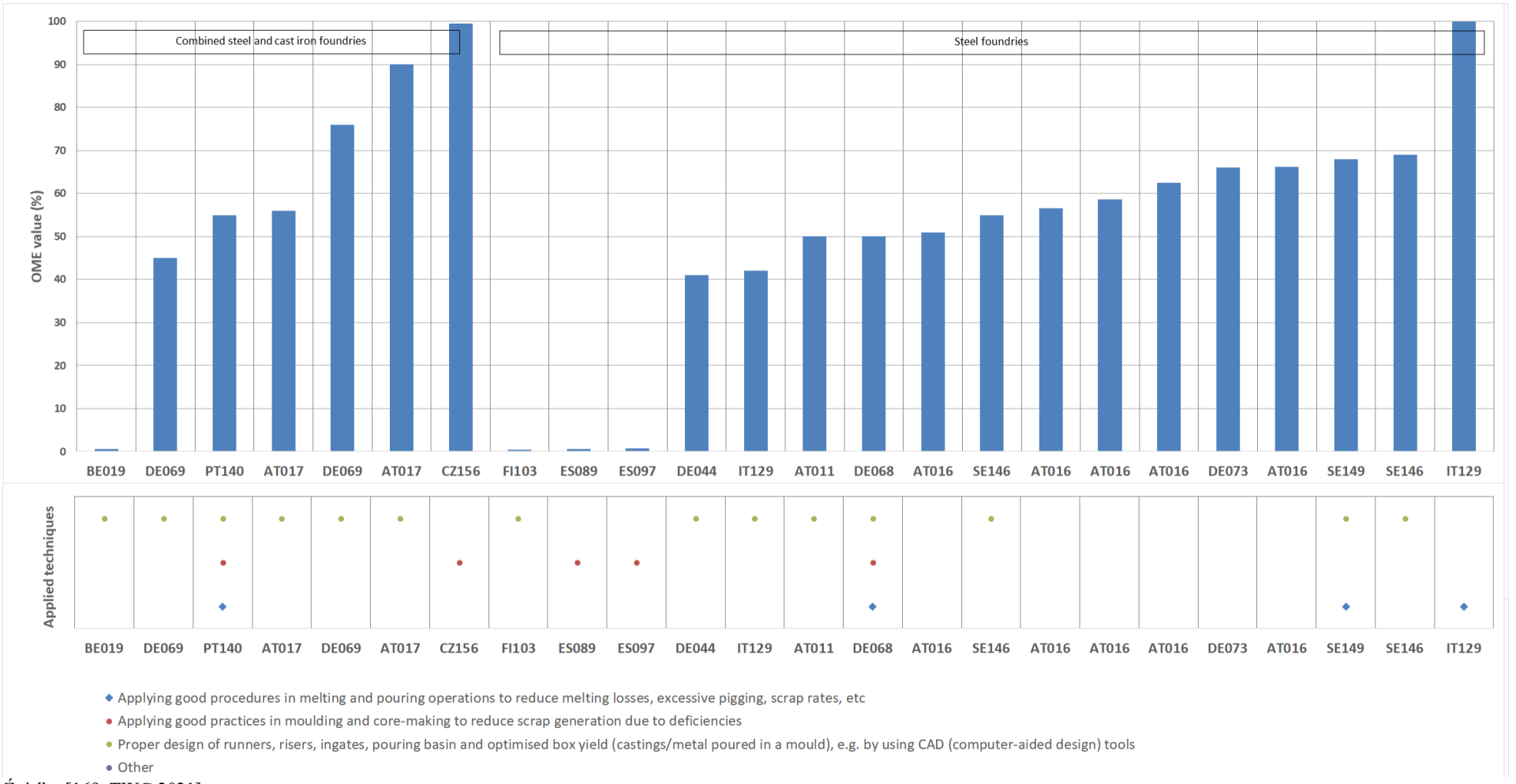
Tabela 2.92: Parametry statystyczne dotyczące zgłoszonych wartości OWM dla poszczególnych odlewni

Parametr Rodzaj odlewni	Liczba danych	Min.	10 percentyl	Wartość średnia	Mediana	90 percentyl	Maks.
Odlewnie żelaza (produkcja seryjna)	63	0,3	4,2	54,5	60	79,8	97
Odlewnie żeliwa (pojedyncze odlewy)	11	0,6	1,24	64,8	85,5	90	94
Odlewnie żeliwa (produkcja seryjna i pojedyncze odlewy)	20	0,46	36,07	57,3	63,1	75,6	94,3
Odlewnie żelaza (pozostałe)	9	0,7	-	46,8	63	-	100
Odlewnie żelaza i stali	10	0,6	-	40,56	60,5	-	99,5
Odlewnie żelaza i metali nieżelaznych	6	32,6	-	48,5	49,8	-	60,6
Metale nieżelazne (wszystkie typy z wyjątkiem odlewania wysokociśnieniowego HPDC)	33	0,5	28	62,7	63,5	96,2	98
Odlewnie NFM HPDC	21	0,44	0,98	59,0	60,8	98	98
Odlewnie stali	17	0,5	0,67	49,3	55	68,4	100
Źródło: [169. TWG 2021].							



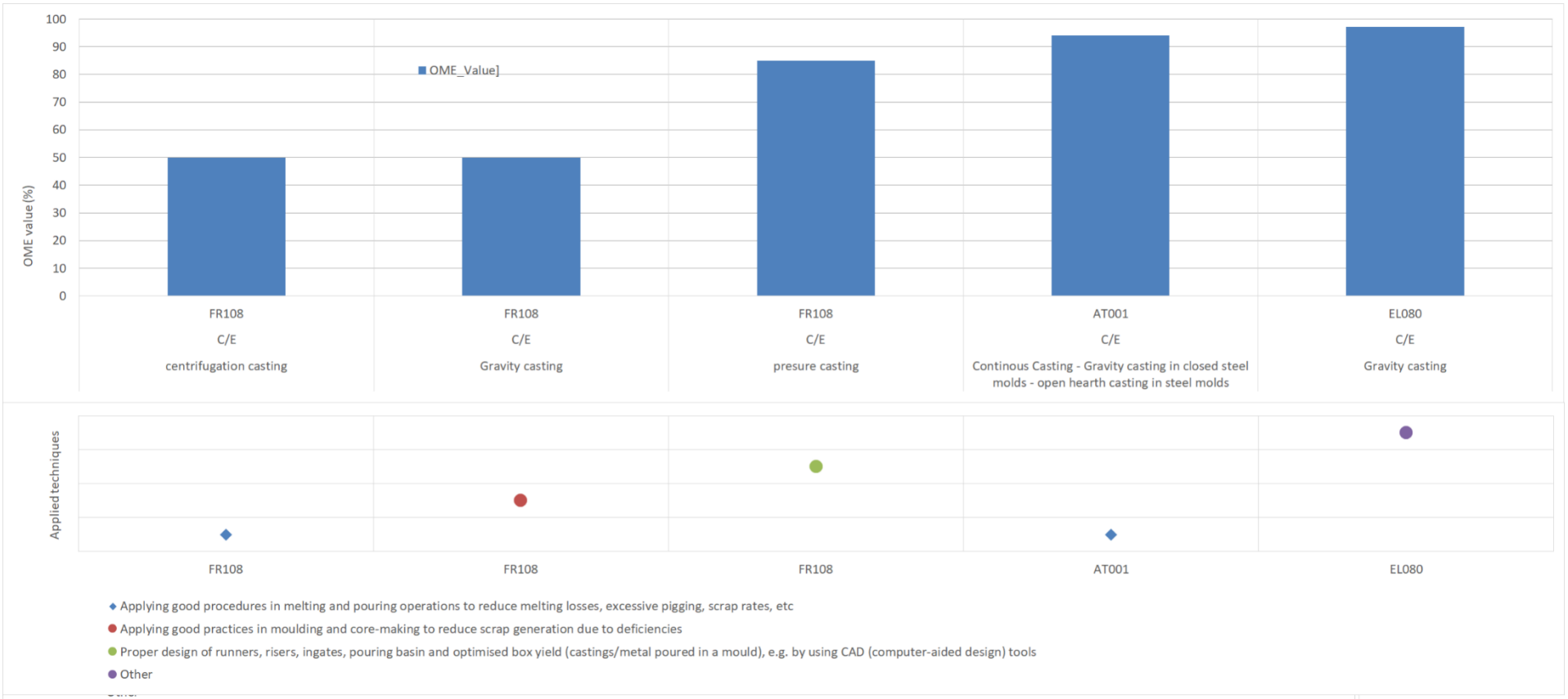
Źródło: [169. TWG 2021].

Rysunek 2.137: Operacyjna wydajność materiałowa (1/5) - odlewnie żeliwa



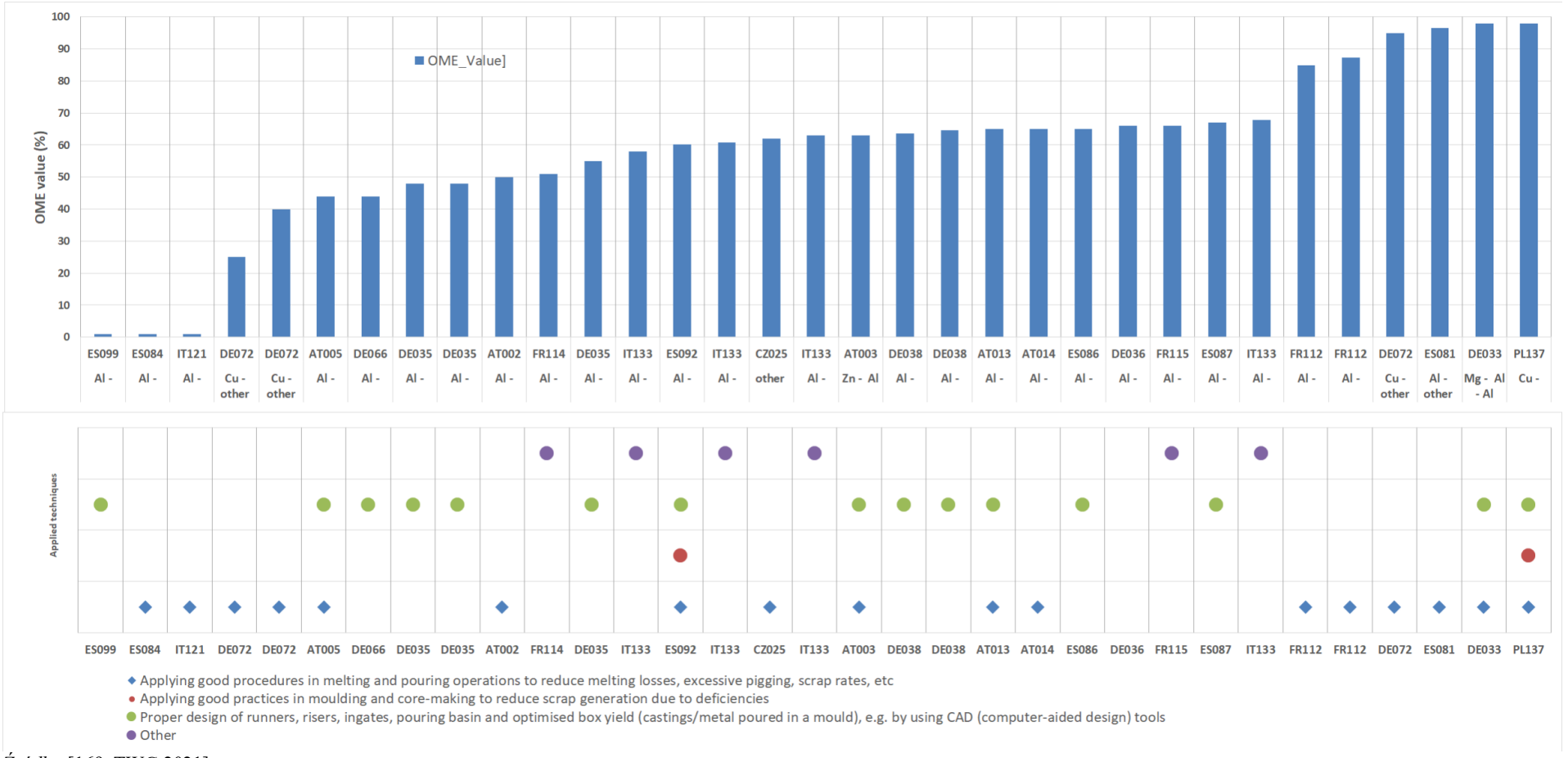
Źródło: [169. TWG 2021].

Rysunek 2.138: Operacyjna wydajność materiałowa (2/5) - odlewnie stali



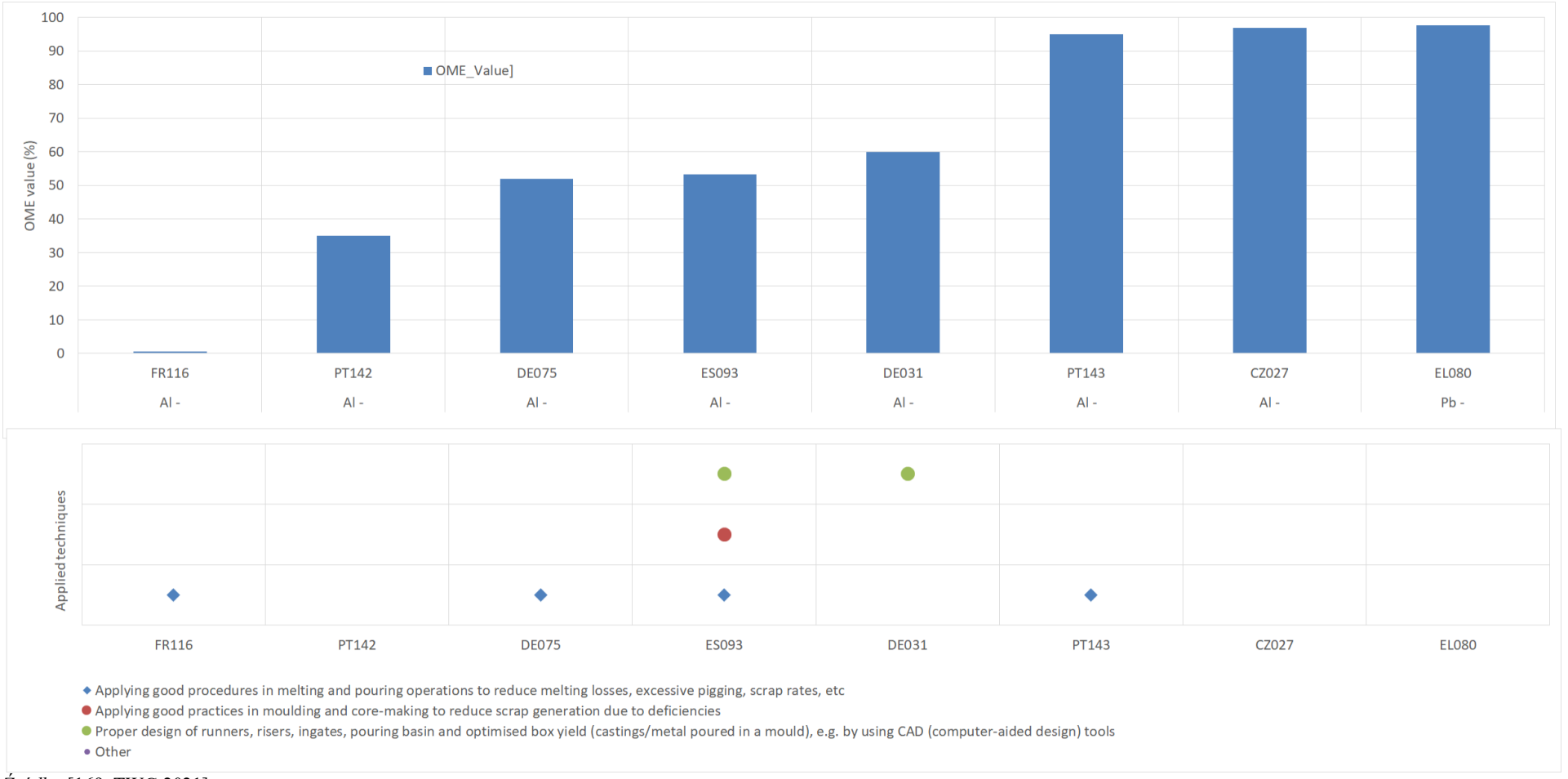
Źródło: [169. TWG 2021].

Rysunek 2.139: Operacyjna wydajność materiałowa (3/5) - Odlewnie ołowiu



Źródło: [169. TWG 2021].

Rysunek 2.140: Operacyjna wydajność materiałowa (4/5) - Odlewnie metali nieżelaznych (odlewanie inne niż HPDC)



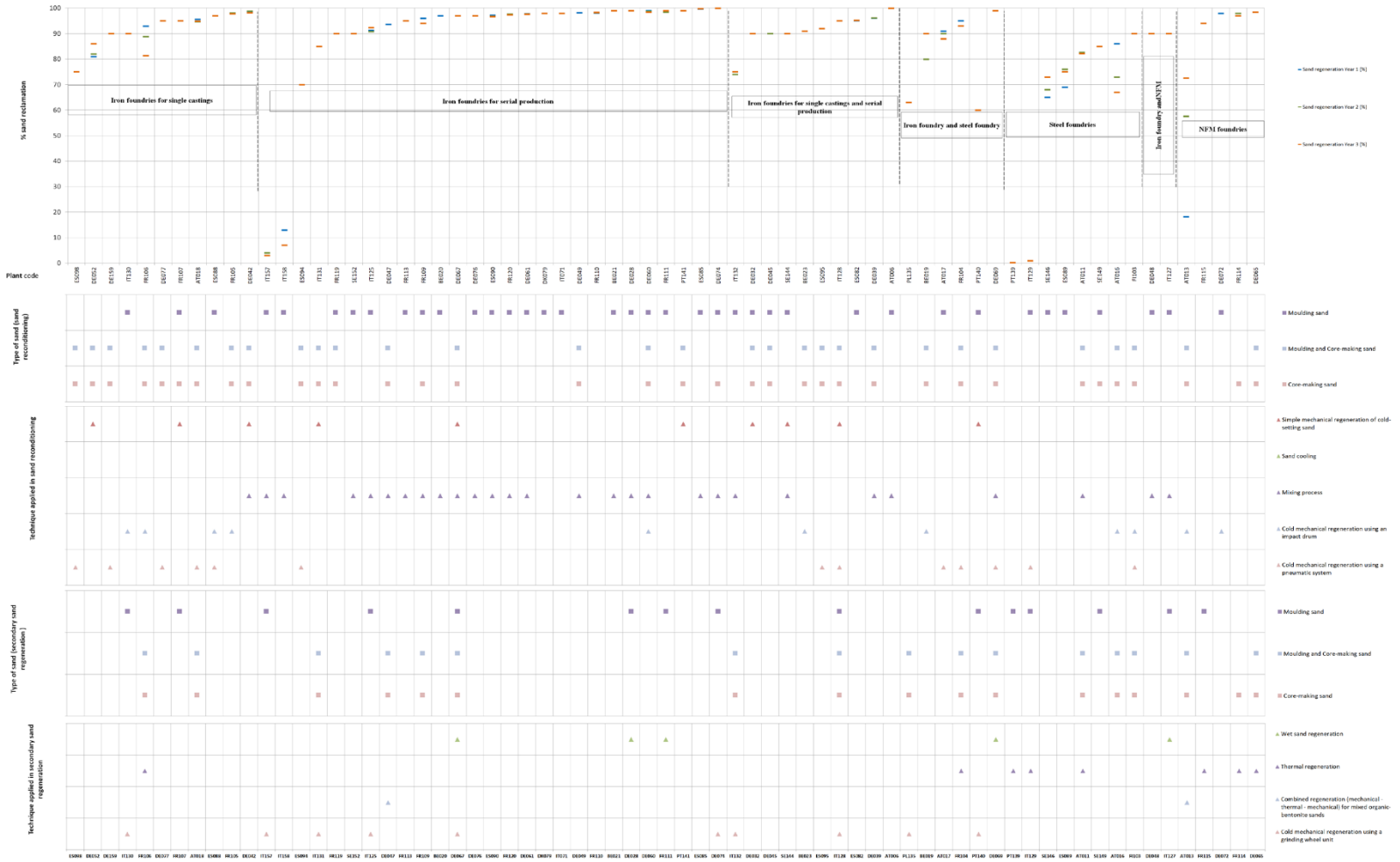
Źródło: [169. TWG 2021].

Rysunek 2.141: Operacyjna wydajność materiałowa (5/5) - Odlewnie metali nieżelaznych (HPDC)

2.3.6 Współczynnik ponownego wykorzystania piasku (odzyskanie i regeneracja)

W tej sekcji przedstawiono zgłoszone dane dotyczące wartości współczynnika ponownego wykorzystania piasku (wyrażone w procentach).
Należy zauważyć, że zebrane dane odnoszą się do stosunku ilości ponownie wykorzystanego piasku do ilości piasku ogółem, gdzie:

- ponownie wykorzystany piasek to ilość zregenerowanego i odzyskanego piasku, jeśli dotyczy; oraz
- całkowita ilość piasku to ilość ponownie wykorzystanego piasku i nowego piasku.



Źródło: [169. TWG 2021].

Rysunek 2.142: Współczynnik ponownego wykorzystania piasku

2.3.7 Wytwarzanie pozostałości/odpadów

Główne rodzaje pozostałości generowanych w odlewniach to żużel, zgary oraz zużyte okładziny ogniotrwałe z procesów topienia/utrzymywania, zużyty piasek z układu jego odzyskiwania/regeneracji oraz pył z filtrów zebrany w systemach odpylania.

2.3.7.1 Żużel

Żużle zawierają tlenki, które unoszą się na stopionym materiale i powstają w wyniku istnienia zanieczyszczeń w materiale wsadowym, zużycia materiału ogniotrwałego pieca i popiołu z koksu oraz topienia się wsadu metalowego [120. TWG 2003]. Żużle są wiązane poprzez dodanie spoiw, takich jak wermikulit.
Typowy skład żużla z żeliwiaka podano w poniższej tabeli. Zazwyczaj żeliwiak wytwarza 40-80 kg żużla na tonę ciekłego żelaza.

Tabela 2.93: Typowy skład żużla z żeliwiaka

Związek	%
SiO_2	45 – 55
CaO	25 – 40
Al_2O_3	8 – 20
MgO	1 – 3
MnO	1 – 4
FeO	1 – 6
Siarczki	< 1
TiO_2	< 1
ZnO	< 0,1
Źródło: [71. Neumann, F. 1994]., [59. Godinot 2001]	

Żużel z żeliwiaka składa się w 30% z materiału ogniotrwałego, w 10% z piasku (pochodzącego ze złomu obiegowego/własnego), w 40% z CaO (topnik), w 10% z popiołów koksowniczych i w 10% z wypalonego materiału.
Ważnym aspektem żużla z żeliwiaka jest jego wysoka zawartość SiO_2. Po hartowaniu żużel ma zeszkloną strukturę. Tworzy to obojętny materiał, który nie ulega wypłukiwaniu.
Skład chemiczny żużla z pieca łukowego (EAF) podano w poniższej tabeli. Podane wartości oparto na analizach trzech próbek.

Tabela 2.94: Chemiczny skład żużla z pieca łukowego (EAF)

Związek	Średnia (%)	Zakres (%)
SiO_2	36,2	28,6 – 41,8
Wapno	12,4	7,2 – 17,7
MgO	22,1	18,3 – 27,0
Al_2O_3	8,4	7,4 – 0,1
FeO	0,7	0,5 – 1,0
MnO	14,8	4,0 – 29,6
TiO_2	1,2	0,39 – 2,7
Na_2O	0,3	0,11 – 0,57
K_2O	0,1	0,1 – 0,23
Źródło: [70. The Castings Development Centre 1999].		

Typowe właściwości żużli z pieców indukcyjnych wytwarzanych w odlewniach żelaza podano w poniższej tabeli. Piece indukcyjne wytwarzają od 10 do 20 kg żużla na tonę wsadu metalowego. Ilość wytwarzanego żużla zależy od jakości materiału wsadowego. Dolna granica podanego zakresu ma zastosowanie, jeśli złom obiegowy/własny jest czyszczony (śrutowanie) przed przetopieniem.

Tabela 2.95: Typowy skład żużla z pieca indukcyjnego

Związek	%
SiO_2	40 – 70
FeO	10 – 30
Al_2O_3	2 – 15

Związek	%
MnO	2 – 10
CaO	0 – 3
MgO	0 – 3
Źródło: [71. Neumann, F. 1994].	

W odlewniach aluminium szacowane wytwarzanie żużla przedstawia się następująco:

- dla pieców szybowych, wytwarzanie żużla (z 35 - 40 % Al) jest rzędu 40,3 kg/t udanego odlewu. [76. Silva Ribeiro, C. A. 2002];
- dla pieców tyglowych wytwarzanie żużla jest rzędu 61 kg/t udanego odlewu [76, Silva Ribeiro, C. A. 2002].

W odlewniach aluminium straty metalu, przedstawione w Tabeli 2.26, mieszczą się zazwyczaj w zakresie 1 - 3% (dla pieców szybowych) i 1 - 2% (dla pieców tyglowych). Strata metalu zwykle obejmuje zarówno żużel, jak i kożuch żużlowy.
Żużel z konwertora AOD (odwęglanie argonowo-tlenowe) jest szczególnie „oczyszczony" z tlenków metali, ponieważ, ze względu na specyfikę procesu, są one zwykle zużywane. Skład żużla podano w Tabeli 2.96.

Tabela 2.96: Skład żużla z konwertora AOD

Związek	%
CaO	50 – 70
Al_2O_3	5 – 25
SiO_2	10 – 25
MgO	5 – 15
Źródło: [100. TWG 2002].	

Zgłoszone poziomy wytwarzania i postępowania z żużlem przedstawiono w Sekcji 2.3.7.6.

2.3.7.2 Zgary

Zgłoszone poziomy wytwarzania i postępowania ze zgarami przedstawiono w Sekcji 2.3.7.6.

2.3.7.3 Odpady wykładzin ogniotrwałych

Żeliwiak charakteryzuje się tym, że materiał wykładziny (mieszanka kwarcu i gliny) w strefie topienia wystarcza tylko na jeden cykl topienia. Główna część materiału ogniotrwałego przekształca się w żużel. Ilość materiału, który należy usunąć i unieszkodliwić jako odpad, jest znacznie mniejsza niż ilość zastosowana.
Zgłoszone poziomy wytwarzania i postępowania z odpadami wykładzin ogniotrwałych przedstawiono w Sekcji 2.3.7.6.

2.3.7.4 Pył z filtrów

Zgłoszone poziomy wytwarzania i postępowania z pyłem z filtrów przedstawiono w Sekcji 2.3.7.6.

2.3.7.5 Zużyty piasek

Dane i informacje kontekstowe dotyczące zarządzania zużytym piaskiem zostały zgłoszone przez:

- 88 zakładów produkujących piasek formierski;
- 40 zakładów produkujących piasek do produkcji rdzeni;
- 19 zakładów wykorzystujących piasek do celów nieokreślonych.

Zgłoszone dane (według techniki zarządzania) przedstawiono w poniższych tabelach.

Tabela 2.97: Zgłoszone dane dotyczące ponownego wykorzystania zużytego piasku (w kg/t ciekłego metalu)

Numer zakładu	Min.	Średnia	Maks.
ES088	2	3	3
DK079	55	75	95
DE052	286	308	345
PT140	705	786	920
FR114	997	1 028	1 060
FR115	997	1 028	1 060
FR105	1 551	1 587	1 631
FR104	1 450	2 097	2 640

Numer zakładu	Min.	Średnia	Maks.
SE150	2 998	3 044	3 088
AT017	3 013	3 159	3 232
FR106	4 320	5 101	5 938
IT071	6 814	6 904	6 993
DE040	6 643	6 898	7 241
ES082	7 005	7 109	7 283
FI102	7 412	7 418	7 423
FR109	10 000	10 000	10 000
DE070	9 589	10 125	10 510
SE151	307	5 683	11 058
FR111	15 486	17 283	20 086
DE066	31 620	31 760	31 960
DE077	360 000	531 000	788 000

Tabela 2.98: Zgłoszone dane dotyczące recyklingu zużytego piasku (w kg/t ciekłego metalu)

Numer zakładu	Min.	Średnia	Maks.
IT157	0	0	0
FI103	1	1	1
DE043	1	1	1
DE069	1	1	1
DE049	1	1	2
ES082	-	2	3
FR109	0	4	5
AT006	9	11	13
FR114	2	11	21
FR105	21	22	23
ES096	1	18	26
FR119	4	20	38
IT071	14	26	39
BE023	20	33	41
DE065	8	32	51
ES091	1	29	64
FR115	62	64	67
DE039	59	63	69
DE058	70	76	81
BE020	68	76	83
AT017	70	83	100
IT130	89	103	114
DE040	118	121	122
AT011	124	130	139
AT009	124	134	143
FR110	0	92	164
IT127	166	183	211
AT012	198	206	214
FR111	187	206	238
FR112	54	122	238
BE022	37	127	255
PT141	11	122	255
FR113	232	241	257
SE149	313	330	358
IT134	266	342	419
DE070	276	346	432
SE150	449	471	494
IT125	410	471	526
ES092	578	597	617
ES089	362	546	748
PL135	950	1 007	1 100
PT140	116	1 058	2 300
AT004	2 167 000	2 403 500	2 640 000

Tabela 2.99: Zgłoszone dane dotyczące odzysku zużytego piasku (w kg/t ciekłego metalu)

Numer zakładu	Min.	Średnia	Maks.
FR118	3	3	4
SE150	6	13	18
AT010	24	24	24
DE039	55	58	63
FR112	34	47	67
ES085	25	60	88
DE051	32	79	125
ES094	136	136	136
DE049	131	140	149
DE050	0	82	167
DE057	174	174	174
FI102	14	111	209
IT132	193	214	235
PL138	65	157	249
DE041	26	151	349
DE056	348	357	376
BE023	126	271	438
SE151	491	491	491
ES095	368	448	527
DE046	103	403	796

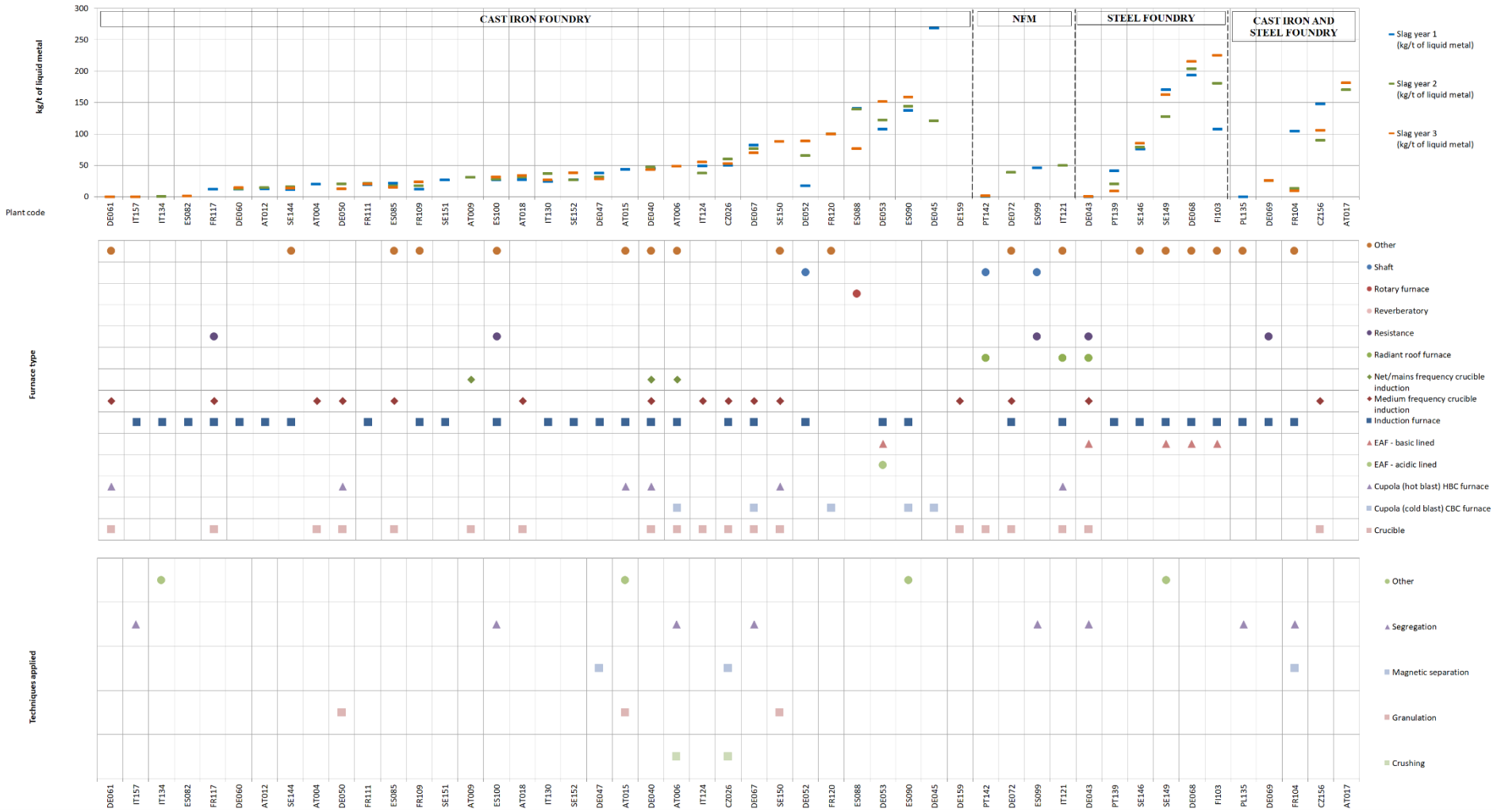
Tabela 2.100: Zgłoszone dane dotyczące unieszkodliwiania zużytego piasku (w kg/t ciekłego metalu)

Numer zakładu	Min.	Średnia	Maks.
DE043	0	0	0
DE061	0	0	0
PT139	0	0	0
AT012	1	1	1
DK079	2	4	5
DE050	0	4	8
SE150	5	8	12
FR107	18	18	18
ES096	19	19	19
DE054	21	21	21
FR118	26	28	30
DE072	13	24	34
AT009	3	19	34
DE065	0	15	34
AT015	36	36	36
FR113	15	28	40
DE070	0	13	40
ES085	5	20	43
ES082	58	60	63
DE060	3	35	70
DE042	56	63	75
DE040	80	83	86
FR117	4	32	94

Numer zakładu	Min.	Średnia	Maks.
DE052	59	84	106
DE074	45	76	107
ES094	105	141	159
FR104	112	139	166
DE053	128	150	179
DE067	153	177	194
SE145	20	124	230
DE032	213	224	234
DE045	244	254	263
SE152	16	140	264
ES095	293	293	293
SE144	210	245	296
FR120	278	285	298
DE046	22	139	301
DE048	266	290	314
DE047	20	166	329
AT017	234	281	335
IT124	278	311	343
DE068	269	298	357
DE066	260	315	380
PL137	355	378	422
AT018	114	264	485
DE044	54	281	509
SE146	304	401	523
DE076	12	262	525
DE069	427	514	592
ES090	562	588	606
CZ026	687	698	716
ES089	476	608	777
FR106	540	730	980
CZ156	1 526	2 184	3 358
AT013	101	2 329	6 728

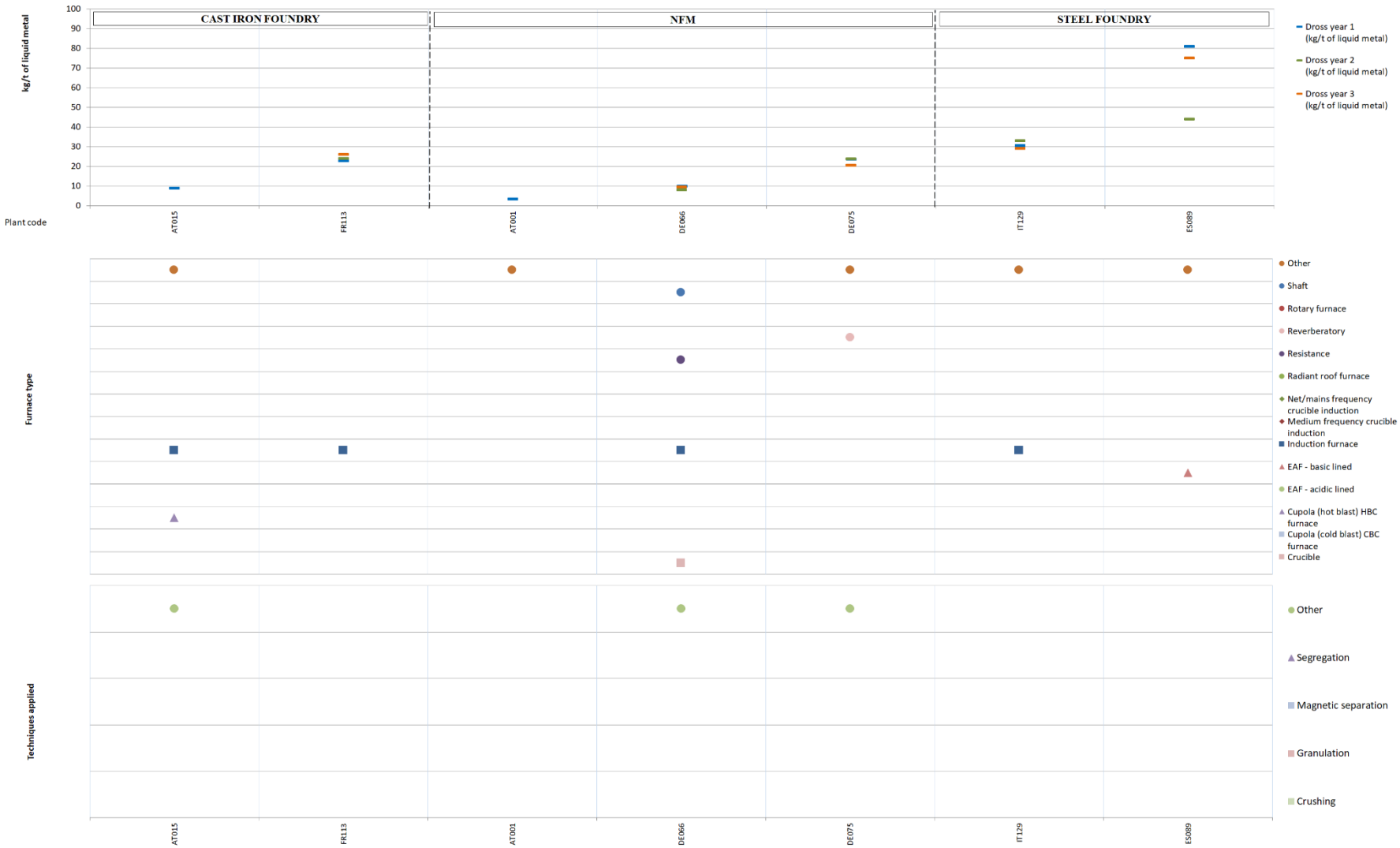
2.3.7.6 Wykresy przedstawiające ilości pozostałości przekazanych do unieszkodliwiania

Na poniższych wykresach w niniejszej sekcji przedstawiono konkretne ilości każdego rodzaju pozostałości przekazanych do unieszkodliwiania wraz z dodatkowymi informacjami kontekstowymi na temat typu pieca i zastosowanych technik gospodarowania tymi pozostałościami.



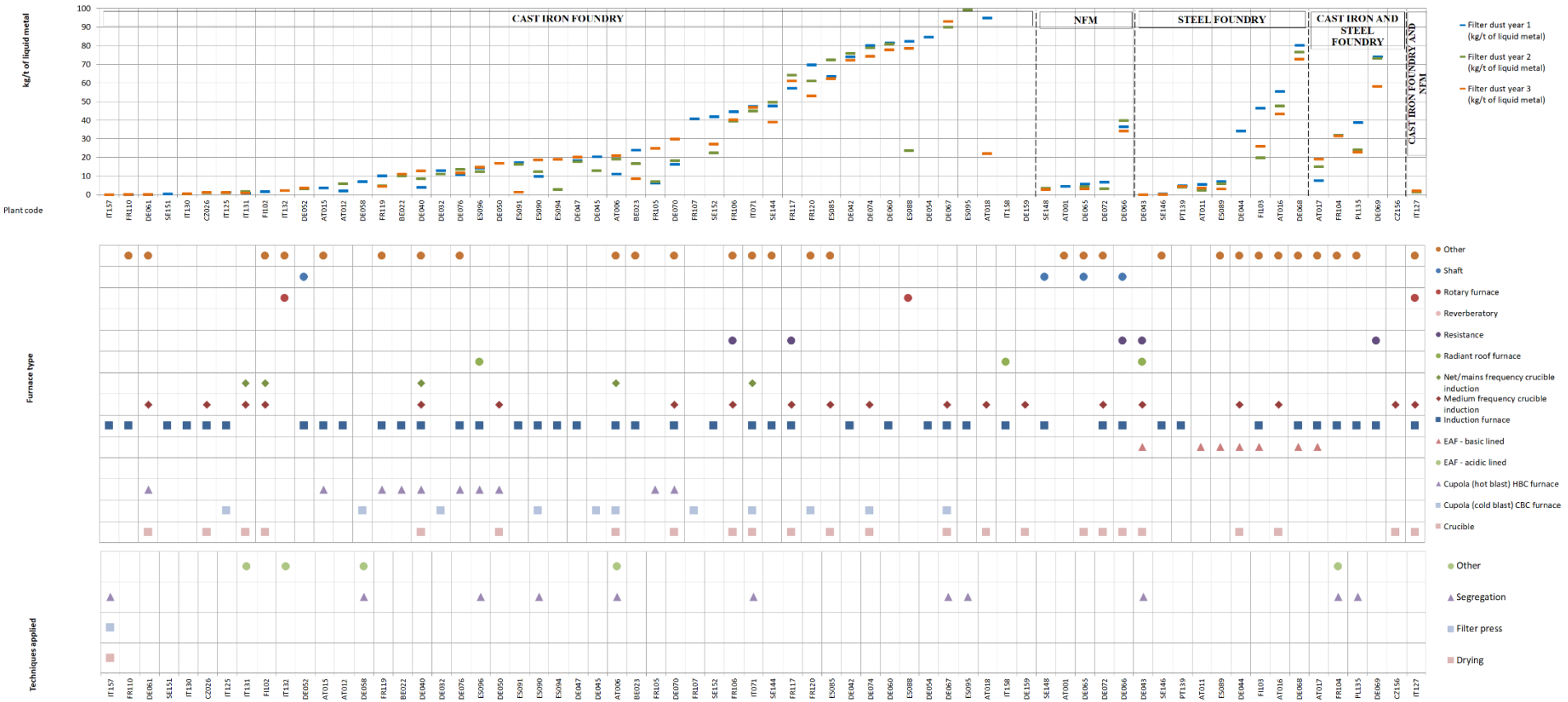
Źródło: [169. TWG 2021].

Rysunek 2.143: Żużel wysłany do unieszkodliwiania



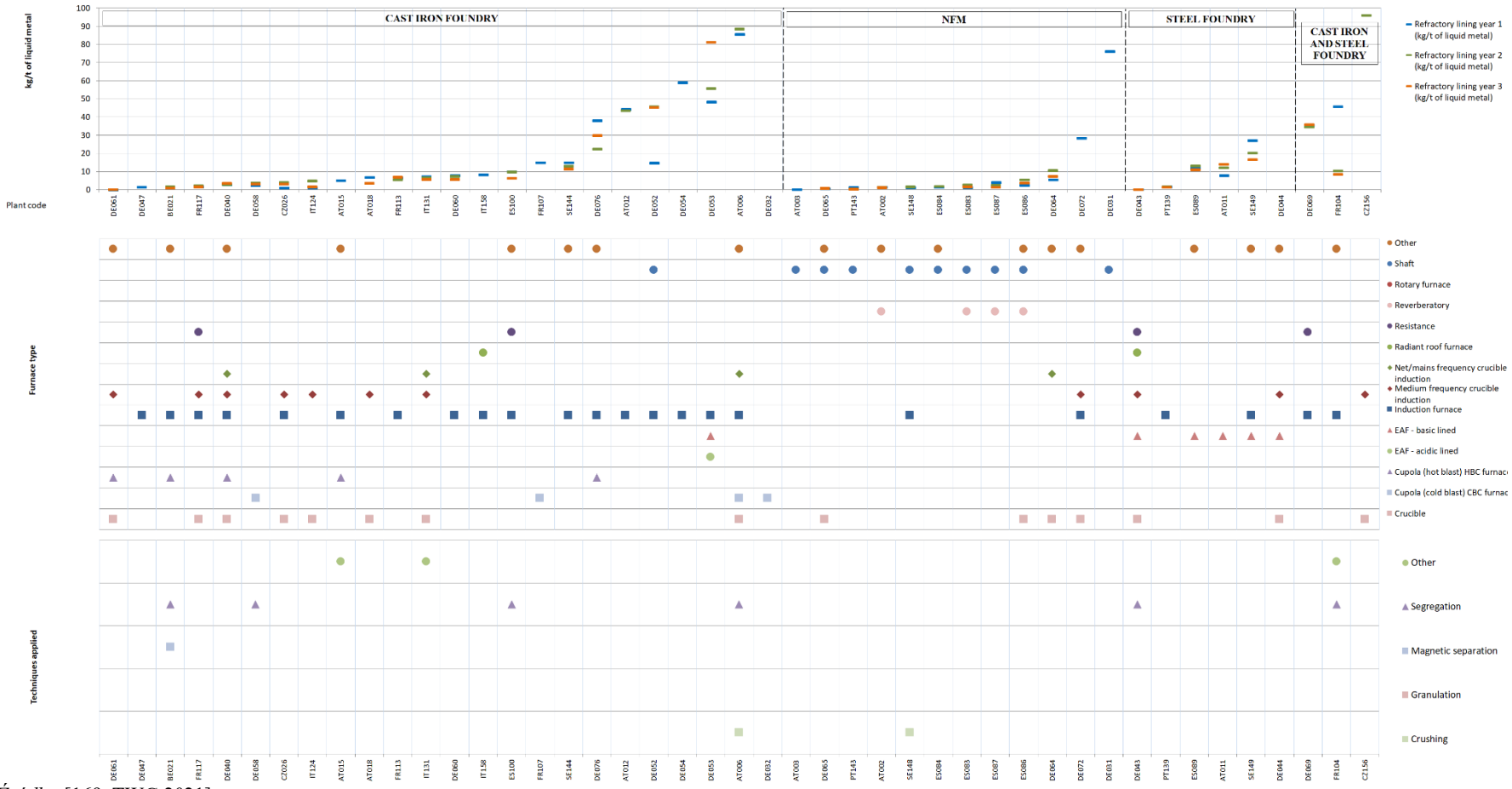
Źródło: [169. TWG 2021].

Rysunek 2.144: Zgary wysłane do unieszkodliwiania



Źródło: [169. TWG 2021].

Rysunek 2.145: Pył z filtrów wysłany do unieszkodliwiania



Źródło: [169. TWG 2021].

Rysunek 2.146: Odpady wykładzin ogniotrwałych wysłane do unieszkodliwiania

2.3.8 Zużycie energii

Dane z audytów energetycznych przeprowadzonych w 17 europejskich odlewniach w ramach projektu Foundry Bench wskazują, że zużycie energii w odlewniach żeliwa było stosunkowo jednolite, natomiast odchylenia w odlewniach stali i metali nieżelaznych zależą w dużym stopniu od technologii produkcji, jakości stali i odlewów. W szczególności zależy to od obróbki cieplnej wymaganej dla odlewów stalowych (zob. Tabela 2.101). [183. Projekt Foundry Bench 2012].

Tabela 2.101: Średnie zużycie energii w różnych typach odlewni

Jednostka/typ odlewni	Odlewnia żelaza	Odlewnia stali	Odlewnia metali
Energia/tonę (MWh/t ciekłego metalu)	2,5	5 – 8	4 – 10
Koszt energii w stosunku do wartości biznesowej produktu (%)	5 – 8	6 – 11	4 – 8
Źródło: [183. Projekt Foundry Bench 2012].			

Zakres potencjału oszczędności energii różni się w zależności od odlewni. Istnieją znaczne różnice między odlewniami, związane na przykład z jakością produkowanego materiału i warunkami klimatycznymi panującymi w danej lokalizacji. Potencjał oszczędności w 17 skontrolowanych odlewniach wyniósł 17 % (+ 7 %). [183. Projekt Foundry Bench 2012].

Tabela 2.102: Średnie zużycie energii w różnych typach odlewni

Proces	Udział energii w odlewni żelaza (%) i zakres (±%)	Udział energii w odlewni stali (%) i zakres (±%)	Udział energii w odlewni metali nieżelaznych (%) i zakres (±%)	Potencjał oszczędności (%)
Topienie	55 ± 10	45 ± 5	65 ± 10	6 – 10
Wyżarzanie	1 ± 1	25 ± 2	-	stal (3)
Napędy	12 ± 4	9 ± 2	11 ± 5	1
System CA	7 ± 3	5 ±'2	5 ± 3	2
Wstępne podgrzewanie kadzi	4 ± 2	4 ± 2	3 ± 2	2
Wentylacja	14 ± 5	7 ± 5	10 ± 8	4 – 7
Ogrzewanie	3 ± 2	2 ± 1	3 ± 2	1
Oświetlenie	4 ± 1	3 ± 1	3 ± 1	1
Ogółem	100	100	100	17 – 24
Źródło: [183. Projekt Foundry Bench 2012].				

Ankieta przeprowadzona wśród 58 odlewni stali zlokalizowanych w USA dostarczyła danych statystycznych na temat zużycia energii. Zgłoszone zużycie energii na topienie stali waha się od 350 kWh/t do 700 kWh/t, ze średnią 527 kWh/t. [197. Biswas i in. 2012]

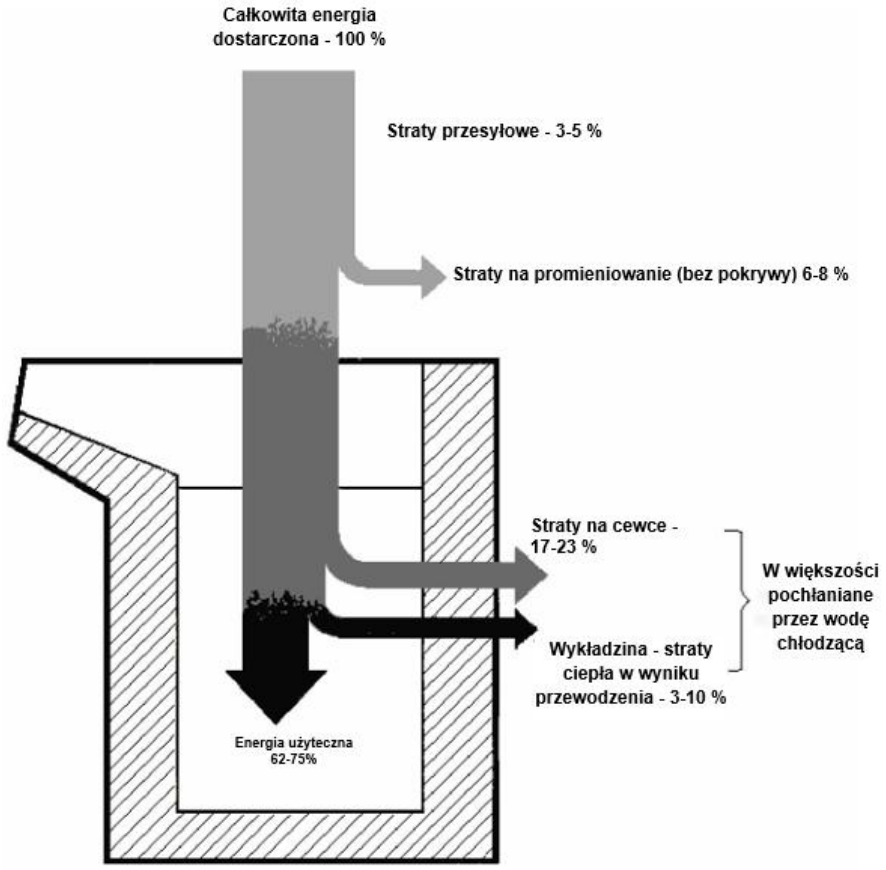
2.3.8.1 Zużycie koksu i energii w żeliwiakach

Zobacz Sekcja 2.3.1.1.

2.3.8.2 Zużycie energii w bezrdzeniowych piecach indukcyjnych

Bezrdzeniowy piec indukcyjny może stopić tonę żelaza i podnieść temperaturę ciekłego metalu do 1 450 ºC zużywając mniej niż 600 kWh/tonę energii elektrycznej. Jednak w praktyce tylko kilka odlewni jest w stanie osiągnąć taki poziom zużycia energii w skali tygodnia. Rzeczywiste zużycie energii różni się w zależności od wielkości i trybu pracy pieca. Duże piece, pracujące 24 godziny na dobę i wykorzystujące stopiony metal mogą osiągnąć wartość 600 kWh/tonę. Z badań przeprowadzonych w odlewniach wynika, że powszechne jest zużycie na poziomie 520 - 800 kWh/tonę wsadu metalu, przy czym zróżnicowanie to wynika z indywidualnych praktyk w zakresie topienia, takich jak szybkość, z jaką linia zalewania przyjmuje

stopiony metal i czy pokrywy pieców są efektywnie wykorzystywane. Zwrócenie uwagi na oszczędność energii powinno pozwolić na osiągnięcie wartości 550 - 650 kWh/tonę wsadu metalu. Typowe straty ciepła z bezrdzeniowego pieca indukcyjnego przedstawiono na Rysunku 3.2. [23. ETSU 1992], [73. Brown, J. R. 2000], [100. TWG 2002].



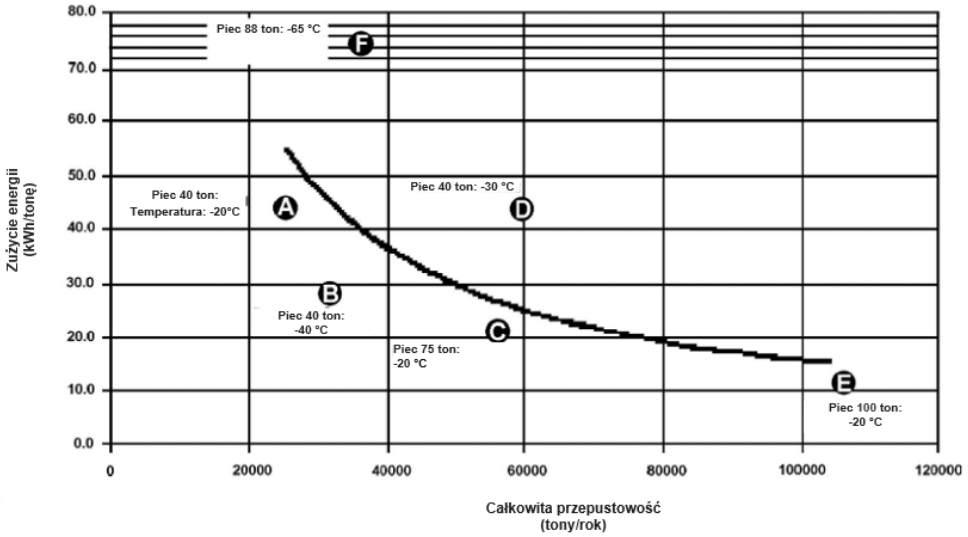
Źródło: [23. ETSU 1992].

Rysunek 2.147: Typowe straty energii w bezrdzeniowym piecu indukcyjnym o częstotliwości sieci elektrycznej

2.3.8.3 Zużycie energii w kanałowych piecach indukcyjnych

W odlewniach metali żelaznych kanałowy piec indukcyjny stosowany jest głównie jako piec do utrzymywania i zalewania. Jest to piec wybierany do pracy w układzie podwójnym z żeliwiakiem z gorącym dmuchem. W tym przypadku jego zadaniem jest utrzymywanie lub ujednolicenie składu chemicznego metalu lub pełnienie funkcji zbiornika stopionego metalu do odlewania. Zadaniem pieca nie jest znaczne podwyższenie temperatury metalu, ale raczej zapobieganie jego niepożądanemu ochłodzeniu.

Rysunek 2.148 przedstawia poziomy zużycia energii przez niektóre reprezentatywne kanałowe piece indukcyjne. Zużycie zależy od parametrów związanych z procesem, takich jak czas utrzymywania temperatury. Wykres pokazuje, że zużycie maleje wraz ze wzrostem rocznego tonażu. Skrajne wartości to 80 kWh i 20 kWh na tonę przetworzonego materiału.



Źródło: [47, Sieć tematyczna UE Odpady odlewnicze 2001].

Rysunek 2.148: Zużycie energii (kWh/tonę) jako funkcja przetworzonego materiału i spadku temperatury dla kanałowych pieców indukcyjnych.

2.3.8.4 Zużycie energii w piecach indukcyjnych do aluminium

Piece indukcyjne są energooszczędnymi urządzeniami do topienia. Na zużycie energii podczas topienia ma wpływ gęstość wsadu i stosowana metoda topienia. Topienie partiami jest mniej wydajne niż topienie z wykorzystaniem stopionej pozostałości metalu (*molten heel*). Najbardziej wydajne jest topienie z wykorzystaniem 50% stopionej pozostałości. Zużycie energii waha się od 540 kWh/tonę dla wsadu o dużej gęstości objętościowej (małe kawałki złomu i wlewki) do 600 kWh/tonę w przypadku topienia złomu o mniejszej gęstości (takiego jak pozostałości z prowadnic do odlewania ciśnieniowego i wlewki). Chociaż zużycie energii jest niskie, koszty topienia mogą być wyższe niż w przypadku pieców opalanych gazem ze względu na ogólnie wyższy koszt energii elektrycznej jako źródła ciepła. [74. Brown, J. R. 1999], [52. Eurofine 2002]

2.3.8.5 Zużycie energii w piecach szybowych do aluminium

Jednostkowe zużycie energii w piecach szybowych do topienia może zależeć w dużym stopniu od różnych typów pieców dostępnych na rynku. Jednakże w 2005 r. Bawarski Urząd Ochrony Środowiska podał zakres jednostkowego zużycia energii wynoszący od 580 kWh/t do 900 kWh/t aluminium. Wydajność pieca zależy zasadniczo od strat związanych z gazami odlotowymi, promieniowaniem i ładowaniem do pieca. Ponadto istotne mogą być inne czynniki eksploatacyjne, takie jak sposób pracy pieca lub temperatura kąpieli/spustu, materiał wsadu (stop, wielkość elementów itp.) oraz stopień wykorzystania pieca. W piecach szybowych z przepływem przeciwprądowym straty związane z gazami odlotowymi podczas procesu topienia i utrzymywania temperatury są znacznie zmniejszone dzięki wewnętrznemu podgrzewaniu materiału. Zasada działania pieca szybowego jest optymalnie wykorzystana dzięki bezpośredniemu monitorowaniu, automatycznemu systemowi załadunku lub również poprzez powiększenie szybu. Temperatura powierzchni jest często stosowana jako miara strat promieniowania pieca. Należy jednak uwzględnić również straty przez drzwi i podczas załadunku. Te ostatnie są nieistotne w piecach szybowych, ponieważ stop jest ładowany na zimnym końcu. Dzięki konsekwentnemu wykorzystaniu zasady działania pieca szybowego i minimalizacji strat promieniowania można osiągnąć zużycie energii w trybie ciągłej pracy poniżej 540 kWh/t przy temperaturze topienia 720 °C, co odpowiada sprawności 65 %. Dotyczy to zarówno stosowania wlewków, jak i dużych kawałków metalu z recyklingu. [216. Beneke et al., 2015], [210. TWG 2022]

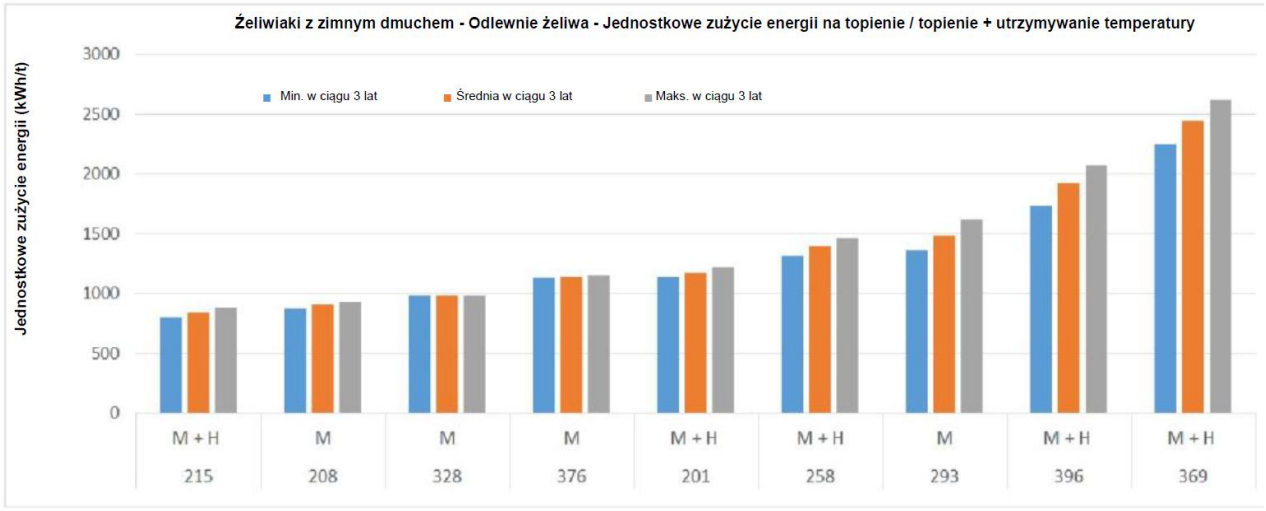
2.3.8.6 Wartości dla jednostkowego zużycia energii

Na poniższych wykresach przedstawiono zgłoszone poziomy jednostkowego zużycia energii wyrażone w kWh/t ciekłego metalu.
Dane dotyczące jednostkowego zużycia energii zostały uznane przez TWG za poufne informacje handlowe (*confidential business information - CBI*). W celu zachowania poufności tych informacji nazwa zakładu nie została podana na wykresach i w tabelach przedstawionych w niniejszym dokumencie. Nazwy zakładów zostały zastąpione przypisanymi losowo kodami CBI dla każdego zakładu. Ponadto nie podano żadnych

informacji kontekstowych (np. parametrów procesu lub zastosowanych technik), ponieważ mogłyby one ujawnić tożsamość zakładów. Wszystkie dane dotyczące zużycia energii przedstawiono w porządku rosnącym według maksymalnych wartości zużycia energii.

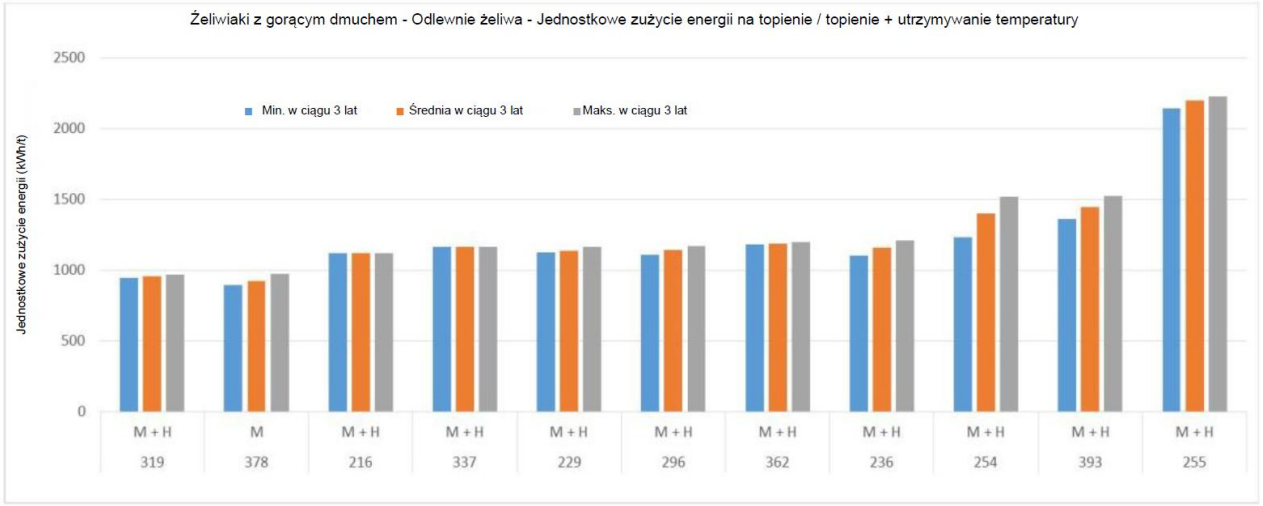
Stosowane procesy (zgodnie z przedłożonymi danymi) to:

- topienie metalu;
- obróbka cieplna
- utrzymywanie temperatury – zalewanie;
- podgrzewanie kadzi;
- suszenie.



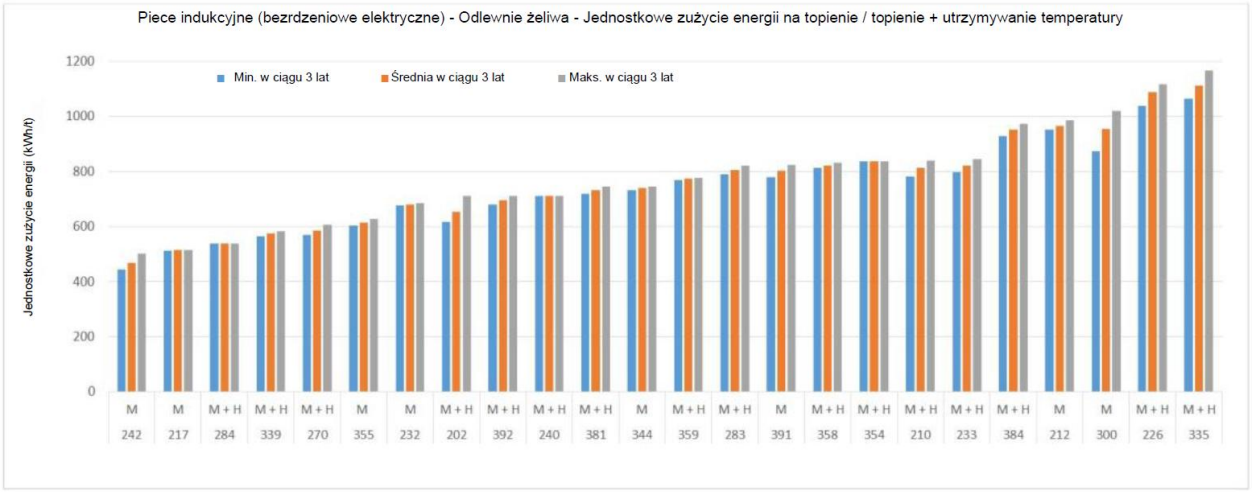
Źródło: [169. TWG 2021].

Rysunek 2.149: Jednostkowe zużycie energii na topienie / topienie i utrzymywanie temperatury w odlewniach żeliwa stosujących żeliwiaki z zimnym dmuchem



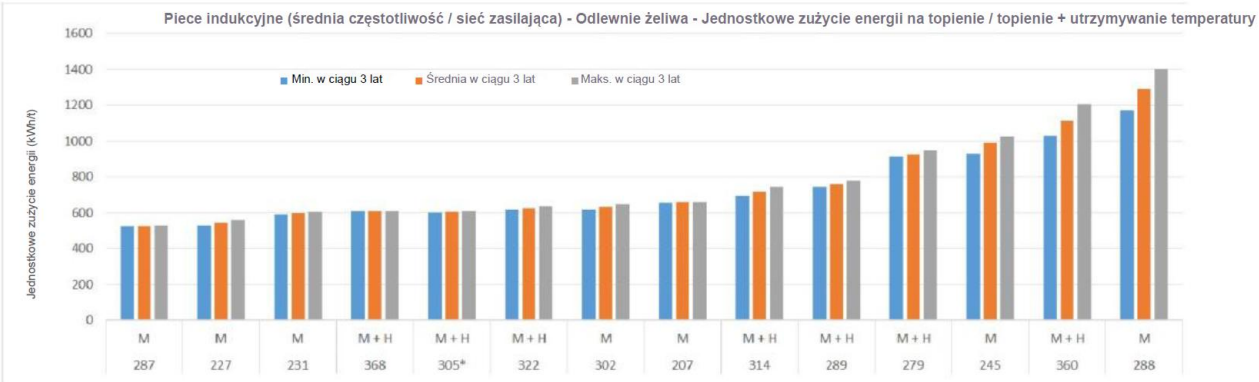
Źródło: [169. TWG 2021].

Rysunek 2.150: Jednostkowe zużycie energii na topienie / topienie i utrzymywanie temperatury w odlewniach żeliwa stosujących żeliwiaki z gorącym dmuchem



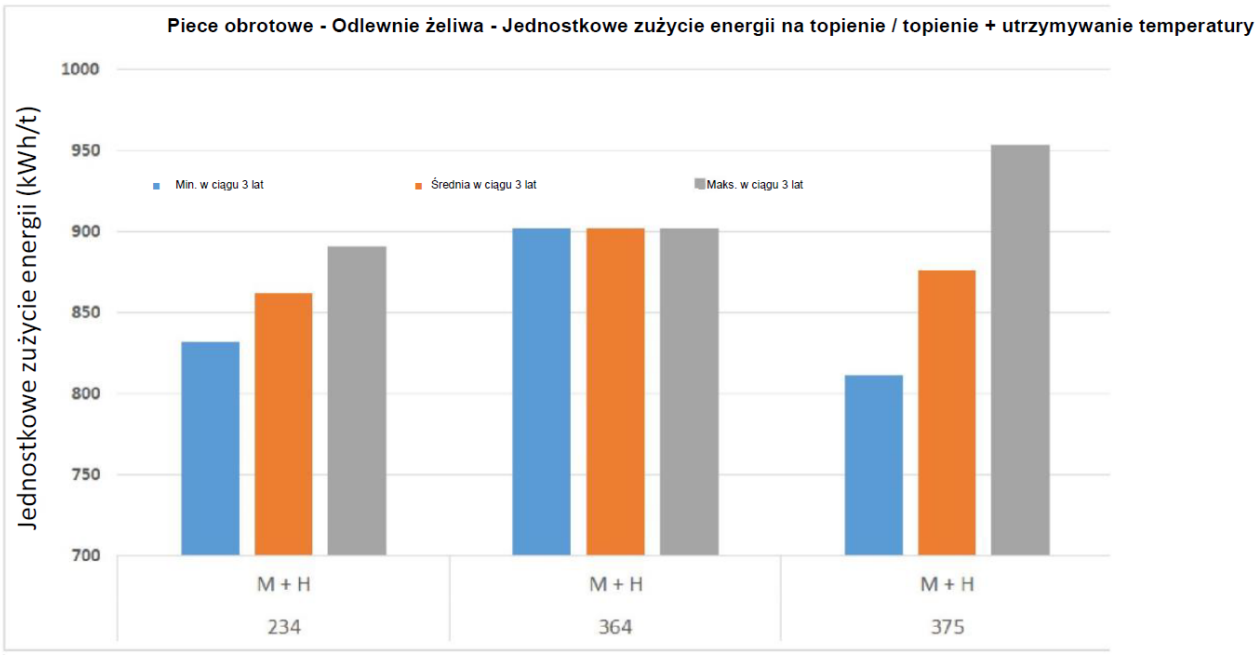
Źródło: [169. TWG 2021].

Rysunek 2.151: Jednostkowe zużycie energii na topienie / topienie i utrzymywanie temperatury w odlewniach żeliwa stosujących piece indukcyjne (elektryczne bezrdzeniowe)



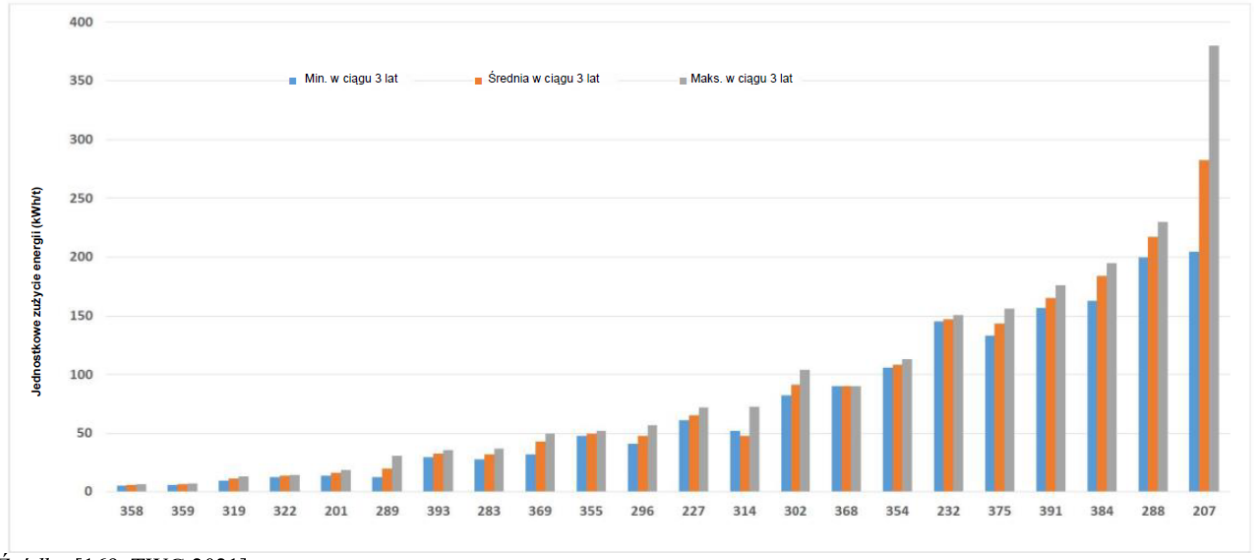
Źródło: [169. TWG 2021].

Rysunek 2.152: Jednostkowe zużycie energii na topienie / topienie i utrzymywanie w odlewniach żeliwa stosujących piece indukcyjne (wartość średnia - częstotliwość sieciowa)



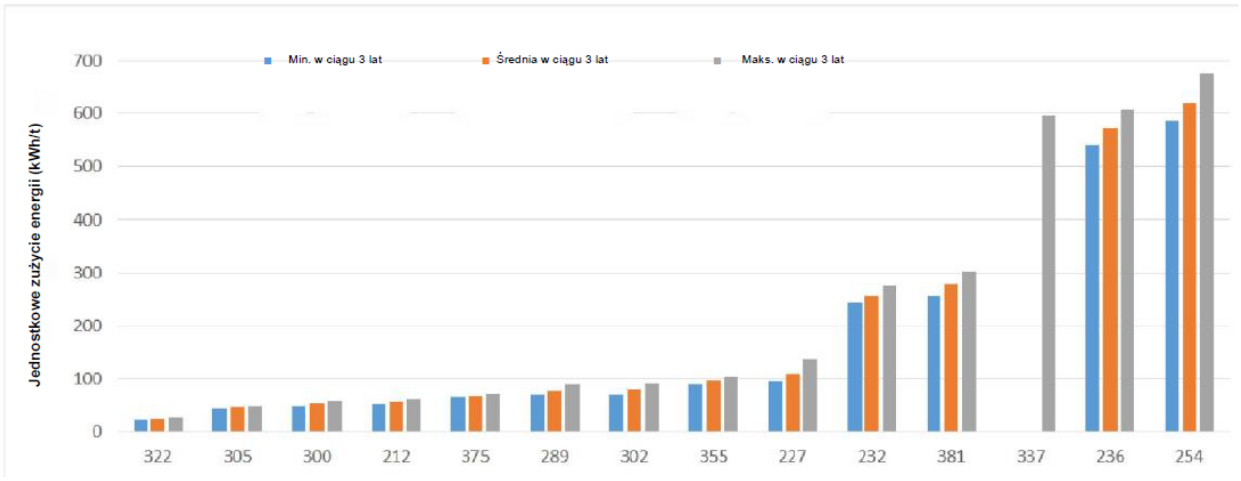
Źródło: [169. TWG 2021].

Rysunek 2.153: Jednostkowe zużycie energii na topienie / topienie i utrzymywanie temperatury w odlewniach żeliwa stosujących piece obrotowe



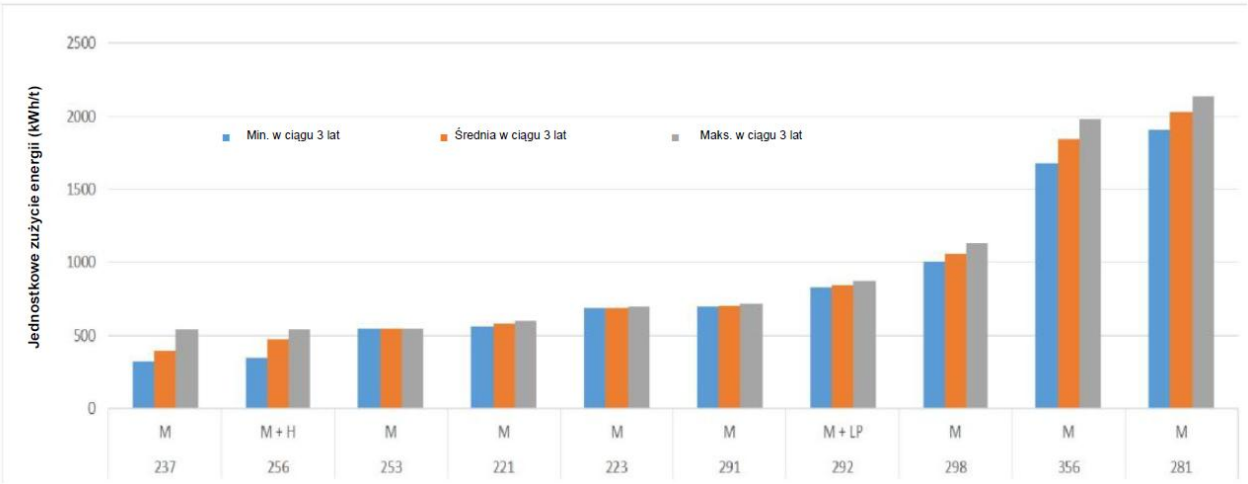
Źródło: [169. TWG 2021].

Rysunek 2.154: Jednostkowe zużycie energii na podgrzewanie kadzi w odlewniach żeliwa



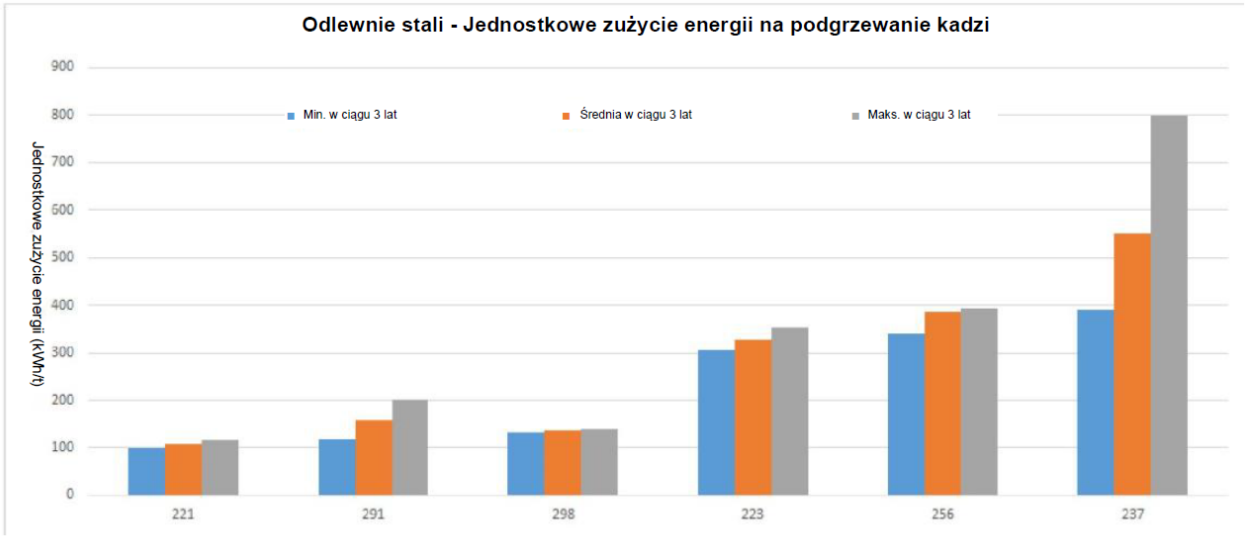
Źródło: [169. TWG 2021].

Rysunek 2.155: Jednostkowe zużycie energii na obróbkę cieplną w odlewniach żeliwa



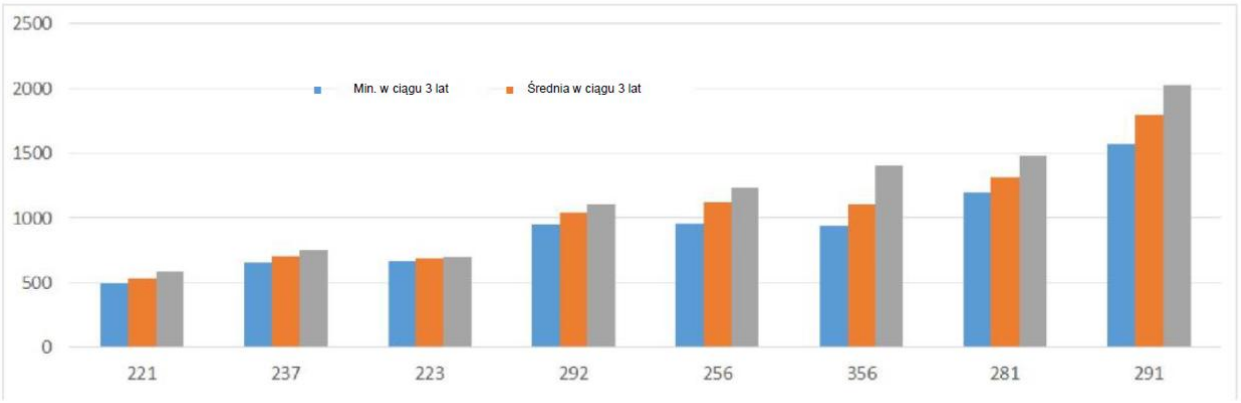
Źródło: [169. TWG 2021].

Rysunek 2.156: Jednostkowe zużycie energii na topienie metali w odlewniach stali



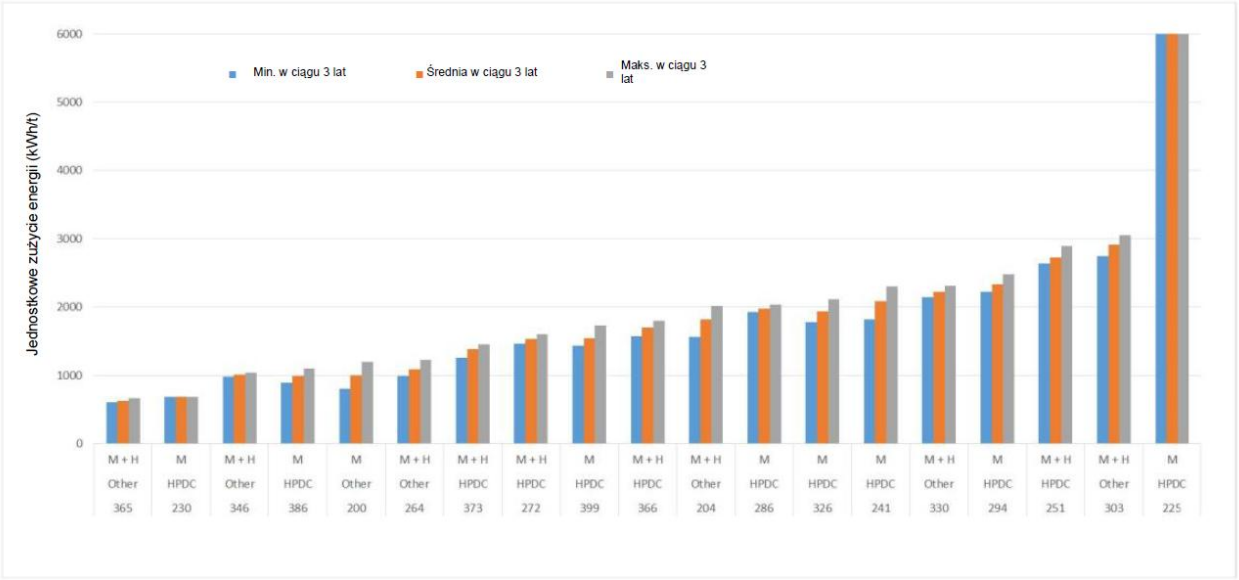
Źródło: [169. TWG 2021].

Rysunek 2.157: Jednostkowe zużycie energii na podgrzewanie kadzi w odlewniach stali



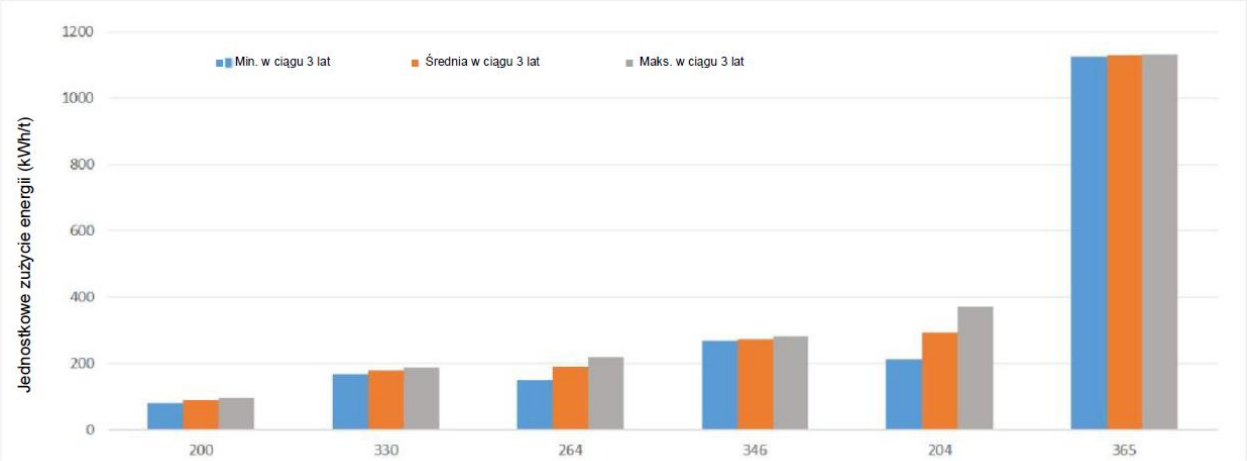
Źródło: [169. TWG 2021].

Rysunek 2.158: Jednostkowe zużycie energii na obróbkę cieplną w odlewniach stali



Źródło: [169. TWG 2021].

Rysunek 2.159: Jednostkowe zużycie energii na topienie metalu w odlewniach aluminium



Źródło: [169. TWG 2021].

Rysunek 2.160: Jednostkowe zużycie energii na obróbkę cieplną w odlewniach aluminium

3 TECHNIKI DO UWZGLĘDNIENIA PRZY OKREŚLANIU BAT

W tej sekcji opisano techniki (lub ich kombinacje) i związane z nimi monitorowanie, które uważa się za mające potencjał do osiągnięcia wysokiego poziomu ochrony środowiska w działalności objętej zakresem niniejszego dokumentu. Opisane techniki będą obejmować zarówno stosowaną technologię, jak i sposób, w jaki instalacje są projektowane, budowane, konserwowane, obsługiwane i wycofywane z eksploatacji.
Obejmuje systemy zarządzania środowiskowego, a także techniki zintegrowane z procesami oraz tzw. techniki „końca rury" (*end-of-pipe*). Uwzględniono również zapobieganie powstawaniu odpadów i zarządzanie nimi, w tym procedury minimalizacji odpadów i recyklingu, a także techniki zmniejszające zużycie surowców, wody i energii poprzez optymalizację ich wykorzystania i ponownego użycia. Opisane techniki obejmują również zapobieganie lub ograniczanie środowiskowych skutków wypadków i incydentów. Obejmują także zapobieganie lub redukcję emisji w warunkach innych niż normalne (takich jak operacje rozruchu i wyłączenia, wycieki, awarie, chwilowe przestoje i ostateczne zaprzestanie działalności).
Załącznik III do Dyrektywy wymienia szereg kryteriów określania BAT, a informacje zawarte w niniejszym rozdziale będą odnosić się do tych rozważań. W miarę możliwości do przedstawienia informacji na temat poszczególnych technik wykorzystano standardową strukturę zawartą w **Tabeli 3.1** aby umożliwić porównanie technik i ocenę ich zgodności z definicją BAT zawartą w Dyrektywie.
Niniejsza sekcja niekoniecznie zawiera wyczerpującą listę technik, które można zastosować w tym sektorze. Mogą istnieć lub zostać opracowane inne techniki, które mogą być brane pod uwagę przy określaniu BAT dla poszczególnych instalacji.

Tabela 3.1: Informacje dotyczące każdej techniki

Nagłówek w ramach sekcji	**Rodzaj zawartych informacji**
Opis	Krótki opis techniki z myślą o wykorzystaniu w konkluzjach dotyczących BAT.
Szczegóły techniczne	Bardziej szczegółowy, ale zwięzły opis techniczny, zawierający w stosownych przypadkach równania chemiczne lub inne, zdjęcia, diagramy i schematy blokowe.
Osiągnięte korzyści dla środowiska	Główne potencjalne korzyści środowiskowe, które można uzyskać dzięki wdrożeniu techniki (w tym zmniejszone zużycie energii; zmniejszone emisje do wody, powietrza i gleby; oszczędności surowców; a także wzrost wydajności produkcji, zmniejszenie ilości odpadów itp.)
Wyniki w zakresie ochrony środowiska (efektywność środowiskowa) oraz dane operacyjne	Rzeczywiste i specyficzne dla zakładu dane dotyczące efektywności (w tym poziomy emisji, poziomy zużycia – surowców, wody, energii – oraz ilości wytworzonych pozostałości/odpadów) z dobrze działających instalacji/zakładów (w odniesieniu do środowiska jako całości) stosujących daną technikę, wraz z odpowiednimi informacjami kontekstowymi. Wszelkie inne użyteczne informacje dotyczące następujących kwestii: • sposób projektowania, eksploatacji, konserwacji, kontroli i likwidacji/wycofania techniki; • kwestie monitorowania emisji związane z wykorzystaniem techniki; • wrażliwość i trwałość techniki; • kwestie dotyczące zapobiegania wypadkom. Podkreślane są powiązania między nakładami (np. rodzaj i ilość surowców i paliw, energia, woda) a wynikami (emisje, pozostałości/odpady, produkty), w szczególności w przypadkach istotnych dla lepszego zrozumienia różnych oddziaływań na środowisko oraz wzajemnego oddziaływania, na przykład gdy dokonano kompromisów między różnymi wynikami, tak że nie można jednocześnie osiągnąć określonych poziomów efektywności środowiskowej. Dane dotyczące emisji i zużycia są w miarę możliwości opatrzone szczegółowymi informacjami na temat odpowiednich warunków eksploatacji (np. procent pełnej wydajności, skład paliwa, pominięcie techniki (ograniczającej emisję), uwzględnienie lub wyłączenie warunków innych niż normalne warunki eksploatacji, warunki odniesienia), metod pobierania próbek i analizy oraz prezentacji statystycznej (np. średnie krótko- i długoterminowe, wartości maksymalne, zakresy i rozkłady). Podawane są informacje na temat warunków/okoliczności utrudniających stosowanie techniki (ograniczającej emisję) przy pełnej wydajności i/lub wymagających całkowitego lub częściowego pominięcia techniki (ograniczającej emisję) oraz środki podjęte w celu przywrócenia pełnej wydajności (ograniczającej emisję).
Oddziaływanie na procesy	Istotne negatywne oddziaływanie na środowisko wynikające z zastosowania danej techniki, umożliwiające porównanie technik w celu oceny ich wpływu na środowisko jako całość. Może

Nagłówek w ramach sekcji	Rodzaj zawartych informacji
i środowisko	obejmować takie kwestie, jak: • zużycie i charakter surowców i wody; • zużycie energii i wpływ na zmianę klimatu; • potencjał niszczenia ozonu w stratosferze; • potencjał tworzenia ozonu fotochemicznego; • zakwaszenie wynikające z emisji do powietrza; • obecność cząstek stałych w otaczającym powietrzu (w tym mikrocząstek i metali); • eutrofizacja gruntów i wód wynikająca z emisji do powietrza lub wody; • potencjał wyczerpywania tlenu w wodzie; • trwałe/toksyczne/bioakumulacyjne składniki (w tym metale); • generowanie pozostałości/odpadów; • ograniczenie możliwości ponownego wykorzystania lub recyklingu pozostałości/odpadów; • generowanie hałasu i/lub odoru; • zwiększone ryzyko wypadków. Należy uwzględnić dokument referencyjny dotyczący ekonomiki i oddziaływania na procesy i środowisko (ECM).
Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania	Wskazuje się, czy technika może być stosowana w całym sektorze. W przeciwnym razie wskazuje się główne ogólne ograniczenia techniczne dotyczące stosowania techniki w sektorze. Mogą to być: • wskazanie rodzaju zakładów lub procesów w sektorze, w przypadku których technika nie może być stosowana; • ograniczenia dotyczące wdrożenia w niektórych ogólnych przypadkach, z uwzględnieniem np. – czy dotyczy to nowego czy istniejącego zakładu, z uwzględnieniem czynników związanych z modernizacją (np. dostępność przestrzeni) oraz interakcji z technikami już zainstalowanymi; – wielkość zakładu, jego wydajność lub współczynnik obciążenia; – ilość, rodzaj lub jakość wytwarzanego produktu; − rodzaj stosowanego paliwa lub surowca; – dobrostan zwierząt; – warunki klimatyczne. Ograniczenia te podaje się wraz z uzasadnieniem. Nie stanowią one wyczerpującej listy możliwych warunków lokalnych, które mogą mieć wpływ na stosowalność danej techniki w poszczególnych zakładach.
Ekonomika	Informacje o kosztach (kapitałowych/inwestycyjnych, eksploatacyjnych i konserwacyjnych, w tym szczegóły dotyczące sposobu ich obliczenia/oszacowania) oraz wszelkich możliwych oszczędnościach (np. zmniejszenie zużycia surowców lub energii, opłaty za odpady, skrócenie czasu zwrotu w porównaniu z innymi technikami) lub przychodach lub innych korzyściach, w tym szczegóły dotyczące sposobu ich obliczenia/oszacowania. Dane dotyczące kosztów podaje się najlepiej w euro (EUR). W przypadku przeliczenia z innej waluty należy podać dane w walucie pierwotnej oraz rok, w którym dane zostały zebrane. Cenie/kosztowi sprzętu lub usługi towarzyszy rok, w którym został zakupiony.
Uwzględnia się informacje dotyczące zarówno nowo budowanych, modernizowanych, jak i istniejących zakładów.	Powinno to umożliwić ocenę, w miarę możliwości, ekonomicznej opłacalności techniki dla danego sektora oraz ewentualnych ograniczeń ekonomicznych jej stosowania. Można podać informacje na temat opłacalności techniki (np. w EUR na masę zredukowanego zanieczyszczenia) oraz związane z tym założenia dotyczące jej obliczenia. W odniesieniu do aspektów ekonomicznych i kosztów monitorowania uwzględniono dokument referencyjny dotyczący aspektów ekonomicznych i oddziaływania na procesy i środowisko (ECM) oraz sprawozdanie referencyjne dotyczące monitorowania emisji do powietrza i wody z instalacji objętych Dyrektywą IED (ROM).
Siła napędowa wdrażania	W stosownych przypadkach należy podać konkretne warunki lokalne, wymagania (np. przepisy prawne, środki bezpieczeństwa) lub czynniki niewiążące się z ochroną środowiska (np. zwiększona wydajność, poprawa jakości produktu, zachęty ekonomiczne – np. dotacje, ulgi podatkowe), które do tej pory napędzały lub stymulowały wdrażanie danej techniki.

Nagłówek w ramach sekcji	Rodzaj zawartych informacji
	Ta podsekcja powinna być bardzo krótka i zawierać listę punktów.
Przykładowe zakłady	Odniesienie do zakładu (zakładów), w którym (których) technika została wdrożona i z którego (których) zebrano informacje wykorzystane przy tworzeniu sekcji. Wskazanie stopnia, w jakim technika jest stosowana w UE lub na świecie.
Literatura źródłowa	Literatura lub inne materiały referencyjne (np. książki, raporty, badania), które zostały wykorzystane przy pisaniu danej sekcji i zawierają bardziej szczegółowe informacje na temat danej techniki. Jeśli materiał referencyjny składa się z wielu stron, należy podać odniesienie do odpowiedniej strony lub sekcji.

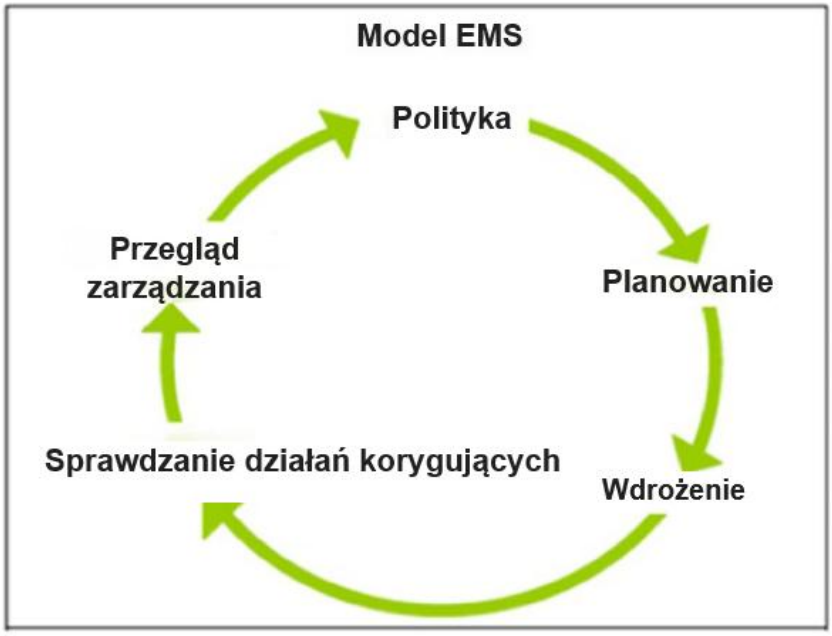
3.1 Wspólne techniki do rozważenia przy ustalaniu BAT dla kuźni i odlewni

3.1.1 Ogólne efekty działalności środowiskowej

W niniejszej sekcji omówiono obszary, procesy i działania instalacji, które nie zostały uwzględnione w innych sekcjach, ponieważ odnoszą się do kwestii wspólnych dla sektora kuźni i odlewni.

3.1.1.1 System zarządzania środowiskowego (EMS)

Opis
Oficjalny system wykazujący zgodność z celami środowiskowymi.
Szczegóły techniczne
Dyrektywa w sprawie emisji przemysłowych definiuje „techniki" (zgodnie z definicją najlepszych dostępnych technik BAT) jako „zarówno zastosowaną technologię, jak i sposób, w jaki instalacja jest projektowana, budowana, utrzymywana, 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, iż 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. Rysunek 3.1).



Rysunek 3.1: Ciągłe doskonalenie modelu EMS

EMS może przyjąć formę standardowego lub niestandardowego („indywidualnego") systemu. Wdrożenie i przestrzeganie międzynarodowo akceptowanego znormalizowanego systemu, takiego jak EN ISO 14001:2015, może zwiększyć wiarygodność systemu EMS, szczególnie w przypadku poddania go właściwie przeprowadzonej weryfikacji zewnętrznej. System ekozarządzania i audytu (*Eco-Management and Audit Scheme - EMAS*) zgodnie z Dyrektywą 1221/2009 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 14001:2015 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.

System EMS może obejmować 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 oraz zdrowia ludzkiego, jak również mających zastosowanie przepisów prawa dotyczących ochrony środowiska;
iii. opracowanie polityki ochrony środowiska, która obejmuje 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 niezbędnych zasobów finansowych i ludzkich;
vii. zapewnienie niezbędnej wiedzy oraz umiejętności personelu, którego praca może mieć wpływ na efektywność środowiskową instalacji (np. poprzez dostarczenie informacji czy przeprowadzanie szkoleń);
viii. komunikację wewnętrzną oraz zewnętrzną;
ix. wspieranie zaangażowania pracowników w dobre praktyki zarządzania środowiskowego;
x. opracowanie, stosowanie oraz aktualizowanie podręcznika zarządzania oraz pisemnych procedur służących kontroli działań o znaczącym wpływie na środowisko, jak również odpowiednich zapisów;
xi. skuteczne planowanie oraz kontrola procesów;
xii. wdrożenie odpowiednich programów obsługi technicznej;
xiii. przygotowanie protokołów gotowości i reagowania na sytuacje kryzysowe, w tym zapobiegania niekorzystnym skutkom (środowiskowym) sytuacji kryzysowych i/lub ich łagodzenia;
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 raporcie referencyjnym dotyczącym Monitorowania emisji do powietrza i wody z instalacji objętych Dyrektywą IED;
xvi. regularne stosowanie sektorowej analizy porównawczej (benchmarking);
xvii. okresowe i 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. ocenę przyczyn niezgodności, wdrożenie działań naprawczych w odpowiedzi na zidentyfikowane niezgodności, przegląd skuteczności działań naprawczych oraz ustalenie, czy podobne niezgodności istnieją lub mogą potencjalnie wystąpić;
xix. okresowy przegląd EMS przeprowadzany przez kadrę kierowniczą wyższego szczebla pod kątem jego ciągłej przydatności, adekwatności i skuteczności;
xx. śledzenie i uwzględnianie rozwoju „czystszych" technik.

W odniesieniu do sektora kuźni i odlewni, system zarządzania środowiskowego obejmuje następujące elementy:

xxi. xxi wykaz zasobów wejściowych i produktów wyjściowych (zob. sekcja 3.1.1.2);
xxii. xxii system zarządzania chemikaliami (zob. sekcja 3.1.1.3);
xxiii. xxii plan zapobiegania wyciekom i rozlewom oraz ich kontroli (zob. sekcja 3.1.1.4.1);
xxiv. xxiv plan zarządzania innymi niż normalne warunkami eksploatacji (*other than normal operating conditions - OTNOC*) (zob. sekcja 3.1.1.5);
xxv. xxv plan na rzecz efektywności energetycznej i audyty (zob. sekcja 3. 1.3.1);
xxvi. xxvi plan gospodarowania zasobami wodnymi i audyty (zob. sekcja 3.2.1.16.1);
xxvii. xxvii plan zarządzania hałasem i/lub wibracjami (zob. sekcja 3.1.5.1);
xxviii. xviii plan gospodarowania pozostałościami (zob. sekcja 3.1.6.1);
xxix. plan zarządzania odorami dla odlewni (zob. sekcja 3.2.1.15.1)

Osiągnięte korzyści dla środowiska

EMS promuje oraz wspiera ciągłą poprawę efektywności środowiskowej instalacji. Jeśli instalacja ma już

dobre ogólne wyniki w zakresie ochrony środowiska, system EMS pomaga operatorowi utrzymać ten wysoki poziom.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Nie zgłoszono. 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. Poziom szczegółowości i stopień sformalizowania EMS będą związane z charakterem, skalą i złożonością zakładu oraz zakresem oddziaływania na środowisko, jakie może ona mieć.

Siła napędowa wdrażania
Siła napędowa wdrażania systemu EMS obejmuje:
- poprawę wyników w zakresie ochrony środowiska;
- lepszy wgląd w aspekty środowiskowe firmy, który można wykorzystać do spełnienia wymagań środowiskowych klientów, organów regulacyjnych, banków, firm ubezpieczeniowych lub innych zainteresowanych stron (np. osób mieszkających lub pracujących w pobliżu instalacji);
- 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 są stosowane w wielu instalacjach w całej UE.

Literatura źródłowa
[140. IAF 2010], [141. EU 2009], [142. COM 2010], [144. CEN 2015]

3.1.1.2 Wykaz zasobów wejściowych i produktów wyjściowych

Opis
Zestawienie odpowiednich danych podstawowych dotyczących strumieni zasobów wejściowych i produktów wyjściowych (np. zasoby wejściowe, takie jak materiały, energia, woda, oraz zasoby wyjściowe, takie jak gazy odlotowe, ścieki, pozostałości, straty energii itp.). Dane podstawowe dotyczące strumieni obejmują informacje na temat cech istotnych dla środowiska, takie jak obecność substancji niebezpiecznych, ich toksyczność, skład i ilości. Dane te są wykorzystywane w bilansach masowych, planach na rzecz efektywności oraz do monitorowania emisji.

Szczegóły techniczne
Wszystkie problemy środowiskowe są bezpośrednio związane z strumieniami zasobów wejściowych i produktów wyjściowych. W celu określenia możliwości i priorytetów poprawy efektywności środowiskowej i gospodarczej niezbędna jest zatem jak najdokładniejsza wiedza na temat ich jakości i ilości. Wykazy przepływów zasobów i produktów można sporządzać na różnych poziomach. Najbardziej ogólnym poziomem jest roczny przegląd dla danej lokalizacji.
W ramach EMS (zob. Sekcja 3.1.1.1) należy sporządzić, prowadzić i regularnie aktualizować (w tym w przypadku wystąpienia istotnych zmian) wykaz zasobów wejściowych i produktów wyjściowych, zawierający wszystkie następujące elementy:

i. informacje o procesach produkcyjnych, w tym:
   a) uproszczone schematy blokowe procesów pokazujące źródło emisji do powietrza, wody i gleby;
   b) opisy technik zintegrowanych z procesem oraz technik oczyszczania ścieków/gazów odlotowych w celu zapobiegania emisjom lub ich redukcji, w tym ich skuteczność (np. skuteczność redukcji);
ii. informacje o ilości i charakterystyce surowców (np. złom, materiały wsadowe, piasek) i paliw (np. koks) wykorzystywanych w procesie;
iii. informacje o zużyciu i wykorzystaniu wody (np. schematy przepływu i bilans masy wody);
iv. informacje o zużyciu i wykorzystaniu energii;
v. informacje o charakterystyce strumieni ścieków, takie jak:
   a) średnie wartości i zmienność przepływu, pH, temperatury i przewodności;

b) średnie stężenia i wartości przepływu masowego odpowiednich substancji/parametrów (np. zawiesina ogólna, ogólny węgiel organiczny (OWO) lub chemiczne zapotrzebowanie na tlen (ChZT), wskaźnik zawartości węglowodorów, metale) oraz ich zmienność;

vi. informacje o ilości i charakterystyce stosowanych w procesie chemikaliów:

a) identyfikacja i charakterystyka stosowanych chemikaliów, w tym właściwości mające niekorzystny wpływ na środowisko i/lub zdrowie ludzi;

b) ilości stosowanych chemikaliów i miejsce ich stosowania;

vii. informacje o charakterystyce strumieni gazów odlotowych, takie jak:

a) średnie wartości oraz zmienność przepływu i temperatury;

b) średnie wartości stężenia i przepływu masowego odpowiednich substancji (np. pył, NO_X, SO_2, CO, metale) oraz ich zmienność;

c) obecność innych substancji, które mogą mieć wpływ na system oczyszczania gazów odlotowych (np. tlen, azot, para wodna) lub bezpieczeństwo instalacji;

d) obecność substancji sklasyfikowanych jako CMR 1A, CMR 1B lub CMR 2; obecność takich substancji można na przykład ocenić zgodnie z kryteriami rozporządzenia (WE) nr 1272/2008 w sprawie klasyfikacji, oznakowania i pakowania (CLP);

viii. informacje o ilości i charakterystyce powstałych pozostałości/odpadów.

Osiągnięte korzyści dla środowiska

Opisana ocena i wykaz strumieni mas wejściowych/wyjściowych stanowi niezbędne narzędzie zarządzania służące identyfikacji potencjału optymalizacji, zarówno pod względem środowiskowym, jak i ekonomicznym. Jest to warunek wstępny dla procesu ciągłego doskonalenia.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Zastosowanie takiego narzędzia zarządzania wymaga wykwalifikowanego personelu oraz zaangażowania kierownictwa.

Inwentaryzacja strumieni zasobów wejściowych i produktów wyjściowych pozwala uwzględnić oddziaływanie na procesy i środowisko podczas oceny potencjalnych możliwości optymalizacji. Oznacza to osiągnięcie wysokiego poziomu ochrony środowiska jako całości.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Nie zidentyfikowano.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta ma zastosowanie zarówno do nowych, jak i istniejących instalacji. Poziom szczegółowości i stopień sformalizowania wykazu będą zasadniczo związane z charakterem, skalą i złożonością instalacji oraz zakresem jej potencjalnego oddziaływania na środowisko.

Ekonomika

Koszty związane z personelem.

Siła napędowa wdrażania

- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady

Technika szeroko stosowana.

Literatura źródłowa

[169. TWG 2021]

3.1.1.3 System zarządzania chemikaliami (*chemicals management system - CMS*)

Opis

System zarządzania chemikaliami jest częścią EMS (zob. Sekcja 3.1.1.1) i stanowi zestaw środków technicznych i organizacyjnych mających na celu ograniczenie wpływu na środowisko stosowanych chemikaliów.

Szczegóły techniczne

W celu poprawy ogólnej efektywności środowiskowej opracowano i wdrożono system zarządzania chemikaliami (CMS) jako część systemu zarządzania środowiskowego (EMS).

System zarządzania chemikaliami (CMS) obejmuje następujące elementy:

I. Politykę mającą na celu zmniejszenie zużycia i ryzyka związanego z chemikaliami stosowanymi w procesie produkcyjnym, w tym politykę zaopatrzenia mającą na celu wybór mniej szkodliwych chemikaliów oraz ich dostawców w celu zminimalizowania wykorzystania i ryzyka związanego z substancjami niebezpiecznymi i substancjami wzbudzającymi szczególnie duże obawy (substancjami stanowiącymi bardzo duże zagrożenie, SVHC), a także w celu uniknięcia zakupu nadmiernej ilości chemikaliów stosowanych w procesie produkcyjnym. Wybór chemikaliów procesowych opiera się na:
   a) analizie porównawczej ich bioeliminowalności/biodegradowalności, ekotoksyczności i potencjału uwalniania do środowiska w celu ograniczenia emisji do środowiska;
   b) charakterystyce ryzyka związanego z chemikaliami stosowanymi w procesie, w oparciu o klasyfikację zagrożeń stwarzanych przez te chemikalia, drogi przejścia przez zakład, potencjalne uwalnianie i poziom narażenia;
   c) potencjale odzysku i ponownego użycia;
   d) regularnej (np. corocznej) analizie możliwości ich zastąpienia w celu zidentyfikowania potencjalnie nowych dostępnych i bezpieczniejszych alternatyw dla substancji niebezpiecznych i substancji wzbudzających szczególnie duże obawy; można to osiągnąć poprzez zmianę procesu (procesów) lub zastosowanie innych chemikaliów, które nie mają wpływu na środowisko lub mają mniejszy wpływ;
   e) wyprzedzającym monitorowaniu zmian legislacyjnych związanych z substancjami niebezpiecznymi i substancjami wzbudzającymi szczególnie duże obawy oraz zapewnieniu zgodności z obowiązującymi wymogami prawnymi.

   Wykaz chemikaliów stosowanych w procesie może być wykorzystywany do dostarczania i przechowywania informacji potrzebnych do wyboru tych chemikaliów.

II. Cele i plany działania mające na celu uniknięcie lub ograniczenie stosowania i ryzyka związanego z substancjami niebezpiecznymi i substancjami wzbudzającymi szczególnie duże obawy.

III. Opracowanie i wdrożenie procedur dotyczących nabywania, obsługi, przechowywania i stosowania chemikaliów, unieszkodliwiania odpadów zawierających chemikalia stosowane w procesie oraz zwrotu niewykorzystanych chemikaliów, w celu zapobiegania lub ograniczania ich emisji do środowiska.

Osiągnięte korzyści dla środowiska

- Poprawa ogólnej wydajności środowiskowej.
- Ograniczenie stosowania niebezpiecznych substancji chemicznych.
- Ograniczenie emisji niebezpiecznych substancji chemicznych do środowiska.
- Ograniczenie ilości niebezpiecznych chemikaliów w odpadach.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Potrzeba wdrożenia systemu zarządzania chemikaliami w odpowiednich instalacjach IED w zależności od wielkości, ilości i różnorodności stosowanych chemikaliów została opisana bardziej szczegółowo we wnioskach z projektu HAZBREF (pakiet roboczy 3 - działanie 3.2). [176. HAZBREF 2021].

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Poziom szczegółowości i stopień sformalizowania CMS będzie zasadniczo związany z charakterem, skalą i złożonością zakładu.

Ekonomika

Nie dostarczono danych.

Siła napędowa wdrażania

- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady

Nie dostarczono danych.

Literatura źródłowa [176. HAZBREF 2021]

3.1.1.4 Zapobieganie lub ograniczanie emisji do gleby i wód gruntowych

3.1.1.4.1 Opracowanie i wdrożenie planu zapobiegania wyciekom i rozlewom oraz ich kontroli.

Opis
Plan zapobiegania i kontroli wycieków i rozlewów jest częścią EMS (zob. Sekcja 3.1.1.1) i obejmuje m.in:
- plany incydentów w danej lokalizacji dla małych i dużych wycieków;
- określenie ról i obowiązków zaangażowanych osób;
- zapewnienie, że personel jest świadomy i przeszkolony w zakresie ochrony środowiska, aby zapobiegać i radzić sobie z wyciekami;
- identyfikację obszarów zagrożonych rozlaniem i/lub wyciekiem materiałów niebezpiecznych oraz uszeregowanie ich według ryzyka;
- identyfikację odpowiedniego sprzętu do zatrzymywania i usuwania wycieków oraz regularne upewnianie się, że jest on dostępny, sprawny i znajduje się w pobliżu miejsc, w których do takich incydentów może dojść;
- wytyczne w zakresie gospodarki odpadami dotyczące postępowania z odpadami powstałymi w wyniku kontroli wycieków;
- regularne (co najmniej raz w roku) kontrole obszarów przechowywania i przeładunku, testowanie i kalibracja sprzętu do wykrywania wycieków oraz szybka naprawa wycieków z zaworów, dławików, kołnierzy itp.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Technika ta zapobiega lub minimalizuje zanieczyszczenie wód powierzchniowych, gruntowych i gleby oraz pomaga w dekontaminacji terenu po zakończeniu działalności.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Małe wycieki mogą zdarzać się częściej, a ich łącznym skutkiem, jeśli nie zostaną wykryte i usunięte, będzie znaczny wzrost emisji niezorganizowanych do powietrza, gleby i wód gruntowych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Poziom szczegółowości planu będzie generalnie związany z charakterem, skalą i złożonością zakładu, a także z rodzajem i ilością wykorzystywanych płynów.

Ekonomika
Należy wziąć pod uwagę następujące koszty:
- czas poświęcony przez pracowników na szkolenie i aktualizację planów;
- oszczędność materiałów dzięki minimalizacji wycieków.
- wykorzystanie materiałów do usuwania rozlanych płynów.

Siła napędowa wdrażania
- Zmniejszone ryzyko odpowiedzialności za zanieczyszczenie.
- Zmniejszone ryzyko związanych z tym wypadków, np. zapobieganie śliskim podłogom, ryzyko pożaru.

Przykładowe zakłady
Technika szeroko stosowana w odlewniach.
Zakład kuźniczy ES008 w zbiorze danych.

Literatura źródłowa
[169. TWG 2021]

3.1.1.4.2 Struktura i zarządzanie obszarami procesowymi oraz obszarami składowania surowców

Opis
Obszary procesowe i magazyny surowców muszą być zorganizowane i zarządzane.

Obejmuje to techniki takie jak:
- nieprzepuszczalna (np. cementowana) podłoga dla obszarów procesowych i składowisk złomu/materiałów wsadowych;

- oddzielne przechowywanie różnych rodzajów surowców w pobliżu linii produkcyjnych; można to osiągnąć na przykład za pomocą przedziałów lub boksów w obszarach magazynowych i zasobnikach.

Szczegóły techniczne
Struktura i zarządzanie obszarami procesowymi oraz obszarami magazynowania surowców zapewniają, że surowce są efektywnie przechowywane i obsługiwane.
Przykładowo, w odlewniach, obszar magazynowania złomu / materiału wsadowego może być zorganizowany i zarządzany w taki sposób, aby uwzględniać następujące czynniki:

- Skład wsadu do pieca wymaga znajomości materiału wsadowego. Stosowanie oddzielnych magazynów dla różnych typów lub gatunków metali pozwala kontrolować skład wsadu. Można to osiągnąć za pomocą przedziałów lub pojemników w obszarze przechowywania lub zasobników.
- Wprowadzenie materiałów mineralnych i tlenkowych, takich jak rdza, ziemia lub brud, powoduje zwiększone zużycie materiałów ogniotrwałych. Zastosowanie cementowego składowiska złomu zapobiega przedostawaniu się gleby, brudu lub wody.
- Aby zapobiec zanieczyszczeniu gleby lub wody, można zastosować system zbierania i oczyszczania wody.

Ponadto, materiały są dobrze posortowane, przechowywane w suchym miejscu pod zadaszeniem (zob. Sekcja 3.1.1.4.3) lub w zamkniętych pojemnikach magazynowych i mogą być szybko dostarczone na linię produkcyjną.

Osiągnięte korzyści dla środowiska

- Zapobieganie lub minimalizacja zanieczyszczenia wód powierzchniowych, gruntowych i gleby.
- Efektywne zarządzanie surowcami.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Nie dostarczono danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika
Nie dostarczono danych.

Siła napędowa wdrażania

- Efektywne zarządzanie surowcami.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady
Technika szeroko stosowana w odlewniach.
Zakład kuźniczy ES008 w zbiorze danych.

Literatura źródłowa
[100. TWG 2002], [169. TWG 2021]

3.1.1.4.3 Zapobieganie zanieczyszczeniu spływu powierzchniowego

Opis
Obszary produkcyjne i/lub obszary, w których przechowywane lub przetwarzane są chemikalia stosowane w procesie, pozostałości lub odpady, są chronione przed spływem powierzchniowym. Osiąga się to poprzez zastosowanie co najmniej następujących technik:

- kanałów odwadniających i/lub zewnętrznych krawężników wokół zakładu;
- pokryć dachowych wraz z orynnowaniem obszarów procesowych i/lub magazynowych.

Szczegóły techniczne
Dzięki zastosowaniu kanałów odwadniających i/lub zewnętrznego krawężnika wokół zakładu, spływ powierzchniowy jest zbierany, a obszary procesowe i magazynowe (dla chemikaliów, pozostałości i odpadów) są przed nim chronione.

Dach zbudowany nad obszarem przechowywania może pomóc w utrzymaniu wody deszczowej na zewnątrz.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
- Zapobieganie zanieczyszczeniu spływu powierzchniowego.
- Zmniejszenie ilości wytwarzanych ścieków.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Nie dostarczono danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika
Nie dostarczono danych.

Siła napędowa wdrażania
- Ochrona obszarów procesowych i magazynowych przed spływem powierzchniowym.
- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady
Technika szeroko stosowana w odlewniach.
Zakład kuźniczy ES008 w zbiorze danych.

Literatura źródłowa
[169. TWG 2021]

3.1.1.4.4 Zbieranie potencjalnie zanieczyszczonych spływów powierzchniowych

Opis
Spływ powierzchniowy z obszarów potencjalnie zanieczyszczonych jest zbierany oddzielnie i odprowadzany dopiero po podjęciu odpowiednich środków, np. monitorowania, oczyszczania, ponownego użycia.

Szczegóły techniczne
Potencjalnie zanieczyszczony spływ powierzchniowy jest zbierany oddzielnie i odprowadzany tylko wtedy, gdy zostaną podjęte odpowiednie środki zapobiegające zanieczyszczeniu krzyżowemu niezanieczyszczonych strumieni wody lub zanieczyszczeniu końcowego odbiornika.

W przypadku pożaru wymagane są środki retencji wody gaśniczej, które mogą być scentralizowane lub zdecentralizowane. Rodzaj środków zależy również od ilości wody gaśniczej i jej potencjalnego zanieczyszczenia substancjami zanieczyszczającymi.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
- Unikanie zanieczyszczenia krzyżowego niezanieczyszczonych strumieni wody.
- Zmniejszenie ilości wytwarzanych ścieków.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Szczegółowe informacje zostały dostarczone dla włoskiej odlewni żeliwa, która wdrożyła określone środki w 2011 roku. W szczególności obszar wykorzystywany do przechowywania materiałów wsadowych do pieców (złom, koks metalurgiczny, surówka, odprowadzenia zwrotne) został wyposażony w dedykowaną sieć odwadniającą, poprzez utworzenie syfonów zbierających, które przenoszą wodę do zbiornika magazynowego o pojemności 20 m^3, z którego strumień wody jest następnie przesyłany do przetwarzania fizyczno-chemicznego. Przedmiotowy obszar wynosi około 2 300 m^2 (2 120 m^2 + 155 m^2). Zarówno woda pochodząca z obszaru o powierzchni 2 120 m2, jak i woda pochodząca z obszaru o powierzchni 155 m^2, przed wprowadzeniem do zbiornika akumulacyjnego, przechodzi przez studnię przelewową wyposażoną w obejście, zdolne do oddzielenia pierwszej wody deszczowej od drugiej wody deszczowej. Druga woda deszczowa jest przesyłana przez wspomniane obejście do przelewu znajdującego się przed pierwszą oczyszczalnią wód deszczowych. Wody odpływające z przetwarzania fizyczno-chemicznego są przesyłane do sieci, która transportuje pozostałe wody deszczowe z pozostałej części zakładu do oczyszczalni wód deszczowych (powierzchnia odwadniania 50 000 m^2 - całkowita objętość zbiornika 250 m^3).

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Jeśli chodzi o oczyszczanie, wiąże się to z użyciem chemikaliów i wytwarzaniem osadów ściekowych.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika
Koszty operacyjne związane z gromadzeniem i potencjalnymi procesami oczyszczania.
W przypadku wspomnianej wyżej włoskiej odlewni (zob. Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne), koszty budowy/instalacji były następujące (dane z 2011 r.):

- 200 m system kanalizacji (dostawa, instalacja i testowanie) - całkowity koszt 45 000 EUR;
- Zbiornik o pojemności 20 m^3 zbiornik przed spływem wód deszczowych z obszaru składowania surowców (dostawa, instalacja i testowanie) - całkowity koszt 11 000 EUR;
- Zbiornik o pojemności 20 m3 po spływie wód deszczowych z obszaru składowania surowców (dostawa, instalacja i testy) - koszt całkowity 11 000 EUR;
- oczyszczanie fizyczno-chemiczne (dostawa, instalacja i testy) - koszt całkowity 28 700 EUR.

Siła napędowa wdrażania

- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady
Technika szeroko stosowana w odlewniach. Kuźnia ES008.

Literatura źródłowa
[169. TWG 2021], [208. COM 2020], [210. TWG 2022].

3.1.1.4.5 Bezpieczna obsługa i przechowywanie chemikaliów stosowanych w procesie produkcyjnym

Opis
Technika obejmuje następujące elementy:

- przechowywanie w zadaszonych i wentylowanych pomieszczeniach z podłogą nieprzepuszczalną dla cieczy;
- stosowanie olejoszczelnych tac lub piwnic dla stacji hydraulicznych i urządzeń smarowanych olejem lub smarem;
- zbieranie rozlanego płynu;
- obszary załadunku/rozładunku chemikaliów procesowych, smarów, powłok itp. są zaprojektowane i skonstruowane w taki sposób, aby potencjalne wycieki i rozlania były powstrzymywane i przekazywane do utylizacji na miejscu lub poza terenem zakładu;
- Wysoce łatwopalne ciecze (np. mrówczan metylu, trietanoloamina (TEA), dimetyloaminoetanol (DMEA), powłoki form zawierające alkohol) są przechowywane oddzielnie od niekompatybilnych substancji (np. utleniaczy) w zamkniętych i dobrze wentylowanych pomieszczeniach magazynowych.

Szczegóły techniczne
Stosowanie olejoszczelnych tac lub piwnic:
Stacje hydrauliczne i urządzenia smarowane olejem lub smarem są umieszczane w olejoszczelnych tacach lub piwnicach, aby uniknąć przedostania się oleju do gruntu w przypadku wycieku. Przypadkowym wyciekom zapobiega się poprzez okresowe kontrole i konserwację zapobiegawczą uszczelnień, uszczelek, pomp i rurociągów.
W odlewniach chemikalia wiążące mają określone zalecenia producenta dotyczące przechowywania. Nieprzestrzeganie tych zaleceń skutkuje produktami nienadającymi się do użytku lub niespełniającymi norm, które wymagają unieszkodliwiania jako odpady specjalne lub prowadzą do niskiej jakości odlewów z powodu niespełniających norm form/rdzeni. Poniższa tabela podsumowuje problemy jakościowe wynikające z niewłaściwego przechowywania ciekłych chemikaliów wiążących. Prawidłowe przechowywanie uwzględnia te problemy.

Tabela 3.2: Problemy wynikające z nieprawidłowego przechowywania ciekłych chemikaliów wiążących

Problem	Wpływ na produkt	Skutki	Wpływ na odlewy

Narażenie na nadmierne zimno	Produkty na bazie wody mogą zamarzać	Może wystąpić segregacja produktu, powodująca uszkodzenie formy. Uszkodzone produkty wymagają unieszkodliwienia.	Produkcja odlewów może być niemożliwa
Narażenie na nadmierne ciepło i światło słoneczne	Przedwczesne starzenie, sieciowanie żywicy i zwiększona lepkość	Słabe właściwości mieszania, niska wytrzymałość formy i słaba odporność na wysokie temperatury	Wady wykończenia
Długotrwałe przechowywanie lub przechowywanie w niskiej temperaturze	Zwiększona lepkość	Utrudniona dyspersja na ziarnach piasku Mieszanka piasku gorzej płynie i jest trudna do zagęszczenia. Formy o niskiej wytrzymałości	Erozja, egzogeniczne (piaszczyste) wtrącenia, żebrowanie/żyłkowanie (*veining/finning*) i wady wymiarowe
Zanieczyszczenie wilgocią	Produkty zawierające izocyjaniany ulegają pogorszeniu w wyniku reakcji z wodą.	Wydajność spoiwa jest niska i produkt może wymagać unieszkodliwienia.	Zwiększone ryzyko wad gazowych (otworów)
Unieszkodliwianie osadów w zbiornikach magazynowych krzemianów luzem	Pompowana ciecz może stać się niespójna	Formy o niskiej wytrzymałości	Nadwymiarowe odlewy i efekty skurczu
Źródło: [28. ETSU 1998].			

Niektóre podstawowe środki obejmują:

- zadaszony i wentylowany obszar;
- nieprzepuszczalne podłogi;
- zbieranie rozlanej cieczy;
- zamknięty obszar przechowywania.

W zależności od klimatu można uwzględnić narażenie na nadmierne zimno lub ciepło oraz światło słoneczne. Dodatkowe środki ostrożności są konieczne w przypadku przechowywania wysoce łatwopalnych cieczy, takich jak mrówczan metylu, TEA, DMEA i powłoki form zawierające alkohole.

Osiągnięte korzyści dla środowiska

- Zapobieganie zanieczyszczeniu wód powierzchniowych i gruntowych.
- Unikanie/ograniczenie wytwarzania odpadów chemicznych. ωαστε χηεμιχαλσ.
- Zmniejszenie ilości powstających odpadów chemicznych, które nie nadają się do użytku.

Większość chemikaliów wiążących jest niebezpieczna i charakteryzuje się co najmniej jedną z następujących właściwości: toksyczność, korozyjność, łatwopalność. Właściwości te oznaczają, że nawet niewielkie wycieki mogą stanowić zagrożenie dla zdrowia i bezpieczeństwa pracowników, podczas gdy większe uwolnienia mogą prowadzić do poważnych incydentów. Większy wyciek, który przedostanie się do odpływu wód powierzchniowych, może spowodować poważne zanieczyszczenie cieków wodnych.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne Nie dostarczono danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana. Technika ta ma zastosowanie do wszystkich nowych i istniejących instalacji.

Ekonomika
Nie dostarczono danych.

Siła napędowa wdrażania

- Środki bezpieczeństwa i optymalizacja operacji odlewniczych.
- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady
Technika szeroko stosowana.
Zakład kuźniczy ES008 w zbiorze danych.

Literatura źródłowa
[31. ETSU 1996], [169. TWG 2021], [168. COM 2022], [210. TWG 2022].

3.1.1.4.6 Odpowiednie gospodarowanie

Opis
Zestaw środków mających na celu zapobieganie lub ograniczanie powstawania emisji (np. regularna konserwacja i czyszczenie sprzętu, powierzchni roboczych, podłóg i dróg transportowych, a także powstrzymywanie i szybkie usuwanie wszelkich wycieków).

Osiągnięte korzyści dla środowiska
- Zapobieganie lub redukcja emisji rozproszonych.
- Pozytywny wpływ na zdrowie w miejscu pracy.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Nie dostarczono danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Podczas konserwacji mogą pojawić się dodatkowe pozostałości.
Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika
W wielu firmach proste, przystępne cenowo środki dobrego gospodarowania są skutecznie stosowane w celu zminimalizowania emisji rozproszonych, poprawy wydajności, osiągnięcia czystszego miejsca pracy i obniżenia kosztów.

Siła napędowa wdrażania
- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady Technika szeroko stosowana.

Literatura źródłowa
[169. TWG 2021]

3.1.1.5 Plan zarządzania w warunkach innych niż normalne warunki eksploatacji (*other than normal operating conditions - OTNOC*)

Opis
Oparty na analizie ryzyka plan zarządzania OTNOC obejmuje wszystkie poniższe elementy:

a. identyfikację potencjalnych OTNOC (np. awarii sprzętu o krytycznym znaczeniu dla ochrony środowiska („sprzęt krytyczny")), ich pierwotnych przyczyn i potencjalnych konsekwencji;
b. odpowiednie zaprojektowanie sprzętu krytycznego (np. oczyszczanie gazów wylotowych, oczyszczanie ścieków)
c. ustanowienie i wdrożenie planu kontroli i programu prewencyjnej obsługi technicznej dla sprzętu krytycznego (zob. Sekcja 3.1.1.1 - punkt xii. EMS);
d. monitorowanie (tj. szacowanie lub, w miarę możliwości, pomiar) i rejestrowanie emisji podczas OTNOC i związanych z tym okoliczności;
e. okresowa ocena emisji występujących podczas OTNOC (np. częstotliwość zdarzeń, czas trwania, ilość emitowanych zanieczyszczeń) oraz wdrażanie działań naprawczych w razie potrzeby;
f. regularny przegląd i aktualizacja wykazu zidentyfikowanych OTNOC zgodnie z pkt i. po przeprowadzeniu okresowej oceny zgodnie z pkt v;
g. regularne testowanie systemów rezerwowych.

Szczegóły techniczne
Inne niż normalne warunki eksploatacji (OTNOC) są związane (między innymi) z następującymi okresami/okolicznościami:
- rozruch;
- wyłączenie;
- chwilowe przestoje;
- wycieków (chemikaliów lub roztworów wodnych);

- nieprawidłowe działanie lub awaria sprzętu do ograniczania emisji lub części sprzętu, jeśli jest dostępny;
- nieprawidłowe działanie przyrządów związanych z kontrolą procesu lub wykorzystywanych do monitorowania emisji (takie jak dryft przyrządu pomiarowego);
- testowanie nowej aparatury;
- kalibracja systemu monitorowania.

Aby zmniejszyć częstotliwość występowania OTNOC i ograniczyć emisje podczas OTNOC, wdrażany jest oparty na ryzyku plan zarządzania OTNOC jako część systemu zarządzania środowiskowego (zob. Sekcja 3.1.1.1), który może obejmować elementy opisane w sekcji **Opi**s powyżej.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Częściowo można uniknąć emisji związanych z wyłączeniami i rozruchem. Planowanie i osiągnięcie mniejszej liczby wyłączeń prawdopodobnie zmniejszy roczny poziom emisji z każdego zakładu.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Konserwacja zapobiegawcza i regularne kontrole konserwacyjne mogą zapobiec lub uniknąć nieprawidłowego działania urządzeń do kontroli procesu lub ograniczania i monitorowania emisji.

Konserwacja zapobiegawcza.
Konserwacja zapobiegawcza służy do:
- dopilnowania, aby konserwacja wymagająca wyłączenia urządzeń/systemów kontroli emisji (np. hermetyzacji, odprowadzania, przetwarzania gazów odlotowych) była planowana w czasie, gdy nie występują emisje (np. w czasie przestojów) lub gdy poziomy emisji są niskie;
- dopilnowania, aby wymiana części, które wymagają regularnej wymiany, była planowana przed wystąpieniem prawdopodobieństwa ich awarii;
- dopilnowania, aby części, które są niezbędne do normalnego działania urządzeń do kontroli emisji, były na stanie, mogły być szybko wymienione lub naprawione w możliwie minimalnym czasie;
- przeprowadzania rutynowych i nierutynowych czynności konserwacyjnych, w tym konserwacji pokryw i połączeń rurowych paliw płynnych i gazowych, systemów przechowywania i dostarczania smarów/chemikaliów.

Regularne kontrole konserwacyjne
Prowadzony jest harmonogram konserwacji i rejestr wszystkich inspekcji i czynności konserwacyjnych, który obejmuje następujące elementy:
- wizualną kontrolę szczelności uszczelek, kołnierzy, zaworów, spawów, zbiorników i kadzi;
- inspekcje przeprowadzane w razie potrzeby przez ekspertów zewnętrznych;
- monitorowanie kluczowych urządzeń pod kątem problemów, takich jak wibracje i wycieki emisji, planowanie napraw (jak wyżej);
- testowanie, np. próby ciśnieniowe rurociągów i zbiorników, kalibracja urządzeń pomiarowych i monitorujących;
- sprawdzanie odpowiedniego dokręcenia śrub i nakrętek;
- sprawdzanie zużycia maszyn, zaworów i zbiorników, przegrzania łożysk itp.;
- ponowną kalibrację systemów pomiarowych;
- upewnienie się, że sprzęt do odprowadzania i ograniczania emisji jest w pełni sprawny.

Konserwacje nieplanowane
Operatorzy procesów i personel konserwacyjny identyfikują i zgłaszają wycieki, uszkodzony sprzęt, pęknięte rury itp. w celu skoncentrowania się na konserwacji nieplanowanej.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Poziom szczegółowości i stopień sformalizowania planu zarządzania OTNOC będzie zasadniczo związany z charakterem, skalą i złożonością zakładu oraz zakresem jego wpływu na środowisko.

Ekonomika
Unikanie przestojów instalacji może obniżyć koszty poprzez:
- umożliwienie ciągłej pracy, a tym samym lepsze wykorzystanie instalacji;

- zmniejszenie liczby konserwacji pieca dzięki mniejszemu obciążeniu termicznemu procesu.

Siła napędowa wdrażania
- Zmniejszenie ilości przestojów.
- Utrzymywanie jakości i przepustowości produktu.

Przykładowe zakłady
Technika szeroko stosowana.
Zakład kuźniczy ES008 w zbiorze danych.

Literatura źródłowa
[169. TWG 2021], [210. TWG 2022].

3.1.2 Monitorowansie

Opis
Wymaga się rzeczywistych danych na temat dokładnego wpływu działalności zakładu przemysłowego na środowisko. Dlatego konieczne jest prowadzenie zaplanowanego, regularnego programu pobierania próbek i monitorowania. Monitorowane są następujące wielkości:

- zużycie wody, energii i materiałów, w tym chemikaliów technologicznych, wyrażone jako średnia roczna;
- wytwarzanie ścieków, wyrażone jako średnia roczna;
- ilość każdego rodzaju materiałów odzyskanych, poddanych recyklingowi i/lub ponownie wykorzystanych, wyrażona jako średnia roczna;
- ilość każdego rodzaju wytworzonych pozostałości i każdego rodzaju odpadów przekazanych do unieszkodliwienia, wyrażona jako średnia roczna.

Szczegóły techniczne
Monitorowanie obejmuje głównie bezpośrednie pomiary. Można również stosować obliczenia lub rejestrację, np. przy użyciu odpowiednich mierników lub faktur. Monitorowanie jest dzielone na najbardziej odpowiednie poziomy (np. na poziom procesu lub zakładu) i uwzględnia wszelkie istotne zmiany w procesie lub zakładzie.

Monitorowanie nie ogranicza się jednak do pomiarów analitycznych. Obejmuje również regularną konserwację oraz kontrole wizualne i bezpieczeństwa.

Równolegle do niniejszego dokumentu, w odniesieniu do emisji do powietrza i wody, czytelnik proszony jest o zapoznanie się z raportem referencyjnym dotyczącym monitorowania emisji do powietrza i wody z instalacji IED (ROM).

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Monitorowanie wyżej wymienionych parametrów (zob. Opis) pomaga utrzymać prawidłowe działanie obiektu i wykrywać przypadki nieprawidłowego funkcjonowania, a tym samym zapobiegać ewentualnym negatywnym skutkom dla środowiska.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Nie dostarczono danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.
Ekonomika
Koszty związane z monitorowaniem dotyczą personelu zaangażowanego w ten proces oraz wykorzystywanego sprzętu.

Siła napędowa wdrażania
Zapewnienie prawidłowego działania instalacji.

Przykładowe zakłady
Większość zakładów (odlewni) zgłosiła monitorowanie wyżej wymienionych parametrów. Zakład kuźniczy ES008 w zbiorze danych.

Literatura źródłowa
[169. TWG 2021], [210. TWG 2022].

3.1.3 Efektywność energetyczna

W poniższych sekcjach omówiono ogólne techniki związane z efektywnością energetyczną. Oprócz tego omówiono również konkretne techniki efektywności energetycznej

- Sekcja 3.2.1.3 dla wszystkich typów odlewni;
- Sekcja 3.2.2.1 dla odlewni żeliwa;
- Sekcja 3.2.4.1 dla odlewni metali nieżelaznych;
- Sekcja 3.3.1 dla kuźni.

3.1.3.1 Plan na rzecz efektywności energetycznej i audyty

Opis

Plan na rzecz efektywności energetycznej stanowi część EMS (zob. Sekcja 3.1.1.1) i obejmuje określenie i monitorowanie jednostkowego zużycia energii w ramach działalności/procesów (np. kWh/t metalu płynnego), ustalenie celów w zakresie efektywności energetycznej oraz wdrożenie działań służących osiągnięciu tych celów.

Audyty (również część EMS, zob. Sekcja 3.1.1.1) przeprowadza się co najmniej raz w roku w celu zapewnienia, że cele planu na rzecz efektywności energetycznej są osiągane, a zalecenia audytów są realizowane i wdrażane.

Plan na rzecz efektywności energetycznej może być zintegrowany z ogólnym planem na rzecz efektywności energetycznej większej instalacji (np. działalność w zakresie obróbki powierzchni).

Szczegóły techniczne

Obszerne informacje na temat efektywności energetycznej można znaleźć w dokumencie BREF dotyczącym efektywności energetycznej (ENE BREF) [177. COM 2009]. Oto niektóre techniki mające zastosowanie przy zwiększaniu efektywności energetycznej kuźni i odlewni:

a. Ocena kosztów i korzyści różnych opcji energetycznych.
b. Monitorowanie przepływów energii (zużycie i wytwarzanie według źródła) oraz wyznaczanie obszarów, w których należy dążyć do redukcji.
c. Określenie i obliczenie jednostkowego zużycia energii w danej działalności (lub działalnościach) oraz ustalenie kluczowych wskaźników efektywności na bazie rocznej (np. kWh/tonę produktu).
d. Przeprowadzenie przeglądu energetycznego w celu zidentyfikowania możliwości dalszych oszczędności energii.
e. Wykorzystanie technik odzysku ciepła z gazów spalinowych.
f. Zastosowanie środków operacyjnych, konserwacyjnych i porządkowych do systemów zużywających najwięcej energii, takich jak:

- piece, maszyny do odlewania ciśnieniowego, obróbka cieplna;
- klimatyzacja, urządzenia i systemy chłodnicze (nieszczelności, uszczelnienia, kontrola temperatury, konserwacja parownika/skraplacza);
- działanie silników i napędów (np. silniki o wysokiej sprawności);
- systemy sprężonego gazu (nieszczelności, procedury użytkowania);
- systemy dystrybucji pary (nieszczelności, odwadniacze, izolacja);
- systemy ogrzewania pomieszczeń i ciepłej wody;
- smarowanie w celu uniknięcia wysokich strat spowodowanych tarciem (np. smarowanie mgłą); • konserwacja kotłów, np. optymalizacja nadmiaru powietrza;
- inne czynności konserwacyjne związane z działalnością zakładu;
- regularny przegląd wymagań dotyczących sprzętu.

g. Stosowanie technik, które zmniejszają zużycie energii, a tym samym zmniejszają emisje zarówno bezpośrednie (ciepło i emisje z produkcji na miejscu), jak i pośrednie (emisje z odległej elektrowni). Na przykład:

- izolacja budynku;
- korzystanie z energooszczędnego oświetlenia terenu;
- konserwacja pojazdu;
- efektywny układ zakładu w celu zmniejszenia odległości pompowania;
- optymalizacja fazowa silników elektrycznych;
- odzysk ciepła;
- upewnienie się, że sprzęt jest wyłączony, jeśli jest to bezpieczne, gdy nie jest używany;

- zapewnienie, że ruch pojazdów na terenie zakładu jest zminimalizowany, a silniki są wyłączone, gdy nie są używane.

h. Stosowanie podstawowych, niedrogich technik fizycznych w celu uniknięcia rażącej nieefektywności, w tym izolacji, metod ograniczania emisji (np. uszczelnień i samozamykających się drzwi) oraz unikania niepotrzebnego odprowadzania ogrzanej wody lub powietrza (np. poprzez montaż prostych systemów sterowania).

i. Stosowanie technik efektywności energetycznej w usługach budowlanych.

j. Wykorzystanie ciepła z pieców i silników do odparowywania, suszenia i podgrzewania.

Audyty energetyczne przeprowadza się co najmniej raz w roku, aby zapewnić osiągnięcie celów planu zarządzania energią. Audyty mogą być przeprowadzane z wykorzystaniem elementów międzynarodowych norm opracowanych w celu wsparcia realizacji audytów energetycznych zgodnie z dyrektywą w sprawie efektywności energetycznej, np.:

- EN ISO 50001 dotycząca systemów zarządzania energią, która określa ramy wymagań dla dużych instalacji.
- EN ISO 50005:2022 dotycząca systemów zarządzania energią – Wytyczne dotyczące stopniowego wdrażania. Norma ta zawiera wytyczne dla organizacji dotyczące ustanowienia stopniowego podejścia do wdrażania systemu zarządzania energią. Podejście stopniowe ma na celu wsparcie i uproszczenie wdrażania systemu zarządzania energią, w szczególności w małych i średnich instalacjach.
- EN 16247-1:2012 dotycząca audytów energetycznych – Części 1 i 3.
- EN ISO 50002:2014 dotycząca audytów energetycznych – Wymagania wraz z wytycznymi dotyczącymi stosowania.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Zmniejszenie zużycia energii i emisji związanych z tym zużyciem.

Dzięki przeprowadzaniu audytów energetycznych oraz wdrażaniu systemów zarządzania energią uruchamiany jest proces ciągłego doskonalenia, prowadzący do zmniejszenia zapotrzebowania na energię, emisji CO_2 i wpływu na środowisko. Większość działań na rzecz efektywności energetycznej prowadzi do zamknięcia cyklu obiegu materiałów i bardziej efektywnego wykorzystania materiałów wejściowych.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Systemy zarządzania energią są tworzone z myślą o lokalnych warunkach i muszą być dostosowane do potrzeb każdej firmy. Oprogramowanie do zarządzania energią często pomaga w rejestrowaniu zapotrzebowania na energię, ale wymaga infrastruktury pomiarowej i użycia specjalnego oprogramowania. Systemy zarządzania obciążeniem szczytowym często pomagają obniżyć koszty energii. Dzięki identyfikacji głównych odbiorców energii w odlewni można w sposób ukierunkowany wdrożyć środki poprawiające efektywność energetyczną. Niemniej jednak system zarządzania energią powinien również uwzględniać możliwość niewdrażania nieekonomicznych środków poprawy efektywności energetycznej. Ważnym elementem systemów zarządzania energią jest szkolenie zespołu ds. energii oraz wszystkich pracowników zakładu.
Oddziaływanie na procesy i środowisko Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Poziom szczegółowości planu na rzecz efektywności energetycznej i audytów będzie zasadniczo związany z charakterem, skalą i złożonością zakładu oraz rodzajami wykorzystywanych źródeł energii.

Ekonomika
Nie dostarczono danych.

Siła napędowa wdrażania Oszczędność energii.

Przykładowe zakłady
Technika szeroko stosowana.

Literatura źródłowa
[169. TWG 2021], [177. COM 2009], [210. TWG 2022].

3.1.3.2 Zapis bilansu energetycznego

Opis
Technika ta polega na corocznym sporządzaniu bilansu energetycznego, który przedstawia zużycie i wytwarzanie energii (w tym eksport energii) według rodzaju źródła energii, na przykład:

•zużycie energii: energia elektryczna, gaz ziemny, energia odnawialna, importowane ciepło i/lub chłodzenie);
- wytwarzanie energii: energia elektryczna i/lub para.

Obejmuje to:

(i) określenie granic energetycznych procesów;
(ii) informacje na temat zużycia energii względem energii dostarczonej;
(iii) informacje o energii eksportowanej z zakładu;
(iv) informacje o przepływie energii (np. diagramy Sankeya lub bilanse energetyczne) pokazujące, w jaki sposób energia jest wykorzystywana w procesach.

Osiągnięte korzyści dla środowiska Zmniejszenie zużycia energii.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Redukcja emisji z systemu energetycznego może być oceniona tylko przy odpowiednim obliczeniu rzeczywistych generowanych emisji. Podział pomiędzy wytwarzaniem i zużyciem energii może pomóc zoptymalizować równowagę między nimi, a tym samym zoptymalizować wykorzystanie zasobów energetycznych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Poziom szczegółowości zapisu bilansu energetycznego będzie zasadniczo związany z charakterem, skalą i złożonością zakładu oraz rodzajami wykorzystywanych źródeł energii.
Ekonomika
Wymagania są podstawowe i kosztują niewiele.

Siła napędowa wdrażania
Zmniejszenie kosztów energii.

Przykładowe zakłady
Technika szeroko stosowana.

Literatura źródłowa
[177. COM 2009], [210. TWG 2022].

3.1.3.3 Stosowanie ogólnych technik oszczędzania energii

Opis
Obejmuje techniki takie jak:

- konserwacja i kontrola palnika;
- energooszczędne silniki;
- energooszczędne oświetlenie;
- optymalizacja systemów dystrybucji pary i sprężonego powietrza;
- regularna kontrola i konserwacja systemów dystrybucji pary w celu zapobiegania lub ograniczania wycieków pary;
- Systemy sterowania i kontroli procesów;
- napędy o zmiennej prędkości;
- optymalizacja klimatyzacji i ogrzewania budynku.

Szczegóły techniczne
Optymalizacja pieców i ich działania przyniesie znaczną poprawę efektywności energetycznej, ponieważ wstępne podgrzewanie/ podgrzewanie/ponowne podgrzewanie, obróbka cieplna, topienie i przetrzymywanie odpowiadają za większość całkowitego zużycia energii. Zużycie energii można również zmniejszyć poprzez optymalizację mediów, takich jak sprężarki powietrza, wentylatory, silniki, pompy i oświetlenie.

Ogólne techniki oszczędzania energii są stosowane poprzez wybór i optymalizację procesów i urządzeń.

Energooszczędne silniki
Środki obejmują stworzenie planu zarządzania silnikami, strategię wyboru i zakupu silników, przeprowadzanie bieżącej konserwacji, stosowanie silników o odpowiednich rozmiarach, automatyzację pracy silników, stosowanie napędów o regulowanej prędkości, stosowanie właściwego współczynnika mocy,

minimalizowanie nierównowagi napięcia oraz stosowanie tzw. sof startów.

Energooszczędne oświetlenie
Można to osiągnąć poprzez wyłączanie świateł w obszarach nieobsadzonych, stosowanie czujników obecności i innych urządzeń sterujących oświetleniem, modernizację oznakowania wyjść, zastąpienie stateczników magnetycznych statecznikami elektronicznymi, zastąpienie lamp T-12 lampami T-8, zmniejszenie napięcia systemu oświetleniowego, zastąpienie lamp rtęciowych lampami metalohalogenkowymi lub wysokoprężnymi lampami sodowymi (HPS), zastąpienie metalohalogenkowych lamp wyładowczych o wysokiej intensywności lampami fluorescencyjnymi o wysokiej intensywności, zastosowanie oświetlenia dziennego i oświetlenia LED (zob. także ENE BREF). [177. COM 2009]

Osiągnięte korzyści dla środowiska Zmniejszenie zużycia energii.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Nie dostarczono danych.
Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika
Nie dostarczono danych.

Siła napędowa wdrażania
Zmniejszenie kosztów energii.

Przykładowe zakłady
Technika szeroko stosowana w odlewniach.
Kuźnie DE002, DE003, DE005, DE006, DE007 i ES008.

Literatura źródłowa
[169. TWG 2021], [177. COM 2009], [210. TWG 2022].

3.1.4 Emisje do powietrza

3.1.4.1 Wykorzystanie energii elektrycznej z niekopalnych źródeł energii w procesach termicznych (w odlewniach i kuźniach)

Opis
Technika ta polega na:

- wykorzystaniu pieców elektrycznych (np. indukcyjnych bezrdzeniowych i kanałowych, oporowych, z łukiem elektrycznym) w odlewniach do procesów topienia metali i obróbki cieplnej odlewów;
- wykorzystanie pieców elektrycznych w kuźniach do procesów podgrzewania/ponownego podgrzewania i obróbki cieplnej detali.

W obu przypadkach wykorzystywana energia elektryczna jest wytwarzana z niekopalnych źródeł energii (np. energia wodna, słoneczna, wiatrowa, jądrowa).

Szczegóły techniczne

Odlewnia
Topienie metali i obróbka cieplna to dwa główne procesy termiczne, w których piece elektryczne są wykorzystywane do produkcji stopionych metali żelaznych lub nieżelaznych. Obejmuje to także przetapianie stopionego metalu oraz utrzymywanie ciepła stopionego metalu w piecach podtrzymujących.

Poniżej podsumowano różne rodzaje pieców wykorzystywanych do topienia lub obróbki cieplnej metali w odlewniach w momencie sporządzania niniejszego dokumentu (2023 r.):

- *Odlewnie żeliwa*: Znaczna część żeliwa jest produkowana przy użyciu pieców opalanych paliwami kopalnymi, takich jak żeliwiaki (z gorącym lub zimnym dmuchem) i piece obrotowe. Alternatywnie, żeliwo jest zazwyczaj topione w piecach elektrycznych, w szczególności w piecach indukcyjnych średniej częstotliwości lub bezrdzeniowych. Stosowane są również piece indukcyjne kanałowe, ale głównie do celów podtrzymywania temperatury. Obróbka cieplna żeliwa sferoidalnego (np. wyżarzanie, odpuszczanie, hartowanie) może być przeprowadzana w piecach elektrycznych lub gazowych.

- *Odlewnie stali* : Zdecydowana większość odlewni stali wykorzystuje piece elektryczne do topienia metali, w szczególności piece łukowe lub indukcyjne. Duże odlewnie stali są zwykle wyposażone w piece łukowe, ale większość mniejszych odlewni stali używa pieców indukcyjnych. W przypadku obróbki cieplnej, stal węglowa i niskostopowa są zazwyczaj poddawane normalizacji lub austenityzacji, hartowaniu i odpuszczaniu cieplnemu. Obróbka ta może być przeprowadzana w piecach elektrycznych lub gazowych.
- *Odlewnie* metali nieżelaznych: W zależności od rodzaju stopu i zdolności do topienia stosuje się wiele różnych rodzajów piecy. Małe odlewnie często korzystają z pieców gazowych lub tyglowych pieców indukcyjnych. Duże odlewnie zazwyczaj korzystają z pieców gazowych (np. szybowych lub płomiennych) lub pieców elektrycznych (np. indukcyjnych). Do obróbki cieplnej (np. odprężania, wyżarzania, hartowania, sztucznego starzenia) można stosować piece elektryczne lub gazowe.

Na przykład w Niemczech odlewnie żeliwa wyprodukowały w 2019 r. około 4 mln ton odlewów. Mniej więcej połowa całkowitej produkcji została wytworzona przy użyciu pieców elektrycznych; reszta została wyprodukowana przy użyciu pieców opalanych paliwami kopalnymi. W przypadku odlewni stali około 75% odlewów wyprodukowano przy użyciu pieców indukcyjnych, a 25% przy użyciu pieców łukowych. W odlewniach metali nieżelaznych około 70% pieców jest ogrzewanych przy użyciu paliw kopalnych, a 30% jest ogrzewanych elektrycznie. [231. UmweltBundesamt 2023]

Typ odlewni, typ pieca i liczbę pieców w odlewniach działających w Niemczech (2019 r.) podsumowano w Tabeli 3.3.

Tabela 3.3: Liczba pieców według typu pieca i rodzaju odlewni w odlewniach działających w Niemczech (2019)

Rodzaj odlewni	Typ pieca	Nośnik energii	Liczba pieców
Żeliwo	Żeliwiak z zimnym dmuchem	Koks	Około 30
	Żeliwiak z gorącym dmuchem	Koks, gaz ziemny	Około 25
	Piece indukcyjne	Energia elektryczna	> 140
	Piece obrotowe	Gaz ziemny, ropa naftowa	Około 10
Stal	Piece indukcyjne	Energia elektryczna	> 40
	Piece łukowe	Energia elektryczna	Około 15
Metale nieżelazne	Piece gazowe (np. szybowe)	Gaz ziemny	1500 do 2000
	Piece opalane olejem	Olej	od 600 do 800
	Piece elektryczne	Energia elektryczna	900 do 1200
Źródło: [231. UmweltBundesamt 2023]			

Kuźnie

W kuźniach głównymi procesami termicznymi są podgrzewanie i ponowne podgrzewanie w celu podwyższenia temperatury surowca przed procesem kucia, oraz obróbka cieplna (np. wyżarzanie, odpuszczanie, hartowanie) przeprowadzana po procesie kucia w celu nadania obrabianemu przedmiotowi wymaganych właściwości metalurgicznych. Podgrzewanie/ponowne podgrzewanie surowca odbywa się zazwyczaj poprzez podgrzewanie bezpośrednie lub pośrednie w następujący sposób:

- *Podgrzewanie bezpośrednie* : Wykorzystuje się energię elektryczną, indukcyjną lub przewodzenie cieplne.
- *Podgrzewanie pośrednie* : Zazwyczaj odbywa się w piecach opalanych gazem ziemnym lub piecach przelotowych. W niektórych przypadkach stosuje się również piece elektryczne.

W obróbce cieplnej można stosować zarówno piece elektryczne, jak i opalane gazem.

Podsumowanie

Zasadniczo technika ta polega na wykorzystaniu energii elektrycznej do realizacji wyżej wymienionych

procesów termicznych. Aby zapewnić, że redukcja emisji nie zostanie zniwelowana przez emisje i inne potencjalne negatywne skutki dla środowiska wynikające z wytwarzania energii elektrycznej, wykorzystuje się energię elektryczną pochodzącą ze źródeł niekopalnych. Certyfikaty zielonej energii i/lub gwarancja pochodzenia określona w Dyrektywie 2018/2001 w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych mogą dostarczyć operatorowi informacji na temat źródła dostaw energii elektrycznej.

W przypadku gdy piece elektryczne są już w użyciu (np. bezrdzeniowe piece indukcyjne w odlewniach żeliwa lub aluminium, piece łukowe lub piece indukcyjne w odlewniach stali), głównym celem operatora kuźni lub odlewni powinno być pozyskiwanie energii elektrycznej ze źródeł niekopalnych, w zależności od lokalnych warunków i dostępności dostaw takiej energii.

W przypadkach, gdy stosowane są piece opalane paliwami kopalnymi (np. żeliwiaki z gorącym i zimnym dmuchem w odlewniach żeliwa, piece szybowe lub płomieniowe w odlewniach metali nieżelaznych), można rozważyć zastąpienie istniejących pieców opalanych paliwami kopalnymi nowymi piecami elektrycznymi. Przy takiej wymianie można uwzględnić dostępne metalowe materiały wsadowe, zgodnie z wymogami gospodarki o obiegu zamkniętym.

Osiągnięte korzyści dla środowiska

- Eliminacja emisji CO, CO2, SO2 i NOX oraz redukcja emisji pyłów z procesów termicznych prowadzonych na terenie kuźni i odlewni.
- Redukcja i/lub uniknięcie emisji CO, CO_2, SO_2, NO_X i pyłów z wytwarzania energii elektrycznej.
- Poprawa efektywności energetycznej procesów topienia metali oraz wstępnego podgrzewania/podgrzewania/ponownego podgrzewania.
- Zapobieganie lub ograniczenie negatywnego wpływu na środowisko jako całość, np. emisji do powietrza, wody i gleby, a także zużycia zasobów i wytwarzania odpadów.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Wykorzystanie energii elektrycznej wytwarzanej ze źródeł niekopalnych w procesach termicznych w kuźniach i odlewniach może prowadzić do znacznego ograniczenia emisji CO_2, CO, pyłów, SO_2 i NO_X.

Dane dotyczące emisji CO, SO_2, pyłu i NO_X podczas topienia metali w odlewniach w zależności od typu pieca zestawiono dla pieców opalanych paliwem (np. żeliwiaki z zimnym lub gorącym dmuchem) w porównaniu z piecami elektrycznymi (np. bezrdzeniowymi lub o średniej częstotliwości napięcia zasilającego) w Tabeli 2.37 (CO), Tabeli 2.38 SO2, Tabeli 2.30 (pył) oraz Tabeli 2.36 NO_X.

Dane dotyczące zużycia energii na topienie metalu w piecach opalanych paliwem (żeliwo: żeliwiaki z zimnym lub gorącym dmuchem) w porównaniu z piecami elektrycznymi (np. bezrdzeniowymi lub o średniej częstotliwości napięcia zasilającego) przedstawiono odpowiednio na Rysunku 2.149, Rysunku 2.150, Rysunku2.151 oraz Rysunku 2.152, odpowiednio.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Wytwarzanie energii z niekopalnych źródeł energii może mieć inne skutki dla środowiska (np. wytwarzanie pyłów podczas produkcji energii elektrycznej ze spalania biomasy, wytwarzanie odpadów radioaktywnych w elektrowniach jądrowych, emisja hałasu z turbin wiatrowych).

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Przy wyborze typu pieca (elektrycznego lub opalanego paliwem) należy wziąć pod uwagę następujące czynniki:

- *Dostępność mocy elektrycznej*: Wykorzystanie energii elektrycznej w procesach grzewczych zależy od dostępnej mocy elektrycznej (wyrażonej w MW), którą można pobrać z pobliskiej sieci elektrycznej. W niektórych przypadkach moc dostępna z sieci elektrycznej może być niewystarczająca do zasilania pieców elektrycznych wymagających dużej mocy. W takim przypadku konieczne jest zastosowanie silnych linii energetycznych oraz transformatorów. Zarządzanie obciążeniem szczytowym jest ważne dla koordynacji operacji topienia z wydajnością sieci.
- *Dostępność energii elektrycznej z źródeł energii niepochodzących z paliw kopalnych*: Obecna polityka energetyczna Unii Europejskiej promuje dekarbonizację produkcji energii elektrycznej. W związku z tym oczekuje się, że w perspektywie krótko- i średnioterminowej udział energii elektrycznej niepochodzącej z paliw kopalnych w europejskim koszyku energetycznym znacznie wzrośnie. Nadal jednak istnieją istotne różnice między państwami członkowskimi pod względem źródeł produkcji energii elektrycznej. Na przykład w 2022 r. we Francji udział energii elektrycznej wytwarzanej ze źródeł

niekopalnych (energia wiatrowa, słoneczna, jądrowa, biomasa, energia wodna – około 87 %) znacznie przewyższył udział energii elektrycznej wytwarzanej z gazu ziemnego lub węgla (około 13 %). Natomiast w Polsce udział energii elektrycznej wytwarzanej z węgla i gazu ziemnego jest bardzo znaczący (około 71 %).

- *Infrastruktura i modyfikacje operacyjne*: W odlewniach żeliwa piece kuźnicze pracujące w trybie ciągłym o wydajności do 100 t/h mają znacznie większą wydajność topienia niż piece indukcyjne (zazwyczaj 40 t/h). W związku z tym zastąpienie pieca kuźniczego wymaga kilku pieców indukcyjnych, które muszą być eksploatowane i zsynchronizowane, aby zapewnić taką samą wydajność produkcyjną i ciągłość pracy. Ponadto konieczne będzie przeprojektowanie całego przepływu materiałów w odlewni. Ogólnie rzecz biorąc, konwersja pieców opalanych paliwem w trybie ciągłym (np. żeliwiaków) jest znacznie bardziej złożona niż konwersja pieców opalanych paliwem w trybie przerywanym. Aspekty te należy również uwzględnić w odlewniach metali nieżelaznych, gdzie na przykład piece płomienne z trzonem wydajności topienia do 30 t/h są zastępowane wieloma piecami indukcyjnymi o niższej wydajności topienia (np. 10 t/h). [231. UmweltBundesamt 2023]
- *Dostępność przestrzeni*: Przy ocenie wykonalności konwersji na ogrzewanie elektryczne należy wziąć pod uwagę wymagania dotyczące mocy lub obciążenia cieplnego istniejącego pieca oraz odpowiednią infrastrukturę zasilania elektrycznego. Na ogół konwencjonalne palniki opalane paliwem zapewniają wyższą gęstość mocy (kW/m^3) w piecu w porównaniu z ogrzewaniem elektrycznym. Dlatego też elektryczne elementy grzejne mogą wymagać więcej miejsca w porównaniu z konwencjonalnymi palnikami. Zastąpienie żeliwiaka kilkoma piecami indukcyjnymi może spowodować zwiększenie powierzchni zajmowanej przez zakład.

Ekonomika

- Wybór między wykorzystaniem istniejących pieców opalanych gazem a ich zastąpieniem nowymi piecami elektrycznymi będzie uzależniony od dostępności opcji technicznych i związanych z tym kosztów.
- Koszty energii elektrycznej pozyskiwanej bez wykorzystania paliw kopalnych w porównaniu z paliwami kopalnymi są kluczowym czynnikiem ekonomicznym, przy czym różnice w tym zakresie w poszczególnych krajach UE są znaczne.
- Należy uwzględnić koszty infrastruktury (np. linie przesyłowe, stacje transformatorowe) związane z dostawami energii elektrycznej pozyskiwanej bez wykorzystania paliw kopalnych.
- Obecnie koszty inwestycyjne pieców indukcyjnych są wyższe niż pieców opalanych paliwem. Jednak koszty eksploatacji są korzystniejsze, głównie dzięki około 35 % oszczędnościom w zużyciu energii i > 50 % zmniejszeniu strat metalu (wypalenia). [234. EEB 2023]
- Piece indukcyjne do żeliwa wymagają złomu stalowego wyższej jakości (niestopowego/bez domieszek). Aby uniknąć negatywnego wpływu pierwiastków śladowych na właściwości materiału, złom stalowy należy sortować według pierwiastków stopowych za pomocą ręcznych przenośnych urządzeń analitycznych. Nie wolno przekraczać dopuszczalnych poziomów niektórych pierwiastków stopowych (np. manganu). W związku z tym sortowany złom stalowy jest zazwyczaj droższy niż złom z żeliwiaka.
- Podczas zastępowania żeliwiaka o średniej wydajności kilkoma piecami indukcyjnymi faza uruchomienia może trwać od 6 miesięcy do 1 roku, a koszty związane z utratą produkcji mogą wynosić od 50 000 do 200 000 EUR dziennie. [231. UmweltBundesamt 2023]

W 2020 r. niemiecka odlewnia (Busch) przeprowadziła studium wykonalności w celu zastąpienia żeliwiaka (o wydajności topienia 28 t/h) w połączeniu z dwoma piecami indukcyjnymi (o wydajności topienia 15 t/h) kombinacją trzech pieców indukcyjnych (o wydajności topienia 2 x 13,5 t/h i 1 x 15 t/h, łączna wydajność topienia 42,2 t/h). Całkowity koszt inwestycji wyniósł 39 mln EUR [233. Nissen A. 2021]. W zakładzie tym zidentyfikowano oszczędności kosztów produkcji związane z eliminacją pieców podtrzymujących, niższymi kosztami transportu i zmniejszoną ilością wytwarzanych pozostałości (np. pyłu z filtrów). Zidentyfikowano również dodatkowe koszty związane z koniecznością stosowania wyższej jakości węgla i krzemu do stopowania w piecach indukcyjnych oraz koniecznością stosowania złomu o wyższej jakości w porównaniu z żeliwiakami. Poniżej podsumowano dalsze zakłady, dla których dostępne są informacje [234. EEB 2023]:

- W zakładzie Eisenguss Hasloch Smart Foundries GmbH & Co. KG Hasloch (Niemcy), małej odlewni rzemieślniczej pracującej na jedną zmianę, zajmującej się topieniem poszczególnych materiałów w partiach, zainstalowano trzy piece (o wydajności 3 t) do produkcji żeliwa sferoidalnego (6 t/h) w celu zastąpienia żeliwiaka o tej samej wydajności. Koszty eksploatacji zmniejszyły się o 7 %.
- Odlewnia Decatur, Decatur III. USA. W celu produkcji 60 t żeliwa sferoidalnego dziennie, wymiana

(2008) żeliwiaka na dwa piece indukcyjne o tej samej wydajności przyniosła oszczędności energii o 76 %, materiałów stopowych o 76 %, unieszkodliwiania żużla o 51 % oraz kosztów pracy o 42 %.

- Odlewnia żelaza Rowe, Martinsville, Illinois, USA. Inwestycja w dwa piece indukcyjne średniej częstotliwości zasilania (o wydajności 8 ton) kosztująca 7,5 mln USD, mająca na celu zastąpienie żeliwiaka, przyniosła 7–8% redukcję całkowitych kosztów topienia, przy amortyzacji w ciągu 4 lat.

Siła napędowa wdrażania

- Zwiększona efektywność energetyczna.
- Eliminacja emisji z procesów termicznych na terenie kuźni i odlewni oraz z wytwarzania energii elektrycznej.
- Poprawa kontroli procesu/temperatury.
- Poprawa warunków pracy w pobliżu pieca.
- Dekarbonizacja i zintegrowane zapobieganie zanieczyszczeniom w sektorze kuźni i odlewni.

Przykładowe zakłady

Odlewnie

Piece elektryczne są szeroko stosowane w odlewniach do topienia metali (żeliwa, stali i metali nieżelaznych). W odlewniach stali w większości wykorzystywane są piece elektryczne (tj. indukcyjne i łukowe).

W latach 2020/2021 firma Kovis (Brežice, Słowenia), produkująca odlewy z żeliwa szarego i sferoidalnego, dokonała konwersji swoich procesów topienia z dwóch żeliwiaków o wydajności 5 t/h każdy (90 t dziennie) na dwa piece indukcyjne średniej częstotliwości (system podwójnej mocy) o maksymalnej mocy 6.1 MW (259 Hz) i wydajności 11,7 t każdy. Dzięki tej dodatkowej zdolności topienia, dostosowanej do istniejącej linii formierskiej, zdolność produkcyjna wzrosła o około 50 %. [232. Kovis 2021].

Dalsze przykłady, w których jeden lub kilka żeliwiaków zostało zastąpionych piecami indukcyjnymi, podano w poniższej tabeli.

Tabela 3.4: Przykładowe zakłady wykorzystujące piece elektryczne

Rok	Firma	Kraj	Ilość pieców	Wydajność (t)	Moc (W) / Częstotliwość (Hz)
2021	ZML	Włochy	2	23,2	12 000 / BD
2021	ZML	Włochy	2	9,9	6 100 / BD
2021	Saint Gobain PAM	Francja	1	32,0	18 000 / 250
2023	Saint Gobain PAM (w toku)	Francja	2	32,0	18 000 / 250
2008	Römheld & Moelle	Dania	2	13,4	9 000 / 250
2002	Rexroth Guss GmbH	Dania	2	13,4	10 000 / 200
2003	Scania	Szwecja	2	9,9	5 800 / 190
BD - brak danych, Źródło: [234. EEB 2023].					

Każda z wymienionych w tabeli powyżej instalacji składa się z dwóch pieców. Nazywa się to pracą tandemową (podwójna moc), gdzie jeden piec pracuje jako piec do topienia z pełną mocą, a drugi jest używany jako piec do podtrzymywania temperatury i zalewania z mocą podtrzymywania. Zapewnia to ciągłe dostarczanie płynnego żelaza do linii formierskich. Zakład o mocy 18 MW w Saint-Gobain PAM jest obecnie najpotężniejszym zakładem indukcyjnym w przemyśle odlewni żeliwa na świecie. [234. EEB 2023]

Kuźnie

W momencie sporządzania niniejszego dokumentu (2023 r.) stosowanie pieców elektrycznych do podgrzewania/ponownego podgrzewania nie jest powszechne. Piece elektryczne są jednak wykorzystywane do obróbki cieplnej elementów.

Wyniki zebranych danych wskazują, że do podgrzewania/ponownego podgrzewania większość zakładów objętych zbiorem danych stosuje piece gazowe (np. piece z popychaczem, piece wózkowe). Jeden zakład zgłosił stosowanie sześciu pieców indukcyjnych do wstępnego podgrzewania (ES008), a inny zgłosił instalację dwóch nowych pieców indukcyjnych w 2019 r. (DE005). Ponadto DE002 zgłosił stosowanie jednego pieca

podgrzewającego (pieca przepływowego) wykorzystującego energię elektryczną.

Literatura źródłowa
[169. TWG 2021], [210. TWG 2022], [231. UmweltBundesamt 2023], [232. Kovis 2021], [233. Nissen A. 2021], [234. EEB 2023]

3.1.5 Hałas i wibracje

Emisja hałasu i wibracji może występować podczas wszystkich procesów produkcyjnych w instalacjach kuźni i odlewni, takich jak przygotowywanie i przetwarzanie surowców, podgrzewanie, ponowne podgrzewanie, topienie, kucie/młotkowanie, obróbka cieplna, obróbka powierzchniowa, transport materiałów i magazynowanie produktów, a także podczas wysyłki i transportu produktów końcowych. [139. Probst 2006], [169. TWG 2021]

Ogólna redukcja poziomów hałasu wymaga opracowania planu redukcji hałasu. Należy sprawdzić i ocenić wszystkie źródła emisji hałasu.

Proces odlewniczy obejmuje różne punktowe źródła hałasu. Należą do nich:

- obsługa złomu;
- ładowanie do pieca;
- palniki;
- maszyny do odlewania pod wysokim ciśnieniem (HPDC);
- wytrząsanie;
- piaskowanie/śrutowanie;
- rdzeniarki/maszyny do produkcji form (odlewniczych);
- wykańczanie;
- wszystkie silniki i układy hydrauliczne;
- transport (wywrotka, załadunek itp.).

Ponadto punktowymi źródłami hałasu zarówno w kuźniach, jak i odlewniach mogą być wentylatory, kompresory i pompy.

Można zastosować techniki o niższym poziomie hałasu i/lub zamknąć/zabudować punktowe źródła hałasu.

Można również rozważyć całkowite zamknięcie budynku odlewni. Będzie to wymagało skonfigurowania systemu kontroli klimatu, aby ograniczyć temperaturę wewnątrz budynku.

W przypadku, gdy obszary mieszkalne znajdują się w pobliżu zakładu, planowanie nowych budynków na terenie kuźni lub odlewni wiąże się z koniecznością ograniczenia emisji hałasu i wibracji.
Więcej informacji na temat technik minimalizowania drgań w kuźniach podano w Sekcji 3.3.3.

3.1.5.1 Plan zarządzania hałasem i wibracjami

Opis
Wdrożenie, realizacja oraz regularna weryfikacja planu zarządzania hałasem i/lub wibracjami w ramach EMS (zob. Sekcja 3.1.1.1)obejmującego wszystkie poniższe elementy:

- protokół zawierający odpowiednie działania i harmonogramy;
- protokół monitorowania emisji hałasu i/lub wibracji;
- protokół reagowania na zidentyfikowane zdarzenia związane z hałasem i wibracjami, np. zarządzanie skargami i/lub podejmowanie działań naprawczych;
- program redukcji hałasu i/lub wibracji mający na celu identyfikację źródeł, pomiar/oszacowanie narażenia na hałas i/lub wibracje, scharakteryzowanie wpływu źródeł oraz wdrożenie środków zapobiegawczych i/lub ograniczających.

Szczegóły techniczne
W ramach EMS wdrażany i regularnie weryfikowany jest plan zarządzania hałasem i wibracjami.

Ogólna redukcja poziomów hałasu wymaga opracowania planu redukcji hałasu. W planie tym każde ze źródeł musi zostać sprawdzone i ocenione. Możliwe jest zastosowanie alternatywnych technik o niższym poziomie hałasu i/lub zamknięcie/zabudowanie źródeł punktowych.

Przydatnymi narzędziami do skutecznego stosowania tej techniki mogą być:

- okresowe monitorowanie hałasu (zgłaszane przez większość zakładów z częstotliwością od raz na rok do raz na 5 lat);
- opracowanie map hałasu i związanych z nimi obliczeń hałasu (zgłoszonych przez zakład SE150);
- okresowe spotkania i dyskusje z sąsiadami w celu zidentyfikowania uciążliwych kwestii związanych z hałasem (zgłoszone przez zakład AT006).

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Ograniczenie emisji hałasu oraz wibracji.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Zobacz *Szczegóły techniczne* powyżej.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Możliwość zastosowania jest ograniczona do przypadków, w których spodziewana i/lub uzasadniona jest uciążliwość związana z hałasem i/lub wibracjami na obiekt wrażliwy.

Ekonomika
Nie dostarczono danych.

Siła napędowa wdrażania
- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady AT006, SE150.
Literatura źródłowa[169. TWG 2021]

3.1.5.2 Odpowiednia lokalizacja urządzeń i budynków

Opis
Zwiększenie odległości między emiterem a odbiornikiem, poprzez wykorzystanie budynków jako ekranów akustycznych oraz poprzez relokację sprzętu a także zmianę lokalizacji wyjść lub wejść do budynków

Szczegóły techniczne
Wpływ hałasu można zmniejszyć poprzez zwiększenie odległości między emiterem hałasu a jego odbiorcą, wykorzystanie budynków jako ekranów akustycznych oraz relokację hałaśliwych urządzeń i/lub zmianę lokalizacji wyjść lub wejść do budynków. Ponadto można budować budynki lub tworzyć naturalne bariery, takie jak rosnące drzewa i krzewy, pomiędzy obszarem chronionym a miejscem, w którym występuje hałas.

Osiągnięte korzyści dla środowiska Ograniczenie emisji hałasu oraz wibracji.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne Nie dostarczono danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
W przypadku istniejących zakładów relokacja/przeniesienie sprzętu oraz zmiana lokalizacji wejść i/lub wyjść z budynku może nie mieć zastosowania ze względu na brak miejsca i/lub nadmierne koszty.

Ekonomika
Przeniesienie sprzętu oraz wejść/wyjść pociąga za sobą związane z tym koszty.

Siła napędowa wdrażania
- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady
Technika szeroko stosowana.
Zob. także Sekcja 3.3.4 dla kuźni.

Literatura źródłowa
[169. TWG 2021], [210. TWG 2022].

3.1.5.3 Środki operacyjne

Opis
Obejmują co najmniej następujące elementy:

- kontrolę i konserwację sprzętu;
- zamykanie drzwi i okien w zamkniętych pomieszczeniach, jeśli to możliwe, lub stosowanie drzwi samozamykających;
- obsługiwanie sprzętu przez doświadczony personel;
- unikanie hałaśliwych prac w nocy, jeśli to możliwe;
- środki kontroli hałasu podczas produkcji i konserwacji, transportu i przeładunku surowców i materiałów, np. zmniejszenie liczby operacji przenoszenia materiałów, zmniejszenie wysokości, z której elementy spadają na twarde powierzchnie.

Szczegóły techniczne
Środki operacyjne są stosowane w celu zapobiegania lub ograniczania emisji hałasu.

Drzwi i okna zadaszonych obszarów muszą być zamknięte podczas hałaśliwych operacji. W nocy należy unikać hałaśliwych prac (np. transportu).

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Ograniczenie emisji hałasu oraz wibracji.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Nie dostarczono danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika
Nie dostarczono danych.

Siła napędowa wdrażania

- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady Technika szeroko stosowana.

Literatura źródłowa
[169. TWG 2021], [210. TWG 2022].

3.1.5.4 Sprzęt o niskim poziomie hałasu

Opis
Obejmuje techniki takie jak silniki z napędem bezpośrednim, ciche sprężarki, pompy i wentylatory oraz ciche urządzenia transportowe.

Szczegóły techniczne
Przy zakupie nowego sprzętu brane są pod uwagę związane z nim poziomy hałasu.

Sprzęt o niskim poziomie hałasu obejmuje specjalne głowice wydmuchowe (zgłoszone przez zakład ES099).

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Zmniejszenie emisji hałasów.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Nie dostarczono danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika
Ze względu na techniki zapobiegania hałasowi mogą pojawić się dodatkowe koszty inwestycji i konserwacji.

Siła napędowa wdrażania
- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady Technika szeroko stosowana.
Zob. także Sekcja 3.3.4 dla kuźni.

Literatura źródłowa
[169. TWG 2021], [210. TWG 2022].

3.1.5.5 Urządzenia do kontroli hałasu

Opis
Obejmuje techniki takie jak:

- stosowanie reduktorów hałasu;
- zastosowanie izolacji akustycznej urządzeń;
- obudowanie hałaśliwych urządzeń i procesów (np. rozładunek surowców, młotkowanie, sprężarki, wentylatory, wytrząsanie, wykańczanie);
- stosowanie materiałów budowlanych o wysokich właściwościach izolacyjnych (np. do ścian, dachów, okien, drzwi).

Szczegóły techniczne
Zmniejszenie hałasu można osiągnąć poprzez zastosowanie tłumików wywiewu powietrza oraz zmniejszenie prędkości powietrza, zgodnie z informacją zawartą w raporcie zakładu DE004.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
mniejszenie emisji hałasów.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Zobacz informacje zawarte w Sekcji 1.3.4.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Możliwość zastosowania w istniejących zakładach może być ograniczona brakiem miejsca.

Ekonomika
Koszt inwestycji w sprzęt do kontroli hałasu.

Siła napędowa wdrażania
- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady
Technika szeroko stosowana.
Stosowanie tej techniki zgłoszone przez zakład DE004.

Literatura źródłowa
[169. TWG 2021], [210. TWG 2022], [219. DE 2019].

3.1.5.6 Redukcja hałasu

Opis
Umieszczenie przeszkód pomiędzy emiterami hałasu a jego odbiorcami (np. ściany ochronne, nasypy).

Szczegóły techniczne
Przykłady przeszkód między źródłami a odbiorcami hałasu obejmują:

- instalację ekranów akustycznych (np. zainstalowanie ekranów akustycznych o wysokości 8 metrów wokół hałaśliwych urządzeń zgłoszone przez zakład ES095 lub zainstalowanie ekranów akustycznych przed odbiornikami wrażliwymi zgłoszone przez zakład ES008);
- instalację paneli dźwiękochłonnych do obudowy hałaśliwych urządzeń (zgłoszone przez zakład PT139).

Zob. również szczegółowe informacje na temat emisji hałasu w kuźniach w Sekcji 3.3.4.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Zmniejszenie emisji hałasów.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Nie dostarczono danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Dotyczy wyłącznie istniejących zakładów, ponieważ projekt nowych zakładów powinien wykluczać konieczność stosowania tej techniki. W przypadku istniejących zakładów umieszczenie przeszkód może nie być możliwe ze względu na brak miejsca.

Ekonomika
Nie dostarczono danych.

Siła napędowa wdrażania
- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady
Technika szeroko stosowana w odlewniach.
Zgłoszona przez zakłady DE001, DE002 i ES008 (kuźnie).

Literatura źródłowa
[169. TWG 2021], [210. TWG 2022].

3.1.6 Pozostałości

3.1.6.1 Plan zarządzania pozostałościami

Opis
Plan zarządzania pozostałościami stanowi część EMS (zob. Sekcja 3.1.1.1) i obejmuje zestaw środków mających na celu:

- minimalizację powstawania pozostałości;
- optymalizację ponownego wykorzystania, recyklingu i/lub odzysku pozostałości; oraz
- zapewnienie właściwego unieszkodliwiania odpadów.

Plan zarządzania pozostałościami może być zintegrowany z ogólnym planem zarządzania pozostałościami większej instalacji (np. działalność w zakresie obróbki powierzchniowej).

Szczegóły techniczne
Do optymalizacji pozostałości można stosować różne techniki, począwszy od:

- podstawowych technik utrzymania porządku;
- poprzez statystyczne techniki pomiarowe;
- po zastosowanie czystych technologii;
- wykorzystanie chemikaliów technologicznych przed upływem terminu ważności;
- wykorzystanie pozostałości jako paliwa; oraz
- ponowne wykorzystanie lub recykling opakowań.

W szczególności plan zarządzania pozostałościami/odpadami mógłby opierać się na pięciostopniowej hierarchii określonej w Dyrektywie UE 2018/851/UE i zawartej w komunikacie Komisji w sprawie wytycznych technicznych dotyczących klasyfikacji odpadów 2018/C 124/01 oraz obejmować następujące elementy:

- Identyfikację, charakterystykę i kwantyfikację każdego strumienia pozostałości/odpadów. Prowadzenie systemu śledzenia pozostałości/odpadów może pomóc operatorom w rejestrowaniu ilości, charakteru, pochodzenia oraz, w stosownych przypadkach, miejsca przeznaczenia, częstotliwości zbierania, sposobu transportu i metody przetwarzania wszelkich pozostałości/odpadów, które są unieszkodliwiane

lub odzyskiwane w tym miejscu.

- Określenie obecnych lub proponowanych rozwiązań w zakresie postępowania z odpadami oraz możliwości wdrożenia gospodarki o obiegu zamkniętym.
- Pełny opis sposobu, w jaki proponuje się odzyskać lub unieszkodliwić każdy strumień pozostałości. Jeśli ma on zostać unieszkodliwiony, w planie wyjaśnia się, dlaczego odzysk nie jest technicznie lub ekonomicznie możliwy, a następnie opisuje się/wyjaśnia środki planowane w celu uniknięcia lub zmniejszenia wpływu na środowisko.
- Praktyczne techniki zmniejszenia ilości odpadów przekazywanych do unieszkodliwiania mogą obejmować:
  - stosowanie zasad porządkowania i utrzymywania czystości; mogą to być proste czynności, takie jak zamiatanie przed myciem podłóg, które mogą znacznie zmniejszyć ilość odpadów;
  - ustalenie jasnych kryteriów związanych np. z maksymalnym czasem przechowywania chemikaliów technologicznych oraz monitorowanie odpowiednich parametrów w celu uniknięcia zepsucia chemikaliów technologicznych lub przekroczenia terminu ich ważności;
  - oddzielne wychwytywanie strumieni odpadów o wysokim stężeniu z zanieczyszczeń o niskim stężeniu w celu umożliwienia bardziej efektywnego oczyszczania;
  - selektywna zbiórka odpadów stałych, których nie da się uniknąć;
  - ograniczenie stosowania opakowań;
  - korzystanie z pojemników zwrotnych;

Osiągnięte korzyści dla środowiska

- Zwiększona efektywność wykorzystania materiałów.
- Zmniejszenie ilości odpadów przekazywanych do unieszkodliwiania.
- Minimalizacja pozostałości poprzez recykling pozostałości procesowych i ponowne wykorzystanie materiałów pochodzących z recyklingu, a także oszczędność surowców.

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
Poziom szczegółowości i stopień sformalizowania planu zarządzania pozostałościami będzie generalnie związany z charakterem, skalą i złożonością zakładu.

Ekonomika
Nie dostarczono danych.

Siła napędowa wdrażania

- Zmniejszenie kosztów dzięki zwiększonej efektywności wykorzystania materiałów.
- Zapobieganie powstawaniu odpadów jest zasadą Dyrektywy IED (Dyrektywa 2010/75/UE 2010) oraz Dyrektywy Ramowej w Sprawie Odpadów (Dyrektywa UE/2018/851).

Przykładowe zakłady
Technika szeroko stosowana.

Literatura źródłowa
Dyrektywa Ramowa w Sprawie Odpadów (Dyrektywa UE/2018/851).

3.1.7 Likwidacja

Opis
Opracowanie planów i środków, stosowanych przez cały okres eksploatacji instalacji, związanych z minimalizacją wpływu na środowisko i związanych z tym kosztów likwidacji.

Szczegóły techniczne
Niektóre techniki, które warto rozważyć, to:

- uwzględnienie późniejszego wycofania z eksploatacji na etapie projektowania, a tym samym zminimalizowanie ryzyka i nadmiernych kosztów podczas takiego wycofania;
- w przypadku istniejących instalacji, w których zidentyfikowano potencjalne problemy, wprowadzenie programu ulepszeń. Projekty takich programów muszą gwarantować, że:
  - tam, gdzie to możliwe, należy unikać podziemnych zbiorników i rurociągów (chyba że są one chronione przez dodatkowe zabezpieczenia z monitorowaniem wycieków i zabezpieczeniem

przed przepełnieniem lub odpowiednim programem monitorowania);
- istnieje możliwość opróżnienia i wyczyszczenia zbiorników i przewodów rurowych przed ich demontażem;
- laguny i składowiska odpadów zostały zaprojektowane z myślą o ich ostatecznym oczyszczeniu lub oddaniu do użytku
- stosowana jest izolacja, którą można łatwo zdemontować bez powstawania pyłu lub zagrożeń;
- wszelkie użyte materiały nadają się do recyklingu (pamiętając jednak, że nadal spełniają cele operacyjne lub inne cele środowiskowe);
- opracowano a także utrzymuje się plan zamknięcia obiektu, wykazujący, że w obecnym stanie instalacja może zostać wycofana z eksploatacji w sposób uniemożliwiający wystąpienie ryzyka zanieczyszczenia oraz przywrócenie terenu eksploatacji do stanu zadowalającego. Plan powinien być aktualizowany w miarę wystąpienia istotnych zmian.

Nawet na wczesnym etapie plan zamknięcia może obejmować:
- usunięcie lub przepłukanie rurociągów i zbiorników oraz ich całkowite opróżnienie z potencjalnie szkodliwej zawartości;
- plany wszystkich podziemnych rurociągów i zbiorników;
- metodę i zasoby niezbędne do oczyszczenia lagun;
- metodę zapewniającą, że wszelkie składowiska odpadów na terenie obiektu będą spełniać równoważne warunkom przekazania;
- usunięcie azbestu lub innych potencjalnie szkodliwych materiałów, chyba że uzgodniono, że pozostawienie takich zobowiązań przyszłym właścicielom jest uzasadnione;
- metody rozbiórki budynków i innych konstrukcji w celu ochrony wód powierzchniowych i gruntowych na placach budowy i rozbiórki;
- opracowanie rejestru konstrukcji i zanieczyszczeń;
- badanie gleby w celu ustalenia stopnia zanieczyszczenia spowodowanego działalnością oraz konieczności przeprowadzenia działań naprawczych w celu przywrócenia terenu do stanu zadowalającego, określonego w wstępnym raporcie dotyczącym terenu.

Należy również zauważyć, że art. 22 Dyrektywy IED (Zakończenie działalności) zawiera podstawowe elementy mające zastosowanie do obiektów objętych dyrektywą IED w odniesieniu do ostatecznego zaprzestania działalności (w tym sprawozdanie bazowe, o którym mowa w art. 22 ust. 2) (DE-28 w dok. [210. TWG 2022]).

Osiągnięte korzyści dla środowiska

Zapobiega problemom środowiskowym podczas likwidacji.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Techniki wymienione w niniejszym dokumencie mają zastosowanie przez cały okres eksploatacji instalacji, na etapie projektowania, budowy i działania obiektu oraz bezpośrednio po jego zamknięciu.

Literatura źródłowa

[131. UK Environment Agency 2001], [210. TWG 2022]

3.2 Techniki do rozważenia przy określaniu NAB dla odlewni

3.2.1 Techniki do rozważenia dla wszystkich rodzajów odlewni

3.2.1.1 Stosowanie substancji alternatywnych, które nie są lub są mniej niebezpieczne podczas formowania i produkcji rdzeni

Opis

Substancje niebezpieczne oraz substancje wzbudzające szczególnie duże obawy stosowane w formowaniu i produkcji rdzeni są zastępowane substancjami nieszkodliwymi lub – gdy nie jest to możliwe – substancjami mniej niebezpiecznymi, na przykład poprzez stosowanie:

- alifatycznych spoiw organicznych (zamiast aromatycznych) podczas formowania i produkcji rdzeni;
- rozpuszczalników niearomatycznych podczas produkcji rdzeni w technologii zimnej rdzennicy;
- spoiw nieorganicznych podczas formowania i produkcji rdzeni;
- powłok na bazie wody podczas formowania i produkcji rdzeni.

Szczegóły techniczne

Opis techniczny każdej z tych technik można znaleźć w Sekcjach 3.2.1.9.10 (alifatyczne spoiwa organiczne), 3.2.1.9.8 (rozpuszczalniki niearomatyczne), 3.2.1.9.11 (spoiwa nieorganiczne) oraz 3.2.1.5.5 (powłoki na bazie wody).

W odlewniach substancjami niebezpiecznymi oraz substancjami wzbudzającymi szczególnie duże obawy, które są stosowane do formowania i produkcji rdzeni i które są wymienione w Rozporządzeniu (WE) nr 1272/2008, są na przykład:

- *Furan*: Sklasyfikowany jako rakotwórczy (kategoria 1B - H350: „Może powodować raka").
- *Fenol:* Sklasyfikowany jako mutagenny (kategoria 2 - H341: „Podejrzewa się, że powoduje wady genetyczne").
- *Metylen difenyl diizocyjanian metylenu (MDI):* Sklasyfikowany jako rakotwórczy (kategoria 2 - H351: „Podejrzewa się, że powoduje raka").
- *Formaldehyd:* Sklasyfikowany jako rakotwórczy (kategoria 1B - H350: „Może powodować raka") i mutagen (kategoria 2 - H341: „Podejrzewa się, że powoduje wady genetyczne").
- *Alkohol furfurylowy:* Sklasyfikowany jako rakotwórczy (kategoria 2 - H351: „Podejrzewa się, że powoduje raka").
- *Benzen:* Sklasyfikowany jako rakotwórczy (kategoria 1B - H350: „Może powodować raka") i mutagen (kategoria 1B - H340: „Działanie mutagenne na komórki rozrodcze").

3.2.1.2 Monitorowanie emisji do powietrza i do woda

3.2.1.2.1 Monitorowanie emisji do powietrza

Opis
Regularne monitorowanie emisji do powietrza.

Szczegóły techniczne
Monitorowanie odpowiednich parametrów można przeprowadzać za pomocą pomiarów online (które ułatwiają szybką interwencję i kontrolę) lub wyników analiz próbek powietrza. Parametry, które należy monitorować, oraz częstotliwość monitorowania zależą między innymi od rodzajów działalności odpowiedzialnych za emisje do powietrza.

Monitorowanie emisji przeprowadza się zgodnie z normami EN lub, w przypadku braku norm EN, normami ISO, krajowymi lub innymi normami międzynarodowymi, które zapewniają dostarczanie danych o równoważnej jakości naukowej.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Monitorowanie gazów odlotowych z odlewni pomaga w utrzymaniu prawidłowego działania zakładu i wykrywaniu przypadkowych uwolnień, a tym samym zapobiega ewentualnym negatywnym skutkom dla środowiska w przypadku emisji gazów odlotowych.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Dane dotyczące wspólnych parametrów monitorowanych w odlewniach można znaleźć w Sekcji 2.3 (Obecne poziomy zużycia i emisji w odlewniach). Niektóre z kluczowych parametrów, które należy monitorować, to pył, związki metali (takie jak Pb), NO_X, CO, aminy, benzen, SO_2, formaldehyd, HCl, HF, PCDD/F, fenol, całkowite LZO.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Do prowadzenia monitoringu potrzebny jest sprzęt, materiały pomocnicze i energia.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika generalnie dotyczy wszystkich odlewni, w których występują emisje zorganizowane do powietrza.

Ekonomika
Koszty związane z monitorowaniem gazów odlotowych z odlewni dotyczą personelu i sprzętu wykorzystywanego do pobierania próbek i pomiarów.

Siła napędowa wdrażania
- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady Zobacz Sekcja 2.3.

Literatura źródłowa

[169. TWG 2021], [174. COM 2018]

3.2.1.2.2 Monitorowanie emisji do wody

Opis
Regularne monitorowanie emisji do wody.

Szczegóły techniczne
Monitorowanie odpowiednich parametrów może być realizowane poprzez pomiary online (które ułatwiają szybką interwencję i kontrolę oczyszczalni ścieków) lub wyniki analityczne uzyskane z próbek ścieków. Parametry, które mają być monitorowane oraz częstotliwość monitorowania zależą od działalności, która jest podłączona do oczyszczalni ścieków oraz od miejsca przeznaczenia oczyszczonych zanieczyszczeń (zrzut bezpośredni lub pośredni po dalszym oczyszczeniu w innej przemysłowej lub komunalnej oczyszczalni ścieków). Zrzuty mogą pochodzić z oczyszczalni ścieków, która oczyszcza strumienie pochodzące tylko z jednej odlewni lub ze wspólnej oczyszczalni ścieków, która oczyszcza strumienie ścieków z kilku odlewni i może również obejmować strumienie pochodzące z działalności niezwiązanej z odlewniami.

Monitorowanie emisji przeprowadza się zgodnie z normami EN lub, w przypadku braku norm EN, normami ISO, krajowymi lub innymi normami międzynarodowymi, które zapewniają dostarczanie danych o równoważnej jakości naukowej.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Monitorowanie ścieków z zakładu odlewniczego pomaga w utrzymaniu jej prawidłowego działania i wykrywaniu przypadkowych uwolnień, a tym samym pomaga zapobiegać wszelkim możliwym negatywnym skutkom dla środowiska jakie mogą wystąpić po zrzucie ścieków.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Dane dotyczące monitorowanych parametrów znajdują się w Sekcji 2.3 (Obecne poziomy zużycia i emisji w odlewniach) i obejmują AOX, BZT, ChZT, HOI, metale/metaloidy (As, Cd, Cu, Cr, Fe, Ni, Pb, Zn, Hg), indeks fenolowy, azot ogólny, OWO oraz TSS.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Do prowadzenia monitoringu potrzebny jest sprzęt, materiały pomocnicze i energia. Pomiar ChZT opiera się na wykorzystaniu bardzo toksycznych związków (np. rtęci i chromianu).

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika dotyczy wszystkich zakładów, w których występują emisje do wody.

Ekonomika
Koszty związane z monitorowaniem ścieków pochodzących z oczyszczalni ścieków dotyczą personelu i sprzętu wykorzystywanego do pobierania próbek i pomiarów.

Siła napędowa wdrażania
- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady
Zobacz Sekcja 2.3

Literatura źródłowa
[169. TWG 2021], [174. COM 2018]

3.2.1.3 Efektywność energetyczna

Topienie metalu i utrzymywanie go w stanie stopionym zazwyczaj pochłania znaczną część energii zużywanej przez odlewnię. W wielu odlewniach więcej energii zużywa się na utrzymywanie metalu w stanie stopionym niż na sam proces topienia. Co więcej, znaczna ilość energii jest zużywana w obszarach innych niż dostarczanie metalu. Na przykład odlewnie zużywają duże ilości sprężonego powietrza. Innymi dużymi użytkownikami energii mogą być takie elementy jak wysokociśnieniowe maszyny odlewnicze, których głównie hydrauliczne jednostki napędowe są również napędzane energią elektryczną. Odlewnie piaskowe i grawitacyjne mogą wykorzystywać procesy produkcji rdzeni na gorąco, takie jak odlewanie w formach skorupowych lub gorących rdzennicach, wykorzystując gaz lub energię elektryczną do ogrzewania rdzennic. Ogrzewanie matryc, kadzi i wykładzin pieców może stanowić znaczną część całkowitej zużywanej energii. Typowy względny rozkład zużycia energii w dwóch typach odlewni podano w tabeli 3.5.

[26. ETSU 1997]

Tabela 3.5: Typowe zużycie energii elektrycznej w odlewni metali nieżelaznych i odlewni stali stosującej piec łukowy

Czynność	Odlewnia metali nieżelaznych (%)	Odlewnia stali stosująca piec łukowy (10000 t/rok dobry odlew) (%)
Topienie	30	44
Podtrzymywanie temp.	30	-
Uruchamianie instalacji	15	-
Sprężanie powietrza	14	10
Ogrzewanie narzędzi	3	-
Obróbka cieplna (gaz)	-	7
Inne *	8	39
(*) Obejmuje wszystkie działania, dla których nie podano wartości w tej samej kolumnie oraz działania, które nie zostały wymienione *Źródło*: [26, ETSU 1997], [100, TWG 2002]		

Dane te pokazują, że procesy odlewnicze (tj. wszystkie oprócz topienia i podtrzymywania temperatury) są odpowiedzialne za nawet połowę zużycia energii w odlewniach. Obejmuje to działania wykorzystujące takie elementy jak silniki i napędy, sprężone powietrze, oświetlenie, ogrzewanie pomieszczeń i kotłownie. Środki efektywności energetycznej powinny dotyczyć zarówno obszaru topienia, jak i wykańczania/obsługi. [22. ETSU 1995]

Efektywność energetyczna jest osiągana poprzez stosowanie dobrych praktyk w celu zmniejszenia zużycia energii na wszystkich wymienionych etapach. Zwiększona efektywność energetyczna jest jedną z głównych korzyści środowiskowych wymienianych we wszystkich technikach omawianych w tym rozdziale. Poniższe sekcje koncentrują się na konkretnych technikach efektywności energetycznej.

3.2.1.3.1 Wybór efektywnego energetycznie typu pieca

Opis

Efektywność energetyczna pieca jest brana pod uwagę przy jego wyborze, np. piece umożliwiające wstępne podgrzewanie i suszenie wsadu przed strefą topienia.

Szczegóły techniczne

W odlewniach jednym z najważniejszych elementów wyposażenia jest piec topielny. Przy jego wyborze należy wziąć pod uwagę szereg czynników, w tym np. koszty kapitałowe i operacyjne, rodzaj topionego metalu, stosowany proces produkcji. Niektóre z kluczowych parametrów, które należy wziąć pod uwagę, opisano w Sekcji 3.2.1.7.1. Ponadto należy wziąć pod uwagę efektywność energetyczną i potencjalne straty na topieniu dla różnych typów pieców topielnych stosowanych do topienia metali żelaznych i nieżelaznych.

Topienie metali nieżelaznych

Stosowane mogą być różne rodzaje pieców topielnych. Poniżej przedstawiono niektóre zalety/wady tych pieców.

- *Piece tyglowe*: Większość pieców tyglowych to piece o małej pojemności używane do topienia lub jako piece podtrzymujące. Mają kilka zalet, takich jak prosta obsługa i konserwacja oraz stosunkowo niskie nakłady inwestycyjne. W przypadku topienia aluminium piece tyglowe mają zazwyczaj pojemność 1 000 kg (typ statyczny) lub do 1 500 kg (piece przechylne). Szybkość topienia w elektrycznych piecach tyglowych wynosi zazwyczaj około 250 kg Al/h, podczas gdy piece gazowe mogą osiągać szybkość do 400 kg Al/h. Gazowe piece tyglowe do topienia aluminium charakteryzują się jednak bardzo niską efektywnością energetyczną, wynoszącą od 7% do 19% i stosunkowo wysokimi stratami stopu, wynoszącymi 4-6%. W tego typu piecach ponad 60% strat ciepła jest powodowanych przez promieniowanie; pozostałe straty ciepła są powodowane przez gorące gazy wydechowe opuszczające piec.
- *Piece płomienne*: Istnieją trzy główne typy pieców płomiennych opalanych paliwem: i) piece płomienne z suchym trzonem, w których metal jest wstępnie podgrzewany przed topieniem, ii) piece płomienne z mokrą kąpielą, w których metal jest bezpośrednio ładowany do topienia bez wstępnego podgrzewania, oraz iii) piece płomienne z bocznym szybem wyposażone w szereg palników wewnątrz paleniska szybem załadowczym oraz pompą, która jest zwykle umieszczona na zewnątrz pieca. Efektywność

energetyczna pieców płomiennych jest zwykle bardzo niska i wynosi od 20% do 25%.

- *Piece szybowe*: Piece szybowe charakteryzują się najwyższą sprawnością cieplną spośród wszystkich pieców gazowych, zazwyczaj w zakresie od 35% do 65%. Wynika to głównie ze specjalnej konstrukcji pieca, która umożliwia ładowanie wchodzącego metalu przez komin wydechowy. W rezultacie ciepło z gazów spalinowych jest wykorzystywane do wstępnego podgrzania metalu przed jego topieniem. Piece szybowe charakteryzują się niższymi stratami podczas topienia niż piece płomienne, zazwyczaj w zakresie od 1% do 3%.

Topienie żeliwa

W topieniu żeliwa można stosować dwa rodzaje pieców indukcyjnych: bezrdzeniowe piece indukcyjne i kanałowe piece indukcyjne. Bezrdzeniowe piece indukcyjne są nieznacznie mniej wydajne niż kanałowe piece indukcyjne, ale generalnie bardziej elastyczne. Bezrdzeniowe piece indukcyjne mogą pracować z niską, średnią lub wysoką częstotliwością i mogą być uruchamiane na zimno i zwykle można z nich wylewać aż do całkowitego opróżnienia, co upraszcza wymianę stopu. Typowo, elektryczne piece indukcyjne mogą mieć bardzo wysoką efektywność energetyczną na poziomie 75%.

Topienie stali

Stal można topiona w piecach łukowych lub indukcyjnych. Zazwyczaj bezrdzeniowe piece indukcyjne znajdują się w nowszych instalacjach w porównaniu do pieców łukowych. Na ogół, jednostkowe zużycie energii przez bezrdzeniowe piece indukcyjne jest nieco niższe niż w przypadku pieców łukowych.

Osiągnięte korzyści dla środowiska

Zmniejszenie zużycia energii.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Topienie metali nieżelaznych

- *Piece tyglowe*: Jako alternatywa dla pieców opalanych gazem, elektryczne oporowe piece tyglowe są mniej energochłonne. Ich zużycie energii może wynosić od 460 kWh/t do 570 kWh/t w porównaniu do 1 600 kWh/t do 2 600 kWh/t w przypadku pieców opalanych gazem.
- *Piece płomienne*: Piece z suchym trzonem charakteryzują się typowym zużyciem energii wynoszącym około 1 200 kWh/t. Piece płomienne z mokrą kąpielą wykazują niższe straty topienia (2-5% w przypadku pieców gazowych i < 1% w przypadku pieców elektrycznych) i charakteryzują się typowym zużyciem energii na poziomie około 1 000 kWh/t. W przypadku zastosowania cyrkulacji metalu, wstępnego podgrzewania metalu i palników regeneracyjnych, możliwe jest zmniejszenie zużycia energii do około 650 kWh/t.
- *Piece szybowe*: Zastąpienie pieców płomiennych piecami szybowymi może prowadzić do znacznych oszczędności w zakresie zużycia energii. Pomiary przeprowadzone w dwóch odlewniach w USA wykazały, że wydajność topienia wynosiła 25% dla pieca płomiennego i 44% dla pieca szybowego, przy czym oba piece pracowały w tych samych warunkach. W drugiej odlewni wyposażonej zarówno w piec płomienny, jak i szybowy o jednakowej wydajności (1 360 kg/h), przetwarzającej ten sam wsad, straty topienia wyniosły 5,5% w przypadku pieca płomiennego i tylko 0,9% w przypadku pieca szybowego. Zużycie energii w piecu szybowym wynosiło 616 kWh/ i było znacznie wyższe w piecu płomiennym (1 275 kWh/t).

Topienie żeliwa

Zużycie energii przez bezrdzeniowy piec indukcyjny do topienia żeliwa w celu podniesienia temperatury metalu do 1 450°C może być niższe niż 600 kWh/t, ale zwykle waha się od 600 kWh/t do 1 000 kWh/t. Ta ostatnia wartość stanowi najgorszy scenariusz, który może na przykład wynikać ze specyficznych warunków procesu lub częstotliwości prądu zasilającego.

Topienie stali

Teoretycznie zużycie energii elektrycznej wymagane do topienia stali do temperatury 1 600 °C wynosi 342 kWh/tonę. Jednak większość odlewni stali zużywa od 454 kWh/tonę do 726 kWh/tonę podczas topienia ze względu na straty ciepła. Jest to oparte na danych z odlewni stali w USA, gdzie stal jest najczęściej topiona przy użyciu pieców łukowych (około 82%).

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Piece płomienne mogą być budowane z dużymi pojemnościami, podczas gdy piece szybowe muszą być stosunkowo wysokie, aby osiągnąć efekt wstępnego podgrzewania (zazwyczaj około 6 m). Wykładzina ogniotrwała na dnie pieców szybowych może być narażona na naprężenia mechaniczne, co powoduje konieczność częstszej konserwacji.

W piecach szybowych wsad musi być odpowiednio ułożony, co oznacza, że ten typ pieca nie akceptuje wszystkich kształtów złomu aluminiowego.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Dotyczy tylko nowych i/lub większych modernizacji instalacji.

Ekonomika
Nie dostarczono danych.

Siła napędowa wdrażania
Zmniejszenie zużycia energii i związane z tym oszczędności.

Przykładowe zakłady
Technika szeroko stosowana.

Literatura źródłowa
[145. US EPA 2016], [194. Groteke i in. 1999], [195. Malpohl i in. 2010], [196. Butler 2006], [197. Biswas i in. 2012]

3.2.1.3.2 Techniki maksymalizacji sprawności cieplnej pieców

Opis
Są to środki podjęte w celu maksymalizacji efektywności energetycznej konwersji w piecach do topienia i obróbki cieplnej przy jednoczesnej minimalizacji emisji (w szczególności pyłu i CO). Osiąga się to poprzez zastosowanie szeregu metod optymalizacji procesu w zależności od typu pieca, w tym optymalizację temperatury (np. skuteczne mieszanie paliwa i powietrza do spalania) i czasu przebywania w strefie spalania, a także wykorzystanie automatyzacji i kontroli pieca (zob. Sekcja 3.2.1.3.4).

Szczegóły techniczne
Środki stosowane w przypadku niektórych konkretnych pieców obejmują następujące elementy:

Żeliwiaki
W żeliwiakach ilość powstającego pyłu i gazów wydechowych jest bezpośrednio związana z ilością koksu ładowanego na tonę żelaza. Dlatego wszystkie środki, które poprawiają sprawność cieplną żeliwiaka, zmniejszą również emisje z pieca.

Środki służące maksymalizacji sprawności cieplnej żeliwiaków obejmują następujące działania:

- *Optymalizacja reżimu operacyjnego*: Piec jest eksploatowany w optymalnym reżimie tak bardzo, jak to możliwe. Dla dowolnego żeliwiaka wpływ szybkości śrutowania i wsadu koksu na temperaturę spustu metalu i szybkość topienia można wyrazić w postaci wykresu netto lub wykresu Jungblütha. Wykres netto jest ważny ilościowo tylko dla żeliwiaka, dla którego został uzyskany. Pokazuje on, jak temperatura metalu i szybkość topienia zachowują się przy zmianach szybkości śrutowania i wsadu koksu oraz pozwala określić punkt (lub linię) optymalnej sprawności cieplnej.
- *Unikanie nadmiernej temperatury*: Podejmowane są środki w celu uniknięcia nadmiernych temperatur topienia i zmniejszenia temperatur przegrzania podczas obsługi spustu metalu.
- *Równomierne ładowanie*: Podczas ładowania należy dbać o równomierne rozprowadzenie metalu i koksu.
- *Poprawa kontroli wagi wsadu, dmuchu i temperatury metalu.*
- *Minimalizacja strat powietrza*: Prawidłowy dopływ powietrza jest niezbędny do wydajnej pracy żeliwiaka. Jest to często utrudnione przez straty powietrza. Dlatego ważne jest, aby zwracać szczególną uwagę na zapobieganie wszelkim wyciekom w celu zagwarantowania wydajnej pracy. Otwory na żużel w żeliwiakach z przerywanym spustem często pozostają otwarte i są typowo przewymiarowane, co powoduje znaczne straty powietrza. Straty powietrza są szczególnie powszechne w przypadku żeliwiaków z gorącym dmuchem. Mają one miejsce w wymienniku ciepła. Konsekwencją jest konieczność wtryskiwania tlenu do przewodów dyszowych (tuyères) zamiast powietrza, które jest tracone.
- *Unikanie „pomostowania" w żeliwiaku*: Pomostowanie i rusztowanie to wiszące lub nieopadające wsady w szybie żeliwiaka. Powoduje to utratę wydajności topienia, a w poważnych przypadkach topienie może zostać całkowicie zatrzymane.
- *Dobra praktyka dotycząca okładziny*: W miarę postępu topienia, średnica i obszar strefy topienia zwiększają się z powodu erozji i zużycia okładziny. Wpływa to na pracę, oddalając ją od optymalnej.

Zminimalizowanie zużycia okładziny jest zatem środkiem oszczędzającym energię. Aby zapewnić zadowalającą i ekonomiczną pracę żeliwiaka, strefa topienia musi być skutecznie naprawiana po każdym topieniu.

Bezrdzeniowe piece indukcyjne

Środki mające na celu maksymalizację sprawności cieplnej bezrdzeniowego pieca indukcyjnego obejmują takie techniki, jak:

- *Optymalizacja stanu wsadu*: Obejmuje to unikanie zardzewiałych i brudnych wsadów, wykorzystywanie wsadu/złomu o optymalnej wielkości i gęstości oraz stosowanie czystszych nawęglaczy. Środki te skracają czas topienia, zmniejszają specyficzną energię potrzebną do topienia i/lub zmniejszają ilość powstającego żużla.
- *Zamknięcie pokrywy pieca*: Utlenianie jest ograniczane poprzez unikanie źle dopasowanych pokryw i niepotrzebnych/przedłużonych otworów, poprzez szybkie ładowanie lub stosowanie atmosfery ochronnej nad topieniem (N_2), przy czym to ostatnie jest niemożliwe, jeśli wychwytywane są gazy wydechowe. Czasy otwarcia muszą być zminimalizowane, aby zapobiec stratom energii. Niezbędne czasy otwarcia dla ładowania, usuwania żużla, pomiaru temperatury, pobierania próbek i zalewania wahają się od 50% do 25% czasu zmiany. Ta ostatnia wartość dotyczy nowych pieców, pracujących w zoptymalizowanych warunkach. Dobrze dopasowana zamknięta pokrywa ogranicza straty ciepła powierzchniowego do około 1% mocy wejściowej. Gdy pokrywa jest otwarta, straty ciepła mogą wynosić do 130 kWh/tonę dla jednostki o pojemności 10 ton. Podczas topienia przy zamkniętej pokrywie należy uważać, aby nie przegrzać pieca.
- *Ograniczenie czasu przetrzymywania do minimum*: Ponieważ topienie jest pierwszym krokiem w łańcuchu procesu odlewniczego, skrócenie czasu przetrzymywania można uzyskać jedynie poprzez zintegrowaną optymalizację procesu dla całego procesu odlewni oraz poprzez zminimalizowanie opóźnień, problemów i nieprawidłowości w każdym z działów odlewni. Podczas przetrzymywania przeprowadzana jest korekta składu w oparciu o wyniki analizy wykonanej na próbce odlewu schłodzonego. Optymalizacja procedur pobierania próbek, testowania i regulacji jest kolejnym środkiem służącym skróceniu czasu przetrzymywania.
- *Utrzymywanie kąpieli zaczynowej w piecu*: Utrzymywanie pewnej objętości ciekłego metalu (kąpieli zaczynowej) w piecach indukcyjnych może zmniejszyć ilość metalu produkowanego w jednym spuście, ale skutkuje mniejszymi wahaniami w operacjach topienia. [145. US EPA 2016]
- *Dodawanie nawęglaczy na początku cyklu topieni*a: Dodanie nawęglaczy do pieca ma wpływ na zużycie energii. Ich dodanie na początku cyklu topienia wraz z ładunkiem metalicznym, zamiast po topieniu, powoduje zmniejszenie zużycia energii [145. US EPA 2016]
- *Praca przy maksymalnym poziomie mocy wejściowej*: Piece są bardziej efektywne energetycznie, gdy są eksploatowane przy maksymalnym poziomie mocy wejściowej, a najlepsze wyniki uzyskuje się, gdy dostępna moc może być w pełni wykorzystana przez największą część cyklu topienia. Obejmuje to również ograniczenie topienia z zimnym rozruchem (optymalizacja programu produkcyjnego) i umożliwienie kontynuacji przy użyciu monitorowania i sterowania komputerowego.
- *Unikanie nadmiernej temperatury i niepotrzebnego przegrzewania*: Ważne jest, aby metal osiągnął wymaganą temperaturę w momencie, gdy dział formowania jest w stanie go odebrać. Dobra współpraca pomiędzy wytapialnią i formiernią jest niezbędna dla minimalizacji zużycia energii elektrycznej.
- *Optymalizacja topienia w wysokiej temperaturze pod kątem usuwania żużla (dobre zrównoważenie)*: Nagromadzenie żużla o niskiej temperaturze topienia można ograniczyć poprzez nagrzewanie pieca do podwyższonych temperatur (1 580 ºC w porównaniu do 1 450 ºC normalnie). Powoduje to większe zużycie energii i może wpływać na metalurgiczne aspekty topienia. Jeśli pozwoli się na gromadzenie się żużla na okładzinie pieca, może to mieć wpływ na wydajność elektryczną pieca. Usuwanie żużla wymaga otwarcia pokrywy pieca, co powoduje straty termiczne. Należy znaleźć odpowiednią równowagę między zwiększeniem temperatury topienia a praktyką usuwania żużla.
- *Zapobieganie gromadzeniu się żużla*: Częstsze i bardziej kłopotliwe są przypadki, w których dochodzi do nagromadzenia się żużla w wysokiej temperaturze topienia. Wynika to głównie z osadzania się piasku i, w przypadku topienia żelaza, metalicznego aluminium w stopie. Niektórzy operatorzy pieców próbowali dodawać topnik i stosować procedury czyszczenia, ale w tym przypadku lepiej jest zapobiegać niż potem walczyć. Wiąże się to z minimalizacją obecności piasku i aluminium w surowcach.
- *Zraszanie wtryskiem tlenu*: Zamiast konwencjonalnego odwęglania.
- *Minimalizacja zużycia i jego kontrola dla ścian ogniotrwałych*: Żywotność materiałów ogniotrwałych zależy od wyboru materiałów jako funkcji składu chemicznego żużla (kwasowy lub zasadowy),

temperatury pracy (stal, żeliwo, nieżelazne) i dbałości o ponowne wyłożenie (spiekanie). Żywotność może wahać się od 50 (stal, żeliwo) do 200 - 300 (żeliwo) topień. Środki kontroli operacyjnej są podejmowane w celu śledzenia zużycia materiałów ogniotrwałych. Obejmują one kontrolę wizualną, pomiary fizyczne i programy monitorowania instrumentalnego. Dobre praktyki ładowania zapobiegają skumulowanym skutkom dławienia fizycznego i naprężeń mechanicznych. Obejmują one stosowanie automatycznych systemów ładowania, ładowanie na gorąco, unikanie zrzutów z dużej wysokości oraz stosowanie zwartego i suchego złomu.

Zobacz także Sekcję 3.2.1.3.3 aby uzyskać informacje na temat optymalizacji zużycia energii (zarządzanie obciążeniem szczytowym) w piecach indukcyjnych.

Piece obrotowe

Środki mające na celu maksymalizację sprawności cieplnej pieców obrotowych obejmują takie techniki jak:

- wykorzystanie antracytu i krzemu do ochrony topienia;
- regulację ciągłej lub nieciągłej rotacji prędkości pieca w celu osiągnięcia maksymalnego transferu ciepła;
- regulację mocy i kąta palnika w celu osiągnięcia maksymalnego transferu ciepła.

Piece łukowe

Środki mające na celu maksymalizację sprawności cieplnej elektrycznych pieców łukowych obejmują takie techniki, jak utrzymywanie kąpieli zaczynowej w piecu, krótsze czasy topienia i/lub obróbki metalu przy użyciu zaawansowanych metod kontroli, na przykład w odniesieniu do składu i masy materiałów wsadowych, temperatury topienia, a także poprzez skuteczne metody pobierania próbek i odżużlania.

Polega to w szczególności na:

- ściślejszej kontroli składu (np. zawartości C, S, P) i masy materiałów wsadowych oraz materiałów tworzących żużel;
- niezawodnej kontroli temperatury topienia, która może poprawić wydajność reakcji rafinacji i uniknąć przegrzania;
- bardziej wydajnych metod pobierania próbek i odżużlania, które mogą skrócić czas przestoju pieca.

Metalurgia wtórna, wykorzystująca AOD/VODC, skraca czas topienia/obróbki w piecach łukowych i ma pozytywny wpływ na oszczędność energii. Technika ta została szerzej omówiona w Sekcji 3.2.3.2.1.

Piece szybowe

Środki mające na celu maksymalizację sprawności cieplnej pieców szybowych obejmują techniki takie jak: [210. TWG 2022], [212. Reeves M. 2022]

- wybór wielkości pieca zgodnie z ciągłym zapotrzebowaniem na topienie w celu uzyskania procesu topienia ciągłego;
- utrzymywanie szybu wypełnionego materiałem wsadowym w celu uzyskania optymalnego odzysku ciepła;
- dostosowanie konstrukcji szybu do określonego materiału wsadowego w celu optymalnego rozprowadzania materiału wsadowego w szybie;
- regularne czyszczenie pieca: wewnętrzna geometria dostępna za pomocą łatwych w obsłudze narzędzi, brak ukrytych lub trudno dostępnych narożników oraz materiały odporne na przywieranie tak długo, jak to możliwe, są kluczowymi czynnikami skutecznego czyszczenia pieca;
- niezależną kontrolę stosunku paliwa do powietrza dla każdego palnika gazowego;
- ciągłe monitorowanie emisji CO lub wodoru dla każdego rzędu palników;
- dodawanie tlenu nad strefą topienia w celu umożliwienia dopalania na górnym poziomie szybu;
- wstępne podgrzewanie wsadu przy użyciu ciepła odpadowego odzyskanego z gazów odlotowych.

Piece płomienne

Środki mające na celu maksymalizację sprawności cieplnej pieców płomiennych obejmują techniki takie jak:

- wstępne podgrzewanie wsadu w przypadku pieców płomiennych z suchym trzonem lub z bocznym szybem;
- stosowanie palników z automatyczną regulacją temperatury.

Piece tyglowe

Środki mające na celu maksymalizację sprawności cieplnej pieców tyglowych obejmują techniki takie jak:

- wstępne podgrzewanie tygla przed napełnieniem;
- stosowanie tygli o wysokiej przewodności cieplnej i odporności na wstrząsy termiczne (np. z grafitu);
- czyszczenie ścian tygla natychmiast po opróżnieniu w celu usunięcia żużla lub zgarów.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
- Zwiększona wydajność pieca dzięki krótszym czasom topienia i krótszym przestojom.
- Zmniejszenie zużycia koksu oraz redukcja pozostałości w żeliwiakach.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Bezrdzeniowe piece indukcyjne
Jak już wspomniano w Sekcji 2.3.8.2, typowy piec bezrdzeniowy może stopić tonę żelaza oraz podnieść temperaturę ciekłego metalu do 1 450 ºC, zużywając mniej niż 600 kWh energii elektrycznej. Jednak w praktyce tylko kilka odlewni jest w stanie osiągnąć taki poziom zużycia energii w skali tygodnia. Niektóre odlewnie zużywają około 1 000 kWh na każdą tonę żelaza wyprodukowaną przez ich piece bezrdzeniowe. Warunki panujące w wielu odlewniach mogą ograniczać zakres dobrego zarządzania energią, ale w rzeczywistości prawie wszystkie operacje topienia bezrdzeniowego można w jakiś sposób ulepszyć, aby osiągnąć opłacalne oszczędności w ilości energii elektrycznej zużywanej na tonę przetworzonego żelaza.

Piece obrotowe
Program optymalizacji pieca do topienia żeliwa o wydajności 3 ton/h zasugerował następujące dobre praktyki operacyjne:

- Wykorzystanie czystego złomu i ładowanie w następującej kolejności: (1) wlewki i materiały o niskiej zawartości Si; (2) wewnętrzny materiał zwrotny i złom z odlewni; (3) pierwiastki stopowe i ochrona przed topieniem; (4) złom stalowy.
- Ochrona przed topieniem: stosowanie antracytu do ochrony przed topieniem (2% wsadu metalowego) i krzemu (2%).
- Obroty: w fazie nieciągłej, 1/3 obrotu co minutę, łącznie 7,5 obrotu do momentu zmiany fazy. Podczas ciągłych obrotów: 1,7 obrotu/minutę.
- Moc i kąt palnika: dla dolnych wtryskiwaczy należy stosować równoległą pozycję głowicy palnika. Rozpocząć z maksymalną mocą przez 20 minut, zmniejszając ją o 10% co 20 minut aż do zmiany fazy (60 minut po rozpoczęciu).

Stosując te środki, można utrzymać wydajność topienia metalu (stopiony metal/załadowany metal) na poziomie > 95%. Zasady optymalizacji są ogólnie ważne dla topienia żelaza w piecach obrotowych wykorzystujących palniki tlenowe. Dane operacyjne zostały ustalone dla pieca o wydajności 3 ton/h. W przypadku pieców o innych rozmiarach konieczna jest optymalizacja dla konkretnego miejsca.

Piece płomienne
Wstępne podgrzanie paleniska poprzez wykorzystanie ciepła z gazów spalinowych do podgrzania złomu przed załadowaniem do pieca może zmniejszyć zużycie energii. W przypadku pieca wykorzystującego 50% nowego metalu i 50% złomu, wstępne podgrzewanie metalu przez pół godziny w palenisku przed załadowaniem może zmniejszyć zużycie energii o 10-12%. [145. US EPA 2016]

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ta ma zastosowanie do wszystkich nowych i istniejących pieców.

Siła napędowa wdrażania
- Optymalizacja pracy pieca.
- Wymogi prawne.

Przykładowe zakłady
Technika szeroko stosowana.

Literatura źródłowa
[14. CAEF 1997], [20. ETSU 1993], [100. TWG 2002] [23. ETSU 1992], [38. Vito 2001], [51. Inductotherm 2002], [120. TWG 2003], [145. US EPA 2016], [210. TWG 2022], [212. Reeves M. 2022]

3.2.1.3.3 Optymalizacja zużycia energii (zarządzanie obciążeniem szczytowym) w piecach

indukcyjnych

Opis
Gdy działa kilka pieców indukcyjnych, zużycie energii jest optymalizowane poprzez zarządzanie obciążeniem szczytowym.

Szczegóły techniczne
Gdy kilka pieców pracuje w tym samym czasie, ograniczenie obciążenia szczytowego jest jednym ze sposobów na obniżenie kosztów energii. Ponadto, nowoczesne systemy zarządzania energią również zmniejszają jednostkowe zapotrzebowanie na energię.

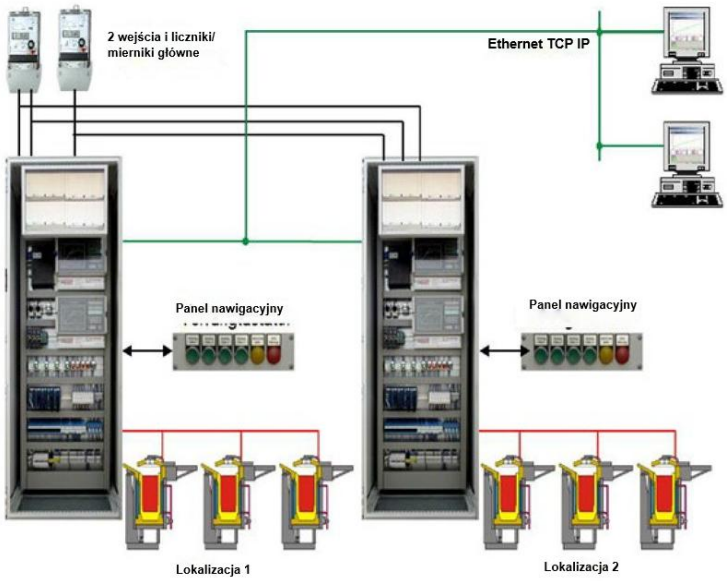
Firmy energochłonne płacą, oprócz stawki za energię, opłatę za zapotrzebowanie, która jest oparta na obciążeniu szczytowym. Jest to najwyższy zmierzony pobór mocy w danym okresie.

Szczytowe zapotrzebowanie zwykle wynika z jednoczesnego wykorzystania energii elektrycznej przez wielu odbiorców. Dostawca energii musi zapewnić ciągłą dostępność tej maksymalnej ilości energii elektrycznej (szczytowej) ze względu na jej losowe występowanie.

W odniesieniu do obciążenia sieci, obciążenia szczytowe są kluczowym punktem. Powodują one dodatkowe koszty dostaw dla dostawcy energii, które są fakturowane na nabywcę energii elektrycznej. Zmniejszając zapotrzebowanie szczytowe, można obniżyć koszty energii.

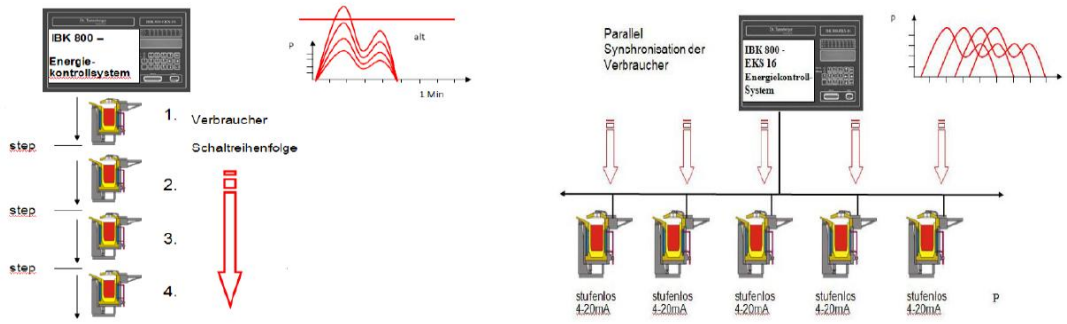
Po osiągnięciu obciążenia szczytowego nowoczesne systemy zarządzania obciążeniem nie odcinają pieca od głównego źródła zasilania, ale zmniejszają wydajność poszczególnych pieców na określony czas. Osiąga się to za pomocą inteligentnej techniki procesowej.

Korzystanie z wielu jednocześnie działających agregatów topielnych skutkuje charakterystycznymi krzywymi danych procesu topienia. Reprezentują one zapotrzebowanie energetyczne agregatów topielnych w danym okresie. Procesor stara się skoordynować zapotrzebowanie poszczególnych agregatów topielnych, a tym samym stale poprawiać ogólną krzywą charakterystyczną wynikającą z zapotrzebowania na energię sumy pieców. Ilość energii wynikająca z ogólnego procesu harmonizacji i optymalizacji jest następnie przypisywana do poszczególnych pieców. Priorytet poszczególnym piecom można nadać ręcznie.



Źródło: [133, DE UBA 2014].

Rysunek 3.2: Zasada sterowania piecami elektrycznymi



Źródło: [133, DE UBA 2014].

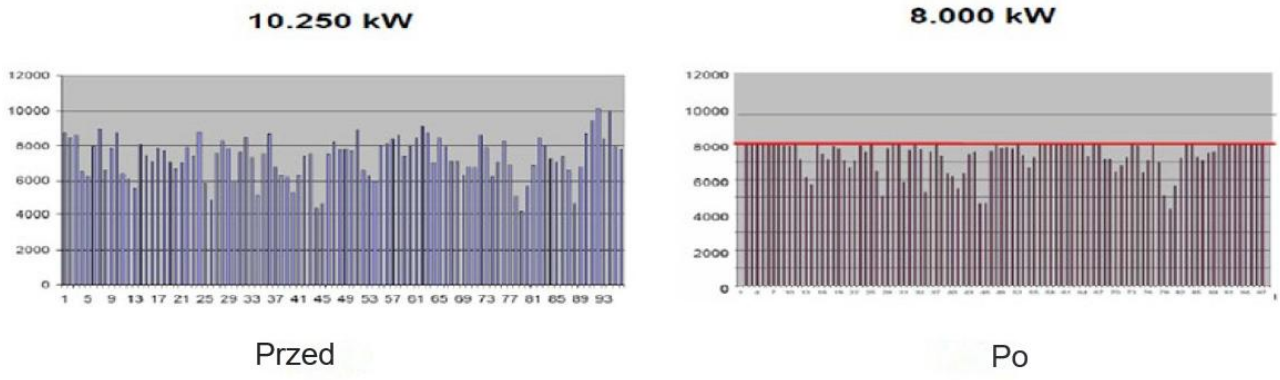
Rysunek 3.3: Szeregowe zmniejszanie obciążenia zgodnie z metodą obliczania trendu (L) i równoległe dedykowane sterowanie dla każdego pieca z jego własnym zarządzaniem obciążeniem (R)

Osiągnięte korzyści dla środowiska

- Dzięki uniknięciu szczytowego zapotrzebowania na energię można zrównoważyć dostawy energii od dostawcy i uniknąć korzystania z elektrowni szczytowej, a tym samym obciążenia środowiska związanego z uruchamianiem takich elektrowni.
- Redukcja emisji CO_2. Nie są dostępne informacje ilościowe dotyczące potencjalnej redukcji zużycia energii.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

W jednej z odlewni (Reinhard Tweer GmbH) roczna produkcja wynosi 27 000 ton staliwa i żeliwa z grafitem sferoidalnym. Do topienia wykorzystuje się sześć pieców o średniej częstotliwości napięcia zasilającego, które mają znaczący wpływ na koszty energii w odlewni. Poniższa ilustracja przedstawia ujednolicenie zapotrzebowania na energię poprzez redukcję zapotrzebowania szczytowego. Bez zarządzania szczytowym zapotrzebowaniem na energię odnotowano szczytowe zapotrzebowanie na poziomie 10 250 kW. Po optymalizacji obciążenia maksymalne szczytowe zapotrzebowanie na energię zmniejszyło się do 8 000 kW.



Źródło: [133, DE UBA 2014].

Rysunek 3.4: Wpływ optymalizacji obciążenia na szczytowe zapotrzebowanie niemieckiej odlewni (L: przed optymalizacją zarządzania obciążeniem; R: po optymalizacji zarządzania obciążeniem)

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Ogólnie stosowana technika w przypadku odlewni ze znaczną liczbą pieców zasilanych elektrycznie.

Ekonomika

Tabela 3.6 zawiera listę oszczędności osiągniętych przez wybrane europejskie odlewnie stosujące zarządzanie obciążeniem szczytowym pieców indukcyjnych.

Tabela 3.6: Oszczędności osiągnięte dzięki zarządzaniu obciążeniem szczytowym, w kilku odlewniach

Instalacja	Oszczędności
Walzengießerei Coswig	160 000
Klaus Kuhn Edelstahl - Radevormwald	120 000

Jürgens Gießerei Emsdetten	60 000
Flender Siemens – Chemnitz	80 000
Affilips V.N. - Tienen / Belgia	100 000
Gießerei und Glasformenbau - Radeberg	80 000
KM Europa Metal AG - Osnabrück	90 000
Intermet / Sakthi - Neunkirchen	180 000
Eisenwerk Hasenclever & Sohn GmbH - Battenberg	130 000
Meuselwitzer Guss Eisengießerei GmbH	80 000
Technoguss Tangerhütte GmbH	50 000
Źródło: [133, DE UBA 2014].	

Informacje o okresach zwrotu poniesionych nakładów nie są dostępne.

Siła napędowa wdrażania

- Wymogi prawne i warunki lokalne.
- Wymogi operacyjne:
  - Obniżenie kosztów energii elektrycznej o 5-23%.
  - Krótsze czasy przetrzymywania dzięki topieniu metalu w momencie, gdy jest on potrzebny, a nie wcześniej (dokładnie na czas - just-in-time).

Przykładowe zakłady

Zobacz przykładowe zakłady w sekcji Ekonomika powyżej.

Literatura źródłowa [133. DE UBA 2014]

3.2.1.3.4 Automatyka i sterowanie pracą pieca

Opis

Proces podgrzewania jest zoptymalizowany dzięki zastosowaniu systemu komputerowego kontrolującego kluczowe parametry, takie jak temperatura pieca i surowca, stosunek powietrza do paliwa oraz ciśnienie w piecu.

Szczegóły techniczne

Automatyka pieca zapewnia ciągłą kontrolę spalania, zużycia energii, transportu materiałów, regulację temperatury surowca oraz bezpieczeństwo procesu. Ponadto umożliwia regulację stosunku powietrza do paliwa w celu uzyskania optymalnego spalania, co z kolei minimalizuje emisję NO_X.

System sterowania piecem gromadzi wszystkie niezbędne dane związane z pracą pieca, takie jak wykorzystanie urządzeń, temperatura i ciśnienie w piecu, ilość wprowadzonego i wyprowadzonego metalu oraz zużycie energii (paliwo/energia elektryczna). Dane mogą być wizualizowane w czasie rzeczywistym przez operatora zakładu i przekazywane do dalszej analizy. Dzienniki pieca zawierające dane dotyczące trybów pracy, czasów pracy, krzywych temperatury i zużycia paliwa mogą być przechowywane do celów zapewnienia jakości.

Osiągnięte korzyści dla środowiska

Zoptymalizowane działanie pieca.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Nie podano żadnych informacji.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika

Nie dostarczono danych.

Siła napędowa wdrażania

Zwiększona wydajność pracy pieca i produktywność.

Przykładowe zakłady

Technika szeroko stosowana.

Literatura źródłowa

[195. Malpohl i in. 2010]

3.2.1.3.5 Wykorzystywanie czystego złomu

Opis
Topienie czystego złomu zapobiega ryzyku przedostania się związków niemetalowych do żużla i/lub degradacji okładzin ogniotrwałych pieca lub kadzi.

Szczegóły techniczne
Topienie czystego złomu zapobiega ryzyku przedostania się związków niemetalowych do żużla i/lub atakowania okładziny pieca. Związki te to zazwyczaj wapno, tlenki żelaza, tlenki manganu i tlenki zasadowe (np. MgO z odlewów żeliwa sferoidalnego) w połączeniu z krzemem ogniotrwałym (kwasem). Jeśli ilość zanieczyszczeń jest ograniczona, zmniejsza to ilość powstającego żużla i pozwala na wydłużenie żywotności okładziny pieca i kadzi. W przypadku produkcji żeliwa sferoidalnego w piecu z okładziną kwasoodporną przylegający piasek krzemionkowy może mieć korzystny wpływ, ponieważ neutralizuje MgO pochodzący ze zwrotów z odlewni.

Obecność zanieczyszczeń i tlenków we wsadzie pieca powoduje zużycie części energii potrzebnej do topienia. Ponadto usuwanie żużla wymaga wyższej temperatury kąpieli, aby utrzymać żużel w stanie płynnym.

Wewnętrzny recykling złomu obejmuje systemy podajników oraz odrzucone odlewy. Systemy podające są wybijane po wytrząsaniu. Zasadniczo nie zatrzymują one przylegającego piasku ze względu na swoją geometrię. Odrzucone odlewy są wykluczane podczas kontroli jakości, która jest przeprowadzana po oczyszczeniu odlewów za pomocą piaskowania lub śrutowania w celu usunięcia całego przylegającego piasku. W związku z tym użycie materiału powrotnego bez zawartości piasku zasadniczo nie wymaga dodatkowej obróbki.

Generalnie poziom czystości złomu musi być dostosowany do rodzaju pieca używanego do jego topienia.

Podmioty zajmujące się recyklingiem złomu kierują się wymaganiami jakościowymi swoich klientów (np. odlewni) oraz specyfikacjami złomu, które są określone np. w specyfikacjach złomu stalowego UE-27 [228. EFR 2007]. W praktyce powszechnie stosowane są wszystkie poniższe wymagania dotyczące złomu zawarte w warunkach zakupu odlewni:

- brak zanieczyszczeń niemetalicznych;
- brak części ocynkowanych, zagruntowanych lub pomalowanych;
- brak oleju i smaru;
- brak materiałów wybuchowych;
- brak stali narzędziowej, stali nierdzewnej lub stali chromowo-stopowej, z wyjątkiem odlewni stali;
- w przypadku odlewni żelaza i stali – brak złomu metali nieżelaznych.

„Brak” oznacza, że pozostałości zanieczyszczeń występują w tak niewielkich ilościach, iż nie mają negatywnego wpływu na efektywność środowiskową (np. zwiększoną emisję całkowitego LZO, PCDD/F i/lub metali ciężkich) ani na działanie/bezpieczeństwo zakładu.

Aby zapewnić wymaganą jakość odlewów, odlewnie są bardzo zainteresowane określonymi materiałami wsadowymi, przy jednoczesnym zapewnieniu spełnienia wymagań środowiskowych [229. CAEF 2023].

W konkluzjach dotyczących BAT dla produkcji żelaza i stali określono szereg technik wyboru odpowiednich gatunków złomu w celu osiągnięcia niskiego poziomu emisji odpowiednich zanieczyszczeń (zob. Sekcja 1.1.3 Zarządzanie materiałami, BAT 7 [109. COM 2013]).. Kryteria te mogą mieć również zastosowanie do odlewni. W rzeczywistości zarówno odlewnie, jak i producenci stali kupują złom z tych samych źródeł, dlatego też do obu sektorów powinny mieć zastosowanie podobne wymagania [229. CAEF 2023].

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Technika ta zmniejsza ilość żużla i pyłu wymagających unieszkodliwiania oraz ogranicza emisję lotnych związków organicznych (LZO). Zużycie energii jest zmniejszone (o 10% do 15%) dzięki zmniejszeniu ilości żużla. Dodatkowo można zmniejszyć przepływ powietrza wywiewanego.

Śrutowanie złomu można zalecać w przypadku złomu, którego zanieczyszczenie prowadziłoby do wytworzenia nadmiernych ilości żużla. Stosowanie wyłącznie złomu z śrutowania wymagałoby dodania dodatków żużlujących w celu wytworzenia żużla.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
W odlewni działającej w trybie ciągłym zużycie energii potrzebnej do oczyszczenia 1 tony odlewów z 30 - 40 kg piasku wynosi 12–15 kWh. Poziom zużycia zależy od wielkości i rodzaju odlewów.
W odlewni stali wykorzystującej topienie w piecu łukowym odnotowano wzrost odzysku stopionego metalu (metal wylewany/wsad metalu) o 2–3%.

Typowy skład wsadu metalu do pieca łukowego to: 55% złomu stalowego z odlewni, 40% zwrotów wewnętrznych, 5% dodatków do korygowania składu metalu.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Jeżeli odlewnie przyjmują wyłącznie czysty złom, ogólny wskaźnik recyklingu brudnego złomu ulegnie zmniejszeniu. Spowoduje to konieczność przeprowadzenia dodatkowych operacji czyszczenia i zwiększy ilość złomu przeznaczonego do unieszkodliwiania.

Zastosowanie technik czyszczenia w celu usunięcia piasku z materiału zwrotnego powoduje zużycie energii. Jest to jednak równoważone przez energię zaoszczędzoną na etapie topienia.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania Technika ogólnie stosowana.

Usuwanie piasku ze złomu własnego można zastosować we wszystkich nowych i istniejących odlewniach. Wykorzystanie czystego złomu do topienia można zastosować we wszystkich typach odlewni, ale wybór gatunku złomu powinien być powiązany z technikami topienia i oczyszczania gazów. Jeśli cały sektor przejdzie na czysty złom, spowoduje to problem z recyklingiem złomu brudnego.

Wykorzystanie czystego złomu żelaznego (zarówno stali, jak i surówki) spowoduje wzrost kosztów zakupu i będzie wymagało inwestycji w nowy sprzęt do czyszczenia. Nie ma trudności spowodowanych utlenianiem powierzchni złomu ani stosowaniem wlewków surówki podczas topienia w żeliwiakach (proces redukcji). Piece elektryczne będą miały trudności tylko z zanieczyszczonym złomem, który nie spełnia parametrów dla złomu stalowego stosowanego w odlewniach.

Żeliwiaki mogą z łatwością topić złom, który nie jest czysty. Zużycie koksu jest niewielkie, a wpływ na środowisko minimalny, jeśli gazy są odpowiednio oczyszczane.

Ograniczenie ilości żużla jest bardzo ważne dla prawidłowej pracy bezrdzeniowego pieca indukcyjnego, bowiem na ich pracę większy czystość złomu ma większy wpływ niż jest to w przypadku innych typów pieców.

Stosowanie brudnego złomu nie ma negatywnego wpływu na pracę pieca obrotowego, ale jest głównym czynnikiem determinującym emisję pyłów. Jeśli gazy są odpowiednio oczyszczane, wpływ na środowisko jest niewielki.

Ekonomika
Cena czystego złomu (tj. klasy 1) jest o 20% do 30% wyższa niż cena złomu zanieczyszczonego (tj. klasy 2). Ponadto dzięki zastosowaniu tej techniki zmniejsza się koszt unieszkodliwiania żużla i pyłu.

Siła napędowa wdrażania
- Wysokie opłaty za unieszkodliwianie pozostałości i wysokie ceny materiałów ogniotrwałych.
- Wymogi prawne.

Przykładowe zakłady
Technika szeroko stosowana.

Literatura źródłowa
[36. Vereniging van Nederlandse Gemeenten 1998], [38. Vito 2001], [100. TWG 2002], [169. TWG 2021], [210. TWG 2022], [229. CAEF 2023].

3.2.1.3.6 Poprawa wydajności odlewania oraz zmniejszenie ilości odpadów

Więcej informacji na temat tej techniki
Technika ta zapewnia korzyści dla środowiska zarówno pod względem efektywności energetycznej, jak i materiałowej. Została szczegółowo opisana w Sekcji 3.2.1.4.2.1.

3.2.1.3.7 Ograniczanie strat energii / poprawa praktyk w zakresie wstępnego podgrzewania kadzi

Opis
Obejmuje wszystkie poniższe elementy:

- stosowanie czystych, wstępnie ogrzanych kadzi;
- zamykanie pokryw kadzi w celu zachowania ciepła
- stosowanie energooszczędnych technik wstępnego podgrzewania kadzi (np. palników mikroporowatych bezpłomieniowych lub palników tlenowo-paliwowych);
- stosowanie dużych (w miarę możliwości) kadzi wyposażonych w pokrywy zatrzymujące ciepło;
- minimalizowanie transferu stopionego metalu z jednej kadzi do drugiej;
- jak najszybszy transfer stopionego metalu.

Szczegóły techniczne

Energia jest marnowana, jeśli system transportu stopionego metalu powoduje nadmierną utratę temperatury metalu między spustem pieca a zalewaniem formy. Stratom tym można zapobiec poprzez stosowanie dobrych praktyk. Obejmują one:

- stosowanie czystych kadzi, podgrzanych do czerwoności;
- stosowanie energooszczędnej metody wstępnego podgrzewania kadzi (np. podgrzewanie kadzi elektryczne, stosowanie palników porowatych lub palników na gaz ziemny/tlen – zobacz poniżej);
- stosowanie kadzi rozdzielczych i zalewowych, które są tak duże, jak to możliwe, i są wyposażone w pokrywy zatrzymujące ciepło;
- zamykanie pokryw kadzi, gdy stoją puste, lub odwracanie kadzi do góry dnem, gdy nie są używane;
- minimalizowanie konieczności transferu metalu z jednej kadzi do drugiej;
- transport metalu zawsze tak szybko, jak to możliwe, przy zachowaniu wymogów bezpieczeństwa.

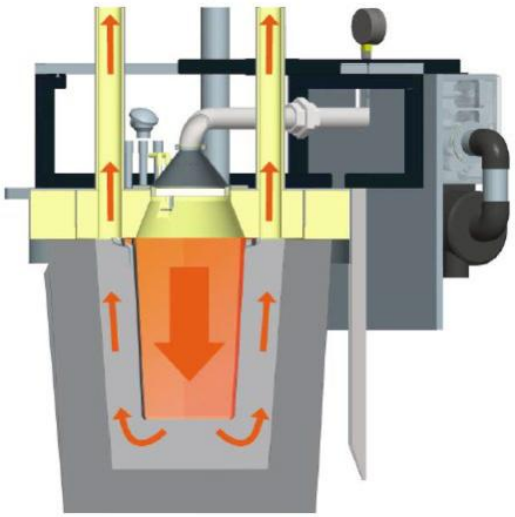
Wstępne podgrzewanie kadzi za pomocą palników porowatych

Modyfikacją techniki palników gazowo-powietrznych jest tzw. palnik objętościowy lub palnik porowaty gazowy. Ta modyfikacja procesu jest dostępna w odlewniach od 2008 roku. W palniku porowatym gazowym (palniku objętościowym) spalanie odbywa się w porowatym ceramicznym palniku wysokotemperaturowym, czyli reaktorze spalania. W rezultacie powstaje bezpłomieniowe spalanie objętościowe w postaci świecącej pianki ceramicznej. Może ona służyć zarówno jako powierzchnia promieniująca, jak i jednorodne źródło ciepła. Spalanie ogranicza się do licznych porów ceramiki, które można traktować jako małe reaktory. Palniki porowate mogą osiągać gęstość mocy ponad 3 MW/m2.

Pełniący funkcję reaktora spalania korpus z pianki ceramicznej może być wykonany w niemal każdym kształcie geometrycznym. Dostosowany do konkretnego zastosowania korpus ceramiczny o kształcie okrągłym, kwadratowym lub liniowym zapewnia doprowadzenie ciepła dokładnie tam, gdzie jest ono potrzebne w procesie.

Dzięki dostosowanemu kształtowi i bezpłomieniowemu spalaniu można uzyskać bardziej równomierne ogrzewanie, w szczególności w przypadku większych obiektów, takich jak kadzie transportowe i odlewnicze lub tygle pieców. Zasadniczo technika ta może być stosowana również w innych obszarach ogrzewania, poza wstępnym podgrzewaniem kadzi.

Poniższy schemat i rysunek ilustrują proces wstępnego podgrzewania kadzi za pomocą palników porowatych.



Źródło: [133, DE UBA 2014].

Rysunek 3.5: Schemat wstępnego podgrzewania kadzi za pomocą palników porowatych



Źródło: [133, DE UBA 2014].

Rysunek 3.6: Wstępne podgrzewanie kadzi za pomocą palników porowatych

Wstępne podgrzewanie kadzi za pomocą gazu ziemnego i palników dyfuzyjnych tlenowo-paliwowych

Palniki dyfuzyjne tlenowo-paliwowe wykorzystujące gaz ziemny jako paliwo mogą być stosowane np. do podgrzewania kadzi transportowych. Podgrzewanie kadzi transportowych odbywa się za pomocą otwartego płomienia. Palnik płomieniowy podgrzewa kadzie od góry. Ponadto palniki te (Rysunek 3.7) są również stosowane w odlewniach do specjalnych zastosowań (Rysunek 3.8).



Źródło: [133, DE UBA 2014].

Rysunek 3.7: Sterowanie palnikiem dyfuzyjnym tlenowo-paliwowym



Źródło: [133, DE UBA 2014].

Rysunek 3.8: Palnik dyfuzyjny tlenowo-paliwowy z wodą chłodzącą, używany tutaj do ogrzewania podajnika podczas odlewania śruby napędowej statku z stopu brązu.

Osiągnięte korzyści dla środowiska

Zmniejszenie strat energii oraz zwiększenie efektywności energetycznej.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

W przypadku wstępnego podgrzewania kadzi za pomocą palników porowatych odnotowano następujące korzyści dla środowiska:

- Zmniejszenie zużycia gazu nawet o 60%. W jednym przypadku zużycie gazu udało się zmniejszyć o 60 000 m^3/rok, a związane z tym emisje CO_2 o 115 ton. Nadmiar ciepła można wykorzystać do ogrzewania obiektów produkcyjnych.
- Zwiększona efektywność energetyczna.
- Znaczne ograniczenie emisji CO_2 oraz NO_X.
- Ograniczenie emisji hałasu poprzez cichszy proces spalania.

W przypadku wstępnego podgrzewania kadzi za pomocą palników dyfuzyjnych gazowo-tlenowych odnotowano następujące korzyści dla środowiska:

- W przypadku palników dyfuzyjnych tlenowo-paliwowych stosunek gazu do tlenu wynosi około 1:2. W przypadku palników dyfuzyjnych na gaz ziemny i powietrze stosunek gazu do powietrza wynosi około 1:10. Wyższe natężenie przepływu podczas spalania wynika z zastosowania palników dyfuzyjnych na gaz ziemny i powietrze w porównaniu z palnikami dyfuzyjnymi na gaz ziemny i tlen.
- Zmniejszenie zawartości azotu dzięki zastosowaniu palników dyfuzyjnych tlenowo-paliwowych prowadzi do zmniejszenia zużycia paliwa i emisji NO_X. Zakładając, że podczas spalania gazu ziemnego uwalnia się około 1,95 kg CO_2/m^3, całkowita emisja CO_2 w przykładzie opisanym w części „Ekonomika” wynosi:
  - 58,5 kg/h dla jednej kadzi, podgrzewanie 3 kadzi równałoby się 175,5 kg/h;
  - 78,8 kg/h dla jednej kadzi, podgrzewanie 3 kadzi równałoby się 263,3 kg/h.

Tabela 3.7: Dane eksploatacyjne dla wstępnego podgrzewania kadzi za pomocą palników porowatych

Gęstość mocy	Płynna regulacja w zakresie od 150 kW/m3 do 3 000 kW/m3 z regulowaną wielkością palnika przy głębokości reaktora 15 mm.
Wydajność	Od 2 kW do ponad 1 000 kW.
Spalanie bezpłomieniowe	Źródło ciepła zamiast otwartego ognia, tj.: • brak kontaktu produktu z płomieniem, • brak zakłóceń spalania przez konwekcję zewnętrzną lub atmosferę zewnętrzną, • brak wrażliwości na przeciągi lub ruch. • bezpośrednie przenoszenie ciepła przez gorący gaz i promieniowanie cieplne.
Zakres regulacji	Zakres kontroli do 1:20 przy lambda 1,3. Możliwość szybkiego dostosowania do zmieniających się warunków procesu. Możliwość regulacji promieniowania i temperatury gorącego gazu. Precyzyjna regulacja od 900 °C do 1 400 °C z dokładnością plus/minus 3 K i w ciągu kilku sekund.
Jednorodność	Ukierunkowany, równomierny dopływ ciepła w dowolnym miejscu. Delikatna obróbka produktu. Jednorodny rozkład temperatury.
Projekt/Forma	Dowolny kształt jako palnik liniowy lub powierzchniowy.
Emisje	Minimalne emisje CO i NO_X w całym zakresie mocy.
Paliwa	Wszystkie gazy zgodne z normą EN 483. Mieszaniny oparów oleju. Gazy o niskiej wartości opałowej. Niewrażliwe na zmiany ciśnienia gazu.
Źródło: [133, DE UBA 2014].	

Wstępne podgrzewanie kadzi za pomocą palników dyfuzyjnych gazowo-tlenowych
Z technicznego punktu widzenia proces spalania paliw gazowych przy użyciu czystego tlenu powoduje, że dzięki zmniejszeniu strat wydechowych wzrasta temperatura spalania oraz promieniowanie gazów.

W przypadku palników dyfuzyjnych tlenowo-paliwowych można osiągnąć temperatury od 1200 do 1300°C. Modyfikując konwencjonalny palnik dyfuzyjny tlenowo-paliwowy, na przykład poprzez chłodzenie wodą, można osiągnąć temperatury około 1500°C. Oprócz podgrzewania kadzi, palniki dyfuzyjne tlenowo-paliwowe są stosowane do spiekania i podgrzewania:

- e-kominków i e-palenisk;
- form odlewniczych i konwertorów;
- poszczególnych podajników; oraz
- żużla odprowadzanego do pieców.

W przypadku wstępnego podgrzewania kadzi za pomocą palników dyfuzyjnych na gaz ziemny/tlen produkcja i transport tlenu wiążą się z dodatkowym obciążeniem dla środowiska. Konieczna jest infrastruktura do magazynowania tlenu.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Ponieważ ogólna technika obejmuje środki związane z dobrą praktyką, ma ona zastosowanie do wszystkich nowych i istniejących odlewni. Zastosowanie może być ograniczone w przypadku dużych kadzi (np. > 2 t) i kadzi zalewanych od dołu ze względu na ograniczenia konstrukcyjne.

Technika wstępnego podgrzewania kadzi za pomocą palników porowatych ma zastosowanie w małych i dużych odlewniach. Na jej zastosowanie mogą mieć wpływ następujące czynniki:

- W przypadku konieczności osiągnięcia wysokich temperatur, np. > 1 100 °C, czas nagrzewania może być dłuższy niż w przypadku palników konwencjonalnych. Jest to ważne dla zapewnienia wymaganej gęstości mocy palnika (np. w odlewniach stali).
- Jeśli palnik można przesuwać ręcznie, a jego geometria wymaga dokładnego i ostrożnego obchodzenia się z nim, nieostrożne obchodzenie się z palnikiem może spowodować jego uszkodzenie.

Wstępne podgrzewanie kadzi za pomocą palników dyfuzyjnych gazowo-tlenowych ma zastosowanie w

odlewniach żeliwa i stali (głównie ze względu na osiągalne temperatury), ale może być również stosowane w odlewniach metali nieżelaznych.

Ekonomika

W przypadku wstępnego podgrzewania kadzi za pomocą palników porowatych odnotowano następujące dane ekonomiczne:

Dzięki dokładnej regulacji i równomiernemu dostarczaniu ciepła zastąpienie tradycyjnych palników palnikami porowatymi pozwala osiągnąć oszczędności nawet do 60%. W połączeniu z wysoką modulacją mocy cały system zyskuje na wydajności, a produktywność wzrasta nawet o 50%. W jednym z przykładowych zakładów trwałość kadzi została podwojona.

Poniższe koszty inwestycyjne, koszty eksploatacji, koszty konserwacji i oszczędności energii oparte są na informacjach przekazanych przez operatora korzystającego z palników porowatych:

- wielkość kadzi: 15 t.
- koszty inwestycji: 70 000 EUR;
- Koszty operacyjne 20 000 EUR/rok w kosztach gazu;
- koszty utrzymania: 5 000 EUR/rok;
- oszczędności kosztów energii: 8 000 EUR/rok.

Informacje dotyczące czasu amortyzacji nie są dostępne i zależą od wielu indywidualnych czynników. Jako przykład podano następujące równanie kosztów i korzyści (wartości referencyjne): „Przy oszczędnościach gazu ziemnego wynoszących 23 286 EUR rocznie, zminimalizowanym zużyciu okładziny kadzi wynoszącym 7 000 EUR i wzroście produktywności o około 10 000 EUR, obliczenia statyczne wskazują, że zwrot kapitału nastąpi po 5,8 roku".

W przypadku wstępnego podgrzewania kadzi za pomocą palników dyfuzyjnych na gaz ziemny i tlen zgłoszono przykładowy przypadek, w którym podgrzewano trzy kadzie o pojemności 8 ton dziennie. Po około 1 godzinie temperatura kadzi osiągnęła około 1 200 °C. Dane przedstawiono poniżej:

- zapotrzebowanie na gaz ziemny około 30 m3/h na instalację + zapotrzebowanie na tlen 60 m3/h na instalację;
- koszt gazu ziemnego: 0,35 EUR/m^3;
- koszt tlenu: 0,20 EUR/m^3;
- całkowity koszt bezpośredni gazu ziemnego: 0,35 EUR/m^3 x 30 m^3 = 10,50 EUR;
- całkowite koszty bezpośrednie tlenu: 0,20 EUR/m^3 x 60 m^3 = 12,00 EUR;
- całkowity koszt bezpośredni: 22,50 EUR;
- całkowity koszt dzienny: 22,50 EUR x 3 kadzie = 67,50 EUR

Aby porównać różnice ekonomiczne między palnikami dyfuzyjnymi gazowo-powietrznymi i gazowo-tlenowymi, poniżej przedstawiono przykład:

Dziennie (pojedyncza warstwa) odbywa się podgrzewanie trzech kadzi o masie 8 ton. Używane są trzy palniki gazowo-powietrzne, które również pracują w sposób ciągły, aby utrzymać temperaturę. Po około 1 godzinie osiągana jest temperatura kadzi od około 800 °C do 900 °C. Dane podano poniżej:

- zapotrzebowanie na gaz ziemny wynosi około 45 m^3/h na instalację + zapotrzebowanie na powietrze (wentylator) wynosi około 450 m^3/h na instalację;
- koszty podgrzewania kadzi: zapotrzebowanie na gaz ziemny wynosi około 45 m3/h x 1 h daje 45 m3 + zużycie powietrza (wentylator) wynosi około 450 m3;
- koszty gazu ziemnego: 0,35 EUR/m^3;
- koszty dostarczania powietrza: 0,04 EUR/m^3;
- całkowity koszt bezpośredni gazu ziemnego: 0,35 EUR/m^3 x 45 m^3 = 15,75 EUR;
- całkowite koszty bezpośrednie powietrza (wentylator): 0,04 EUR/m^3 x 450 m^3 = 18 EUR;
- całkowity koszt: 33,75 EUR;
- należy doliczyć koszt ciągłej pracy w celu wstępnego podgrzania kadzi, przykładowy zestaw 80 EUR; w końcu w wielu odlewniach kadzie są stale podgrzewane, aby w razie potrzeby były natychmiast gotowe do użycia;
- całkowity koszt dzienny: 33,75 EUR x 3 kadzie/d = 101,25 EUR/d + 80 EUR/d = 181,25 EUR/d. • koszt roczny: 181,25 EUR/d x 22 d/miesiąc = 3 987,5 EUR/miesiąc x 12 miesięcy = 47 850 EUR/rok.

Siła napędowa wdrażania
Oszczędność energii i redukcja kosztów energii.

Ponadto wstępne podgrzewanie kadzi za pomocą palników porowatych przyczynia się do wydłużenia żywotności okładziny, a tym samym do zmniejszenia zużycia materiałów ogniotrwałych i ograniczenia wytwarzania odpadów materiałów ogniotrwałych.

Wstępne podgrzewanie kadzi przy użyciu palników na gaz ziemny/tlen zwiększa dostępność topielników i kadzi transportowych oraz poprawia jakość produktu poprzez zmniejszenie różnicy temperatur między topielnikiem a kadzią transportową.

Przykładowe zakłady
Powyższe środki ogólne są stosowane w różnym zakresie w europejskich odlewniach.

Wstępne podgrzewanie kadzi przy użyciu palników porowatych zostało zgłoszone przez następujące zakłady:
- HegerFerrit GmbH, 67681 Sembach
- Stahlwerke Bochum GmbH, 44791 Bochum
- Edelstahlwerke Schmees GmbH, 40764 Langenfeld

Wstępne podgrzewanie kadzi za pomocą palników na gaz ziemny i tlen:
- Mecklenburger Metallguss GmbH – MMG, Waren/Müritz, Niemcy

Literatura źródłowa
[20. ETSU 1993], [133. DE UBA 2014], [210. TWG 2022]

3.2.1.3.8 Spalanie tlenowo-paliwowe

Opis
Powietrze do spalania jest całkowicie lub częściowo zastępowane czystym tlenem. Spalanie tlenowo-paliwowe może być stosowane w połączeniu ze spalaniem bezpłomieniowym.

Szczegóły techniczne
Temperaturę płomienia zwiększa zastosowanie czystego tlenu zamiast powietrza w palnikach używanych do topienia lub wstępnego podgrzewania kadzi do zalewania. Umożliwia to bardziej efektywne przekazywanie ciepła do topielnika i zmniejsza zużycie energii.

Jeśli dopływ powietrza jest zablokowany przez szczelne zamknięcie odbiornika, NOX nie może powstać w wyniku utleniania azotu atmosferycznego. Dodatkowo, ogólny przepływ gazów spalinowych ze spalania tlenowo-paliwowego jest mniejszy z powodu braku azotu. Pozwala to na zastosowanie mniejszej instalacji odpylającej.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Techniki te zmniejszają zużycie energii i obniżają emisję NO_X i CO_2 dzięki wyższym temperaturom spalania.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Wzbogacanie w tlen stosowane w połączeniu z rekuperatorem zazwyczaj pozwala zaoszczędzić 30% energii. Dodatkowo, wyższa temperatura spalania pomaga zmniejszyć ogólną emisję gazów cieplarnianych, a w przypadku stosowania czystego tlenu emisję NO_X. Zmniejsza się również objętość gazów wydechowych. Pełne spalanie tlenowo-paliwowe może zapewnić oszczędność energii do 50% oraz zmniejszyć objętość gazów wydechowych nawet o 72%.

Zmniejsza się również emisja hałasu. W jednej z niemieckich instalacji przejście z opalania olejowo-powietrznego na gazowo-tlenowe spowodowało zmniejszenie emisji hałasu o 15-18 dB(A) w bezpośrednim sąsiedztwie pieca, w zależności od punktu analizy. Na granicy instalacji zmierzono wartość 48 dB(A). Przy zastosowaniu rekuperacji energii do wstępnego podgrzewania wsadu, całkowita oszczędność energii dla tej samej instalacji wyniosła 53%.

Zgłoszono zastosowanie spalania tlenowo-paliwowego w żeliwiaku w Niemczech. W odlewni Fritz Winter Eissen Giesserei GmBH produkującej głównie żeliwo szare przy użyciu żeliwiaka z gorącym dmuchem (wydajność 24 t/h) zainstalowano łącznie sześć palników tlenowo-paliwowych. Zastosowanie spalania tlenowo-paliwowego zaowocowało wzrostem szybkości topienia o 20% wraz ze zmniejszeniem zużycia koksu o 6%, w oparciu o wyniki długoterminowe. [188. Niehoff, T. i in. 2004]

Spalanie tlenowo-paliwowe, czasami w połączeniu ze spalaniem bezpłomieniowym, jest często stosowane do wstępnego podgrzewania kadzi. W tym przypadku zastąpienie konwencjonalnych palników palnikami tlenowo-paliwowymi może prowadzić do obniżenia kosztów operacyjnych o około 50% ze względu na szybsze nagrzewanie (1 godzina zamiast 2,5 godziny) i niższe zużycie gazu ziemnego. Ponieważ wstępne podgrzewanie kadzi zajmuje dużo czasu, kadzie często pracują w trybie ciągłym, aby zapewnić gotowość operacyjną. Palniki tlenowo-paliwowe umożliwiają szybszy proces nagrzewania, co oznacza, że ciągła praca nie zawsze jest wymagana. [145. US EPA 2016]

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Produkcja, przechowywanie i wykorzystywanie tlenu zwiększają ryzyko związane z bezpieczeństwem. Produkcja tlenu odbywa się poprzez elektrolizę wody, destylację kriogeniczną lub adsorpcję zmiennociśnieniową, co wiąże się ze zużyciem energii elektrycznej. Zużycie dla tej ostatniej techniki wynosi 0,35 - 0,38 kWh/Nm³ O_2. Produkcja tlenu jest często wykonywana przez zewnętrznego dostawcę, który dostarcza tlen do zbiornika magazynowego lub bezpośrednio rurociągiem.

Paliwo lub ciężki olej powodują emisję SO_2 lub NO_X, w zależności od zawartości S lub N. Użycie czystszych węglowodorów, takich jak gaz ziemny i propan, nie spowoduje żadnych dodatkowych zanieczyszczeń, z wyjątkiem CO2, tak jak w przypadku wszystkich procesów spalania.
Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Możliwość zastosowania w istniejących zakładach może być ograniczona przez konstrukcję pieca oraz potrzebę minimalnego przepływu gazu odlotowego.

Ekonomika
Nie dostarczono danych.

Siła napędowa wdrażania
- Optymalizacja pracy pieca i zwiększona wydajność topienia.
- Wymogi prawne.

Przykładowe zakłady
Technika ta znajduje szerokie zastosowanie w odlewniach żelaza wykorzystujących piece obrotowe i do wstępnego podgrzewania kadzi.

Literatura źródłowa
[11. Brettschneider i in. 1992], [14. CAEF 1997], [38. Vito 2001], [210. TWG 2022], [36. Vereniging van Nederlandse Gemeenten 1998], [52. Eurofine 2002], [127. Novem 2000], [64. UK Environment Agency 2002], [145. US EPA 2016], [188. Niehoff, T. i in. 2004]

3.2.1.3.9 Wykorzystanie mocy średniej częstotliwości w piecach indukcyjnych

Opis
Zastosowanie pieców indukcyjnych o średniej częstotliwości napięcia zasilania (250 Hz) zamiast pieców o częstotliwości sieciowej (50 Hz).

Szczegóły techniczne
Piece o średniej częstotliwości napięcia zasilającego (250 Hz) mają wyższą gęstość mocy (do 1 000 kW/tonę) niż piece o częstotliwości zasilania (50 Hz) (300 kW/tonę). Pozwala to na zastosowanie mniejszego tygla (nawet trzykrotnie mniejszego), co skutkuje mniejszymi całkowitymi stratami ciepła. Sprawność cieplna pieców średniej częstotliwości jest o 10% wyższa niż w przypadku pieców zasilanych z sieci. Co więcej, urządzenia zasilane prądem o częstotliwości sieciowej muszą być eksploatowane z poziomem stopionego metalu wynoszącym do dwóch trzecich pojemności tygla, aby zoptymalizować zużycie energii, a także wymagają specjalnych bloków rozruchowych do rozruchu na zimno. Piece średniej częstotliwości mogą być łatwo uruchamiane z zimnym wsadem i mogą być opróżniane na koniec każdej zmiany roboczej lub topionej partii.

Kiedy odlewnia przestawia się z topienia z wykorzystaniem napięcia o częstotliwości sieciowej na obsługę linii przez napięcie o średniej częstotliwości, ważne jest, aby personel pieca przeszedł pewne przekwalifikowanie. Formalnie stosowane dotychczas techniki operacyjne będą musiały zostać porzucone, a nowe specyficzne procedury zaprojektowane w celu zapewnienia dobrego zużycia energii będą musiały zostać zaadaptowane. Jeśli przekwalifikowanie zostanie pominięte, dostępne ulepszenia w zakresie zużycia energii mogą nie zostać w pełni wykorzystane.

Ekonomika
Zmiana typu pieca stanowi znaczną inwestycję.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Zwiększona efektywność energetyczna podczas operacji topienia.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Modernizacja pieca zasilanego prądem o częstotliwości sieciowej na piec zasilany prądem o średniej częstotliwości prowadzi do oszczędności energii rzędu 12-15% w trybie pracy wsadowej. Ponadto zaletą pieców średniej częstotliwości jest lepsze sprzężenie elektryczne, które umożliwia zimny rozruch. Piece o średniej częstotliwości zapewniają znacznie wyższą gęstość mocy wejściowej (trzykrotnie wyższą w porównaniu z piecami zasilanymi napięciem z sieci), co zwiększa produktywność i wydajność.
Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.

Siła napędowa wdrażania
Zwiększenie wydajności pracy odlewni.

Przykładowe zakłady
Technika ta jest powszechnie stosowana w odlewniach instalujących nowy piec.

Literatura źródłowa
[23. ETSU 1992], [145. US EPA 2016]

3.2.1.3.10 Optymalizacja systemu sprężonego powietrza

Opis
Obejmuje wszystkie poniższe środki:

- stosowanie odpowiedniego systemu konserwacji w celu ograniczenia wycieków;
- skuteczne monitorowanie parametrów roboczych, takich jak przepływ, temperatura i ciśnienie;
- minimalizowanie spadków ciśnienia;
- stosowanie efektywnego zarządzania obciążeniem;
- obniżenie temperatury powietrza wlotowego;
- stosowanie efektywnego systemu sterowania sprężarką.

Szczegóły techniczne
Odlewnie wykorzystują sprężone powietrze w wielu zastosowaniach, w tym do zasilania narzędzi, napełniania rdzennic, transportu piasku, przedmuchiwania form i rdzennic i innych. Najlepsze praktyki w zakresie energooszczędnych systemów sprężonego powietrza obejmują wszystkie poniższe środki:

- *Stosowanie odpowiedniego systemu konserwacji w celu ograniczenia wycieków*: Niewłaściwie konserwowana instalacja może wykazywać poziom wycieków od 20% do 50% całkowitej wydajności sprężonego powietrza. Obszary, w których mogą wystąpić wycieki, obejmują złączki, węże, rurki, armaturę, regulatory ciśnienia, otwarte syfony kondensatu i zawory odcinające, połączenia rurowe, rozłączniki i uszczelniacze gwintów. Skuteczne monitorowanie tych obszarów w ramach programu wykrywania i korygowania wycieków ma kluczowe znaczenie dla ograniczenia do minimum liczby i dotkliwości wycieków.
- *Skuteczne monitorowanie parametrów roboczych , takich jak przepływ, temperatura i ciśnienie*: W całym zakładzie instaluje się systemy monitorowania, w tym manometry na każdym odbiorniku i manometry różnicowe dla osuszaczy i filtrów, mierniki temperatury do wykrywania zanieczyszczeń lub zatorów w sprężarkach, przepływomierze do kontrolowania ilości zużywanego powietrza oraz mierniki temperatury punktu rosy do monitorowania wydajności osuszaczy powietrza.
- *Minimalizowanie spadków ciśnienia*: Nadmierne spadki ciśnienia powodują wzrost zużycia energii. Ograniczenia przepływu (np. przeszkody) mogą skutkować wyższym ciśnieniem roboczym. Takie spadki ciśnienia są często obserwowane w punktach użytkowania, np. nieszczelne węże, rurki, odłączniki, osuszacze, filtry, regulatory, zawory, dysze lub separatory wilgoci. Spadki ciśnienia można zminimalizować lub im zapobiec poprzez odpowiednie zaprojektowanie systemu oraz właściwą konserwację sprzętu.

- *Stosowanie efektywnego zarządzanie obciążeniem*: Poprawę zarządzania obciążeniem można osiągnąć poprzez unikanie pracy z częściowym obciążeniem. Zastosowanie sprężarek wielostopniowych, które działają wydajniej niż sprężarki jednostopniowe, pozwala oszczędzać energię.
- *Obniżenie temperatury powietrza wlotowego* : Obniżenie temperatury powietrza wlotowego powoduje zmniejszenie zużycia energii przez sprężarkę. Często możliwe jest pobieranie zimnego powietrza z zewnątrz budynku w celu obniżenia temperatury powietrza wlotowego do sprężarek.
- *Stosowanie efektywnego systemu sterowania sprężarką*: Istnieją systemy kontroli zapewniające wyłączenie niepotrzebnych sprężarek i opóźnienie uruchomienia dodatkowych sprężarek do czasu, gdy będą potrzebne. Osiąga się to za pomocą następujących systemów kontroli:
  - start/stop (włącz/wyłącz): sprężarka jest włączana lub wyłączana w zależności od ciśnienia na wylocie maszyny;
  - ładowanie/rozładowywanie: zastosowanie sterowania stałą prędkością pozwalające na ciągłą pracę silnika, ale odciążające go, gdy ciśnienie tłoczenia jest wystarczające;
  - sterowanie modulujące lub dławiące: moc wyjściowa sprężarki jest modulowana w celu spełnienia wymagań dotyczących przepływu;
  - sterowanie sekwencyjne z jednym urządzeniem nadrzędnym: poszczególne sprężarki są włączane lub wyłączane w odpowiedzi na zmierzone zapotrzebowanie na ciśnienie w układzie;
  - sterowanie typu multi-master: cztery lub więcej sprężarek jest obsługiwanych w tym samym czasie za pomocą zaawansowanego systemu sterowania sprężarką, każda sprężarka pracuje na poziomie, który zapewnia najbardziej wydajną pracę.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Zwiększona efektywność energetyczna.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Wdrożenie programu obsługi technicznej wycieków może zmniejszyć ich poziom do mniej niż 10%.

Zastosowanie systemów sterowania sprężarkami, które wyłączają niepotrzebne sprężarki, może zaoszczędzić do 12% kosztów energii rocznie.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika
Nie dostarczono danych.

Siła napędowa wdrażania
Oszczędność energii.

Przykładowe zakłady
Technika szeroko stosowana.

Literatura źródłowa
[145. US EPA 2016]

3.2.1.3.11 Suszenie mikrofalowe rdzeni do powłok na bazie wody

Opis
Zastosowanie suszarek mikrofalowych (np. o częstotliwości 2 450 Hz) do suszenia rdzeni pokrytych powłokami na bazie wody, co skutkuje szybkim i jednorodnym suszeniem całej powierzchni rdzenia.

Szczegóły techniczne
Powłoki na bazie wody (zob. Sekcja 3.2.1.5.5) wymagają suszenia. Zastosowanie pieców mikrofalowych do tego celu daje przewagę operacyjną w porównaniu z suszeniem powietrzem otoczenia lub powietrzem ogrzanym. Stosowane są mikrofale o częstotliwości 2 450 MHz, o następujących właściwościach:

- Dobra selektywność transferu energii: Energia mikrofalowa jest przekazywana głównie do cząsteczek wody, a nie do materiału piaskowego. Oznacza to lepsze i bardziej równomierne suszenie powierzchni, nawet w przypadku skomplikowanych rdzeni.
- Samodostosowujące się sprzężenie: Mechanizm suszenia zapewnia samokontrolującą się homogenizację wilgotności materiału.

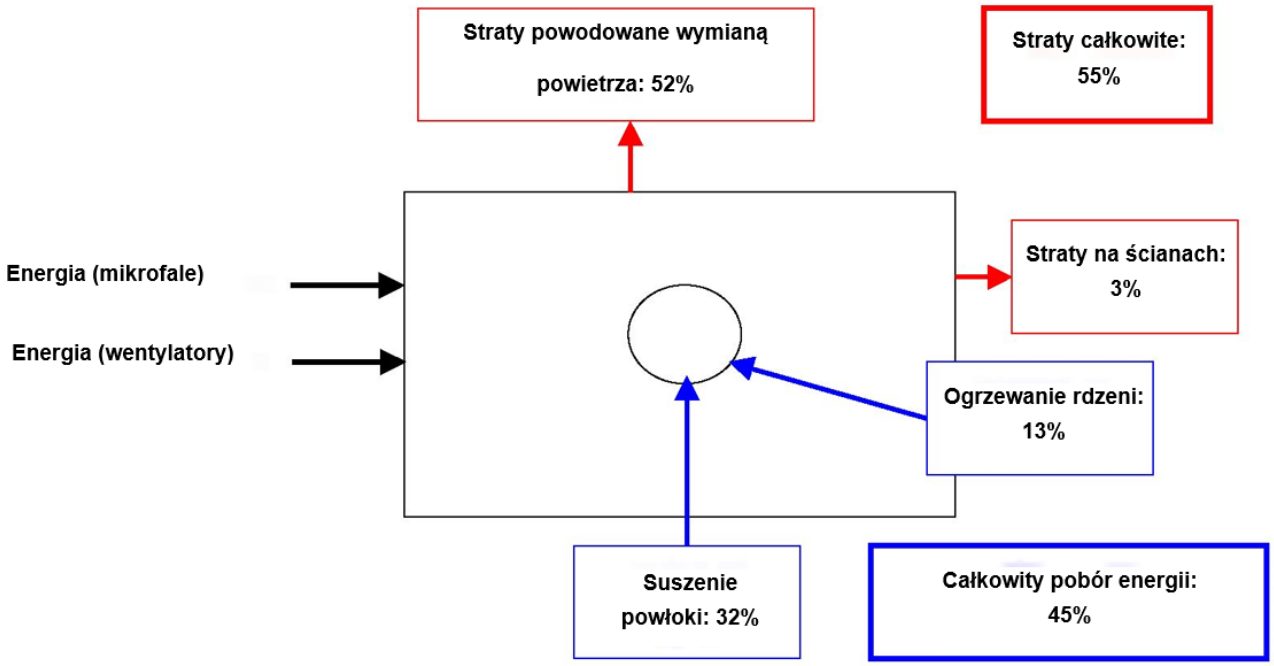
- Szybkie schnięcie: Szybkość schnięcia zależy od zastosowanej mocy. Duża szybkość schnięcia ogranicza czas kontaktu wody z rdzeniem. Zapewnia to dobrą stabilność mechaniczną rdzeni. Skutkuje to dobrą stabilnością mechaniczną rdzeni.

Stosowanie suszenia mikrofalowego jest utrudnione w następujących przypadkach:

- niejednorodne obciążenie pieca (różne masy i objętości rdzeni);
- stosowanie rdzeni lub elementów zawierających żelazo, np. pozostałości w regenerowanym piasku rdzeniowym;
- niejednorodne suszenie grubszych części powłoki;
- ryzyko deformacji złożonych rdzeni.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Większa efektywność energetyczna procesu suszenia.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Suszenie mikrofalowe nie zostało wdrożone na skalę przemysłową, chociaż przeprowadzono testy na dużą skalę. Ich wyniki przedstawiono poniżej. Przeprowadzono jedną serię testów z wykorzystaniem pieca mikrofalowego o mocy 50 kW. Piec został załadowany do 50% swojej pojemności, ładunkiem 800 kg rdzeni. Rdzenie umieszczono na plastikowych tacach, które nie są ogrzewane przez mikrofale. Bilans cieplny przedstawiono na poniższym wykresie. Pokazuje on, że ponad 30% energii wejściowej jest wykorzystywane do suszenia. Ponadto rdzenie są tylko nieznacznie podgrzewane (temperatura na wylocie = 40 °C), co pozwala na ich natychmiastową obsługę. Dane z dwóch serii pomiarów przedstawiono w Tabeli 3.8 i porównano z analogicznymi seriami przeprowadzonymi w piecach na gorące powietrze (omówionymi w Sekcji 3.2.1.9.12).



Rysunek 3.9: Bilans cieplny dla suszenia mikrofalowego rdzeni w piecu o mocy 50 kW pracującym z wykorzystaniem 50 % wydajności

Tabela 3.8: Wyniki badań w kampanii badawczej dotyczącej suszenia rdzeni za pomocą pieców z gorącym powietrzem i mikrofalowych

Typ pieca	Odlewnia A Gorące powietrze	Odlewnia B Gorące powietrze	Odlewnia B Mikrofale	Odlewnia C Mikrofale
Obciążenie podstawowe	156 kg/h	270 kg/h	800 kg/h	500 - 900 kg/h
Wilgotność	5,5%	2,7%	2,7%	2 – 3,2%
Dostarczanie energii cieplnej	73 kW	70 kW	50 kW	40 kW
Czas trwania	48 min	113 min	8 min	8 min

Jednostkowe zużycie na kg odparowanej wody	8,5 kWh	9,3 kWh	2,3 kWh	2 kWh
Jednostkowe zużycie na tonę mokrych rdzeni	465 kWh	280 kWh	63 kWh	-
Źródło: [49. Inasmet i CTIF 2002].				

Dane pokazują, że czas suszenia uległ znacznemu skróceniu z 1–2 godzin do mniej niż 10 minut. Dodatkowo zużycie energii zmniejszyło się czterokrotnie, a wydajność wzrosła.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Suszenie mikrofalowe powoduje również pełniejsze zachodzenie reakcji polimeryzacji. Zmniejsza to emisję gazów w kolejnych etapach procesu odlewniczego (tj. zalewanie, chłodzenie, wytrząsanie).

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ta może nie mieć zastosowania w przypadku ciągłych lub dużych procesów odlewania lub gdy rdzenie są wykonane z piasku regenerowanego zawierającego śladowe ilości węgla. Ogólnie rzecz biorąc, technika ta ma zastosowanie do suszenia wszystkich powłok na bazie wody. Ponadto pozwala na szersze zastosowanie powłok na bazie wody do bardziej złożonych kształtów rdzeni i mniejszych serii.

Ekonomika
Suszenie mikrofalowe wiąże się z wysokimi kosztami inwestycyjnymi. Rzeczywista inwestycja jest proporcjonalna do zapotrzebowania na energię, które odpowiada ilości wody, jaką należy odparować. Wysokie nakłady inwestycyjne są częściowo równoważone przez:

- wyższą efektywność energetyczną, chociaż technika ta wykorzystuje energię elektryczną zamiast gazu w piecu na gorące powietrze;
- niższe koszty rozpuszczalników w przypadku produktów na bazie wody w porównaniu z produktami na bazie rozpuszczalników;
- niższe koszty konserwacji dzięki bardziej kompaktowej instalacji w porównaniu z suszeniem (gorącym) powietrzem lub linią chłodzącą.

Siła napędowa wdrażania
- Presja ze strony władz, które zwracają coraz większą uwagę na emisję substancji organicznych, w połączeniu z potrzebą zwiększenia efektywności energetycznej.
- Wymogi prawne.

Przykładowe zakłady
Według doniesień, technika ta jest stosowana w odlewniach we Francji i Hiszpanii.

Literatura źródłowa
[49. Inasmet i CTIF 2002], [120. TWG 2003], [210. TWG 2022]

3.2.1.3.12 Wstępne podgrzewanie złomu przy użyciu odzyskanego ciepła

Opis
Złom jest wstępnie podgrzewany przez ciepło odzyskane z gorących gazów spalinowych, przekierowywanych do kontaktu z wsadem.
Szczegóły techniczne
Wysoka temperatura gorących gazów spalinowych może być wykorzystywana do wstępnego podgrzewania złomu. Na przykład w odlewniach stali, gorące gazy spalinowe z topienia w piecu łukowym, zazwyczaj z czwartego otworu, mogą być wykorzystywane do wstępnego podgrzewania złomu do temperatur w zakresie od 450 °C do 600 °C. Dodatkową zaletą tej techniki jest całkowite usunięcie wilgoci ze złomu.

W odlewniach metali nieżelaznych typowym przykładem wstępnego podgrzewania złomu są piece szybowe. W piecu szybowym stosowanym na przykład w odlewni aluminium, zimny złom aluminiowy i wlewki są ładowane w górnej części pieca przez drzwi zasypowe. Gorące gazy z palników topielnych przedostają się do komina i wchodzą w kontakt z wsadem, powodując zarówno jego całkowite wysuszenie, jak i wstępne podgrzanie. Pod tym względem piece szybowe mają znacznie wyższą efektywność energetyczną niż piece płomienne.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Zwiększona efektywność energetyczna.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Zużycie energii może spaść nawet o 50-75 kWh/tonę, gdy złom jest wstępnie podgrzewany.

W odlewniach metali nieżelaznych efektywność energetyczna pieców szybowych waha się od 40% do 50%, w porównaniu do zaledwie 15% do 40% w przypadku pieców płomiennych, w wyniku wstępnego podgrzewania złomu. Podaje się, że zużycie energii można zmniejszyć o 135 kWh/tonę w przypadku pojedynczego pieca szybowego.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
W niektórych przypadkach opóźnienia spowodowane wstępnym podgrzewaniem złomu mogą zmniejszyć produktywność. Nieostrożne podgrzewanie może powodować emisję PCDD/F.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ma zastosowanie wyłącznie do pieców szybowych w odlewniach metali nieżelaznych oraz do pieców łukowych (EAF) w odlewniach stali.

Ekonomika
Nie dostarczono danych.

Siła napędowa wdrażania
Zmniejszone zużycie energii - oszczędność energii.

Przykładowe zakłady
Nie dostarczono danych.

Literatura źródłowa
[145. US EPA 2016], [189. BCS 2005], [210. TWG 2022].

3.2.1.3.13 Odzysk ciepła z gazów wylotowych generowanych w piecach

Opis
Ciepło odpadowe z gorących gazów wylotowych jest odzyskiwane (np. poprzez wymienniki ciepła) i ponownie wykorzystywane na miejscu lub poza nim (np. w obiegach oleju termalnego / gorącej wody / ogrzewania, do wytwarzania pary lub do wstępnego podgrzewania powietrza do spalania (zob. Sekcja 3.2.1.3.14). Technika ta może obejmować:

- nadmiar ciepła z gorących gazów wylotowych żeliwiaka jest wykorzystywany na przykład do wytwarzania pary, ogrzewania oleju termicznego, ogrzewania wody;
- nadmiar ciepła z układu chłodzenia pieca jest wykorzystywany na przykład do suszenia surowca, ogrzewania pomieszczeń, podgrzewania wody;
- w piecach opalanych paliwem w odlewniach aluminium nadmiar ciepła jest wykorzystywany na przykład do ogrzewania pomieszczeń i/lub wody na potrzeby urządzeń do oczyszczania odlewów;
- ciepło o niskiej jakości jest przekształcane w energię elektryczną przy użyciu płynów o wysokiej masie cząsteczkowej za pomocą organicznego cyklu Rankine'a (ORC).

Szczegóły techniczne
Potrzeba schłodzenia gazów wylotowych przed ich wprowadzeniem do układu ograniczania emisji (np. filtra workowego) prowadzi do możliwości podłączenia do użytkownika wtórnego i wykorzystania ciepła odpadowego. Użytkownikiem wtórnym może być np.:

- kocioł parowy;
- obieg oleju termicznego;
- obieg grzewczy;
- obieg ciepłej wody.

W przypadku ciepła o niskiej jakości, dodatkową opcją jest wytwarzanie energii elektrycznej przy użyciu cieczy o wysokiej masie cząsteczkowej w systemie ORC.

Przykładami wykorzystania ciepła odpadowego na miejscu są:

- wytwarzanie energii przy użyciu turbin parowych (zgłoszone przez zakłady AT016, CZ024, DE049 i DE050) [169. TWG 2021];
- wytwarzanie energii z wykorzystaniem procesu ORC;
- ogrzewanie pomieszczeń i/lub podgrzewanie wody na potrzeby instalacji do oczyszczania odlewów (zob.

przykładowa instalacja poniżej);
- obieg grzewczy, np. w przypadku zwiększonego zużycia energii na suszenie, gdy stosowane są powłoki na bazie wody zamiast powłok na bazie rozpuszczalników.

Opcją wykorzystania ciepła odpadowego poza zakładem jest wykorzystanie go do wytwarzania pary w pobliskiej instalacji z wykorzystaniem obiegu oleju termicznego do transferu ciepła.

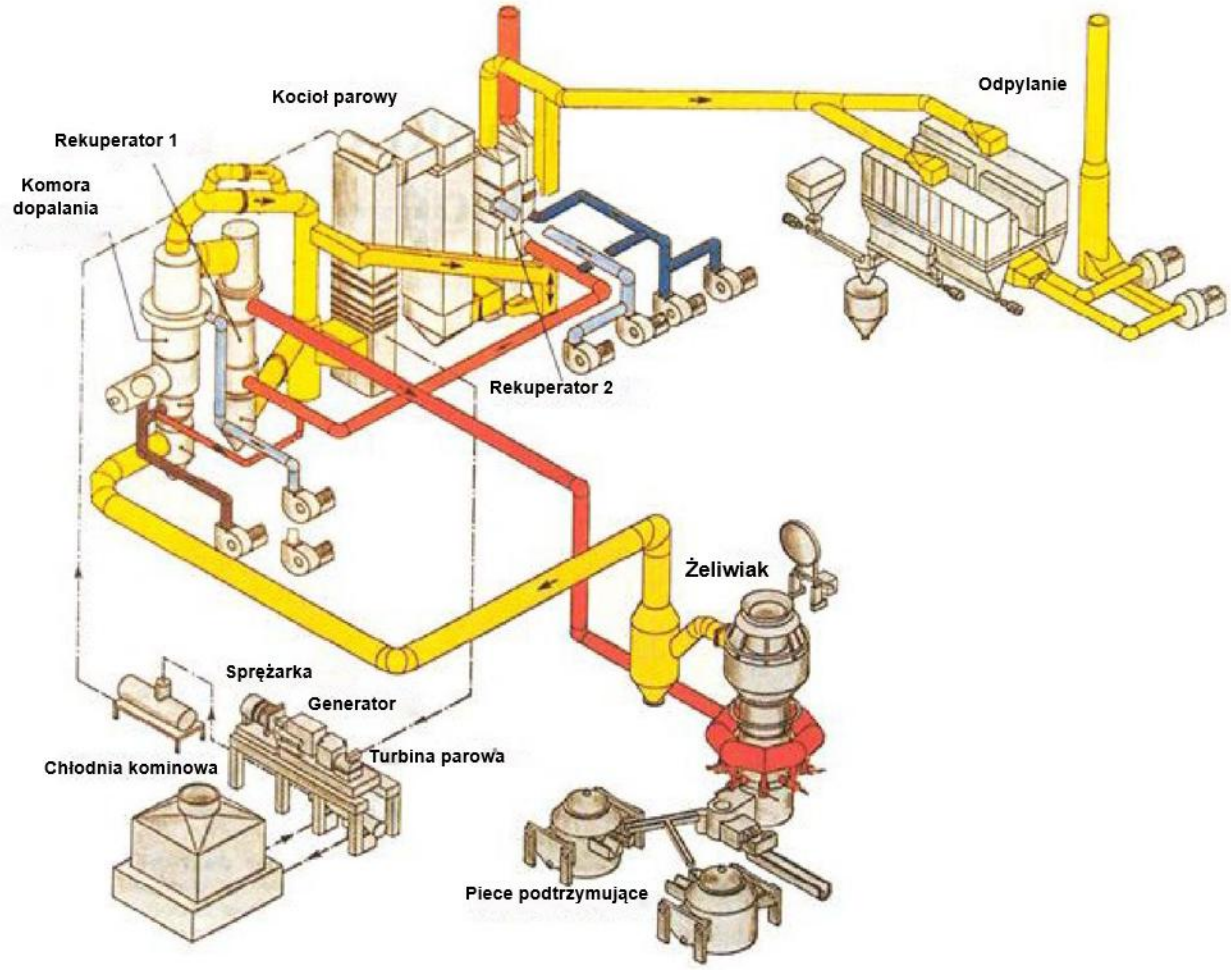
Organiczny Cykl Rankine'a (*Organic Rankine Cycle - ORC*)
W ORC zamiast wody stosuje się płyny organiczne o wysokiej masie cząsteczkowej jako płyn roboczy. Najczęściej stosowane płyny robocze to siloksany lub węglowodory. Płyny te wykazują znacznie niższe temperatury wrzenia niż woda. Płyn roboczy jest odparowywany w wymienniku ciepła z wykorzystaniem ciepła z gazów spalinowych. Płyn roboczy przechodzi w stan gazowy i rozpręża się w turbinie bezpośrednio połączonej z generatorem wytwarzającym energię elektryczną. Płyn roboczy jest skraplany w chłodzonym wodą skraplaczu i pompowany z powrotem do wymiennika ciepła. Układ ORC jest wykorzystywany do wytwarzania energii elektrycznej przy użyciu źródeł ciepła o niskiej lub średniej temperaturze (np. ciepła niskiej jakości), zazwyczaj w zakresie od 80ºC do 350ºC.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Odzyskiwanie ciepła odpadowego, które w przeciwnym razie zostałoby utracone na zewnątrz, umożliwiając zmniejszenie zużycia paliwa (lub innych źródeł energii).

W przypadku zakładu Georg Fischer Automotive AG (wykorzystanie ciepła odpadowego poza zakładem - zob. przykładowe zakłady poniżej), obliczona redukcja zużycia energii pierwotnej przez użytkownika końcowego ciepła odpadowego wynosi około 50 000 MWh/rok, co odpowiada redukcji emisji CO_2 o około 11 000 ton.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Kocioł parowy do produkcji energii elektrycznej
Dla dwóch przykładowych instalacji opisanych w Sekcji 3.2.2.1.7, które są wyposażone w system wykorzystania ciepła odpadowego, krótki opis i podstawowe elementy przedstawiono w poniższych akapitach. Dane instalacji podano w Tabeli 3.54.
Zakład G (przykładowy zakład opisany w Sekcji 3.2.2.1.7, dane zakładu podano w Tabeli 3.54) wykorzystuje ciepło odpadowe z żeliwiaka do produkcji energii elektrycznej. Część strumienia gazu wylotowego jest doprowadzana do kotła parowego, który napędza turbinę sprzężoną z generatorem lub sprężarką. Schemat instalacji pokazano na Rysunku 3.10. Łącznie 29% ciepła z dostarczonego koksu jest przekształcane w dodatkowe ciepło użytkowe. Generowane jest około 2,9 MW energii elektrycznej. Oznacza to, że zakład generuje moc elektryczną na poziomie 75 kWh/tonę ciekłego żelaza.

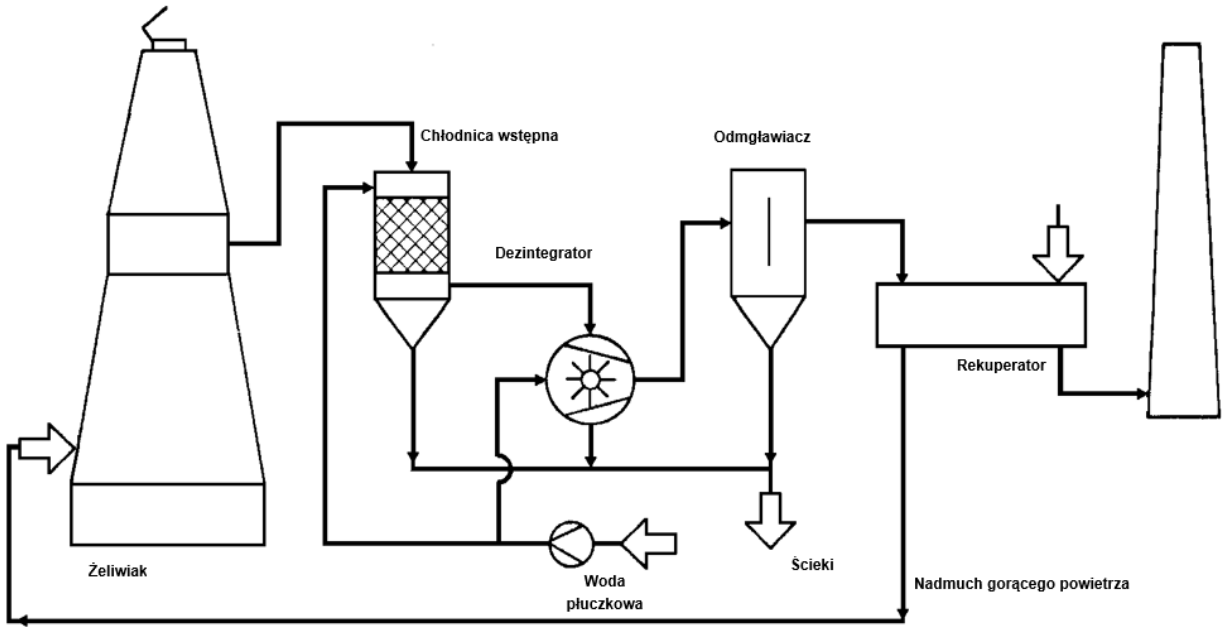


Źródło: [12, Kran, H.-P. i in. 1995]

Rysunek 3.10: Schematyczne przedstawienie żeliwiaka z gorącym dmuchem z kotłem parowym, turbiną i generatorem

Obieg oleju termicznego

Instalacja H (przykładowa instalacja opisana w Sekcji 3.2.2.1.7, dane instalacji podano w Tabeli 3.54) wykorzystuje ciepło odpadowe z żeliwiaka w obiegu oleju termicznego. Po wymianie ciepła na potrzeby wstępnego dmuchu, gaz wylotowy przechodzi przez wymiennik ciepła gaz-olej. Podgrzany olej jest wykorzystywany do suszenia rdzenia. Maksymalny odzysk ciepła wynosi 21 MW. Schemat przepływu procesu przedstawiono na Rysunku 3.11.



Źródło: [7. Strauß 1983]

Rysunek 3.11: Schemat przepływu procesu w żeliwiaku z gorącym dmuchem i odzyskiem ciepła

W innej przykładowej fabryce (Gießerei Heunisch GmbH, DE) zastąpienie powłok na bazie rozpuszczalników powłokami na bazie wody sprawiło, że odzysk i wykorzystanie nadmiaru ciepła odpadowego stało się ekonomicznie korzystne. W 2009 r. w żeliwiaku zainstalowano system ogrzewania olejem termicznym do odzyskiwania nadmiaru ciepła z gazów wylotowych. Aby wykorzystać ciepło odpadowe, zbudowano obieg wtórny (obieg odzysku) między górnym końcem kolektora bezciśnieniowego obiegu pierwotnego (obieg chłodzenia w żeliwiaku) a przewodem obiegowym (DN-125 mm) i - przez dach - do obszaru suszenia instalacji. W przypadku, gdyby istniały dodatkowe punkty poboru ciepła odpadowego, z obiegiem można zintegrować dodatkowe gniazda. Gorący olej w obiegu wtórnym osiąga temperaturę około 210°C. Aby wykorzystać część tego ciepła odpadowego na potrzeby lakierni, w tunelu suszącym zainstalowano pięć wymienników ciepła na olej termiczny. Podstawowa charakterystyka nowego systemu została przedstawiona w poniższej tabeli.

Tabela 3.9: Podstawowa charakterystyka nowego systemu odzysku ciepła odpadowego

Data rozpoczęcia działalności	4 kwartał 2009 r. (rzeczywisty system) 2 kwartał 2010 r. (rozszerzenie wykorzystania ciepła odpadowego)
Czas pracy:	Praca od poniedziałku do piątku w systemie trzyzmianowym
Wymagania dotyczące obszaru	1 700 m^3
Wydajność - odlewy przy natężeniu przepływu	6 500 kg/h
Zainstalowana moc elektryczna	335 kW
Zainstalowana moc palnika na gaz ziemny	2 250 kW
Zużycie energii	1 728 028 kWh w 2010 r.
Zużycie gazu	118 078 m^3/rok w porównaniu do 1 315 400 kWh w 2010 r.
Źródło:[133. DE UBA 2014].	

Zużycie gazu do suszenia zmniejszyło się o około 30% z około 25,5 m^3/h do 18,2 m^3/h. Należy zauważyć, że żeliwiak pracował na dwie zmiany, podczas gdy lakiernia na trzy. W przypadku pracy żeliwiaka na trzy zmiany, okres odzysku ciepła odpadowego jest dłuższy, a potencjał odzysku ciepła wzrasta.

Ogrzewanie pomieszczeń i/lub podgrzewanie wody na potrzeby urządzenia do oczyszczania odlewów

W odlewni aluminium piece opalane paliwem są podłączone do systemu wymienników ciepła, który ogrzewa pomieszczenia i wodę dla urządzenia do oczyszczania odlewów. Po zamknięciu bezpośredniego połączenia z

kominem gazy wydechowe przepływają przez obejście do wymiennika ciepła, który przekazuje ciepło technologiczne do obiegu wody.
W piecu tym osiągnięto wysoką efektywność wykorzystania zasobów i dobrą izolację, aby móc wykorzystać jak najwięcej ciepła topienia. Jednocześnie dzięki specjalnej konstrukcji komory spalania powstają niewielkie ilości gazów wydechowych. Zastosowano zasadę odwróconego przepływu powietrza, dzięki czemu gazy powstające podczas procesu topienia nie są odprowadzane bezpośrednio przez komin, ale pozostają dłużej w piecu (Rysunek 3.12).

W przykładowym zakładzie JURA CAST GmbH (zobacz przykładowe zakłady poniżej) roczna zdolność produkcyjna odlewni aluminium wynosi około 300 000 odlewów, głównie dla producentów samochodów osobowych i ciężarowych, międzynarodowego przemysłu maszynowego oraz technologii medycznej. To średniej wielkości przedsiębiorstwo zatrudnia obecnie około 200 pracowników.



Źródło: [133. DE UBA 2014]

Rysunek 3.12: Układy wydechowe czterech pieców połączonych z wymiennikami ciepła w celu przenoszenia ciepła gorących gazów z procesu topienia do obwodu grzewczego

Dzięki dwóm wymiennikom ciepła, jednym dla dużego pieca do topienia i jednym dla trzech małych systemów, ogrzewany jest zbiornik magazynowy o pojemności 30 000 litrów, który dostarcza ciepło do 80 % powierzchni budynku przedsiębiorstwa. Ponadto z tego zbiornika ogrzewany jest system myjni gotowych odlewów. Duży piec do topienia posiada dwa palniki o mocy 1000 kW każdy, a przepływ energii cieplnej po procesie topienia do wymiennika ciepła wynosi około 35% do 40%. Wymiennik ciepła jest w stanie przekazać około 75% przychodzącego ciepła do zbiornika.



Źródło: [133. DE UBA 2014]

Rysunek 3.13: Największy piec po opuszczeniu na podłogę

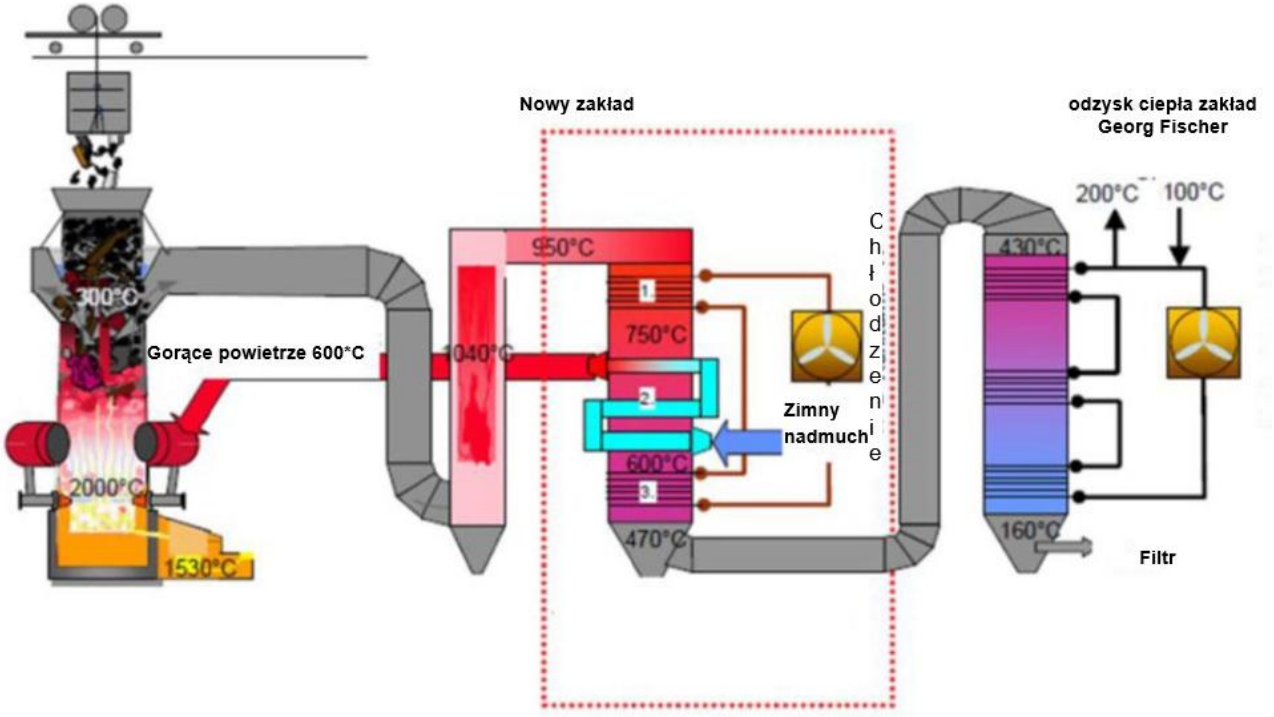
Ponadto w konkretnym przypadku przykładowej instalacji uproszczono system czyszczenia. Ponieważ piec jest osadzony na głębokości około 70 cm pod ziemią, można go łatwo czyścić bez cokołów i innych elementów po obu stronach (zob. Rysunek 3.13). Podczas czyszczenia wszystkie obszary są dostępne przez duże otwory. Aby opróżnić cały stop, piec przechyla się do wnęki w podłodze, w której znajduje się kadź transportowa.

Następnie jest ona podnoszona hydraulicznie do góry.

Wykorzystanie ciepła odpadowego poza zakładem

Georg Fischer Automotive AG w Singen produkuje odlewy z żeliwa sferoidalnego do samochodów osobowych i ciężarowych. W żeliwiaku z gorącym dmuchem odlewa się łącznie 200 000 ton metali rocznie. Bogate w CO gazy wylotowe są poddawane dopalaniu, osiągając temperaturę do 900 °C. Gazy wylotowe muszą zostać schłodzone przed wejściem do systemu oczyszczania.

Ciepło odpadowe jest odprowadzane do pobliskiego zakładu przetwórstwa spożywczego za pomocą obiegu oleju termicznego. W 2008 roku zakład Georg Fischer Automotive AG zastąpił istniejący rekuperator 2,5 razy bardziej wydajnym. Nadmiar ciepła jest wykorzystywany do ogrzewania oleju termicznego, który jest pompowany przez system rurociągów o długości 400 metrów w kotłowni zakładu przetwórstwa spożywczego. Olej termiczny o temperaturze 280°C jest tam wykorzystywany w wymienniku ciepła do produkcji pary nadającej się do kontaktu z żywnością. Zakład przetwórstwa spożywczego spodziewa się około 67% oszczędności w zużyciu gazu ziemnego, który był wcześniej wykorzystywany do produkcji pary nadającej się do kontaktu z żywnością.



Źródło:[133. DE UBA 2014].

Rysunek 3.14: Schemat zastosowania odzysku ciepła poza zakładem z żeliwiaka z wykorzystaniem obwodu oleju termicznego

Tabela 3.10: Porównanie danych dotyczących energii przed i po przebudowie rekuperatora

	Sytuacja przed przebudową	Sytuacja po przebudowie
Maksymalna energia do odzysku	25 MW	30 MW
Zużyta energia		
Gorący dmuch	7 MW	7 MW
Gorąca woda	6 MW	6 MW
Użycie zewnętrzne	0 MW	10 - 14 MW
Ogółem	13 MW	23 - 27 MW
Źródło:[133. DE UBA 2014].		

Zastosowania organicznego cyklu Rankine'a (ORC)

Zgłoszono kilka zastosowań ORC w odlewniach (zob. sekcja *Przykładowe zakłady* poniżej).

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Zastosowanie może być ograniczone przez brak wystarczającego zapotrzebowania na ciepło.

Technika ta ma zastosowanie w nowych instalacjach i należy ją uwzględnić podczas projektowania procesu. W przypadku istniejących zakładów technikę tę można zastosować podczas gruntownej ich modernizacji, jednak niewielkie urządzenia dodatkowe można zazwyczaj dostosować do istniejących zakładów.

Nadwyżka energii z pieca odlewni musi zaspokajać potrzeby użytkownika końcowego. Kluczowe znaczenie ma niewielka odległość między miejscem produkcji a miejscem wykorzystania ciepła. Maksymalną odległość należy określić indywidualnie dla każdego przypadku.

Ekonomika
Pierwsze dwa podane przykłady (dla zakładów G i H) zostały zainstalowane w ramach gruntownej przebudowy instalacji. Nie jest zatem możliwe uzyskanie konkretnych danych dotyczących kosztów.

W trzecim przykładzie (Gießerei Heunisch GmbH, Niemcy, wykorzystanie ciepła odpadowego na terenie zakładu) podano następujące dane:

- Dodatkowe koszty inwestycyjne związane z integracją ciepła odpadowego z obszarem suszenia wyniosły około 1,4 mln EUR (dane z 2013 r.). Koszty te zostały uwzględnione wyłącznie proporcjonalnie.
- Dzięki wykorzystaniu ciepła odpadowego do procesu suszenia farb koszty produkcji można zmniejszyć o około 20–25 % w porównaniu z procesem suszenia farb przy użyciu wyłącznie palników na gaz ziemny.
- Koszty konserwacji i napraw wynoszą około 20 000 EUR rocznie (dane z 2013 r.).

Dla przykładu wykorzystania ciepła odpadowego poza zakładem (Georg Fischer Automotive AG):

- nakłady inwestycyjne na odlewnię wyniosły około 3,5 mln EUR (dane z 2013 r.);
- inwestycja w zakład przetwórstwa spożywczego wyniosła około 1,5 mln EUR.

W teoretycznym przypadku kosztów energii pierwotnej wynoszących 5 centów/kWh czas całkowitej amortyzacji inwestycji wyniesie mniej niż 3 lata.

Dla przykładowego zakładu JURA CAST GmbH (ogrzewanie pomieszczeń i/lub podgrzewanie wody dla urządzenia do oczyszczania odlewów) koszty inwestycyjne związane z wymiennikami ciepła, rurociągami, zmianami konstrukcyjnymi i podłączeniem do centralnego systemu grzewczego wyniosły około 100 000 EUR.

Siła napędowa wdrażania
- Zwiększenie efektywności energetycznej procesów przemysłowych.
- Korzyści ekonomiczne i środowiskowe.

Przykładowe zakłady
- Technika szeroko stosowana. Powszechnie stosowane. W zbiorze danych SF 20 zakładów zgłosiło odzysk ciepła z pieców indukcyjnych, a 11 zakładów zgłosiło odzysk ciepła z żeliwiaków.
- Pierwsze dwa wspomniane przykładowe zakłady (G oraz H) znajdują się w Niemczech.
- Obieg oleju termicznego: Gießerei Heunisch GmbH, Niemcy.
- Wykorzystanie ciepła odpadowego poza zakładem: Georg Fischer Automotive AG, Niemcy.
- Ogrzewanie pomieszczeń i/lub podgrzewanie wody na potrzeby urządzenia do oczyszczania odlewów: JURA CAST GmbH, Niemcy
- Zastosowania ORC:
  - Schulte and Schmidt, Brasov, Romani [192. Pocolaa i in. 2017]
  - Odlewnia FMGC, Francja [187. Baret 2014].
  - Niemiecka odlewnia: [207. J. Lechner 2016].
  - DE049 [169. TWG 2021].

Literatura źródłowa
[7. Strauß 1983], [12. Kran, H.-P. i in. 1995], [100. TWG 2002], [133. DE UBA 2014], [169. TWG 2021], [187. Baret 2014], [192. Pocolaai in. 2017], [207. J. Lechner 2016]

3.2.1.3.14 Wstępne podgrzewanie powietrza do spalania

Opis
Ponowne wykorzystanie części ciepła odzyskanego z gazów spalinowych do podgrzania powietrza używanego do spalania. Można to uzyskać na przykład poprzez zastosowanie palników regeneracyjnych lub

rekuperacyjnych (zobacz poniżej). Należy osiągnąć równowagę między maksymalnym odzyskiem ciepła z gazów spalinowych a minimalizacją emisji NO_X.

Szczegóły techniczne

W celu poprawy sprawności cieplnej pieców, gazy wydechowe z pieca mogą być wykorzystane do podgrzewania powietrza do spalania. Sprawność cieplna wzrasta wraz ze wzrostem temperatury podgrzewanego powietrza i spadkiem temperatury gazów odlotowych. Potencjalne oszczędności paliwa uzyskane dzięki podgrzewaniu powietrza do spalania mogą być różne w zależności od konkretnego przypadku.

Można zastosować kilka systemów, takich jak palniki regeneracyjne i rekuperacyjne lub centralne rekuperatory i regeneratory obrotowe. Zostały one opisane bardziej szczegółowo poniżej.

Palniki regeneracyjne

Systemy regeneracyjne wykorzystują dwa zestawy wymienników ciepła, zawierające na przykład cegły kratówki lub kulki ceramiczne. Gdy jeden palnik jest rozpalony, gazy z pieca są kierowane przez drugi palnik. Gazy wydechowe przechodzą przez regenerator zawierający złoże materiałów ogniotrwałych lub ceramicznych. Materiały ogniotrwałe są ogrzewane przez gazy wydechowe i magazynują energię, która jest następnie wykorzystywana do podgrzewania powietrza do spalania. Gdy materiały ogniotrwałe są w pełni rozgrzane, palnik wypalający jest wyłączany, a palnik regeneracyjny uruchamiany. Typowy czas odwrócenia wynosi od 20 do 100 sekund.

Opracowano nowe palniki regeneracyjne o niskiej zawartości NO_X, łączące regenerację ze sprzężonym etapowaniem gazu i powietrza, wewnętrzną recyrkulacją produktów spalania i technologiami bezpłomieniowymi.

Specjalnym rodzajem palnika regeneracyjnego jest palnik ze zintegrowanym złożem, który ma bardziej zwartą konstrukcję, ponieważ złoże regeneracyjne jest wbudowane w korpus palnika. Tego typu palniki są szczególnie odpowiednie do modernizacji pieców, w których problemem mogą być ograniczenia przestrzenne oraz do małych pieców.

Palniki rekuperacyjne

Rekuperator to wymiennik ciepła zamontowany na wylocie gazów wydechowych, który umożliwia ciągłe przekazywanie ciepła przez powierzchnie grzewcze do napływającego powietrza do spalania. Dostępne są różne konstrukcje urządzeń. Palniki samorekuperacyjne posiadają zintegrowane wymienniki ciepła do wstępnego podgrzewania powietrza do spalania.

Więcej informacji na temat palników regeneracyjnych i rekuperacyjnych można znaleźć w dokumencie BREF dla przemysłu przetwórstwa metali żelaznych [168. COM 2022].

Centralne rekuperatory

Za pomocą centralnego rekuperatora ciepła można zaabsorbować znaczną część energii cieplnej odpadów i przekazać ją do innego płynu. Korzystając z centralnych rekuperatorów, można uzyskać oszczędności w zużyciu paliwa do 60%. Typowe konstrukcje to na przykład rekuperatory radiacyjne lub konwekcyjne.

W przypadku rekuperatora radiacyjnego wewnętrzna rura przenosi gorące gazy wydechowe, podczas gdy zewnętrzny pierścień przenosi powietrze do spalania z atmosfery do wlotów powietrza palników pieca. Gorące gazy są chłodzone przez napływające powietrze do spalania, które teraz przenosi dodatkową energię do komory spalania. Jest to energia, która nie musi być dostarczana przez paliwo; w konsekwencji spala się mniej paliwa dla danego wsadu pieca. Oszczędność paliwa oznacza również zmniejszenie ilości powietrza do spalania, a zatem straty kominowe są zmniejszane nie tylko poprzez obniżenie temperatury gazów kominowych, ale także poprzez odprowadzanie mniejszych ilości gazów wydechowych. W przypadku rekuperatora radiacyjnego znaczna część wymiany ciepła z gorących gazów do powierzchni rury wewnętrznej odbywa się poprzez radiacyjną wymianę ciepła.

W przypadku rekuperatorów konwekcyjnych gorące gazy są przenoszone przez szereg równoległych rur o małej średnicy, podczas gdy wchodzące powietrze, które ma być ogrzane, wchodzi do powłoki otaczającej rury i przechodzi nad gorącymi rurami jeden lub kilka razy w kierunku prostopadłym do ich osi. Zazwyczaj tego typu rekuperatory są bardziej kompaktowe i mają wyższą sprawność niż rekuperatory radiacyjne, ze względu na większy obszar wymiany ciepła możliwy dzięki zastosowaniu wielu rur oraz wielokrotnych przejść gazów. [217. UNEP 2006]

Regeneratory obrotowe

W regeneratorze obrotowym gazy odlotowe i powietrze do spalania poruszają się w przeciwnych kierunkach,

podczas gdy stale obracający się element przecina oba strumienie. Element obrotowy jest porowatą strukturą składającą się z masy cienkich płytek z materiału metalicznego lub ceramicznego. Najlepszą wydajność uzyskuje się przy użyciu drobnych porów o wysokim stosunku powierzchni do objętości. Przenoszenie ciepła odbywa się poprzez wycieranie. Obie strony powierzchni są naprzemiennie omiatane gorącymi gazami i powietrzem. Regeneratory obrotowe stanowią odmianę obrotowych wymienników ciepła (kół termicznych) (zob. [217. UNEP 2006]).

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Zmniejszenie zużycia energii.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Zobacz [168. COM 2022].

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Może wzrosnąć wytwarzanie termicznych NO_X [168. COM 2022].

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika
[168. COM 2022], [210. TWG 2022].

Siła napędowa wdrażania
Zmniejszenie zużycia energii.

Przykładowe zakłady
Nie dostarczono danych.

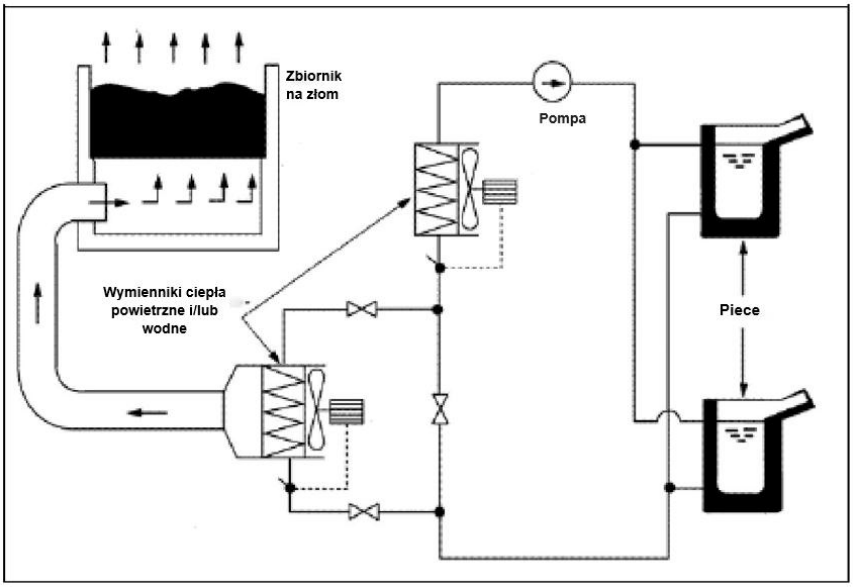
Literatura źródłowa
[168. COM 2022], [169. TWG 2021], [177. COM 2009], [217. UNEP 2006]

3.2.1.3.15 Wykorzystanie ciepła odpadowego w piecach indukcyjnych

Opis
Ciepło odpadowe z układu chłodzenia pieca indukcyjnego jest odzyskiwane za pomocą wymienników ciepła i służy do suszenia surowców (np. złomu), ogrzewania pomieszczeń lub dostarczania ciepłej wody.

Szczegóły techniczne
Znaczna część energii elektrycznej dostarczanej do indukcyjnego pieca topielnego jest przekształcana w ciepło odpadowe. Około 20-30% całkowitej energii doprowadzanej do instalacji jest rozpraszane przez układ chłodzenia. Obwód chłodzenia pieca nie tylko radzi sobie ze stratami elektrycznymi w cewce indukcyjnej, ale także chroni cewkę przed ciepłem przewodzonym przez okładzinę pieca, pochodzącym od gorącego metalu w tyglu. Ciepło w układzie chłodzenia pieca jest wykorzystywane w niektórych instalacjach do ogrzewania pomieszczeń, podgrzewania wody prysznicowej i suszenia surowców.

- *Suszenie surowców*: W przypadku, gdy metaliczne materiały wsadowe są dodawane do stopionego metalu w piecu indukcyjnym, obecność wody w złomie może być potencjalnie bardzo niebezpieczna. Chociaż złom może być przechowywany pod przykryciem w odlewni, możliwe jest, że może być mokry, gdy zostanie dostarczony przez sprzedawcę złomu. Ciepło z wody chłodzącej piec może być odprowadzane do wymiennika ciepła powietrze/woda, a wentylator może być używany do przenoszenia ogrzanego powietrza do podstaw (podłogi) zbiorników magazynowych. Schematyczny układ takiej instalacji pokazano na Rysunku 3.15.



Źródło: [23. ETSU 1992].

Rysunek 3.15: Wykorzystanie ciepła odpadowego do suszenia złomu

- *Ogrzewanie pomieszczeń i dostarczanie ciepłej wody*: System podobny do omówionego powyżej może być wykorzystywany do wdmuchiwania gorącego powietrza do hali odlewni w celu ogrzewania pomieszczeń. Alternatywnie, wymiennik ciepła woda/woda jest wykorzystywany do ogrzewania obiegu wody do grzejników lub do dostarczania ciepłej wody.

Ponieważ temperatura wody chłodzącej w układzie bezciśnieniowym zwykle nie przekracza 60-70°C, grzejniki wymagają bardzo dużych powierzchni, aby skutecznie przenosić ciepło. Alternatywnie, temperaturę wody można podnieść za pomocą innego źródła ciepła, takiego jak dodatkowe palniki gazowe lub olejowe lub grzejnik elektryczny. Alternatywny system ogrzewania może być wymagany do przejęcia zadań, gdy piece nie działają, na przykład wcześnie rano, aby podnieść temperaturę w miejscach pracy do komfortowego poziomu. Normalne urządzenia chłodzące pieca muszą działać w okresie letnim i w innych okresach, gdy urządzenia do ogrzewania pomieszczeń nie pobierają odpowiedniej ilości ciepła z systemu chłodzenia pieca. Niezbędne jest zapewnienie integralności systemu chłodzenia pieca. Cała instalacja musi być zaprojektowana tak, aby była odporna na awarie, aby chronić integralność pieców przez cały czas. Ponadto woda powracająca do pieców nie może być zbyt zimna (tj. nie może mieć temperatury niższej niż 30ºC). Należy zapewnić alarmy sterowane temperaturą oraz zainstalować awaryjne przewody obejściowe z łatwo dostępnymi ręcznymi zaworami sterującymi, aby zagwarantować, że urządzenia do odzysku ciepła mogą być szybko odłączone od głównego obiegu chłodzenia w przypadku jakichkolwiek problemów.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Zwiększona efektywność energetyczna.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Nie zgłoszono żadnych oddziaływań tego rodzaju.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
W belgijskiej odlewni zainstalowano system odzysku ciepła wykorzystujący olej chłodzący z pieców indukcyjnych. Odlewnia eksploatuje dwa piece indukcyjne w połączeniu z żeliwiakiem. Induktory pieców elektrycznych są chłodzone olejem termicznym. Olej termiczny nagrzewa się do temperatury 200-300ºC i oddaje ciepło na zewnętrznym wymienniku ciepła olej/powietrze. Przed zainstalowaniem systemu odzysku ciepła 1 MW ciepła było rozpraszane do powietrza. Zainstalowano alternatywny system wykorzystujący ciepło odpadowe do ogrzewania pomieszczeń. Ogrzane powietrze jest wprowadzane do rdzeniarni. Pozwala to na odzyskanie jednej trzeciej rozpraszanego ciepła i zastąpienie pierwotnego systemu ogrzewania gazowego. Wdrożenie było możliwe przy niskich kosztach, ponieważ wymiennik ciepła olej/powietrze jest zainstalowany obok rdzeniarki. Ogrzewanie pomieszczeń w innych częściach odlewni można rozważyć w późniejszym terminie, ale będzie to wymagało dodatkowych przewodów rurowych (a tym samym spowoduje dalsze straty).

Zanim będzie można zastosować odzysk ciepła, należy spełnić kilka kryteriów:

- W pobliżu musi znajdować się miejsce, w którym można wykorzystać ciepło odpadowe, a czas, w którym można je wykorzystać, musi pokrywać się z czasem pracy pieca. Zwykle jednak dostępne ciepło jest dość niskiej jakości. Temperatura wody chłodzącej nie może przekraczać 70ºC.
- Stosunkowo niskie temperatury oznaczają, że wymienniki ciepła muszą być znacznie większe niż te, które spotyka się zwykle.
- Woda z pieca nie może być zawracana do pieców w temperaturze niższej niż około 30ºC, ponieważ może to spowodować problemy z kondensacją.
- Utrzymanie integralności obwodów chłodzących jest absolutnie niezbędne. Obwód chłodzący służy do ochrony cewki – jeśli nie spełnia swojej funkcji, skutki mogą być katastrofalne.

Powyższe aspekty, w szczególności kwestia integralności pieca, zniechęcają większość operatorów pieców do rozważania wykorzystania ciepła z obwodu chłodzącego.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika
Odlewnia, która chce wykorzystać ciepło z obiegu chłodzącego, musi dokładnie ocenić korzyści, a następnie porównać je z kosztami dodatkowego wyposażenia oraz bezpieczeństwem pieca i operatorów.

Siła napędowa wdrażania
Zwiększenie efektywności energetycznej w odlewni.

Przykładowe zakłady
Ogrzewanie pomieszczeń gorącym powietrzem: odlewnia Proferro [BE022 w zbiorze danych SF BREF], Oudenaarde (BE).
Odlewnia Metso Paper Jyväskylä (FI).
Odlewnie żeliwa (np. DE061, ES085, FI102, DE042, AT010, DE067, CZ026, SE150, DE069) i odlewnie NFM (np. FR116, AT003, DE072, DE066, DE048) [169. TWG 2021].

Literatura źródłowa
[23. ETSU 1992], [169. TWG 2021]

3.2.1.4 Efektywność wykorzystania materiałów

3.2.1.4.1 Przechowywanie i postępowanie z pozostałościami, opakowaniami i niewykorzystanymi chemikaliami technologicznymi

3.2.1.4.1.1 Odpowiednie przechowywanie różnych rodzajów pozostałości

Opis
Technika ta obejmuje następujące elementy:

•Pył z filtrów tkaninowych jest składowany na nieprzepuszczalnych powierzchniach, w zamkniętych pomieszczeniach i w zamkniętych pojemnikach/workach.

- Inne rodzaje pozostałości (np. żużel, zgary, zużyte okładziny ogniotrwałe pieców) są składowane oddzielnie od siebie na nieprzepuszczalnych powierzchniach w zadaszonych miejscach chronionych przed spływem powierzchniowym.

Szczegóły techniczne
Miejsce składowania różnych rodzajów odpadów jest zorganizowane i zarządzane zgodnie z rodzajem odpadów, aby uniknąć ich potencjalnego zmieszania oraz ułatwić dalsze procesy zarządzania, np. odzyskiwanie, ponowne wykorzystanie, recykling, unieszkodliwianie.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
- ułatwienie późniejszego zarządzania pozostałościami,
- zmniejszenie zanieczyszczenia wód gruntowych i gleby.
- Ponadto, redukcja emisji rozproszonych do powietrza (zob. Sekcja 3.2.1.5).

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Nie dostarczono danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika
Nie dostarczono danych.

Siła napędowa wdrażania
- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady
Technika szeroko stosowana.

Literatura źródłowa
[169. TWG 2021].

3.2.1.4.1.2 Ponowne wykorzystanie własnego złomu

Opis
Ponowne wykorzystanie własnego złomu (przez siebie wytworzonego) bezpośrednio lub po przetworzeniu. Stopień ponownego wykorzystania własnego złomu zależy od zawartości zanieczyszczeń.

Szczegóły techniczne

Odlewnie metali żelaznych
Własny złom powstaje podczas odcinania końcówek z podajników i kanałów, kontroli jakości oraz podczas operacji wykańczających. Względną ilość wytworzonego własnego złomu można obliczyć na podstawie uzysku metalu określonego i opisanego w Sekcji 3.2.1.4.2. W celu zminimalizowania wytwarzania pozostałości własny złom jest zawracany do pieca jako metal złomowy.

W odlewniach stali wykorzystanie 100 % metalu zwrotnego jest rzadkością ze względu na ilość rozpuszczonego gazu. Operatorzy uważają, że maksymalna ilość metalu zwrotnego (podajniki, złom z odlewów itp.) w metalowym wsadzie wynosi 60 %. Wióry i ścinki mogą powodować nadmierne utlenianie się stopionego metalu.

Recykling/ponowne wykorzystanie własnego złomu może być również ograniczone w przypadku topienia żeliwa sferoidalnego, ponieważ podczas obróbki metalu do ciekłego żelaza dodaje się duże ilości krzemu (w większości przypadków około 1 %). W niektórych przypadkach ponowne przetopienie całego własnego złomu nie jest możliwe, ponieważ końcowa zawartość krzemu byłaby zbyt wysoka (zazwyczaj 2,5–3 % w odlewach).

W przypadku żeliwa szarego lub sferoidalnego, ołów lub bizmut są bardzo szkodliwe dla właściwości metalu po zestaleniu. W przypadku wystąpienia zanieczyszczenia, zwroty (własny złom) nie mogą być poddane recyklingowi.

Odlewnie magnezu
Dwie główne techniki wewnętrznego recyklingu metalu w odlewniach magnezu są następujące:

Recykling „in cell”
Czyste końcówki z podajników można topić bezpośrednio w piecach do topienia. Ze względu na tlenki i inne wtrącenia możliwa ilość recyklingu jest ograniczona. Konieczne jest specjalistyczne wyposażenie do dokładnej kontroli analitycznej i metalograficznej.

Recykling „in house”
Tutaj złom jest przetwarzany i poddawany recyklingowi w oddzielnym zakładzie recyklingu na terenie odlewni. Można zastosować dwie techniki:

- *Przetapianie beztopnikowe (bez użycia topników) (fluxless remelting):* przetapianie złomu magnezowego pod osłoną gazu w piecu płomiennym; stosowane wyłącznie w przypadku złomu klasy 1. Zaletą tej metody jest niewielka dodatkowa inwestycja i niskie zużycie energii.
- *Przetapianie pod osłoną soli (salt remelting):* przetapianie złomu magnezowego pod osłoną soli. Ma zastosowanie do przetwarzania wszystkich klas złomu z wyjątkiem zużytych topników i szlamu (nieprzetworzonego). Jeśli używany jest wyłącznie złom klasy 1–2, można produkować stopy magnezu HP (o wysokiej czystości).

Obie techniki mogą być stosowane do produkcji wlewek Mg lub stopionego metalu do ładowania w stanie

ciekłym.

Zarówno podczas przetapiania beztopnikowego, jak i pod osłoną soli powstają zgary (pływy na powierzchni stopu) i szlamy (osady na dnie stopu), a także pozostałości zawierające resztki metalu (70–80 % Mg w przypadku szlamów, 60–90 % Mg w przypadku zgarów). Istnieją trzy opcje odzyskiwania zawartości metalu:

- przetapianie pod osłoną soli (w tym samym lub oddzielnym piecu);
- przetapianie w przemyśle aluminiowym;
- wykorzystanie do odsiarczania żelaza lub stali.

Jeśli złom jest przetapiany w piecu do przetapiania beztopnikowego, przetopienie pod osłoną soli zgarów i szlamu wymaga użycia oddzielnego pieca.

Przetapianie złomu klasy mieszanej odbywa się za pomocą przetapiania pod osłoną soli. Złom mieszany łom wymaga wstępnej obróbki. Tabela 3.11 zawiera zestawienie danych dotyczących materiałów wejściowych oraz produktów wyjściowych instalacji do wstępnej obróbki.

Tabela 3.11: Materiały wejściowe oraz produkty wyjściowe dla zakładu przetwarzania złomu magnezu

Materiały wejściowe	**Sprzęt**	**Produkty wyjściowe**	**Technologia końca rury**
- Zaolejone lub mokre wióry magnezowe (> 2 % oleju/wody) - Energia elektryczna	**Wirówka**	- Wióry magnezowe (< 2% oleju/wody) - Emulsja olejowo-wodna	
- Odwirowane i wszystkie inne wióry - Energia elektryczna	**Prasa do wiórów (T = 400 °C)**	- Prasowanie (brykietowanie) wiórów - Powietrze wylotowe	Separator cząstek stałych dla odparowanego oleju
- Końcówki z podajników, odrzucone odlewy - Zgary (bez soli, z procesu odlewniczego) - Energia elektryczna	**Rozdrabniacz (jeśli konieczny)**	- Rozdrobniony materiał - Pył	
Źródło: [100. TWG 2002].			

Odzysk metalu z ponownie przetopionych pozostałości soli odbywa się poprzez rozdrabnianie na sucho i przesiewanie z separacją magnetyczną lub przy użyciu systemu mycia na mokro. System mokry pozwala uzyskać frakcję magnezu i szlam, który po odwodnieniu może być wykorzystany w przemyśle nawozowym.

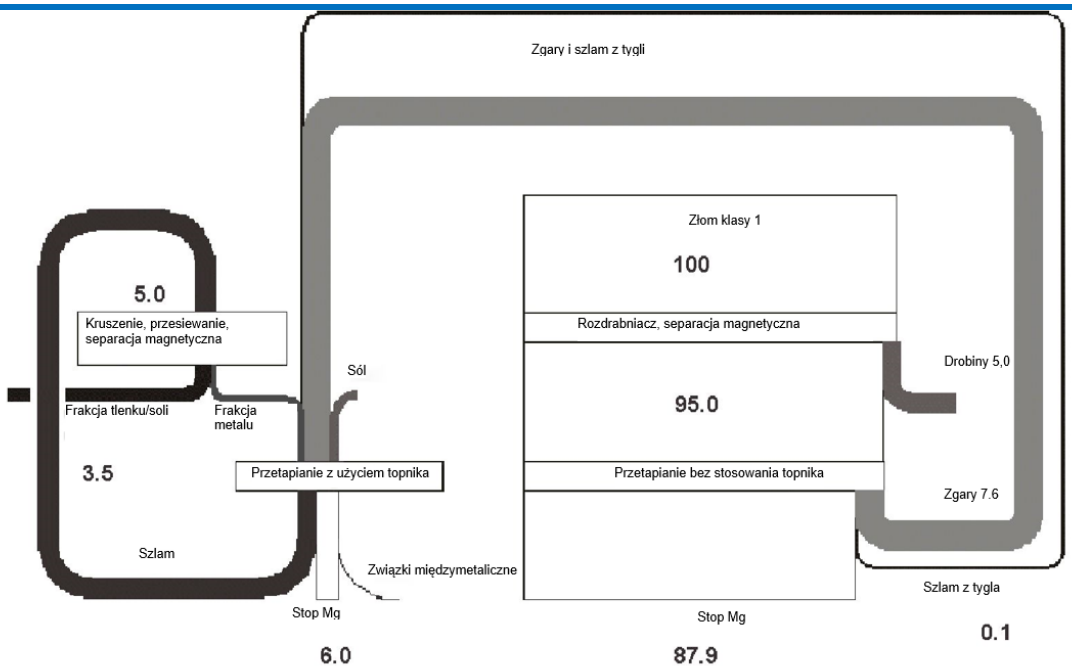
Osiągnięte korzyści dla środowiska

- Główną korzyścią jest optymalizacja recyklingu metalu.
- Minimalizacja pozostałości poprzez recykling surowców.
- Recykling wewnętrzny ma dodatkową zaletę w postaci eliminacji transportu do zewnętrznego zakładu recyklingu. Wydajność recyklingu metali jest zwiększona dzięki topnieniu specyficznemu dla danego rodzaju metalu.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

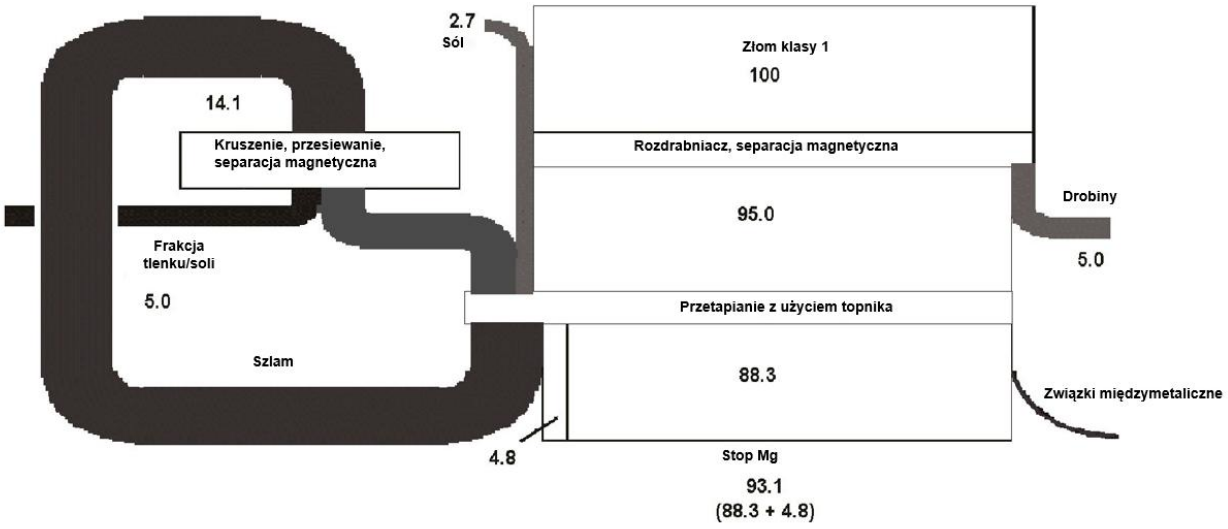
Odlewnie magnezu

Eksperymentalne schematy przepływu masowego dla przetapiania złomu klasy 1 przedstawiono na Rysunku 3.16 oraz Rysunku 3.17. Obejmują one przetapianie szlamu i zgarów na terenie zakładu.



Źródło: [104. Ditze i in. 2000]

Rysunek 3.16: Schemat przepływu masy dla przetapiania beztopnikowego złomu magnezu klasy 1



Źródło: [104. Ditze i in. 2000]

Rysunek 3.17: Schemat przepływu masy dla przetapiania pod osłoną soli złomu magnezu klasy 1

Dane operacyjne z zakładu przetapiania pod osłoną soli o wydajności 2000 ton/rok dla mieszanych odpadów poddanych obróbce (3 piece o wydajności 600 kg każdy) wskazują na następujące poziomy zużycia soli: 3,4 kg/tonę odpadów oraz gazu ziemnego: 26,5 Nm^3/tonę odpadów.

Przetwarzanie na mokro frakcji soli daje frakcję magnezu (43%) oraz szlam (57%). Osad jest odwadniany za pomocą membranowej prasy filtracyjnej, a woda jest ponownie wprowadzana do procesu.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
W przypadku odlewni metali żelaznych nie występuje.
W przypadku odlewni magnezu przetapianie beztopnikowe wymaga użycia gazów ochronnych zawierających siarkę.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ta ma zastosowanie do wszystkich nowych i istniejących instalacji.

Ekonomika

W przypadku odlewni metali żelaznych technika ta nie wiąże się z żadnymi dodatkowymi kosztami.

W przypadku odlewni magnezu dostępne są następujące informacje.
Szacuje się, że koszty recyklingu zewnętrznego wynoszą około 1 200 EUR za tonę, w zależności od rodzaju zastosowanego transportu, jego odległości oraz lokalnego rynku. Koszty recyklingu wewnętrznego (na terenie zakładu) wynoszą 500 EUR/tonę, co stanowi różnicę 700 EUR/tonę. W przypadku pojedynczego zakładu produkującego 1 500 ton materiału do recyklingu rocznie oznacza to potencjalne oszczędności w wysokości ponad miliona euro rocznie.

Podane dane są ogólne i muszą być dostosowane indywidualnie dla każdego przedsiębiorstwa. W zależności od wykorzystywanych produktów i procesów, należy wziąć pod uwagę wydatki potrzebne na segregację odpadów. Odpady muszą być zbierane indywidualnie dla każdego stopu i każdej procedury.

Kolejnymi czynnikami o dużym wpływie są:

- amortyzacja (około 10% w okresie amortyzacji wynoszącym 5 lat);
- koszty osobowe (35 - 40%);
- koszt nowego materiału (około 30%) celem uzupełnienia strat materiałowych (szacunkowo 7%);
- koszty energii, konserwacji, części zamiennych, soli, utylizacji (20-25%).

Amortyzacja zakładu stosującego metodę z topnikiem i z dwoma piecami wynosi od 8 do 11 miesięcy. Amortyzacja instalacji pracującej w trybie ciągłym o wydajności 500 kg magnezu na godzinę prawdopodobnie potrwa kilka miesięcy dłużej.

Siła napędowa wdrażania
- Minimalizacja pozostałości, optymalne wykorzystanie metalu.
- Wymogi prawne.
-

Przykładowe zakłady
Technika ta jest stosowana we wszystkich europejskich odlewniach metali żelaznych.
Dla odlewni magnezu: TCG Unitech, Kirchdorf/Krems (A) stosuje recykling na własnym terenie.
W Europie nie odnotowano żadnych zakładów podlegających Dyrektywie IED, które zajmują się beztopnikowym przetapianiem, chociaż technologia topienia jest stosowana w Europie.

Literatura źródłowa
[100. TWG 2002], [104. Ditze i in. 2000], [118. Rauch i in. 2003], [169. TWG 2021], [210. TWG 2022]

3.2.1.4.1.3 Ponowne użycie/recykling opakowań

Opis
Opakowania chemikaliów technologicznych dobiera się tak, aby ułatwić ich całkowite opróżnienie (np. uwzględniając wielkość otworu opakowania lub rodzaj materiału opakowaniowego). Po opróżnieniu opakowania są ponownie wykorzystywane, zwracane do dostawcy lub przekazywane do recyklingu materiałowego. Preferowane jest przechowywanie chemikaliów technologicznych w pojemnikach o dużych rozmiarach.
Szczegóły techniczne
Rodzaje opakowań stosowanych do chemikaliów technologicznych są dostosowane do warunków użytkowania i obejmują duże pojemniki do przewozu luzem (DPPL), worki typu big bag, pojemniki, pojemniki metalowe, worki plastikowe lub papierowe.

DPPL, wiadra, pojemniki i zbiorniki
Opakowania na chemikalia, takie jak DPPL, wiadra, pojemniki i zbiorniki na gotowe do użycia roztwory, mieszaniny substancji czynnych, opróżnia się bez użycia wody: grawitacyjnie i poprzez zeskrobanie wewnętrznej powierzchni, jeśli to możliwe.

Następnie opróżnione opakowania są przechowywane w odpowiedni sposób w dedykowanym miejscu magazynowym, aż do momentu ich przejęcia przez wykwalifikowaną firmę przetwórczą lub dostawcę chemikaliów.

Worki i worki typu big bag
Worki lub worki typu big bag zawierające chemikalia w postaci proszku są opróżniane podciśnieniem. Następnie opróżnione worki i worki typu big bag są przechowywane w odpowiedni sposób, aż do momentu przejęcia przez wykwalifikowaną firmę przetwarzającą lub dostawcę chemikaliów. Opróżnione worki są

pakowane w worki polietylenowe, a duże worki oraz worki typu big bag są przechowywane w zamkniętych pomieszczeniach.

Ponadto zakupione chemikalia i dodatki są przechowywane w dużych pojemnikach. Zużyte pojemniki są zwracane dostawcom chemikaliów/dodatków.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Zapobieganie wytwarzaniu odpadów, ograniczanie emisji do gleby i wód gruntowych oraz dodatkowo stymulacja recyklingu/ponownego wykorzystania.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Nie dostarczono danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika
Nie dostarczono danych.

Siła napędowa wdrażania
- Oszczędności na zakupie środków chemicznych.
- Zmniejszenie ilości generowanych odpadów.

Przykładowe zakłady
Technika ta jest powszechnie stosowana w europejskich odlewniach.

Literatura źródłowa
[38. Vito 2001], [169. TWG 2021], [210. TWG 2022]

3.2.1.4.1.4 Zwrot niewykorzystanych chemikaliów technologicznych

Opis
Niewykorzystane chemikalia technologiczne (tj. pozostające w oryginalnych pojemnikach) są zwracane do ich dostawców.

Szczegóły techniczne
Niewykorzystane chemikalia (w oryginalnych opakowaniach) najlepiej jest zwrócić dostawcy przed upływem daty ich ważności, jeśli to możliwe, w celu ewentualnej odsprzedaży i wykorzystania. Osiąga się to w szczególności poprzez wykorzystanie innowacyjnych modeli biznesowych, takich jak leasing chemikaliów, zarządzanie chemikaliami w obiegu zamkniętym itp.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Ograniczenie wytwarzania odpadów chemicznych.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Zwrot niewykorzystanych chemikaliów do ich dostawców może zależeć od takich parametrów, jak odległość między zakładem a dostawcą oraz zgody dostawcy na odbiór niewykorzystanych ilości.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika
Nie dostarczono danych.

Siła napędowa wdrażania
Oszczędność kosztów.

Przykładowe zakłady
Technika szeroko stosowana.

Literatura źródłowa
[169. TWG 2021], [210. TWG 2022]

3.2.1.4.2 Efektywność wykorzystania materiałów operacyjnych w procesie odlewania

Uzysk metalu (lub operacyjna wydajność materiałowa – OWM) definiuje się jako stosunek odlewów dobrych do całkowitej ilości stopionego metalu i oblicza jako całkowitą roczną ilość (wyrażoną w t) odlewów końcowych bez wad podzieloną przez całkowitą roczną ilość wyprodukowanego metalu płynnego.

3.2.1.4.2.1 Poprawa wydajności odlewania i zmniejszenie wytwarzanie złomu

Opis

Podejmowane są środki mające na celu zmaksymalizowanie wydajności procesu odlewania i zmniejszenie wytwarzania złomu, np.:

- optymalizacja operacji topienia i zalewania w celu zmniejszenia, na przykład, strat w topieniu, nadmiernego pigowania, współczynników wytwarzania złomu;
- optymalizacja wykonywania form i rdzeni w celu ograniczenia wytwarzania złomu powstającego w związku z wadami form i rdzeni;
- optymalizacja systemów topienia w gnieździe i wznoszenia;
- stosowanie izolowanych podajników egzotermicznych.

Szczegóły techniczne

Jak wspomniano powyżej, OWM definiuje się jako stosunek odlewów dobrych do całkowitej ilości stopionego metalu. Różnica między tymi dwiema wartościami wynika ze strat metalu (np. strat podczas topienia, rozlania metalu, strat podczas szlifowania) oraz metalu powracającego (np. metalu z pigowania, resztek z kanałów, odrzuconych odlewów). Poprawa uzysku metalu polega na zmniejszeniu strat metalu i ilości metalu powracającego.

Poprawę uzysku metalu można osiągnąć poprzez zastosowanie jednego lub kilku z poniższych środków:

- *Zastosowanie efektywnej metody*: odpowiednie zaprojektowanie kanałów, pionów, wlewów, niecki zalewowej i zoptymalizowana wydajność skrzynki (odlewy/metal wlewany do formy). Cennym narzędziem w projektowaniu jest wykorzystanie wspomaganej komputerowo symulacji odlewania, zalewania i krzepnięcia (zob. Sekcja 3.2.1.4.2.2).
- *Stosowanie dobrych procedur w operacjach topienia* i *zalewania* : w celu zmniejszenia strat podczas topienia, nadmiernego wciskania, ilości odpadów itp.
- *Stosowanie dobrych praktyk w działach formowania i produkcji rdzeni*: w celu zmniejszenia ilości odpadów spowodowanych niedociągnięciami w operacjach formowania i produkcji rdzeni.
- *Stosowanie bezpośredniego przetapiania* i *lub unikanie wlewania materiałów* tworzących kanały wlewowe [169. TWG 2021].

Osiągnięte korzyści dla środowiska

Zwiększenie uzysku metalu powoduje zmniejszenie zużycia energii, piasku i dodatków na jednostkę odlewu. Zwiększa się ogólna efektywność procesu.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Analiza statystyczna danych zgłoszonych dla OWM została przedstawiona w poniższej tabeli.

Tabela 3.12: Analiza statystyczna danych zgłoszonych dla OWM (wyrażona w %)

	Odlewnie żelaza	Odlewnie stali	Odlewnie metali nieżelaznych
Wartość średnia	51	53	56
Mediana	58	57	60
20 percentyl	5	41	39
80 percentyl	80	69	85
Liczba wartości	73	23	45
Źródło: [169. TWG 2021].			

Poniższa tabela zawiera orientacyjne wartości uzysku dla różnych rodzajów odlewów żeliwnych.

Należy pamiętać, że OWM zależy od rodzaju metalu, rodzaju odlewu, zakładu produkcyjnego oraz rynku, na który przeznaczony jest odlew.

Tabela 3.13: Typowe uzyski metalu dla różnych rodzajów odlewów żeliwa

Rodzaj odlewu	Uzysk **(%)**
Ciężkie żeliwo szare, prosty kształt	85 – 95
Średniej wielkości odlewy z żeliwa szarego lub małe partie	65 – 75
Zmechanizowane powtarzanie, jakość podstawowa, małe i średniej wielkości odlewy z żeliwa szarego dla przemysłu i komunalne	65 – 75
Zmechanizowane powtarzanie, wysoka jakość, małe i średniej wielkości odlewy z żeliwa szarego dla przemysłu, stosunkowo prosta konstrukcja	60 – 65
Zmechanizowane powtarzanie, wysokiej jakości małe i średnie odlewy inżynieryjne z żeliwa szarego, skomplikowana konstrukcja z ciężkimi rdzeniami	55 – 60
Średniej wielkości odlewy z żeliwa sferoidalnego lub małe partie	50 – 60
Małe lub bardzo małe powtarzalne odlewy z żeliwa szarego	45 – 55
Zmechanizowane powtarzanie odlewów z żeliwa ciągliwego i drobnowymiarowego żeliwa sferoidalnego	40 – 50
Źródło: [21. ETSU 1990].	

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Cieńsze odlewy mogą skutkować niższą wydajnością.
Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ta ma zastosowanie we wszystkich istniejących odlewniach metali żelaznych i nieżelaznych.

Ekonomika
Poprawę uzysku metalu można osiągnąć poprzez proste, niedrogie i praktyczne środki oraz kontrole. Korzyści mogą być duże, ponieważ każda poprawa procentowa skutkuje odpowiednim zmniejszeniem zużycia energii na topienie oraz zmniejszeniem zużycia piasku i chemikaliów.

Wprowadzenie komputerowej symulacji zalewania i krzepnięcia wymaga nakładów inwestycyjnych i kosztów szkolenia.

Siła napędowa wdrażania
- Optymalizacja wydajności procesu.
- Wymogi prawne.

Przykładowe zakłady
W większości europejskich odlewni uwzględnienie uzysku metalu stanowi część dobrej praktyki operacyjnej.

Literatura źródłowa
[21. ETSU 1990], [47. Sieć tematyczna UE ds. odpadów z odlewni 2001], [169. TWG 2021], [210. TWG 2022]

3.2.1.4.2.2 Wykorzystanie symulacji komputerowej do odlewania, zalewania i krzepnięcia

Opis
System symulacji komputerowej jest wykorzystywany do optymalizacji procesu odlewania, zalewania i krzepnięcia w celu zminimalizowania liczby wadliwych odlewów oraz zwiększenia wydajności odlewni.

Szczegóły techniczne
Symulacja wypełniania formy poprawia jakość, odzysk i produktywność. Uzysk podczas procesu produkcyjnego to wygenerowana masa netto w oparciu o zużytą masę odlewu brutto.

Przykładowo, zastosowanie nowej techniki symulacji procesu odlewania, w porównaniu z poprzednim modelem, prowadzi do poprawy wydajności o około 18,5%. Przedstawiony przykład dotyczy produkcji przedniego widelca koła ze stopu lekkiego, który jest wytwarzany metodą odlewania ciśnieniowego z przechylną formą.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
- Zmniejszone zużycie materiałów metalowych.
- Zmniejszona emisja pyłów i gazów podczas topienia, odlewania / chłodzenia / opróżniania i obróbki odlewów dzięki zmniejszonemu zużyciu materiału.
- Mniejsze zużycie energii i związane z tym emisje CO_2, szczególnie podczas topienia.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Potrzebny jest zarówno sprzęt, jak i oprogramowanie do symulacji charakterystyki chłodzenia i właściwości

żeliwa lub części odlewanych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ma zastosowanie do wszystkich przemysłowych materiałów odlewniczych i procesów odlewania.
Ekonomika
Opłaty licencyjne za roczne korzystanie ze standardowego oprogramowania wynoszą około 25 000 EUR. Oprogramowanie jest dostosowane do konkretnych materiałów lub procesów i może być rozszerzone o dodatkowe moduły. Alternatywnie można skorzystać z usługi symulacji odlewania.

Korzyści ekonomiczne to:

- wzrost wydajności i zmniejszenie liczby odrzutów oraz skrócenie czasu cyklu formowania mogą spowodować zmniejszenie kosztów topienia i materiałów o łącznej kwocie 28 000 EUR w pierwszym roku (przykład), co prowadzi do zwrotu inwestycji w ciągu około 1 roku;
- wzrost uzysku metalu powoduje zmniejszenie zużycia energii, piasku i dodatków na tonę dobrego odlewu.

Inne przykładowe zastosowania symulacji [133. DE UBA 2014]**:**

- Producent sprzętu John Deere, Moline III, zmniejszył ilość odpadów z części z żeliwa szarego z 10,3% do 1,4% i zaoszczędził 66 936 USD rocznie dzięki modyfikacji części i systemu wlewów. Firma zwiększyła również wydajność odlewania z 58% do 64%, uzyskując dodatkowe oszczędności w wysokości 66 600 USD rocznie.
- Wyniki symulacji skłoniły producenta pomp Otto Junker w Niemczech do odlewania stalowej obudowy pompy z bezpośrednimi nadlewkami górnymi zamiast typowych nadlewek bocznych. Pozwoliło to zmniejszyć ilość potrzebnego ciekłego metalu o 81%, skrócić czas formowania o 79% i zminimalizować czas potrzebny do wypalenia nadlewek o 87%. Firma obniżyła całkowite koszty produkcji tej części o 12%.
- Południowoamerykańska odlewnia żeliwa zwiększyła wydajność odlewania obudowy dyferencjału z żeliwa sferoidalnego z 62 % do 67 % dzięki zastosowaniu symulacji do opracowania nietradycyjnego systemu kanałów wlewowych. Projekt zmniejszył ogólny wskaźnik wytwarzania złomu z 17 % do 7 %, pozwolił zaoszczędzić 700 000 kWh/rok przy produkcji 24 000 części i obniżył całkowite koszty o 500 000 USD.
- Heidelberger Druck (Niemcy) przeniósł zasuwę formy na podstawie wyników symulacji i w ten sposób znacznie zmniejszył ilość spawania naprawczego, które należy wykonać na pokrywie. Straty temperatury w oryginalnej części doprowadziły do niepełnego wypełnienia żebra. Symulacja umożliwiła inżynierom wizualizację wpływu przeniesienia kanału w inne miejsce na przepływ materiału.

Siła napędowa wdrażania

- Zwiększenie zdolności do przetwarzania i unikania wad odlewniczych.
- Zwiększenie wydajności poprzez zmniejszenie ilości materiału pochodzącego z recyklingu.
- Zmniejszenie grubości ścianek, a tym samym skrócenie czasu wiązania i cyklu formowania o 10%.

Przykładowe zakłady
W Niemczech używanych jest około 180 systemów symulacji pochodzących od różnych dostawców.
Literatura źródłowa [133. DE UBA 2014]

3.2.1.4.2.3 Produkcja lekkich odlewów z wykorzystaniem optymalizacji topologii

Opis
Zastosowanie optymalizacji topologii (tj. symulacji odlewania za pomocą algorytmów i programów komputerowych) w celu zmniejszenia masy produktu przy jednoczesnym spełnieniu wymagań dotyczących jego wydajności.

Szczegóły techniczne
Optymalizacja topologii wykorzystuje zasady koncepcji "bionicznej". Termin „bionika” jest połączeniem słów „biologia” i „technologia” i opisuje przenoszenie wymagań natury do technologii. Głównym celem jest produkcja komponentów, takich jak odlewy, przy minimalnej masie materiału.

Dzięki koncepcji bionicznej, zazwyczaj wdrażanej przez programy komputerowe do optymalizacji topologii,

odlewy mogą zostać ulepszone dla wszystkich zastosowań, takich jak odlewy dla przemysłu motoryzacyjnego, inżynierii i wielu innych.
Przykładem jest produkcja narzędzi do obróbki skrawaniem, która podlega najwyższym wyzwaniom projektowym i produkcyjnym. Dzięki zastosowaniu zaawansowanych algorytmów optymalizacji i programów komputerowych, można produkować lżejsze odlewy o jeszcze lepszych właściwościach mechanicznych w porównaniu do ich poprzedników.

Określony cel projektowy, czyli wysoka sztywność w połączeniu z niskimi kosztami produkcji, można osiągnąć dzięki wykorzystaniu naturalnych struktur wzrostu (na przykład wzorców wzrostu drzew). Do opracowania produktu bionicznego można wykorzystać niemiecką wytyczną VDI 2221 („Metodologia opracowywania i projektowania systemów technicznych i produktów"), która może znaleźć zastosowanie w odlewaniu ciśnieniowym, zwłaszcza w konstrukcjach lekkich. [198, Beismann i in. 2018]

Osiągnięte korzyści dla środowiska

- Zmniejszenie przepływu surowców metalowych w całym procesie produkcyjnym, w tym w magazynowaniu surowców, topieniu, odlewaniu / chłodzeniu / opróżnianiu i obróbce odlewów.
- Zmniejszona emisja pyłów i gazów w tych sektorach produkcji (przy stałej liczbie odlewów).
- Mniejsze zużycie energii oraz emisja CO_2, zwłaszcza podczas topienia i transportu.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Przykładem optymalizacji topologii jest wykorzystanie specjalnego narzędzia obliczeniowego - "metody elementów skończonych" (MES). Oprogramowanie FEM umożliwia użytkownikowi znalezienie słabych punktów w komputerowym projekcie konstrukcyjnym i dokonać obiektywnej oceny wariantów. Dotychczas projektanci wykorzystywali je wyłącznie jako narzędzie do poprawy funkcjonalności w ramach iteracyjnego podejścia polegającego na wielokrotnych modyfikacjach modelu CAD, co było bardzo czasochłonne. Dzięki połączeniu oprogramowania MES z zaawansowanymi algorytmami optymalizacji możliwe stało się automatyczne generowanie funkcjonalnie przekonujących propozycji projektów poprzez maskowanie obszarów podczas optymalizacji topologii elementu, które nie są obciążone lub są obciążone w minimalnym stopniu. Wynikiem jest struktura, która zapewnia minimalne zniekształcenia przy danej wadze.

Oprogramowanie usprawnia i przyspiesza proces wyszukiwania przekonujących projektów elementów, co jest jeszcze ważniejsze ze względu na coraz bardziej rygorystyczne terminy realizacji.

Po szczegółowym zaprojektowaniu elementu obrabianego można zoptymalizować formę. Analogicznie do procesów wzrostu zachodzących w naturze, eliminuje ona słabe punkty związane z wytrzymałością poprzez automatyczne nakładanie materiału w miejscach narażonych na duże obciążenia.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ma zastosowanie do wszystkich elementów odlewanych - niezależnie od materiałów odlewniczych i procesów odlewania. Zaleca się ścisłą komunikację z klientami, zwłaszcza w przypadku opracowywania odlewów o niskiej masie, a możliwość zastosowania może zależeć od chęci klienta do zaangażowania odlewni w proces projektowania.

Ekonomika

- Niższe koszty surowców dzięki oszczędności materiału.
- Niższe koszty topienia.
- Niższe koszty produkcji rdzeni i form.
- Zwiększenie wartości komponentów w przypadkach, gdy wartość komponentów zależy od wagi i/lub kosztów jednostkowych.
- Przewaga konkurencyjna nad rywalizującymi materiałami i procesami produkcyjnymi (spawanie, kucie, beton polimerowy).

Siła napędowa wdrażania

- Zmniejszenie masy odlewów. Ogólnie oczekuje się takiego zmniejszenia w zakresie od 10% do 35%.
- Maksymalna sztywność komponentów przy minimalnym zużyciu materiału.
- Szybsze opracowywanie koncepcji projektowych elementów.
- Zmniejszenie kosztów jednostkowych.

Przykładowe zakłady

- CLAAS GUSS korzysta z oprogramowania Hyperworks.
- Pod nazwą handlową BIOCAST® firma Heidenreich und Harbeck AG opracowuje oszczędne materiałowo części odlewane najwyższej jakości przy pomocy narzędzi do optymalizacji bionicznej.
- GF Automotive produkuje elementy poddawane dużym obciążeniom mechanicznym dla przemysłu motoryzacyjnego zgodnie z wytycznymi bionicznymi opartymi na zasadzie wzrostu drzew.

Literatura źródłowa
[133. DE UBA 2014], [198. Beismann i in. 2018], [210. TWG 2022].

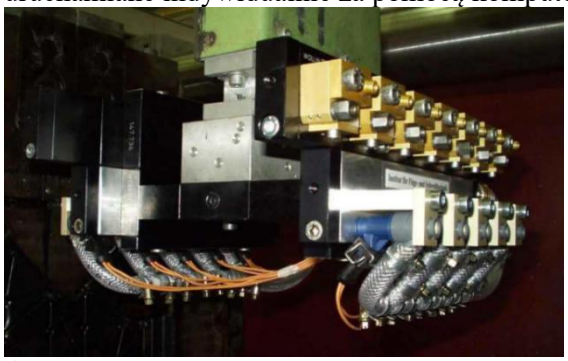
3.2.1.4.3 Zmniejszenie zużycia materiałów

3.2.1.4.3.1 Oddzielne natryskiwanie środka antyadhezyjnego i wody w odlewaniu wysokociśnieniowym

Opis
Woda i środki antyadhezyjne są nakładane oddzielnie na formę za pomocą dodatkowego rzędu dysz zamontowanych na głowicy natryskowej. Najpierw rozpylana jest woda, co powoduje znaczne schłodzenie formy przed nałożeniem środka antyadhezyjnego, co skutkuje zmniejszeniem emisji i zużycia środków antyadhezyjnych oraz wody.

Szczegóły techniczne
W odlewaniu ciśnieniowym aluminium formy trwałe są chłodzone i spryskiwane środkiem antyadhezyjnym przed odlewaniem, aby zapobiec przywieraniu odlewu do formy. Zgodnie z konwencjonalną techniką stosowania środków antyadhezyjnych mieszanina środka antyadhezyjnego i wody jest nakładana na gorącą formę za jednym razem za pomocą kilku liniowo rozmieszczonych dysz. Część wody odparowuje, chłodząc formę i pozostawiając środek antyadhezyjny na miejscu, podczas gdy inna część mieszaniny spływa z formy, prowadząc do utraty środka antyadhezyjnego i wody. Parowanie może również powodować powstawanie mgły.

W alternatywnym procesie woda i środek antyadhezyjny są nakładane oddzielnie. W tym celu do głowicy natryskowej dodano rząd dysz do oddzielnego nakładania środka antyadhezyjnego. Dysze te mogą być uruchamiane indywidualnie za pomocą komputera (patrz rysunek poniżej).



Źródło: [129, Anders, U. 2003].

Rysunek 3.18: Głowica rozpylająca z oddzielnymi dyszami do wody i środka antyadhezyjnego

Najpierw natryskiwana jest woda, chłodząc formę o około 20ºC, a następnie natryskiwany jest środek antyadhezyjny. Wstępne chłodzenie powoduje odparowanie mniejszej ilości środka antyadhezyjnego i poprawia jego przyczepność do formy. Zmniejsza to zużycie środka antyadhezyjnego o około 25%. Pomiary termograficzne wykazały, że technika ta chłodzi formy mocniej i bardziej równomiernie. Testy udowodniły, że nie dochodzi do wycieku środka antyadhezyjnego, który w przeciwnym razie musiałby zostać zebrany i zutylizowany.

Środek antyadhezyjny jest nakładany tylko na te części formy, które wchodzą w kontakt ze stopionym aluminium. Może to zmniejszyć zużycie środka antyadhezyjnego o kolejne 30%.

Zastosowanie wspomaganego komputerowo uruchamiania dysz dla środka antyadhezyjnego sprawiło, że wcześniej używany układ dysz dla sprężonego powietrza stał się zbędny. Funkcję tę przejmują teraz dysze środka antyadhezyjnego.

Zaletą w przypadku małych serii i częstych zmian form jest to, że program natryskiwania można zapisać na komputerze i w ten sposób szybko odtworzyć po zmianie formy.

Osiągnięte korzyści dla środowiska

Zużycie środka antyadhezyjnego można zmniejszyć o 25% poprzez oddzielne stosowanie wody i środka antyadhezyjnego. Oddzielne uruchamianie dysz umożliwia osiągnięcie dalszych oszczędności aż do 30%, w zależności od geometrii odlewu, ponieważ środek antyadhezyjny jest nakładany tylko na te części formy, które mają kontakt z odlewem.

Zużycie wody można zmniejszyć o około 15%. Nie ma strat wody ani środka antyadhezyjnego, które należałoby unieszkodliwić. Nie są generowane żadne emisje gazowe spowodowane parowaniem środka antyadhezyjnego.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Nie dostarczono danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak. Nie oczekuje się wzrostu kosztów energii.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika
Korzyści ekonomiczne wynikają ze znacznych oszczędności środka antyadhezyjnego i wody oraz z eliminacji kosztów utylizacji.

Dalsze korzyści wynikają z dużych oszczędności czasu przy zmianie formy, dzięki możliwości zapisywania i ponownego uruchamiania programów natryskiwania.

Koszty inwestycyjne tej techniki są wyższe niż w przypadku procesu konwencjonalnego. Z drugiej strony, różne formy mogą być natryskiwane indywidualnie za pomocą tej samej głowicy natryskowej.

Siła napędowa wdrażania
- Znaczna oszczędność materiału i wody.
- Unika się utraty mieszaniny środka antyadhezyjnego i wody, którą należy zebrać.
- Krótki czas potrzebny na konfigurację i adaptację maszyny.
- Wysoka powtarzalność wyników (stała jakość).

Przykładowe zakłady
CZ025, DE031, FR114, FR115, PT142, SE148.

Literatura źródłowa
[129. Anders, U. 2003]. [169. TWG 2021].

3.2.1.4.3.2 Minimalizacja zużycia środka antyadhezyjnego i wody

Opis
Środki mające na celu zminimalizowanie zużycia środka antyadhezyjnego i wody obejmują:

- użycie automatycznego systemu natryskiwania;
- optymalizacja współczynnika rozcieńczenia środka antyadhezyjnego;
- zastosowanie chłodzenia w matrycy;
- nakładanie środka antyadhezyjnego na zamkniętą matrycę;
- pomiar zużycia środków antyadhezyjnych;
- pomiar temperatury powierzchni matrycy w celu wykrycia gorących punktów.

Szczegóły techniczne
Przed zamknięciem otwartej matrycy do odlewania pod wysokim ciśnieniem (HPDC) natryskuje się na nią wodny roztwór środka antyadhezyjnego. Pozwala to na schłodzenie i powleczenie matrycy. Niektóre proste środki procesowe pozwalają zminimalizować zużycie środka antyadhezyjnego i wody. Zapobiegają również tworzeniu się mgły. Środki te obejmują następujące elementy:

- *Zautomatyzowany proces natryskiwania*: Robotyzacja procesu natryskiwania pozwala na dokładną kontrolę ilości użytego środka antyadhezyjnego i dostosowanie go do lokalnych potrzeb odlewanego elementu.
- *Optymalizacja współczynnika rozcieńczenia*: Współczynnik rozcieńczenia środka antyadhezyjnego powinien być dobrany w taki sposób, aby działanie natrysku zapewniało wymaganą równowagę między powlekaniem a chłodzeniem matrycy.

- *Zastosowanie chłodzenia w matrycy*: Działanie chłodzące może być częściowo przejęte przez chłodzenie wewnętrzne za pomocą zintegrowanego obiegu wody.
- *Nakładanie środka antyadhezyjnego na zamkniętą formę*: Środek oddzielający nakłada się na zamkniętą formę odlewniczą w postaci rozpylonej. Wysoka temperatura powoduje kondensację i osadzanie się warstwy środka antyadhezyjnego. Technika ta stanowi alternatywę dla natryskiwania roztworu środka antyadhezyjnego na bazie wody na otwartą matrycę. Pozwala na zmniejszenie zużycia wody, a także zmniejsza zużycie środków antyadhezyjnych. Substancje czynne stosowane w tym procesie, tj. ułatwiające wyjęcie odlewu z matrycy, są bardzo podobne do substancji stosowanych w technice otwartej: wosk parafinowy, węglowodory alifatyczne, polisiloksany, poliglikol. Rozpylanie wody powoduje jednak także niezbędne schłodzenie powierzchni formy. Technika alternatywna wymaga zatem lepszego zarządzania temperaturą (głównie poprzez efekt chłodzenia) za pomocą wewnętrznego systemu chłodzenia formy. Można to osiągnąć poprzez obniżenie temperatury oleju termicznego. Połączenie rozpylania wody i stosowania środka antyadhezyjnego w formie zamkniętej jest możliwe w miejscach, gdzie formy nie mogą osiągnąć całkowitej równowagi termicznej za pomocą samych wewnętrznych systemów chłodzenia.
- *Pomiar zużycia środków antyadhezyjnych*: Celem jest stosowanie środka antyadhezyjnego zgodnie z jego rzeczywistym przeznaczeniem i rozpylanie tylko minimalnych ilości. Dostępne są zautomatyzowane systemy, które między innymi: śledzą automatyczny pomiar przepływu na cykl (i obwód rozpylania), śledzą porównanie wartości docelowych i rzeczywistych natężenia przepływu, generują powiadomienie w przypadku odchylenia powyżej wartości dopuszczalnej, sygnalizują zatrzymanie cyklu w przypadku odchylenia.
- *Pomiar temperatury powierzchni matrycy w celu wskazania gorących punktów w matrycy*: Jakość odlewów ciśnieniowych zależy w dużej mierze od parametrów procesu, takich jak temperatura.

Osiągnięte korzyści dla środowiska

- Minimalizacja zużycia wody i chemikaliów.
- Zapobieganie i/lub ograniczanie emisji rozproszonych.
- Zmniejszenie ilości generowanych ścieków oraz ograniczenie emisji pary zawierającej cząsteczki oleju.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Dla stosowania środka antyadhezyjnego w formach zamkniętych odnotowano kilka przykładów eksploatacyjnych w odlewniach aluminium. Zauważono skrócenie czasu natryskiwania o 50-80%, a także zmniejszenie zużycia środka tulejowego o 80%. [100. TWG 2002].

Oddziaływanie na procesy i środowisko

W przypadku większości technik nie odnotowano oddziaływania na procesy i środowisko. W przypadku stosowania środków antyadhezyjnych w formach zamkniętych konieczne jest zwiększenie wydajności chłodzenia matryc. W prostych przypadkach może to oznaczać obniżenie temperatury oleju termicznego, ale w przypadku bardziej złożonych matryc może to wymagać zastosowania dodatkowego obwodu chłodzącego.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika

Nie dostarczono danych.

Siła napędowa wdrażania

- Strategia odlewni mająca na celu zmniejszenie produkcji ścieków oraz zużycia wody i chemikaliów.
- Wymogi prawne.

Przykładowe zakłady

Większość technik stosowana jest w dużych zakładach HPDC, np. przy produkcji części samochodowych. Dla stosowania środków antyadhezyjnych w formach zamkniętych odnotowano kilka przykładów operacyjnych w odlewniach aluminium.

Literatura źródłowa

[88. Hüttenes-Albertus 2002], [100. TWG 2002]

3.2.1.4.3.3 Optymalizacja zużycia spoiwa i żywicy

Opis

Środki mające na celu optymalizację zużycia spoiwa (substancji wiążącej) i żywicy obejmują:

- stosowanie piasku o jakości zgodnej z systemem spoiwa;
- dobre zarządzanie przechowywaniem i testowaniem piasku (czystość, wielkość ziarna, kształt, wilgotność);
- kontrola temperatury;
- konserwacja i czyszczenie mieszalnika;
- sprawdzanie jakości form (w celu zapobiegania i w razie potrzeby naprawy wad formowania);
- optymalizacja procesu dodawania spoiwa;
- optymalizacja pracy mieszalnika.

Szczegóły techniczne

Minimalizację zużycia chemikaliów można osiągnąć poprzez optymalizację kontroli procesu i obsługi materiałów. W tej sekcji omówiono środki procesowe.

Nadmierne użycie w celu zrekompensowania słabej kontroli procesu jest najczęstszym sposobem marnowania chemikaliów wiążących. Przykładowo, kluczowe parametry związane z dobrym zarządzaniem spoiwem obejmują następujące elementy:

- *Konsystencja piasku*: Użycie piasku o jakości zgodnej z systemem spoiwa. Dobre zarządzanie przechowywaniem piasku i testowanie piasku (czystość, wielkość ziarna, kształt, wilgotność) mają kluczowe znaczenie. Niska zawartość drobnych cząstek oraz maksymalna ilość ponownie użytego piasku zmniejszą ilość potrzebnej żywicy.
- *Kontrola temperatury*: Temperatura piasku musi być utrzymywana w wąskim zakresie, poprzez regularne kontrole i regulację ilości dodawanego utwardzacza. Umieszczenie podgrzewacza piasku tuż przed mieszalnikiem pozwala na ścisłą kontrolę temperatury.
- *Konserwacja i czyszczenie mieszalnika.*
- *Jakość formy*: Sprawdzanie, rozwiązywanie i zapobieganie wadom formowania.
- *Ilość dodawanego spoiwa*: Odpowiedni dodatek spoiwa zależy od rodzaju spoiwa, powierzchni piasku i wielkości odlewu.
- *Praca mieszalnika*: Optymalizacja wydajności mieszalnika obejmuje monitorowanie i kontrolę jego działania.

W poniższej tabeli wymieniono zmienne procesu mieszania, które można łatwo zmierzyć za pomocą łatwo dostępnych przyrządów pomiarowych. Połączenie elementów sterujących z systemem alarmowym pozwala operatorowi na otrzymywanie powiadomień o wszelkich stanach niezgodnych z normami. Należy je skorygować poprzez czyszczenie, konserwację i ponowną kalibrację, zanim pojawi się poważniejszy problem.

Tabela 3.14: Zmienne procesowe i ich znaczenie dla oceny pracy mieszalnika

Zmienne	Uwagi	Oprzyrządowanie
Przepływ piasku	Może się zmieniać w wyniku przeszkód przy zasuwie wylotowej, które ograniczają/zatrzymują przepływ piasku, lub zużytych/luźnych nakrętek ograniczających, które powodują szybszy przepływ	Przepływomierze z płytką udarową
Temperatura piasku	Określa szybkość utwardzania i wymaganą ilość/rodzaj utwardzacza.	Przyrząd do kontroli procesu może być użyty do dostosowania dodatku utwardzacza w celu skompensowania zmian temperatury piasku
Zużycie energii	Wskazuje stopień czystości mieszalnika	Monitorowanie obciążenia silnika
Szybkość przepływu żywicy i utwardzacza	Może zmieniać się w wyniku zużycia pomp, zmian lepkości w zależności od temperatury, zatorów lub wycieków w przewodach rurowych i dyszach, zacinania się zaworów zwrotnych itp.	Przepływomierze wyporowe, elektromagnetyczne lub Coriolisa
Ilość godzin pracy	Przydatne do oceny wydajności w stosunku do kosztów kapitałowych i kosztów utrzymania	
Źródło: [28. ETSU 1998].		

Dla odlewni, które wymagają większego zaawansowania, dostępne są w pełni zautomatyzowane systemy sterowania mieszalnikami. Systemy te wykorzystują technologię mikroprocesorową do automatycznej kontroli mieszania piasku i wymagają jedynie ograniczonego udziału operatora. Dodatkowe korzyści wynikające z zastosowania zautomatyzowanych systemów sterowania wynikają głównie ze znacznie mniejszej zależności od operatora oraz szybszego korygowania zmian warunków. To ostatnie odbywa się bez konieczności zatrzymywania produkcji.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Optymalizacja wykorzystania spoiwa i żywicy skutkuje minimalizacją zużycia dodatków chemicznych.

Lotne związki organiczne (LZO) stanowią do 50-60% masy składników spoiwa. Ilość ta zależy od rodzaju spoiwa. Większość LZO jest emitowana podczas mieszania piasku i odlewania metalu. Zmniejszenie zużycia spoiwa skutkuje odpowiednią redukcją emisji lotnych związków organicznych.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
W większości przypadków redukcja poziomu spoiwa o 5% i złomu o 1% jest łatwa do osiągnięcia przy użyciu nowoczesnych systemów kontroli mieszalnika. Wiele odlewni osiągnęło znacznie wyższe oszczędności. W różnych odlewniach odnotowano zmniejszenie dodatku spoiwa o 5 % do 25 %, a także niemal całkowite wyeliminowanie wytwarzania złomu.

Instalacja zautomatyzowanego systemu sterowania mieszalnikiem w odlewni żeliwa wykorzystującej żywice wiążące na zimno pozwoliła odlewni na zmniejszenie szybkości dodawania żywicy z 10 kg/minutę (1,22% żywicy do masy piasku) do 8,89 kg/minutę (1,09%), co odpowiednio spowodowało 10-procentową oszczędność w ilości użytego katalizatora. Liczba wadliwych form spadła o ponad 60%, a oszczędności wyniosły ponad 37 000 GBP rocznie (ceny brytyjskie z 1995 r.).

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana. Ma zastosowanie do wszystkich nowych i istniejących odlewni wykorzystujących piaski wiązane chemicznie. W istniejących instalacjach mogą być instalowane urządzenia kontrolne do monitorowania mieszania.

Ekonomika
W przypadku tony zmieszanego piasku dodatek spoiwa wynosi zwykle tylko 1-3% masy, ale pod względem kosztów spoiwa stanowią 30-60% całkowitego kosztu surowca. Szacuje się, że dzięki lepszemu zarządzaniu materiałami wiążącymi można osiągnąć oszczędności rzędu 5-10%.

Włączenie wszystkich urządzeń sugerowanych w Tabeli 3.14 do systemu mieszalnika kosztuje około 10 000 GBP (ceny brytyjskie z 1997 r.). Jednak ze względu na znaczną poprawę kontroli procesu, ta inwestycja kapitałowa będzie miała stosunkowo krótki czas zwrotu. Chociaż koszt instalacji zautomatyzowanego systemu sterowania jest około dwukrotnie wyższy niż w przypadku prostego monitorowania on-line, możliwe są znaczne oszczędności.

Niektóre przykładowe dane ekonomiczne podano w Tabeli 3.15. Odnoszą się one do odlewni żeliwa opisanej w części *Dane operacyjne*.

Tabela 3.15: Roczne oszczędności, koszty i okres zwrotu inwestycji dla przykładowego sterowania mieszalnikiem w zakładzie (ceny z 1995 r.)

Rodzaj kosztu	**EUR**
Oszczędności dzięki 60% redukcji wadliwych form	6416
Oszczędności dzięki 10% redukcji zużycia żywicy	29966
Oszczędności dzięki 10% redukcji zużycia katalizatora	9050
Łączna oszczędność na kosztach materiałowych	**45433**
Roczny koszt eksploatacji	320
Szacowany roczny koszt utrzymania	24
Oszczędności na kosztach netto	**45088**
Koszt zakupu jednostki	24166
Okres zwrotu	7 miesięcy
Źródło: [31. ETSU 1996].	

Siła napędowa wdrażania

- Optymalizacja kosztów operacyjnych oraz minimalizacja emisji LZO.
- Wymogi prawne.

Przykładowe zakłady
Dobre środki zarządzania spoiwem są stosowane w zdecydowanej większości odlewni wykorzystujących piasek wiązany chemicznie.

Literatura źródłowa
[28. ETSU 1998], [31. ETSU 1996], [100. TWG 2002], [120. TWG 2003], [210. TWG 2022]

3.2.1.4.3.4 Minimalizacja strat form i piasku rdzeniowego

Opis
Parametry produkcyjne różnych typów produktów są przechowywane w elektronicznej bazie danych, która umożliwia łatwe przejście na nowe produkty przy minimalnych stratach czasu i materiałów.

Szczegóły techniczne
Nowoczesne maszyny do produkcji form i rdzeni umożliwiają zapisywanie parametrów produkcyjnych różnych typów produktów w elektronicznej bazie danych. Pozwala to na łatwe przejście na nowe produkty, bez straty czasu i materiałów na znalezienie odpowiednich parametrów metodą prób i błędów. W przypadku nowych produktów można użyć ustawień dla podobnych produktów, aby skrócić czas optymalizacji.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Zmniejszenie ilości zużytego piasku i energii poprzez zminimalizowanie czasu trwania testów.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Technika ta jest szczególnie przydatna w przypadku produkcji małych serii o wysokiej wydajności wytwarzania. Bezbłędne przełączanie wymaga dobrej kontroli i ciągłości kontroli jakości piasku.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika
Koszt inwestycji w rdzeniarkę zależy od objętości rdzenia i wynosi od 150 000 EUR (5 l) do 400 000 EUR (100 l). Koszty operacyjne wynoszą 5-10% kosztów inwestycyjnych rocznie (dane z 2001 r.).

Siła napędowa wdrażania
Optymalizacja procesów wymagających częstej zmiany typu rdzenia lub formy.

Przykładowe zakłady
Technika ta jest stosowana w szeregu odlewni w całej Europie.

Literatura źródłowa
[38. Vito 2001].

3.2.1.4.3.5 Stosowanie najlepszych praktyk w procesach utwardzania na zimno

Opis
Praktyki obejmują następujące elementy (w zależności od zastosowanego systemu wiązania):

- Kontrolę temperatury: temperatura piasku jest utrzymywana na możliwie stałym i wystarczająco niskim poziomie, aby zapobiec emisji spowodowanej parowaniem. W przypadku katalizowanych kwasami fenolowymi i furanowymi układów poliuretanowych i krzemianów estrowych optymalny zakres temperatur wynosi od 15ºC do 25ºC. W przypadku systemów rezolowo-estrowych optymalny zakres temperatur wynosi od 15 ºC do 35 ºC.
- dla układów katalizowanych kwasem furanowym:
  - minimalizację zawartości wolnego (monomeru) alkoholu furfurylowego w żywicy (np. poniżej 40% wag.); oraz
  - zmniejszenie zawartości siarki w katalizatorze kwasowym poprzez zastąpienie części kwasu sulfonowego silnym kwasem organicznym niezawierającym siarki.

Szczegóły techniczne
W procesach utwardzania na zimno należy utrzymywać temperaturę piasku na jak najbardziej stałym poziomie

oraz wybrać optymalny zakres temperatur. Poniżej podsumowano tę kwestię wraz z dodatkowymi parametrami, które należy wziąć pod uwagę w przypadku wszystkich głównych systemów utwardzania na zimno:

- *Fenol*: Temperatura piasku jest utrzymywana na jak najbardziej stałym poziomie, tj. około 15–25ºC, co jest wystarczająco niską temperaturą, aby zapobiec emisjom spowodowanym parowaniem. Należy unikać bezpośredniego kontaktu żywicy z katalizatorem, ponieważ reakcja jest egzotermiczna i może przebiegać gwałtownie.
- *Furan*: Temperatura piasku jest bardzo ważna dla tego procesu i powinna być utrzymywana na jak najbardziej stałym poziomie, około 1–25ºC, w celu kontrolowania czasu wiązania spoiwa i zminimalizowania dodatków katalitycznych. Należy unikać bezpośredniego kontaktu żywicy z katalizatorem, ponieważ reakcja jest egzotermiczna i może przebiegać gwałtownie.
- *Poliuretan (fenolowy izocyjanian):* Temperatura piasku jest utrzymywana w zakresie od 15 do 25ºC, aby zachować kontrolę nad procesem oraz zminimalizować emisje. Najlepszą praktyką jest praca z trzema pompami i mieszanie katalizatora i żywicy fenolowej z izocyjanianem i piaskiem bezpośrednio w mieszalniku. [100. TWG 2002].
- Żywica rezolowo-estrowa *(utwardzony alkaliczny ester fenolowy)*: Temperatura piasku jest kontrolowana i utrzymywana na optymalnym poziomie 15-35ºC. Proces ten jest mniej wrażliwy na wahania temperatury niż inne systemy samoutwardzalne. Szybkość utwardzania zależy od wyboru rodzaju utwardzacza [120. TWG 2003].
- *Krzemian estrowy*: Temperatura piasku jest kontrolowana w zakresie 15-25°C. Ponieważ formy i rdzenie pochłaniają wilgoć, muszą być używane tak szybko, jak to możliwe po osiągnięciu pełnej wytrzymałości. Długotrwałe przechowywanie może odbywać się wyłącznie w suchych warunkach.

Szczególne środki dla układów katalizowanych kwasem furanowym

Żywice furanowe są wytwarzane z alkoholu furfurylowego (*furfuryl alcohol - FA*) i mogą być modyfikowane mocznikiem, formaldehydem lub fenolem. Zasadniczo im wyższa zawartość alkoholu furfurylowego w żywicy, tym niższa lepkość żywicy. Od czasu klasyfikacji alkoholu furfurylowego jako związku rakotwórczego w rozporządzeniu WE nr 1272/2008 zawartość wolnego (monomerowego) alkoholu furfurylowego w żywicy powinna być teoretycznie ograniczona do mniej niż 25 % masy.

Dane zebrane za pomocą kwestionariuszy pokazują, iż kilka zakładów zgłosiło zawartość FA > 70 wt-% (wt-% = procent wagowy) (np. PT140, FI103, DE067, DE058, DE054, DE055, DE044, DE042, CZ156, AT018, AT017), wiele zakładów zgłosiło również zawartość kwasu ftalowego w zakresie 30–40 wt-% (tj. BE023: 40 %, DE070: 31 %, ES088: 33–40 %, FR119: 35 %, IT134: 30 %, PL137: 30–40 %), a jeden zakład (DE039) zgłosił zawartość FA poniżej 25 wt-% (według dostawcy żywicy) po zastąpieniu innej żywicy stosowanej wcześniej w tym zakładzie, zawierającej ponad 50 wt-% FA. Informacje te wskazują, że wydaje się możliwe stosowanie żywic o niższej zawartości FA, co z kolei powinno zmniejszyć emisje całkowitych LZO.

W celu ograniczenia emisji związków siarki podczas zalewania opracowano nowe rodzaje katalizatorów kwasowych. Zasadniczo siarka jest wprowadzana do form poprzez katalizator kwasowy (kwas paratoluenosulfonowy) stosowany w układach katalizowanych kwasem furanowym. Najskuteczniejszym sposobem ograniczenia wprowadzania siarki do formy jest zmniejszenie ilości dodawanego kwasu paratoluenosulfonowego lub częściowe zastąpienie go innymi związkami (np. bezsiarkowymi kwasami organicznymi).

Osiągnięte korzyści dla środowiska

Redukcja emisji LZO i siarki podczas zalewania.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

W przeszłości zawartość alkoholu furfurylowego w żywicach furanowych stosowanych w odlewni wynosiła od 50 wt-% do 95% wt-%. Opracowano nowe żywice, w których zawartość alkoholu furfurylowego została ograniczona do nieco powyżej 50 wt-%. [191. Holtzer i in. 2015], [199. Holtzer i in. 2013]

Niedawno opracowano również żywice furanowe o niskiej zawartości formaldehydu (procent formaldehydu poniżej 0,1 wt-% w stosunku do masy żywicy) i niskiej zawartości alkoholu furfurylowego (poniżej 25 wt-%). [200. Zennaro i in. 2019]

Skuteczne są spoiwa opracowane przez różnych producentów dla odlewni, wykorzystujące katalizatory o niskiej zawartości siarki, składające się z mieszaniny silnych kwasów organicznych niezawierających siarki i alifatycznego lub aromatycznego kwasu toluenosulfonowego oraz H_2SO_4 (możliwość zmniejszenia zawartości siarki w katalizatorze kwasowym o około 50 %).

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika
Cena stosowania katalizatorów o niskiej zawartości siarki w spoiwach furanowych jest wyższa niż w przypadku stosowania wyłącznie kwasu paratoluenosulfonowego.

Siła napędowa wdrażania
Wymogi prawne.

Przykładowe zakłady
Technika szeroko stosowana.

Literatura źródłowa
[100. TWG 2002], [120. TWG 2003], [191. Holtzer i in. 2015], [199. Holtzer i in. 2013], [200. Zennaro i in. 2019], [210. TWG 2022]

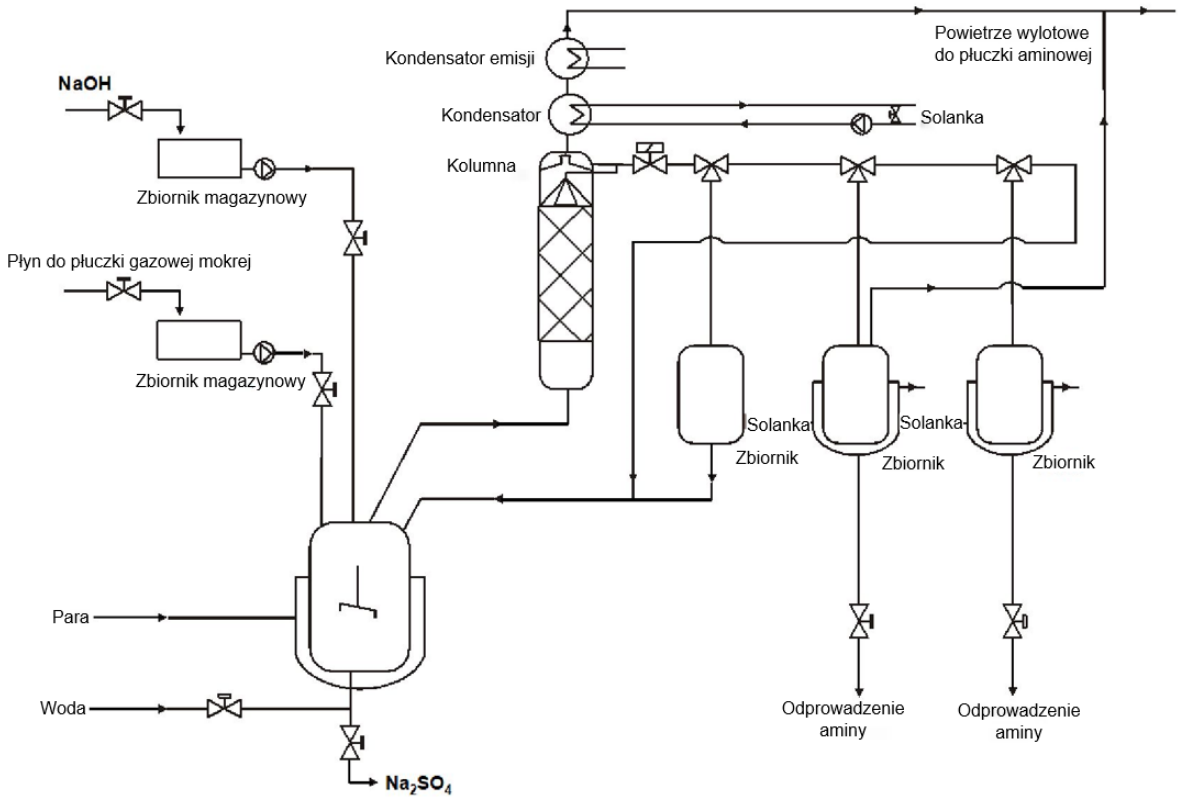
3.2.1.4.3.6 Odzyskiwanie amin z kwaśnej wody płuczkowej

Opis
Gdy do oczyszczania gazów odlotowych z komory chłodniczej stosuje się mycie kwasem (np. kwasem siarkowym), powstaje siarczan aminy. Aminy są odzyskiwane w wyniku obróbki siarczanu aminy przy użyciu wodorotlenku sodu. Może się to odbywać na terenie zakładu lub poza nim.

Szczegóły techniczne
Podczas kwaśnego płukania gazów spalinowych z komory chłodniczej powstaje siarczan aminowy (zob. Sekcja 3.2.1.4.3.6). Aminę tę można odzyskać poprzez neutralizację wodorotlenkiem sodu, a następnie destylację.

Jak pokazano na Rysunku 3.19, sól powstała z trzeciorzędowej aminy (np. DMEA, DMIPA i trietanoloamina (TEA)) w płuczce kwaśnej oraz kwas płuczkowy (np. kwas siarkowy) są ponownie przekształcane w reakcji z silną zasadą (np. roztworem sody kaustycznej), tworząc wolną aminę i np. siarczan sodu. Aminy są wydalane wraz z parą wodną, a następnie oczyszczane i zatężane w kolumnie w stopniu umożliwiającym ich ponowne wykorzystanie. Roztwór siarczanu sodu (wraz z zanieczyszczonym roztworem płuczącym) można odzyskać lub zutylizować.

Jeśli amina nie jest poddawana recyklingowi, koncentraty płuczkowe można oczyszczać w biologicznej oczyszczalni ścieków z eliminacją azotu.



Źródło: [93. UBA 2003].

Rysunek 3.19: Zakładu recyklingu amin

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Odzyskiwanie związku chemicznego, który może być ponownie wykorzystany.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Technika ta ma zastosowanie do wszystkich płynów z płuczek zawierających aminy pochodzących z gazów odlotowych z produkcji rdzeni. Wdrożenie wiąże się z czynnikami ekonomicznymi (np. kosztami transportu), ponieważ konieczne jest zapewnienie wystarczającej ilości płynu do płuczek aminowych. Zasadniczo oczyszczanie odbywa się w jednym miejscu, gdzie oczyszczane są zanieczyszczenia z kilku odlewni. Ponieważ proces ten wiąże się z zagrożeniem wybuchem, należy podjąć wszelkie niezbędne środki zapobiegające ryzyku jego wystąpienia (zob. również *Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania* poniżej).

Oddziaływanie na procesy i środowisko
- Jeśli operacja jest wykonywana w scentralizowanym zakładzie, obejmuje ona transport płynu z płuczki do jednostki oczyszczania.
- Zużycie wodorotlenku sodu i wytworzenie roztworu siarczanu sodu, który może wymagać utylizacji.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Zastosowanie może być ograniczone ze względów bezpieczeństwa (zagrożenie wybuchem).

Ekonomika
Nie dostarczono danych.

Siła napędowa wdrażania
- Odzyskiwanie związków chemicznych.
- Koszty utylizacji odpadów przemysłowych.

Przykładowe zakłady
- Scentralizowane zakłady recyklingu: Voerde (DE).

Literatura źródłowa
[93. UBA 2003].

3.2.1.4.3.7 Stosowanie najlepszych praktyk w procesach utwardzania gazem

Opis

Praktyki obejmują następujące działania (w zależności od zastosowanego procesu utwardzania):

W przypadku żywic fenolowo-uretanowych (proces zimnej rdzennicy):

- Zużycie amin jest minimalizowane poprzez optymalizację procesu dyfuzji w rdzeniu, zazwyczaj poprzez symulację i optymalizację przepływu gazu.
- Temperatura piasku jest utrzymywana na możliwie stałym poziomie, między 20 ºC a 25 ºC, aby zminimalizować czas gazowania i zużycie amin.
- Wilgotność piasku utrzymuje się poniżej 0,1 %, a powietrze do gazowania i przedmuchiwania jest osuszane.
- Rdzennice są dobrze uszczelnione, aby umożliwić odprowadzanie gazowego katalizatora aminowego, a rdzenie są dokładnie przedmuchiwane, aby zapobiec uwalnianiu amin podczas przechowywania rdzeni.

Dla żywic rezolowo-estrowych:

- Temperatura piasku jest utrzymywana na możliwie stałym poziomie od 15ºC do 30ºC.
- Utwardzanie alkalicznej żywicy fenolowej odbywa się za pomocą mrówczanu metylu, który jest gazowany powietrzem ogrzanym zazwyczaj do temperatury 80 ºC.
- Rdzennice i głowice gazujące są prawidłowo uszczelnione, a odpowietrzanie rdzennicy jest zaprojektowane tak, aby zapewnić niewielkie przeciwciśnienie, dzięki czemu para utwardzająca jest utrzymywana wystarczająco długo, aby reakcja mogła się odbyć.

Dla żywic utwardzanych CO_2 (np. fenolowych alkalicznych, krzemianowych):

- Dokładna ilość CO_2 niezbędna do utwardzenia żywic jest dostarczana za pomocą regulatora przepływu i timera, aby uzyskać najlepszą wytrzymałość i czas przechowywania.
- W przypadku żywic krzemianowych stosuje się ciekłe środki rozkładające (np. rozpuszczalne węglowodany) w celu zwiększenia szybkości gazowania.

Dla żywic utwardzanych SO_2 (np. fenolowych, epoksydowo-akrylowych):

- Po okresie gazowania następuje przedmuchiwanie tym samym gazem obojętnym (np. azotem) używanym do utwardzania lub powietrzem w celu usunięcia z piasku nadmiaru dwutlenku siarki, który nie wziął udziału w reakcji.
- Rdzennice są dobrze uszczelniane, a rdzenie dokładnie przedmuchiwane, aby zapobiec wydostawaniu się gazów podczas przechowywania rdzeni.

Szczegóły techniczne

- *Zimna rdzennica:* Opary amin muszą być wychwytywane w maszynie do produkcji rdzeni. Nadmiar amin jest wychwytywany przez rdzennicę. Dodatkowo może być konieczne wentylowanie pomieszczenia, w którym przechowywane są rdzenie. W miarę możliwości nad maszynami do formowania lub wydrążania rdzeni oraz nad tymczasowym miejscem przechowywania rdzeni należy umieścić okapy.
  - Zużycie amin można zminimalizować w zakresie, w jakim jej zużycie odpowiada potrzebom produkcyjnym rdzeni piaskowych, ponieważ koszt surowca i jego obróbki jest wysoki. Minimalizacja zużycia amin jest możliwa dzięki optymalizacji procesu dystrybucji amin w rdzeniu, zazwyczaj poprzez symulację i optymalizację przepływu gazu [100, TWG 2002].
  - Temperatura piasku musi być utrzymywana na możliwie stałym poziomie, między 20ºC a 25ºC, w przeciwnym razie zbyt niska temperatura spowoduje dłuższy czas gazowania, a tym samym większe zużycie amin. Zbyt wysoka temperatura drastycznie skraca żywotność przygotowanego piasku.
  - Woda ma szkodliwy wpływ na ten proces. Wilgotność piasku musi być utrzymywana poniżej 0,1%, a powietrze gazujące i oczyszczające musi zostać osuszone.
  - **Uwaga**: Aminy są łatwopalne i wybuchowe w niektórych proporcjach z powietrzem. Wymagana jest szczególna ostrożność podczas ich przechowywania i obsługi, a instrukcje dostawcy muszą być zawsze przestrzegane.
- *Rezol (alkaliczne fenole utwardzane mrówczanem metylu)*: Zaleca się wentylację obszaru roboczego, przynajmniej w celu uniknięcia niebezpieczeństwa pożaru. Stosowanie mrówczanu metylu musi być zminimalizowane do takiego stopnia, aby jego użycie odpowiadało potrzebom produkcyjnym rdzeni piaskowych. Temperatura piasku musi być utrzymywana powyżej 20ºC, aby zapobiec kondensacji mrówczanu metylu. Opary mrówczanu metylu są cięższe od powietrza; należy o tym pamiętać podczas

projektowania układu wydechowego.
  - **Uwaga**: Mrówczan metylu jest łatwopalny, gdy jego stężenie w powietrzu osiąga 6 do 20% i wybuchowy w pewnych proporcjach z powietrzem. Podczas przechowywania i obchodzenia się z nim należy zachować szczególną ostrożność i zawsze przestrzegać instrukcji dostawcy.
- *Rezol-CO_2:* Żywica ma niską zawartość nieprzereagowanego fenolu i formaldehydu, a ich poziomy emisji, nawet w okresach gazowania i przedmuchiwania, są bardzo niskie. Zaleca się wentylację obszaru roboczego. [120. TWG 2003].
- *Fenol lub furan utwardzany SO2:* Obszar roboczy musi być wentylowany, a emisje zbierane w punkcie emisji poprzez całkowite osłonięcie maszyn do formowania lub rdzeniowania i zastosowanie wentylacji.
  - Zebrane gazy muszą zostać oczyszczone przed emisją. Można to łatwo zrobić za pomocą płuczki zawierającej roztwór wodorotlenku sodu. pH i stężenie roztworu płuczkowego muszą być stale nadzorowane. Roztwór płuczkowy musi być od czasu do czasu wymieniany w celu usunięcia stężonych soli, a następnie wymaga utylizacji jako odpad niebezpieczny.
  - Zużycie dwutlenku siarki należy zminimalizować do poziomu odpowiadającego potrzebom produkcyjnym rdzeni piaskowych.
  - Zazwyczaj cykl oczyszczania trwa 10 razy dłużej niż cykl gazowania.
- *Żywice epoksydowe/akrylowe utwardzane SO2 (utwardzanie wolnorodnikowe)*: Jeśli chodzi o gazowanie i oczyszczanie, zbieranie i obróbkę, to zostały opisane w sekcji dotyczącej żywic furanowych utwardzanych SO_2. Najlepsze warunki gazowania dla uzyskania rdzeni o dobrych właściwościach wymagają:
  - suchego piasku przed użyciem;
  - osuszonego powietrza, które ma zostać wdmuchane lub wstrzelone;
  - stężenia dwutlenku siarki w CO_2 lub w azocie od 5% do 100%, w zależności od użytej żywicy (minimalne dla akrylu, maksymalne dla żywicy epoksydowej/akrylowej);
  - cyklu płukania trwającego 10 razy dłużej niż cykl gazowania.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Zmniejszenie zużycia żywic i związanych z tym emisji.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Nie dostarczono danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.
Ekonomika
Nie dostarczono danych.

Siła napędowa wdrażania
- Zmniejszenie zużycia żywic i związanych z tym emisji.
- Wymogi prawne.

Przykładowe zakłady
Technika szeroko stosowana.

Literatura źródłowa
[100. TWG 2002], [120. TWG 2003]

3.2.1.4.3.8 Stosowanie alternatywnych procesów formowania/produkcji rdzeni

Opis
Alternatywne procesy formowania/produkcji rdzeni wykorzystujące brak lub zmniejszoną ilość spoiw obejmują:

- odlewanie metodą traconej pianki;
- formowanie powłok ceramicznych;
- formowanie próżniowe.

Technikę odlewania metodą traconej pianki opisano w Sekcji 3.2.1.4.3.9 a dodatkowe informacje na temat dopalania gazów wylotowych z odlewania metodą traconej pianki można znaleźć w Sekcji 3.2.1.11.2.1.

Więcej informacji na temat techniki formowania skorup ceramicznych można znaleźć w Sekcji 3.2.1.4.3.10. Formowanie próżniowe opisano w Sekcji 3.2.1.4.3.11.

3.2.1.4.3.9 Odlewanie metodą traconej pianki

Opis

Proces odlewania metodą traconej pianki rozpoczyna się od projektu 3D-CAD i produkcji precyzyjnie uformowanego szablonu piankowego, wykonanego ze spienionego polistyrenu (EPS) lub pleksiglasu (PMMA), produkowanego przez zautomatyzowane wtryskarki. Szablony piankowe części do odlania są następnie łączone w klastry. Klastry są następnie zalewane niezwiązanym piaskiem. Po zalewaniu, stopiony metal powoduje pirolizę spienionego polistyrenu i wypełnia opróżnioną przestrzeń.

Szczegóły techniczne

Ogólne zasady odlewania metodą traconej pianki zostały opisane w Sekcji 2.2.5.9.1. Ze względu na brak spoiwa, technika ta wytwarza mniejszą ilość odpadów stałych i emisji w porównaniu z metodami odlewania w formach piaskowych.

Technika ta pozwala na wytwarzanie elementów o węższych tolerancjach, mniejszej liczbie podajników i kanałów wznoszących oraz lepszych właściwościach po odlaniu. Wszystko to przekłada się na krótszy czas obróbki i oczyszczania.

Odlewnie metodą traconej pianki obejmują wytwórnię pianki, wytapialnię i odlewnię. Nie posiadają rozbudowanego warsztatu produkcji rdzeni i warsztatu wykończeniowego. Warsztat spieniania obejmuje maszyny do spieniania, wytwornice pary i chłodnice oraz osuszacze powietrza otoczenia.

Modele produkowane metodą traconej pianki są wykonane z EPS lub PMMA, z niewielkimi ilościami pentanu, kleju i powłoki mineralnej. Ponieważ zarówno EPS, jak i pentan są czystymi węglowodorami, podczas pirolizy modelu powstają węgle organiczne. W celu zminimalizowania emisji organicznych produktów rozkładu EPS, przeprowadzane jest dopalanie gazów wylotowych.
Technika ta wykorzystuje niezwiązany piasek, który nie powoduje emisji związanych ze spoiwem podczas zalewania i wytrząsania i który może być ponownie wykorzystany wewnętrznie (na terenie zakładu) bez większej obróbki. Piroliza EPS powoduje powolne gromadzenie się materiału organicznego w piasku. Można temu zapobiec poprzez odpylenie i częściowe odnowienie (zmianę na nowy) piasku. Odnowienie na poziomie 5% jest wystarczające do utrzymania jakości piasku. Usunięty piasek może zostać poddany regeneracji termicznej w celu ponownego wykorzystania.

Osiągnięte korzyści dla środowiska

Ponieważ używany jest niezwiązany piasek, technika ta nie wykazuje emisji związanych ze spoiwem podczas zalewania. Zużycie energii w procesie odlewania metodą traconej pianki jest znacznie niższe niż w przypadku konwencjonalnych metod odlewania.

Zużycie energii w procesie odlewania metodą traconej pianki jest znacznie niższe niż w przypadku konwencjonalnych metod odlewania. Wynika to głównie z mniejszego zużycia energii na operacje po odlaniu, topienie i przygotowanie masy. Produkcja rdzeni dla konwencjonalnych metod formowania jest stosunkowo bardziej energochłonna niż produkcja modelu z pianki.

Odlewnia znajdująca się we Francji, która uczestniczyła w gromadzeniu danych SF BREF (odlewnia aluminium Stellantis, FR115) produkuje surowe głowice cylindrów zarówno przy użyciu konwencjonalnego procesu odlewania grawitacyjnego, jak i procesu odlewania metodą traconej pianki. Ponieważ odlewnia ta obsługuje oba rodzaje procesów produkcyjnych, wyraźnie zidentyfikowano korzyści dla środowiska wynikające z zastosowania procesu odlewania metodą traconej pianki w porównaniu z bardziej klasycznym procesem odlewania grawitacyjnego. Uzyskano następujące korzyści (przy odlewaniu metodą traconej pianki w porównaniu do procesu odlewania grawitacyjnego) [230. Desmonts 2020]:

- *Pył*: około 20% redukcja emisji pyłu.
- Całkowite LZO: 70% redukcja emisji całkowitego LZO, ale istnieje potrzeba zainstalowania utleniania termicznego w celu oczyszczenia gazów wylotowych generowanych podczas zalewania.
- *Formaldehyd*: 25% redukcja emisji formaldehydu.
- *Zużycie wody*: 50% redukcja zużycia wody.
- *Generowanie pozostałości*: w procesie odlewania metodą traconej pianki nie powstają wióry aluminiowe podczas wykańczania, co nie ma miejsca w przypadku procesu odlewania grawitacyjnego,

w którym wióry muszą być poddawane recyklingowi.

- *Zwiększona wydajność*: stosunek dobrego odlewu do całkowitej ilości ciekłego metalu (wydajność operacyjna materiału) wynosi 66% w przypadku odlewania metodą traconej pianki w porównaniu do 51% w przypadku odlewania grawitacyjnego.
- *Użycie chemikaliów*: w procesie odlewania metodą traconej pianki nie są stosowane żadne substancje chemiczne o statusie substancji niebezpiecznych i nie są wymagane żadne smary do obróbki wstępnej.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Technika ta ma zastosowanie do seryjnej produkcji małych i średnich produktów z metali żelaznych i nieżelaznych. Maksymalne rozmiary odlewów wynoszą 1 000 x 1 000 x 550 mm. Technika ta znajduje większość zastosowań w odlewniach aluminium i ma 2% udział w odlewaniu aluminium.

Technika ta skutkuje niższą produkcją pozostałości w porównaniu do odlewni stosującej piasek, o takiej samej wydajności. Gazy spalinowe wymagają bardziej intensywnego oczyszczania (dopalania) i (po oczyszczeniu) powodują wyższą emisję związków organicznych (BTEX, formaldehyd).

Porównawcze poziomy zużycia przy produkcji porównywalnej obudowy sprężarki metodą odlewania w formach piaskowych i odlewania metodą traconej pianki podano w Tabeli 3.16. Wskazuje to na większą ilość materiału powrotnego w stopie i mniejszą masę odlewu. W przypadku metody traconej pianki, całkowita ilość masy formierskiej jest znacznie zwiększona, podczas gdy nie są używane żadne rdzenie.

Tabela 3.16: Dane operacyjne dla produkcji podobnej żeliwnej osłony sprężarki, przy użyciu różnych metod

Materiał wejściowy	Zielony piasek	Chemicznie związany piasek	Metoda traconej
Żeliwo	98,0	98,0	96,1
Zwroty z odlewni	30,0	30,0	38,1
Masa odlana	68,0	68,0	58,0
Piasek formierski	256,8	233,0	1101,4
Piasek rdzeniowy	122,0	150,7	n/d
Waga modelu piankowego + podajnik	n/d	n/d	0,212
Wszystkie dane w kg n.d.: nie dotyczy *Źródło:* [44. de Wilde i in. 1999]			

Dane dotyczące emisji (np. pyłu, całkowitego LZO, benzenu i formaldehydu), w tym odpowiednie techniki redukcji emisji dla odlewni aluminium i żeliwa, które wdrożyły proces odlewania metodą traconej pianki, zostały podsumowane w Sekcji 2.3.2.10.1.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Technika ta pozwala na zmniejszenie zużycia energii oraz ograniczenie operacji związanych z produkcją form i wykańczaniem odlewów (zob. „Wyniki w zakresie ochrony środowiska" powyżej). Gazy wylotowe wykazują podwyższone wartości lotnych węglowodorów aromatycznych (BTEX) i formaldehydu, ale emisje występują tylko podczas zalewania i można je łatwiej wychwycić i oczyścić (zob. Sekcja 3.2.1.11.2.1).

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Zastosowanie procesu odlewania metodą traconej pianki w istniejących zakładach może być ograniczone ze względu na konieczność modyfikacji infrastruktury.

Ponieważ technika ta wymaga zasadniczej zmiany procedury wykonywania form i infrastruktury, stosuje się ją przede wszystkim w nowych instalacjach. Zastosowanie w istniejących odlewniach wymaga przebudowy procesu odlewniczego w zakresie operacji formowania, zalewania i wykańczania oraz przeglądu tych etapów dla każdego z produkowanych odlewów. Wprowadzenie technologii traconej pianki dla danego odlewu wymaga nakładów finansowych, siły roboczej, czasu i elastyczności, a także współpracy klienta.

Ekonomika

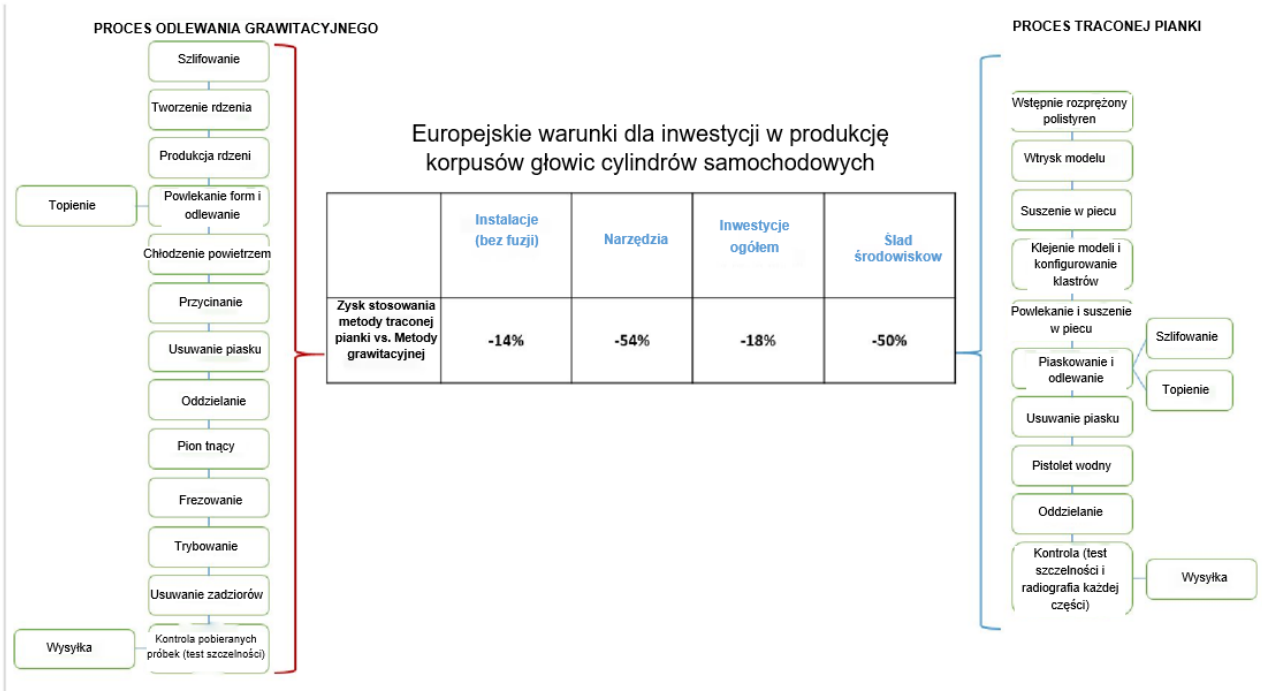
Dane ekonomiczne dotyczące instalacji do produkcji aluminium metodą traconej pianki podano w Tabeli 3.17. Koszty inwestycyjne obejmują sprzęt, instalację, uruchomienie i szkolenie.

Tabela 3.17: Dane ekonomiczne dla odlewni aluminium stosującej metodę traconej pianki

Koszty inwestycyjne	Opis	EUR

Sprzęt do tworzenia modeli	Maszyna do tworzenia modeli Generator pary Instalacja powłoki	1 300 000
Sprzęt odlewniczy	Automatyczna maszyna odlewnicza	2 540 000
Oczyszczanie gazów wylotowych	Odpylanie na sucho Regeneracja termiczna	608 000
Przygotowanie piasku	Przesiewanie, chłodzenie, transport	160 000
Ogółem	*Inwestycje, instalacja, uruchomienie, szkolenie*	*4 608 000*
Koszty operacyjne		**EUR/tonę dobrego odlewu**
Zużycie	Granulki spienionego polistyrenu (EPS), klej, powłoka, para, materiały palne	202
Dane szczegółowe odlewni: odlewy aluminiowe, produkcja 5 500 ton/rok dobrych (zatwierdzonych) odlewów, produkcja 6 864 ton/rok stopionego metalu, dane z 1997 r. *Źródło*: [35. Spillner, A. 1997].		

Odlewnia aluminium Stellantis (FR115) była w stanie przeprowadzić bardzo szczegółową analizę ekonomiczną wdrożenia procesu odlewania metodą traconej pianki w porównaniu z bardziej konwencjonalnym procesem odlewania grawitacyjnego, biorąc pod uwagę, że w zakładzie tym stosowane są obie metody produkcji. Wyniki przedstawiono na Rysunku 3.20. Badanie to pokazuje, że w przypadku produkcji surowych odlewów aluminiowych głowic cylindrów zastosowanie procesu odlewania metodą traconej pianki znacznie zmniejsza całkowite koszty inwestycji (np. o 18 % całkowitych kosztów inwestycji) oraz powierzchnię zakładu (tj. o 50 % powierzchni wymaganej w przypadku odlewania grawitacyjnego) [230. Desmonts 2020].



Źródło: [230. Desmonts 2020].

Rysunek 3.20: Ekonomiczne porównanie procesu odlewania metodą traconej pianki z procesem odlewania grawitacyjnego w produkcji odlewów głowic cylindrów aluminiowych

Siła napędowa wdrażania

- Ograniczenie ilości odpadów powstających podczas odlewania w formach piaskowych oraz zmniejszenie zużycia energii.
- Wymogi prawne.

Przykładowe zakłady

Zakłady FR115 oraz DE078.

Literatura źródłowa

Żeliwo: [44. de Wilde i in. 1999]
Aluminium: [35. Spillner, A. 1997], [49. Inasmet oraz CTIF 2002], [230. Desmonts 2020], [169. TWG 2021]

3.2.1.4.3.10 Odlewanie w skorupach ceramicznych

Opis
Model polistyrenowy jest pokryty cienką skorupą (powłoką) ceramiczną wykonaną z krzemianu etylu i piasku ogniotrwałego. Skorupa jest utwardzana za pomocą amoniaku i spiekana, wypalając model polistyrenowy. Do tak przygotowanej formy wlewany jest następnie metal.

Szczegóły techniczne
Ten rodzaj formowania skorupy ceramicznej jest opatentowanym procesem (Replicast®), w którym model polistyrenowy jest pokryty skorupą ceramiczną (o grubości 2-3 mm), opartą na krzemianie etylu i piasku ogniotrwałym. Skorupa jest utwardzana przy użyciu amoniaku i spiekana w temperaturze 1 000 ºC. Spiekanie powoduje utwardzanie skorupy i wypalanie modelu polistyrenowego. Do tak przygotowanej formy wlewany jest następnie metal.

Piec do spiekania jest wyposażony w dopalacz w celu zmniejszenia emisji.

Technika ta umożliwia projektowanie odlewów bez linii podziału, rdzeni i kątów pochylenia oraz ze zmniejszoną ilością podawanego metalu. Zmniejsza to zapotrzebowanie na obróbkę wykańczającą i mechaniczną.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Technika ta skutkuje minimalizacją emisji pyłu podczas formowania i wykańczania w porównaniu z formowaniem z użyciem form piaskowych. Emisja lotnych związków organicznych jest wyeliminowana, ponieważ w przypadku obojętnej formy ceramicznej nie jest emitowany żaden gaz. Dodatkowo zmniejsza się ilość odpadów (pył, metal). Redukcja podajników skutkuje wyższym uzyskiem odlewów na jeden wytop.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Dane operacyjne od właściciela techniki zostały przedstawione w Tabeli 3.18 dla odlewania zaworów, w porównaniu z odlewaniem w formach piaskowych.

Tabela 3.18: Względna redukcja masy dla zaworów odlewanych w skorupach ceramicznych w porównaniu do zaworów odlewanych w formach piaskowych

Właściwość	Względna redukcja masy (%)
Masa końcowa odlewów	20 – 26
Wsad metalu	24 – 60
Nalany metal	24 – 50
Źródło: [117, Castings Technology International 2003].	

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Zastosowanie formowania w skorupie ceramicznej może być ograniczone przez specyfikację produktu (np. wysoka jakość wykończenia powierzchni).
Technika ta ma zastosowanie do produkcji odlewów, które wymagają wysokiej jakości wykończenia powierzchni, ze stopów niskowęglowych, takich jak ultra niskowęglowa stal nierdzewna i stopy na bazie niklu o masie końcowej do 550 kg. Ten opatentowany typ procesu wytwarzania skorup ceramicznych może być stosowany wyłącznie zgodnie z warunkami udzielonej licencji.

Siła napędowa wdrażania
- Regulacje dotyczące emisji LZO oraz wysokie koszty unieszkodliwiania odpadów resztkowych.
- Wymogi prawne.

Przykładowe zakłady
- CMS srl, Urbisaglia (IT): 2 zautomatyzowane linie do produkcji zaworów stalowych o masie końcowej do 150 kg.
- Saint-Gobain SEVA, Chalons-sur-Saone (FR): elementy stalowe i nadstopowe dla przemysłu szklarskiego.

Literatura źródłowa
[38. Vito 2001], [117. Castings Technology International 2003].

3.2.1.4.3.11 Formowanie próżniowe

Informacje na temat procesu formowania próżniowego są dostępne w Sekcji 2.2.5.6.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Zastosowanie formowania próżniowego może być ograniczone w przypadku dużych skrzynek formierskich (np. powyżej 1,5 m x 1,5 m).

3.2.1.4.4 Regeneracja oraz odzysk piasku

3.2.1.4.4.1 Zoptymalizowana regeneracja zielonego piasku (kruszenie, separacja, chłodzenie)

Opis
Proces regeneracji zielonego piasku (zielony piasek w metalurgii to mieszanka piasku kwarcowego, gliny bentonitowej i wody) jest kontrolowany przez system komputerowy w celu optymalizacji zużycia surowców i ponownego wykorzystania zielonego piasku, np. chłodzenie (wyparne lub w złożu fluidalnym), dodawanie spoiw i dodatków, nawilżanie, mieszanie, kontrola jakości.

Szczegóły techniczne
Jedną z głównych zalet stosowania formowania w zielonym piasku jest to, że piasek z form może być regenerowany po zalewaniu celem wielokrotnego użycia. W celu utrzymania jakości masy formierskiej dodawany jest minimalny procent nowej masy. Ilość dodawanej nowej masy zależy od ilości masy rdzeniowej i strat w procesie. W przypadku formowania bezrdzeniowego średni współczynnik odnawiania masy wynosi 2-5%. W procesach odlewania z użyciem rdzeni, odnawianie masy następuje poprzez wprowadzenie do obiegu masy rdzeniowej.\ W każdym przypadku nadmiar masy jest usuwany z obiegu masy po przesiewaczu wstrząsowym lub z silosów magazynowych. Ogólny sposób postępowania przedstawiono na Rysunku 2.31. Ta wewnętrzna recyrkulacja zielonego piasku przy minimalnej obróbce jest określana jako regeneracja pierwotna. Ma ona zasadniczo trzy cele: (1) rozbicie piasku na pierwotny rozmiar ziarna lub małe cząstki, (2) usunięcie drobnych cząstek i (3) schłodzenie piasku przed zmieszaniem z nowym piaskiem.

Do rozbijania/rozdrabniania i oddzielania stosowane są różne techniki:

- *Wibracje*: Siatka wibracyjna lub sprzęt do przesiewania jest najczęściej stosowaną techniką do celów pierwotnego odzysku. Przesiany piasek jest usuwany w celu dalszej obróbki, np. chłodzenia, klasyfikacji wielkości i odzysku termicznego, a pozostały materiał jest zbierany w celu unieszkodliwienia.
- *Bęben*: Piasek z operacji wybijania jest ładowany do obracającego się bębna wyposażonego w pręty podnoszące i przesuwne. Gdy piasek przemieszcza się wzdłuż bębna, obracanie i podnoszenie powoduje, że cząsteczki piasku ścierają się ze sobą i rozpadają na pojedyncze ziarna. Ziarna piasku spadają przez sita na końcu bębna, podczas gdy nadwymiarowe i odpadowe materiały są usuwane w celu unieszkodliwiania.
- *Śrutowanie*: Forma i odlew są ładowane bezpośrednio do śrutownicy. Działanie śrutowania powoduje całkowity rozpad formy, a także oczyszcza powierzchnię odlewu. Piasek i śrut są następnie oddzielane. Technika ta nie jest jednak zbyt powszechna.

Podczas chłodzenia odlewów piasek ulega podgrzaniu. Aby osiągnąć dobre warunki mieszania piasku, musi on zostać schłodzony do temperatury 40 - 45ºC. Chłodnice wyparne są używane z turbulentnymi i fluidalnymi złożami, a także z wymiennikami ciepła. Jeśli wytrząsanie odbywa się za pomocą transporterów wibracyjnych bębnów obrotowych, chłodzenie może odbywać się w tym samym czasie.

Jeśli używana jest chłodnica ze złożem fluidalnym, powietrze suszące może być ogrzewane gazem lub energią elektryczną. Średni czas obróbki w złożu wynosi 10 minut. Na ogół piasek trafia do złoża fluidalnego z wilgotnością 2-3% i temperaturą 250-300ºC. Kontrola temperatury i wilgotności może być przeprowadzona przed chłodnicą złoża fluidalnego z późniejszym dodaniem kontrolowanych ilości wody. Pozwala to zminimalizować ilość drobnych cząstek, które są usuwane podczas suszenia w złożu fluidalnym. Drobiny zawierają bentonit, który może zostać ponownie aktywowany. Poziom wilgotności powracającego piasku musi być utrzymywany na poziomie od 2% do 2,2% w temperaturze 35ºC. W związku z tym podczas przechowywania bentonit zawarty w schłodzonym i mokrym piasku zaczyna się aktywować, a podczas mieszania zmniejsza się ilość wody i bentonitu, które należy dodać, podobnie jak czas cyklu.

Dobra homogenizacja piasku zapewnia stałą jakość piasku oraz lepsze i łatwiejsze jego przygotowywanie.

Systemy homogenizacji polegają na zastosowaniu kilku małych silosów zamiast jednego dużego lub na recyrkulacji piasku w silosie.

W systemach wykorzystujących rdzenie wiązane chemicznie, mieszanie piasku rdzeniowego może mieć negatywny wpływ na jakość tego piasku, w zależności od rodzaju spoiwa i ilości zmieszanego piasku rdzeniowego. Negatywne skutki są bardziej znaczące w przypadku rdzeni o odczynie kwasowym i zasadowym niż w przypadku systemów neutralnych (SO_2-epoksyd, poliuretan-zimna rdzennica). Podczas wytrząsania masa rdzeniowa i masa formierska nieuchronnie się wymieszają. Nieutwardzone i nieuszkodzone rdzenie mogą jednak zostać pominięte lub usunięte z piasku przed ponownym wprowadzeniem do regeneracji pierwotnej.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Mniejsze zużycie materiałów pierwotnych (piasku i bentonitu), mniejsza ilość materiału do unieszkodliwiania.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Chociaż poziom dodawania nowego piasku zależy od wielu czynników, zwykle wynosi on 10-20% masy zalewanego metalu. Jednak wygodniej jest rozważyć dodanie nowego piasku jako procent jego przepustowości. Dla większości procesów odlewniczych, 5% dodatek jest uważany za wystarczający, ale wiele odlewni pracuje z niższymi wskaźnikami.

W przypadku monosystemu zielonego piasku można osiągnąć współczynniki regeneracji na poziomie 98%. Systemy o wysokim stopniu niekompatybilności rdzeni mogą osiągnąć współczynnik regeneracji na poziomie 90-94%.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Regeneracja piasku zużywa energię elektryczną, co zwiększa całkowite zużycie energii elektrycznej przez instalację. Ponieważ stosowane są głównie techniki mechaniczne, wzrost ten jest niewielki.

Chłodzenie piasku i oddzielanie drobnych cząstek prowadzą do powstawania zapylonych gazów wydechowych. Należy je filtrować, aby zapobiec emisji pyłu. Zebrany pył jest unieszkodliwiany lub ponownie wykorzystywany (zob. Sekcja 3.2.1.4.4.15).

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ta ma zastosowanie we wszystkich odlewniach zielonego piasku, w nowych i istniejących instalacjach.

Ekonomika
Potencjalne korzyści kosztowe odzysku dla odlewni, która obecnie nie odzyskuje piasku, podsumowano w Tabeli 3.19.

Tabela 3.19: Korzyści kosztowe z odzysku pierwotnego

Opis	Koszt (EUR/tonę piasku)
Średnia cena piasku kwarcowego	32,64
Średni koszt unieszkodliwiania piasku odpadowego	14,56
Całkowity koszt zakupu i unieszkodliwiania piasku	**47,2**
Szacowany koszt amortyzacji w celu odzyskania wydatków na sprzęt w ciągu jednego roku	18,24
Średni koszt operacyjny	7,76
Przewidywane oszczędności w pierwszym roku	**21,2**
Przewidywane oszczędności kosztów w kolejnych latach	**39,44**
(Szacunki brytyjskie 1995)	

Inwestycja w mieszalnik, jednostkę dozującą i jednostkę sterującą procesem mieści się w przedziale 0,05-1 mln EUR. Inwestycja w redukcję ilości pęknięć rdzeniowych wynosi 0,1 miliona euro, chociaż jest ona stosowana tylko wtedy, gdy taka redukcja nie może zostać przeprowadzona w dostępnej mechanicznej lub pneumatycznej jednostce regeneracyjnej. Koszty operacyjne (w ujęciu rocznym) można oszacować na 5-10% kosztów inwestycyjnych.

Siła napędowa wdrażania

- Wielu operatorów odlewni podaje redukcję kosztów jako jedyny powód rozpoczęcia różnych programów odzysku piasku. Przepisy zachęcają do zmniejszenia ilości wyrzucanych materiałów poprzez wzrost kosztów unieszkodliwiania.

- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady

Odzysk pierwotny jest stosowany przez praktycznie wszystkie odlewnie zielonego piasku, choć stopień zaawansowania zakładu takiego odzysku bywa bardzo różny; od prostej operacji ręcznej do w pełni zautomatyzowanej z urządzeniami sterowanymi komputerowo.

Literatura źródłowa

[29. ETSU 1995], [30. ETSU 1995], [37. FEAF 1999], [38. Vito 2001], [42. IHOBE 1998], [47. Sieć tematyczna UE ds. odpadów z odlewni 2001], [49. Inasmet and CTIF 2002], [169. TWG 2021]

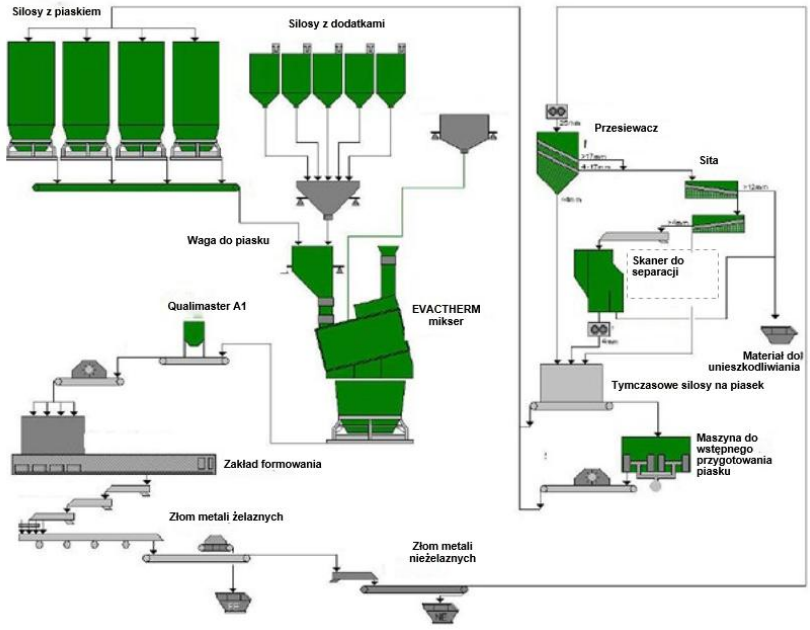
3.2.1.4.4.2 Regeneracja zielonego piasku o niskiej zawartości odpadów

Opis

Regeneracja zielonego piasku w odlewniach aluminium odbywa się przy użyciu skanera do identyfikacji zanieczyszczeń w zielonym piasku na podstawie jego jasności/barwy. Zanieczyszczenia te są oddzielane od zielonego piasku za pomocą sprężonego powietrza.

Szczegóły techniczne

W odlewniach czynniki związane z procesem powodują gromadzenie się zanieczyszczeń w masie formierskiej w formach piaskowych. W standardowych systemach regeneracji piasku zanieczyszczenia te (piasek rdzeniowy, materiał izolacyjny, złom metalowy) nie mogą być wystarczająco oddzielone od masy formierskiej. Znaczna aglomeracja zanieczyszczeń powoduje konieczność unieszkodliwiania stosunkowo dużych ilości masy formierskiej i odświeżania systemu za pomocą nowej masy krzemionkowej i spoiwa glinianego. Nowa technika regeneracji piasku pozwala na pełniejsze oddzielenie zanieczyszczeń od masy formierskiej. (Rysunek 3.21).



Źródło:[133. DE UBA 2014].

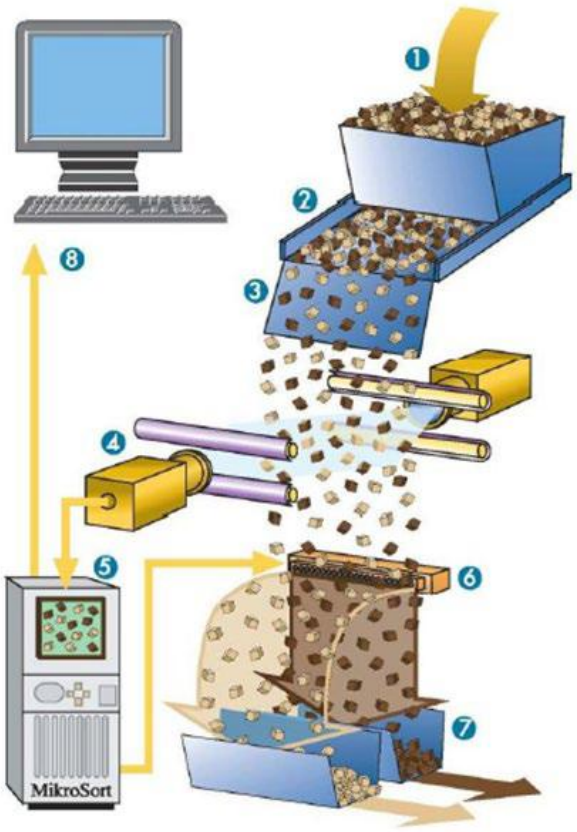
Rysunek 3.21: Nowy zakład regeneracji zielonego piasku w odlewni aluminium (kluczowe komponenty na zielono)

Kluczowymi komponentami są mieszalniki, silosy, przesiewacze i skaner do oddzielania zanieczyszczeń od zielonego piasku na podstawie jasności/koloru materiału (Rysunek 3.22).



Źródło:[133. DE UBA 2014].

Rysunek 3.22: Urządzenie do optycznego wykrywania i separacji zanieczyszczeń z zielonego piasku



Legenda:
1: Podajnik zmieszanego materiału.
2: Rynna wibracyjna rozrzucająca materiał wsadowy.
3: Podajnik.
4: System kamer do identyfikacji poszczególnych składników.
5: Komputer do przetwarzania obrazów oraz sterowania procesem separacji.
6: Linia dmuchaw do separacji wykrytych składników za pomocą impulsów powietrza.
7: Pojemniki na odseparowane składniki.
8: Monitor.

Źródło: [133, DE UBA 2014]

Rysunek 3.23 Schemat procesowy urządzenia do optycznej detekcji i separacji zanieczyszczeń:

Piaski związane organicznie są przechowywane oddzielnie od piasków związanych nieorganicznie.

Osiągnięte korzyści dla środowiska

- Minimalizacja ilości zużytego piasku.
- Zmniejszenie zużycia surowców (ochrona zasobów piasku kwarcowego i gliny wiążącej).
- Znacząca redukcja transportu ciężkiego.

Tabela 3.20: Potencjał redukcji przy użyciu regeneracji zielonego piasku o niskiej zawartości odpadów

Parametr	Potencjał w przypadku pełnej wydajności pracy przykładowej instalacji
Zmniejszenie ilości zużytego piasku przeznaczonego do unieszkodliwiania	12 650 t/rok
Zmniejszenie zużycia surowców: piasek kwarcowy	13 800 t/rok
Zmniejszenie zużycia surowców: spoiwo gliniane	92 t/rok
Redukcja emisji CO_2 dzięki ograniczeniu transportu	140 t/rok
Źródło:[133. DE UBA 2014].	

Zgłoszono następujące dane operacyjne.

Tabela 3.21: Dane operacyjne (przy pełnym wykorzystaniu mocy produkcyjnej dla przykładowego zakładu)

Maksymalny licencjonowany czas pracy:		8 760 h
Ilość godzin pracy		6 570 h
Wydajność zakładu przygotowania piasku:	70 t/h	460 000 t/rok
Bez nowej techniki:		
- ilość nowego piasku:	ok. 3 %	13 800 t/rok
- ilość unieszkodliwianego piasku:	ok. 3 %	13 800 t/rok
Z nową techniką:		
- ilość nowego piasku:	0,25%	1 150 t/rok
- ilość piasku do recyklingu (bez unieszkodliwiania):	0,25%	1 150 t/rok
Zmniejszenie zużycia nowego piasku:		12 650 t/rok
Ograniczenie masy zanieczyszczonego piasku do unieszkodliwienia:		13 800 t/rok
Źródło:[133. DE UBA 2014].		

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Zobacz *Osiągnięte korzyści dla środowiska* powyżej.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika
Podano następujące dane ekonomiczne.

Tabela 3.22: Ekonomiczne aspekty przygotowania zielonego piasku

Łączna wartość inwestycji:			4,44 mln €
Redukcja kosztów rocznie: ok.			1,18 mln €:
- Koszty nowego piasku	12 650 t	45 €/t	569 250 €/rok
- Koszty unieszkodliwiania piasku:	13 800 t	43 €/t	593 400 €/rok
- Całkowity koszt piasku:			1 162 650 €/rok*
- Koszty bentonitu:	92 t	228 €/t	21000 €
Źródło:[133. DE UBA 2014].			

Siła napędowa wdrażania

- Oprócz poprawy efektywności wykorzystania zasobów, dzięki nowemu systemowi przygotowania piasku osiągnięto również korzyści techniczne, które mają ogromne znaczenie w produkcji odlewniczej:
  - znaczne zmniejszenie zużycia spoiwa bentonitowego i wody w materiale formierskim;

- drobnoziarnisty skład masy formierskiej, zapewniający gładkie powierzchnie odlewów.
- Redukcja wad powierzchniowych spowodowanych zanieczyszczeniami nagromadzonymi w materiale formierskim.

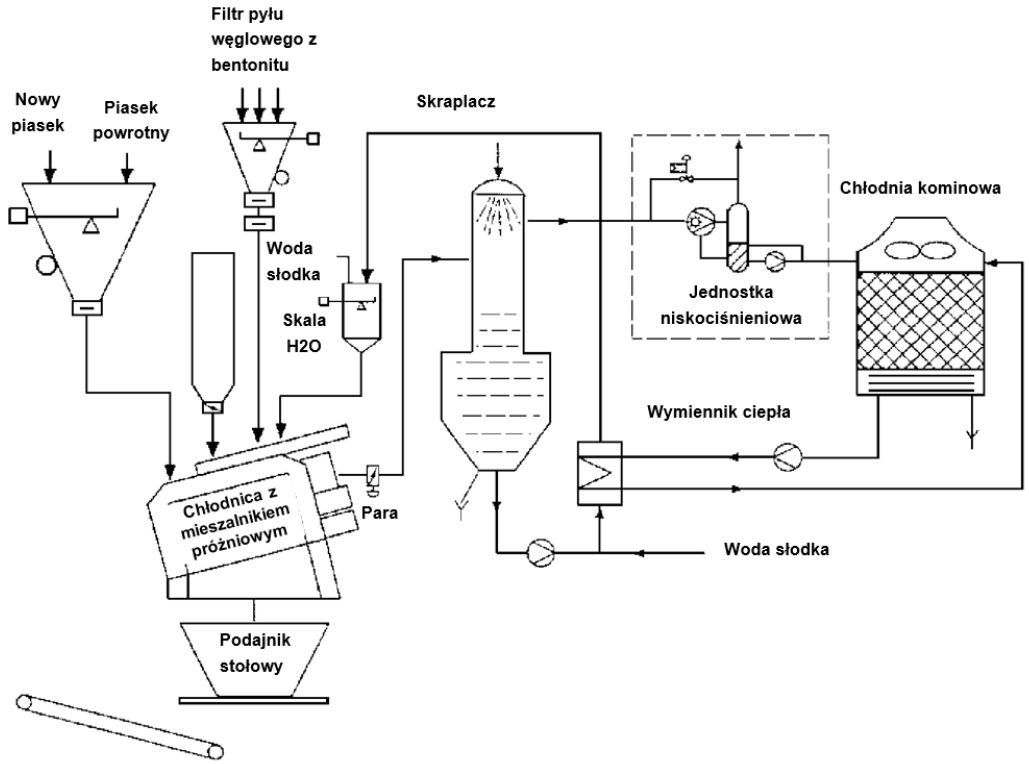
Przykładowe zakłady
Ohm&Häner Metallwerk GmbH & Co KG, Drolshagen, DE.

Literatura źródłowa [133. DE UBA 2014]

3.2.1.4.4.3 Przygotowanie piasku wiązanego gliną poprzez mieszanie próżniowe i chłodzenie

Opis
Procesy mieszania i chłodzenia są połączone w jeden etap procesu poprzez pracę mieszalnika piasku pod zmniejszonym ciśnieniem, co skutkuje chłodzeniem poprzez kontrolowane odparowanie wody.

Szczegóły techniczne
Proces mieszania i chłodzenia jest połączony w jeden etap. Osiąga się to poprzez pracę mieszalnika piasku pod zmniejszonym ciśnieniem, co skutkuje chłodzeniem poprzez kontrolowane odparowanie wody. Wymagane jest hermetyczne zamknięcie mieszalnika. Posiada on obudowę ciśnieniową i jest podłączony do systemu próżniowego. Układ systemu przedstawiono na poniższym rysunku.



Źródło: [105, Drews, B. 1996].

Rysunek 3.24: Instalacja przygotowania piasku do formowania z mieszalnikiem próżniowym-chłodnicą

W porównaniu z normalną mieszalnią (Rysunek 2.31)technika ta nie wymaga oddzielnej chłodnicy i związanego z nią sprzętu. Instalacja próżniowa jest zatem bardziej kompaktowa. Ponieważ całkowity przepływ powietrza ulega zmniejszeniu, instalacja próżniowa ma mniejszy centralny filtr odpylający. Rozmiar i zużycie energii przez filtr stanowią 50% tego, co w przypadku konwencjonalnej instalacji. Zmniejszenie przepływu powietrza skutkuje zmniejszonym usuwaniem aktywnego bentonitu, a tym samym ogólnym zmniejszeniem zużycia dodatków. Ze względu na działanie w warunkach hermetycznych, na technikę nie mają wpływu zewnętrzne warunki klimatyczne.

Zastosowanie pary wodnej przy braku powietrza prowadzi do szybkiej aktywacji bentonitu, co skutkuje bardzo szybkim osiągnięciem optymalnej wytrzymałości na ściskanie dla związanego piasku.

Woda jest dodawana w dwóch oddzielnych etapach:

- woda w celu nawilżenia piasku powrotnego do wilgotności piasku pierwotnego;
- woda do schłodzenia piasku przez odparowanie do wymaganej temperatury 38 - 40 ºC.

Wadą systemu jest obsługa i konieczność konserwacji systemu próżniowego. Proces ten wpływa również na właściwości techniczne piasku (np. wytrzymałość na ściskanie i rozciąganie, przepuszczalność), które zmniejszają się po 72 godzinach ("efekt 72 godzin"). Można temu zapobiec poprzez ponowne mieszanie przez około 90 s.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Zmniejszenie całkowitego przepływu powietrza skutkuje zmniejszeniem objętości gazów wylotowych i ilości pyłu do unieszkodliwiania, a także zmniejszonym zużyciem spoiwa w porównaniu z konwencjonalnymi instalacjami chłodzenia i mieszania (choć zależy to również od wydajności instalacji regeneracji). Dodatkowo system zużywa mniej energii.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Zobacz *Szczegóły techniczne* powyżej.
Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika
Komercyjnymi ograniczeniami zastosowania wydają się być procesy, w których wymagane jest chłodzenie piasku i które mają wydajność > 60 ton piasku na godzinę.

Siła napędowa wdrażania
- Redukcja ilości pyłu do unieszkodliwiania oraz minimalizacja zużycia dodatków. Ograniczona przestrzeni.
- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady
W Japonii od 1993 r. działa instalacja do mieszania próżniowego i chłodzenia o przepustowości 100 m^3/h. Różne instalacje działają obecnie także we Włoszech, Francji, Niemczech i Anglii.

Literatura źródłowa
[49. Inasmet oraz CTIF 2002], [105. Drews, B. 1996], [112, Gerl, S. 2003].

3.2.1.4.4.4 Mechaniczny odzysk piasku (masy) utwardzanego na zimno

Opis
Do odzyskiwania piasku utwardzanego na zimno stosuje się techniki mechaniczne (np. rozdrabnianie brył, segregacja frakcji piasku) z wykorzystaniem kruszarek lub młynów.

Szczegóły techniczne
Do odzysku piasków monokomponentowych utwardzanych na zimno (np. piasków furanowych) i nieutwardzonych piasków rdzeniowych stosuje się proste techniki mechaniczne. Techniki te obejmują rozdrabnianie grudek, segregację ziaren piasku i czyszczenie poprzez tarcie międzyziarnowe, a następnie odpylanie i schładzanie do temperatury roboczej. Stosuje się różne rodzaje kruszarek i młynów, np. kruszarki udarowe, kruszarki szczękowe, młyny kulowe.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Zmniejszenie ilości piasku przeznaczonego do unieszkodliwiania oraz zużycia nowego piasku pierwotnego.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
W przypadku monopiasków furanowych utwardzanych na zimno odnotowano współczynniki odzysku przekraczające 90%. Technika ta może być stosowana do wszystkich rodzajów piasku utwardzanych na zimno, z wyjątkiem piasku krzemianowego. Odzyskany piasek można ponownie wykorzystać w tym samym cyklu formowania, dodając niewielką ilość nowego piasku w celu wyrównania strat jakościowych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Odzysk piasku wymaga dodatkowej energii i powoduje dodatkową emisję pyłu oraz powstanie pyłu resztkowego, który należy unieszkodliwić.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Może nie mieć zastosowania do piasku o spoiwie krzemianowym.

Ekonomika
Nie dostarczono danych.
Siła napędowa wdrażania
- Uniknięcie kosztów związanych z unieszkodliwianiem pozostałości.
- Uniknięcie konieczności zakupu nowego piasku.
- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

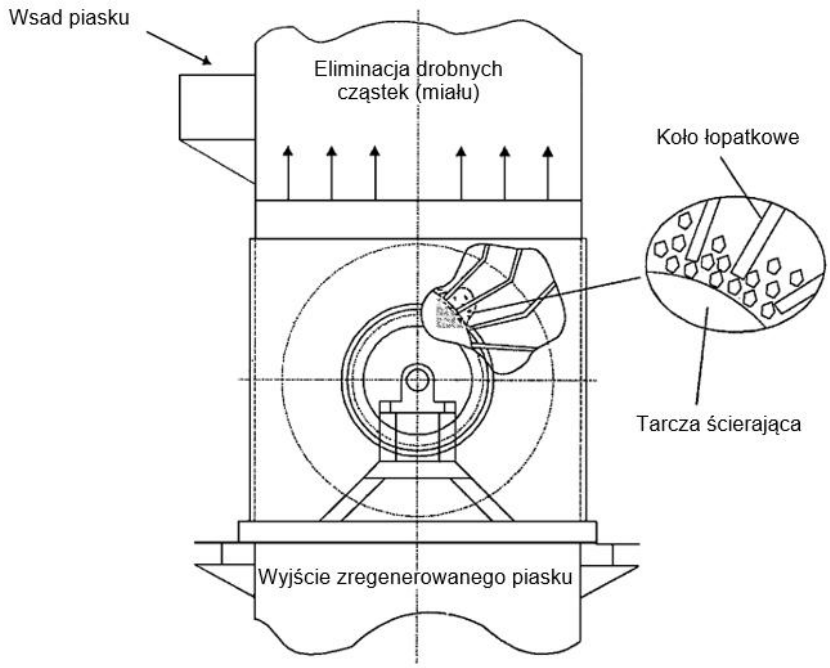
Przykładowe zakłady
Prosty mechaniczny odzysk piasku utwardzanego na zimno jest stosowany w wielu odlewniach w Europie i został zgłoszona w zbiorze danych SF przez zakłady FI102 oraz PT141.

Literatura źródłowa
[57. Umweltbundesamt 2002], [100. TWG 2002], [169. TWG 2021]

3.2.1.4.4.5 Mechaniczny odzysk na zimno piasku związanego gliną lub chemicznie za pomocą ściernicy

Opis
Zastosowanie obrotowej ściernicy do usuwania warstw gliny i spoiw chemicznych z użytych ziaren piasku.

Szczegóły techniczne
Jest to szeroko stosowany komercyjny system ścierania (zob. Rysunek 3.25). Został pierwotnie opracowany do odzyskiwania zmieszanych piasków bentonitowo-organicznych. W systemie tym poziomo obracająca się ściernica służy do usuwania twardej warstwy bentonitu oolitowego z piasku. Ścieranie może również usuwać spoiwa chemiczne z ziaren piasku. Wokół ściernicy znajduje się wolno obracająca się tarcza łopatkowa, która w sposób ciągły przesuwa piasek na ściernicę. Powyżej znajduje się jednostka odpylająca, która usuwa pyły i cząstki stałe. Aby piasek nadawał się do przetwarzania, musi być suchy. Aby obniżyć zawartość wilgoci do poziomu poniżej 0,2%, wymagany jest etap wstępnego suszenia z użyciem suszarki ze złożem fluidalnym lub innej suszarki.



Źródło: [42. IHOBE 1998].

Rysunek 3.25: Regeneracja mechaniczna na zimno z za pomocą ścierania

Strumień gazów wylotowych z regeneratora jest odpylany za pomocą cyklonu i filtra workowego. Pył z filtrów zawiera resztki aktywnego bentonitu i pyłu węglowego. Może on być ponownie wprowadzony do procesu produkcji rdzeni, co pozwala na zmniejszenie zużycia węgla błyszczącego. Ponadto formy wykazują lepszą jakość techniczną (wytrzymałość na rozciąganie na mokro, płynność) dzięki pozostałej zawartości bentonitu,

co dodatkowo prowadzi do zmniejszenia ilości złomowanych form i ograniczenia powstawania żeberek na odlewach.

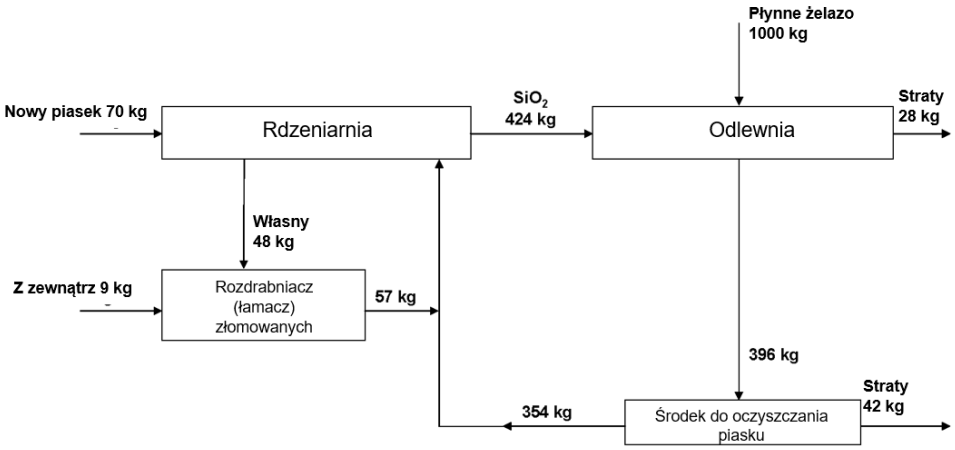
Osiągnięte korzyści dla środowiska

- Zmniejszenie ilości piasku przeznaczonego do unieszkodliwiania oraz zużycia nowego piasku pierwotnego.
- Zmniejszenie zużycia węgla błyszczącego w przypadku zielonego piasku.
- Zwiększenie właściwości mas formierskich, skutkujące zmniejszeniem liczby złomowanych form i odrzutów gotowych odlewów.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

W przypadku piasku związanego gliną maksymalny współczynnik odzysku wynosi 65-75%. Odpowiada to zawartości ziaren kwarcu w materiale. W przypadku piasku związanego chemicznie ilość piasku kwarcowego nadającego się do recyklingu wynosi 90-95%.

Całkowity przepływ piasku w obiegu zamkniętym oraz zapotrzebowanie na nowy piasek zależy od ilości używanych rdzeni (i piasku rdzeniowego). Dlatego dane dotyczące obiegu zamkniętego piasku są bardzo specyficzne dla danego procesu. Rysunek 3.26 przedstawia dane dla zakładu w Holandii.



Rysunek 3.26: Dane eksploatacyjne dotyczące obiegu zamkniętego piasku w holenderskiej odlewni z zielonym piaskiem

Ogólnie rzecz biorąc, zielony piasek odpadowy składa się z około 80% ziaren piasku kwarcowego i około 20% drobnych cząstek (bentonit, pył węglowy itp.). Ze 100% piasku odpadowego około 70% jest przekazywane z powrotem do produkcji rdzeni jako piasek odzyskany. Stopień efektywności w odniesieniu do kwarcu wynosi około 88%.

Pył z filtrów zawiera około 40% aktywnego bentonitu, którego strata przy prażeniu (*loss on ignition -LOI*) wynosi 17% i zawiera 43% drobnych cząstek. Ponowne wykorzystanie pyłu w zakładzie produkcji piasku powoduje zmniejszenie zapotrzebowania na węgiel błyszczący nawet o 30%. Wyniki poprawy jakości piasku w przykładowej odlewni pokazują, że ilość złomowanych form została praktycznie zmniejszona o połowę.

Pył z cyklonu (20% masy odzyskanego zielonego piasku) zawiera 25-30% bentonitu i wysoki poziom substancji organicznych, ale jego skład chemiczny nie spełnia wymaganych specyfikacji, aby umożliwić jego ponowne wykorzystanie jako wtórnego materiału budowlanego. W Holandii dopuszczone jest jego stosowanie w warstwach wierzchnich na składowiskach odpadów. W innych regionach frakcja ta wymaga unieszkodliwienia. Jednak przepisy ograniczające zawartość substancji organicznych w materiałach przeznaczonych do unieszkodliwiania mogą ograniczać możliwości unieszkodliwiania. Mielenie piasku powoduje przyspieszone zużycie ziaren piasku. To oraz recyrkulacja pyłu z filtrów powodują zmiany w rozkładzie wielkości ziaren piasku. Dlatego też ogólny skład piasku wymaga dobrej kontroli i monitorowania.

Mechaniczny odzysk na zimno stosuje się głównie do usuwania warstw bentonitu z piasku zielonego oraz do usuwania spoiw chemicznych w systemach bez wypalania. Najczęściej stosowaną metodą mechanicznej obróbki na zimno jest ścieranie. W przypadku piasków spajanych chemicznie stosuje się również systemy wibracyjne i udarowe, ale uzyskuje się z nich piasek niskiej lub średniej jakości. Techniki te są bardziej

odpowiednie dla konwencjonalnego obiegu piasku (odzysk pierwotny). W przypadku wtórnego odzysku piasku zielonego mają ograniczone zastosowanie.

W przypadku piasków wiążących glinę odlewnie stosują tę technikę podczas produkcji części samochodowych, wykorzystując formy z piasku zielonego z rdzeniami uretanowymi formowanymi na zimno. Ze względu na kształt odlewów na etapie wytrząsania można wybrać mieszankę piasku zużytego z dużą ilością piasku rdzeniowego i niewielką ilością piasku zielonego. Tego rodzaju piasek zużyty, zregenerowany za pomocą ściernicy, może być wykorzystany do produkcji rdzeni.

Jeśli chodzi o piasek związany chemicznie, typowym procesem jest odzysk mechaniczny, ale istnieje kilka rodzajów alternatywnych technik odzysku.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Odzysk piasku wymaga dodatkowej energii i powoduje dodatkową emisję pyłu oraz powstanie pyłu resztkowego, który należy unieszkodliwić. Jednak wykorzystanie odzyskanego piasku w procesie formowania pozwala na zmniejszenie ilości zużywanego węgla błyszczącego.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.

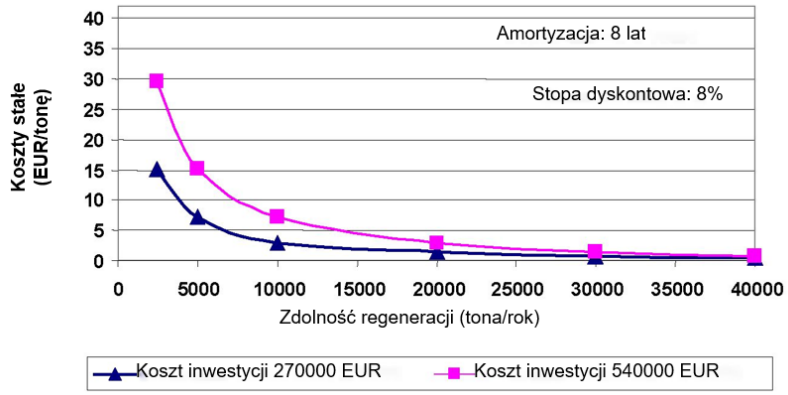
Ekonomika
Koszt inwestycji w jednostkę o wydajności 50 ton/dobę, obejmującą suszenie, chłodzenie, jednostkę odzysku, cyklon i filtr workowy, wynosi około 1 135 000 EUR. Dane z Niemiec (1996) podają koszt inwestycji w wysokości 600 000 EUR dla jednostki o wydajności 1,5 tony/h.

Poziomy zużycia są następujące (w oparciu o średnie dane roczne):

Energia elektryczna	39 kWh/tonę;
Gaz ziemny	3 Nm^3/t (w zależności od wilgotności piasku);
Sprężone powietrze	36 Nm^3/t;
Części zużywające się.	1,18 EUR/t;
Poziom obsady:	0%

Konserwacja: rutynowa.

Krzywe kosztów mechanicznego odzysku piasku związanego organicznie przedstawiono na Rysunku 3.27. Koszty stałe różnią się w zależności od całkowitej wydajności i nakładów inwestycyjnych. Koszty zmienne mogą wynosić do około 11 EUR/tonę, chociaż rzeczywiste koszty zależą od konkretnej instalacji i warunków lokalnych. Całkowite koszty (stałe plus zmienne) wynoszą od 12 do 40 EUR/tonę odzyskanego piasku, w zależności od wielkości i rodzaju sprzętu.



Rysunek 3.27: Stałe koszty w euro na tonę piasku zregenerowanego, dla mechanicznego odzysku piasku z spoiwami wiążącymi na zimno

Siła napędowa wdrażania
- Wysokie opłaty za unieszkodliwianie mające na celu zmniejszenie ilości pozostałości przeznaczonych do utylizacji.
- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady

- De Globe, Weert, Holandia, zakład o wydajności 60 ton dziennie, wykorzystujący dwie linie, działający od 1995 r.
- Eisenwerk Brühl, Brühl; D (1,5 tony/h), 1999 r.
- Giesserei Fritz Winter GmbH & Co KG, Stadtallendorf, D (9,5 tony/h)
- Mercedez-Benz AG, Mannheim, D (9 ton/h)
- Zgłoszone w zbiorze danych SF przez zakłady: DE054, DE055, DE067, DE068, DE073, DE074, IT1125, IT126, IT128, IT130, IT131, IT132, IT134, IT157, PL135 oraz PT140.

Literatura źródłowa
[34. IfG 1996], [38. Vito 2001], [42. IHOBE 1998], [45. De Globe B.V. 1999], [47. Sieć tematyczna UE ds. odpadów z odlewni 2001, [55. Gemco 1999], [169. TWG 2021].

3.2.1.4.4.6 Mechaniczny odzysk piasku na zimno za pomocą bębna udarowego

Opis
Zastosowanie bębna udarowego z obracającą się osią wewnętrzną, wyposażonego w małe ostrza, do ściernego czyszczenia ziaren piasku. W przypadku zastosowania na mieszance bentonitu i piasku związanego chemicznie przeprowadza się wstępną separację magnetyczną w celu usunięcia z zielonego piasku części o właściwościach magnetycznych.

Szczegóły techniczne
Ta mechaniczna technika regeneracji opiera się na międzyziarnowym ścieraniu piasku i daje najlepsze wyniki w przypadku piasku jednoskładnikowego związanego chemicznie. Piasek jest podawany do bębna z obracającą się osią wewnętrzną, wyposażoną w małe ostrza. Ziarna piasku uderzają o ścianę bębna i o siebie nawzajem. Uderzenia te powodują mechaniczne czyszczenie ścierne. Drobinki są usuwane wraz z gazem wydechowym. Bęben udarowy pracuje w trybie wsadowym. Zainstalowanie dwóch urządzeń umożliwia pracę ciągłą.

W przypadku stosowania na mieszance bentonitu i piasku organicznego regenerację poprzedza separacja magnetyczna w celu usunięcia zielonego piasku. Ze względu na obecność nieprzereagowanego bentonitu zielony piasek wykazuje bardzo słaby magnetyzm, co umożliwia przeprowadzenie separacji magnetycznej. System regeneracji pozwala na wprowadzenie ograniczonej ilości (15%) nieutwardzonego piasku rdzeniowego (odłamki rdzeni z produkcji). Połączenie separacji magnetycznej i czyszczenia bębnem udarowym pozwala na optymalną regenerację piasku związanego chemicznie ze strumienia piasku mieszanego, z ponownym wykorzystaniem piasku zregenerowanego do produkcji rdzeni.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Wewnętrzne (na terenie zakładu) ponowne wykorzystanie piasku rdzeniowego, co ogranicza ilość materiałów przeznaczonych do unieszkodliwiania oraz zapotrzebowanie na surowce.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Bęben regeneracyjny pracuje w trybie wsadowym, a czas obróbki jednej partii 1,5 tony piasku wynosi 20 minut. Zużycie energii przez całą instalację (w tym separację magnetyczną, oczyszczanie spalin, transport piasku) wynosi 55 kWh/tonę oczyszczonego piasku, z czego 35% można przypisać transportowi i podawaniu piasku. Instalacja wykorzystuje sprężone powietrze o ciśnieniu 48 Nm^3/tonę piasku.
Zregenerowany piasek ma następującą jakość:
- średni rozmiar ziarna: 0,30 × 0,33 mm
- udział drobnych cząstek (miału): 0,4-1%
- pH: 8,7;
- straty podczas zapłonu 0,25 - 0,5 %.

Rdzenie wykonane w 100% z piasku zregenerowanego mają akceptowalne właściwości. W praktyce do produkcji nowych rdzeni wykorzystuje się od 10 do 70% zregenerowanego piasku, przy czym rzeczywista ilość zależy od rodzaju rdzenia.

Wytwarzanie pyłu w instalacji wynosi 10% wsadu regeneratora. Pył ten jest zbierany za pomocą cyklonu (90%) i filtra workowego (10%).

Połączona technika separacji i regeneracji może być stosowana do oczyszczania mieszanego zielonego piasku i piasku związanego chemicznie. Odzysk realizowany jest na strumieniu chemicznie związanego piasku i może obejmować nieutwardzony piasek rdzeniowy. Technika ta może być stosowana w nowych i istniejących instalacjach.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Regeneracja piasku wymaga dodatkowej energii i powoduje dodatkową emisję pyłów oraz pył resztkowy do unieszkodliwiania.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika
Koszty inwestycji w jednostkę o wydajności 3 ton/h z jednym bębnem udarowym, separacją magnetyczną, odpylaniem spalin, transportem oraz systemem podawania wynoszą 1,3 miliona euro. Koszty operacyjne dla tej jednostki wynoszą 10 EUR/tonę. Obejmują one zużycie energii, zużycie części, konserwację i usuwanie pozostałości. Stanowi to korzyść netto w wysokości 37 EUR/tonę, w porównaniu do kosztów zakupu nowego piasku i unieszkodliwienia zużytego piasku (oba łącznie z transportem) (dane z 2002 r.).

W przypadku francuskiego zakładu o wydajności 380 ton dziennie podano koszt operacyjny w wysokości 15 EUR/tonę. W przypadku tego zakładu oznacza to korzyść netto w wysokości 18 EUR/tonę w porównaniu z kosztami zakupu nowego piasku i unieszkodliwienia zużytego piasku (w obu przypadkach z uwzględnieniem transportu) (dane z 2002 r.).

Siła napędowa wdrażania
- Wysokie opłaty za unieszkodliwianie mające na celu zmniejszenie ilości pozostałości przeznaczonych do utylizacji.
- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady
Technika ta jest stosowana w następujących zakładach:

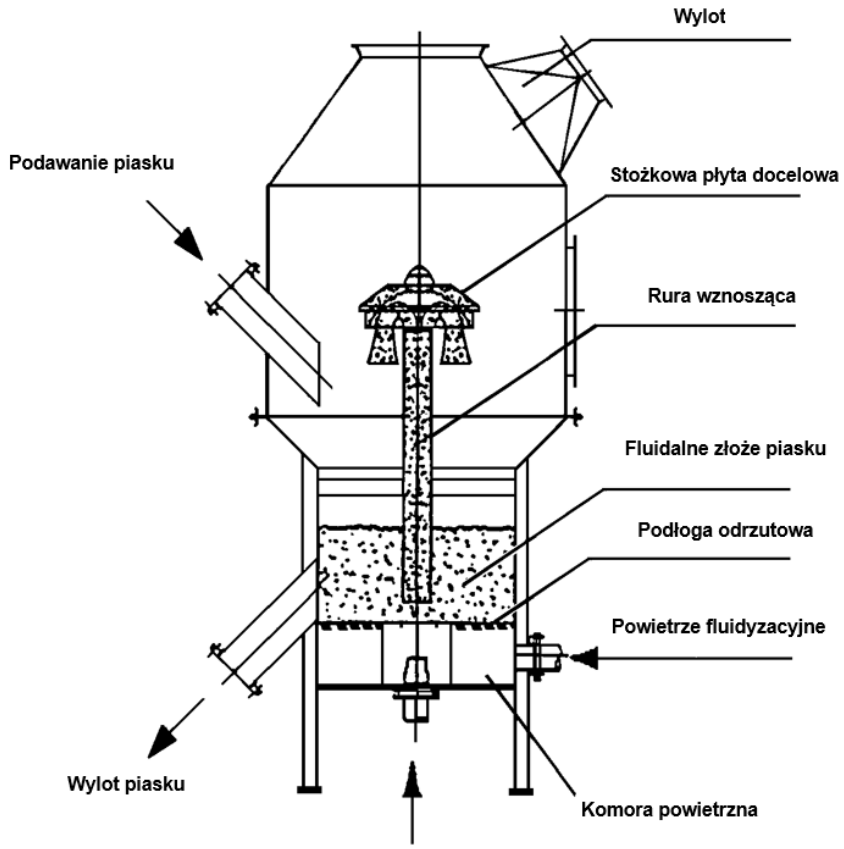
- PSA, Sept-Fons (FR): 6 separatorów magnetycznych i 2 ściernice, pracujące naprzemiennie.
- GF, Lipsk (DE): 2 separatory magnetyczne i 1 ściernica.
- Döktas - Turcja: 5 separatorów magnetycznych i 2 ściernice.
- Zgłoszone w zbiorze danych SF przez zakłady: AT013, AT016, BE019, BE022, BE023, CZ024, DE036, DE037, DE060, DE072, ES088, FI103, FR105, IT124 i IT130.

Literatura źródłowa
[84. Spitz i in. 2002], [40 Kirst, J. 1999], [57. Umweltbundesamt 2002], [169. TWG 2021]

3.2.1.4.4.7 Odzysk piasku na zimno za pomocą systemu pneumatycznego

Opis
Usuwanie spoiwa z ziaren piasku za pomocą ścierania i uderzania. Energia kinetyczna jest dostarczana przez strumień sprężonego powietrza.

Szczegóły techniczne
W systemie pneumatycznym spoiwa są usuwane z ziaren piasku za pomocą ścierania i uderzania. Energia kinetyczna jest dostarczana przez strumień sprężonego powietrza. Powoduje to jednoczesne odpylanie. Zaletą tej techniki jest możliwość kontrolowania kierunku i prędkości przemieszczania się piasku. Ze względu na niską efektywność energetyczną sprężania powietrza zużycie energii jest wyższe w porównaniu z obróbką czysto mechaniczną. Zasada działania reaktora została przedstawiona na Rysunku 3.28.



Źródło: [40, Kirst, J. 1999].

Rysunek 3.28: Regeneracja mechaniczna na zimno za pomocą systemu pneumatycznego

Reaktor wykorzystuje złoże fluidalne z centralną rurą podnoszącą. Piasek jest wdmuchiwany do rury za pomocą sprężonego powietrza i uderza w gumową płytę odbijającą lub stożkową płytę docelową. Stamtąd piasek opada ponownie i cykl rozpoczyna się od nowa. Czyszczenie odbywa się poprzez ścieranie międzyziarnowe, ścieranie o płytę uderzeniową oraz poprzez samo uderzenie. Kształt płyty decyduje o głównym mechanizmie czyszczenia: uderzenie (kształt dzwonu) lub ścieranie (stożek). Powstały pył jest usuwany strumieniem powietrza przez filtr workowy. Oczyszczanie odbywa się w systemie wsadowym lub poprzez szereg połączonych ze sobą urządzeń pneumatycznych. W tym przypadku oczyszczony piasek jest odsysany z reaktora przez deflektor umieszczony poniżej płyty uderzeniowej.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Zmniejszenie ilości piasku przeznaczonego do unieszkodliwienia oraz zużycia nowego piasku pierwotnego.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Mieszanka odpadowego piasku zielonego z chemicznie związanym piaskiem rdzeniowym o następujących właściwościach: 8 - 12 % zawartości cząstek drobnych (miału), 3 - 5 % strat przy prażeniu (LOI), < 2 % wilgotności; wytwarza regenerat o następujących właściwościach:

- wydajność regeneratu w oparciu o zawartość SiO_2 w piasku odpadowym: 70-80 %;
- zawartość bardzo drobnych cząstek (< 0,063 mm): maks. 2 %;
- zawartość cząstek drobnych (miału): < 2 %;
- Strata przy prażeniu: - 0,5%
- średni rozmiar ziarna: niezmieniony.

Technika ta wykorzystuje modułowo skonstruowaną instalację, wykorzystującą jednostki podstawowe o wydajności 0,8 - 1,2 t/h. Dostawca wspomina o zużyciu energii elektrycznej na poziomie 15-20 kWh/t (z wyłączeniem urządzeń odpylających). Niemieckie dane operacyjne podają zużycie energii elektrycznej na poziomie 41 kWh/t dla jednostki 8 t/h i 62 kWh/t dla jednostki 0,75 t/h. Zgłaszana efektywność regeneracji piasku w oparciu o wsad piasku waha się od 65% do 85%. Hiszpańskie dane podają całkowite zużycie energii na poziomie 120 kWh/t zregenerowanego piasku dla jednostki 1,2 t/h.

System pneumatyczny może być stosowany do rekultywacji organicznych piasków mieszanych

i monopiasków oraz piasków mieszanych zawierających bentonit. Znajduje również zastosowanie jako obróbka wstępna lub końcowa w połączonej obróbce mechaniczno-termiczno-mechanicznej. W tym przypadku głównym zastosowaniem jest usuwanie resztek pyłu z ziaren piasku oraz chłodzenie. Zregenerowany piasek ze zwykłego odzysku mechanicznego może być używany do produkcji form (przy użyciu 100% zregenerowanego piasku) lub zmieszany z nowym piaskiem do produkcji rdzeni (przy użyciu 40-60% zregenerowanego piasku).

Ponadto, technika ta może być stosowana do odzyskiwania piasku rdzeniowego typu CO_2 - woda szklana z odlewni aluminium. Zostało to omówione osobno dalej.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Odzysk piasku wymaga dodatkowej energii i powoduje dodatkową emisję pyłu oraz powstanie pyłu resztkowego, który należy unieszkodliwić.

Ogólna ocena odzysku wewnętrznego (na terenie zakładu) w porównaniu z ponownym wykorzystaniem zewnętrznym oraz związane z tym oddziaływanie na procesy i środowisko zostały omówione poniżej.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika
Koszty inwestycyjne dla pojedynczej jednostki o wydajności 0,8 - 1,2 tony/h wynoszą 330 000 EUR. Koszty operacyjne szacuje się na 22 EUR/tonę, co daje całkowity koszt regeneracji w wysokości 36,5 EUR/tonę piasku (dane z 1998 r.).

Siła napędowa wdrażania
- Wysokie opłaty za unieszkodliwianie mające na celu zmniejszenie ilości pozostałości przeznaczonych do utylizacji.
- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady
Urządzenia tego typu są budowane przez różnych dostawców: np. KGT Jet Reclaimer, Künkel-Wagner GmbH Turbo Dry, Kernfest Webac AB. Technika ta jest stosowana w kilku zakładach w Europie Zachodniej i Chinach. Zgłoszone w zbiorze danych SF przez zakłady: AT017, AT018, DE038, DE044, DE056, DE058, DE068, DE069, DE077, ES088, ES095, ES098, FI103, FR104, IT121, IT126, IT128, IT129 and SE153.

Literatura źródłowa
[14. CAEF 1997], [34. IfG 1996], [37. FEAF 1999], [38. Vito 2001], [40. Kirst, J. 1999], [42. IHOBE 1998], [169. TWG 2021]

3.2.1.4.4.8 Odzysk termiczny piasku

Opis
Wykorzystanie ciepła do spalenia spoiw i zanieczyszczeń zawartych w piasku chemicznie związanym i mieszanym. Proces ten łączy się z wstępną obróbką mechaniczną w celu uzyskania piasku o odpowiedniej wielkości ziarna i usunięcia wszelkich zanieczyszczeń metalicznych. W przypadku piasku mieszanego udział piasku chemicznie związanego powinien być wystarczająco wysoki.

Szczegóły techniczne
Odzysk termiczny wykorzystuje ciepło do spalania spoiw i zanieczyszczeń. Wszystkie procesy termiczne wymagają wstępnego etapu mechanicznego w celu doprowadzenia piasku do odpowiedniej wielkości ziarna oraz odsiania wszelkich zanieczyszczeń metalicznych. Obróbka wstępna może również obejmować (częściowe) ścieranie bentonitu i usuwanie pyłu. Ogrzewanie piasku odbywa się zwykle za pomocą pieca ze złożem fluidalnym, pracującego w temperaturach najczęściej od 700ºC do 800ºC. Stosowane są również piece obrotowe lub piece wielopaleniskowe. Ciepło może być dostarczane przez spalanie gazu, grzejniki elektryczne lub krótkofalowe emitery podczerwieni. Przepustowość tych systemów waha się od 250 kg/h do ponad 5 t/h.

Powstające gazy są spalane w celu wyeliminowania tlenku węgla i wszelkich LZO, które mogą być obecne. Można to zrobić w wolnej przestrzeni pieca, jeśli jest ona wystarczająco duża, poprzez dodanie powietrza uzupełniającego lub za pomocą dopalaczy gazowych. Jeśli temperatura gazów spalinowych nie jest wystarczająco wysoka lub jeśli czas, w którym gazy mają wysoką temperaturę nie jest wystarczający, dodaje się oddzielne urządzenie dopalające. We wszystkich przypadkach emisje można uznać za nieistotne.

Gazy wylotowe są filtrowane, głównie za pomocą filtrów tkaninowych. W związku z tym konieczne jest chłodzenie, które można wykonać za pomocą wtrysku wody, wymiany/odzysku ciepła lub przez mieszanie z powietrzem naturalnie wchodzącym przez otwory/szczeliny itp. Chłodzenie może obejmować wstępne podgrzanie powietrza fluidyzacyjnego.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Ograniczenie ilości piasku przeznaczonego do utylizacji oraz zmniejszenie zużycia nowego piasku pierwotnego.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Piasek jest zwykle podgrzewany do temperatury 700 - 850 ºC. Teoretycznie wymaga to 200 kWh/t. W praktyce odnotowuje się zużycie energii na poziomie 150-350 kWh/t, w zależności od odzysku energii i wartości opałowej piasku.

Dane operacyjne z trzech zakładów odzysku termicznego przetwarzających różne rodzaje piasku i o różnej wydajności podano w Tabeli 3.23.

Tabela 3.23: Dane operacyjne z 3 niemieckich odlewni referencyjnych stosujących odzysk termiczny piasku

Właściwość	**j.m.**	**Zakład**		
Zakłady referencyjne		**Odlewnia K**	**Odlewnia L**	**Odlewnia M**
Rodzaj piasku		Jednostki centralne typu zimnej rdzennicy	Formowanie w zielonym piasku, zimne rdzennice	Formowanie ręczne w piasku związanym furanem
Dostawca jednostek regeneracyjnych		CEC/VAW	Richards	Siempelkamp
Technika		Piec wielopaleniskowy (500 ºC) z przesiewaniem i klasyfikowaniem	Piec ze złożem fluidalnym (780 ºC), mechaniczna redukcja rozmiaru i odpylanie	Komora spalania ze złożem fluidalnym z magnetyczną separacją wstępną, jednoczesne przetwarzanie piasku i pyłu z mechanicznej regeneracji piasku furanowego
Przepustowość piasku	t/h	12 – 16	1,0	2,0 zużytego piasku, 0,5 pyłu
Pojemność	t/rok	28600	3840	5000
Współczynnik regeneracji w oparciu o przepustowość zużytego piasku	%	95	95 (99 (1))	95
Zastosowanie zregenerowanego piasku		Produkcja rdzeni	Produkcja rdzeni	Produkcja form i rdzeni
Kryteria jakości dla piasku regenerowanego		Pył < 1% AFS 60-70 LOI < 0,1%	Identyczny z nowym piaskiem F33	LOI < 0,5% pH 6,0-6,5 Wytrzymałość formy po dodaniu 1% spoiwa i 0,3% utwardzacza: 350 N/cm² po 24 godzinach
Zużycie energii elektrycznej	kWh/t	119	65	
Zużycie gazu ziemnego	m³/t	24,5	38	
Produkcja pozostałości	t/rok	660	Pył: 10 Piasek bentonitowy: 1700	200
Końcowe przeznaczenie pozostałości		Wnęki górnicze	Produkcja cementu	Przemysł budowlany/składowisko odpadów
Przepływ gazów odlotowych	Nm³/h	7000	16509	6560
Temperatura gazów odlotowych	ºC	75	60	35
Typ filtra		Dopalanie i filtr tkaninowy	Filtr tkaninowy	Wtrysk wapna + filtr tkaninowy

Poziomy emisji (2) - pył - C ogólny - CO - O_2 - PCDD/F	 mg/Nm³ % ng TEQ/Nm³	 0,1 2,2 2,3 14 0,006	 4,9 5,7 1,6 Brak danych Brak danych	 0,4 10 0 20,95 Brak danych
(1) Wyższy wskaźnik odzysku (99%) jest osiągany, jeśli regenerowany jest tylko zakładowy piasek rdzeniowy. W przypadku mieszanego piasku rdzeniowego zakładowego oraz pochodzącego z zewnątrz obowiązuje rata 95%. (2) Poziomy emisji są obliczonymi wartościami średnimi z danych ciągłego monitorowania w okresie kilku godzin, podczas pobierania próbek pyłu lub PCDD/F. *Źródło*: [57, Umweltbundesamt 2002].				

Wydajność techniki rekultywacji i wymagania jakościowe dla zregenerowanego piasku są oceniane w zależności od lokalizacji. Konkretne dane można znaleźć w literaturze: [85. Stephan, J. 1996], [86. Stephan, J. 1997], [87. Stephan, J. 2000].

Systemy termiczne są zwykle stosowane w przypadku chemicznie związanych systemów piaskowych i mieszanych systemów piaskowych, pod warunkiem, że udział chemicznie związanych piasków (rdzeni) jest wystarczająco wysoki. Niemniej jednak można dokonać rozróżnienia:

- Niektóre spoiwa mogą pozostawiać nieorganiczne pozostałości soli na powierzchni ziarna. Gdy temperatura wzrasta powyżej temperatury topnienia, rozprzestrzeniają się one na powierzchni piasku i mogą powodować spiekanie ziaren piasku podczas chłodzenia. Znane przykłady to żywica rezolowa i piaski wiązane żywicą krzemianową.
- Recykling termiczny żywic furanowych powoduje emisję SO_2, jeśli jako środek utwardzający stosowane są kwasy sulfonowe. Temperatura układu wydechowego musi być wystarczająco wysoka, aby zapobiec kondensacji kwasu siarkowego. Jeśli emisja jest wysoka, może być konieczne oczyszczanie gazów spalinowych na mokro. Fosfor (pochodzący z kwasu fosforowego stosowanego jako utwardzacz) nie odparowuje, lecz pozostaje na powierzchni w postaci soli. Może to prowadzić do akumulacji P podczas recyklingu. Jeśli stężenie P wzrośnie powyżej 0,5 - 0,7%, może wystąpić reakcja metalurgiczna, powodująca odrzucenie odlewu.

Stopień wdrożenia odzysku termicznego jest niski w porównaniu z regeneracją mechaniczną.

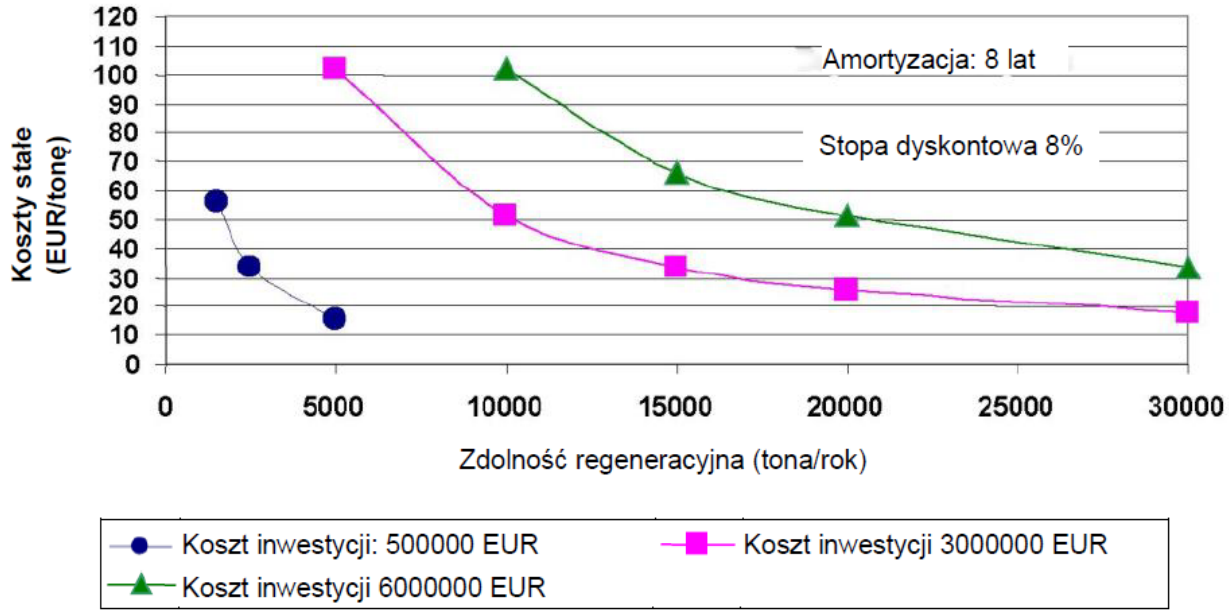
Oddziaływanie na procesy i środowisko
Odzysk termiczny wymaga paliwa i generuje emisje pyłu i związków związanych ze spalaniem (NO_X, CO; a w przypadku ropy naftowej SO_2).

Wysokie zużycie energii i złożoność instalacji są równoważone przez niskie zużycie ziaren piasku i odzyskiwanie pyłu w postaci obojętnej termicznie.

Rekultywacja termiczna piasku związanego furanem z kwasem paratoluenosulfonowym jako utwardzaczem wymaga oczyszczania gazów spalinowych: tj. filtra tkaninowego, dopalania CO i/lub adsorpcji SO_2.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Może nie mieć zastosowania w przypadku zużytego piasku zawierającego pozostałości spoiw nieorganicznych.

Ekonomika
Koszty inwestycyjne różnią się w zależności od rozmiaru i rodzaju sprzętu i zostały podane na Rysunku 3.29. Dane odnoszą się do systemów termicznych z mechanicznym etapem obróbki wstępnej lub końcowej, a także do intensywnej regeneracji mechanicznej (np. jednostki ścierające). Instalacje na małą skalę mają wydajność 0,75 t/h lub 1 500 t/r. Średniej wielkości odlewnia będzie produkować od 2 500 t/r do 5 000 t/r. W przypadku małej jednostki koszt kapitału (przy 8-letniej amortyzacji i 8-procentowej stopie procentowej) wyniósłby 55 EUR/t. Koszty te nie obejmują wydatków na energię, personel ani utylizację pozostałości (wszystkie dane z 1996 r.).



Rysunek 3.29: Stałe koszty w euro na tonę zregenerowanego piasku w procesie regeneracji termicznej i wysokopoziomowej regeneracji mechanicznej piasków mieszanych

Siła napędowa wdrażania

- Wysokie opłaty za unieszkodliwianie mające na celu zmniejszenie ilości pozostałości przeznaczonych do utylizacji.
- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady

Zgłoszone w zbiorze danych SF przez zakłady: AT011, DE065, FR104, FR106, FR112, FR114, IT129 oraz PT139.

Literatura źródłowa

[3. Schneider, B. 1993], [14. CAEF 1997], [33. ERM Lahmeyer International GmbH 1999], [42. IHOBE 1998], [46. Metaalgieterij Giesen B.V. 1996], [85. Stephan, J. 1996], [86. Stephan, J. 1997], [87. Stephan, J. 2000], [169. TWG 2021]

3.2.1.4.4.9 Łączny odzysk (mechaniczno-termiczno-mechaniczny) dla mieszanych piasków organicznych i bentonitowych

Opis

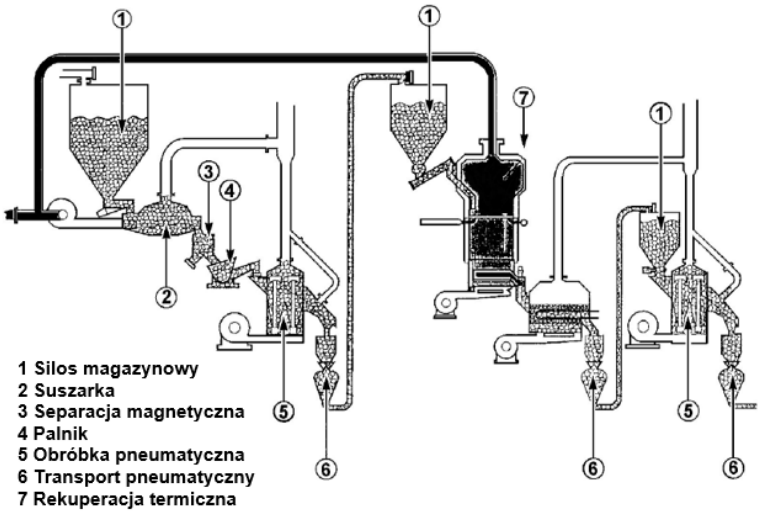
Po obróbce wstępnej (przesiewanie, separacja magnetyczna) i suszeniu piasek jest czyszczony mechanicznie lub pneumatycznie w celu usunięcia części spoiwa. Na etapie termicznym składniki organiczne są spalane, a składniki nieorganiczne są przenoszone do pyłu lub spalane na ziarnach. W końcowej obróbce mechanicznej te warstwy ziaren są usuwane mechanicznie lub pneumatycznie i odrzucane jako pył.

Szczegóły techniczne

W mieszanych piaskach organiczno-bentonitowych, utwardzony bentonit i spoiwa organiczne są obecne na ziarnach piasku. Pył składa się z aktywnego i utwardzonego bentonitu, pyłu węglowego (tylko w odlewniach żelaza), drobnych cząstek kwarcu i pozostałości spoiwa organicznego. Piaski mieszane występują głównie w odlewniach żeliwa i stanowią około 75% całkowitej produkcji piasku. Odzysk może być przeprowadzany przy użyciu systemów mechanicznych, pneumatycznych, termicznych lub kombinowanych.

Piasek jest poddawany obróbce wstępnej (przesiewanie, separacja magnetyczna) i suszony w celu zmniejszenia zawartości wody do < 1%. Następnie piasek jest czyszczony mechanicznie lub pneumatycznie w celu usunięcia części spoiwa. Na etapie termicznym składniki organiczne są spalane, a składniki nieorganiczne są przenoszone do pyłu lub spalane na ziarnach. W końcowej obróbce mechanicznej warstwy te są usuwane mechanicznie lub pneumatycznie i odrzucane jako pył. Typowy układ systemu wykorzystującego obróbkę

pneumatyczną i obróbkę termiczną w złożu fluidalnym przedstawiono na Rysunku 3.30.



Źródło: [37. FEAF 1999].

Rysunek 3.30: Mechaniczno-termiczna jednostka odzysku piasku

Osiągnięte korzyści dla środowiska

Zmniejszenie ilości piasku przeznaczonego do unieszkodliwienia oraz zużycia nowego piasku pierwotnego.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Dane operacyjne dla obróbki mechaniczno-termiczno-mechanicznej podano w Tabeli 3.24.

Tabela 3.24: Dane operacyjne systemu oczyszczania mechaniczno-termiczno-mechanicznego (pneumatyczne - złoże fluidalne - pneumatyczne)

Parametr	j.m.	Odlewnia N	Odlewnia O	Odlewnia P
Przepływ piasku	(tona/h)	1	2	3
Maksymalna wilgotność wprowadzanego piasku	(%)	1	1	1
Całkowita zainstalowana moc elektryczna	(kW)	150	215	400
Gaz ziemny	(Nm^3/h)	31	62	155
Obróbka termiczna - średni przepływ powietrza (fluidyzacja + spalanie)	(Nm^3/h)	700	1200	3000
Temperatura obróbki	°C	800	800	800
Średni czas obróbki	(min)	20	20	20
Przepływ spalin	(Nm^3/h)	200	300	500
Chłodzenie - typ		Złoże fluidalne z cyrkulacją wody		
- przepływ wody w obwodzie	(m^3/h)	15 30 75		
Temperatura piasku na wyjściu	°C	30 – 40		
Całkowite zużycie energii: - elektryczna - gaz		100 260	90 260	70 260
Przepływ sprężonego powietrza	(Nm^3/h)	150	210	330
Efektywność instalacji		70 – 80%		

Parametr	j.m.	Odlewnia N	Odlewnia O	Odlewnia P
Jakość odzyskanego piasku: - granulometria - strata przy prażeniu		Bez zmian ≤0,1 %		
Ponowne wykorzystanie odzyskanego piasku: - produkcja form - produkcja rdzeni		70 – 80%	100%	
Źródło: [37. FEAF 1999].				

Niemieckie dane dla instalacji o wydajności 85 000 ton/rok (13 - 15 ton/h) podają następujący skład gazów wylotowych:

- SO_2: 118 mg/Nm³;
- NO_X 150 mg/Nm³;
- łącznie C: 10 mg/Nm³;
- CO 30 mg/Nm³.

Siła napędowa wdrażania

- Wysokie opłaty za unieszkodliwianie mające na celu zmniejszenie ilości pozostałości przeznaczonych do utylizacji.
- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady

Gusswerke Saarbrücken (DE), system termiczno-mechaniczny. Instalacja ta przetwarza 13 - 15 t/h mieszanego piasku o zawartości 30 % substancji organicznych i 70 % substancji nieorganicznych. Związany organicznie piasek to mieszanka 50/50 piasku z procesu Croninga i piasku z procesu z zimną rdzennicą. Wydajność odzysku na podstawie ilości przetworzonego zużytego piasku wynosi 78%. Odzyskany piasek jest stosowany do produkcji rdzeni (100% w procesie Croninga; 70-100% w procesie z zimną rdzennicą).

Mechaniczny odzysk pierwotny, oddzielenie chromitu (z rdzeni) i piasku kwarcowego (oba chemicznie związane) oraz obróbka termiczno-mechaniczna piasku kwarcowego zostały zademonstrowane na skalę pilotażową w Niemczech (1993). Oddzielenie obu rodzajów piasku było konieczne, ponieważ w zmieszanym piasku dochodziło do spiekania i tworzenia się eutektyki. Zakład został później zamknięty, ale z innych powodów ekonomicznych.

Zgłoszone w zbiorze danych SF przez zakłady: AT009, AT013, DE037, DE047, DE073 oraz ES091.

Literatura źródłowa

[4. Schachtner i in. 1993], [17. Winterhalter i in. 1992], [37. FEAF 1999], [40. Kirst, J. 1999], [42. IHOBE 1998], [57. Umweltbundesamt 2002], [120. TWG 2003], [169. TWG 2021].

3.2.1.4.4.10 Termiczno-mechaniczny odzysk piasku przy użyciu pieców bębnowych

Opis

Termiczno-mechaniczny odzysk piasku przy użyciu dwóch pieców bębnowych, pierwszego do termicznego odzysku piasku i drugiego do obróbki mechanicznej przy użyciu stalowych kulek.

Szczegóły techniczne

Regeneracja termiczna piasku odlewniczego jest stosowana jako technologia od lat 80. XX wieku. Technologia ta nigdy nie stała się standardowym rozwiązaniem dla odlewni i można szacować, że regeneracja termiczna jest stosowana tylko w kilkuset odlewniach na całym świecie, co jest niewielką liczbą w porównaniu z dużą liczbą odlewni. W regeneracji termicznej piasku dominuje technologia złoża fluidalnego, w której piasek przeznaczony do regeneracji jest podgrzewany gorącym powietrzem w zamkniętym reaktorze. Regeneratory piasku termicznego oparte na technologii złoża fluidalnego dostępne są u wielu dostawców technologii.
Technologia złoża fluidalnego ma pewne problemy, związane przede wszystkim z jej użytecznością. Uważa się, że technologia ta sprzyja spiekaniu się piasku w reaktorze, co powoduje zlepianie się ziaren piasku

i zakłóca przebieg procesu. Według badań kilka odlewni stosujących odzyskiwanie piasku termicznego w technologii złoża fluidalnego nie jest zadowolonych z jej wydajności.
Nowy proces termiczno-mechaniczny opiera się na połączeniu dwóch pieców bębnowych. W pierwszym bębnie piasek przeznaczony do regeneracji jest podgrzewany za pomocą propanu, gazu ziemnego lub biogazu do maksymalnej temperatury 800°C, w której spoiwo piaskowe ulega całkowitemu spaleniu. W bębnie chłodzącym piasek jest poddawany obróbce mechanicznej przy użyciu stalowych kulek. Kulki ułatwiają usuwanie pozostałości spoiwa z piasku, a podczas przechodzenia przez bęben piasek schładza się. Gruboziarnisty materiał z odzyskanego piasku jest następnie odsiewany w bębnie za pomocą gęstej siatki.
Technologia termiczno-mechaniczna, oparta na wykorzystaniu dwóch pieców bębnowych, jest energooszczędna i łatwa w użyciu. Główna różnica między piecem bębnowym a reaktorem ze złożem fluidalnym polega na tym, że ogrzewanie piasku odbywa się poprzez kontakt piasku z gorącą powierzchnią obracającego się bębna, a także z gorącym powietrzem wewnątrz bębna, gdy piasek opada z góry na dno bębna podczas jego obrotu, zamiast być ogrzewany wyłącznie gorącym powietrzem. Przed wprowadzeniem do bębna spalającego piasek przechodzi przez separator magnetyczny, który oddziela wszelkie magnetyczne pozostałości metalu. W zależności od rodzaju piasku przeznaczonego do regeneracji i zastosowanego systemu spoiwa, do piasku można dodać dodatki w celu podwyższenia temperatury topienia soli w nim zawartych.

Urządzenie do odzyskiwania oparte na piecu bębnowym można uznać za bardzo niezawodne pod względem mechanicznym, ponieważ przepływ piasku w piecu opiera się na ruchu obrotowym pieca i kącie nachylenia bębnów. Urządzenie do odzysku umieszcza się na przykład na asfalcie, na płycie betonowej, gdzie stoi na stalowych nogach. Jest zaprojektowane tak, aby można było je serwisować, a niezbędne elementy można było szybko i łatwo wymienić. Zastosowane urządzenia i elementy są częściami standardowymi, dostępnymi u wielu różnych dostawców. Ułatwia to konstrukcję urządzenia i pozyskiwanie komponentów.

Najważniejszym aspektem technologii urządzenia do odzysku i jego działania jest know-how w zakresie parametrów eksploatacyjnych wspierane przez inteligentny system automatyki. Proces jest wyposażony w kilka przyrządów pomiarowych, które zbierają dane dotyczące wszystkich kluczowych parametrów systemu, takich jak temperatura pieców bębnowych, temperatura piasku i gazów spalinowych, moc palnika gazowego, ilość piasku podawanego do procesu, a nawet kolor piasku w celu zapewnienia jakości. Proces jest sterowany z panelu sterowania podłączonego do urządzenia, z którego można regulować wszystkie główne jego parametry. Na przykład, gdy bęben spalający osiągnie temperaturę docelową, dopływ gazu jest zmniejszany w celu utrzymania tej temperatury. Dane zebrane przez urządzenia pomiarowe są przechowywane w chmurze, skąd można analizować dane pomiarowe z różnych okresów zgodnie z wymaganiami. Działanie systemu automatyki jest kluczowym elementem całej technologii pod względem kontroli procesu, niezawodności, efektywności energetycznej i jakości produktu końcowego, czyli odzyskanego piasku.

W procesie odzysku termicznego zanieczyszczenia organiczne są spalane, a przylegające pozostałości spoiwa oraz luźno związane cząsteczki pyłu są usuwane z ziaren piasku w wyniku gwałtownego wzrostu objętości ziaren piasku podczas przemiany fazowej kwarcu w temperaturze 573°C. Wydmuchane pozostałości są oddzielane w procesie odpylania.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Każdego roku odlewnie na całym świecie wytwarzają około 100 milionów ton odpadów. Tylko niewielka część z nich jest poddawana recyklingowi. Poprzez odzysk termiczny 97% odpadów piaskowych można poddać recyklingowi i ponownie wykorzystać. Dzięki temu znacznie zmniejszyłoby się zapotrzebowanie na nowe składowiska odpadów piaskowych oraz na nowy piasek pierwotny. Odlewnie wytwarzają rocznie około 10 milionów ton emisji CO_2 związanych z piaskiem, z czego 70% pochodzi z wydobycia i przetwarzania nowego piasku, a dodatkowe 30% z transportu. Przyjęcie podejścia opartego na obiegu zamkniętym pozwala zmniejszyć emisję CO2 nawet o 80%.

W scenariuszu bazowym założono, że emisje są spowodowane (i) wydobyciem i przetwarzaniem piasku pierwotnego, (ii) logistyką, oraz (iii) składowaniem piasku na wysypiskach. Emisje związane z wydobyciem i przetwarzaniem zużytego piasku pierwotnego oparto na naukowych, zweryfikowanych i aktualnych badaniach LCA (*LCA - Life Cycle Assessment*, ocena cyklu życia) i można je uznać za wiarygodne. Uniknięcie wydobycia i przetwarzania nowego piasku odpowiada za około 75 kg CO_2 na tonę piasku, której można uniknąć. Ponadto uniknięcie emisji z pochodzącej z logistyki/transportu piasku pierwotnego i odpadowego odpowiada za około 25 kg CO_2 na tonę piasku (przy założeniu średniej odległości transportu (drogowego/kolejowego) wynoszącej 500 km od złoża piasku pierwotnego do odlewni).
Emisje uniknięte dzięki nieskładowaniu piasku na wysypiskach odpowiadają za około 15 kg CO_2 na tonę piasku. W związku z tym całkowity potencjał unikniętych emisji odpowiada za 115 kg CO_2 na tonę piasku.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Urządzenia do odzysku są ściśle powiązane z procesem odlewni, nie wymagają stałego operatora, a ich praca jest w pełni automatyczna i niezależna. Wymagane czynności:

- Cotygodniowe uzupełnianie centralnego układu smarowania przez operatora odlewni;
- Zdalny nadzór 24/7;
- Modułowa konstrukcja (urządzenie dostarczane jest w stanie gotowym do montażu), zakres prac budowlanych na miejscu jest bardzo ograniczony. W razie potrzeby można zainstalować dodatkowe moduły lub wyłączyć je z eksploatacji ze względu na niską sezonowość pracy;
- znak CE;
- Samodzielny sprzęt - brak wpływu na bezpieczeństwo innych urządzeń zainstalowanych na terenie zakładu;
- Niskie koszty instalacji, szybki montaż (wymagane tylko podłączenie gazu i prądu);
- Wymagana przestrzeń 13,5 m x 7,5 m lub 20 m x 3,5 m;
- Wysokość silosu 11 m, materiał wsadowy pojedyncze ziarna, separacja magnetyczna;
- Wydajność 1 - 2,5 tony/h (zielony piasek), do 4 ton/h (piasek związany żywicą)
- Typowe średnie zużycie gazu wynosi 10–15 kg = 130–190 kWh/tonę gazu ziemnego w zależności od zawartości spoiwa;
- Zapotrzebowanie na moc elektryczną 96 kW (nominalnie) ~ Zużycie 30 kWh podczas pracy = 10 - 15 kWh/tonę;
- Zapotrzebowanie na sprężone powietrze dla filtra pyłowego: 5.5 Nm^3/h (max. 45Nm^3/h);
- Transport piasku sprężonym powietrzem 9 - 11 Nm^3/h
- Niski poziom emisji cząstek stałych < 1 mg/Nm^3;
- Niskie wartości emisji NOx i SO_2.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Główne źródła śladu środowiskowego są związane z produkcją i dostawą sprzętu.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Systemy spoiw dla piasków odlewniczych dzielą się na dwie główne kategorie. Piaski utwardzane żywicą i tzw. zielone piaski, w których czynnikiem utwardzającym jest glinka bentonitowa. W piaskach żywicznych dwa najczęściej stosowane rodzaje żywicy to żywica fenolowa i furanowa. System spoiw na bazie piasków zielonych dominuje w odlewniach żeliwa i stali, stanowiąc około 70% piasków odlewniczych stosowanych w tych odlewniach. Proces ten jest odpowiedni dla wszystkich tych rodzajów piasku.

Ekonomika
Koszt piasku pierwotnego i opłata za transport: 100–300 EUR/tonę. Koszt różni się w zależności od kraju w Europie.
Nie jest wymagana żadna większa inwestycja (fundament pod jednostkę).

Siła napędowa wdrażania

- Oszczędność kosztów, wzrost cen za składowanie zużytych piasków odlewniczych na wysypiskach śmieci
- Poprawa śladu węglowego.
- Łatwość nabycia, niskie koszty inwestycyjne.
- Wysoka jakość odzyskanego piasku.
- Urządzenia i proponowany proces są zgodne z niemieckim długoterminowym rządowym programem efektywnego gospodarowania zasobami „ProgRess" (Deutsches Ressourceneffizienzprogramm „ProgRess"), ustawą o gospodarce o obiegu zamkniętym (piasek może być poddawany recyklingowi w nieograniczonej ilości cykli) oraz federalną ustawą o ochronie przyrody (w zakresie wydobycia piasku). Podobne przepisy i programy istnieją w innych krajach UE i poza UE.
- Szeroki wybór palników gazowych (w tym zrównoważonego biogazu) dostępnych na rynku.
- Pozytywny wpływ na system ISO 14001 odlewni.

Przykładowe zakłady
Trzy jednostki do regeneracji w Nuutajärvi, z których każda ma zdolność regeneracji piasku odlewniczego dla klientów. Technologia i model usług są wykorzystywane komercyjnie w Finlandii od stycznia 2019 r. w następujących instalacjach: Peiron Oy, Valmet Technologies Oy, Raahen Valimo Oy i Suomivalimo Oy.

Literatura źródłowa

Zgłoszenie FI w [237. TWG 2023].

3.2.1.4.4.11 Połączony odzysk piasku i obróbka cieplna odlewów aluminiowych

Opis

Po zalaniu i zestaleniu formy/odlewy są ładowane do pieca. Gdy temperatura osiągnie > 420 °C, spoiwa ulegają spaleniu, rdzenie/formy rozpadają się, a odlewy poddawane są obróbce cieplnej. Piasek opada na dno pieca, gdzie jest poddawany końcowemu czyszczeniu w ogrzewanym złożu fluidalnym. Po schłodzeniu piasek jest ponownie wykorzystywany w mieszalniku piasku rdzeniowego bez dalszej obróbki.

Szczegóły techniczne

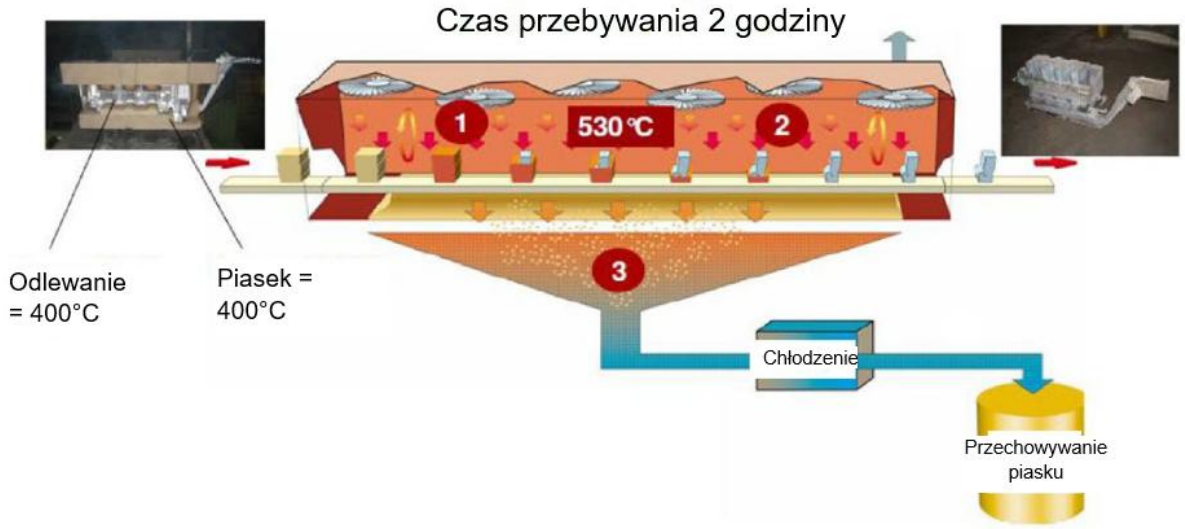
Ten nowy proces wykorzystuje automatyczny system do jednoczesnego wykonywania trzech etapów odlewniczych w jednym zautomatyzowanym układzie:

- termiczne usuwanie rdzenia / oddzielanie odlewu od piasku;
- termiczna regeneracja piasku;
- obróbka cieplna odlewów.

Poniższy rysunek przedstawia schemat systemu.

- termiczne usuwanie rdzenia / oddzielanie odlewu od piasku;
- termiczna regeneracja piasku;
- obróbka cieplna odlewów.

Poniższy rysunek przedstawia schemat systemu.



Źródło:[133. DE UBA 2014].

Rysunek 3.31: Schemat układu: 1: oddzielanie odlewów i piasku; 2: wyżarzanie; 3: odzysk piasku

Natychmiast po zalaniu i zestaleniu odlewy są ładowane do pieca w celu obróbki cieplnej. Odlewnie ładują odlewy do pieca w ciągu 15 minut, a formy w ciągu 20–25 minut. Nie jest konieczne chłodzenie, mechaniczne usuwanie piasku i/lub rdzeni ani odcinanie nadlewek.

Spoiwo jest spalane jako paliwo: tylko obecność temperatury powyżej 420 °C i tlenu powoduje spalenie spoiwa organicznego i rozpad formy/rdzenia. Specjalne wentylatory osiowe wytwarzają spadek ciśnienia na odlewach (podciśnienie), co powoduje turbulencje wewnątrz odlewów. Umożliwia to szybkie usuwanie piasku z poziomych kanałów wewnętrznych, takich jak płaszcze wodne, kanały olejowe i inne cienkie rdzenie.

Piasek spada na dno pieca w celu ostatecznego oczyszczenia w podgrzewanym złożu fluidalnym i jest uwalniany do przenośnika wibracyjnego zbierającego piasek pod piecem. Piasek jest schładzany w celu pneumatycznego transportu z powrotem do rdzeniarni. Przed ponownym użyciem w mieszalniku piasku rdzeniowego nie jest wymagana dalsza obróbka. Poziomy strat przy prażeniu (*loss-on-ignition - LOI*) odzyskanego piasku są niższe niż 0,07%.

Odlewy są przetwarzane termicznie (obróbka cieplna odlewów) w temperaturach od 485 °C do 535 °C (zgodnie z wymaganiami klienta) i hartowane po obróbce.

Systemy są dostępne jako:

- piec z trzonem rolkowym (praca wsadowa i ciągła);
- piec z głębokim złożem fluidalnym (*DFB - deep fluidised bed*) (typ wsadowy „ciągły”); lub
- piec łańcuchowy (praca ciągła).

Gazy odlotowe są poddawane obróbce termicznej w dopalaczu w temperaturze 820 °C w celu spalenia gazów azotowych. Gorące spaliny przepływają przez wymiennik ciepła, podgrzewając świeże powietrze dla fluidyzatora, noży powietrznych i palników, a następnie są kierowane do filtra workowego.

Technika ta znajduje wiele zastosowań, na przykład:

- odlewy ze stopu aluminium;
- odlewy z piaskiem;
- rdzeń i piasek formierski ze spoiwami organicznymi;
- odlewy wykonane w dowolnym procesie, w którym do formowania używany jest piasek (krzemionkowy, cyrkonowy itp.);
- zewnętrzny i/lub wewnętrzny kontur odlewu (np. odlewanie grawitacyjne, odlewanie ciśnieniowe, precyzyjne formy piaskowe, proces Croninga, odlewanie bez wypalania);
- wydajność obróbki cieplnej odlewów w zakresie od ~30 do 180 odlewów/godzinę;
- wydajność usuwania piasku i odzysku do > 35 t/godz.

Osiągnięte korzyści dla środowiska

Zmniejszenie ilości odpadów i zużycia zasobów dzięki recyklingowi piasku

- Jest to zamknięty obieg "rdzeniarnia - odlewanie - termiczne usuwanie rdzeni - odzysk piasku - rdzeniarnia". Około 97% zużytego piasku załadowanego wraz z odlewami do pieca systemu zostanie przetransportowane z powrotem do rdzeniarni jako czysty, zregenerowany piasek.
- Cały piasek z odlewni może być regenerowany. Piasek odpadowy z rdzeniarni, połamane rdzenie mogą być również ładowane do pieca w celu odzysku.
- Tylko straty (tylko około 3% na godzinę; połamane ziarna i drobne cząstki) będą oddzielane i wymagają wymiany.
- Zmniejszona ilość odpadów.
- Kolejną korzyścią dla środowiska jest ograniczenie transportu ciężarówkami między zakładem dostarczającym piasek a odlewnią i/lub między odlewnią a składowiskiem odpadów.

Wykorzystanie odzyskanego ciepła

- Załadunek gorących odlewów do pieca; ciepło do topienia metalu jest również wykorzystywane do odzysku piasku i obróbki cieplnej.
- Brak chłodzenia odlewów; unikanie zużycia energii w procesie chłodzenia (np. dmuchawy elektryczne).
- Spoiwo organiczne wytwarza ciepło podczas spalania. Tak wytworzone wewnątrz pieca ciepło jest wykorzystywane do produkcji piasku regeneracja i obróbka cieplna.
- Chemikalia wiążące są spalane wewnątrz pieca.
- Niektóre odlewnie wykorzystują ciepło gazów wydechowych do dostarczania ciepłej wody lub ogrzewania budynku.

Oczyszczanie gazów odlotowych

- Zminimalizowane emisje.

Emisje

- Ograniczenie emisji CO_2.

Tabela 3.25: Poziomy emisji skorygowane do 12 % O_2 zmierzone przy zastosowaniu połączonej techniki odzysku piasku i obróbki cieplnej

	Maksymalne dopuszczalne stężenia emisji (mg/Nm^3)	**Emisje zgłoszone przy użyciu połączonej techniki odzysku piasku / obróbki cieplnej (mg/Nm^3)**
CO	80	60,9
LZO	20	7,9
NO_X	250	230

Pył	10	6
Źródło:[133. DE UBA 2014].		

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Wydajność obróbki odlewów: Istniejące systemy przetwarzają od 33 do 180 odlewów bloków silnika i głowic cylindrów na godzinę, w zależności od specyfikacji klienta. Piece (o konstrukcji modułowej) są zaprojektowane zgodnie z określonymi systemami termicznymi. W zależności od liczby odlewów na godzinę, wielkości odlewów/form, temperatury, czasu nagrzewania i wygrzewania itp., piece będą zaprojektowane jako kilka modułów.

Wydajność odzysku piasku: Instalacje zapewniają wydajność odzysku od 1 do 30 ton zużytego piasku na godzinę. Dno pieca w kształcie leja zasypowego jest również zaprojektowane tak, aby buforować pewną ilość piasku podczas przestojów produkcyjnych w systemie piasku za piecem, co oznacza, że piec może kontynuować obróbkę cieplną odlewów.

Zużycie energii: Zakłady użyteczności publicznej szacują zużycie gazu, energii elektrycznej i sprężonego powietrza na podstawie specyfikacji procesu klienta. Zużycie gazu zależy na przykład w dużym stopniu od temperatury odlewów podczas załadunku, czasu i temperatury obróbki, ilości piasku i zawartości spoiwa itp. Udział odzyskanej energii może wynosić około 47%. Ogólnie rzecz biorąc, obsługa takiego systemu może zmniejszyć zużycie energii o 25-30%.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Za pośrednią wadę można uznać fakt, że przed odcięciem podgrzewane są również nadlewki i końcówki z podajników. Może to powodować większe zużycie energii w piecu. Z drugiej strony załadunek gorących nadlewek i końcówek z podajników zwiększa ilość ciepła dostarczanego do pieca.

Nadlewki i końcówki z podajników poddane obróbce cieplnej można łatwiej odciąć. Pozwala to zaoszczędzić na kosztach chłodzenia.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika
Oszczędności można osiągnąć poprzez:

- skrócenie czasu obróbki (energia);
- zmniejszone wymagania przestrzenne;
- niższe koszty personelu;
- mniej sprzętu, brak maszyn wolnostojących;
- mniej operacji związanych z obsługą, mniej uszkodzeń;
- ograniczenie emisji;
- odzyskiwanie energii;
- mniej zapasów (zużycie na bieżąco).

Dodatkowo, w jednym z zakładów odnotowano następujące oszczędności:

- kosztów pracy o 46%;
- kosztów energii o 25%;
- zużycia gazu o 64%;
- kosztów operacyjnych o 55%.

Zgłoszony udział energii:

- gaz: 42%
- energia elektryczna: 11%
- odzysk energii 47 %;

Dane dotyczące kosztów inwestycji nie są dostępne.

Przykładowe zakłady
- W sumie na całym świecie zainstalowano 37 takich systemów z piecem z trzonem rolkowym i piecem łańcuchowym typu 3 w 1, które są wykorzystywane głównie do obróbki odlewów bloków silników (benzynowych i wysokoprężnych) (odlewanie niskociśnieniowe), precyzyjnych odlewów w formach piaskowych oraz odlewów głowic cylindrów silników benzynowych i wysokoprężnych (odlewanie

grawitacyjne, odlewanie niskociśnieniowe, precyzyjne odlewanie w formach piaskowych).

- Hydro Aluminium Dolince (obecnie Nemak Dillingen) w Niemczech z czterema liniami do produkcji bloków silnika i głowic o łącznej zdolności produkcyjnej około 480 odlewów/godzinę.
- Daimler Benz Mettingen, Niemcy, wyposażony w dwie linie do produkcji głowic cylindrów.

Literatura źródłowa [133. DE UBA 2014]

3.2.1.4.4.12 Odzysk na mokro piasków zielonych, piasków związanych krzemianem lub CO_2

Opis

Piasek jest mieszany z wodą w celu wytworzenia szlamu. Usuwanie pozostałości spoiwa związanego z ziarnami odbywa się poprzez intensywne pocieranie ziaren piasku. Spoiwa są uwalniane do wody myjącej. Wypłukany piasek jest suszony, przesiewany i ostatecznie schładzany.

Szczegóły techniczne

Po usunięciu metalu piasek miesza się z wodą w celu uzyskania szlamu, który ułatwia oddzielenie spoiwa oraz umożliwia dalsze przesiewanie na mokro (1,6 mm). Usuwanie pozostałości spoiwa związanego z ziarnami odbywa się w urządzeniu do odzysku na mokro poprzez intensywne tarcie ziaren piasku o siebie. Spoiwa są uwalniane do wody popłuczkowej. Wypłukany piasek jest suszony do końcowej zawartości wilgoci wynoszącej maksymalnie 0,3%, przesiewany na sucho (1,2 mm), a potem schładzany. Następnie może nastąpić dodatkowe magnetyczne odciąganie żelaza i końcowe odpylanie. Pozostałości spoiwa są oddzielane od zawiesiny i poddawane obróbce umożliwiającej jego bezpieczne unieszkodliwianie.

Główną zaletą tego procesu w porównaniu z procesami mechanicznymi i termicznymi jest to, iż umożliwia on monitorowanie procesu w czasie rzeczywistym. Dzięki kontroli pH możliwe jest ciągłe monitorowanie procesu, co w razie potrzeby pozwala na podejmowanie działań korygujących w czasie rzeczywistym oraz ciągłe wytwarzanie wysokiej jakości odzyskiwanego piasku. Technika pozwala na usuwanie warstwy spoiwa poprzez mechaniczne działanie na mokro, połączone w razie potrzeby z działaniem chemicznym, bez zużywania ziaren piasku.

Stosowany proces ma głównie na celu obniżenie zarówno stopnia oolityzacji zużytego piasku (LOI maksymalnie 1%), jak i zawartości kwasu.
Z informacji branżowych wynika, że oprócz problemu wytwarzania ścieków (zob. *Oddziaływanie na procesy i środowisko* poniżej), odzysk na mokro charakteryzuje się zazwyczaj niską wydajnością (wskaźnik odzysku wynosi jedynie około dwóch trzecich zużytego piasku). [134. CAEF 2020].

Osiągnięte korzyści dla środowiska

Zmniejszenie ilości piasku przeznaczonego do unieszkodliwienia oraz zużycia nowego piasku pierwotnego.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Nie dostarczono danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

W procesie mokrym powstają osady przeznaczone do unieszkodliwiania oraz strumień ścieków. Poważnym problemem związanym z tym strumieniem ścieków jest słaba sedymentacja bentonitu i trudności z jego usunięciem. Ścieki z regeneracji piasków z krzemianem sodu zawierają jony alkaliczne. Jony te są trudne do oddzielenia od ścieków.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ogólnie stosowana.

System odzysku na mokro może być stosowany wyłącznie w przypadku piasków zielonych oraz piasków związanych krzemianem lub CO_2. Regeneracja w tego typu procesach pozwala na pełne ponowne wykorzystanie zregenerowanego piasku zarówno w formach, jak i rdzeniach. Testy przeprowadzone na zregenerowanym piasku zielonym wykazały możliwość produkcji w zimnych rdzennicach dobrej jakości rdzeni przy akceptowalnej ilości spoiwa (łącznie 1,8%)

Ekonomika

Na włoskim rynku odlewniczym scentralizowany zakład odzysku na mokro może oferować zregenerowany piasek po cenie niższej niż cena nowego piasku.

Siła napędowa wdrażania

System ten jest w stanie lepiej radzić sobie ze zmianami jakości zużytego piasku niż procesy mechaniczne lub termiczne. Dzięki temu nadaje się do zastosowania w scentralizowanych zakładach odzysku piasku.

Przykładowe zakłady
Zgłoszone w zbiorze danych SF przez zakłady: AT004, CZ024, DE028, DE063, DE067, DE069, FR111 oraz IT127. [169. TWG 2021].

Literatura źródłowa
[17. Winterhalter i in. 1992], [47. Sieć tematyczna UE Odpady odlewnicze 2001], [120. TWG 2003], [134. CAEF 2020], [169. TWG 2021].

3.2.1.4.4.13 Odzysk piasku (masy) wiązanego krzemianem sodu (wiązanego szkłem wodnym) przy użyciu systemu pneumatycznego

Opis
Piasek jest podgrzewany w celu uzyskania kruchości warstwy krzemianowej przed zastosowaniem systemu pneumatycznego (zob. Sekcja 3.2.1.4.4.7). Odzyskany piasek jest schładzany przed ponownym użyciem.

Szczegóły techniczne
Piasek wiązany szkłem wodnym jest tradycyjnie trudny do odzyskania. Zastosowanie systemu pneumatycznego umożliwiło uruchomienie instalacji do odzysku tego piasku z efektywnością 60 %. System działa na tej samej zasadzie, jak opisano powyżej (zob. Sekcja 3.2.1.4.4.7). Jednak w przypadku tego typu spoiwa piasek musi zostać podgrzany do 220ºC przed odzyskiem, aby warstwa krzemianowa stała się krucha. Przed odzyskiem piasek powinien mieć wilgotność poniżej 0,3%. Odzyskany piasek może być ponownie wykorzystany w tym samym systemie. Aby ester działał prawidłowo, odzyskany piasek musi zostać schłodzony do temperatury poniżej 20°C przed ponownym wprowadzeniem do cyklu tworzenia formy.

Systemy odzysku piasku wiązanego szkłem wodnym obejmują następujące etapy procesu: kruszenie - suszenie/podgrzewanie - odzysk (pneumatyczny) - chłodzenie - filtracja.
Technika ta ma niższą wydajność niż termiczny odzysk piasków związanych organicznie. Występują następujące ograniczenia:

- niższa natychmiastowa wytrzymałość na ściskanie;
- krótsze czasy stosowania mieszanek piasku rdzeniowego;
- utrata stabilności podczas przechowywania rdzeni;
- utrata wytrzymałości na ściskanie, zwłaszcza w przypadku stosowania spoiw o wysokiej podatności na zapadanie się.

Aby zrekompensować te problemy, konieczne są zmiany w schemacie przetwarzania lub mieszankach spoiwa.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Zastosowanie piasku wiązanego szkłem wodnym jako spoiwa ma niewielki wpływ na środowisko w porównaniu z zastosowaniem spoiw organicznych. Technika ta pozwala na (częściowy) odzysk piasku związanego szkłem wodnym, a tym samym zmniejsza potrzebę unieszkodliwiania zużytego piasku oraz wykorzystania surowców pierwotnych.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
W niemieckiej przykładowej instalacji urządzenie pneumatyczne pracuje w cyklu stopniowym. Piasek jest najpierw suszony przez wprowadzenie ogrzanego powietrza (5 min/220 ºC). Następnie rozpoczyna się czyszczenie pneumatyczne poprzez wtrysk sprężonego powietrza (70 min). Potem następuje końcowa faza odpylania, podczas której wprowadzane jest tylko powietrze fluidyzacyjne (2 min). Nie ma potrzeby dalszego chłodzenia, ponieważ piasek schładza się do temperatury roboczej.

Efektywność odzysku piasku w pierwszym cyklu wynosi 85 % jego początkowej masy (w przeliczeniu na SiO_2). Aby uzyskać stabilne rdzenie, biorąc pod uwagę dalszą redukcję jakości piasku po drugim cyklu odzysku, można osiągnąć maksymalny współczynnik odzysku wynoszący 62 % (co oznacza dodanie 38 % nowego piasku).

Jednostkowe poziomy zużycia są następujące (dla urządzenia o wydajności 1 500 ton/rok; 0,5 tony/godzina):

- zużycie gazu ziemnego: 104,4 kWh/t zużytego piasku;
- zużycie energii elektrycznej 74,5 kWh/t zużytego piasku.

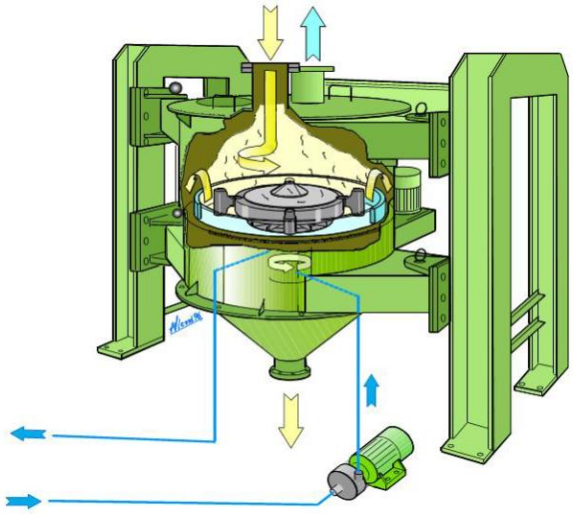
Przykładowa polska instalacja (w odlewni stali) składa się z następujących elementów: kruszarka wibracyjna – suszarka – regenerator płyt udarowych – odpylacz kaskadowy – separator elektromagnetyczny. Szczegóły techniczne instalacji podano w Tabeli 3.26. Odzyskany piasek jest ponownie wykorzystywany do produkcji piasku formierskiego związanego krzemianem. Piasek krzemianowy jest używany jako piasek podkładowy w produkcji form, a piasek alkaliczny jest używany jako piasek kontaktowy. Całkowity bilans piasku (w ujęciu

rocznym) wskazuje na wykorzystanie 45 - 47% piasku z regeneracji.

Tabela 3.26: Dane operacyjne dotyczące instalacji do odzysku piasku związanego krzemianem

Charakterystyka	Wartość
Wydajność	10 ton/h
Współczynnik odzysku	90%
Zawartość odzyskanego piasku w piasku formierskim	50 – 60%
Moc robocza	76 kW
Efektywność systemu odpylania (2 filtry workowe)	99,4%
Powierzchnia zajmowana przez instalację do regeneracji	220 m²
Źródło: [98. Metalodlew s.a. 2002]	

Przykładowa hiszpańska fabryka (odlewnia staliwa) zgłosiła ponowne wykorzystanie 80–88 % (przy średnim rocznym dodatku nowego piasku wynoszącym 12,5 %) odzyskanego piasku krzemianowo-estrowego w ręcznej linii formierskiej, używanej do odlewania dużych elementów. System odzysku składa się z: kruszarki wibracyjnej – ogrzewania w reaktorze ogrzewanym pośrednio („quemador" z palnikiem gazowym w komorze bocznej) – chłodzenia w chłodzonej wodą wieży wymiany ciepła – oczyszczania udarowego w obrotowej komorze mieszającej.
Przykładowa włoska instalacja wykorzystuje również specjalne urządzenia do podgrzewania piasku do temperatury od 140ºC do 150ºC, co umożliwia usunięcie defektów i kruchości powłoki ze szkła wodnego. Następnie piasek poddawany jest obróbce mechanicznej w obrotowej ściernicy, odpylaniu i schładzaniu. Schematyczna ilustracja obrotowej jednostki odzysku przedstawiona została na Rysunku 3.32.



Źródło: [120. TWG 2003].

Rysunek 3.32: Obrotowa mechaniczna jednostka odzysku

Zużycie energii przez urządzenie wynosi 35 kW/tonę odzyskanego piasku. Straty operacyjne piasku wynoszą około 5%. W przypadku mieszanek formierskich i rdzeniowych można użyć ponad 90% odzyskanego piasku. Osiągalny współczynnik odzysku zależy od intensywności i czasu odzysku oraz operacyjnych strat piasku. Straty piasku występują na każdym etapie całego cyklu mieszania, przygotowania, transportu, produkcji form oraz odzysku.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

W celu podgrzania piasku spalany jest gaz ziemny. Emisja Co2 szacowana jest na 18 kg/tonę zużytego piasku. Wystąpią również emisje NO_X.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ogólnie stosowana.

Możliwość odzysku dla piasków wiązanych szkłem wodnym zależy od zastosowanego katalizatora. W przypadku klasycznych polioctanowych estrów glicerolu regeneracja po kilku cyklach nie jest już możliwa. W przypadku estrów węglowych odzysk jest możliwy i nawet łatwiejszy niż w przypadku piasków krzemianowo-CO_2. Jeśli piasek nie może zostać schłodzony poniżej 20°C przed powrotem do mieszalnika, należy użyć estrów o powolnej reakcji. Nie można ich odzyskać. Sytuacja ta może wystąpić latem w gorącym klimacie.

Ponowne wykorzystanie odzyskanego piasku wiązanego szkłem wodnym do przygotowania organicznie związanych form lub rdzeni jest problematyczne. Podwyższona zawartość elektrolitów (spoiw) uniemożliwia ich zastosowanie w innych systemach spoiw rdzeniowych. Wysoce zasadowe pozostałości szkła wodnego mają negatywny wpływ na wiązanie i stabilność rdzeni, zarówno w neutralnych, jak i alkalicznych systemach spoiw. Zastosowanie techniki w cyklach zielonego piasku i kwasowych systemach spoiw rdzeniowych nie zostało jeszcze z powodzeniem wdrożone. Może to wynikać z mniejszego zainteresowania rozwojem takiego zastosowania.

Ze względu na niską jakość piasku wtórnie zregenerowanego, podczas usuwania rdzenia i zbierania piasku konieczne jest określenie ilości piasku zregenerowanego i jego pochodzenia (np. liczba cykli), a następnie odrzucenie piasku nienadającego się do użytku.

Ekonomika
Koszt przetwarzania z użyciem tej techniki dla przykładowego zakładu w Niemczech wynosi około 60 EUR/t. Tak wysoki koszt był powodem, dla którego jeden z operatorów zamknął swój zakład i powrócił do unieszkodliwiania piasku wiązanego szkłem wodnym, co mógł zrobić za niższą cenę 30 EUR za tonę.
Koszt operacyjny zgłoszony przez przykładowy zakład w Hiszpanii wynosi 10 EUR/tonę.

Ze względu na wysokie koszty i stosunkowo niski wskaźnik odzysku, amortyzacja instalacji w rozsądnym czasie może być zagwarantowana tylko w przypadku zakładów o wydajności > 2 500 ton/rok.

Siła napędowa wdrażania
Umożliwienie odzysku piasku wiązanego szkłem wodnym, który ma dobre właściwości środowiskowe w niektórych zastosowaniach.

Przykładowe zakłady
- Akers (SE) (zakład SE153 w zbiorze danych).

Literatura źródłowa
[42. IHOBE 1998], [56. Notzon i in. 1998], [58. Baum 2002], [98. Metalodlew s.a. 2002], [108. Martínez de Morentin Ronda, J. 2002], [120. TWG 2003], [123. Galante i in. 1997], [210. TWG 2022]

3.2.1.4.4.14 Wewnątrzzakładowe ponowne wykorzystanie piasku rdzeniowego (spoiwa z procesu z zimną rdzennicą lub kwasem furanowym)

Opis
Piasek pochodzący z uszkodzonych/wadliwych rdzeni oraz nadmiar piasku z maszyn do produkcji rdzeni (po utwardzeniu w specjalnym urządzeniu) trafia do urządzenia rozdrabniającego. Powstały piasek jest mieszany z nowym piaskiem w celu produkcji nowych rdzeni.

Szczegóły techniczne
Produkcja rdzeni generuje odpady piasku w postaci połamanych rdzeni, rdzeni z niewielkimi wadami oraz nadmiaru piasku z maszyn do produkcji rdzeni. Nadmiar piasku można utwardzić w specjalnym urządzeniu. Następnie różne strumienie nieużywanego piasku rdzeniowego są kierowane do urządzenia kruszącego. Powstały piasek można zmieszać z nowym piaskiem w celu produkcji nowych rdzeni.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Efektywność wykorzystania surowców (mniejsze zużycie nowego piasku) oraz minimalizacja ilości piasku zużytego, który trafia do unieszkodliwiania.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Recyrkulacja wewnątrz zakładu 5-10% piasku rdzeniowego, który w przeciwnym razie zostałby usunięty.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.

Technika ta ma zastosowanie do piasków poliuretanowych (zimna rdzennica) i związanych żywicą furanową. Inne spoiwa nie pozwalają na użycie tej techniki.

Wdrożenie tej techniki wymaga zmian w kontroli procesu. Konieczne będzie określenie optymalnego stosunku piasku z recyrkulacji oraz nowego. Ponadto konieczne mogą być zmiany w dodawaniu lub składzie spoiwa.

Ekonomika
Technika ta wymaga nakładów inwestycyjnych w wysokości 250 000 - 500 000 EUR na połączoną jednostkę oczyszczania i rozdrabniania. Koszty operacyjne wynoszą około 12 EUR/t (dane z 2001 r.). Koszty te są równoważone przez redukcję kosztów unieszkodliwiania oraz zakupu nowego piasku.

Technika ta jest opłacalna tylko w przypadku intensywnej produkcji rdzeni.

Siła napędowa wdrażania
- Optymalizacja wykorzystania materiałów pierwotnych oraz zmniejszenie ilości odpadów przeznaczonych do unieszkodliwiania.
- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady
Technika ta została zgłoszona przez kilka dużych odlewni.

Literatura źródłowa
[34. IfG 1996], [38. Vito 2001]

3.2.1.4.4.15 Ponowne wykorzystanie pyłu z obiegu zielonego piasku do produkcji form

Opis
Pył jest zbierany przez filtrację wylotową z instalacji wytrząsania oraz ze stacji dozowania i przeładunku suchego zielonego piasku. Zebrany pył (zawierający aktywne związki wiążące) może być ponownie wykorzystany w obiegu zielonego piasku.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Zmniejszenie zużycia surowców pierwotnych (spoiwa, bentonit) i dodatków (węgiel).

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Odlewnia żeliwa samochodowego, wykorzystująca zautomatyzowaną linię formierską o wydajności 8 000 t/rok, wytwarza 480 t/rok pyłu. Piasek jest zbierany, chłodzony i poddawany recyklingowi w mieszarce piasku. Zebrany pył zawiera 23% aktywnego bentonitu i 10% węgla. 50% pyłu można ponownie wprowadzić do obiegu bez ryzyka utraty jakości spowodowanej obecnością drobnego pyłu.

W przypadku gdy zebrany pył jest mieszaniną „aktywnego bentonitu" i „spalonego bentonitu" bez właściwości wiążących, przed dodaniem go do zielonego piasku należy przeprowadzić badania zebranego pyłu i dokonać jego starannego dozowania (uwagi CAEF w [210. TWG 2022]).

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.
Technika ta może być stosowana w nowych i istniejących instalacjach zielonego piasku.

Ekonomika
Technika ta wymaga inwestycji w wysokości 25 000 EUR na sprzęt do przechowywania i transportu. Okres amortyzacji wynosi 8 lat, przy stopie dyskontowej 8%, dla instalacji o wydajności 240 ton/rok, co daje koszt kapitałowy w wysokości 17 EUR/tonę oczyszczonego piasku (dane z 2005 r.). Nie ma żadnych dodatkowych kosztów operacyjnych, ponieważ działanie całej instalacji nie ulega zmianie.

Siła napędowa wdrażania
Optymalizacja wykorzystania materiałów pierwotnych oraz zmniejszenie ilości odpadów przeznaczonych do unieszkodliwienia
Przykładowe zakłady
Odlewnia żeliwa samochodowego w Niemczech.

Literatura źródłowa[34. IfG 1996]

3.2.1.4.5 Ograniczenie ilości powstających odpadów i ilości odpadów przekazywanych do unieszkodliwiania

Strumienie pozostałości najczęściej obejmują:

- pyły surowców gromadzone w filtrach workowych lub nabojowych;
- żużel z odsiarczania;
- żużel/zgary z topienia;
- pył i opary z topienia zebrane w instalacji filtrującej;
- pył odlewniczy i opary zebrane w instalacji filtrującej;
- pyły z oczyszczania odlewów zebrane w systemie redukcji emisji;
- wiórki i ścinki z oczyszczania odlewów;
- zużyte ścierniwo z obróbki strumieniowo-ściernej;
- płyny i osady z płuczki oraz produkty wyjściowe z oczyszczalni ścieków;
- odpady ogniotrwałe z rynien i kadzi;
- piasek;
- pojemniki na chemikalia i olej;
- ogólne obojętne odpady przemysłowe.

Odpady powinny być odzyskiwane i/lub poddawane recyklingowi wszędzie tam, gdzie jest to możliwe. Poza piaskiem, najważniejszymi pozostałościami są:

- żużel pochodzący z procesów topienia i obróbki metali;
- pył zebrany z instalacji odgazowujących;
- zebrany osad;
- odpady ogniotrwałe.

[62, UK Environment Agency (Brytyjska Agencja Ochrony Środowiska) 2002].

3.2.1.4.5.1 Recykling poza zakładem i/lub inne odzyskiwanie zużytego piasku, piasku niewymiarowego, żużla, wykładzin ogniotrwałych i zebranego pyłu z filtrów

Opis

Recykling poza zakładem i/lub inne formy odzysku mają pierwszeństwo przed unieszkodliwianiem zużytego piasku, piasku niewymiarowego, żużla, wykładzin ogniotrwałych i pyłu z filtrów. Zużyty piasek, piasek niewymiarowy, żużel i wykładziny ogniotrwałe mogą być:

- poddane recyklingowi, np. w budownictwie drogowym, jako materiały budowlane (takie jak cement, cegły, dachówki);
- odzyskane, np. do wypełniania wyrobisk górniczych, budowy składowisk odpadów (takich jak drogi na składowiskach i stałe pokrycia);

Pył z filtrów może być poddawany recyklingowi zewnętrznemu, np. w metalurgii, produkcji piasku, sektorze budowlanym.

Szczegóły techniczne

Zużyty piasek, piasek niewymiarowy, żużel, wykładziny ogniotrwałe i pył z filtrów mogą znaleźć pewne zastosowania zewnętrzne, jak wskazano powyżej.

Ograniczenia tych zastosowań wynikają z kryteriów technicznych dotyczących materiałów budowlanych i/lub kryteriów środowiskowych dla danego zastosowania. Kryteria środowiskowe opierają się zazwyczaj na właściwościach wymywania i zawartości związków organicznych. Mogą one różnić się w poszczególnych regionach Europy.

Zużyte piaski wykazują zazwyczaj niską zdolność wymywania metali. Przekroczenie wartości granicznych może wystąpić w przypadku materiałów o wysokiej zawartości spoiwa organicznego lub określonych dodatków, takich jak węgiel błyszczący.

Ze względu na wysoką zawartość kwarcu i odpowiednią granulometrię, zużyty piasek może być stosowany jako substytut piasku pierwotnego w budownictwie drogowym. Zastosowanie w produkcji materiałów budowlanych (beton, cegły, płytki, wełna szklana itp.) jest technicznie wykonalne, ale wymaga wyższego poziomu kontroli składu i logistyki. Próby na skalę przemysłową zostały z powodzeniem przeprowadzone w następujących obszarach:

- podbudowa dróg;
- materiał wypełniający;
- materiał drenażowy;
- elementy betonowe;

- produkcja cementu (w zależności od zapotrzebowania procesu na krzem; w Niemczech to zastosowanie ma duże znaczenie);
- materiał konstrukcyjny do wzmacniania wałów przeciwpowodziowych;
- witryfikacja odpadów niebezpiecznych.

Tabela przeglądowa zawierająca bardziej szczegółowe informacje na temat różnych rodzajów piasku znajduje się w Sekcji 3.2.1.4.5.3.

Inne obszary zastosowań to produkcja cegieł, wtórne wytapianie miedzi i odzyskiwanie cynku.

Należy podkreślić, że dyskusje na temat (rodzaju) wykorzystania zewnętrznego wykraczają poza zakres niniejszego dokumentu referencyjnego. Ogólnie można jednak stwierdzić, że piasek zwykle nie wymaga wstępnej obróbki i jest transportowany z odlewni po zebraniu i pośrednim przechowywaniu. Najczęściej, aby zagwarantować stałą jakość materiału, opracowuje się oddzielny system zbierania i przechowywania. Co więcej, jakość materiału musi być kontrolowana poprzez regularne analizy.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
W zastosowaniach zewnętrznych zużyty piasek zastępuje, a tym samym oszczędza surowce pierwotne. Generalnie, zastosowania zewnętrzne nie wymagają żadnej obróbki piasku, a zatem nie generują żadnych kosztów energii dla odlewni.

Zastosowanie nadwyżek piasku z odlewni nie zmniejsza odporności betonu asfaltowego na zużycie. Wykorzystanie nadwyżek piasku z odlewni wraz z pyłem z tego samego procesu odlewniczego jest możliwe w produkcji betonu na bazie cementu portlandzkiego. W produkcji wełny mineralnej możliwe jest wykorzystanie nadwyżek piasku z odlewni wraz z popiołem lotnym i żużlem stalowym. Wykorzystanie nadmiaru piasku z odlewni w procesie kompostowania bioodpadów nie wpływa negatywnie na właściwości środowiskowe lub techniczne produktu końcowego, tj. wierzchniej warstwy gleby. Wykorzystanie nadmiaru zielonego piasku w wykładzinach mineralnych jest technicznie i środowiskowo możliwe w górnych warstwach składowiska.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Nie dostarczono danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Generalnie nie odnotowano żadnych oddziaływań na procesy i środowisko. Pozostałości powłok organicznych mogą być źródłem węglowodorów aromatycznych.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Recykling i/lub inne metody odzysku mogą być ograniczone przez właściwości fizykochemiczne pozostałości (np. zawartość substancji organicznych/metali, granulometria). Technika może nie mieć zastosowania w przypadku braku odpowiedniego zapotrzebowania na recykling i/lub odzysk ze strony osób trzecich.
Ekonomika
Koszty wykorzystania zewnętrznego zależą od lokalnego rynku oraz niezbędnych kosztów transportu i magazynowania.

Koszty inwestycyjne związane z selektywną zbiórką i przechowywaniem są minimalne. Często można je zrealizować za pomocą środków organizacyjnych. Koszty operacyjne analiz i administracji mogą wynosić do 5 000 EUR/rok. Po stronie korzyści znajduje się redukcja kosztów unieszkodliwiania (do 125 EUR/tonę) (dane z 2000 r.).

Siła napędowa wdrażania
- Wysokie opłaty za unieszkodliwianie mające na celu zmniejszenie ilości pozostałości przeznaczonych do utylizacji.
- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady
Wiele przykładów zostało zgłoszonych w całej Europie, np. przez Finlandię, Holandię, Belgię, Niemcy, Wielką Brytanię. Orientacyjna lista zakładów zgłaszających recykling zewnętrzny zużytego piasku w przemyśle cementowym i pracach budowlanych obejmuje następujące zakłady: BE022, CZ026, DK079, FR109, FR110 oraz IT071. [169. TWG 2021].

Literatura źródłowa

[34. IfG 1996], [38. Vito 2001], [42. IHOBE 1998], [68. Orkas J. 2001], [70. Centrum Rozwoju Odlewów (The Castings Development Centre) 1999], [169. TWG 2021].

3.2.1.4.5.2 Minimalizacja tworzenia się żużla

Opis

Tworzenie się żużla można zminimalizować poprzez zastosowanie następujących środków podczas procesu:

- stosowanie czystego złomu;
- stosowanie niższej temperatury metalu (jak najbliższej teoretycznej temperaturze topnienia);
- unikanie wysokich szczytów temperatury;
- zapobieganie przedłużonemu przetrzymywaniu stopionego metalu w piecu do topienia lub stosowanie oddzielnego pieca do przetrzymywania;
- odpowiednie wykorzystanie topników;
- odpowiedni dobór okładziny ogniotrwałej pieca;
- chłodzenie ścian pieca wodą w celu uniknięcia zużycia okładziny ogniotrwałej pieca;
- skimming ciekłego aluminium czyli techniki rafinacji metali, polegającej na usuwaniu z powierzchni stopu materiałów niepożądanych;
- wykorzystanie sprężonego powietrza do odzyskiwania pozostałości aluminium;
- oddzielanie zebranych wiórów metalowych od olejów poprzez suszenie.

Osiągnięte korzyści dla środowiska

Minimalizacja powstawania pozostałości oraz ograniczenie emisji do powietrza.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Nie dostarczono danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Wymienione środki minimalizujące nie oddziaływają na procesy i środowisko. Jeśli chodzi o topienie czystego złomu, kwestie poruszone w Sekcji 3.2.1.3.5 powinny zostać wzięte pod uwagę.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ogólnie stosowana. Technika ta ma zastosowanie do wszystkich nowych i istniejących instalacji. Możliwość zastosowania czystego złomu została w pełni omówiona w Sekcji 3.2.1.3.5.

Przykładowe zakłady

Technika ta jest częścią istniejących procedur operacyjnych w większości europejskich odlewni.

Literatura źródłowa

[36. Vereniging van Nederlandse Gemeenten 1998]

3.2.1.4.5.3 Mechaniczna obróbka wstępna żużla / zgarów / pyłu z filtrów / zużytych wykładzin ogniotrwałych w celu ułatwienia recyklingu

Opis

Powstały żużel/zgary/pył z filtrów/zużyte okładziny ogniotrwałe są wstępnie przetwarzane na terenie zakładu, przy użyciu technik takich jak kruszenie, segregacja, granulacja i separacja magnetyczna. Może to również odbywać się poza zakładem.

Szczegóły techniczne

Aby umożliwić ponowne zewnętrzne wykorzystanie pozostałości stałych, materiał może wymagać obróbki. Tabela 3.27 przedstawia wymagane procesy obróbki różnych pozostałości stałych (innych niż piasek) oraz ewentualne ograniczenia dotyczące ich ponownego wykorzystania.

W przypadku żużla z żeliwiaka forma fizyczna, a tym samym w pewnym stopniu możliwości jego ponownego wykorzystania, zależą od rodzaju zastosowanego odżużlania. Zażużlenie na sucho, tj. zalewanie żużla w kadziach w celu schłodzenia i zestalenia, daje krystaliczny, nieporowaty minerał. Pod względem technologicznym żużel ten jest porównywalny z żużlem wielkopiecowym. Zażużlenie na mokro polega na schładzaniu żużlu strumieniem wody, w wyniku czego powstaje żużel ziarnisty.

Tabela 3.27: Niezbędna obróbka oraz ewentualne ograniczenia dotyczące zewnętrznego ponownego wykorzystania odpadów stałych

Rodzaj pozostałości	Obróbka	Ograniczenia
Żużel z żeliwiaka chłodzony powietrzem	Rozdrabnianie	- wytwarzanie pyłu szklistego - wymagania dotyczące obsługi ze względu na szklisty charakter
Żużel z żeliwiaka hartowany wodą	Brak	- wytwarzanie pyłu szklistego - wymagania dotyczące obsługi ze względu na szklisty charakter
Żużel z topienia indukcyjnego	Rozdrabnianie	- wytwarzanie pyłu szklistego - wymagania dotyczące obsługi ze względu na szklisty charakter - niewiele dostępnych danych na temat odcieków
Żużel z pieca łukowego	Rozdrabnianie	- wytwarzanie pyłu szklistego - wymagania dotyczące obsługi ze względu na szklisty charakter - niewiele dostępnych danych na temat odcieków
Żużel pochodzący z odsiarczania	Ekstrakcja metalu oraz innych gruboziarnistych cząstek	- wymagania dotyczące obsługi, CaC_2 wymaga ostrożnego obchodzenia się, aby uniknąć obrażeń - spływ - może być odpadem specjalnym
Pyły i osady	Prasowanie, suszenie i granulacja osadów wymagane w większości zastosowań	- wymagania dotyczące zdrowia i bezpieczeństwa przy niektórych pyłach - problemy z transportem materiałów pylistych - wysoki potencjał wymywania ze względu na charakter produktu i dużą powierzchnię
Źródło: [70. Centrum Rozwoju Odlewów (*The Castings Development Centre*) 1999].		

Osiągnięte korzyści dla środowiska

W zastosowaniach zewnętrznych materiał z recyklingu będzie służył jako wtórny materiał konstrukcyjny i może zastąpić materiały pierwotne. Recykling skutkuje zmniejszeniem ilości materiału przeznaczonego do unieszkodliwiania.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Podsumowanie zastosowań zewnętrznego recyklingu dla różnych odpadów stałych przedstawiono w Tabeli 3.28.

Tabela 3.28: Podsumowanie zewnętrznych zastosowań recyklingu stałych odpadów z odlewni (stan na 1999 r.)

PODSUMOWANIE ZASTOSOWAŃ RECYKLINGU	PIASEK						ŻUŻEL					INNE	
Zastosowanie	zielony piasek	alkaliczna żywica fenolowa	spoiwo fenolowo-uretanowe	furan	powłoka z żywicy	krzemian sodowy	żeliwiakowy chłodzony powietrzem	żeliwiakowy hartowany wodą	z topienia indukcyjnego	z pieca łukowego	z odsiarczania	ka odlewu inwestycyjnego	Pyły i osady
Asfalt	x	x	+	+	+	O	x						
Balast							+			+			
Produkcja bloków	+	x	+	+	x	+		x					
Produkcja cegieł	x	x	+	+	+		+	+					
Cement	x	x	+		x	x							
Substytut kruszywa							x		x	x		x	

PODSUMOWANIE ZASTOSOWAŃ RECYKLINGU	PIASEK						ŻUŻEL					INNE	
Zastosowanie	zielony piasek	alkaliczna żywica fenolowa	spoiwo fenolowo-uretanowe	furan	powłoka z żywicy	krzemian sodowy	żeliwiakowy chłodzony powietrzem	żeliwiakowy hartowany wodą	z topienia indukcyjnego	z pieca łukowego	z odsiarczania	ka odlewu inwestycyjnego	Pyły i osady
Beton		x	+	+	+								
Substytut kruszywa drobnego	x	x	+	+	+	+							
Beton piankowy itp.	x	x	+										
Izolacja/wełna mineralna/szklana	+	+	+	+	+	+	+	+					+
Produkcja lekkich kruszyw													+
Produkcja zapraw						+							
Podbudowa drogi		x	+		+	x	x		x	x		x	
Papy dachowe				x									
Ponowne użycie w innej odlewni													
Jako nowy dodatek do piasku zielonego				x									
Zastosowanie do gleb													
Sztuczna wierzchnia warstwa	x	+	+	x	+								+
Dekoracyjna okrywa							+	+					
Pokrycie podłoża w stajniach								+					
Wypełniacz nawozowy													x
Pokrycie składowisk odpadów	x	x	+										+
Składowisko odpadów -	x	x	+	x	x	x							
Składowisko odpadów -	+												+
Modyfikator/ulepszacz gleby	+	+	+	+	+	+		+			+		+
Zastosowania różne													
Materiały ścierne/do śrutowania		x	+					x	+				
Środki absorpcyjne												+	
Produkcja cementu z żużla wielkopiecowego						+					+		
Zastosowania chemiczne/przemysłowe													x
Zamiennik wapna gaszonego											+		+
Topniki		+	+		+	+							
Witryfikacja odpadów	+	+	+		+	+							

x Sprawdzone możliwości ponownego wykorzystania, z udanymi projektami realizowanymi w Wielkiej Brytanii.

\+ Możliwości ponownego wykorzystania sprawdzone w teorii, ale obecnie nie realizowane w Wielkiej Brytanii.

• Nie nadaje się do recyklingu w postaci nieprzetworzonej.

Źródło: [70. Centrum Rozwoju Odlewów (*The Castings Development Centre*) 1999], [100. TWG 2002]

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Obróbka wstępna wymaga energii i może powodować emisję pyłu.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ogólnie stosowana.

Technika ta ma zastosowanie do nowych i istniejących instalacji, o ile istnieje odpowiedni lokalny rynek dla pozostałości.

Ekonomika

Koszty związane z recyklingiem to głównie koszty przetwarzania i transportu, ale można je ewentualnie zmniejszyć, biorąc pod uwagę dochód generowany ze sprzedaży materiału. Jednak te ostatnie mogą być niskie lub bliskie zeru, podczas gdy typowe koszty obróbki mechanicznej mieszczą się w przedziale 8 EUR/tonę.

Im dalej materiały muszą być transportowane, tym większy wzrost kosztów. Aby ocenić opłacalność ekonomiczną opcji ponownego wykorzystania, należy wziąć pod uwagę odpowiednie koszty unieszkodliwiania. Różnią się one między poszczególnymi regionami i zależą od typu pozostałości.

Siła napędowa wdrażania
Ustawodawstwo stymulujące recykling odpadów mineralnych, częściowo poprzez ustanowienie wysokich opłat za unieszkodliwianie celem zmniejszenia ilości pozostałości przeznaczonych do utylizacji.

Przykładowe zakłady
W całej Europie odnotowano wiele przykładów recyklingu piasku i żużla, np. w Finlandii, Holandii, Belgii, Niemczech i Wielkiej Brytanii.

Literatura źródłowa
[70. Centrum Rozwoju Odlewów (*The Castings Development Centre*) 1999], [100, TWG 2002].

3.2.1.4.5.4 Regulacja kwasowości/zasadowości żużla

Opis
Zastosowanie odpowiedniego topnika (np. wapienia w przypadku tzw. żeliwiaków kwaśnych i fluorku wapnia w przypadku tzw. żeliwiaków zasadowych) w celu renderowania płynnego żużla na tyle, aby oddzielił się od żelaza.

Szczegóły techniczne
Aby żużel był na tyle płynny, by oddzielił się od żelaza i mógł swobodnie wypływać z żeliwiaka, stosuje się topnik. Najczęściej stosowanym topnikiem jest wapień (węglan wapnia), który kalcynuje się w szybie żeliwiaka, tworząc wapno, zasadowy tlenek, który następnie łączy się z innymi składnikami tworzącymi żużel (głównie o charakterze kwaśnym), tworząc płynny żużel.

Zasadowość żużla jest określana przez następujący współczynnik: (CaO % + MgO %)/SiO_2 %.

Większość żeliwiaków działa z kwaśnym (tzw. żeliwiaki kwaśne) lub lekko zasadowym żużlem (tzw. żeliwiaki zasadowe, zasadowość < 1,2). Żeliwiaki zasadowe (zasadowość do 2) oferują trzy zalety:
- wyższa zawartość węgla;
- niższa zawartość siarki;
- możliwość ładowania złomu niższej jakości.

Mają one jednak następujące wady:
- straty krzemu są wysokie;
- koszty materiałów ogniotrwałych są wysokie, chyba że pracuje się z żeliwiakiem bez okładzin;
- koszty materiałów topnikowych są wyższe;
- analiza metalu jest trudniejsza do kontrolowania niż w przypadku topienia w żeliwiaku.

W przypadku żeliwiaków kwaśnych można stosować filtry suche. Żużel z żeliwiaków zasadowych ma wyższą temperaturę topnienia. Dlatego do upłynnienia jego żużla stosuje się zazwyczaj topnik na bazie CaF_2. W żeliwiakach tego typu występują emisje składników zawierających fluor. Zastosowanie płuczek gazowych mokrych zmniejsza emisję związków zawierających fluor.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Lepsze warunki operacyjne.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Nie dostarczono danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
W przypadku odpylania na mokro może to prowadzić do dodatkowego/wyższego zużycia wody i emisji do wody.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana. Technika ta ma zastosowanie do wszystkich nowych i istniejących instalacji z żeliwiakami. Jeśli używany jest żużel zasadowy, konieczne jest zastosowanie systemu odpylania na mokro.

Ekonomika
Nie dostarczono danych.

Siła napędowa wdrażania
- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady
Technika ta jest powszechnie stosowana w europejskich odlewniach wykorzystujących żeliwiaki.

Literatura źródłowa
[20. ETSU 1993], [100. TWG 2002], [120. TWG 2003], [169. TWG 2021]

3.2.1.4.5.5 Zbieranie oraz recykling miału koksowego

Opis
Miał koksowy powstający podczas przeładunku, transportu i załadunku koksu jest zbierany (np. za pomocą systemów zbierających umieszczonych pod przenośnikami taśmowymi i/lub w punktach załadunku) i poddawany recyklingowi w procesie (wtryskiwany do żeliwiaka lub wykorzystywany do ponownego nawęglania).

Szczegóły techniczne
Przeładunek, transport i ładowanie koksu skutkują wytwarzaniem miału koksowego. W celu zbierania i recyklingu tego materiału mogą zostać przyjęte specjalne środki, np. systemy zbierania pod przenośnikami taśmowymi lub w punktach ładowania.

Zebrany materiał można poddać recyklingowi w procesie poprzez wtryskiwanie do żeliwiaka lub wykorzystać go do ponownego nawęglania.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Minimalizacja powstawania pozostałości.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Nie dostarczono danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika
Nie dostarczono danych.

Siła napędowa wdrażania
Wymogi prawne.

Siła napędowa wdrażania
- Wysokie opłaty za usuwanie odpadów stałych.
- Wymogi prawne.

Przykładowe zakłady
Technika ta została zgłoszona przez kilka odlewni w Europie.

Literatura źródłowa
Nie podano literatury referencyjnej.

3.2.1.4.5.6 Recykling pyłu z filtrów żeliwiaka z wykorzystaniem odpadów zawierających cynk

Opis
Pył z filtrów żeliwiaka jest częściowo ponownie do niego wtryskiwany w celu zwiększenia zawartości cynku w pyle do poziomu umożliwiającego odzysk Zn (> 18%).

Szczegóły techniczne
Pył z filtra żeliwiaka może być ponownie do niego wtryskiwany. Celem tej techniki jest osiągnięcie akumulacji metali w pyle, głównie cynku, do poziomu umożliwiającego jego ponowne przetworzenie z odzyskiem cynku (> 18 %). Odzysk Zn odbywa się przy użyciu procesu Waelz'a i zmniejsza ilość netto pyłu wysyłanego przez

odlewnię.

Recyrkulacja pyłu może odbywać się poprzez jego ponowne wtryskiwanie do dysz (przewodów dyszowych, *tuyères*) lub poprzez dodawanie granulek pyłu przez drzwi załadowcze; w żeliwiakach z zimnym dmuchem grubszy pył można dodawać na dno komory załadowczej. Wszystkie te techniki są stosowane na skalę przemysłową. Analiza bilansu masy może być wykorzystana do wykazania, że cynk jest sublimowany i pojawia się ponownie w odzyskanym pyle. Po kilku cyklach pył jest wystarczająco bogaty w Zn, aby umożliwić jego odzysk. Odzysk zewnętrzny jest technicznie możliwy powyżej poziomu Zn 18%.

Istnieją dwa ograniczenia dotyczące recyklingu pyłu:

- Cynk występuje głównie w postaci Zn_2SO_4, związku zawierającego 64% Zn. Określa to maksymalny poziom wzbogacenia.
- Pył jest również wzbogacony w alkalia, które powodują gaśnięcie płomienia w komorze spalania. Efekt ten można rozwiązać poprzez wtryskiwanie pary wodnej do powietrza spalania.

Wtrysk do dysz (przewodów dyszowych, *tuyères*) może odbywać się na kilku zasadach. W Europie istnieje piętnaście (stan na maj 2001 r.) odlewni, które odzyskują pył poprzez wtrysk do dysz. Jedenaście z nich stosuje technikę nadciśnienia, a cztery technikę ssania zwężkowego (ssania Venturiego). Zaletą techniki zwężkowej (Venturiego) jest mniejsze zużycie powietrza wtryskiwanego, a tym samym mniejsze chłodzenie strefy topienia. W obu technikach pył staje się lepki po kilku cyklach. W przypadku techniki zwężkowej (Venturiego) pył musi być zatem zmieszany z koksem naftowym, aby umożliwić jego transport w rurach.
Recyrkulacja pyłu poprzez aglomerację i ładowanie jest znacznie mniej powszechna niż wtrysk przez dyszę (przewód dyszowy). Wynika to z faktu, że proces ten jest znacznie trudniejszy do zautomatyzowania. Ponadto, aby uzyskać granulki o wymaganej konsystencji, konieczna jest dobra kontrola i znajomość procesu granulacji. W celu uzyskania granulatu o dobrej konsystencji można dodać żelazokrzem. W praktycznych testach do uzyskania dobrego działania potrzebna była mieszanka 2/3 FeSi i 1/3 pyłu. Z drugiej strony technika granulacji może być stosowana do przetwarzania dużych ilości. W przypadku żeliwiaków o większych średnicach wtryskiwanie pyłu dyszą (przewodem dyszowym) do środka ognia jest trudne, co sprzyja stosowaniu granulatu.

Ponowne wprowadzenie pyłu o większej wielkości ziaren (pochodzącego z cyklonu lub wymienników ciepła) do żeliwiaka z zimnym dmuchem jest łatwiejsze, a proces ten można zautomatyzować.

Właściwości tych technik zostały porównane w Tabeli 3.29.

Tabela 3.29: Właściwości technik wtrysku stosowanych do recyrkulacji pyłu z żeliwiaka

Ponowne wykorzystanie frakcji drobnej (cząstek drobnych) podczas oczyszczania gazów wylotowych z żeliwiaka.	**Wtrysk przez dysze**	**Wprowadzenie w postaci granulatu / pyłu luzem na dno komory wsadowej**	**Obserwacje**
Wpływ zanieczyszczeń			
Ograniczenie ilości wprowadzanej frakcji drobnej	7 - 8 kg/tonę metalu		Problem z gasnącym płomieniem
Zmniejszenie ilości wytwarzanej frakcji drobnej	40%	50%	Około (1)
Wzrost zawartości cynku w frakcji drobnej	30%	20%	Około (1)
Wzrost wytwarzania żużla	?	?	
Wpływ na pracę żeliwiaka			
Ilość koksu niezbędna do przeciwdziałania utracie temperatury	0,5 – 0,6%	0,2 – 0,3%	Około (1)
Różnice w analizie gazów wylotowych	Nie	Nie	n/d
Wpływ na stopiony metal			
Wzrost zawartości metali (Zn, Pb) w żelazie	Ograniczony	Nie	(w częściach tysięcznych)
Wpływ na straty powodowane ogniem	10 – 30%	Nie	Około (1)(2)
Skuteczność dodawania innych produktów (C, FeSi) tą samą metodą	Tak	Nie	n/d
Koszty			
Zmniejszenie kosztów unieszkodliwiania frakcji drobnej	60%	50%	Około (1)

Operacje			
Możliwość automatyzacji procesu	Tak	Tak	n/d
Dodatkowe problemy	Nie	Tak	Odporność granulek na zderzenia
Wdrożenie technologii			
Istniejące obiekty	Tak	Tak	Najlepiej żeliwiaki o dużych rozmiarach
Nowe obiekty	Tak	Tak	
(1) Wartość przybliżona, wartość rzeczywista zależy od początkowej zawartości tlenku cynku w frakcji drobnej, stopnia wzbogacenia niezbędnego do ponownego jej wykorzystania oraz charakterystyki żeliwiaka. (2) Funkcja zawartości stali w wsadzie do żeliwiaka. n/d: nie dotyczy. *Źródło*: [37. FEAF 1999]. (zgłoszenie IT w [237. TWG 2023])			

Osiągnięte korzyści dla środowiska

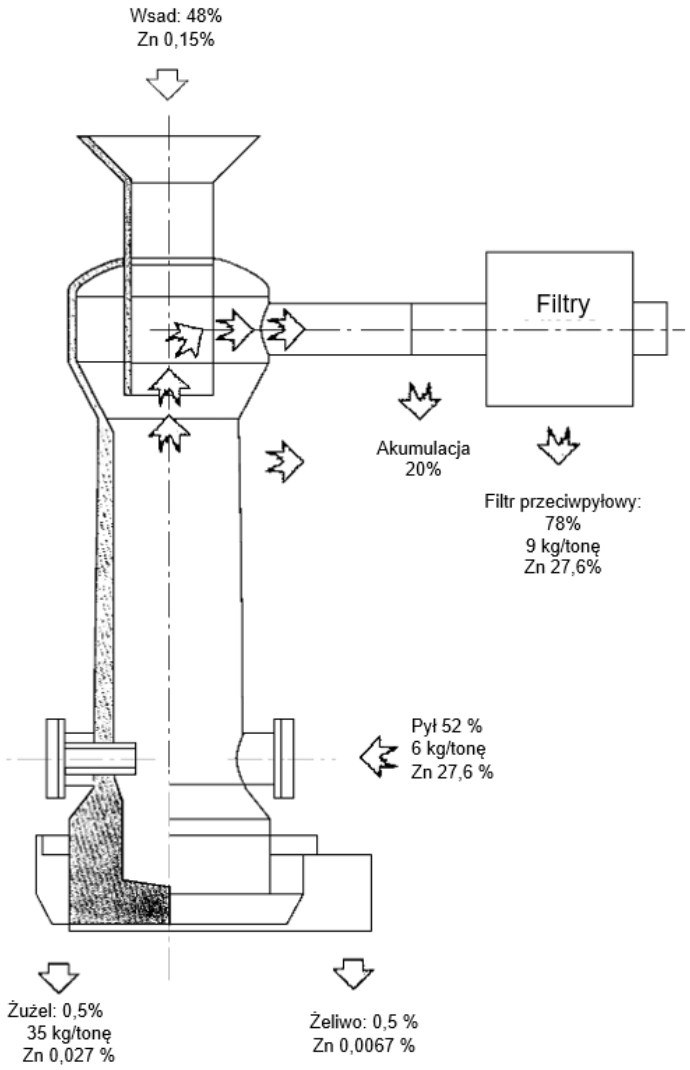
Główną zaletą tej techniki jest zmniejszenie ilości netto pyłu wysyłanego przez odlewnię do unieszkodliwiania lub odzysku. Odlewnia zazwyczaj wysyła mniejszą ilość pyłu, ale z większą zawartością metali. Pozwala to na odzyskiwanie Zn z pyłów pochodzących z żeliwiaka. Technika ta skutkuje wzbogaceniem Zn w pyle z żeliwiaka, podczas gdy w przypadku Pb większa część trafia do żelaza. Jeśli Zn jest skutecznie odzyskiwany z pyłu, technika ta zmniejsza obciążenie metalami ciężkimi pyłu ostatecznie przeznaczonego do unieszkodliwiania, a także jego ilość. Z drugiej strony wzrasta ilość wytwarzanego żużla.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Odzysk jest technicznie możliwy przy zawartości Zn powyżej poziomu 18%. Żeliwiaki z wsadem bogatym w Zn mają poziom Zn w pyle > 20%, bez recyrkulacji. Minimalna zawartość 40% cynku jest wymagana dla neutralnego kosztowo odzysku (zobacz *Ekonomika* poniżej).

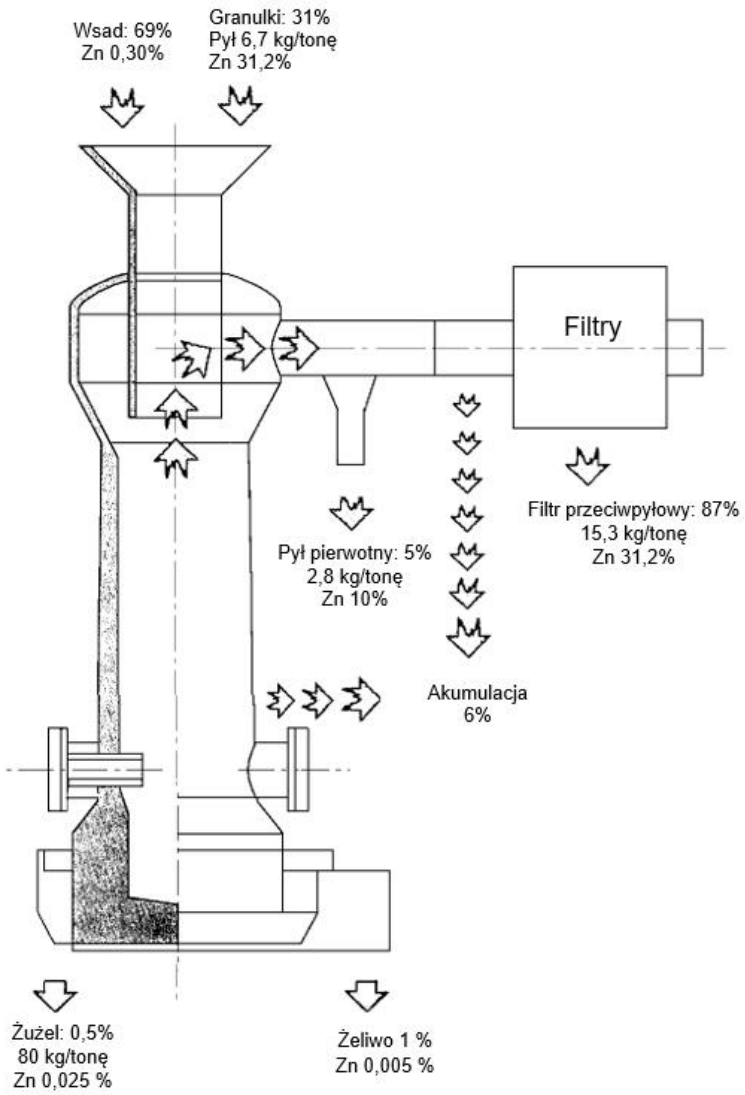
Nie jest możliwy ponowny wtrysk całego pyłu wytwarzanego przez piec. Wtrysk ponad 8 kg/tonę metalu powoduje gaśnięcie płomienia.

Analiza przepływów wejściowych i wyjściowych francuskich żeliwiaków zaowocowała bilansem masowym pokazanym na Rysunku 3.33 oraz Rysunku 3.34. Udział każdego przepływu w zawartości Zn na wejściu/wyjściu został podany wraz z poziomem cynku (jako masa oraz %). Podane wartości procentowe są wartościami średnimi we wskazanym okresie pomiarowym.



Źródło: [59. Godinot 2001]

Rysunek 3.33: Dystrybucja cynku dla wtrysku poprzez dyszę (przewód dyszowy, *tuyère*), w okresie 20 dni



Źródło: [59. Godinot 2001]

Rysunek 3.34: Dystrybucja cynku dla recyrkulacji poprzez załadunek, w okresie 11 dni

Analiza przepływów wejściowych i wyjściowych nie pozwala na pełne zamknięcie bilansu cynku. Oznacza to, że znaczna część cynku (20 % w przypadku wtrysku przez dyszę (przewód dyszowy), 10 % w przypadku ładowania granulatu) pozostaje i gromadzi się w systemie. Podczas recyrkulacji pył staje się lepki i osadza się w komorze spalania, wymienniku ciepła i filtrach. Recyrkulacja będzie zatem wymagała zwiększonych nakładów na czyszczenie oraz spowoduje powstanie materiału przeznaczonego do unieszkodliwiania na tym etapie czyszczenia.

Kilka odlewni w Europie zgłosiło różne wyniki (zarówno pozytywne, jak i negatywne).

Recyrkulacja pyłu z żeliwiaka (roczna produkcja żelaza: 30 000 ton) w holenderskiej odlewni żelaza zmniejszyła ilość pyłu netto o 156 ton rocznie, bez znaczącego wpływu na właściwości środowiskowe i konstrukcyjne żużla.

Jedna belgijska odlewnia przed 2022 r. stosowała recykling pyłu z filtrów żeliwiaka. Doświadczenie pokazało, że nie można było kontynuować tej praktyki ze względu na kilka istotnych wad oraz znaczący negatywny wpływ, takich jak:

- zwiększone ryzyko zatkania rękawów filtra tkaninowego w przypadku recyklingu zbyt dużej ilości pyłu z filtrów, co prowadzi do zwiększonej emisji pyłu;
- zwiększone stężenie metali ciężkich po przetopieniu, co prowadzi do problemów z jakością;
- wzrost zużycia koksu o 5% do 10%.

Z tych powodów technika ta nie jest już stosowana w tym zakładzie a operator zakładu zalecił, aby nie uznawać jej jako BAT. [225. COM 2022].

We włoskiej odlewni stosuje się technikę ponownego wprowadzania pyłu do żeliwiaka z zimnym dmuchem w ilości 2% masy wsadu, bez żadnych problemów dotyczących funkcjonowania pieca. Ma to znaczące zalety pod względem zmniejszenia całkowitej ilości pyłu przeznaczonego do unieszkodliwiania oraz pod względem efektywności materiałowej wykorzystania obecnych substancji organicznych, które nie uległy spaleniu, a także metali, które wchodzą w skład wytworzonego ciekłego metalu (zgłoszenie IT w [237. TWG 2023])..

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Technika ta zużywa energię, tj. koks, do stopienia produktu. Odnotowano wzrost zużycia koksu z 0,15 kg do 0,25 kg koksu/kg pyłu przy sprawności cieplnej pieca wynoszącej 40%.

Ponadto, wtrysk zimnego pyłu do strefy topnienia obniża temperaturę płomienia, która będzie musiała zostać przywrócona poprzez wtrysk tlenu. Wzrośnie również całkowita ilość wytwarzanego żużla.

Obciążenie lepkim pyłem kilku wewnętrznych części systemu powoduje w średnim okresie czasu utratę wydajności oraz możliwe problemy operacyjne. Nie zostały one określone ilościowo.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika
Odzysk jest technicznie możliwy przy zawartości Zn powyżej poziomu 18%. Operatorzy informują o rentowności recyrkulacji i odzysku Zn przy poziomie Zn > 40%.

Na podstawie praktycznych danych z dwóch odlewni we Francji obliczono dodatkowe koszty operacyjne. Wtrysk poprzez dyszę (przewód dyszowy, *tuyère*) spowodował dodatkowy koszt operacyjny w wysokości 0,35 EUR/tonę żeliwa; wtrysk granulatu – 0,90 EUR/tonę żeliwa (dane z 2001 r.). Obliczenia te nie uwzględniają żadnych dodatkowych kosztów związanych z unieszkodliwianiem żużla lub pracami konserwacyjnymi.

W przypadku wtrysku zwężkowego (Venturiego) obowiązują następujące dane. W niemieckim zakładzie referencyjnym w ciągu 5 lat do przemysłu przetwórczego można było dostarczyć średnio 7,5 kg pyłu cynkowego na tonę stopionego żelaza. Koszty unieszkodliwiania zostały tym samym obniżone o 1,97 EUR/tonę płynnego żelaza. Ponadto 20% koksu można zastąpić koksem naftowym. Pozwoliło to na obniżenie kosztów paliwa o 15%, co odpowiadało obniżeniu kosztów o 2,56 EUR/tonę płynnego żelaza (dane z 2001 r.). Obliczenia te nie uwzględniają żadnych dodatkowych kosztów związanych z unieszkodliwianiem żużla lub pracami konserwacyjnymi.

W przypadku włoskiej odlewni ponowne wprowadzenie pyłów do pieca pozwoliło zaoszczędzić 3,40 EUR/tonę ciekłego żelaza, na kosztach unieszkodliwiania (dane z 2021 r.) (zgłoszenie IT w [237. TWG 2023])..

Siła napędowa wdrażania
- Wysokie koszty unieszkodliwiania pyłów z pieca.
- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady
- Venturi (NPT): Pont-a-Mousson (FR), Brebach (DE).
- Nadciśnienie (VELCO): John Deere, Mannheim (DE).
- Pył luzem na dnie komory ładowania: Montini (IT).

Literatura źródłowa
[37. FEAF 1999], [38. Vito 2001], [47. Sieć tematyczna UE ds. odpadów z odlewni 2001], [59. Godinot 2001], [80. Ruffin, A. oraz Godinot, P. 1998], [96. Fischer 2000], [100. TWG 2002], [225. COM 2022], (zgłoszenie IT w [237. TWG 2023])

3.2.1.4.5.7 Recykling pyłu z filtrów w piecach łukowych

Opis
Zebrany suchy pył z filtrów, zwykle po wstępnej obróbce (np. granulowaniu lub brykietowaniu), jest poddawany recyklingowi w piecu, aby umożliwić odzyskanie jego metalicznej zawartości. Zawartość nieorganiczna jest przenoszona do żużla.

Szczegóły techniczne

Zebrany na sucho pył z pieca może w pewnych okolicznościach zostać poddany recyklingowi w piecu. Pył najlepiej poddać wstępnej obróbce, np. granulowaniu lub brykietowaniu, ponieważ zmniejszy to ilość pyłu przedmuchiwanego przez piec. Pomysł polega na odzyskaniu metalicznej części pyłu oraz stopieniu części nieorganicznej w żużel. Na ogół, pył jest dodawany na początku każdego cyklu topienia.

Jak już wspomniano w przypadku żeliwiaków oraz pieców łukowych, w niektórych przypadkach, gdy wykorzystywane są znaczne ilości złomu zawierającego Zn, recykling może prowadzić do wzbogacenia pyłu z pieca w Zn do poziomu, na którym może on być wykorzystywany w przemyśle cynkowym (poza zakładem) do odzyskiwania Zn, jeśli jest to ekonomicznie opłacalne (do 30 - 40%).

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Główną zaletą tej techniki jest zmniejszenie ilości netto pyłu wysyłanego przez odlewnię do unieszkodliwiania lub odzysku. Wytworzony pył zawiera większe ilości metali.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Dane operacyjne z produkcji stali w piecach łukowych pokazują zakład, który poddaje recyklingowi 75% pyłu pochodzącego z pieców łukowych o początkowej zawartości 20-22 kg/t, a zatem musi zajmować się tylko około 50% pyłu, przy średniej zawartości cynku wynoszącej 35%.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Recykling pyłu może zmniejszyć wydajność pieca a także zwiększyć zużycie energii elektrycznej (około 20-30 kWh/tonę). Technika ta skutkuje zwiększoną produkcją żużla.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.

Technika ta jest stosowana głównie w przypadku pyłów o wysokiej zawartości frakcji metalu. Rzeczywiste zastosowanie zależy jednak od wielu czynników, które mogą być różne dla różnych zakładów.

Ekonomika
Technika ta nie wymaga żadnych dodatkowych inwestycji.

Siła napędowa wdrażania
- Wysokie koszty unieszkodliwiania pyłów z pieca.
- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady
Technika ta jest stosowana w kilku europejskich odlewniach.

Literatura źródłowa
[14. CAEF 1997], [109. COM 2013].

3.2.1.5 Emisje rozproszone do powietrza

Emisje rozproszone występują, gdy emisje z określonych źródeł procesowych nie są gromadzone. Oprócz źródeł emisji związanych z procesem, potencjalne źródła emisji rozproszonych do powietrza obejmują:

- obszary przechowywania (np. zatoki, składowiska, hałdy);
- załadunek i rozładunek pojemników/kontenerów transportowych;
- przenoszenie materiału z jednego zbiornika do drugiego (np. pieca, kadzi, silosu);
- mieszanie i utwardzanie spoiw chemicznych (nieorganiczne i organiczne emisje chemiczne);
- powlekanie form (rozpuszczalniki);
- systemy przenośników do transportu materiałów;
- systemy rurociągów i kanałów (np. pompy, zawory, kołnierze, zbiorniki, odpływy, włazy inspekcyjne itp.;)
- Słabe uszczelnienie oraz wyciąg z budynku;
- omijanie sprzętu ograniczającego emisję (do powietrza lub wody);
- przypadkową utratę hermetyczności spowodowaną awarią instalacji lub sprzętu, w tym wyciekami, np. z zakładu odzysku piasku;
- wycieki.

W celu zminimalizowania emisji rozproszonych pyłu można zastosować następujące techniki:

- przykrycie/osłonięcie pojemników/kontenerów i zbiorników;
- unikanie odkrytych lub nieosłoniętych składowisk;
- tam, gdzie nie da się uniknąć składowania na zewnątrz, stosowanie zraszania, środków wiążących, technik zarządzania składowiskami, wiatrochronów itp.;
- czyszczenie kół i dróg (tj. unikanie przenoszenia zanieczyszczeń do wody i wiatru);
- stosowanie zamkniętych przenośników, przenoszenie pneumatyczne (choć należy pamiętać o wyższym zapotrzebowaniu na energię) oraz minimalizowanie wysokości sypania;
- odkurzanie formierni i odlewni w odlewniach stosujących piasek, z wyjątkiem obszarów, w których piasek pełni funkcję techniczną lub związaną z bezpieczeństwem, np. obszar zalewania, oraz z wyjątkiem odlewni ręcznych;
- utrzymywanie drzwi zewnętrznych zamkniętych, np. przy użyciu automatycznego systemu zamykania lub klap;
- dbanie o dobry porządek, tj. przeprowadzanie regularnych inspekcji przez odpowiedzialny i oddelegowany personel w ramach praktyki utrzymania dobrego porządku oraz prowadzenia aktualnej dokumentacji;
- środki zapobiegające lub ograniczające emisje (np. minimalizacja zużycia spoiwa i żywicy).

[62. UK Environment Agency (Brytyjska Agencja Ochrony Środowiska) 2002], [64. UK Environment Agency (Brytyjska Agencja Ochrony Środowiska) 2002], [1. COM 2017].

3.2.1.5.1 Przykrycie/osłonięcie sprzętu dostawczego (pojemników, kontenerów) oraz przestrzeni ładunkowej pojazdów transportowych

Opis
Przestrzeń ładunkowa pojazdów transportowych i sprzętu dostawczego (pojemników, kontenerów) jest przykryta/osłonięta (np. plandekami).

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Redukcja niekontrolowanych emisji rozproszonych do powietrza.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana. Technika ta ma zastosowanie do wszystkich nowych i istniejących instalacji.

Ekonomika
Technika ta nie wymaga żadnych dodatkowych inwestycji ani kosztów operacyjnych.

Siła napędowa wdrażania
- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady Technika szeroko stosowana.

Literatura źródłowa[169. TWG 2021]

3.2.1.5.2 Czyszczenie dróg i kół pojazdów transportowych

Opis
Drogi, a także koła pojazdów transportowych są regularnie czyszczone, np. za pomocą mobilnych systemów próżniowych, lagun wodnych.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Unikanie przenoszenia zanieczyszczeń do wody i powietrza.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika
Technika ta nie wiąże się z żadnymi znaczącymi dodatkowymi inwestycjami ani kosztami operacyjnymi.

Siła napędowa wdrażania
- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady
Technika szeroko stosowana.

Literatura źródłowa
[62. UK Environment Agency (Brytyjska Agencja Ochrony Środowiska) 2002], [64. UK Environment Agency (Brytyjska Agencja Ochrony Środowiska) 2002], [1. COM 2017], [169. TWG 2021].

3.2.1.5.3 Stosowanie zamkniętych/zabudowanych przenośników

Opis
Materiały są przenoszone za pomocą np. zamkniętych/zabudowanych lub pneumatycznych systemów transportowych. Stosowanie zrzucania materiału z wysokości jest minimalizowane.

Szczegóły techniczne
Materiał jest przenoszony za pomocą zamkniętych/zabudowanych lub pneumatycznych systemów ich transportu (choć może to wiązać się z wyższym zapotrzebowaniem na energię). Szczególną uwagę zwraca się na jak największą minimalizację potrzeby zrzucania materiałów z wysokości.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Redukcja niekontrolowanych emisji rozproszonych do powietrza.
Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika
Przenoszenie pneumatyczne wymaga dodatkowej energii.

Siła napędowa wdrażania
- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady
Technika szeroko stosowana.

Literatura źródłowa
[62. UK Environment Agency (Brytyjska Agencja Ochrony Środowiska) 2002], [64. UK Environment Agency (Brytyjska Agencja Ochrony Środowiska) 2002], [1. COM 2017], [169. TWG 2021].

3.2.1.5.4 Oczyszczanie próżniowe formierni i odlewni

Opis
Obszary produkcji form oraz odlewania w odlewniach stosujących piasek są regularnie oczyszczane próżniowo.

Szczegóły techniczne
Oczyszczanie próżniowe formierni i odlewni w odlewniach stosujących piasek, z wyjątkiem obszarów, w których piasek pełni funkcję techniczną lub związaną z bezpieczeństwem, np. obszar zalewania, oraz z wyjątkiem odlewni ręcznych;

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Redukcja niekontrolowanych emisji rozproszonych do powietrza.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Może nie mieć zastosowania w obszarach, w których piasek pełni funkcję techniczną lub związaną z bezpieczeństwem.

Ekonomika
Technika ta nie wiąże się z żadnymi znaczącymi dodatkowymi inwestycjami ani kosztami operacyjnymi.

Siła napędowa wdrażania
- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady
Technika szeroko stosowana.

Literatura źródłowa
[62. UK Environment Agency (Brytyjska Agencja Ochrony Środowiska) 2002], [64. UK Environment Agency (Brytyjska Agencja Ochrony Środowiska) 2002], [1. COM 2017], [169. TWG 2021]

3.2.1.5.5 Zastąpienie powłok na bazie alkoholu powłokami na bazie wody

Opis
Zastąpienie powłok form i rdzeni na bazie alkoholu powłokami na bazie wody. Powłoki na bazie wody są suszone na powietrzu lub w piecach suszących. Zobacz Sekcja 3.2.1.9.12.

3.2.1.5.6 Kontrola emisji z kąpieli hartujących/utwardzających

Opis
Technika ta obejmuje następujące elementy:

- Minimalizowanie powstawania emisji z kąpieli hartujących poprzez stosowanie wodnych roztworów polimerów (np. zawierających poliwinylopirolidon lub glikol polialkilenowy).
- Zbieranie emisji z kąpieli hartujących (zwłaszcza z kąpieli hartujących olejem) jak najbliżej źródła emisji, przy użyciu wentylacji dachowej, kopuł wyciągowych lub wyciągów krawędziowych. Odsysane gazy wylotowe mogą być oczyszczane, np. za pomocą elektrofiltru (zob. Sekcja 3.2.1.10.5).
- Stosowanie podgrzanej wody jako środka do hartowania.

Szczegóły techniczne
W celu uzyskania określonych właściwości metalurgicznych, odlewy staliwa poddawane są obróbce cieplnej. Konieczne może być szybkie schłodzenie części. Hartowanie może odbywać się przy użyciu różnych środków chłodzących. Są one wybierane głównie ze względu na różnice w szybkości chłodzenia i można je podzielić na następujące główne grupy:

- oleje;
- roztwory polimerowe na bazie wody;
- roztwory wody i soli (solanki);
- czysta woda.

Chłodzenie olejem jest wolniejsze niż chłodzenie wodą, a w zależności od pożądanych mikrostruktur stosowane są różne metody. Wrażliwość na pękanie produktów ze względu na szybkość chłodzenia jest również czynnikiem, który należy wziąć pod uwagę. (Wkład SE w [223. SF TWG 2023])

Wychwytywanie i redukcja emisji generalnie obejmują wychwytywanie oparów w kąpielach hartujących, zwłaszcza w kąpielach hartujących olejem. Stosowana jest wentylacja dachowa, kopuły wyciągowe oraz wyciągi krawędziowe. W tym przypadku pojawiają się podobne trudności, jak w przypadku siatek wytrząsających. Wanny muszą być często ładowane za pomocą dźwigu, więc okapy wyciągowe muszą być zainstalowane wysoko nad podłogą hali.

Stosowane najczęściej techniki ekstrakcji dla różnych rodzajów kąpieli zostały scharakteryzowane w Tabeli 3.30.

Tabela 3.30: Najczęściej stosowane techniki zbierania oparów z wanien hartujących

	Wentylacja dachowa	Dach w kształcie kopuły	Sztywna kopuła		Regulowana kopuła	Ekstrakcja krawędziowa
Woda	x					
Emulsja	x	x	x		x	x
Olej hartujący	x	x	x		x	x
Uwaga: x: technika stosowana *Źródło*: [14. CAEF 1997].						

Ekstraktory (odciągi) krawędziowe są skuteczne tylko do pewnego rozmiaru i tracą swoją skuteczność prawie całkowicie w momencie największej emisji, tj. gdy gorący obrabiany element zostaje zanurzony w wannie. Pomimo tego, odciąg krawędziowy jest najrozsądniejszym środkiem wychwytywania, wykorzystującym duże wanny w połączeniu z wdmuchiwaniem i kopułą dachową.
Systemy ograniczające emisję nie są powszechnie stosowane w tej technice, ale jeśli już są stosowane, to najczęściej są to filtry elektrostatyczne.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
W przypadku hartowania odlewów z wykorzystaniem oleju, ekstrakcja gazów wydechowych powoduje zmniejszenie emisji rozproszonej mgły olejowej.

Opracowano również nowy system, w którym wanny do hartowania są wypełnione roztworem polimeru. Roztwór polimeru składa się z wodnego koncentratu poliwinylu z dodatkami antykorozyjnymi, antypiennymi i konserwującymi. Nie zawiera on żadnych niebezpiecznych składników i jest niepalny.

Zmieniając stężenie roztworu polimeru, można uzyskać różne krzywe chłodzenia. Jest to szczególnie widoczne w przypadku podobnych krzywych chłodzenia olejem, gdzie można uniknąć wad hartowania w emulsjach olejowych, takich jak opary oleju, uciążliwy odór i zagrożenie pożarowe.

Stosując roztwór polimeru o stężeniu od 12% do 15%, można osiągnąć podobne wartości twardości i opóźnienia w porównaniu do intensywnego hartowania olejem.

Zwykle stosuje się roztwór wodny o stężeniu od 5% do 15%. Polimerowymi materiałami bazowymi są zazwyczaj produkty na bazie poliwinylopirolidonu (PVP), glikolu polialkilenowego (PAG). [133. DE UBA 2014].

Zalety stosowania roztworu polimeru w porównaniu do stosowania emulsji olejowo-wodnej do hartowania są następujące:

- korzystna charakterystyka emisji;
- niższa uciążliwość zapachowa;
- niepalność.

Emisje związane ze zużyciem wody w procesie hartowania to głównie para wodna, która nie wymaga ekstrakcji w porównaniu z kąpielą olejową.

Wymagana jakość wody jest zwykle niska i można ją łatwo poddać recyklingowi. Nadmiar wody nie wymaga specjalnego postępowania, ponieważ nie jest uważany za odpad niebezpieczny, tak jak odpady z hartowania w kąpieli olejowej. Woda jest również czynnikiem ułatwiającym odzysk ciepła (dane SE w [223. SF TWG 2023]).

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Pod względem emisji, stosowanie roztworów polimerowych oferuje znaczące korzyści w porównaniu do stosowania oleju do hartowania. Naprężenie termiczne oleju do hartowania w zakresie temperatur od 120 °C do 300 °C powoduje wzrost szybkości jego parowania. Wyższe temperatury mogą prowadzić do powstawania pęknięć gazowych. W przypadku niepełnego spalania mogą powstawać gazy spalinowe zawierające tlenek węgla, węglowodory, opary oleju, aldehydy, sadzę, częściowo także aromatyczne lub wielopierścieniowe związki węglowodorowe.

Dzięki zastosowaniu roztworu polimeru opary są minimalizowane i nie jest wytwarzany płomień podczas zanurzania, dzięki czemu nie są uwalniane żadne opary.

Poniższa tabela podsumowuje dane operacyjne dotyczące hartowania roztworami polimerowymi.

Tabela 3.31: Dane operacyjne dla hartowania

Rozmiar basenu	Ca. 30 m^3
Zawartość	30 000 litrów
Zalecane stężenie	10 – 30%
Temperatura stosowania	20 - maks. 50 °C
Źródło:[133. DE UBA 2014].	

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Odprowadzanie gazów wydechowych wymaga zużycia energii.

W przypadku hartowania w polimerach, ze względu na ekstremalne obciążenia termiczne składników polimerowych podczas procesu hartowania, można spodziewać się powstawania produktów degradacji termicznej, takich jak krótkołańcuchowe związki węglowodorowe lub dwutlenek węgla. W każdym razie całkowita ilość emitowanych substancji organicznych jest niższa w porównaniu z użyciem oleju. Dane pomiarowe i analityczne nie są dostępne. [133. DE UBA 2014].

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania Technika ogólnie stosowana.

Na możliwość zastosowania hartowania polimerowego mogą mieć wpływ następujące czynniki:

- Należy sprawdzić, czy możliwe jest uzyskanie wymaganych krzywych chłodzenia. Niektóre krzywe chłodzenia mogą być niemożliwe do osiągnięcia.
- Z technicznego punktu widzenia, istniejące wanny do hartowania olejem (baseny, zbiorniki na emulsję olejową) mogą być zazwyczaj bezproblemowo przystosowane do stosowania roztworu polimeru. Wanny do hartowania roztworem polimeru mogą jednak wymagać więcej miejsca. [133. DE UBA 2014].

Ekonomika
Zastosowanie techniki hartowania opartej na polimerach nie wymaga dodatkowych instalacji. Nie należy również oczekiwać znaczących zmian w kosztach eksploatacji, konserwacji i utylizacji. [133. DE UBA 2014].

Siła napędowa wdrażania
- Przepisy dotyczące ograniczania emisji oraz bezpieczeństwa i higieny pracy.
- Wymogi prawne.

W przypadku hartowania opartego na polimerach odnotowano następujące wyniki:

- Korzystne parametry emisji dla substancji organicznych w porównaniu z kąpielą olejową;
- Prosta kontrola stężenia odpowiedzialnego za efekt hartowania;
- Bezpieczeństwo pracy: brak ryzyka pożaru.

Przykładowe zakłady
Ekstrakcja emisji z hartowania jest stosowana w kilku odlewniach w całej Europie. Hartowanie na bazie polimerów: Stahlwerke Bochum GmbH 44791 Bochum, Niemcy. Hartowanie stali czystą wodą: Sandvik SRP AB w Svedala, Szwecja.

Literatura źródłowa
[14. CAEF 1997], [133. DE UBA 2014], [223. SF TWG 2023]

3.2.1.5.7 Kontrola emisji z operacji przesyłania/transferu w topieniu metali

Opis
Technika ta obejmuje następujące elementy:

i. Ekstrakcję jak najbliżej źródła emisji rozproszonej (np. pyłu, oparów) z procesów przenoszenia, takich jak ładowanie/spust pieca, na przykład przy użyciu okapów. Ekstrahowane gazy wylotowe są oczyszczane przy użyciu np. filtrów tkaninowych, oczyszczania na mokro (zob. techniki redukcji emisji w Sekcji 3.2.1.9).
ii. Minimalizacja emisji rozproszonej z transferu ciekłego metalu przez, na przykład użycie pokryw na kadziach.

Szczegóły techniczne
Pył z transportu materiałów, np. do pieca, jest zbierany lub piece są obudowane. Emisje są zbierane i odsysane, a zebrane emisje są przetwarzane tam, gdzie ma miejsce przenoszenie zapylonych materiałów (np. otwieranie pieca, punkty ładowania i poboru, przenoszenie ciekłych metali, zakryte kadzie). Zgłoszono potencjalne trudności w stosowaniu tej techniki w przypadku dużych kadzi (np. o pojemności ponad 2 000 kg) lub w kadziach z zalewaniem dennym. [237. TWG 2023].

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Redukcja niekontrolowanych emisji rozproszonych do powietrza.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Nie dostarczono danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika
Koszty będą zależeć od czynników technicznych.

Siła napędowa wdrażania
- Przepisy dotyczące ograniczania emisji oraz bezpieczeństwa i higieny pracy.
- Wymogi prawne.
- Względy lokalne.

Przykładowe zakłady
[210. TWG 2022].

Literatura źródłowa
[210. TWG 2022], [237. TWG 2023].

3.2.1.6 Emisje zorganizowane do powietrza

3.2.1.6.1 Ograniczenie liczby punktów emisji

Opis
Łączne oczyszczanie gazów odlotowych o podobnych właściwościach zapewnia bardziej skuteczne i wydajne oczyszczanie w porównaniu z oddzielnym oczyszczaniem poszczególnych strumieni gazów odlotowych. Łączenie gazów odlotowych odbywa się z uwzględnieniem bezpieczeństwa instalacji (np. unikanie stężeń bliskich dolnej/górnej granicy wybuchowości), czynników technicznych (np. kompatybilność poszczególnych strumieni gazów odlotowych, stężenie danych substancji), środowiskowych (np. maksymalizacja odzysku materiałów lub redukcja zanieczyszczeń) i ekonomicznych (np. odległość między różnymi jednostkami produkcyjnymi). Należy zadbać o to, aby połączenie gazów odlotowych nie prowadziło do rozcieńczenia emisji.

Szczegóły techniczne
W celu uzyskania maksymalnych korzyści z wyporu termicznego, gorące emisje mogą być łączone w możliwie minimalnej liczbie kominów. W ten sposób można uniknąć wielu punktów zrzutu. Jest to szczególnie ważne w przypadku projektowania nowych zakładów lub wprowadzania zmian w istniejących procesach.
Odlewnie są zazwyczaj wyposażone w więcej niż jeden piec, a kilka linii formierskich, produkcji rdzeni i odlewania może być używanych w tym samym zakładzie. Emisje z tego samego rodzaju procesów, które generują gazy odlotowe o podobnych właściwościach, są łączone i oczyszczane razem w celu uzyskania lepszej skuteczności oczyszczania i zmniejszenia zużycia energii związanego z działaniem wielu systemów redukcji emisji.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Gromadzenie wielu strumieni gazów wylotowych w jednym kominie umożliwia kontrolę emisji i zwiększa całkowitą objętość (i ładunek) trafiającą do oczyszczania, a tym samym zmniejsza całkowity poziom emisji.

Inne korzyści to oszczędność energii i zwiększona skuteczność redukcji emisji do atmosfery.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
W wielu odlewniach często łączy się kilka punktów emisji, np.:

- emisje z pieców tego samego typu mogą być łączone w jeden punkt emisji (np. piece do topienia / piece do obróbki cieplnej);
- emisje z równoległych linii formowania / produkcji rdzeni;
- emisje z operacji odlewania, chłodzenia i wytrząsania.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Nie oczekuje się.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika
Koszty będą zależeć od czynników technicznych (np. kompatybilności poszczególnych strumieni gazów odlotowych) i ekonomicznych (np. odległości między różnymi punktami emisji).

Siła napędowa wdrażania
Zmniejszenie kosztów monitorowania i redukcji emisji dzięki mniejszej liczbie punktów emisji.

Przykładowe zakłady
Technika szeroko stosowana w odlewniach.

Literatura źródłowa
[62. UK Environment Agency (Brytyjska Agencja Ochrony Środowiska) 2002].

3.2.1.7 Emisje do powietrza z procesów termicznych

3.2.1.7.1 Wybór odpowiedniego typu pieca

Opis
Wybór odpowiedniego typu pieca (pieców) w oparciu o poziom emisji i kryteria techniczne, np. rodzaj procesu, taki jak produkcja ciągła lub wsadowa, pojemność pieca, rodzaj odlewów, dostępność surowców, elastyczność w zależności od czystości surowców i zmiany stopu. Pod uwagę brana jest również efektywność energetyczna pieca (zob. Sekcja 3.2.1.3.1)

Szczegóły techniczne
Biorąc pod uwagę fakt, że różne techniki topienia wykazują nakładające się obszary zastosowań, podstawową techniką jest wybór technologii topienia. W tym wyborze decydujące kryteria obejmują kryteria techniczne/operacyjne i środowiskowe, które podsumowano poniżej:

- rodzaj metalu (koncepcja stopu);
- produkcja ciągła lub wsadowa;
- wielkość serii (długa lub krótka seria produkcji/portfolio produktów);
- przepustowość lub wydajność przepływu metalu;
- elastyczność w zakresie rodzaju materiału wejściowego i jego czystości
- elastyczność w zakresie zmiany stopu;
- rodzaj wytwarzanego produktu;
- całkowita wielkość produkcji;
- emisje oraz inne względy środowiskowe;
- dostępność surowców;
- dostępność paliw/energii elektrycznej.

Zastosowanie różnych technik topienia zależy w dużej mierze od kryteriów wskazanych powyżej. Ponadto, kluczowymi czynnikami, które należy wziąć pod uwagę są efektywność energetyczna różnych pieców i związane z nią potencjalne straty w procesie topienia. Zostało to omówione osobno w Sekcji 3.2.1.3.1.

W przypadku produkcji odlewów żeliwnych można dokonać następujących uogólnień:

- *Rodzaj metalu*: Piece elektryczne lepiej nadają się do produkcji żeliwa sferoidalnego lub stopowego.
- *Produkcja ciągła:* Żeliwiak lepiej nadaje się do produkcji ciągłej żeliwa.
- *Produkcja wsadowa*: Do produkcji wsadowej żeliwa lepiej nadają się piece elektryczne lub obrotowe.
- *Elastyczność w zakresie rodzaju* i *czystości materiału wejściowego*: Żeliwiak zapewnia większą elastyczność w zakresie materiałów wsadowych (np. wykorzystanie złomu niższej jakości).
- *Elastyczność w zakresie zmiany stopu*: Piece indukcyjne i obrotowe oferują większą elastyczność w zakresie zmiany stopu.
- *Względy środowiskowe*:
  - żeliwiak jest lepszy tylko wtedy, gdy jest dobrze odpylany;
  - piece indukcyjne charakteryzują się niższą emisją CO, SO_2, NOx, dioksyn i żużla niż żeliwiaki; należy wziąć pod uwagę pośrednie emisje z produkcji energii elektrycznej.
- *Dostępność surowców*: W przypadku dostępności taniego złomu lepszym rozwiązaniem jest żeliwiak.

Należy zauważyć, że wspomniane powyżej uogólnienia mogą podlegać ponownemu rozważeniu w związku z najnowszymi trendami w zakresie dekarbonizacji procesów termicznych w ogóle a także „zielonej" transformacji sektora.

Wybierając odpowiedni typ pieca, należy wziąć pod uwagę wszystkie te kryteria. Tabela 3.32 zawiera podsumowanie kryteriów, które należy wziąć pod uwagę przy wyborze żeliwiaka, pieca indukcyjnego lub obrotowego w przypadku produkcji żeliwa.

Wykazano, że stosowanie żeliwiaków do produkcji żeliwa płytkowego lub sferoidalnego jest bardziej opłacalne tylko w przypadku całkowitej wydajności odpowiednio powyżej 10 t/h i 20 t/h. W związku z tym piece indukcyjne lub obrotowe, które zapewniają ogólnie lepszą wydajność środowiskową niż żeliwiaki, są często preferowanym wyborem w małych odlewniach.

Tabela 3.32: Wybór urządzeń do topienia żeliwa

KRYTERIUM	TYLKO ŻELIWO SZARE					ŻELIWO SZARE + SFEROIDALNE	TYLKO ŻELIWO SFEROIDALNE			TYLKO ŻELIWO CIĄGLIWE
Rodzaj wytworzonego produktu	**Przeciwwagi**	**Odlewy do kanalizacji, rury, wyposażenie miejskie**	**Odlewy emaliowane , urządzenia grzewcze**	**Części mechaniczne**		**Części mechaniczne**	**Odlewy do kanalizacji, rury, wyposażenie miejskie**	**Części mechaniczne**		**Części mechaniczne**
Wielkość serii	**Średnia do dużej**	**Każda wielkość**	**Średnia do dużej**	**Wsadowa do małej**	**Średnia do dużej**	**Wszystkie**	**Wszystkie**	**Wsadowa do małej**	**Średnia do dużej**	**Średnia do dużej**
Żeliwiak z zimnym dmuchem	++	++ (<10 – 15 t/h)	++ (<10 - 15 t/h)		++ (<10 - 15 t/h)			(+)		
Żeliwiak z gorącym dmuchem	+	++ (>10 – 15 t/h)	++ (>10 - 15 t/h)	0	++ (>10 - 15 t/h)		++ (>10 - 15 t/h)	0	+ (>10 - 15 t/h)	
Piec indukcyjny		+	+	++	++	++	+	++	++	++
Piec obrotowy	(+) wsad			++	+	++	(+) wsad lub mała seria	++		++

Uwaga:
++: technicznie bardziej dostosowany; +: technicznie dostosowany
(+): dostosowany w niektórych przypadkach 0: nie dostosowany
Źródło: [100. TWG 2002].

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Zastąpienie żeliwiaka piecem indukcyjnym lub obrotowym skutkuje zmniejszeniem bezpośredniej emisji CO i SO_2 oraz zmniejszeniem ilości żużla. Piece indukcyjne wykazują zmniejszoną emisję NO_X i mniejsze ryzyko powstawania dioksyn. Emisje pośrednie generowane przez piece indukcyjne zależą od lokalnej infrastruktury wytwarzania energii elektrycznej.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Nie dostarczono danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Zastąpienie żeliwiaka piecem indukcyjnym powoduje znaczny wzrost zużycia energii elektrycznej.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Dotyczy tylko nowych zakładów i większych modernizacji zakładów.

Zastąpienie żeliwiaka z zimnym dmuchem piecem indukcyjnym lub obrotowym ma zastosowanie zgodnie z powyższymi kryteriami i po gruntownym remoncie instalacji.

W przypadku nowych instalacji, kryteria Tabeli 3.32 mają zastosowanie dodatkowo do uwarunkowań lokalnych i specyficznych dla danego miejsca. Jeśli żeliwiaki, piece indukcyjne lub obrotowe zostały wskazane jako najbardziej odpowiednie, piece indukcyjne i obrotowe mogą być preferowane ze względu na ich korzyści dla środowiska.

Ekonomika
W Tabeli 3.33 przedstawiono podsumowanie danych dotyczących kosztów poniesionych przez przykładową hiszpańską odlewnię, która chciała zastąpić istniejący żeliwiak piecem obrotowym lub elektrycznym. Nie uwzględniono kosztów sprzętu do zbierania i filtrowania emisji. Dane pochodzą z lat 1997-1998. Porównanie obejmuje następujące trzy systemy:

- Żeliwiak z zimnym dmuchem: wydajność 3,5 tony/h;
- piec obrotowy zasilany tlenem: wydajność 3 tony;
- 2 piece indukcyjne o średniej częstotliwości napięcia zasilającego: wydajność 2 + 1 t.

Kalkulacja kosztów została przeprowadzona dla kosztów topienia przy wydajności topienia wynoszącej 1 tonę/h, i przy pracy 8 godzin dziennie. W przypadku pieca indukcyjnego dokonano rozróżnienia między kosztami energii elektrycznej w godzinach szczytu i poza godzinami szczytu. Ponieważ energia elektryczna jest głównym składnikiem kosztów, rozróżnienie to ma duży wpływ na koszt końcowy. Eksploatacja pieca indukcyjnego poza godzinami szczytu (w nocy) skutkuje kosztami porównywalnymi z kosztami pieca obrotowego. Dane pokazują, że okres zwrotu z inwestycji wynosi od 5 do 9 lat.

Tabela 3.33: Przykładowe dane dotyczące kosztów wymiany istniejącego żeliwiaka na piec obrotowy lub indukcyjny

Koszty w EUR/tonę stopionego metalu	**Żeliwiak**	**Piec obrotowy**	**Piec indukcyjny**	
Energia elektryczna	30,7	29,8	40,8 27,2	(w szczycie) (poza
Materiał ogniotrwały	3,6	1,3	1,4	
Siła robocza	52,9	22,7	22,7	
Surowce	205	205	205	
Koszty całkowite	292	259	270	
Roczne koszty w EUR				
Koszt wytopu 1320 ton/rok	385000	341000	356000 338000	(w szczycie) (poza szczytem)
Oszczędności	Brak	44000	29000	(w szczycie)
			47000	(poza
Inwestycje	Brak	250000	260000	
Budynek		niepotrzebny	potrzebny	

Uwaga: Dane z 1997 - 1998, Hiszpania *Źródło:* [100. TWG 2002].

Siła napędowa wdrażania
- Redukcja bezpośrednich emisji z wytopu żeliwa.
- Wymogi prawne.

Przykładowe zakłady
Przejście z żeliwiaków opalanych koksem na piece indukcyjne:
- Römheld & Moelle Eisengießerei GmbH (DE),
- Kovis (SI).

Literatura źródłowa
[100. TWG 2002], [38. Vito 2001], [120. TWG 2003]

3.2.1.7.2 Stosowanie czystego złomu

Więcej informacji na temat tej techniki znajduje się w Sekcji 3.2.1.3.5.

3.2.1.7.3 Techniki służące maksymalizacji sprawności cieplnej pieców

Więcej informacji na temat tej techniki znajduje się w Sekcji 3.2.1.3.2.

3.2.1.7.4 Stosowanie paliwa lub mieszanki paliw o niskim potencjale tworzenia NO_X

Opis
Paliwa o niskim potencjale tworzenia NO_X obejmują gaz ziemny oraz skroplony gaz ropopochodny (LPG).

Szczegóły techniczne
W celu ograniczenia lub kontroli emisji NOX można zastosować paliwo lub kombinację paliw o niskim potencjale tworzenia NO_X. Technika ta zazwyczaj polega na wykorzystaniu gazu opałowego (np. gazu ziemnego) zamiast paliw płynnych. Paliwo gazowe ma zwykle niską zawartość związków azotu, a całkowite spalanie osiąga się łatwiej niż w przypadku paliw płynnych.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Ograniczona emisja NO_X.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Nie dostarczono danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika
Nie dostarczono danych.
Siła napędowa wdrażania
Wymogi prawne.

Przykładowe zakłady
Wiele zakładów wykorzystuje gaz ziemny jako paliwo gazowe. Niektóre zakłady zgłosiły również stosowanie LPG.

Literatura źródłowa[169. TWG 2021]

3.2.1.7.5 Stosowanie paliwa lub mieszanki paliw o niskiej zawartości siarki

Opis
Paliwa o niskiej zawartości siarki obejmują gaz ziemny oraz skroplony gaz ropopochodny (LPG).

Szczegóły techniczne
W celu ograniczenia lub kontroli emisji SO_2 można zastosować paliwo lub kombinację paliw o niskiej zawartości siarki. Technika ta zazwyczaj polega na wykorzystaniu gazu opałowego (np. gazu ziemnego)

zamiast paliw płynnych. Paliwo gazowe ma zwykle niską zawartość związków siarki (np. H_2S, merkaptanów), a całkowite spalanie osiąga się łatwiej niż w przypadku paliw płynnych.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Ograniczona emisja SO_2.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Nie dostarczono danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika
Nie dostarczono danych.

Siła napędowa wdrażania
Wymogi prawne.

Przykładowe zakłady
Wiele zakładów wykorzystuje gaz ziemny jako paliwo gazowe. Niektóre zakłady zgłosiły również stosowanie LPG.

Literatura źródłowa
[169. TWG 2021].

3.2.1.7.6 Palniki o niskiej emisji NO_X

Opis
Technika ta (w tym palniki o ultraniskiej emisji NO_X) opiera się na zasadzie obniżania temperatury szczytowej płomienia, czyli maksymalnej temperatury osiąganej w czasie spalania. Mieszanie powietrza i paliwa zmniejsza dostępność tlenu i obniża temperaturę szczytową płomienia, opóźniając w ten sposób przemianę azotu związanego z paliwem w NO_X oraz tworzenie się termicznego NO_X, przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej sprawności spalania.

Szczegóły techniczne
Palnik niskiej emisji NO_X to ogólne określenie serii palników, które łączą w sobie kilka cech konstrukcyjnych mających na celu zmniejszenie poziomu emisji NO_X. Główne zasady działania tych palników to zmniejszenie temperatury szczytowej płomienia, skrócenie czasu przebywania w strefie wysokiej temperatury oraz zmniejszenie dostępności tlenu w strefie spalania. Osiąga się to zazwyczaj poprzez stopniowe dostarczanie powietrza, stopniowe dostarczanie paliwa i/lub wewnętrzną recyrkulację gazów spalinowych. [168. COM 2022].

Typowym sposobem działania palników o niskiej emisji NO_X jest tworzenie strefy bogatej w paliwo w obrębie płomienia. Sprzyja to przekształcaniu azotu związanego chemicznie z paliwem w N_2. Powoduje to również obniżenie temperatury szczytowej płomienia. Zarówno mechanizmy powstawania NO_X z paliwa, jak i termiczne są opóźnione, a tworzenie się NO_X jest ograniczone. Istnieją dwa główne typy palników o niskiej emisji NOX, które wykorzystują spalanie stopniowe w celu osiągnięcia pożądanego efektu. Są to palniki z stopniowym dopływem powietrza i palniki z stopniowym dopływem paliwa.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
- Ograniczona emisja NO_X.
- Zwiększona efektywność energetyczna.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Dwie odlewnie w zbiorze danych SF zgłosiły stosowanie palników o niskiej emisji NO_X:

Zakład AT015
Emisje NO_X z pieca do wyżarzania wyposażonego w palniki o niskiej emisji NO_X (punkt emisji nr 6) wynosiły od 30 mg/Nm^3 do 120 mg/Nm^3 przy użyciu gazu ziemnego, a odpowiadające im emisje CO wynosiły od 34 mg/Nm^3 do 70 mg/Nm^3.

Zakład DE065
Emisje NO_X z pieca do obróbki cieplnej (piec z rusztem rolkowym) wyposażonego w palniki o niskiej emisji NO_X (punkt emisji N.3) wynosiły od 18 mg/Nm^3 do 66 mg/Nm^3 przy użyciu gazu ziemnego, a odpowiadające im emisje CO wynosiły od 0,8 mg/Nm^3 do 18 mg/Nm^3.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Możliwość zastosowania w istniejących instalacjach może być ograniczona przez konstrukcję pieca i/lub ograniczenia operacyjne.

Ekonomika
Nie dostarczono danych.

Siła napędowa wdrażania
Wymogi prawne.

Przykładowe zakłady
[AT015], [DE065]

Literatura źródłowa
[168. COM 2022], [169. TWG 2021]

Spalanie tlenowo-paliwowe

Więcej informacji na temat tej techniki znajduje się w Sekcji 3.2.1.3.8.

3.2.1.8 Emisje do powietrza z obróbki cieplnej

3.2.1.8.1 Wybór odpowiedniego typu pieca

Opis
Wybór odpowiedniego typu pieca (pieców) w oparciu o poziom emisji i kryteria techniczne, np. rodzaj procesu, taki jak produkcja ciągła lub wsadowa, pojemność pieca, rodzaj odlewów, dostępność surowców, elastyczność w zależności od czystości surowców i zmiany stopu. Pod uwagę brana jest również efektywność energetyczna pieca.

Szczegóły techniczne
W obróbce cieplnej stosuje się różne typy pieców (np. piece z ruchomym podestem znane również jako piece z paleniskiem wózkowym, piece kołpakowe znane również jako piece dzwonowe kołpakowe, piece martenowskie znane również jako piece z otwartym paleniskiem, piece tunelowe lub piece szybowe do rur itp.) (komentarz CAEF-331 w [210, TWG 2022]). Na podstawie informacji zebranych podczas gromadzenia danych zgłoszono następujące typy pieców do obróbki cieplnej: oporowe, indukcyjne (elektryczne bezrdzeniowe), z ruchomym podestem, z promieniowaniem przez dach, do wyżarzania w roztworze i do starzenia.

Przykładowe zakłady
Emisje z procesów obróbki cieplnej zgłoszone przez zakłady przedstawiono w danych dotyczących emisji w Sekcji 2.3.2.2.

Literatura źródłowa
[169. TWG 2021], [210. TWG 2022]

3.2.1.8.2 Techniki służące maksymalizacji sprawności cieplnej pieców

Więcej informacji na temat tej techniki znajduje się w Sekcji 3.2.1.7.3.

Przykładowe zakłady
Emisje z procesów obróbki cieplnej zgłoszone przez zakłady przedstawiono w danych dotyczących emisji w Sekcji 2.3.2.2.

Literatura źródłowa
[169. TWG 2021], [210. TWG 2022]

3.2.1.8.3 Stosowanie paliwa lub mieszanki paliw o niskim potencjale tworzenia NO_X

Więcej informacji na temat tej techniki znajduje się w Sekcji 3.2.1.7.4.

3.2.1.8.4 Palniki o niskiej emisji NO_X

Więcej informacji na temat tej techniki znajduje się w Sekcji 3.2.1.7.6.

3.2.1.8.5 Ekstrakcja gazów wylotowych jak najbliżej źródła emisji

Opis
Gazy wylotowe z pieców do obróbki cieplnej (np. wyżarzanie, starzenie, normalizacja, hartowanie) są odprowadzane za pomocą okapów lub wyciągu z pokrywy. Zebrane emisje mogą być oczyszczane za pomocą takich technik, jak filtry tkaninowe (zob. Sekcja 3.2.1.12.7).
Osiągnięte korzyści dla środowiska
Ograniczenie emisji.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Zobacz Sekcja 3.2.3.1.3.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Ekstrakcja gazów wylotowych zwiększa zużycie energii.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika
Nie dostarczono danych.

Siła napędowa wdrażania
- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady
Technika szeroko stosowana.
Emisje z procesów obróbki cieplnej zgłoszone przez zakłady przedstawiono w danych dotyczących emisji w Sekcji 2.3.2.2.

Literatura źródłowa
[169. TWG 2021], [210. TWG 2022]

3.2.1.9 Emisje do powietrza z wytwarzania rdzenia i formowania przy użyciu pełnych form

3.2.1.9.1 Stosowanie najlepszych praktyk w zakresie tworzenia form z zielonego piasku

Opis
Obejmuje techniki takie jak:

- precyzyjne dodawanie wymaganej ilości kluczowych składników (np. gliny, wody, pyłu węglowego lub innych dodatków) w celu przywrócenia właściwości chemicznych zwracanego zielonego piasku;
- w razie potrzeby dodawanie nowego piasku kwarcowego (np. do 10%) do zwracanego zielonego piasku oraz unieszkodliwianie równoważnej ilości zużytego piasku;
- regularne testowanie (np. codzienne) właściwości zielonego piasku (np. wilgotność, wytrzymałość, zagęszczalność, przepuszczalność, strata podczas wypalania, zawartość substancji lotnych).

Szczegóły techniczne
Po zalaniu form z zielonego piasku żelazem i stalą, ciepło powoduje odparowanie części wody z piasku i spalenie niektórych dodatków (np. pyłu węglowego) oraz części gliny, niszcząc jej właściwości wiążące. Konieczne jest przywrócenie właściwości piasku poprzez usunięcie spalonej gliny, pyłu węglowego i popiołu oraz dodanie nowej gliny, pyłu węglowego (lub dekstryny) i wody. W młynie do regeneracji piasku zazwyczaj dodaje się następujące składniki:

- 0,3 - 0,5 % nowej gliny;
- 0,3 - 0,5 % pyłu węglowego (lub 0,2 % dekstryny);
- 1,5 - 2,5 % wody.

Kolejnym priorytetem jest ciągłe dodawanie nowego piasku do piasku zwracanego w proporcji około 10% masy zalewanego metalu lub 2–3% masy piasku zmieszanego. Często odlewnie uważają, że piasek zwrócony wraz z rdzeniami jest wystarczający, ale doświadczenie pokazuje, że może to powodować poważne problemy. Należy zachować ostrożność, ponieważ niektóre pozostałości spoiw rdzeniowych (szczególnie spoiw fenolowo-izocyjanianowych) mogą pogorszyć właściwości zielonego piasku.

Dobra kontrola zielonego piasku jest niezbędna i zależy od dokładnego monitorowania systemu postępowanie z nim. Normalne dodatki gliny, pyłu węglowego lub innych dodatków w każdym cyklu stanowią jedynie około 10% całkowitej ilości gliny aktywnej lub węgla obecnego w systemie. Należy pamiętać, że szybka zmiana całkowitej zawartości gliny lub pyłu węglowego nie jest możliwa, ponieważ każda zmiana wymaga około 20 cykli, aby w pełni zadziałać w systemie. Na przykład dodanie 0,3% gliny zazwyczaj wystarcza do utrzymania całkowitej zawartości gliny na poziomie 3,0%. Jeśli dodatek gliny zostanie zwiększony do 0,4%, całkowita zawartość gliny po jednym cyklu wzrośnie tylko do około 3,1%, a osiągnięcie poziomu około 4,0% zajmie 20 cykli (około 1 tydzień).

Regularne testowanie jakości zielonego piasku jest bardzo ważne. Zaleca się pobranie co najmniej pięciu próbek na zmianę i analizę kluczowych parametrów, takich jak: wilgotność, wytrzymałość, zagęszczalność i przepuszczalność. Ponadto należy codziennie monitorować straty przy prażeniu (LOI) oraz zawartość substancji lotnych. Dobrą praktyką jest również prowadzenie rejestru następujących danych:

- masy gliny, pyłu węglowego i nowego piasku dodawanego każdego dnia;
- liczby wykonanych form;
- masy wylanego żelaza;
- masy zużytego piasku usuwanego z systemu każdego dnia.

Osiągnięte korzyści dla środowiska Ograniczenie emisji podczas zalewania.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Typowe właściwości zielonego piasku dla odlewni żelaza podsumowano w poniższej tabeli.

Tabela 3.34: Standardowe właściwości zielonego piasku stosowanego w odlewniach żelaza w zależności od sposobu tworzenia form

Sposób tworzenia form	Maszyny do formowania wstrząsowego lub ściskania	Automaty formierskie (np. DISA)
Zawartość wody (%)	3 – 4	2,5 – 3,2
Wytrzymałość (kPa / psi)	70 - 100 kPa / 10 - 15 psi	150 - 200 kPa / 22 - 30 psi
Zagęszczalność (%)	45 – 52	38 – 40
Przepuszczalność	80 – 110	80 – 100
Świeża glina (%)	5,0 – 5,5	6,0 – 10,0
Substancje lotne (%)	2,5	2,0
LOI (%)	7,0 – 7,5	6,0
Źródło: [73. Brown, J. R. 2000]		

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika
Nie dostarczono danych.

Siła napędowa wdrażania
- Wydajność materiałowa - minimalizacja liczby wad odlewniczych.
- Wymagania środowiskowe.

Literatura źródłowa
[73. Brown, J. R. 2000]

3.2.1.9.2 Przygotowanie piasku wiązanego gliną poprzez mieszanie próżniowe i chłodzenie

Więcej informacji na temat tej techniki znajduje się w Sekcji 3.2.1.4.4.3.

3.2.1.9.3 Substytucja/zastąpienie pyłu węglowego

Opis
Pył węglowy jest zastępowany glinami (np. bentonitem) zawierającymi dodatki takie jak grafit, mączka koksowa i zeolity, co skutkuje znacznie niższą emisją rozproszoną podczas procesu odlewania.

Szczegóły techniczne
Wykazano, że dodanie pyłu węglowego do zielonego piasku znacznie poprawia odrywanie odlewów żeliwnych od form po zalaniu, a także wykończenie powierzchni odlewów. Wynika to z tworzenia się błyszczącego węgla podczas podgrzewania pyłu węglowego przez ciekłe żelazo, co poprawia wykończenie powierzchni odlewu. Jednak pył węglowy ma zazwyczaj zawartość substancji lotnych w zakresie od 33% do 36%, generując znaczne emisje podczas odlewania.
Aby zminimalizować emisje przy jednoczesnym zachowaniu odpowiednie jakości wykończenia powierzchni odlewów, można stosować zamienniki pyłu węglowego. Zazwyczaj składają się one z mieszanek naturalnych glinek (np. bentonitów), do których dodawane są dodatki mogące zawierać istotne substancje lotne (np. grafit, mączka koksowa, zeolity). Obecnie jednym z najlepszych substytutów jest grafit w połączeniu z odpowiednim środkiem dyspergującym.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Ograniczenie emisji lotnych związków organicznych i nieprzyjemnych odorów. Współczynnik ograniczenia zależy od dopływu piasku rdzeniowego. Pozytywny wpływ na emisje zależy od następujących czynników: [133. DE UBA 2014].

- ograniczone lub zerowe wykorzystanie węgli błyszczących (węgla);
- zwiększona adsorpcja powstających gazów odlewniczych, które wynikają głównie ze spoiw rdzeniowych;
- pomiary filtracji działających piasków formierskich z rdzeniowo intensywnych systemów zielonego piasku. Porównanie produktów bez węgla z tradycyjnymi dodatkami do mas formierskich pokazuje, że redukcja kondensatów i powstawania pyłu podczas odlewania może wynosić ponad 50%.
-

Wynikające z tego korzyści dla środowiska to: [133. DE UBA 2014].

- czystsze miejsce pracy: mniej dymu; stężenie tlenku węgla w miejscu pracy zmniejsza się o około 50%;
- emisja benzenu zostaje zmniejszona o około 40%;
- mieszanki mają wyższy procent bentonitu niż tradycyjne mieszanki z węglem; zużycie jest związane z bentonitem, więc stosuje się mniej mieszanki (nie bentonitu), co skutkuje zmniejszonym zapotrzebowaniem (5-10%);
- zwiększone możliwości ponownego wykorzystania masy formierskiej ze względu na niższą zawartość zanieczyszczeń i kondensatów;
- mniejsze instalacje wyciągu powietrza i filtracyjne oraz rzadsze czyszczenie/konserwacja.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Generalnie, nieorganiczne zamienniki węgla nie emitują lotnych związków organicznych podczas ogrzewania/odlewania. Z tego powodu nie mogą generować węgla błyszczącego (warstwa grafitu z pirolizy) i pozostałości węgla. Zamienniki węgla to ogólnie grafit, specjalnie obrobiony grafit, mączka koksowa, minerały porowate i minerały pęczniejące. Każdy producent może mieć inny skład w zależności od własnych badań i doświadczenia. Produkty są dostosowane do potrzeb klienta i mogą być mieszane z tradycyjnymi produktami zawierającymi węgiel.
Spoiwa bentonitowe powinny być wysokiej jakości i mieć wysoką zawartość gliny/montmorylonitu, aby zmniejszyć gromadzenie się towarzyszących minerałów niegliniastych.

Preferencje dla bentonitu:

- 85% montmorylonitu,
- trwałość 50% po ogrzewaniu gliny przez 2 godziny w temperaturze 550 °C,
- wytrzymałość na ściskanie zgodnie z VDG P69, powyżej 8 N/cm^2, oraz
- wytrzymałość na rozciąganie na mokro powyżej 0,25 N/cm.

Klasyfikacja produktu: nie jest niebezpieczny i nie ulega samozapłonowi, jeśli nie jest mieszany z węglem. [133. DE UBA 2014].

Zastosowanie mieszaniny zawierającej bentonit, mikrokrystaliczny grafit i zeolit zamiast pyłu węglowego do odlewania żelaza zostało przetestowane przez Akademię Górniczo-Hutniczą w Krakowie, wykazując, że emisje LZO i lotnych węglowodorów aromatycznych (BTEX) zostały zmniejszone o 50%. [190, Holtzer i in. 2020]

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
- Stosowanie techniki może być utrudnione przez ograniczenia operacyjne (np. mniej wydajne wytrząsanie lub występowanie wad odlewniczych).
- Technika ta ma zastosowanie jako czysty nieorganiczny system wiążący lub jako mieszanka w połączeniu z klasycznymi produktami (węgiel). Jest on dodawany do masy formierskiej jak tradycyjne spoiwo do mas formierskich lub mieszanka.
- Rozważania dotyczące zastosowania mogą wynikać z gorszego zachowania podczas wytrząsania (oddzielanie odlewu od formy) oraz występowania określonych wad odlewniczych.

Ekonomika
Mieszanki bez węgla mają wyższe koszty surowców. Można to częściowo zrekompensować zmniejszonym zużyciem i niższymi kosztami eksploatacji wyciągu powietrza, takimi jak mniejsza instalacja, mniej czyszczenia i konserwacji. Mniejsza ilość zanieczyszczeń w odpadach masy formierskiej ułatwia jej ponowne wykorzystanie w innych zastosowaniach i sektorach przemysłu. Oszczędności w kosztach transportu można osiągnąć dzięki zastąpieniu węgla minerałami, których potrzeba mniej.

Siła napędowa wdrażania
- Wymogi prawne dotyczące ograniczenia emisji oraz względy ochrony zdrowia w miejscu pracy.
- Wymogi lokalne.
- Wymogi operacyjne:
  - normalna praktyka stosowania masy formierskiej;
  - mniej/żadnych defektów penetracji, odlew z żeliwa szarego;
  - piasek odpadowy jest czystszy.

Przykładowe zakłady
- Odlewnia żeliwa Componenta w Heerlen/NL.
- Stosowanie mieszanki zawierającej bentonit, grafit mikrokrystaliczny i zeolit zamiast pyłu węglowego do odlewania żeliwa jest wdrażane w kilku odlewniach w UE. [190, Holtzer i in. 2020]

Literatura źródłowa
[73. Brown, J. R. 2000], [133. DE UBA 2014], [190. Holtzer i in. 2020], [210. TWG 2022]

3.2.1.9.4 Stosowanie spoiw zbożowych

Opis
Spoiwa zbożowe (np. skrobia, dekstryny) są dodawane w celu zwiększenia wytrzymałości piasku i zapobiegania pękaniu zagęszczonego piasku podczas suszenia w formie.

Szczegóły techniczne
Spoiwa zbożowe (np. skrobia i dekstryny) są wykorzystywane głównie w produkcji odlewów staliwnych, ale sporadycznie w odlewnictwie żeliwa do określonych zastosowań. Zboża mają tendencję do zwiększania wytrzymałości początkowej, wytrzymałości na sucho i twardości piasku, ale czasami mogą również zmniejszać płynność.

Dekstryny poprawiają płynność i plastyczność. Pomagają w zatrzymywaniu wilgoci i są szczególnie przydatne w zapewnianiu twardszych i mniej kruchych powierzchni i krawędzi formy podczas suszenia.

Skrobie są bardzo dobrymi środkami przeciw skrzepowymi i zazwyczaj im większa ilość skrobi, tym większa odporność na powstawanie skrzepów. Skrobia jest bardziej skuteczna w zapobieganiu skrzepom ekspansyjnym (rozprzestrzeniającym się) niż dekstryna i powinna być stosowana podczas tworzenia większych form z zielonego piasku.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
- Zwiększona efektywność wykorzystania materiałów.
- Zmniejszona emisja podczas zalewania.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Proporcja spoiw zbożowych w stosunku do nowego zielonego piasku wynosi zazwyczaj od 0,5% do 0,75%. Spoiwa zbożowe tracą swoje właściwości w temperaturach powyżej 225°C. Zaleca się dodawanie od 0,1% do 0,25% spoiw zbożowych przy każdym recyklingu, w zależności od ilości wypalonych spoiw zbożowych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika
Nie dostarczono danych.

Siła napędowa wdrażania
Zmniejszenie liczby wad odlewniczych.

Przykładowe zakłady
Nie dostarczono danych.

Literatura źródłowa
[73. Brown, J. R. 2000]

3.2.1.9.5 Minimalizacja zużycia spoiwa i żywicy

Więcej informacji na temat tej techniki znajduje się w Sekcji 3.2.1.4.3.3.

3.2.1.9.6 Stosowanie najlepszych praktyk w procesach utwardzania na zimno

Więcej informacji na temat tej techniki znajduje się w Sekcji 3.2.1.4.3.5.

3.2.1.9.7 Stosowanie najlepszych praktyk w procesach utwardzania gazem

Więcej informacji na temat tej techniki znajduje się w Sekcji 3.2.1.4.3.7.

3.2.1.9.8 Stosowanie niearomatycznych rozpuszczalników do produkcji zimnych rdzennic

Opis
W celu zmniejszenia emisji lotnych związków organicznych (np. benzenu, toluenu) stosuje się niearomatyczne rozpuszczalniki na bazie białka lub tłuszczu zwierzęcego (np. estry metylowe kwasów tłuszczowych oleju roślinnego) lub estrów krzemianowych.

Szczegóły techniczne
Klasyczne systemy zimnych rdzennic wykorzystują rozpuszczalniki organiczne. Powodują one uwalnianie szkodliwych i nieprzyjemnych LZO podczas produkcji i przechowywania rdzenia. Ponadto emisje LZO (benzen, toluen, ksylen) występują podczas zalewania, chłodzenia i wytrząsania. Alternatywne rozpuszczalniki do produkcji zimnych rdzennic oparte są na białku lub tłuszczu zwierzęcym (np. estry metylowe oleju roślinnego) lub na estrach krzemianowych. Rozpuszczalniki te nie są szkodliwe dla zdrowia pracowników ani łatwopalne, a zatem ich transport i przechowywanie są łatwiejsze.

Niska lotność estrów metylowych olejów roślinnych zwiększa możliwości przechowywania w wilgotnej atmosferze a także ich trwałość podczas nakładania powłok na bazie wody.

Uzyskane w ten sposób rdzenie charakteryzują się wyższą wytrzymałością, mniejszym przywieraniem piasku i dobrymi właściwościami wytrząsania.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Ze względu na wysoką temperaturę wrzenia (około 300 ºC) nie dochodzi do parowania, a tym samym nie ma emisji odoru rozpuszczalnika podczas przechowywania.
Emisje lotnych związków organicznych (LZO) są redukowane podczas produkcji i przechowywania rdzeni, a także (co ważniejsze) podczas zalewania, chłodzenia i wytrząsania.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Tabela 3.35 przedstawia operacyjne wartości emisji benzenu, toluenu, ksylenu i fenolu, zmierzone w jednej odlewni zielonego piasku aluminiowego. Pomiary przeprowadzono zarówno na ruszcie wytrząsającym, jak i w kominie wylotowym. Dane podano dla tradycyjnego systemu zimnej rdzennicy oraz dla systemu wykorzystującego rozpuszczalniki na bazie oleju roślinnego. Zaobserwowano wyraźne ograniczenie emisji benzenu, toluenu i ksylenu (BTX) oraz węgla (C) (25-50% emisji z komina).

Tabela 3.35: Dane dotyczące emisji dla systemu zimnych rdzennic w odlewni aluminium, zmierzone na ruszcie wytrząsającym i w kominie powietrza wylotowego

Związek	Przy wytrząsaniu			W kominie powietrza wylotowego		
	Na bazie aromatów (mg/m³)	Na bazie roślinnej (mg/m³)	Różnica (%)	Na bazie aromatów (mg/m³)	Na bazie roślinnej (mg/m³)	Różnica (%)
Benzen	0,08	0,05	- 44	0,1	0,07	- 30
Toluen	0,12	0,05	- 58	0,08	0,06	- 25
Ksylen	0,09	0,04	- 56	0,09	0,05	- 41
Fenol	14,8	14,6	- 2	7,2	6,57	- 9
Węgiel ogólny	61,0	29,5	- 52	37,0	18,5	- 50
Źródło: [88. Hüttenes-Albertus 2002]						

Wyniki pomiarów emisji w niemieckiej odlewni żeliwa podano w Tabeli 3.36.

W tej tabeli zmierzona emisja każdego związku jest wyrażona w stosunku do emisji tego samego związku dla układu aromatycznego. Na przykład: emisja toluenu przy drugim chłodzeniu wynosi tylko 58% emisji toluenu dla układu aromatycznego. Tabela pokazuje wyraźne ograniczenie emisji LZO w drugiej fazie chłodzenia i wytrząsania.

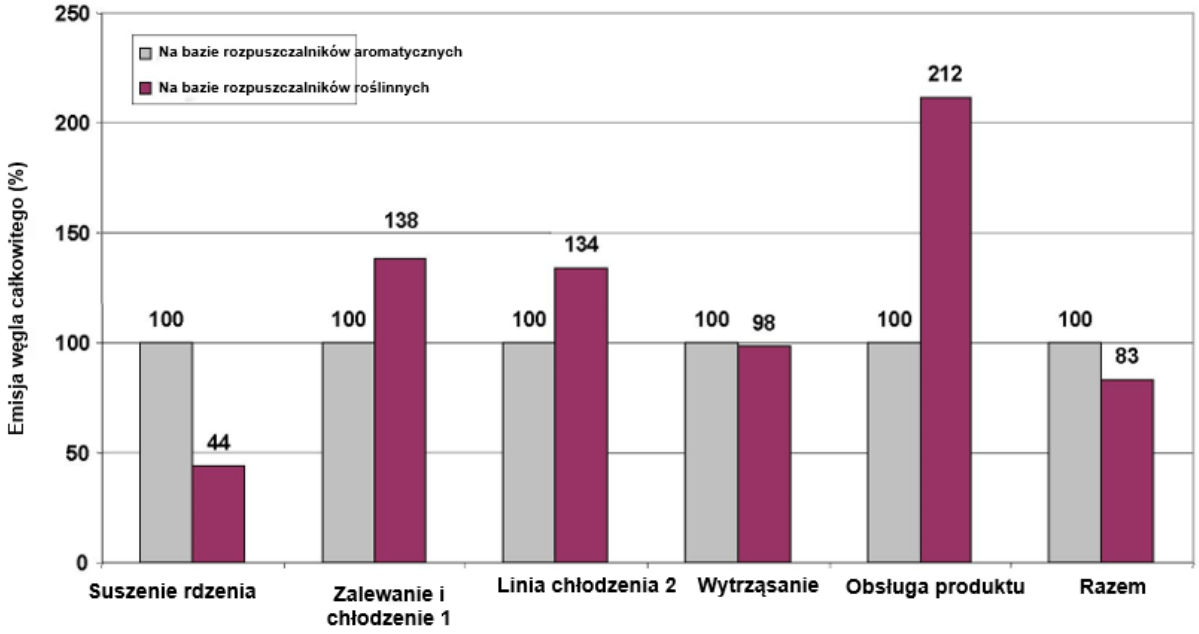
Tabela 3.36: Emisje (%) wybranych związków z systemu zimnych rdzennic na bazie roślinnej

	Benzen	Toluen	Ksylen	Fenol
Zalewanie i chłodzenie 1	83	100	100	100
Chłodzenie 2	78,5	58	46	74
Wytrząsanie	78	78	78	12
Dane dotyczące emisji wyrażone w % w stosunku do emisji układu opartego na związkach aromatycznych (ustawione na 100% dla każdego pomiaru). *Źródło:* [114, Hobelsberger i in. 1997]				

Całkowite ograniczenie przepływu masowego określonych związków wynosiło:

- benzen: - 21 %;
- toluen: - 26 %;
- ksylen: - 30 %;
- fenol: - 62 %.

Pomiar emisji węgla całkowitego w całym procesie odlewni przedstawiono na Rysunku 3.35. Dane pokazują, że rozpuszczalniki na bazie roślinnej częściowo powodują przesunięcie emisji z obszaru produkcji rdzeni do obszaru wykańczania. Niemniej jednak osiągnięto ogólne ograniczenie emisji węgla całkowitego o 17%.



Rysunek 3.35: Emisja węgla całkowitego z różnych etapów procesu przy użyciu rozpuszczalników aromatycznych i roślinnych

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Rozpuszczalniki na bazie roślinnej powodują zwiększoną produkcję dymu podczas zalewania i (w przypadku odlewania ciśnieniowego) po otwarciu matrycy. Wynika to z niskiego odparowywania i w konsekwencji wysokiej zawartości rozpuszczalnika resztkowego po zalewaniu. Efekt ten nie występuje w przypadku rozpuszczalników na bazie estrów krzemianowych.
Rozpuszczalniki na bazie białek i tłuszczów zwierzęcych wytwarzają charakterystyczny odór i były zgłaszane jako powodujące problemy zapachowe wewnątrz odlewni.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika
Dane włoskiego stowarzyszenia odlewni wskazują, że niearomatyczne rozpuszczalniki kosztują dwukrotnie więcej niż ich aromatyczne odpowiedniki, np. 0,82 EUR/kg wobec 0,36 - 0,48 EUR/kg.

Dane operacyjne z dużej odlewni żeliwa o seryjnej produkcji wykazały, że ceny spoiwa dla zimnych rdzennic z aromatycznymi rozpuszczalnikami wynosiły około 2 EUR/kg (2001) i wzrosły o około 30% po przejściu na system niearomatyczny. Po roku (2003) cena ponownie spadła, jednak do poziomu 10% powyżej ceny tradycyjnego systemu.

Siła napędowa wdrażania
- Ograniczenie emisji lotnych związków organicznych i nieprzyjemnych odorów.
- Wymogi prawne.

Przykładowe zakłady Technika szeroko stosowana.

Literatura źródłowa
[49. Inasmet oraz CTIF 2002], [88. Hüttenes-Albertus 2002], [100. TWG 2002], [114. Hobelsberger i in. 1997], [120. TWG 2003]

3.2.1.9.9 Stosowanie najlepszych praktyk w procesach utwardzania na gorąco

Opis
Można stosować kilka procesów utwardzania na gorąco, a w celu optymalizacji każdego z nich stosuje się szereg środków, w tym następujące:

Metoda gorącej rdzennicy (*hot-box*):
- Utwardzanie odbywa się w optymalnym zakresie temperatur (np. od 220ºC do 300ºC).

- Rdzenie są zazwyczaj wstępnie pokrywane powłokami na bazie wody, aby zapobiec spaleniu powierzchni rdzenia, co może spowodować kruchość podczas zalewania.
- Dmuchawy rdzeni i obszar wokół nich są dobrze wentylowane i wyposażone w system wyciągu, aby skutecznie wychwytywać formaldehyd uwalniany podczas utwardzania.

Metoda ciepłej rdzennicy (*warm-box*):

- Utwardzanie odbywa się w niższym optymalnym zakresie temperatur niż w procesie gorącej rdzennicy (np. 150ºC do 190ºC), co skutkuje niższymi emisjami i zużyciem energii niż w procesie gorącej rdzennicy.

Skorupa (metoda Croninga):

- Piaski wstępnie pokryte żywicą fenolowo-formaldehydową są wiązane za pomocą heksametylenotetraaminy, która rozkłada się w temperaturze 160ºC, uwalniając formaldehyd niezbędny do sieciowania żywicy oraz amoniak.
- Obszar utwardzania i/lub dmuchaw rdzeniowych jest dobrze wentylowany i wyposażony w system wyciągu, aby skutecznie wychwytywać amoniak i formaldehyd uwalniany podczas utwardzania.

Szczegóły techniczne

Metoda gorącej rdzennicy (hot-box)

Metoda produkcji rdzeni w gorącej rdzennicy wykorzystuje mieszankę piasku początkowego zawierającą spoiwa żywiczne i płynny katalizator. Można stosować szeroką gamę żywic: mocznikowo-formaldehydową, mocznikowo-formaldehydowo-furfurylową, mocznikowo-formaldehydowo-fenolową. Katalizatorami są wodne roztwory chlorku amonu lub azotanu amonu (sole kwasowe) z dodatkiem mocznika w celu zmniejszenia zawartości wolnego formaldehydu. Rdzenie są zazwyczaj wstępnie pokrywane powłokami na bazie wody, aby zapobiec spaleniu powierzchni rdzenia. Mieszanina jest wdmuchiwana do wnętrza rdzennicy, a polimeryzacja następuje pod wpływem ciepła. Ciepło powoduje wytworzenie kwasu z katalizatora, który wyzwala reakcję utwardzania. Ciepło jest przewodzone z zewnętrznych obszarów rdzenia piaskowego do obszarów wewnętrznych i chociaż utwardzanie rozpoczyna się już w temperaturze 50 °C, konieczne jest osiągnięcie temperatur w zakresie od 220 °C do 300 °C w celu całkowitej polimeryzacji rdzenia piaskowego w krótkim czasie (np. 5–10 sekund w przypadku cienkich rdzeni, czas utwardzania może się różnić w zależności od wielkości i kształtu rdzeni). Niezbędne jest wychwytywanie emisji z dmuchaw rdzeniowych oraz zapewnienie dobrej wentylacji i wyciągu z obszaru roboczego.

Metoda ciepłej rdzennicy (warm-box)

Metoda ciepłej rdzennicy jest bardzo zbliżona do metody gorącej rdzennicy; różni się jedynie rodzajem stosowanych żywic, które utwardzają się w niższej temperaturze, oraz rodzajem stosowanego katalizatora. W metodzie ciepłej rdzennicy spoiwo oparte jest na alkoholu furfurylowym (o typowym składzie zawierającym około 70 % masy alkoholu furfurylowego lub niskopolimerowego alkoholu furfurylowego). Utwardzanie odbywa się w niższym optymalnym zakresie temperatur niż w metodzie gorącej rdzennicy (np. 150ºC do 190ºC), co powoduje mniejszą emisję formaldehydu i amoniaku oraz mniejsze zużycie energii niż w metodzie gorącej rdzennicy. Katalizatorami są sole miedzi pochodzące z aromatycznych kwasów sulfonowych; w roztworze wodnym lub alkoholowym nie zawierają azotu. Żywice są formułowane tak, aby miały niską zawartość azotu (mniej niż 2,5 % masy).

Skorupa (metoda Croninga)

Jest to jedyny proces formowania i produkcji rdzeni, w którym stosuje się piasek wstępnie powlekany, dostępny bezpośrednio od dostawców i gotowy do użycia. Piasek jest wstępnie powlekany żywicą fenolową novolak o stałej postaci oraz katalizatorem, tworząc suchy, sypki materiał. Powleczony piasek jest wdmuchiwany do ogrzanej rdzennicy lub osadzany na ogrzanym szablonie, co powoduje topienie i utwardzanie żywicy. W procesie tym katalizator występuje w postaci heksametylenotetraaminy (jako utwardzacz), która rozkłada się w temperaturze 160ºC, uwalniając formaldehyd niezbędny do sieciowania żywicy oraz amoniak. W przypadku stosowania rdzeni, powinny one być wykonane z żeliwa i ogrzane do temperatury 250 °C. Minimalny czas utwardzania wynosi 90 sekund, ale zazwyczaj stosuje się 2 minuty. Niezbędna jest dobra wentylacja i odciąg z obszaru dmuchaw rdzeniowych w celu skutecznego wychwytywania amoniaku i formaldehydu uwalnianych podczas utwardzania.

Osiągnięte korzyści dla środowiska

- Ograniczenie emisji formaldehydu, amoniaku i lotnych związków organicznych.
- Zwiększona efektywność energetyczna w przypadku metody ciepłej rdzennicy.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Żywice w metodzie gorącej rdzennicy zawierają od 4 % do 10 % wolnego formaldehydu i od 6 % do 13 % azotu (katalizator zawiera około 15 % do 25 % azotu). Odór formaldehydu jest drażniący i najbardziej wyczuwalny w stacji produkcji rdzeni. Azot jest również obecny i emitowany w postaci amoniaku.

Emisje zawierają zazwyczaj formaldehyd w stężeniu od 0,1 ppm do 0,75 ppm. Dzięki wychwytywaniu tych emisji poziom odoru w powietrzu otaczającym stację procesową ulega znacznemu obniżeniu po otwarciu rdzennicy.

Metoda ciepłej rdzennicy pozwala uzyskać znaczne oszczędności energii rzędu około 15–25 % w porównaniu z metodą gorącej rdzennicy.

Oddziaływanie na procesy i środowisko Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania Technika ogólnie stosowana.
Ekonomika
Koszt żywic stosowanych w metodzie ciepłej rdzennicy jest znacznie wyższy niż koszt żywic stosowanych w metodzie gorącej rdzennicy.

Siła napędowa wdrażania Wymogi prawne.

Przykładowe zakłady
Metoda gorącej rdzennicy (*hot-box*): [AT006, linia 2], [ES094, linia 1], [IT132, linia 3], [PL137, linia 1] Proces ciepłej rdzennicy (*warm-box*): [DE076, linia 2].
Skorupa (metoda Croninga): [AT006, linia 1], [DE039, linia 1], [FR119, linia 3], [PL138, linia 1].

Literatura źródłowa
[73. Brown, J. R. 2000], [191. Holtzer i in. 2015]

3.2.1.9.10 Stosowanie alifatycznych spoiw organicznych

Opis
Stosowanie organicznych spoiw na bazie alifatycznych polialkoholi zamiast spoiw aromatycznych.

Szczegóły techniczne
Stosowanie spoiw organicznych jest konieczne w wielu zastosowaniach ze względu na jakość procesu i odlewów i stanowi standard w szeregu odlewni. Powodują one jednak szkodliwe emisje na wszystkich etapach stosowania (szczególnie w przypadku stosowania związków aromatycznych), np. podczas przygotowywania form, formowania i po odlewaniu (chłodzenie i wyjmowanie z formy). Emisje te są bardzo problematyczne zarówno z punktu widzenia higieny pracy, jak i ze względów środowiskowych, mogą bowiem zawierać również duże ilości fenolu oraz BTEX (lotnych węglowodorów aromatycznych: benzen, toluen, etylbenzen, ksyleny).

Organiczne spoiwa do formowania odlewów w odlewni są obecnie prawie w całości oparte na żywicach pochodzących z fenolu lub alkoholu furfurylowego, stosowanych w połączeniu z formaldehydem. Są one określane jako aromatyczne spoiwa organiczne. Z natury materiały te ulegają rozkładowi podczas odlewania, powodując emisję bardzo szkodliwych związków zawierających duże ilości związków aromatycznych, np. fenolu lub BTEX. Składniki monomeryczne, fenol i alkohol furfurylowy, są toksyczne. Toksyczny jest również stosowany formaldehyd, zwłaszcza w postaci monomeru. Rozpuszczalniki, głównie rozpuszczalniki aromatyczne, stosowane do żywicy i utwardzacza są bardzo lotne i parują podczas stosowania. Podczas odlewania struktury polimerowe na bazie alkoholu furfurylowego lub fenolu ulegają rozkładowi, co powoduje uwalnianie toksycznych monomerów lub pochodnych tych związków. Często w wyniku rekombinacji fragmentów powstają wyższe związki aromatyczne. Ograniczenie tych emisji wymaga wysokich nakładów inwestycyjnych i kosztów eksploatacyjnych. Ponieważ wprowadzenie substancji aromatycznych do procesu prowadzi do zwiększenia emisji aromatów, problem nie może zostać rozwiązany tak długo, jak długo stosowane są substancje aromatyczne. Jedynie na poziom emisji podczas formowania form można nieznacznie wpłynąć poprzez zmniejszenie zawartości wolnych monomerów w materiałach wyjściowych tych żywic.

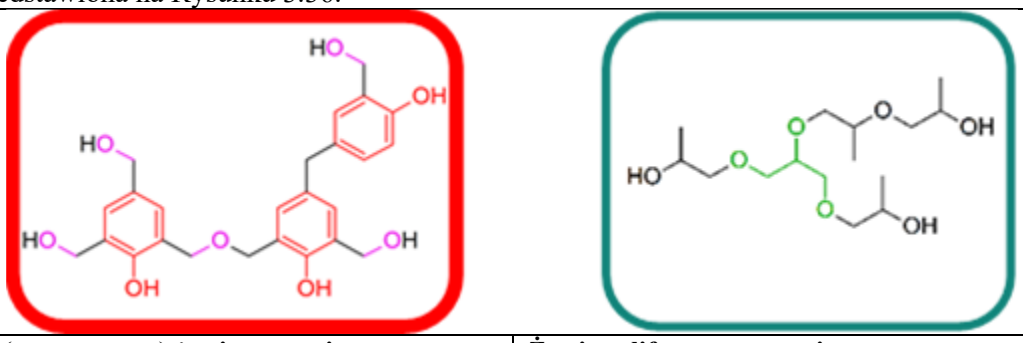
Alternatywnie można zastosować żywicę opartą wyłącznie na alifatycznych polialkoholach, aby uniknąć stosowania szkodliwych monomerów aromatycznych. Żywica ta wykazała wysoką wydajność techniczną w przygotowywaniu form odlewniczych, jednocześnie znacznie zmniejszając poziom emisji podczas odlewania. Jest ona oznaczana jako alifatyczna żywica organiczna.

Nowy środek wiążący jest również systemem dwuskładnikowym, składającym się z żywicy i utwardzacza.

Ostatecznym produktem jest poliuretan, podobny do produktu końcowego uzyskanego przy użyciu systemu żywicy fenolowej i utwardzacza, ale żywica ma teraz strukturę całkowicie alifatyczną. Alifatyczna żywica organiczna zawiera wyłącznie związki alifatyczne, głównie polialkohole. Żaden ze stosowanych związków nie jest toksyczny ani niebezpieczny i nie wymaga oznakowania jako materiał niebezpieczny.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Podstawowa różnica między fenolowym spoiwem organicznym a nowym alifatycznym spoiwem organicznym została przedstawiona na Rysunku 3.36.

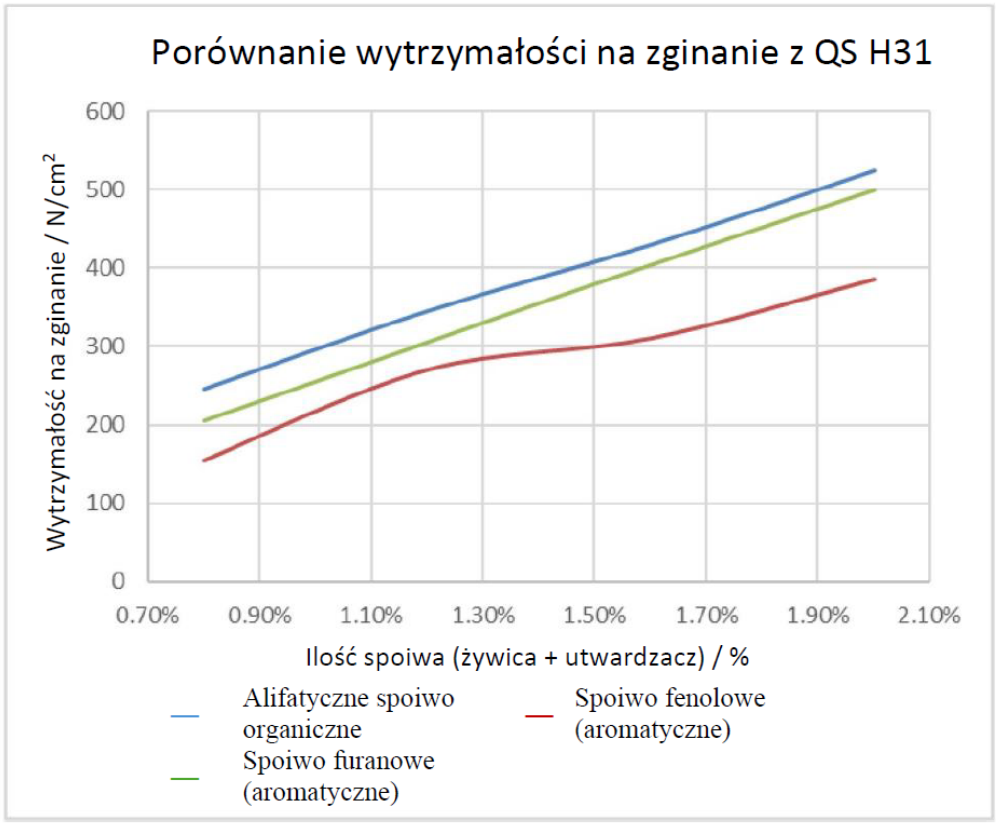


Fenolowa (aromatyczna) żywica organiczna	Żywica alifatyczna organiczna
Source: [143, DE 2019]	

Rysunek 3.36: Elementy strukturalne fenolowej (aromatycznej) żywicy organicznej w porównaniu z żywicą alifatyczną organiczną

Dzięki zastosowaniu alifatycznej żywicy organicznej nie ma potrzeby stosowania lotnych rozpuszczalników aromatycznych, co znacznie zmniejsza ryzyko narażenia podczas przygotowywania formy. W rezultacie można zmienić skład utwardzacza. Chociaż jako składnik aktywny nadal stosowany jest izocyjanian, odpowiednie rozpuszczalniki można zastąpić rozpuszczalnikami mniej podatnymi na emisje i zanieczyszczenia. Jeśli chodzi o przygotowanie i parametry techniczne, żywica i utwardzacz są mieszane razem z materiałem formierskim. Dzięki zastosowaniu piasku kwarcowego o różnej wielkości ziaren jako materiału formierskiego można uzyskać wysoką wytrzymałość na zginanie.

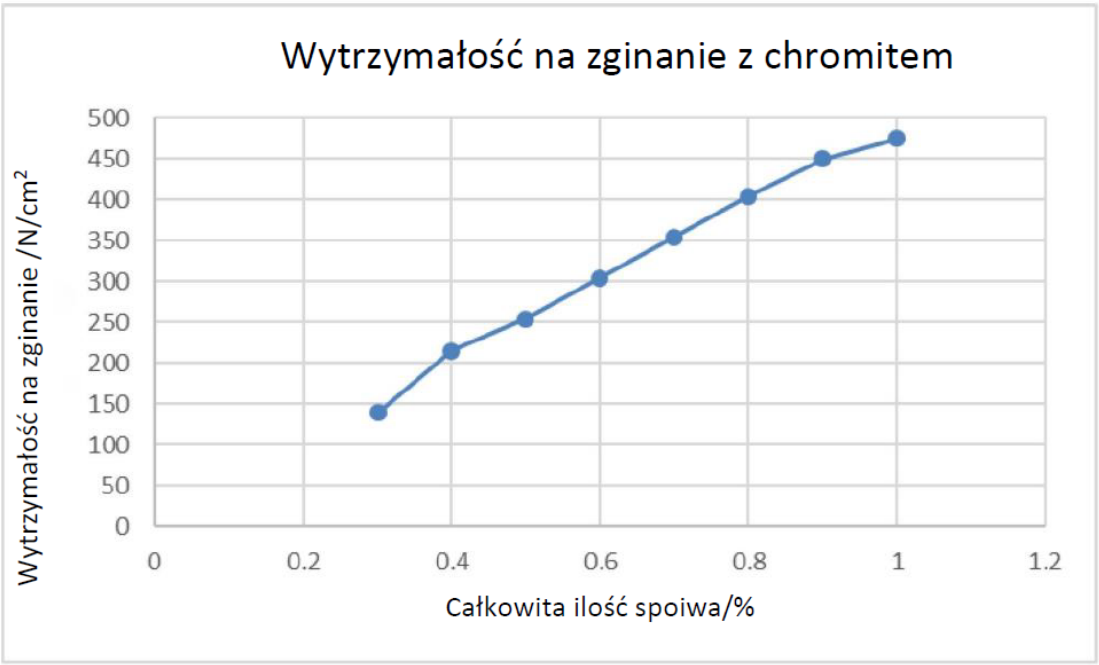
Porównanie wytrzymałości na zginanie wszystkich trzech spoiw (furanu, fenolu i alternatywnego alifatycznego spoiwa organicznego) przedstawiono na Rysunku 3.37. Wyniki wskazują na korzystną wytrzymałość na zginanie przy użyciu podobnych ilości spoiwa dla nowego systemu wiązania.



Źródło: [143. DE 2019].

Rysunek 3.37: Porównanie wytrzymałości na zginanie alifatycznego spoiwa organicznego, spoiwa fenolowego (aromatycznego) i spoiwa furanowego (aromatycznego) z piaskiem kwarcowym

W przypadku różnych rodzajów materiałów formierskich wykazano również wysoką wytrzymałość na zginanie, co pokazano na przykładzie chromitu: Rysunek 3.38. Ta wysoka wytrzymałość pozwala na zmniejszenie ilości spoiwa używanego do formowania, co przynosi znaczne korzyści dla środowiska.



Źródło: [143. DE 2019].

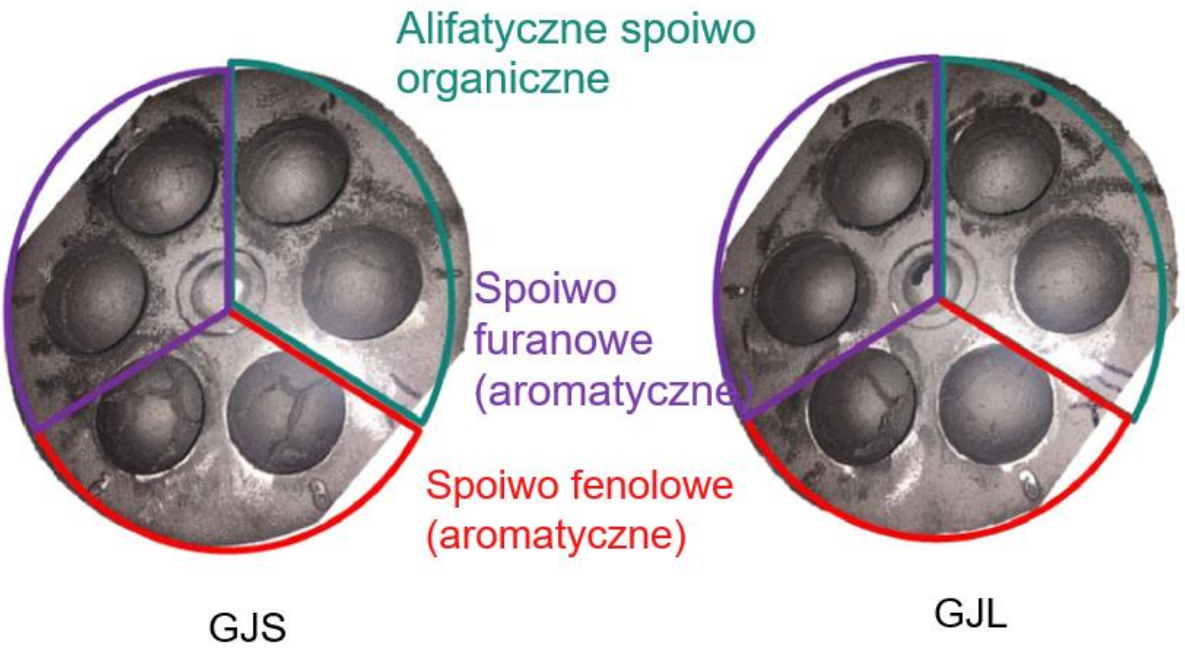
Rysunek 3.38: Wytrzymałość na zginanie alifatycznego spoiwa organicznego z chromitem

Czas formowania można dostosować do potrzeb w zależności od ilości katalizatora użytego w reakcji. Jako katalizator stosuje się zazwyczaj niewielkie ilości trzeciorzędowej aminy (0–0,3% katalizatora w stosunku do całkowitej ilości spoiwa). Aminę można dodać do żywicy podczas produkcji spoiwa lub dodać później do całej mieszanki. Materiał wiążący jest kompatybilny z formami bentonitowymi, które są tutaj stosowane.

Odzysk materiałów formierskich na bazie nowego alifatycznego spoiwa organicznego daje wyniki podobne do spoiwa fenolowego (aromatycznego).

Ilość gazu powstającego podczas ogrzewania jest podobna do spoiwa fenolowego (aromatycznego). Przepuszczalność gazu jest również podobna do przepuszczalności spoiwa fenolowego (aromatycznego).

Skłonność do powstawania błędów odlewniczych zbadano za pomocą standardowego testu. Wyniki badania właściwości żylkowania przedstawiono na Rysunku 3.39. Bezpośrednio widoczna jest mniejsza skłonność do powstawania błędów odlewniczych. Nawet spoiwo fenolowe (aromatyczne) stosowane w połączeniu z dodatkami nie pozwala uzyskać podobnego wyniku. Obserwacje te zostały potwierdzone w kilku odlewniach stosujących różne metale. Spoiwo może być stosowane w szerokim zakresie zastosowań metalowych, od odlewów aluminiowych i magnezowych po odlewy żeliwne i stalowe. Ponadto jakość powierzchni odlewów jest bardzo zadowalająca.



Źródło: [143. DE 2019].

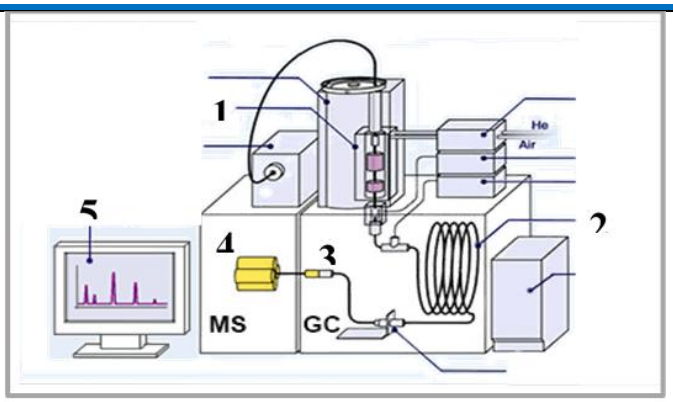
Rysunek 3.39: Odlew żelaza – porównanie żyłkowania

Osiągnięte korzyści dla środowiska

Dzięki uniknięciu stosowania niebezpiecznych i toksycznych monomerów w połączeniu z użyciem mniej lotnych i mniej niebezpiecznych rozpuszczalników/dodatków, emisje podczas odlewania oraz ilość substancji niebezpiecznych w pozostałym materiale formierskim podczas odzysku lub składowania ulegają znacznemu zmniejszeniu.

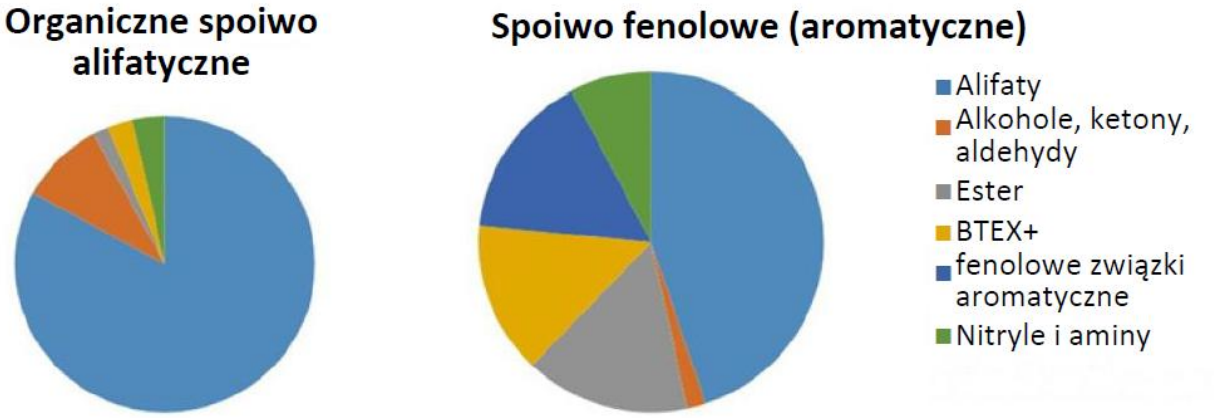
Zostało to zbadane w eksperymentach pirolizy oraz w pomiarach przeprowadzonych w odlewni na wszystkich etapach łańcucha technologicznego (formowanie form – odlewanie – pozostały materiał formierski).

Pomiary pirolizy oparto na technikach GC-MS. Podstawową konfigurację przedstawiono na Rysunku 3.40.

	Piroliza próbki spoiwa (1) • Rozdzielenie fragmentów (2) • Określenie ilości (3) • Identyfikacja (4) • Analiza (5)
Źródło: [143, DE 2019]	

Rysunek 3.40: Konfiguracja GC-MS do pirolizy

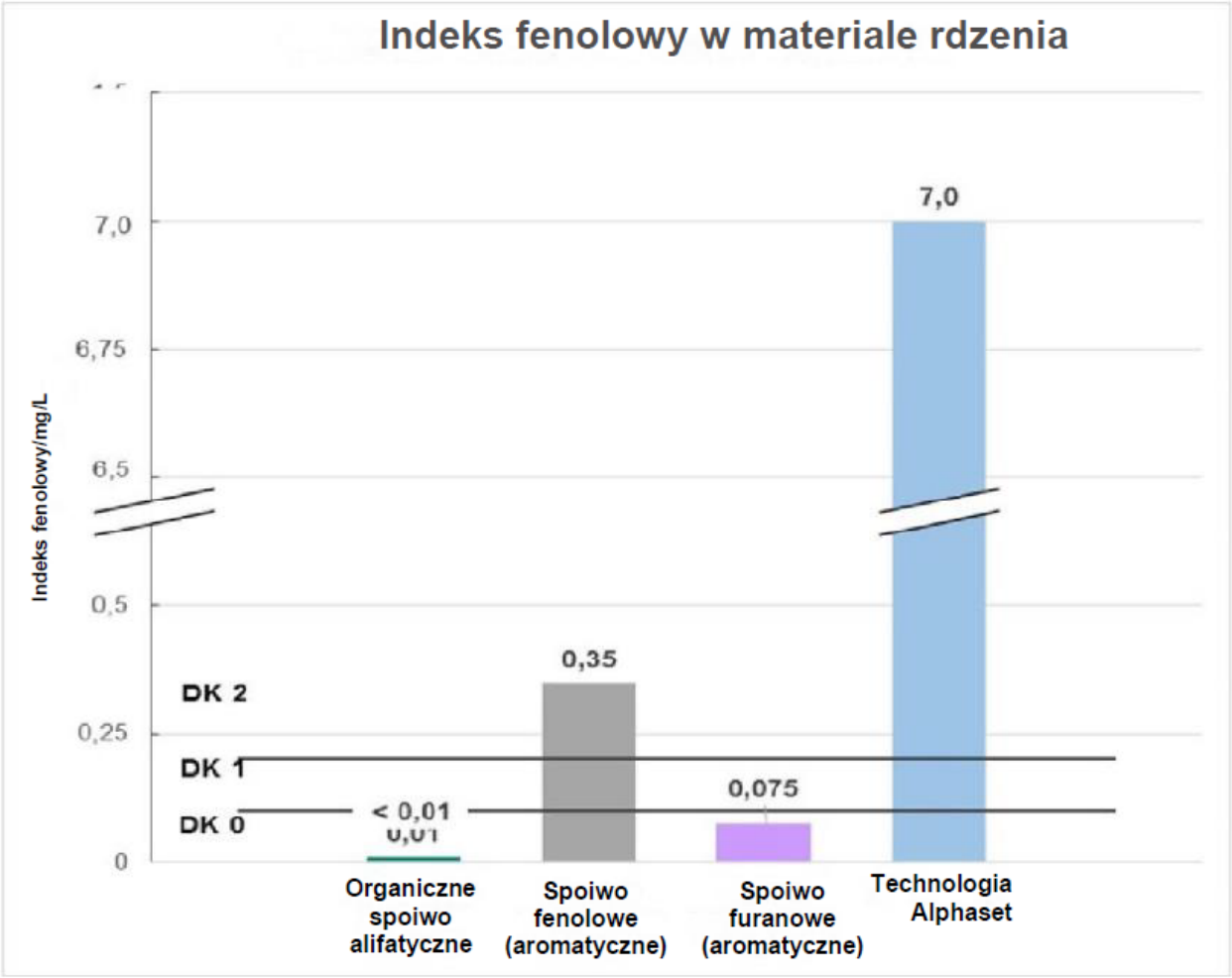
Wyniki pomiarów pirolizy przedstawiono na Rysunku 3.41 , który pokazuje ograniczenie zawartości związków aromatycznych w składzie alifatycznego spoiwa organicznego, co skutkuje znacznym zmniejszeniem ilości emisji niebezpiecznych substancji, zwłaszcza związków aromatycznych (BTEX).



Źródło: [143. DE 2019].

Rysunek 3.41: Rozkład poszczególnych rodzajów związków wykrytych po pirolizie

Podczas formowania i odlewania przeprowadzono również pomiary wskaźnika fenolowego w materiale rdzeniowym w odlewni. Pobrano próbki pozostałych materiałów formierskich do analizy. Na Rysunku 3.42 przedstawiono podsumowanie wyników.



Źródło: [143. DE 2019].

Rysunek 3.42: Wskaźnik fenolu w materiale rdzenia

Tabela 3.37 przedstawia wyniki pomiarów emisji (formowanie i odlewanie) przeprowadzonych w odlewni wykorzystującej alifatyczne spoiwa organiczne, dla szeregu związków chemicznych, w tym diizocyjanianów, amoniaku, benzenu, formaldehydu, alkoholu izopropylowego i trietylenodiaminy. Analiza ta pokazuje, że można osiągnąć niskie poziomy emisji substancji niebezpiecznych, głównie diizocyjanianów, fenolu, formaldehydu i związków aromatycznych.

Tabela 3.37: Analiza wybranych związków podczas tworzenia formy oraz odlewania

Parametr	Formowanie (mg/m3)	Odlewanie (mg/m3)
2,4-diizocyjanian toluenu (2,4-TDI)	< 0,001	-
2,6-diizocyjanian toluenu (2,6 TDI)	< 0,001	-
Diizocyjanian heksametylenu (HDI)	< 0,001	-
Dizocyjanian metylenodifenylu (MDI)	< 0,001	-
Związki aromatyczne (C7-C8)	0,043	0,064
Związki aromatyczne (C9-C10)	0,019	-
Amoniak	-	< 0,19
Benzen	0,040	< 0,012
Formaldehyd	0,026	-
Alkohol izopropylowy	0,0017	0,3
CO	-	7,8
NO	-	0,18
NO_2	-	0,35
Trietylenodiamina	< 0,001	-

Źródło: [143. DE 2019].

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Dotyczy wyłącznie procesów utwardzania na zimno.

Ekonomika
Pod względem procesu technika ta jest podobna do pracy z spoiwami aromatycznymi. Dlatego nie są konieczne żadne dodatkowe koszty związane z dostosowaniem infrastruktury.

Bezpośrednie koszty nowych spoiw są nieco wyższe niż w przypadku spoiw aromatycznych.

Potencjalne oszczędności mogą wynikać z następujących czynników:

- Ograniczenie ilości lotnych rozpuszczalników podczas tworzenia form, prowadzące do oszczędności w zakresie środków ochronnych i zmniejszenia zagrożeń dla zdrowia pracowników. Bezpośredni efekt jest również widoczny w systemie wentylacji, co skutkuje zmniejszeniem wymaganej jego wydajności.
- Zaobserwowana poprawa jakości odlewów stanowi znaczącą korzyść dla odlewni. Skutkuje to oszczędnością czasu podczas szlifowania i polerowania, które są bardzo pracochłonne. Zmniejsza to również ogólną liczbę wad odlewniczych.

Siła napędowa wdrażania Wymogi prawne.

Przykładowe zakłady
Technika ta jest stosowana głównie w odlewniach zlokalizowanych w Niemczech, ale została również przetestowana w Austrii i Szwajcarii. Łączna liczba firm korzystających z tej techniki wynosi około 15 (na koniec 2019 r.).

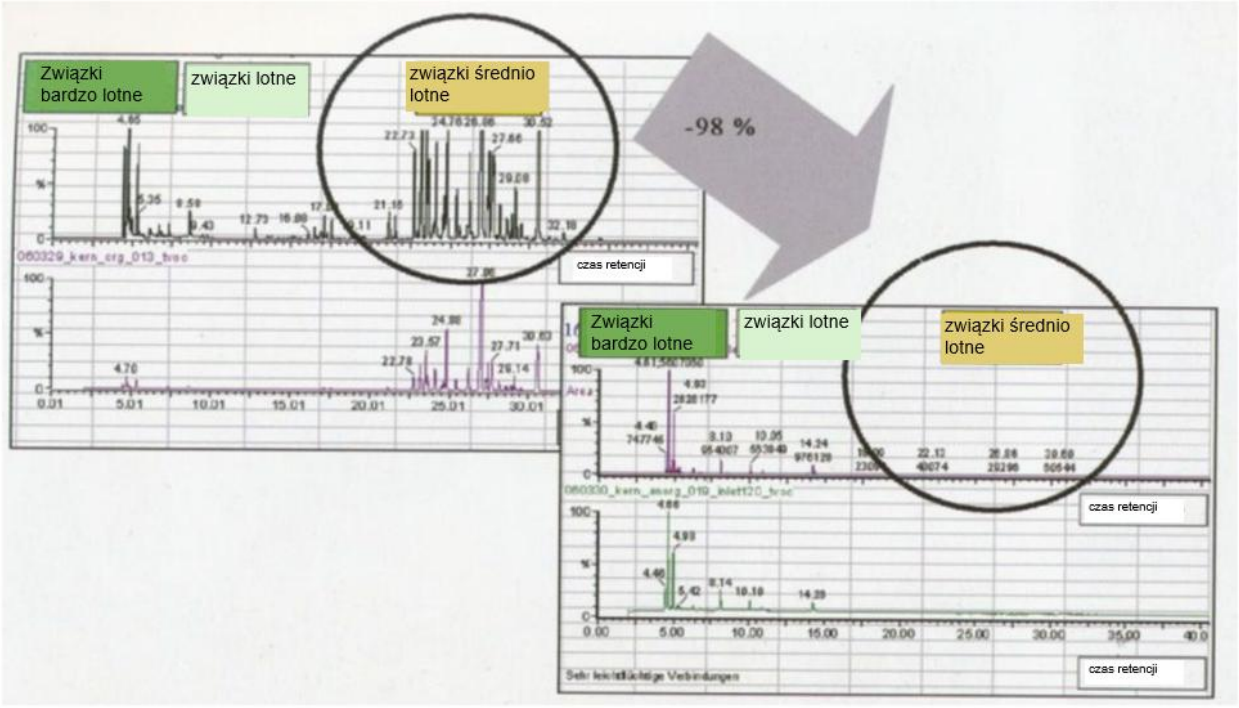
Literatura źródłowa[143. DE 2019]

3.2.1.9.11 Stosowanie spoiw nieorganicznych w odlewaniu ciśnieniowym aluminium

Opis
W odlewaniu ciśnieniowym aluminium stosuje się spoiwa nieorganiczne, takie jak krzemiany sodu (szkło wodne) utwardzane np. przez CO2, estry organiczne.

Szczegóły techniczne
W odlewniach aluminium stosowane są nieorganiczne systemy spoiw. Łączą one ciekły składnik (zmodyfikowany roztwór krzemianu sodu) z dodatkami znanymi jako promotory, które zawierają wysokie stężenia minerałów. System jest utwardzany przy użyciu podgrzewanych narzędzi. Przepłukiwanie systemu gorącym powietrzem usuwa wilgoć i pomaga zoptymalizować czas utwardzania i przechowywania rdzeni.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
- Zapobieganie emisji amin podczas produkcji rdzeni.
- Ograniczenie o 98% emisji węgla organicznego i odoru po zalewaniu w porównaniu z organicznymi spoiwami stosowanymi w zimnych rdzennicach.
- Ograniczenie zużycia energii i związanych z tym emisji CO2 i zanieczyszczeń powietrza: 20 % odlewania ciśnieniowego w porównaniu z odlewaniem ciśnieniowym przy użyciu zimnych lub gorących rdzennic z spoiwem uretanowym. Jednostkowe zużycie energii na tonę piasku mieszanego wynosi:
  - 0,089 kWh na tonę piasku mieszanego (piasek kwarcowy, 2,95% spoiwa nieorganicznego i promotor);
  - 1,723 kWh na tonę piasku mieszanego (piasek kwarcowy, 1,2% uretanowego spoiwa w metodzie zimnej rdzennicy, część 1 i 2).
- Ograniczenie hałasu (zmniejszona konieczność czyszczenia narzędzi).



Źródło:[133. DE UBA 2014].

Rysunek 3.43: Ograniczenie emisji organicznych przy użyciu spoiw nieorganicznych w procesie odlewania ciśnieniowego aluminium

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne Seryjna produkcja aluminiowych odlewów dla przemysłu motoryzacyjnego:

- 5 000 do 150 000 odlewów rocznie.
- Odlewnia BMW w Landshut, Niemcy (w 2010 r.):
  1. procesy odlewnicze wykorzystujące rdzenie piaskowe: odlewanie grawitacyjne, odlewanie niskociśnieniowe;
  2. 45 000 ton odlewów aluminiowych i magnezowych (tylko odlewy wysokociśnieniowe): głowice cylindrów, bloki silników.
- Przystosowana rdzeniarka, sprzęt do gazowania oraz zakład odzysku piasku.
- Temperatura obudowy rdzenia: 180 °C.
- Temperatura powietrza utwardzającego: 150 °C.
- Odlewanie grawitacyjne, odlewanie niskociśnieniowe.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Zużycie energii do utwardzania spoiw nieorganicznych za pomocą ciepła (proces suszenia). Uwaga: W przypadku metody zimnej rdzennicy z spoiwem uretanowym utwardzanie odbywa się bez użycia ciepła przy użyciu katalizatora aminowego.

Regeneracja termiczna piasku (600°C do 700°C) jest przeprowadzana z wydajnością odzysku od 90% do 95%.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ta ma zastosowanie w odlewniach z grawitacyjnym odlewaniem aluminium i odlewaniem niskociśnieniowym oraz w produkcji seryjnej, z krótkoterminowym przechowywaniem rdzeni w przypadku gorącego i wilgotnego klimatu.

Przebudowa istniejącej linii odlewniczej wymaga wielu etapów procesu (zobacz *Ekonomika*). Wymaga również podgrzewanych rdzennic wykonanych z metalu; wiele odlewni MŚP używa rdzennic wykonanych z drewna lub tworzyw sztucznych.

W procesie odlewania ciśnieniowego istnieje tylko jeden rodzaj piasku, co jest warunkiem wstępnym, przy użyciu spoiw nieorganicznych w produkcji seryjnej. Na przykład w odlewniach żeliwa lub stali stosuje się samoutwardzalny system piasku bez wypalania lub zielone piaski z rdzeniami. W obu procesach nie ma alternatywy dla spoiw organicznych.

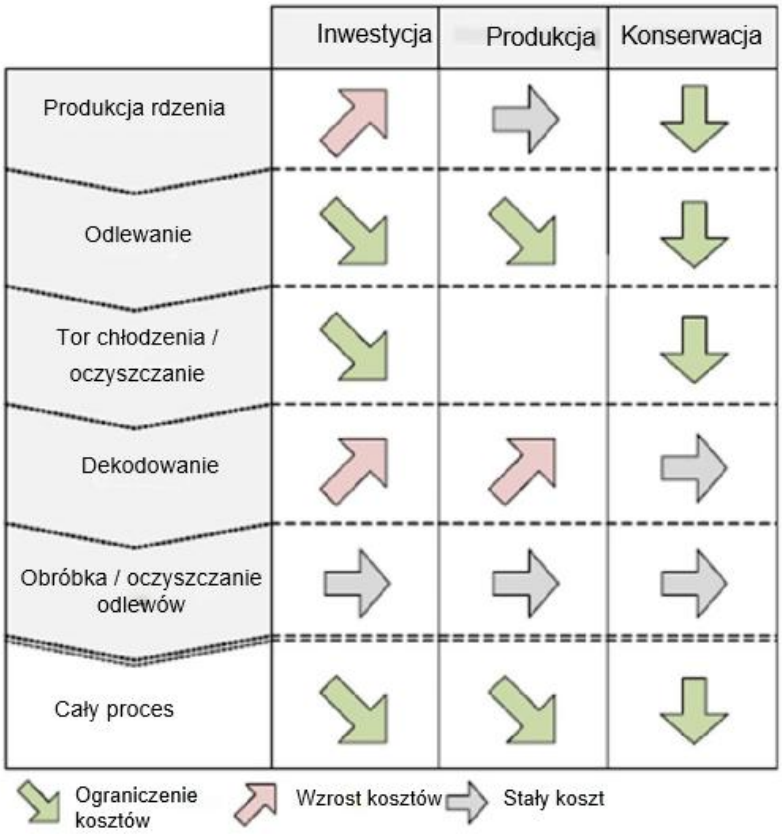
Ekonomika

Przebudowa istniejącej odlewni lub linii produkcyjnej

W przypadku stosowania spoiw nieorganicznych, wszystkie etapy procesu odlewni aluminium muszą zostać dostosowane: konstrukcja matrycy, konstrukcja rdzennicy, mieszalnik piasku, podgrzewana rdzennica, rdzeniarka, sprzęt do gazowania (gorącym powietrzem), przenoszenie i przechowywanie rdzeni (zależne od klimatu), termiczny odzysk piasku.

Budowa nowej odlewni lub linii produkcyjnej:

Koszty inwestycyjne i bieżące: istnieje przewaga w porównaniu do odlewni lub linii produkcyjnej stosującej metodę zimnej rdzennicy z spoiwem uretanowym.



Źródło:[133. DE UBA 2014].

Rysunek 3.44: Przedstawienie aspektów ekonomicznych

- Wzrost wydajności +10%.
- Konserwacja narzędzi -50%.
- Czyszczenie narzędzi -75%.
- Czas cyklu produkcyjnego (odlewanie) -10%.
- Termiczne dopalanie powietrza wylotowego -100%.

Siła napędowa wdrażania

Zrównoważoność w ramach produkcji:

- Ograniczenie emisji, narażenia i ryzyka pożaru.
- Poprawa jakości odlewów aluminiowych: niższa temperatura matrycy (< 200 °C), a tym samym mniejsze odstępy między ramionami dendrytów w odlewach aluminiowych i wyższa wytrzymałość.
- Wyższa produktywność i mniejsze nakłady na konserwację (-50%) w porównaniu do procesu odlewniczego z rdzeniami wytworzonymi metodą zimnej rdzennicy z spoiwem uretanowym.

Przykładowe zakłady

- BMW AG, Landshut, Leichtmetallgießerei.

Użytkownicy innych rodzajów spoiw nieorganicznych przy utwardzaniu termicznym: VW Nutzfahrzeuge

Gießerei, Hannover i Posnan, DC Foundry.

Literatura źródłowa
[133. DE UBA 2014]

3.2.1.9.12 Zastąpienie powłok na bazie alkoholu powłokami na bazie wody

Opis
Zastąpienie powłok form i rdzeni na bazie alkoholu powłokami na bazie wody. Powłoki na bazie wody są suszone na powietrzu lub w piecach suszących.

Szczegóły techniczne
Powłoki są nakładane na powierzchnię form i rdzeni celem stworzenia ogniotrwałej bariery na styku formy i metalu oraz zapewnienia dobrego wyglądu powierzchni. Powłoki służą do zmniejszenia żyłkowania, erozji i defektów penetracji metalu, a także pomagają ograniczyć operacje wykańczania. Ciecz nośna tworzy zawiesinę z materiałem bazowym. W ten sposób można przetwarzać materiał powłoki. Cieczami nośnymi są zazwyczaj woda lub alkohol. Powłoki na bazie alkoholu bazują głównie na alkoholu izopropylowym (IPA - izopropanol). Powłoka jest suszona przez odparowanie lub wypalenie rozpuszczalnika. Powoduje to emisję lotnych związków organicznych (LZO). Jako alternatywę opracowano powłoki na bazie wody.

Przed połączeniem rdzeni i części formy w celu przygotowania ostatecznej formy, rdzenie i części formy muszą być całkowicie suche. Proces suszenia zależy od rozmiaru i geometrii suszonych części. Duże części lub części o różnych formatach, które zostały zazwyczaj wykonane z materiałów formierskich łączonych żywicą furanową lub fenolową (proces zimnej żywicy), muszą być suszone przez kilka godzin lub dni w hali. W przypadku mniejszych części o niezmiennych kształtach można użyć suszarki.

Jeśli suszenie jest wspomagane dostarczaniem ciepła, zużycie energii i efektywność energetyczna mogą stanowić problem. Nowo opracowany piec suszący, stosowany już w odlewniach, wykazuje zwiększoną efektywność energetyczną. W tym piecu suszącym przepływ powietrza jest zoptymalizowany w taki sposób, że strumień powietrza może być kierowany bezpośrednio na powlekaną powierzchnię formy. Przy takim przepływie powietrza temperaturę powietrza można ustawić poniżej 90°C.

Zalety powłok na bazie wody to:

- bezpieczeństwo (brak ryzyka pożaru);
- zdrowie pracowników (mniejsze narażenie na opary związków organicznych);
- niższe koszty odczynników (woda vs. alkohol);
- najczęściej lepsze wykończenie powierzchni odlewów.

Trudności związane z wdrożeniem tej techniki są następujące:

- potrzeba więcej czasu i przestrzeni (procesowej); ponadto rdzenie wymagają dłuższego czasu suszenia, co skutkuje potrzebą istnienia linii suszącej, przechodzącej przez piec suszący;
- zmiana procesu wymaga indywidualnego okresu optymalizacji;
- rozwój bakterii, które powodują krótki okres trwałości powłok (1 - 2 tygodnie) i powodują emisję nieprzyjemnych odorów;
- koszt ponownego zatwierdzenia przez określonych klientów w zastosowaniach związanych z lotnictwem i obronnością.

Powłoki na bazie wody mogą być suszone w otaczającym powietrzu lub przy użyciu pieca suszącego, kuchenki mikrofalowej lub pieca na podczerwień. Zazwyczaj wymagają one dłuższego czasu schnięcia w porównaniu do powłok na bazie alkoholu. Suszenie nie generuje szkodliwych emisji, ale może powodować emisję odorów. Suszenie odbywa się za pomocą linii suszącej, która transportuje rdzenie z miejsca ich produkcji do miejsca montażu formy, zapewniając w ten sposób niezbędny czas suszenia. Linia może również przechodzić przez piec suszący. Suszenie mikrofalowe i na podczerwień jest stosowane dla małych, średnich i dużych serii.

Inne właściwości reologiczne powłok na bazie wody w porównaniu z powłokami na bazie rozpuszczalników spowodowały konieczność opracowania nowych technik stosowania. Umożliwiają one utrzymanie stałej jakości powłoki.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Główną zaletą stosowania powłok na bazie wody i suszenia w otaczającym powietrzu jest ograniczenie emisji rozproszonych rozpuszczalników. Suszenie w powietrzu otoczenia nie wymaga dodatkowej energii.

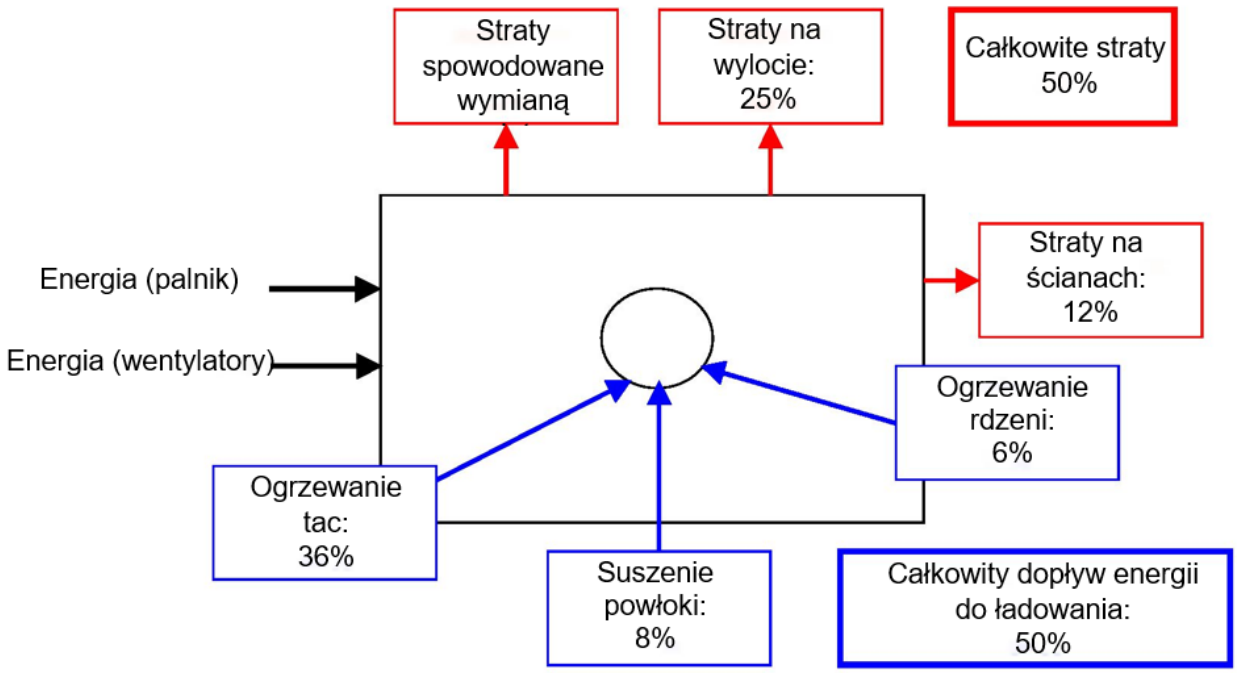
Jeśli użycie powłoki na bazie wody jest połączone z użyciem nowo opracowanych (energooszczędnych) pieców suszących, zużycie energii i związane z tym emisje CO_2 zostają zmniejszone w porównaniu z użyciem tradycyjnych pieców suszących.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Zmiana z powłok na bazie IPA (alkoholu izopropylowego) na powłoki na bazie wody staje się obecnie coraz bardziej powszechna w różnych odlewniach. Odlewnie samochodowe zmieniły większość swojej produkcji przechodząc na powłoki na bazie wody i pozostawiając stosowanie powłok na bazie rozpuszczalników tylko do określonych zastosowań (zobacz zastosowanie).

Dane operacyjne uzyskano z holenderskiej odlewni. Podczas suszenia w otaczającym powietrzu głównym czynnikiem jest prędkość przepływu powietrza (a nie jego temperatura czy też wilgotność). Aby zapewnić wystarczającą prędkość przepływu powietrza na linii suszenia, w odlewni zainstalowano dodatkowe wentylatory i wywietrzniki. Aby osiągnąć dobrą i stałą jakość, zawartość drobnych cząstek w (zregenerowanym) piasku do produkcji rdzeni została zmniejszona. Powłoki na bazie wody mogą powodować pęcznienie drobnych cząstek resztkowych (bentonitu i pyłu węglowego), co następnie powoduje wady rdzenia.

Dane operacyjne uzyskano z odlewni we Francji, posiadającej suszarnię o pojemności 540 rdzeni wytworzonych metodą zimnej rdzennicy, która jest ogrzewana palnikiem na gaz ziemny. Dwa wentylatory służą do odprowadzania oparów i mieszania świeżego powietrza. Temperatura projektowa gorącego powietrza wynosi 165ºC. Bilans cieplny został ustalony na podstawie pomiarów przy użyciu rdzeni o wadze 0,4 kg i wilgotności 5,5%. Bilans, jak to pokazano na Rysunku 3.45 , dotyczy przepustowości 390 rdzeni, co odpowiada 72% pełnej wydajności.



Rysunek 3.45: Bilans cieplny suszarki do suszenia rdzeni, pracującej przy 72% wydajności

Bilans pokazuje, że 50% energii jest tracone, a faktycznie mniej niż 10% jest wykorzystywane do suszenia rdzenia. Wskazuje również na zużycie 8,5 kWh na kg odparowanej wody, co odpowiada 465 kWh na tonę rdzeni przy przepustowości 156 kg/godz. Gdy suszarnia pracuje z mniejszą wydajnością, straty rosną jeszcze bardziej. Podobne pomiary w innej odlewni potwierdziły wysokie (> 50%) straty i niskie (< 10%) efektywne zużycie energii. Efektywność energetyczną można zwiększyć stosując suszenie mikrofalowe. Zostało to omówione w Sekcji 3.2.1.3.11.

Nowo opracowane energooszczędne piece suszące sprawiają, że stosowanie powłok na bazie wody jest mniej energochłonne w porównaniu do wcześniej stosowanych pieców. Poniższa tabela opisuje dane operacyjne nowo opracowanych pieców suszących oraz porównuje je z poprzednią techniką.

Tabela 3.38: Dane operacyjne dla nowej suszarni

	Piece do suszenia wcześniej używane	Nowo opracowane piece do suszenia
Moc przetwarzania termicznego [kW]	400	225
Pobór mocy elektrycznej [kW]	30	55
Czas suszenia [h], odlewy o masie 10 ton	3,5	1,9
Czas suszenia [h], odlewy o masie 5 ton	2,7	1,4
Czas suszenia [h], odlewy o masie 3,5 ton	2,8	1,4
Średnie jednostkowe zużycie energii [kWh/t]	303	79
Źródło: [133. DE UBA 2014].		

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak, jeśli suszenie odbywa się w powietrzu otoczenia. Wyższe zużycie energii i związane z tym emisje CO2 powstają, gdy używane są konwencjonalne piece suszące w porównaniu z powłokami na bazie alkoholu. Zużycie energii można zmniejszyć poprzez zastosowanie pieców suszących o zwiększonej efektywności energetycznej (zobacz ***Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne*** powyżej).

Powłoki na bazie wody zawierają różne (organiczne) substancje chemiczne poprawiające ich właściwości. Może to mieć wpływ na profil emisji podczas wytrząsania.
Suszenie powłoki na bazie wody powoduje zwiększone ulatnianie się rozpuszczalników spoiwa. Może to powodować zwiększoną emisję nieprzyjemnych odorów z powodu parowania rozpuszczalników rdzeniowych zawierających BTX.
Powłoki na bazie wody wymagają większego zużycia energii ze względu na transport (podczas suszenia powietrzem) i suszenie w piecu.

Suszenie w otaczającym powietrzu może powodować obniżenie temperatury powietrza w odlewni. W holenderskiej odlewni odnotowano ogólne obniżenie temperatury otoczenia o 2ºC. Skutkuje to wyższym zużyciem paliwa do ogrzewania w okresie zimowym.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Zastosowanie może być ograniczone w przypadku dużych lub złożonych kształtów odlewów z powodu trudności z cyrkulacją powietrza suszącego.

Technika nie ma zastosowania do piasków wiązanych szkłem wodnym, procesu odlewania magnezu, formowania próżniowego lub produkcji odlewów ze staliwa manganowego z powłoką MgO.

Powłoki na bazie wody można wdrażać w nowych i istniejących odlewniach wielkoseryjnych. W przypadku nowych i istniejących małych odlewni takie wdrożenie może być utrudnione przez czynniki techniczne lub ekonomiczne.

Rozpuszczalniki na bazie wody mogą być stosowane w większości sytuacji. W niektórych specyficznych zastosowaniach powłoki na bazie alkoholu nie mogą być jednak zastąpione i nadal będą musiały być używane dla:

- dużych lub skomplikowanych form/rdzeni, gdzie mogą wystąpić problemy z suszeniem ze względu na trudności z penetracją powietrza suszącego;
- piasków wiązanych szkłem wodnym;
- odlewania Mg: woda tworzy $Mg(OH)_2$ i tym samym powoduje problemy techniczne; • w produkcji stali manganowej z powłoką MgO.

Zastosowanie powłoki na bazie wody i czas suszenia formy/rdzenia wymagają uwzględnienia następujących aspektów procesu produkcyjnego:

- rozmiaru rdzeni lub form i rosnącego wraz ze wzrostem rozmiaru czasu suszenia; • czasów przetwarzania;
- Przestrzeni potrzebnej w odlewni do przechowywania form/rdzeni.

Podczas planowania nowej odlewni należy wziąć pod uwagę wszystkie te trzy wyżej wymienione zmienne.

W szczególności, w istniejących odlewniach, wymagania dotyczące powierzchni i przestrzeni mogą stanowić ograniczenia, których nie da się przezwyciężyć.

Ekonomika
Koszt inwestycji zależy od kilku czynników, takich jak dostępne miejsce na linię do suszenia w odlewni, wybór techniki suszenia i konieczność dostosowania mieszanki piasku.

Całkowite zastąpienie powłok na bazie alkoholu powłokami na bazie wody w holenderskiej odlewni żelaza, przy użyciu suszenia powietrzem otoczenia, wymagało całkowitej inwestycji w wysokości 71 000 EUR. Obejmowało to instalację wentylatorów oraz optymalizację jakości piasku. Ograniczenie emisji IPA o 161 ton/rok odpowiadała redukcji emisji IPA o 62,5 EUR/tonę.

Koszty operacyjne obejmują wzmożone kontrole powłoki i rdzeni (lepkość, grubość warstwy, zawartość wody, jakość produktu) i wynoszą 9 000 EUR/rok. Suszenie 1 tony powłoki zużywa 2 100 kWh energii.

Po stronie korzyści w bilansie ekonomicznym znajduje się zmniejszenie wydatków na zakup rozpuszczalnika. W przypadku większych odlewni istnieją przykłady, w których inwestycja w system oparty na wodzie zwróciła się w ciągu 2 lat, tylko na podstawie obniżonych kosztów zakupu IPA.
Koszt operacyjny suszenia wynosi 0,01 EUR/kg (dane z 2002 r., odlewnia metali nieżelaznych we Francji).

Suszenie odlewów pokrytych powłokami na bazie wody wymaga więcej miejsca i wydłuża czas produkcji.

Poniższa tabela porównuje ekonomiczne aspekty zastosowania nowo opracowanego wydajnego pieca do suszenia z poprzednio stosowaną techniką suszenia.

Tabela 3.39: Wydatki na piece suszące

	Piece do suszenia wcześniej używane	**Nowo opracowane piece do suszenia**
Inwestycja (10-letnia amortyzacja) [EUR]	420 000	500 000
Roczne koszty utrzymania [EUR]	4 200	5 000
Roczna wydajność odlewnicza [t]	4 000	7 000
Koszt energii na tonę odlewu [EUR]	16,00	4,80
Całkowity koszt na tonę odlewu [EUR]	27,55	12,66
Uwaga: dane za 2013 r. *Źródło*:[133. DE UBA 2014].		

Łącznie, stosując nową technikę suszenia, można uzyskać oszczędności sięgające 54%.

Suszenie powietrzem otoczenia nie wiąże się z żadnymi kosztami energii. Koszty związane z wymaganą przestrzenią są zmienne.

Siła napędowa wdrażania
- Unikanie emisji rozpuszczalników w obszarach roboczych rdzeniarni i formierni.
- Zwiększone bezpieczeństwo (brak ryzyka pożaru).

Przykładowe zakłady
- PSA Sept-Fons (FR).
- Fonderie Bréa, Montluçon (FR).
- De Globe b.v., Weert (NL).

Suszenie powietrzem:
- Stahlwerke Bochum GmbH, DE.
- Heger Ferrit GmbH, DE.
- C. Grossmann Stahlguss GmbH, DE.

Suszenie w piecu do suszenia:
- AVA GmbH, Magdeburg.

Literatura źródłowa
[43. infoMil 1999], [49. Inasmet oraz CTIF 2002], [53. Beauvais i in. 2001], [133. DE UBA 2014]

3.2.1.9.13 Wybór niskoemisyjnego systemu wiążącego na zimno

Opis
Wybieranie systemu spoiwa wiążącego na zimno generującego niską emisję formaldehydu, fenoli, alkoholu furfurylowego, izocyjanianów itp. Obejmuje to stosowanie:

- niewypalanych żywic furanowych o niskiej zawartości alkoholu furfurylowego (np. poniżej 40% wt-%) np. do produkcji odlewów z żelaza;
- niewypalanych układów fenolowo-furanowych z katalizatorem o niskiej zawartości kwasu siarkowego, na przykład do produkcji odlewów stalowych;
- alifatycznych spoiw organicznych na bazie na przykład alifatycznych polialkoholi (zamiast aromatycznych spoiw organicznych) do produkcji np. odlewów z żelaza, stali, aluminium lub magnezu itp.;
- geopolimerów nieorganicznych na bazie polisialanów (do produkcji odlewów z żeliwa szarego, aluminium, stali itp.);
- krzemianów estrowych (do produkcji średnich i dużych odlewów ze stali itp.);
- olejów alkidowych (np. do pojedynczych odlewów lub produkcji małoseryjnej w odlewniach stali);
- żywic rezolowo-estrowych (np. dla lżejszych stopów w małej lub średniej produkcji);
- cementu (na przykład do produkcji bardzo dużych odlewów).

Szczegóły techniczne

Można wybrać spoiwa wiążące na zimno generujące niskie emisje. Obejmuje to korzystanie z następujących systemów wiążących:

- *Niewypalonych żywic furanowych o niskiej zawartości alkoholu furfurylowego (np. poniżej 40% wt-%)*: Niewypalone żywice furanowe są oparte na polikondensacji alkoholu furfurylowego przy użyciu katalizatora kwasowego i są modyfikowane przy użyciu formaldehydu, mocznika lub fenolu. Od wejścia w życie rozporządzenia (WE) nr 1272/2008 żywice furanowe zawierające alkohol furfurylowy powyżej 25% są klasyfikowane jako toksyczne. Więcej informacji można znaleźć w Sekcji 3.2.1.4.3.5.
- *Niewypalanych układów fenolowo-furanowych z katalizatorem o niskiej zawartości kwasu siarkowego*: Więcej informacji można znaleźć w Sekcji 3.2.1.4.3.5.
- *Geopolimerów nieorganicznych na bazie polisialanów*: Zastosowanie geopolimerowych spoiw nieorganicznych zostało opracowane w Republice Czeskiej. Jest ono oparte na polimerach zawierających polisialany, które zawierają łańcuchy czworościanów SiO_4 i AlO_4. Na początku spoiwo ma niski stopień polimeryzacji, ale podczas reakcji utwardzania, która może być wywołana przez ciepło lub użycie utwardzaczy, osiągany jest wyższy stopień polimeryzacji. Podczas tego procesu nie są generowane żadne odory, a geopolimery emitują wyjątkowo niskie ilości LZO w porównaniu z innymi, bardziej konwencjonalnymi technikami formowania lub produkcji rdzeni. Co więcej, możliwe jest odzyskanie mieszanki piasku przy użyciu tego typu spoiwa. Nieorganiczne spoiwa geopolimerowe mogą być stosowane w procesach wiązania na zimno, w systemach utwardzania gazem przy użyciu CO_2 (zob. Sekcja 3.2.1.9.14) oraz w procesach utwardzania na gorąco (zob. Sekcja 3.2.1.9.15).
- *Krzemianów estrowy*ch: W procesie z krzemianem estrowym piasek jest mieszany z krzemianami sodu (zazwyczaj stosuje się od 2,5% do 3,5% w zależności od gatunku piasku). Dodawany jest płynny organiczny utwardzacz estrowy (np. dioctan glicerolu, trioctan glicerolu) (10-12% w stosunku do masy krzemianu). Często dodawane są również środki rozkładające. Proces utwardzania trwa zwykle od 20 do 120 minut.
- *Oleju alkidowego:* Nie ma żadnych emisji podczas produkcji rdzeni i form przy stosowaniu wiązania na zimno. Emisja odorów jest obserwowana tylko wtedy, gdy do utwardzania spoiw alkidowych stosuje się ciepło.
- *Żywic rezolowo-estrowych*: Żywica rezolowo estrowa zawiera nieprzereagowany fenol i formaldehyd, ale ich emisja jest bardzo niska i nieistotna dla środowiska.
- *Cementu*: Zastosowanie cementu jako spoiwa nie jest szeroko rozpowszechnione, ale był on używany do produkcji ciężkich odlewów stalowych, a także innych stopów. W tym przypadku piasek kwarcowy zawierający około 11% cementu portlandzkiego i 6% wody może być stosowany w bezrdzeniowym systemie formowania bloków przy użyciu szablonów montowanych w tymczasowych ramach drewnianych.

Osiągnięte korzyści dla środowiska

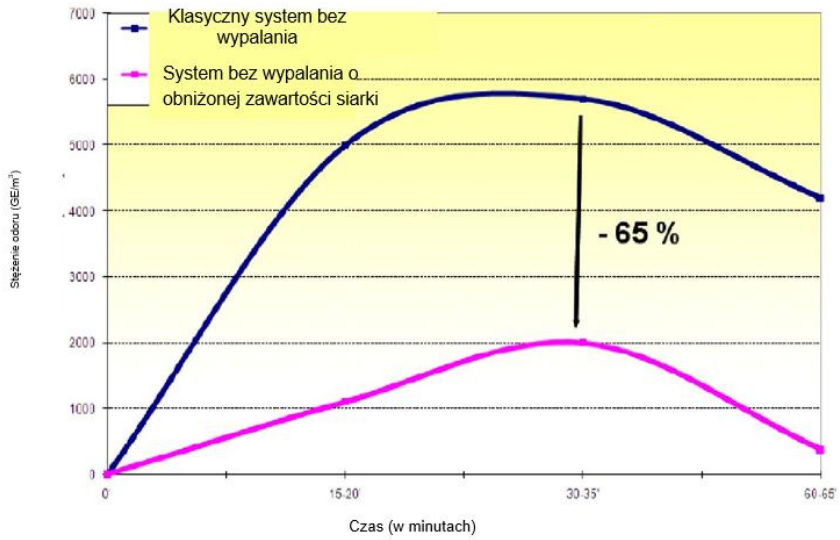
Ograniczone emisje LZO.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

- *Niewypalone żywice furanowe o niskiej zawartości alkoholu furfurylowego (np. poniżej 40% wt-%):* Spośród wszystkich zakładów w zbiorze danych, które zgłosiły stosowanie żywic o zawartości FA < 40 wt-%, większość odlewni to odlewnie żelaza produkujące odlewy z żeliwa szarego lub sferoidalnego (tj.

BE023, DE070, ES088, FR119, IT 134), ale jedna odlewnia mosiądzu również zgłosiła stosowanie tej techniki. Więcej informacji można znaleźć w Sekcji 3.2.1.4.3.5.

- *Niewypalane układy fenolowo-furanowe z katalizatorem o niskiej zawartości kwasu siarkowego:* Stosując system wypalania o obniżonej zawartości siarki, emisja odorów w odlewni stali (zob. Rysunek 3.46) może zostać zmniejszona o 65% przy zastosowaniu nowych form piaskowych i nowych rdzeni piaskowych. Więcej informacji można znaleźć w Sekcji 3.2.1.4.3.5.
- Geopolimery nieorganiczne na bazie polisialanów: W procesie wiązania na zimno, wymagana szybkość dodawania spoiwa geopolimerowego w celu osiągnięcia wymaganej wytrzymałości i właściwości form i rdzeni wynosi zazwyczaj od 1,4% do 2,0% w przypadku nowego piasku i od 1,8% do 2,0% w przypadku mieszanek piasku zawierających od 75% do 100% piasku z odzysku. Po 24 godzinach wytrzymałość na zginanie uzyskana przy użyciu spoiwa na bazie geopolimeru (w zakresie od 1,3 MPa do 1,9 MPa) jest bardzo podobna do wytrzymałości uzyskanej konwencjonalnymi metodami, takimi jak proces alkalicznego estru fenolowego lub proces niewypalonego furanu. Emisje BTEX zgłoszone przy użyciu nieorganicznych spoiw geopolimerowych wynoszą 36 mg/kg, w porównaniu do 666 mg/kg przy użyciu żywicy na bazie furanu zawierającej mniej niż 25% alkoholu furfurylowego, 249 mg/kg przy użyciu systemu niewypalonego spoiwa opartego na alkalicznej żywicy fenolowej i 252 mg/kg przy użyciu zielonego piasku. Nie odnotowano emisji WWA w przypadku stosowania nieorganicznych spoiw geopolimerowych, w porównaniu do 12 mg/kg w przypadku stosowania żywicy na bazie furanu zawierającej mniej niż 25% alkoholu furfurylowego, 5 mg/kg w przypadku stosowania systemu niewypalanego spoiwa na bazie alkalicznej żywicy fenolowej i 2 mg/kg w przypadku stosowania zielonego piasku.
- Zastosowane mieszanki piasku ze spoiwem geopolimerowym wykazują znacznie łatwiejszą odzyskiwalność w porównaniu z systemami spoiw organicznych. Odlewnie produkujące odlewy aluminiowe i nieżelazne odnotowały lepszą odzyskiwalność stosowanych mieszanek piasku ze spoiwem geopolimerowym po zalaniu. Zgłoszone wykorzystanie odzyskanego piasku wynosi 75% dla mieszanki piasku licowego i 100% dla mieszanki piasku podkładowego.
- *Krzemian estrowy:* System ten jest szeroko stosowany w produkcji odlewów stalowych z bardzo małą ilością odorów i oparów emitowanych podczas odlewania.



Uwaga: Emisje są wykreślane od początku zalewania do 60 minut po zalewaniu.
Źródło:[133. DE UBA 2014].

Rysunek 3.46: Nowe spoiwo zmniejszające emisję związków siarki (odorów i zanieczyszczeń) w odlewni stali

Oddziaływanie na procesy i środowisko Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania Stosowanie może być ograniczone ze względu na specyfikację produktu.

Ekonomika

- Stosowanie spoiw ograniczających emisję nie wymaga inwestycji.
- Koszty innowacyjnych spoiw są zazwyczaj wyższe niż koszty spoiw konwencjonalnych.

Siła napędowa wdrażania

- Wymogi prawne.
- Ograniczenie emisji lotnych związków organicznych i nieprzyjemnych odorów.

Przykładowe zakłady
Geopolimery nieorganiczne są stosowane w:

- odlewni żeliwa szarego w Czechach (od 2004 r.), w zastępstwie systemu niewypalonego spoiwa opartego na alkalicznej żywicy fenolowej;
- odlewni aluminium w Czechach (od 2014 r.);
- dużej odlewni stali w USA produkującej bloki matryc i odlewy segmentów kół zębatych o wadze do 50 ton.
- odlewni stali na Bliskim Wschodzie produkującej odlewy o wadze do 7 ton.

Literatura źródłowa
[133. DE UBA 2014], [200. Zennaro i IN. 2019], [201. Vykoukal, M. i IN. 2019], [202. Merta, V. i IN. 2021]

3.2.1.9.14 Wybór niskoemisyjnego systemu utwardzania spoiwa gazem

Opis
Wybrano system utwardzania spoiwa gazem generujący niską emisję amin, benzenu, formaldehydu, fenoli, izocyjanianów itp. Obejmuje to stosowanie:

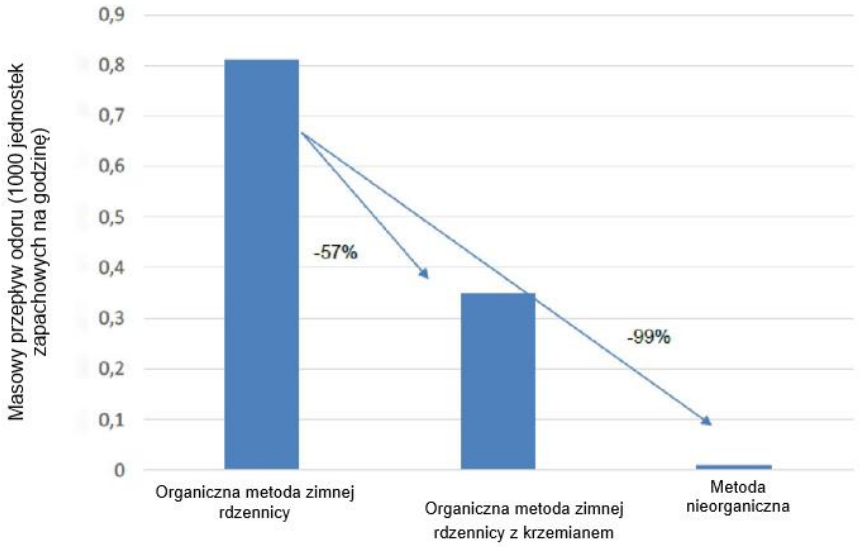
- spoiw nieorganicznych, np. krzemianu sodu (szkła wodnego) lub geopolimerów nieorganicznych na bazie polisialanów utwardzanych CO2;
- alifatycznych spoiw organicznych opartych na przykład na alifatycznych polialkoholach (zamiast aromatycznych spoiw organicznych);
- spoiw fenolowo-uretanowych o bardzo niskiej zawartości wolnego fenolu i formaldehydu;
- spoiw fenolowo-uretanowych o obniżonej zawartości rozpuszczalników.

Szczegóły techniczne

- *Spoiwa nieorganiczne - krzemian sodu (szkło wodne) katalizowany CO_2*: Nieorganiczne spoiwa na bazie krzemianu sodu mogą być utwardzane przy użyciu CO_2 (lub estrów organicznych). W przypadku stosowania wysokiego stosunku krzemianu sodu (np. 3,0% do 3,5% dodatku), czas gazowania i zużycie CO_2 są zmniejszone i obserwuje się lepszy rozkład po odlewaniu. Może jednak wystąpić zmniejszona wytrzymałość rdzenia i słabe właściwości przechowywania rdzenia. Przy zastosowaniu niższego stosunku krzemianów sodu (np. 2,0% do 2,2%) uzyskuje się lepsze przechowywanie rdzenia, ale czasy gazowania są wydłużone, a właściwości rozkładu nie są tak dobre. Często preferowana jest druga opcja.
- *Spoiwa nieorganiczne - geopolimery na bazie polisialanów utwardzane CO_2*: Geopolimery nieorganiczne mogą być stosowane w produkcji rdzeni, a nawet form, i utwardzane CO_2. Podczas procesu utwardzania zachodzi polimeryzacja geopolimeru nieorganicznego. Niektóre dodatki (przyspieszacze w postaci płynnej lub stałej) mogą być dodawane do piasku dla szybszego osiągnięcia wymaganej wytrzymałości oraz minimalizacji zużycia CO_2.
- Zazwyczaj nieorganiczne spoiwo geopolimerowe jest dodawane do piasku kwarcowego na poziomie od 2,3% do 3,0%; przyspieszacze są dodawane na poziomie od 0,5% do 0,8%, w oparciu o masę piasku.
- Alifatyczne spoiwa organiczne oparte na przykład na alifatycznych polialkoholach (zamiast aromatycznych spoiw organicznych): Więcej informacji można znaleźć w Sekcji 3.2.1.9.10.
- *Spoiwa fenolowo-uretanowe o bardzo niskiej zawartości wolnego fenolu i formaldehydu*: Opracowano nowy system spoiwa do stosowania w metodzie zimnej rdzennicy, w którym zawartość wolnego fenolu w żywicy została drastycznie zmniejszona w celu zminimalizowania emisji podczas odlewania. Spoiwo oparte na ultraniskiej zawartości wolnego fenolu składa się z dwóch części. Rozpuszczalniki stosowane w pierwszej części do rozpuszczania żywicy fenolowej nie zawierają żadnych niebezpiecznych materiałów, które musiałyby być wymienione (obowiązkowe etykietowanie) ze względu na limity narażenia w miejscu pracy. Rozpuszczalniki używane w drugiej części do rozcieńczania żywicy izocyjanianowej nadal wymagają etykietowania. Zawartość wolnego fenolu w tym spoiwie wynosi poniżej 1%, a ponadto zawartość wolnego formaldehydu wynosi poniżej 0,1%. [203, Vacelet i in. 2018]
- *Spoiwa fenolowo-uretanowe o obniżonej zawartości rozpuszczalników*: Inny system spoiwa został opracowany dla metody zimnej rdzennicy (zarówno dla odlewania żelaza, jak i aluminium), w którym rozpuszczalniki nie są faktycznie stosowane w drugiej części do rozcieńczania żywicy izocyjanianowej, zamiast tego stosowane są wybrane dodatki.

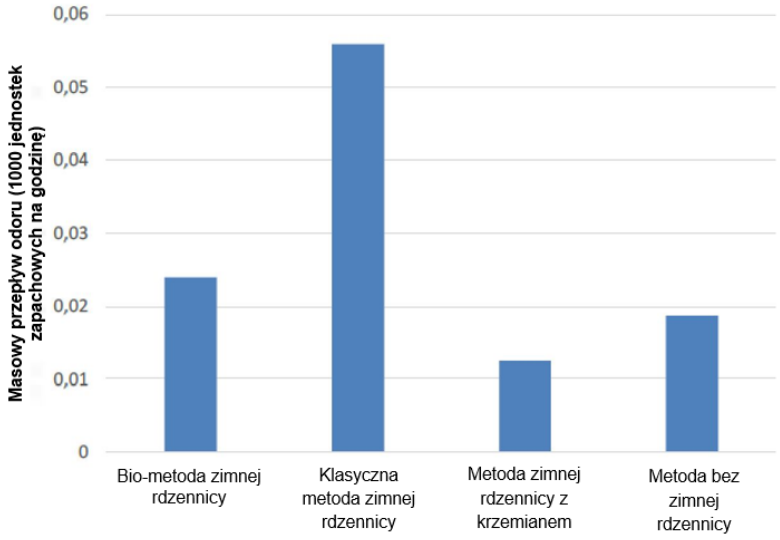
Osiągnięte korzyści dla środowiska Ograniczone emisje LZO.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Spoiwa nieorganiczne - np. na bazie krzemianu sodu lub uwodnionego krzemianu sodu: Produkcja głowic cylindrów z odlewanego stopu aluminium pokazuje, że zmiana systemu spoiwa w metodzie zimnej rdzennicy z systemu organicznego na system krzemianowy spowodowała redukcję emisji odoru o około 60%. Ponadto, gdy proces został dodatkowo zmieniony na metodę nieorganiczną opartą na uwodnionym krzemianie sodu, osiągnięto prawie całkowitą eliminację emisji odoru (-99%). Zilustrowano to na Rysunku 3.47 oraz Rysunku 3.48. Nowe systemy spoiw znacznie zmniejszyły również emisję BTX z odlewni aluminium.

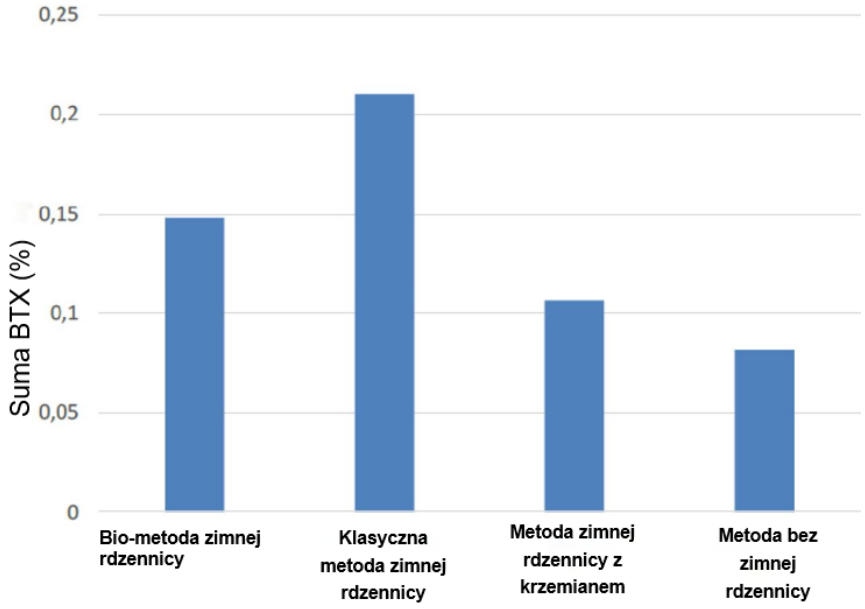


Źródło:[133. DE UBA 2014].

Rysunek 3.47: Nowe nieorganiczne systemy wiążące stosowane w odlewni aluminium - wpływ na emisję odorów w porównaniu z konwencjonalnymi organicznymi metodami zimnej rdzennicy



Rysunek 3.48: Nowe nieorganiczne systemy wiążące stosowane w odlewni aluminium - wpływ na emisję odorów w porównaniu z konwencjonalnymi organicznymi metodami zimnej rdzennicy

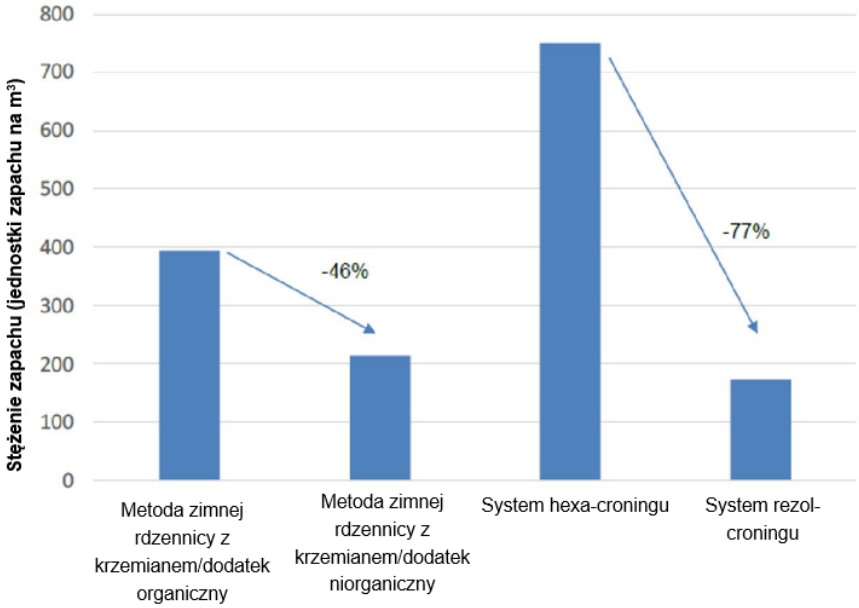


Źródło:[133. DE UBA 2014].

Rysunek 3.49: Nowe nieorganiczne systemy wiążące stosowane w odlewni aluminium - wpływ na emisję odorów w porównaniu z konwencjonalnymi organicznymi metodami zimnej rdzennicy

W przypadku zastosowania systemu krzemianowego w połączeniu z dodatkiem nieorganicznym zamiast klasycznego systemu krzemianowego z dodatkiem organicznym (dodatek mączki drzewnej), emisja odorów z produkcji korpusów przekładni w odlewni żeliwa została zmniejszona o 46% (zob. Rysunek 3.50).

Po zastąpieniu utwardzanego heksametylenotetraminą piasku do formowania skorupy utwardzanej rozpuszczalnikiem, wyniki testów wykazały redukcję emisji odorów o 77% (zob. Rysunek 3.50) w podobny sposób osiągniętą w zakładach referencyjnych Harzguss Zorge i Halberg Guss w Brebach (maski wału korbowego).



Źródło:[133. DE UBA 2014].

Rysunek 3.50: Nowy system spoiwa dla redukcji odoru i BTX w odlewni żelaza - część A

- *Spoiwa fenolowo-uretanowe o bardzo niskiej zawartości wolnego fenolu i formaldehydu*: Zastosowanie spoiw uretanowo-fenolowych o ultraniskiej zawartości wolnego fenolu w metodzie zimnej rdzennicy, szczególnie w przypadku odlewania żelaza i stali, prowadzi do zmniejszenia emisji w całym procesie produkcyjnym, począwszy od produkcji rdzeni, a skończywszy na odlewaniu. Długoterminowa analiza

wykazała zmniejszenie zużycia spoiwa o 22% w porównaniu z metodą zimnej rdzennicy i konwencjonalnym systemem spoiw oraz zmniejszenie emisji benzenu o 66% [203, Vacelet i in. 2018]

- *Spoiwa fenolowo-uretanowe* o *obniżonej zawartości rozpuszczalników*: Korzystając z tej technologii dla spoiw, zużycie rozpuszczalników zmniejsza się o jedną trzecią w porównaniu z konwencjonalną metodą zimnej rdzennicy. Prowadzi to do zmniejszenia emisji lotnych związków organicznych. Ponadto doniesiono, że zużycie aminy również zostało ograniczone. [204. Vacelet i in. 2013]

Oddziaływanie na procesy i środowisko Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania Stosowanie może być ograniczone ze względu na specyfikację produktu.

Ekonomika

- Stosowanie spoiw ograniczających emisję nie wymaga inwestycji.
- Koszty innowacyjnych spoiw są zazwyczaj wyższe niż koszty spoiw konwencjonalnych.

Siła napędowa wdrażania

- Wymogi prawne.
- Ograniczenie emisji lotnych związków organicznych i nieprzyjemnych odorów.
- Zmniejszone zużycie środków wiążących.

Przykładowe zakłady

VW-Gießerei AG Nutzfahrzeuge, Hannover Eisenwerk Brühl GmbH, Brühl
Harzguss Zorge GmbH, Zorge Edelstahlwerke Schmees GmbH, Pirna
Spoiwa fenolowo-uretanowe o bardzo niskiej zawartości wolnego fenolu: Düker GmbH, Laufach, Niemcy, odlewnia produkująca korpusy zaworów i rury ciśnieniowe do zaopatrzenia w wodę pitną oraz gaz, a także zakład DE061 w zbiorze danych SF BREF.

Literatura źródłowa

[133. DE UBA 2014], [203. Vacelet i in. 2018], [204. Vacelet i in. 2013]

3.2.1.9.15 Wybór niskoemisyjnego systemu utwardzania na gorąco

Opis

Wybrano systemu wiążącego utwardzanego na gorąco generujący niską emisję formaldehydu, fenoli, alkoholu furfurylowego, benzenu, izocyjanianów itp.

Obejmuje to stosowanie:

- spoiw nieorganicznych, takich jak geopolimery na bazie polisialanów;
- spoiw nieorganicznych utwardzanych metodą ciepłej rdzennicy bez fenolu, formaldehydu i izocyjanianów (na przykład do przygotowywania odlewów aluminiowych o złożonych kształtach);
- alifatycznych spoiw poliuretanowych w metodzie ciepłej rdzennicy: spoiwa te mogą być stosowane jako alternatywa dla metody zimnej rdzennicy bez konieczności stosowania amin do utwardzania gazem (zob. Sekcja 3.2.1.9.22).

Szczegóły techniczne

- Niskoemisyjne systemy spoiw utwardzanych na gorąco: Konwencjonalne metody gorącej rdzennicy są typowo oparte na furanach lub fenolach. Wszystkie zawierają mocznik, a zawartość wolnego formaldehydu może wynosić od 2% do 10%. Ponadto zawartość azotu w żywicach wynosi zazwyczaj od 6% do 13% i pochodzi z zastosowanych katalizatorów (np. wodnych roztworów chlorku amonu lub azotanu amonu). Dla metody gorącej rdzennicy dostępne są w handlu spoiwa o niższej zawartości wolnego formaldehydu, jednak mogą one wykazywać mniejszą reaktywność. Alternatywnie, w metodzie ciepłej rdzennicy dostępne są systemy spoiw o zawartości wolnego formaldehydu poniżej 2,5 %. Doniesiono również o nowszych spoiwach o zawartości wolnego formaldehydu poniżej 0,1 %. [205. P. R. Carey, Dokument techniczny 2021]
- Spoiwa nieorganiczne utwardzane termicznie:

  Geopolimery nieorganiczne na bazie polisialanów mogą być stosowane w seryjnej lub masowej produkcji rdzeni utwardzanych termicznie w zastosowaniach związanych z metalami nieżelaznymi. Mieszanka piasku jest wprowadzana do ogrzewanej rdzennicy, a proces utwardzania jest ułatwiony przez nadmuch gorącego powietrza o temperaturze od 100 °C do 200 °C. Zazwyczaj nieorganiczne spoiwo geopolimerowe dodaje się do piasku w ilości od 1,4% do 2,0%; dodaje się również przyspieszacz w ilości od 0,3% do 0,9% w stosunku do masy piasku.

[201. Vykoukal, M. i in. 2019]

- Zgłoszono również stosowanie spoiw nieorganicznych, które można utwardzać w metodzie ciepłej rdzennicy. Są one zazwyczaj wykorzystywane w produkcji złożonych rdzeni do odlewów aluminiowych w przemyśle motoryzacyjnym. Nie zawierają fenolu ani formaldehydu, dzięki czemu mogą znacznie zmniejszyć emisję lotnych związków organicznych. [206. V. Haanappel 2021].
- alifatyczne spoiwa poliuretanowe dla metody ciepłej rdzennicy (zob. Sekcja 3.2.1.9.22).

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Ograniczone emisje LZO.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Produkcja rdzeni przy użyciu nieorganicznych geopolimerów nie powoduje powstawania oparów ani odorów podczas zalewania, w przeciwieństwie do rdzeni produkowanych np. w technologii zimnej rdzennicy. Ponadto nieorganiczne geopolimery umożliwiają uzyskanie wyższych właściwości mechanicznych niż piaski powlekane żywicą, stosowane zazwyczaj w procesie Croninga (tj. typu fenolowo-formaldehydowego – novolak), w szczególności wyższą wytrzymałość poprzeczną (zarówno na gorąco, jak i na zimno). Kolejnym ważnym aspektem, który należy wziąć pod uwagę, jest podatność rdzeni na zapadanie się. W przypadku systemu spoiw geopolimerowych odnotowano porównywalną lub nawet lepszą podatność rdzeni na zapadanie się w porównaniu z piaskami powlekanymi żywicą stosowanymi w procesie Croninga.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Nie zgłoszono.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania.
Stosowanie może być ograniczone ze względu na specyfikację produktu.

Ekonomika
Koszt metody ciepłej rdzennicy jest znacznie wyższy niż w przypadku konwencjonalnej metody gorącej rdzennicy. W porównaniu z metodą fenolową gorącej rdzennicy cena żywic stosowanych w metodzie ciepłej rdzennicy jest dwa do trzech razy wyższa, a cena stosowanych katalizatorów może być od trzech do siedmiu razy wyższa. [205. P. R. Carey, Dokument techniczny 2021].

Siła napędowa wdrażania
- Wymogi prawne.
- Ograniczenie emisji lotnych związków organicznych i nieprzyjemnych odorów.

Przykładowe zakłady
Nie dostarczono danych.

Literatura źródłowa
[205. P. R. Carey, Dokument techniczny 2021], [201. Vykoukal, M. i in. 2019], [206. V. Haanappel 2021].

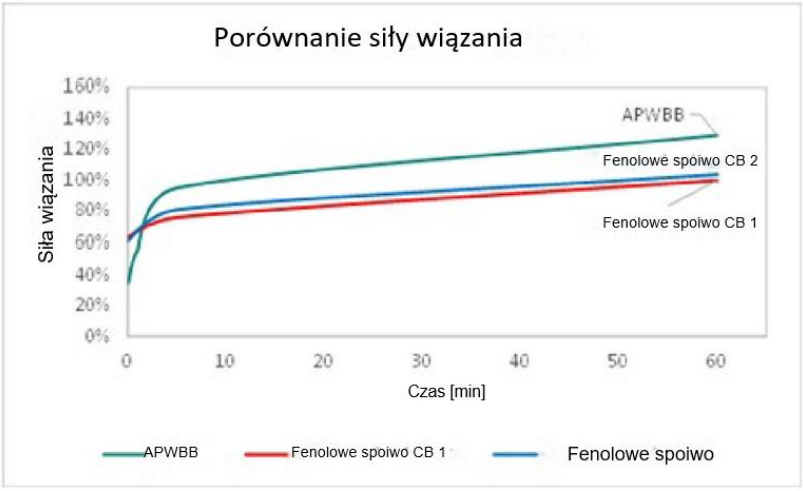
3.2.1.9.16 Alifatyczny poliuretanowy system wiązania w metodzie ciepłej rdzennicy

Opis
Zastosowanie alifatycznej żywicy poliolowej i utwardzacza zawierającego MDI (diizocyjanian metylenu). Natychmiastowe utwardzanie osiąga się poprzez impuls termiczny wytworzony przez ogrzane narzędzie do formowania rdzeni oraz przedmuchanie narzędzia do formowania rdzeni ciepłym powietrzem.

Szczegóły techniczne
Alifatyczne spoiwa poliuretanowe dla ciepłych rdzeniarek (*aliphatic polyurethane warm box binders - APWBB*) składają się z alifatycznej żywicy poliolowej i utwardzacza zawierającego MDI (diizocyjanian metylenu). Spoiwa te są stosowane w procesach szybkiej produkcji rdzeni, podobnie jak klasyczne spoiwa dla zimnych rdzennic (spoiwa CB - spoiwa konstrukcyjne). Ponieważ nie zawierają one lotnych związków organicznych, rozpuszczalników aromatycznych ani żywic fenolowych, więc podczas stosowania spoiw do produkcji rdzeni nie uwalniają się niebezpieczne składniki, takie jak BTEX i fenole. Generalnie, ładunek aromatyczny emisji w całym łańcuchu technologicznym jest znacznie niższy w porównaniu z konwencjonalnymi spoiwami CB. Szybkie utwardzanie mieszanki materiału formierskiego nie jest osiągane za pomocą toksycznego gazu aminowego, jak ma to miejsce w przypadku klasycznych systemów CB, ale za pomocą impulsu termicznego. Impuls termiczny jest wytwarzany przez podgrzewane narzędzie do formowania

rdzeni oraz wdmuchiwanie do niego ciepłego powietrza, co prowadzi do natychmiastowego utwardzenia materiału formierskiego w temperaturze około 80 °C. Dzięki zastosowaniu podgrzewanego narzędzia do formowania rdzeni proces umożliwia produkcję rdzeni z podobną częstotliwością jak w klasycznym procesie CB, bez konieczności stosowania toksycznych gazowych amin. Narzędzia do formowania rdzeni stosowane dotychczas w procesie CB mogą być nadal używane po ich modyfikacji.

APWBB zostały opracowane w celu ułatwienia produkcji rdzeni przy krótkich czasach cyklu poprzez uniknięcie stosowania toksycznych gazowych amin. Spoiwa te dodatkowo zmniejszają emisję niebezpiecznych gazów podczas odlewania, takich jak BTEX, fenole i WWA. Ponieważ wszystkie składniki utwardzacza poliuretanowego zawierają MDI, podczas odlewania przy użyciu APWBB wykrywa się również niewielką ilość emisji aromatów. Kluczowym punktem w produkcji rdzeni jest brak gazów aminowych, takich jak DMEA, DMPA lub DMIPA, co ułatwia szybkie utwardzanie piasku formierskiego w procesie z użyciem spoiw CB. Zamiast tego gazowania, podczas stosowania APWBB utwardzanie najczęściej zachodzi poprzez ogrzewanie narzędzia do formowania rdzeni i użycie gorącego powietrza do krótkotrwałego podgrzania materiału formierskiego do około 80 °C. Temperatura urządzenia i powietrza wynosi zazwyczaj powyżej 120 °C. Materiał formierski utwardza się całkowicie w ciągu 15-30 sekund. Wytrzymałość wiązania i czasy cyklu uzyskane dla konkretnego rdzenia odpowiadają w dużej mierze wartościom znanym z procesu CB (zob. Rysunek 3.52). Pod względem reakcji APWBB są równoważne fenolowym spoiwom CB.



Uwaga: APWBB: temperatura urządzenia 130 °C, temperatura powietrza 200 °C, 20 s, 2 bar; systemy stosujące spoiwa CB: 0,5 ml DMPA, 20 s, 0,5 bara
Źródło: [226. TWG 2023].

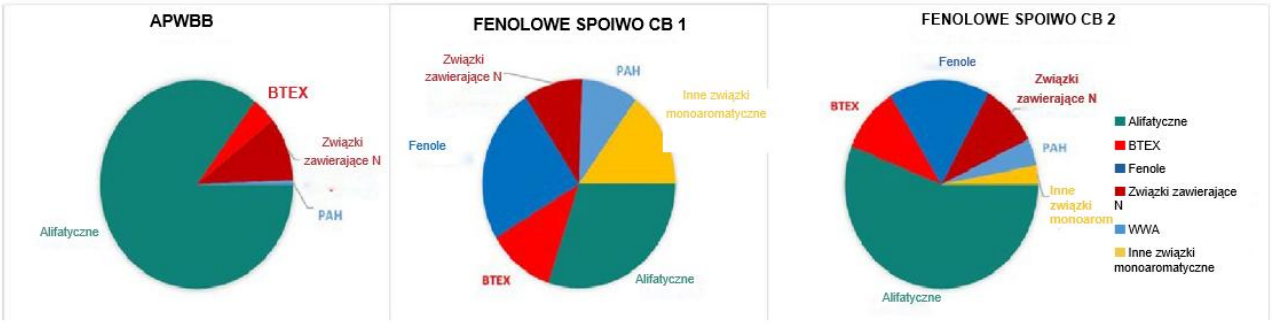
Rysunek 3.51: Porównanie zależności siły wiązania w funkcji czasu

Osiągnięte korzyści dla środowiska

Technika ta całkowicie eliminuje stosowanie gazów aminowych do utwardzania rdzeni. Gazy aminowe stosowane w procesie CB są toksyczne, łatwopalne i mają silny, nieprzyjemny odór. Dzięki APWBB nie jest konieczna intensywna wentylacja w celu odprowadzenia gazów aminowych z narzędzia do formowania rdzeni do płuczki aminowej. Pozwala to na zastąpienie spoiw CB, które zostały wprowadzone do produkcji rdzeni około 50 lat temu. Pod względem produktywności procesy formowania rdzeni o krótkich czasach cyklu są opłacalne dla utrzymania rentowności odlewni w Europie. APWBB może być stosowane w tych procesach.

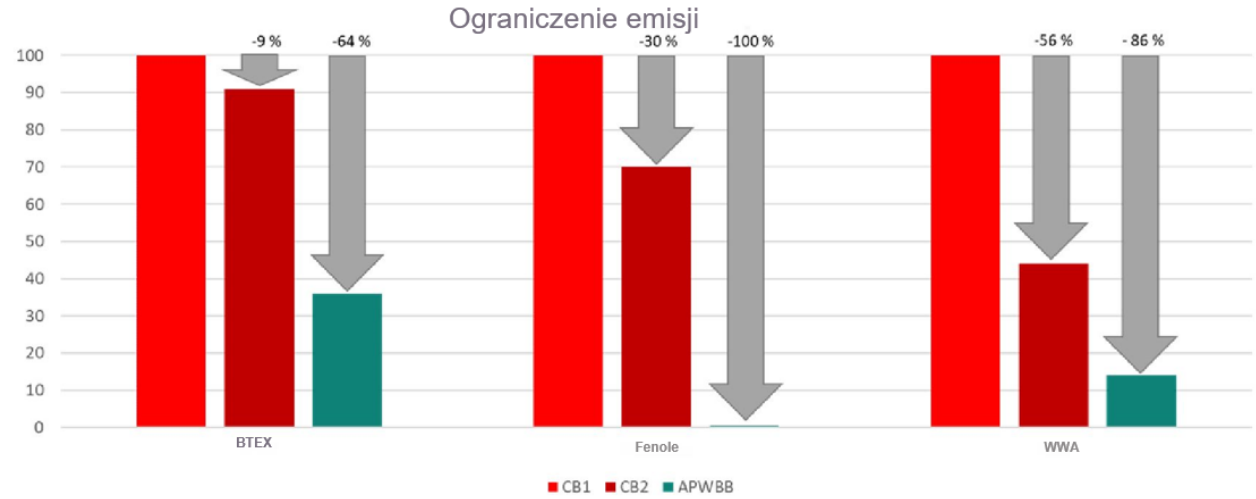
Lepszy profil emisji APWBB w porównaniu z spoiwami CB został potwierdzony nie tylko podczas odlewania, ale również w całym łańcuchu procesów. Przeprowadzono badania emisji przy użyciu laboratoryjnej pirolizy GC/MS, które wykazały zmniejszenie emisji substancji niebezpiecznych, zwłaszcza BTEX, fenoli i WWA, jak to przedstawiono na Rysunku 3.52 oraz Rysunku 3.53.

Zmniejszenie emisji z odlewni, np. BTEX, może skutkować dalszymi oszczędnościami operacyjnymi w całym łańcuchu procesowym.



Źródło: [226. TWG 2023].

Rysunek 3.52: Porównanie profili emisji dla spoiwa zmierzonych metodą pirolizy-GC/MS w temperaturze 900 °C



Źródło: [226. TWG 2023].

Rysunek 3.53: Ograniczenie emisji dla BTEX, fenoli i wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) w oparciu o poprzedni rysunek

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

APWBB są w fazie wprowadzania w kilku odlewniach i zostaną tam wdrożone w 2023 roku.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Zastosowanie APWBB pozwala uniknąć stosowania substancji toksycznych. Skutkuje to również znacznym zmniejszeniem emisji z żywic wiążących, co ułatwia całkowite wyeliminowanie toksycznych gazów aminowych podczas utwardzania form. W rezultacie w procesie produkcji rdzeni nie są już potrzebne płuczki aminowe, związane z nimi filtry ani dalsze urządzenia do oczyszczania powietrza. Dzięki uniknięciu kosztownego etapu filtracji gazów aminowych zużycie energii jest niższe w porównaniu z procesem CB. Wpływ APWBB na środowisko w zakresie emisji z formowania i odlewania oraz odzysku piasku jest mniejszy w porównaniu z spoiwami CB.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania.

Technika ogólnie stosowana.

APWBB może być stosowany do popularnych materiałów odlewniczych, takich jak aluminium, żelazo lub stal. Proces utwardzania jest podobny do procesu CB pod względem wyposażenia i zapewnia podobne krótkie czasy cyklu produkcji rdzeni. Obecnie stosowane rdzeniarki pozostają w eksploatacji. APWBB nadaje się szczególnie do zautomatyzowanej produkcji zespołów rdzeniowych. W przeciwieństwie do procesu CB nie dochodzi do wydzielania się aminy. Zastępuje ją krótkotrwałe wprowadzenie ciepła do materiału formierskiego w celu natychmiastowego utwardzenia. W tym celu należy zapewnić metalowe narzędzia, które są ogrzewane za pomocą elektrycznych wkładów grzejnych lub obiegu grzewczego zawierającego olej jako nośnik ciepła. W wielu odlewniach istnieją już obiegi ciepła wykorzystujące ciepło odpadowe z innych procesów odlewniczych. Można je z łatwością wykorzystać do ogrzewania metalowych narzędzi w procesie APWBB. Ponadto gorące powietrze wymagane w procesie utwardzania powinno mieć ciśnienie powyżej 2

barów i temperaturę 160–200°C. Zapewnia to szybkie dostarczenie ciepła do materiału formierskiego i odpowiednio krótki czas utwardzania rdzeni.

Ekonomika
Aby uniknąć inwestycji, proces APWBB został zaprojektowany tak, aby wykorzystywać istniejącą infrastrukturę techniczną rdzeniarek. Jedynie narzędzie do formowania rdzeni wymaga dostosowania pod kątem ogrzewania, elektrycznego lub za pomocą obiegu oleju grzewczego. Istniejące narzędzia do nieorganicznej produkcji rdzeni mogą być używane bez żadnych modyfikacji. Narzędzia stosujące spoiwa fenolowe CB mogą zostać zmodyfikowane lub może zostać uwzględniona ich zmiana w ramach normalnej wymiany narzędzi lub ich modernizacji. Szczegółowe jednorazowe koszty inwestycji zależą od konkretnej sytuacji w danej odlewni.
Koszty eksploatacji i konserwacji obejmują podgrzewanie formy. Ponieważ wymagany zakres temperatur jest znacznie niższy niż w przypadku spoiw nieorganicznych, ogrzewanie można łatwo zapewnić za pomocą istniejącego ciepła procesowego (odpady) w połączeniu z ogrzewanym obiegiem oleju procesowego. Alternatywnie konieczne byłoby ogrzewanie elektryczne. Potencjalne oszczędności kosztów operacyjnych wynikałyby bezpośrednio ze znacznego zmniejszenia emisji lotnych związków organicznych i braku emisji gazów aminowych podczas formowania rdzeni. W związku z tym w procesie produkcji rdzeni nie są już potrzebne, a przynajmniej można znacznie ograniczyć, zastosowanie płuczki aminowej, odpowiednich filtrów i rozbudowanego sprzętu do oczyszczania powietrza. Zmniejszona emisja podczas odlewania, a także podczas odzysku zużytego piasku, stwarza dalsze możliwości oszczędności operacyjnych.

Wyeliminowane zostaną koszty konserwacji związane z magazynowaniem gazu aminowego, tworzeniem się gazu i instalacją do jego oczyszczania. Dzięki redukcji BTEX zmniejszy się zapotrzebowanie na wentylację w całym procesie, a koszty unieszkodliwiania piasku odpadowego będą niższe ze względu na mniejszą zawartość składników toksycznych.

Na konserwację może mieć wpływ zmniejszenie częstotliwości czyszczenia narzędzi dzięki braku oddziaływania amin (korozja, lepkość). Konkretne koszty zależą od rozważanej sytuacji procesowej w odlewni.

Dzięki wyeliminowaniu aminy jako materiału procesowego możliwe będzie bezpośrednie obniżenie kosztów w wysokości całkowitych kosztów związanych z tym gazem. Ponadto zmniejszenie ryzyka związanego z bezpieczeństwem całego procesu może spowodować obniżenie wymagań w zakresie bezpieczeństwa.

W okresie transformacji pojawią się wydatki. Głównym czynnikiem kosztotwórczym jest modyfikacja rdzennic z cyklami grzewczymi. Ponieważ można to zrobić głównie równolegle z ogólnymi pracami konserwacyjnymi, nie ma potrzeby przestoju w celu wykonania dodatkowej instalacji.

Siła napędowa wdrażania
Głównymi czynnikami napędowymi będą znaczące korzyści ekonomiczne wynikające z nowego procesu, a także redukcja emisji toksycznych substancji w trakcie procesu, jak wspomniano powyżej.

Przykładowe zakłady
Wdrożenie odbywa się na podstawie specjalnej umowy z zakładami przemysłowymi z siedzibą w Niemczech.

Literatura źródłowa
[226. TWG 2023]

3.2.1.9.17 Odciąganie/ekstrakcja gazów wylotowych powstających podczas formowania i/lub produkcji rdzeni

Opis
Gazy wylotowe powstające podczas formowania i/lub produkcji rdzeni są poddawane ekstrakcji. Wybór systemu odciągania zależy od rodzaju procesu formowania/produkcji rdzeni.

1. *Formowanie rdzeni z naturalnego/zielonego piasku*: Gazy wylotowe generowane w obszarach przygotowania piasku naturalnego lub zielonego (np. transport, przesiewanie, mieszanie i chłodzenie) oraz w obszarach odlewania, zwłaszcza podczas zalewania, są odciągane. W przypadku automatycznych maszyn formierskich stosuje się odpowiednie systemy ekstrakcji do zbierania emisji (np. odciąg dachowy). W przypadku odlewania ręcznego odciąganie odbywa się jak najbliżej źródła emisji za pomocą ruchomych okapów odciągowych.
2. *Utwardzanie na zimno, utwardzanie gazem, procesy utwardzania na gorąco*: W przypadku automatycznych maszyn formierskich, do zbierania emisji stosowane są systemy odciągowe (np. stałe

okapy odciągowe, odciągi dachowe). W przypadku odlewania ręcznego odciąganie odbywa się jak najbliżej źródła emisji za pomocą ruchomych okapów odciągowych.

W przypadku, gdy ruchome okapy nie mogą być używane ze względu na rozmiar formy i/lub ograniczenia przestrzenne, stosuje się odciąg z hali odlewniczej [210. TWG 2022].
Rdzeniarki są obudowane, a gazy wylotowe są odciągane. Odciąganie (ekstrakcja) jest również stosowane podczas sprawdzania, obsługi i przechowywania świeżo wykonanych rdzeni (np. przy użyciu okapów nad stołem kontrolnym, nad obszarami obsługi czy tymczasowego przechowywania).

Szczegóły techniczne
Przygotowanie formy
Tylko kilka z różnych etapów przygotowania zielonego piasku powoduje znaczne wytwarzanie pyłu, a mianowicie przesiewacz wibracyjny, odpylanie oraz etapy procesu chłodzenia. Etapy te są wyposażone w system wychwytywania i oczyszczania pyłu. Jednostki są zabudowane i podłączone do centralnej jednostki odpylania. Konfiguracja systemu odpylania musi uwzględniać punkt rosy powietrza wylotowego oraz rodzaj pyłu.

Powietrze wylotowe z przygotowania zielonego piasku jest nasycone wodą. Dlatego systemy mokre (często typu niskociśnieniowego) wydają się być najbardziej odpowiednie do wychwytywania gazów wylotowych. System mokry jest jednak powszechnie zastępowany systemem odpylania na sucho. Zaletą tego ostatniego jest to, że część pyłu może być zawracana do obiegu i nie jest generowany strumień ścieków. Systemy mokre są dodatkowo podatne na korozję wewnętrzną oraz gromadzenie się pyłu i produktów utleniania. Oddzielanie na mokro zanieczyszczeń z wydmuchiwanego powietrza może powodować problemy z oczyszczaniem ścieków. Pył zawiera bentonit, który jest trudny do usunięcia ze względu na jego działanie zapobiegające osadzaniu się osadów. [120. TWG 2003].

Podczas stosowania filtrów tkaninowych należy zapobiegać problemom związanym z kondensacją. Kondensacja może spowodować osadzanie się kurzu, zatkanie i/lub rozerwanie filtra. Dodawanie wody chłodzącej do piasku musi odbywać się w sposób kontrolowany, aby zminimalizować tworzenie się pary. Punkt rosy przepływającego powietrza można zwiększyć poprzez ogrzewanie palnikami gazowymi.

Jedną z korzyści jest to, że zebrany pył jest suchy, dzięki czemu można go łatwo transportować. Po separacji, frakcja gruboziarnista oraz część frakcji drobnoziarnistej mogą zostać ponownie wprowadzone do mieszalnika piasku.

Produkcja rdzeni
Rodzaj zastosowanego spoiwa i utwardzacza określa rodzaj występujących emisji. Gazy wylotowe z produkcji rdzeni przy użyciu spoiw chemicznych składają się głównie z mieszaniny rozpuszczalników organicznych. Emisje fenolu, formaldehydu lub amoniaku itp. są znacznie mniejsze i zależą od rodzaju spoiwa. Mieszanie, wytwarzanie rdzeni oraz suszenie mogą być w różnym stopniu procesami zamkniętymi, w zależności od występujących emisji. Stosuje się różne techniki, specyficzne dla danego spoiwa, które omówiono w kolejnych sekcjach. Emisje LZO występują w przypadku wszystkich rodzajów piasku wiązanego chemicznie, z wyjątkiem piasków ze szkła wodnego. W przypadku spoiw samowiążących i wiążących na zimno emisje podczas mieszania są niskie, biorąc pod uwagę niskie zużycie żywicy (stosunek żywicy do piasku 1-2%). Emisje podczas utwardzania, powlekania i suszenia mogą być brane pod uwagę przy wychwytywaniu i przetwarzaniu.

Po regeneracji chemicznie związanego piasku w bębnie wytrząsającym powstaje pył. Chłodzenie i odpylanie piasku są zwykle wykonywane w suchym urządzeniu, ponieważ nie ma problemów z kondensacją wody. Nie ma możliwości recyrkulacji pyłu. [38. Vito 2001].

Osiągnięte korzyści dla środowiska Zmniejszenie emisji pyłu do powietrza.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Zobacz dane i istotne informacje w sekcjach poniżej (na temat technik ograniczania emisji) oraz w Sekcji 2.3.

Oddziaływanie na procesy i środowisko Odciąganie/ekstrakcja zużywa energię.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania Technika ogólnie stosowana.
Ekonomika
Nie dostarczono danych.

Siła napędowa wdrażania

- Regulacja emisji pyłów.
- Wymogi prawne.
- Lokalne wymagania i warunki.

Przykładowe zakłady Technika szeroko stosowana.

Literatura źródłowa
[38. Vito 2001], [120. TWG 2003], [169. TWG 2021], [210. TWG 2022]

3.2.1.9.18 Cyklon

Opis
Jest to urządzenie do usuwania pyłu ze strumienia gazów wylotowych w oparciu o działanie sił odśrodkowych, zwykle w komorze stożkowej. Cyklony są stosowane do obróbki wstępnej przed dalszym odpylaniem lub usuwaniem związków organicznych. Mogą być stosowane samodzielnie lub jako multicyklony.

Szczegóły techniczne
Cyklony są używane do usuwania pyłu, zarówno jako technika odzysku, jak i redukcji emisji.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
- Możliwy odzysk materiałów.
- Zmniejszona emisja zanieczyszczeń do atmosfery.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Cyklony mogą być używane samodzielnie, ale często stosowane są w połączeniu z innymi technikami oczyszczania gazów odlotowych.

Zgłoszone dane z pięciu zakładów (7 punktów emisji) stosujących cyklony pokazują zakres emisji pyłu od 0,4 mg/Nm^3 do 14,3 mg/Nm^3, przy czym 5 z 7 punktów emisji ma wartości niższe niż 1,5 mg/Nm^3.
[169. TWG 2021].

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Unieszkodliwianie pyłu, jeśli nie jest używany. Więcej informacji można znaleźć w dokumencie BREF CWW [179. COM 2016].

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Na ogół nie ma technicznych ograniczeń co do możliwości stosowania tej techniki. Więcej informacji można znaleźć w dokumencie BREF CWW [179. COM 2016].

Ekonomika
Cyklony to niedroga technika. Istnieje również potencjalna korzyść w postaci odzysku materiału, która zależy od stężenia pyłu w gazach odlotowych. Więcej informacji można znaleźć w dokumencie BREF CWW [179. COM 2016].

Siła napędowa wdrażania
- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady
DE029, DE039, DE064, ES082 i PT141.
Literatura źródłowa[169. TWG 2021]

3.2.1.9.19 Filtr tkaninowy

Więcej informacji na temat tej techniki znajduje się w Sekcji 3.2.1.12.7.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Filtry tkaninowe są stosowane samodzielnie lub w połączeniu z innymi technikami oczyszczania gazów odlotowych.

Zgłoszone dane z 62 zakładów (107 punktów emisji) stosujących filtry tkaninowe pokazują zakres emisji pyłu od 0,01 mg/Nm^3 do 27 mg/Nm^3 z medianą 1,27 mg/Nm^3 oraz średnią wartością 2,88 mg/Nm^3. [169. TWG 2021].

Przykładowe zakłady
Technika szeroko stosowana.

Literatura źródłowa
[169. TWG 2021]

3.2.1.9.20 Płukanie/oczyszczanie na mokro

Więcej informacji na temat tej techniki znajduje się w Sekcji 3.2.1.13.4.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Oczyszczanie na mokro jest stosowane samodzielnie lub w połączeniu z innymi technikami oczyszczania gazów odlotowych.

Zgłoszone dane z 10 zakładów (17 punktów emisji) stosujących oczyszczanie na mokro pokazują zakres emisji pyłu od 0,1 mg/Nm^3 do 27 mg/Nm^3 z medianą 0,9 mg/Nm^3 oraz średnią wartością 2,8 mg/Nm^3.[169. TWG 2021].

Przykładowe zakłady
BE028, DE039, DE043, DE062, DE064, ES082, FR114, IT132, IT155 i PT141.

Literatura źródłowa
[169. TWG 2021]

3.2.1.9.21 Adsorpcja

Zobacz Sekcja 3.2.2.2.1.12.

Więcej informacji można znaleźć w dokumencie BREF CWW [179. COM 2016].

Literatura źródłowa
[179. COM 2016]

3.2.1.9.22 Utlenianie termiczne

Opis
Technika redukcji emisji polegająca na utlenianiu palnych związków w strumieniu gazu odlotowego poprzez podgrzanie go powietrzem lub tlenem w komorze spalania do temperatury powyżej punktu samozapłonu oraz utrzymanie go w wysokiej temperaturze wystarczająco długo, aby zakończyć jego spalanie do dwutlenku węgla i wody.
Typowa temperatura spalania wynosi od 800 °C do 1 000 °C.

Stosowanych jest kilka rodzajów utleniania termicznego:

- Proste utlenianie termiczne: utlenianie termiczne bez odzyskiwania energii ze spalania.
- Rekuperacyjne utlenianie termiczne: utlenianie termiczne wykorzystujące ciepło gazów odlotowych poprzez pośredni transfer ciepła.
- Regeneracyjne utlenianie termiczne: utlenianie termiczne, w którym wchodzący strumień gazów odlotowych jest podgrzewany podczas przechodzenia przez ceramiczne złoże przed wejściem do komory spalania. Oczyszczone gorące gazy opuszczają komorę, przechodząc przez jedno (lub więcej) złoże ceramiczne (schłodzone przez napływający strumień gazów odlotowych we wcześniejszym cyklu spalania). Podgrzane złoże rozpoczyna następnie nowy cykl spalania poprzez wstępne podgrzanie nowego strumienia gazów odlotowych.

Szczegóły techniczne
Utlenianie termiczne jest stosowane jako technika redukcji emisji związków organicznych (np. całkowite LZO, benzen).

Więcej informacji można znaleźć w dokumencie BREF CWW [179. COM 2016].

Osiągnięte korzyści dla środowiska
- Zmniejszona emisja zanieczyszczeń do atmosfery.
- Możliwy odzysk energii.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Utlenianie termiczne jest stosowane samodzielnie lub w połączeniu z innymi technikami oczyszczania gazów odlotowych (np. w połączeniu z obróbką wstępną przez kondensację lub adsorpcję lub z obróbką końcową przez absorpcję). Skuteczność usuwania związków organicznych wynosi zazwyczaj od 95% do ponad 99,99%.

Zgłoszone dane z jednego zakładu stosującego utlenianie termiczne pokazują zakres emisji całkowitego LZO od 1 mg/Nm^3 do 2 mg/Nm^3. [169. TWG 2021].

Optymalizacja utleniania termicznego może zmniejszyć emisję NO_X oraz CO. Jest to realizowane przez:

- optymalizację konstrukcji utleniacza:
  - czas przebywania;
  - mieszanie się przepływów (np. naturalna dyfuzja między strumieniami turbulentnymi, zmiany kierunku przepływu);
  - komora spalania;
- monitorowanie parametrów spalania:
  - zawartość tlenu;
  - stężenie tlenku węgla; o temperatura;
- regularne sprawdzanie palników i czyszczenie ich w razie potrzeby.

Jeśli utlenione VOC zawierają siarkę i/lub halogeny, należy spodziewać się dalszych emisji dwutlenku siarki i/lub halogenków wodoru. Może to wymagać dodatkowego oczyszczania gazów odlotowych po utlenianiu termicznym (np. absorpcji).

Więcej informacji można znaleźć w dokumencie BREF CWW [179. COM 2016].

Oddziaływanie na procesy i środowisko

- Generowanie NOX oraz CO a także potencjalnie innych zanieczyszczeń (np. HCl, SO_2, PCDD/F).
- Zużycie paliwa w przypadku pracy nieautotermicznej.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

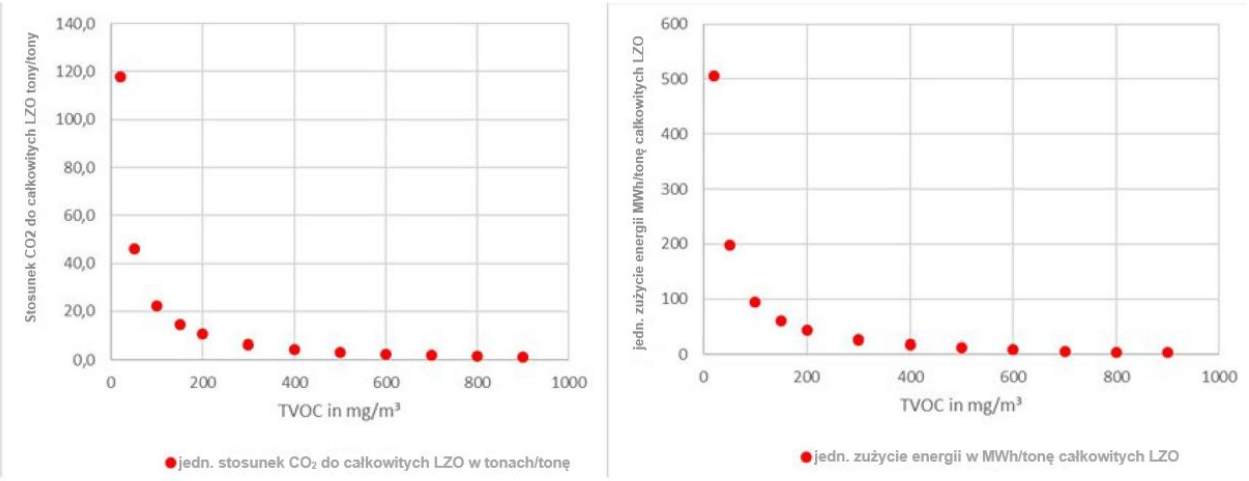
Możliwość zastosowania rekuperacyjnego i regeneracyjnego utleniania termicznego w istniejących zakładach może być utrudniona ze względu na ograniczenia projektowe i/lub operacyjne. Możliwość zastosowania może być ograniczona, gdy zapotrzebowanie na energię jest nadmierne ze względu na niskie stężenie danego związku (związków) w gazach odlotowych z procesu.

Ekonomika

Utlenianie termiczne jest stosunkowo drogie w porównaniu z innymi technikami.
Informacje o kosztach dostarczone przez producenta Dürr w odniesieniu do instalacji jednostki utleniania termicznego w funkcji przepływu masowego są następujące [210. TWG 2022]:

- 1 000 Nm^3/h: > 185.000 €;
- 5 000 Nm^3/h: > 220.000 €;
- 10 000 Nm^3/h: > 280.000 €;
- 20 000 Nm^3/h: > 400.000 €;
- 180 000 Nm^3/h: > 2 500,000 €.

Poniższy rysunek przedstawia również zależność między emisją CO_2 a zużyciem energii (MWh/t) na tonę usuniętych całkowitych LZO w zależności od ich stężenia w gazach nieoczyszczonych (mg/Nm^3).



Źródło: [210. TWG 2022].

Rysunek 3.54: Zależność między emisją CO_2, zużyciem energii na tonę całkowitych LZO w zależności od ich stężenia w gazach nieoczyszczonych

Siła napędowa wdrażania
- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady
AT013. [169. TWG 2021].

Literatura źródłowa
[210. TWG 2022], [169. TWG 2021], [179. COM 2016].

3.2.1.10 Emisje do powietrza z produkcji rdzeni i formowania z użyciem pełnych form

3.2.1.10.1 Ekstrakcja/odciąganie gazów wylotowych generowanych podczas procesów odlewania, chłodzenia i wytrząsania

Opis
Gazy wylotowe powstające podczas odlewania (zwłaszcza emisje z zalewania), chłodzenia i wytrząsania są odpowiednio odciągane.

W przypadku procesów odlewania i chłodzenia obejmuje to:

- ograniczenie procesu zalewania do ustalonego obszaru lub pozycji w celu ułatwienia wychwytywania emisji za pomocą wentylatorów i obudów (np. w przypadku zalewania seryjnego);
- obudowanie linii zalewania i chłodzenia.

W przypadku procesu wytrząsania obejmuje to:

- stosowanie paneli wentylacyjnych umieszczonych po obu stronach i z tyłu wytrząsarki;
- stosowanie obudowanych jednostek wyposażonych w otwory dachowe lub zdejmowane pokrywy (np. obudowy typu "doghouse");
- instalację punktu odciągania znajdującego się pod wytrząsarką w pojemniku na piasek.

Szczegóły techniczne
Emisje podczas odlewania, chłodzenia i wytrząsania są zróżnicowane i różnią się znacznie pod względem jakości i ilości, w zależności od odlewni. Zasadniczo powstają emisje pyłu, a także nieorganiczne i organiczne związki gazowe. Są to głównie produkty reakcji spowodowane wysoką temperaturą oraz zredukowaną atmosferą podczas wylewania i schładzania. Skład oparów przy zalewaniu jest złożony. Składają się one głównie z CO, CO_2, H_2 i metanu jako głównych przedstawicieli produktów rozkładu organicznego. W zależności od składu układu formy i rdzenia występują wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne i benzen.

Wychwytywanie i oczyszczanie gazów wylotowych z tych etapów procesu jest zazwyczaj możliwe w przypadku zautomatyzowanych instalacji do formowania i zalewania. [13. Batz, R. 1986].

Emisje względne (jako kg/t stopionego metalu) wzrastają w sekwencji zalewanie-chłodzenie-wytrząsanie. Wysiłki związane z wychwytywaniem spalin będą musiały uwzględniać tę zmienność.

Procesy odlewania i chłodzenia
Zbieranie emisji podczas zalewania, chłodzenia i wytrząsania jest z reguły bardziej intensywne, gdy zakład staje się większy.

Im bardziej proces zalewania może być ograniczony do stałego obszaru lub pozycji, tym mniejsza będzie ilość odprowadzanego powietrza i tym łatwiej będzie wychwytywać emisje za pomocą wentylatorów i obudów, a zatem oczyszczanie powietrza może być przeprowadzane bardziej efektywnie.

W przypadku zalewania seryjnego, emisja wzrasta wraz ze wzrostem wydajności produkcji. Bez odciągania powietrze w miejscu zalewania może w pewnym momencie osiągnąć niedopuszczalny poziom stężenia szkodliwych substancji. Aby zmniejszyć zanieczyszczenie w obszarze roboczym, wentylatory wyciągowe lub powierzchnie wyciągowe są montowane jak najbliżej form, ale bez utrudniania procesu zalewania. Elementy odciągowe są rozmieszczone w taki sposób, że wszystkie emisje występujące podczas zalewania są

przenoszone z obszaru roboczego do urządzeń odciągowych. Prędkość powietrza w przekroju swobodnej ekstrakcji jest utrzymywana w zakresie od 0,5 m/s do 1 m/s.

Proces wytrząsania

Technika stosowana do zbierania emisji z wytrząsarki zależy od stopnia mechanizacji, emisji przeznaczonych do odciągania oraz zakresu wielkości odlewów, w szczególności najmniejszego i największego elementu odlewanego na tej samej maszynie.

Najczęściej stosowanym systemem zbierania i ekstrakcji gazów wydechowych jest panel wentylacyjny z boku wytrząsarki. Zazwyczaj panele są instalowane po obu stronach wytrząsarki, niezależnie od jej wielkości. Jeśli to możliwe, tylna część wytrząsarki jest również obudowana w ten sposób. Często pod wytrząsarką w pojemniku na piasek znajduje się punkt odciągania działający przez wystającą rurę. Stanowi to ryzyko ekstrakcji piasku, jeśli skrzynia jest wypełniona piaskiem aż do rury. Ponadto wlot rury jest często blokowany przez grudki piasku lub przylegającą parę i pył.

Najlepszym sposobem na osiągnięcie dobrych poziomów emisji przy stosunkowo niewielkich szybkościach wentylacji jest przeprowadzanie wytrząsania w zabudowanych jednostkach. Otwory dachowe, ewentualnie z ruchomym ekranem, drzwi i zsypy wejściowe/wyjściowe umożliwiają korzystanie z dźwigu lub innych środków transportu. Ponadto zamykane kabiny zmniejszają poziom hałasu.

W automatycznych formierniach pakiet odlew-forma jest często wyciskany ze skrzynki formierskiej za pomocą podnośnika hydraulicznego z zamontowaną płytą dociskową. Następnie odlew jest oddzielany od piasku najpierw na wytrząsarce, a następnie trafia do obracającego się bębna wytrząsającego lub rury, lub chłodnicy piasku. Bębny ekstrakcyjne lub bębny rurowe, które są obecnie coraz częściej stosowane, są znacznie lepiej przystosowane do zbierania emisji niż zwykłe wytrząsarki, ale ich wadą jest możliwa emisja odoru.

Ilość odciąganego powietrza zależy nie tylko od wymaganych wartości granicznych w miejscu pracy, ale także od wymagań przetwarzania. Duże ilości powietrza mogą być wymagane do chłodzenia i ochrony filtrów workowych. Należy to zrównoważyć z wymaganiami wszelkich technik redukcji emisji zanieczyszczeń, które zwykle wymagają wysoko naładowanych gazów odlotowych o małych strumieniach objętości powietrza, aby były skuteczne.

Odpowiednimi technikami odpylania są cyklony połączone z płuczkami gazowymi mokrymi lub filtrami suchymi. Stosowane są również biofiltry, które omówiono w Sekcji 3.2.1.10.7.

W przypadku odlewania grawitacyjnego oraz odśrodkowego stosuje się dopalanie, mycie chemiczne i adsorpcję na węglu aktywnym w celu zmniejszenia emisji substancji organicznych i nieprzyjemnego odoru.

Osiągnięte korzyści dla środowiska

Procesy odlewania i chłodzenia

Ograniczenie emisji rozproszonych pyłu, CO, WWA i innych organicznych produktów rozkładu. Ekstrakcja umożliwia późniejszą obróbkę zebranych gazów wydechowych.

Dla przykładowego zakładu, o którym mowa w części *Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne* poniżej, odnotowano następujące korzyści:

- w przypadku późniejszej redukcji zapylenia (przy zakładanej skuteczności redukcji na poziomie 95 - 99% w przypadku filtra workowego), emisja rozproszona pyłu zostaje zmniejszona o około 50%;
- ograniczenie emisji hałasu o 3 - 9 dB(A), w przypadku pełnej obudowy;
- ograniczenie stężenia pyłu i CO w obszarze roboczym o około 50% lub więcej.

Proces wytrząsania

Ograniczenie emisji lotnych związków organicznych i pyłów do powietrza.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

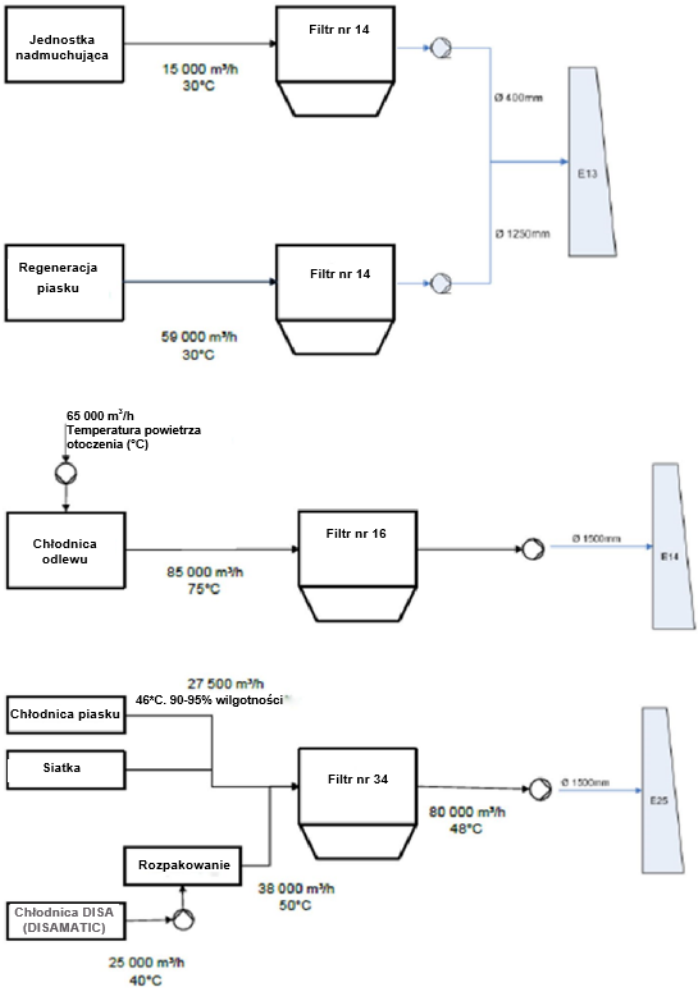
Procesy odlewania i chłodzenia

Poniższe dane odnoszą się do odlewni, która produkuje ponad 3,5 miliona części odlewanych o łącznym tonażu 33 000 ton rocznie. Zakład produkcyjny znajduje się w Gutersloh w Niemczech.

System ewakuacji jest obsługiwany w obszarze chłodzenia pierwotnego formierni bezrdzeniowej. Obszar sekcji chłodzenia wtórnego, który obejmuje oddzielanie piasku i odlewów, transport w chłodnicy odlewów i śrutowanie odlewów, został całkowicie zamknięty.

Ze śrutowania 15 000 m^3 jest ekstrahowane do filtra nr 14, a z obróbki piasku 59 000 m^3 jest odciągane do

filtra nr 22. Większość gazów wylotowych pochodzi z chłodzenia odlewu (85 000 m^3 do filtra nr 16). Z chłodzenia piasku i siatki wielokątów 27 500 m^3 oraz z chłodnicy DISA i jednostki rozpakowującej 38 000 m^3 jest ekstrahowanych do filtra nr 34.



Źródło: [143. DE 2019].

Rysunek 3.55: Przykładowy schemat procesu i przepływy objętościowe

Proces wytrząsania

W przypadku wolno stojących wytrząsarek ekstrakcyjnych o szerokości do 2 m, na każdy m^2 powierzchni wytrząsarki odciągane jest od 7 000 Nm^3/h do 9 000 Nm^3/h powietrza w przypadku jednostronnego sita wentylacyjnego. W przypadku sita dwustronnego na każdy m2 powierzchni wytrząsarki przypada 5 000 Nm^3/h. Jeśli punkt ekstrakcji znajduje się pod wytrząsarką w pojemniku z piaskiem, ilość odciąganego powietrza na m2 powierzchni wytrząsarki ma wynosić około 700 Nm^3/h.

W przykładowej polskiej odlewni wielkogabarytowych odlewów ze staliwa, nad rusztem wytrząsającym skonstruowano zdejmowaną pokrywę typu „doghouse". Składa się ona z dwóch przesuwanych na boki drzwi, które są otwierane i zamykane hydraulicznie, jak pokazano na Rysunku 3.56.Pokrywa ogranicza emisję pyłu i hałasu do hali odlewni. Wydech jest oczyszczany za pomocą suchego odpylania. Poziom hałasu podczas wytrząsania został obniżony ze 100 dBA do poniżej 85 dBA.



Źródło: [107. Metalodlew s.a. 2003]

Rysunek 3.56: Pokrywa typu „doghouse" dla rusztu wytrząsającego, dla odlewów wielkogabarytowych

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Odsysanie powietrza zużywa energię elektryczną. W przypadku ograniczania zapylenia, wyemitowany pył zebrany przez system ograniczania zapylenia musi zostać usunięty jako odpad.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Możliwość zastosowania w istniejących zakładach zamkniętych jednostek lub zdejmowanych pokryw w przypadku operacji wytrząsania może być ograniczona brakiem miejsca.

Ekonomika
Procesy odlewania i chłodzenia
W przypadku wspomnianego powyżej przykładowego zakładu, wdrożone środki techniczne w zakresie obudowy wymagały inwestycji w wysokości około 180 000 EUR w celu zmniejszenia hałasu, zapylenia i emisji CO w hali. Wysiłki związane z konserwacją okapów wyciągowych można zmniejszyć poprzez zmianę nawiewanego powietrza. Informacje na temat poziomu kosztów operacyjnych nie są dostępne.

Proces wytrząsania
Jak wspomniano powyżej, koszt inwestycji w pokrywę typu „doghouse" w polskiej odlewni wyniósł 220 000 EUR (dane z 2003 r.), wliczając w to dodatkowe wyposażenie.

Siła napędowa wdrażania
- Ograniczenie emisji rozproszonych.
- Wymogi prawne.

Przykładowe zakłady
Procesy odlewania i chłodzenia
Technika ta jest powszechnie stosowana w odlewniach wielkoseryjnych (np. Miele & Cie KG, Gütersloh, Niemcy).

Proces wytrząsania
Metalodlew s.a., Kraków (PL)

Literatura źródłowa

[14. CAEF 1997], [6. Gerber i in. 1981], [107. Metalodlew s.a. 2003], [143. DE 2019]

3.2.1.10.2 Cyklon

Więcej informacji na temat tej techniki znajduje się w Sekcji 3.2.1.9.18

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Cyklony mogą być używane samodzielnie, ale często stosowane są w połączeniu z innymi technikami oczyszczania gazów odlotowych.

Zgłoszone dane z czterech zakładów (6 punktów emisji) wykorzystujących cyklony wykazują zakres emisji pyłu od 0,01 mg/Nm^3 do 43 mg/Nm^3, przy czym 4 z 6 punktów emisji mają wartości niższe niż 2,7 mg/Nm^3. [169. TWG 2021].

Przykładowe zakłady
BE022, BE023, DE039 i PL135.

Literatura źródłowa[169. TWG 2021]

3.2.1.10.3 Filtr tkaninowy

Więcej informacji na temat tej techniki znajduje się w Sekcji 3.2.1.12.7.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Filtry tkaninowe są stosowane samodzielnie lub w połączeniu z innymi technikami oczyszczania gazów odlotowych.

Zgłoszone dane z 75 zakładów (140 punktów emisji) stosujących filtry tkaninowe pokazują zakres emisji pyłu od 0,07 mg/Nm^3 do 200 mg/Nm^3 z medianą 0,5 mg/Nm^3 oraz średnią wartością 5,31 mg/Nm^3. [169. TWG 2021].

Przykładowe zakłady Technika szeroko stosowana.

Literatura źródłowa[169. TWG 2021]

3.2.1.10.4 Płukanie (oczyszczanie) na mokro

Więcej informacji na temat tej techniki znajduje się w Sekcji 3.2.1.13.4.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Oczyszczanie na mokro jest stosowane samodzielnie lub w połączeniu z innymi technikami oczyszczania gazów odlotowych. Zgłoszone dane z pięciu zakładów (7 punktów emisji) stosujących oczyszczanie na mokro wykazują zakres emisji pyłu od 1,1 mg/Nm^3 do 84 mg/Nm^3, przy czym 4 z 6 punktów emisji wykazują poziomy emisji poniżej 17 mg/Nm^3[169. TWG 2021]

Przykładowe zakłady
CZ026, DE043, DE062 i FR115.

Literatura źródłowa[169. TWG 2021]

3.2.1.10.5 Filtr elektrostatyczny

Więcej informacji na temat tej techniki znajduje się w Sekcji 3.2.1.12.8.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Zgłoszone dane z czterech zakładów (14 punktów emisji) wykorzystujących filtry elektrostatyczne pokazują zakres emisji pyłu od 0,14 mg/Nm^3 do 7,1 mg/Nm^3 z medianą 3,35 mg/Nm3 oraz wartością średnią 3,52 mg/Nm^3.[169. TWG 2021].

Przykładowe zakłady
AT005, CZ025, DE035 i ES087.

Literatura źródłowa[169. TWG 2021]

3.2.1.10.6 Adsorpcja

Zobacz Sekcja 3.2.2.2.1.12.

Więcej informacji można znaleźć w dokumencie BREF CWW [179. COM 2016].

Literatura źródłowa[179. COM 2016]

3.2.1.10.7 Biofiltr (filtr biologiczny)

Opis

Strumień gazu wylotowego jest przepuszczany przez złoże materiału organicznego (takiego jak torf, wrzos, kompost, korzenie, kora drzew, drewno iglaste oraz ich różne kombinacje) lub materiału obojętnego (takiego jak glina, węgiel aktywny i poliuretan), gdzie jest biologicznie utleniany przez naturalnie występujące mikroorganizmy do dwutlenku węgla, wody, soli nieorganicznych i biomasy. Biofiltr jest wrażliwy na kurz, wysokie temperatury lub duże wahania składu gazu wylotowego. Konieczne może być uzupełniające podawanie składników odżywczych.

Szczegóły techniczne

Biofiltracja opiera się na zdolności drobnoustrojów żyjących w złożu filtracyjnym z włókniny do natleniania gazów o nieprzyjemnym odorze i przekształcania ich w związki bezwonne. Oczyszczany gaz jest wdmuchiwany przez wentylator przez złoże wilgotnego materiału filtracyjnego, wydostając się bezwonnie z górnej strony. Związki zapachowe są adsorbowane w fazie wodnej i rozkładane przez mikroorganizmy żyjące na materiale filtracyjnym. Dobra wydajność filtra zależy od równowagi między dostarczaniem składników odżywczych (związków do usuwania/rozkładu) a liczbą mikroorganizmów.

W odlewniach biofiltry są stosowane do usuwania gazów odorowych, które składają się głównie z amin z gazów wylotowych z procesów produkcji z użyciem zimnych rdzennic oraz do usuwania lotnych związków organicznych (np. benzenu) z gazów wydechowych z odlewni.

Parametry krytyczne dla dobrego funkcjonowania biofiltra to:

- *Przepuszczalność warstwy filtrującej*: Gazy muszą przepływać przez złoże w dobrym kontakcie z materiałem złoża filtracyjnego. Nadmiar drobnego materiału w złożu filtracyjnym może powodować zatykanie, wzrost ciśnienia i wydmuchiwanie materiału złoża.
- *Zwilżanie medium filtracyjnego*: System zraszania wodą może być zainstalowany w celu ciągłego lub przerywanego zwilżania materiału złoża.
- *Kondycjonowanie* gazów wydechowych: Gazy wydechowe muszą zostać nawilżone przed wejściem do filtra. Aby zapewnić optymalne działanie, należy utrzymywać stałą temperaturę (30 ºC). Może to wymagać wstępnego podgrzania gazów wydechowych.
- *Odpowiednie uzdatnianie wody*: Biofiltr wytwarza wodę resztkową zawierającą fenol i krezol. Jest ona oczyszczana w systemie kanalizacyjnym przed unieszkodliwianiem lub ponowną cyrkulacją. Ponowna cyrkulacja wymaga dodatkowego etapu usuwania soli.

Wprowadzenie techniki biofiltra do niemieckiej odlewni wymagało długiego okresu optymalizacji, aż do uzyskania zadowalającego działania. Stwierdzono, że następujące cechy wydają się być ważne:

- Zamknięcie złoża biofiltra pokrywą, aby zapobiec problemom związanym z CO i kondensacją w całej instalacji. Przefiltrowane powietrze jest odprowadzane przez centralny komin.
- Ścisła kontrola jakości wody (np. zawartości soli), zwłaszcza w przypadku stosowania systemu, który nie wytwarza ścieków.
- Dodanie soli odżywczych do wody zraszającej celem utrzymania aktywności podłoża.
- Kontrola wartości pH materiału złoża i dodawanie wapna celem utrzymania neutralnej wartości pH.

Unowocześniona metoda biofiltracji (z dodatkami) jest stosowana w przykładowym zakładzie (Franz Kleinken GmbH, DE), w którym działa system mikrocyklonów z płuczką biologiczną. Powietrze z pomieszczeń najpierw przechodzi przez komorę natryskową / atomizację wody w instalacji czyszczącej. Powietrze wydechowe (gaz nieoczyszczony, mieszanina powietrza i cząsteczek odoru) jest oczyszczane za pomocą mgły wodnej. Mgiełka (świeża woda z dodatkami na bazie roślinnych kwasów tłuszczowych) jest wytwarzana przez dysze wysokociśnieniowe. Substancja czynna w podłożu reaguje z częścią substancji odorowych (związków siarki) i wiąże je.

Jednocześnie woda z płuczki biologicznej jest rozpylana w strumieniu powietrza. Woda znajdująca się w obiegu zamkniętym zawiera naturalne enzymy i mikroorganizmy jako związki aktywne, które w płuczce biologicznej wytwarzają dodatkowe enzymy i rozkładają materię organiczną oraz biologiczne odory.

Enzymy zapewniają lepszy transfer cząsteczek odoru do fazy wodnej. Naturalny, ziołowy zapach w pożywce jest odpowiedzialny za zmianę odoru specyficznego dla roślin, bez zwiększania całkowitego obciążenia odorem.
W mikrocyklonie krople i substancje gazowe są oddzielane od strumienia gazu. Oddzielona faza ciekła jest zbierana i następuje biodegradacja substancji aromatycznych i mediów. Dzięki dodanym mikroorganizmom składniki organiczne są degradowane głównie do CO_2 oraz wody.
W jednostce odmgławiacza pozostałe krople są oddzielane od strumienia gazu na zasadzie osadzania odśrodkowego. Są one następnie wprowadzane do obiegu wody.

Więcej informacji na temat biofiltrów można znaleźć w dokumencie BREF CWW. [179. COM 2016].

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Redukcja emisji odorów, amin i/lub LZO z rdzeniarni i odlewni. Eliminacja benzenu i innych lotnych związków organicznych odbywa się w biofiltrach, ale nie można jej uznać za niezawodną. Skuteczność różni się znacznie w zależności od szerokiego spektrum czynników, takich jak warunki pogodowe, wiek podłoża itp. Stosowanie samych biofiltrów nie jest zatem ważne jako samodzielna technika redukcji lotnych związków organicznych. Ich głównym celem jest redukcja odoru.

W przykładowym zakładzie wspomnianym powyżej (Franz Kleinken GmbH, DE), bezpośrednie pomiary odoru nad formą odlewniczą wykazały skuteczność ograniczania odoru w zakresie od 60% do 80%. W ten sposób jakość odoru została zmieniona tak, że specyficzny dla zakładu odlewni odór nie jest już wyczuwalny. Długoterminowe pomiary olfaktometryczne przed instalacją systemu i podczas pracy instalacji (> 6 miesięcy) potwierdziły osiągnięte korzyści dla środowiska.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Dane dotyczące usuwania amin w skali pilotażowej zostały dostarczone przez Finlandię. Jednostka biofiltracyjna (średnica 0,8 m, wysokość 1 m) została zainstalowana w gazie wylotowym z produkcji rdzeni, za płuczką kwaśną. Sprzęt obejmował wentylator i jednostkę odwadniającą, za pomocą której wilgotność jednostki biofiltracyjnej została dostosowana do optymalnego poziomu. Usunięcie odoru mierzono za pomocą olfaktometru. Wyniki dla odoru i całkowitego poziomu węglowodorów podano w Tabeli 3.40. Różnice w analizie danych wejściowych wynikają ze zmienności procesu. Wyniki pokazują, że filtracja powoduje znaczną redukcję odoru i węglowodorów.

Tabela 3.40: Dane operacyjne dla biofiltracji gazów wylotowych z produkcji rdzeni metodą zimnej rdzennicy.

Związek	j.m.	Przed biofiltrem	Po biofiltrze
Odór	OU/m³	410 – 3000	150 – 310
Węglowodory ogółem	mg C/m³	20 – 35	5 – 10
OU = jednostki odoru *Źródło*: [39, Salminen i in. 1999]			

Dane dotyczące usuwania LZO na skalę przemysłową zostały dostarczone przez Niemcy. Jednostka biofiltra (specyfikacja: powierzchnia 300 m³, wysokość 1 m, w 5 prostokątnych złożach, o całkowitej przepustowości 32 330 Nm³/h suchego gazu) została zainstalowana do oczyszczania gazów wydechowych z zalewania i chłodzenia w odlewni żeliwa stosującej zielony piasek, przy użyciu rdzeni produkowanych metodą Croninga i zimnych rdzennic. Dane dotyczące emisji podano w tabeli 3.41. Pomiary olfaktometryczne wykazały średnią redukcję emisji odorów o współczynnik 94,5%.

Tabela 3.41: Dane dotyczące emisji dla biofiltracji spalin z zalewania z użyciem zielonego piasku oraz z linii chłodzenia

Parametr	j.m.	Przed biofiltrem	Po biofiltrze	Redukcja %
O_2	%	20,74		
CO_2	%	0,17		
NO_X	mg/m³	3,65		
CO	mg/m³	382	299	21,7
Benzen	mg/m³	15,80	1,44	90,9
Toluen	mg/m³	9,37	0,92	90,1
Etylobenzen	mg/m³	3,00	0,46	84,7
Ksylen	mg/m³	4,90	1,54	68,6

Parametr	j.m.	Przed biofiltrem	Po biofiltrze	Redukcja %
Formaldehyd	mg/m³	0,37	0,01	68,6
Pył	mg/m³	13,63	2,03	85,1
Amoniak	mg/m³	8,97	0,16	98,2
Fenol	mg/m³	4,67	<0,02	>99,6
Krezol	mg/m³	3,73	< 0,02	> 99,5
PCDD/F	ng/m³	0,0056	0,0041	26,8
Benzo(a)piren	mg/m³	0,0001	0,00003	70,0
Źródło: [9. Gapp, H. 1989].				

W odlewni żelaza wykorzystującej system mikrocyklonów do usuwania odoru, wytwarzane są produkty z żeliwa szarego i sferoidalnego o wadze do 30 t. Odlewnia jest podzielona na formiernię ręczną dla dużych odlewów i formiernię ręczną dla małych odlewów (o wadze do 4 ton). Obie formiernie są zaopatrywane przez własne rdzeniarnie. Proces topienia składa się z 2 pieców indukcyjnych o średniej częstotliwości napięcia zasilania i wydajności 2 ton i 4 ton oraz z 2 żeliwiaków o wydajności topienia 6 t/h.

Odciąg spalin z referencyjnego zakładu odlewniczego wynosi 25 000 m^3/h.

Podczas obsługi biofiltra jednym z głównych problemów jest zapobieganie wysychaniu lub zalaniu materiału filtracyjnego, umożliwiając w ten sposób równomierny przepływ przez złoże filtracyjne. Dlatego też biofiltry osiągają granice swojej wydajności w obecności następujących cech wywiewanego powietrza:

- silnie zmieniające się składniki powietrza wylotowego pod względem rodzaju i stężenia;
- nieciągły przepływ powietrza wylotowego;
- niestabilności termiczne i chemiczne spowodowane szczytowym obciążeniem temperaturą, pyłem, środkami dezynfekującymi, parą wodną itp. (Komentarz CAEF-315 w [210. TWG 2022]).

Ponadto wadami tych systemów są często duże wymagania przestrzenne, kosztowna energia wentylatora do zwiększania ciśnienia i konieczność stałego nawadniania.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Biofiltr wytwarza przepływ ścieków. Może on być recyrkulowany wewnętrznie po oczyszczeniu, dając osad do unieszkodliwiania.

Energia jest zużywana podczas przesyłania gazu wylotowego do i przez filtr, a także do otaczającego sprzętu.

Zgłoszono, że problemem może być emisja N_2O, gazu cieplarnianego.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Zasadniczo płuczki biologiczne mogą być stosowane w nowych i istniejących zakładach. Wymagany system operacyjny zależy od dwóch warunków: obciążenia odorem i ssania hali. Gdy zastosowanie płuczek biologicznych jest oceniane pod względem technicznym:

- planowany przepływ wody i ilość dodatków muszą być dostosowane do obciążenia odorem;
- należy wziąć pod uwagę czas pracy instalacji odlewniczej ze względu na jej wpływ na zużycie energii.

Gdy nie są generowane żadne odory (np. gdy nie jest wykonywane odlewanie lub podczas przestoju produkcyjnego), możliwe jest ręczne wyłączenie systemu. Limit czasu przestoju płuczki biologicznej nie istnieje. Instalacja może pracować nieprzerwanie przez 24 godziny na dobę.

Należy wziąć pod uwagę, że mikroorganizmy wymagają względnie stałych warunków środowiskowych.

Ekonomika
Koszty inwestycyjne jednostki biofiltra w przykładowym zakładzie Halberg Guss (specyfikacja: powierzchnia 300 m³, wysokość 1 m, w 5 prostokątnych złożach, o łącznej przepustowości 32 330 Nm³/h suchego gazu), w tym jednostki oczyszczania ścieków umożliwiającej pracę bez wytwarzania ścieków, oszacowano na 3 247 000 EUR (dane z 1998 r.). Obejmuje to 233 3000 EUR za filtr i otaczający go sprzęt oraz 914 000 EUR za wychwytywanie spalin i przewody. Przy obciążeniu projektowym wynoszącym 40 000 Nm³/h, koszty operacyjne szacuje się na 170 000 EUR/rok (koszty oparte na DEM z 1998 r.).

Te szacunkowe koszty operacyjne są znacznie wyższe niż ogólnie podane koszty inwestycyjne i operacyjne dla jednostek biofiltra. Wynika to prawdopodobnie z dużej przepustowości i zakresu otaczającego sprzętu. W artykule z 1998 r. koszt biofiltra z otwartym złożem, oczyszczającego 17 000 Nm³/h, oszacowano na 70 000 -

100 000 USD dla inwestycji, zaś roczny koszt operacyjny wody, robocizny i kosztów ogólnych na 15 000 - 25 000 USD.

W przypadku drugiego przykładowego zakładu, Franz Kleinken GmbH (biofiltracja z wykorzystaniem domieszek), koszt inwestycyjny systemów klimatyzacji, takich jak ekstrakcja powietrza w pomieszczeniach i techniki czyszczenia pomieszczeń, wynosi od 150 000 do 200 000 EUR. W ocenie ekonomicznej należy wziąć pod uwagę, czy ekstrakcja/odciąganie powietrza i techniki czyszczenia w pomieszczeniach, które i tak mogą być konieczne, muszą zostać przeprojektowane na potrzeby systemu płuczki biologicznej. Koszty operacyjne płuczki biologicznej wynoszą od 6 do 10 EUR za godzinę pracy (dane z 2013 r.).

Siła napędowa wdrażania
- Ograniczenie uciążliwych skutków (głównie odorów) dla sąsiednich lokalizacji.
- Wymogi prawne.

Przykładowe zakłady
Halberg Guss, Saarbrücken-Brebach, DE. Metallwerk Franz Kleinken GmbH, DE.

Literatura źródłowa
[9. Gapp, H. 1989], [39. Salminen i in. 1999], [100. TWG 2002], [106. Devinny, J. S. 1998], [143. DE 2019], [179. COM 2016], [210. TWG 2022]

3.2.1.11 Emisje do powietrza z odlewania metodą traconej pianki

3.2.1.11.1 Ekstrakcja gazów wylotowych generowanych metodą traconej pianki jak najbliżej źródła emisji

Opis
W procesie odlewania metodą traconej pianki gazy wylotowe z formowania i pirolizy spienionego polimeru podczas zalewania i wytrząsania są ekstrahowane na przykład za pomocą obudowy lub okapu.

Dalsze informacje i dane dotyczące emisji w procesie odlewania metodą traconej pianki można znaleźć w Sekcji 2.2.5.9.1 oraz Sekcji 3.2.1.4.3.9.

Więcej informacji na temat procesu odlewania w skorupie ceramicznej można znaleźć w Sekcji 3.2.1.4.3.10.

3.2.1.11.2 Utlenianie katalityczne

Opis
Jest to technika redukcji emisji polegająca na utlenianiu palnych związków w strumieniu gazów odlotowych za pomocą powietrza lub tlenu w złożu katalizatora. Katalizator umożliwia utlenianie w niższych temperaturach i w mniejszych urządzeniach w porównaniu do utleniania termicznego. Typowa temperatura utleniania wynosi od 200 °C do 600 °C.

Literatura źródłowa[179. COM 2016]

3.2.1.11.2.1 Utlenianie katalityczne gazów wylotowych w procesie odlewania metodą traconej pianki

Opis
Gazy wylotowe z procesu odlewania metodą traconej pianki są wychwytywane (przy użyciu próżni) i oczyszczane za pomocą katalitycznego dopalania.

Szczegóły techniczne
Do oczyszczania gazów odlotowych w metodzie traconej pianki stosuje się wychwytywanie gazów odlotowych z wykorzystaniem podciśnienia i katalitycznego układu dopalania. Opis metody traconej pianki znajduje się w Sekcji 2.2.5.9.1.

W katalitycznym utleniaczu termicznym (*catalytic thermal oxidiser - CTO*) spalane są lotne zanieczyszczenia organiczne. Katalizator zmniejsza ilość energii potrzebnej do rozbicia zanieczyszczeń. Gaz nieoczyszczony obciążony zanieczyszczeniami jest doprowadzany do wymienników ciepła CTO przez wentylator procesowy. W tym przypadku gaz nieoczyszczony jest wstępnie podgrzewany przez gorący gaz oczyszczony. W razie potrzeby dmuchawa podgrzewa gaz wydechowy w komorze spalania, aż do osiągnięcia temperatury zapłonu katalizatora. W katalizatorze zanieczyszczenia zawarte w nieoczyszczonym gazie są przekształcane głównie w CO_2 i H_2O. Po przejściu przez katalizator, czysty gaz kierowany jest do rur wymiennika ciepła. W celu wyrównania stężeń gazów można zastosować zbiornik wyrównawczy.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Zaletą dopalania jest redukcja emisji zanieczyszczeń organicznych (BTEX, całkowite LZO).

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Dla przykładowego zakładu (GussStahl Lienen GmbH & Co. KG, Lienen, Niemcy) zgłoszono następujące dane operacyjne:

- procesy odlewania: Metoda traconej pianki i formowanie bez wypalania;
- 1 300 t do 1 600 t (500 t odlewów z metody traconej pianki) rocznie, odlewy stalowe, stal żaroodporna;
- waga jednej części: 1 kg do 1 t;
- zwrot: 15 mln EUR;
- Liczba pracowników: 75;
- praca dwuzmianowa.

System katalitycznego dopalania ma następujące cechy:

- wydajność: 1 300 Nm3/h;
- system oczyszczania powietrza działa około 15 minut dziennie; katalizator jest podgrzewany przez cały dzień;
- po zalaniu przez kilka sekund występuje emisja; system wentylacji działa przez minutę.

Tabela 3.42: Dane operacyjne dotyczące dopalania

Związek	**Emisje, bez dopalania**	**Emisje, z dopalaniem**
Benzen	596 mg/m³; 320 g/h	0,04 mg/m³; 0,047 g/h
Toluen	129 mg/m³; 70 g/h	nie zmierzono
Etylobenzen	23 mg/m³; 13 g/h	nie zmierzono
Ksylen	43 mg/m³; 23 g/h	nie zmierzono
Styren	863 mg/m³; 466 g/h	nie zmierzono
Metakrylan metylu	2 157 mg/m³; 1 165 g/h	nie zmierzono
Całkowity węgiel organiczny	nie zmierzono	95 mg/m³, 0.111 kg/h
Parametry		
Ciśnienie powietrza	1 000 hPa	988 mbar
Przepływ gazu	540 m3/h	1 167 m3/h
zawartość H_2O	21 g/m³	25,6 g/m³
zawartość O_2	-	18,9 % obj.
Temperatura gazu	24°C	nie zmierzono
Temperatura katalizatora	nie zmierzono	394 do 626 °C
Temperatura czystego gazu	nie zmierzono	255 do 370 °C
Temperatura palnika	nie zmierzono	420 do 437 °C
Źródło:[133. DE UBA 2014].		

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Zużycie 400 m3 gazu ziemnego miesięcznie.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Dopalanie może być stosowane w nowych i istniejących instalacjach. Jest ono korzystne w przypadku gazów wydechowych o stosunkowo wysokiej zawartości substancji organicznych, np. po zalewaniu w procesie stosującym metodę traconej pianki.

Ekonomika
- Koszty inwestycyjne dla instalacji dopalania katalitycznego: 250 000 EUR.
- Koszty bieżące (konserwacja itp.) - instalacja dopalania: 5 000 EUR/rok.

Siła napędowa wdrażania
Redukcja emisji i zgodność z niemieckimi przepisami TA Luft.

Przykładowe zakłady
GussStahl Lienen GmbH & Co. KG, Lienen, Niemcy.
Inni użytkownicy procesu stosującego metodę traconej pianki z dopalaniem: BMW AG, Landshut, Niemcy.
Zakład FR115: Odlewnia aluminium Stellantis, Charleville Mezieres, Francja.

Literatura źródłowa[133. DE UBA 2014]

3.2.1.11.3 Filtr tkaninowy

Więcej informacji na temat tej techniki znajduje się w Sekcji 3.2.1.12.7.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Filtry tkaninowe są stosowane samodzielnie lub w połączeniu z innymi technikami oczyszczania gazów odlotowych.

Zgłoszone dane z jednego zakładu (4 punkty emisji) wykorzystującego filtry tkaninowe pokazują zakres emisji pyłu od 0,22 mg/Nm^3 do 1,24 mg/Nm^3. [169. TWG 2021].

Przykładowe zakładyIT129.
Literatura źródłowa
[169. TWG 2021]

3.2.1.11.4 Adsorpcja

Zobacz Sekcja 3.2.2.2.1.12.

Więcej informacji można znaleźć w dokumencie BREF CWW [179. COM 2016].

Przykładowe zakłady
Badanie przeprowadzone przez rząd kraju Basków w dwóch odlewniach w Hiszpanii wykorzystujących metodę traconej pianki wykazało znaczną emisję lotnych związków organicznych, w szczególności benzenu, toluenu i styrenu. Emisje te występowały w szczególności podczas procesów formowania i odlewania w wyniku rozkładu termicznego spienionego polistyrenu. W obu odlewniach emisje nie były odpowiednio ekstrahowane i oczyszczane przed uwolnieniem do atmosfery. W związku z tym w tych dwóch odlewniach wprowadzono środki naprawcze, instalując skuteczne systemy odciągowe i ograniczające emisję, w tym adsorpcję za pomocą węgla aktywnego. [181. Rząd kraju Basków 2019]

Literatura źródłowa
[179. COM 2016], [181. Rząd kraju Basków 2019].

3.2.1.11.5 Utlenianie termiczne

Zobacz Sekcja 3.2.1.13.4.

Literatura źródłowa
[179. COM 2016]

3.2.1.11.6 Płukanie (oczyszczanie) na mokro

Zobacz Sekcja 3.2.1.13.4.

3.2.1.12 Emisje do powietrza z procesu odlewania w odlewniach wykorzystujących formy trwałe

3.2.1.12.1 Ogólne techniki odlewania grawitacyjnego i niskociśnieniowego

Opis
Obejmuje techniki takie jak:
- dobór odpowiedniego środka smarnego, aby zapobiec wadom powierzchni odlewów;
- zoptymalizowane przygotowanie i stosowanie smaru w celu uniknięcia nadmiernego zużycia.

Szczegóły techniczne
Środek antyadhezyjny (smar) stosowany w procesie odlewania ciśnieniowego odgrywa bardzo ważną rolę w zapobieganiu przywierania stopionego metalu do matrycy. Powinien również ułatwiać uwalnianie i późniejsze wyjmowanie odlewu z matrycy, bez żadnych zmian w rozmiarze lub strukturze odlewu.

Zasadniczo środek antyadhezyjny musi zachować swoje główne właściwości po kontakcie ze stopionym metalem. Główne zasady, które należy wziąć pod uwagę przy wyborze materiału smarnego to:
- umożliwienie bezproblemowego wydobycia odlewu z matrycy (np. w kształcie i wyglądzie powierzchni odlewu);

- zapobieżenie przyspawaniu stopionego metalu do matrycy;
- ułatwienie przepływu stopionego metalu do matrycy i wypełnienie wszystkich wgłębień; • pozostawienie matrycy czystej (bez żadnych pozostałości).

Równie ważne jest przygotowanie smaru (np. rozcieńczenie wodą) i metoda aplikacji (np. rozpylanie).

Osiągnięte korzyści dla środowiska
- Zoptymalizowana wydajność materiałowa.
- Zmniejszenie zużycia smarów i wody.
- Ograniczenie powiązanych emisji do powietrza i wody.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Stosowanie smarów ma różny wpływ na środowisko, np. zużycie energii do rozpylania wody i smaru, wytwarzanie odpadów ze względu na niski procent mieszaniny smarów, która ostatecznie osadza się na powierzchni matrycy, emisje LZO i niebezpiecznych zanieczyszczeń do powietrza w wyniku rozkładu smarów pod wpływem ciepła matrycy.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika
Nie dostarczono danych.

Siła napędowa wdrażania
- Oszczędności w zużyciu materiałów i wody.
- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady Technika szeroko stosowana.

Literatura źródłowa
[184. Watkins i in. 2013]

3.2.1.12.2 Ogólne techniki stosowane w odlewaniu wysokociśnieniowym

Opis
Obejmuje techniki takie jak:

- odpowiednie smarowanie matrycy i tłoków przy użyciu wodnych emulsji np. olejów silikonowych, olejów estrowych, wosków syntetycznych;
- minimalizacja zużycia środka antyadhezyjnego i wody poprzez optymalizację procesu natryskiwania, np. stosowanie mikrorozpylania do nanoszenia środków antyadhezyjnych (zob. również Sekcja 3.2.1.4.3.2).

Szczegóły techniczne
Zasadniczo, środki antyadhezyjne są mieszaniną smaru i materiału nośnego. Preparaty mogą również zawierać dodatki hamujące korozję, zwiększające stabilność podczas przechowywania i odporność na degradację bakteryjną. Materiały smarne to zazwyczaj oleje mineralne i woski w emulsjach wodnych. Oleje silikonowe i woski syntetyczne znajdują coraz szersze zastosowanie. W celu uniknięcia emisji lotnych związków organicznych preferowane są środki smarne na bazie wody, a nie rozpuszczalników.

Prawidłowe smarowanie matryc i trzpieni ma zasadnicze znaczenie dla udanego odlewania wysokociśnieniowego. Prawidłowe smarowanie matrycy ma pozytywny wpływ na wszystkie poniższe elementy:

- jakość odlewu, gęstość i wykończenie powierzchni;
- łatwość wypełniania wnęk i wyjmowania odlewów.

Odpowiednie smarowanie może również przyspieszyć tempo odlewania, zmniejszyć wymagania konserwacyjne i ograniczyć gromadzenie się materiału na powierzchni matrycy.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Zobacz *Szczegóły techniczne* powyżej.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Nie dostarczono danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika
Nie dostarczono danych.

Siła napędowa wdrażania
- Lepsza jakość produktu.
- Zmniejszona emisja lotnych związków organicznych.
- Wymogi prawne.

Przykładowe zakłady Technika szeroko stosowana.

Literatura źródłowa
[18. US EPA 1998], [42. IHOBE 1998], [175. COM 2021]

3.2.1.12.3 Optymalizacja parametrów procesu dla odlewania odśrodkowego i ciągłego

Opis
W odlewaniu odśrodkowym ważne parametry procesu, takie jak obroty formy, temperatura zalewania i temperatura podgrzewania formy, są optymalizowane (np. za pomocą symulacji przepływu) w celu zmniejszenia liczby wad i zminimalizowania emisji.

W odlewaniu ciągłym szybkość i temperatura odlewania są zoptymalizowane, a do końcowego krzepnięcia stosuje się bezpośrednie chłodzenie wodą.

Szczegóły techniczne
W odlewaniu odśrodkowym zestaw ważnych parametrów procesu musi zostać zoptymalizowany w celu uzyskania najlepszej możliwej jakości produktu (np. uzyskanie minimalnej porowatości). Parametry te obejmują:

- materiał;
- temperaturę zalewania;
- temperaturę wstępnego podgrzewania;
- obroty formy.

Temperatura zalewania formy może być uważana za najważniejszy parametr wpływający na jakość komponentów odlewanych odśrodkowo. Oprogramowanie symulacyjne może być również wykorzystywane do symulacji gęstości odlewania i wizualizacji wyników odlewanych produktów.

W przypadku odlewania ciągłego głównym wyzwaniem jest ciągłe odlewanie bez przerw i bez wielu rodzajów wad. Kontrola krzepnięcia ma kluczowe znaczenie dla jakości powierzchni i wnętrza odlewu. Ważne parametry kontrolne podczas krzepnięcia obejmują skład chemiczny stali, prędkość odlewania, poziom formy, proszek w formie, oscylację formy, temperaturę ciekłej stali i warunki chłodzenia wtórnego, a także parametry wpływające na zjawiska przepływu w formie. Zaawansowane systemy sterowania oparte na wielu czujnikach umożliwiają zoptymalizowaną pracę z przewidywaniem jakości on-line.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Efektywność materiałowa i energetyczna dzięki produkcji odlewów z mniejszą liczbą defektów (minimalizacja wytwarzania złomu na terenie zakładu).

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Nie dostarczono danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika
Nie dostarczono danych.

Siła napędowa wdrażania
Lepsza jakość produktu z mniejszą liczbą wad.

Przykładowe zakłady
Technika szeroko stosowana.

Literatura źródłowa
[185. Seetharaman 2014]

3.2.1.12.4 Oddzielne natryskiwanie środka antyadhezyjnego i wody w odlewaniu wysokociśnieniowym

Zobacz Sekcja 3.2.1.4.3.1.

3.2.1.12.5 Stosowanie środków antyadhezyjnych niezawierających wody w odlewaniu wysokociśnieniowym

Opis
Bezwodne środki antyadhezyjne (np. w postaci proszku) są nakładane na matrycę za pomocą osadzania elektrostatycznego.

Szczegóły techniczne
Minimalna ilość suchego smaru - około 0,3 - 0,5 grama na każdy kilogram wtryskiwanego aluminium - jest nakładana elektrostatycznie na formę w każdym cyklu produkcyjnym (zużycie obliczono przy temperaturze formy 250 °C). Podczas wchodzenia w kontakt z gorącą formą, elektrostatycznie rozprowadzany suchy smar topi się, i ulega rozprowadzeniu do najgłębszych części formy. W ten sposób tworzy się wysoce wydajny film antyadhezyjny, bez tworzenia resztkowej grubości i formacji węglowych, które są typowe dla systemów smarowania na bazie wody.
Główne zalety systemu suchego smarowania to:

- Lepsza jakość odlewów. Brak wody z procesu smarowania drastycznie ogranicza powstawanie wodoru, który powoduje porowatość odlewu.
- Brak wytwarzania ścieków.
- Brak wytwarzania mgły olejowej.
- Drastycznie zmniejszone ssanie.
- Skrócenie czasu cyklu: smarowanie produktami na bazie wody zwykle zajmuje 10-15% czasu cyklu. Dwie trzecie procesu smarowania przeznaczone jest na proces suszenia formy, który nie jest już konieczny w przypadku stosowania smarowania bez użycia wody. Szacowana ogólna oszczędność czasu jest rzędu 7-10%.
- Dłuższa żywotność form dzięki eliminacji szoków termicznych, a tym samym drastycznemu zmniejszeniu rozszerzalności matryc, a więc powstawaniu pęknięć. Ponadto stop pozostaje gładszy.

Osiągnięte korzyści dla środowiska

- Brak generacji ścieków oraz mgły olejowej.
- Zmniejszone zużycie energii dzięki mniejszej ilości natryskiwanego środka smarnego i mniejszej potrzebie przedmuchiwania powietrzem, aby zapewnić, że w trudno dostępnych miejscach matrycy nie pozostanie woda.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Zobacz *Szczegóły techniczne* powyżej.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika
Nie dostarczono danych.

Siła napędowa wdrażania

- Wydajność operacyjna.
- Brak generacji ścieków oraz mgły olejowej.

Przykładowe zakłady
Nie są dostępne szczegółowe informacje na temat zakładów stosujących bezwodne systemy smarowania. Bezwodne systemy smarowania są dostępne na rynku od różnych dostawców.

Literatura źródłowa
[186. Odlewnia (czasopismo) 2021], [193. Neto i in. 2009]

3.2.1.12.6 Ekstrakcja gazów wylotowych generowanych w procesie odlewania jak najbliżej źródła emisji

Opis
Gazy wylotowe powstające w procesie odlewania w odlewniach stosujących formy trwałe, w tym odlewanie wysokociśnieniowe / niskociśnieniowe / grawitacyjne, odśrodkowe i ciągłe, są odciągane za pomocą obudów lub okapów ekstrakcyjnych i przesyłane do systemu ograniczania emisji.

Szczegóły techniczne
Stosowanie głównie środków antyadhezyjnych na bazie wody generuje emisje do powietrza (głównie w postaci mgły) o niskim stężeniu produktów rozkładu. Emisje te są zbierane za pomocą obudów lub okapów wyciągowych i przesyłane do systemu redukcji emisji.
Osiągnięte korzyści dla środowiska
Redukcja emisji środków antyadhezyjnych zawierających związki organiczne. Zapobieganie emisjom rozproszonym.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Dane operacyjne z przykładowego zakładu podano w Tabeli 3.43. Dane te odnoszą się do środka antyadhezyjnego mieszalnego z wodą (współczynnik rozcieńczenia 1:40), opartego na polimerze syntetycznym i polisiloksanie. Każda maszyna odlewnicza jest wyposażona w oddzielną pokrywę ssącą i punkt emisji. Gorące i oczyszczone powietrze jest wdmuchiwane z powrotem do hali (np. w celu odzysku ciepła).

Tabela 3.43: Dane dotyczące emisji oczyszczonego za pomocą elektrofiltru gazu wylotowego w procesie odlewania wysokociśnieniowego

Związek	Wartości zmierzone co 30 minut (mg/Nm3)	Masa - przepływ (g/h)
Pył	1,5 – 4,3	5,5
Substancje organiczne (wartości w węglu całkowitym) (mg/m3)	4 – 6	9
Źródło: [100. TWG 2002].		

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Wychwytywanie i zbieranie mgły wymagają zużycia energii.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika
Ekstrakcja gazów wylotowych wiąże się ze zużyciem energii.

Siła napędowa wdrażania
- Wymogi prawne.
- Minimalizacja emisji rozproszonych oraz przepisy dotyczące emisji mgły olejowej (np. w Szwecji).
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady
Technika szeroko stosowana. W zbiorze danych SF następujące zakłady zgłosiły tę technikę:

- Odlewanie ciągłe: DE072.
- Odlewanie grawitacyjne i odlewanie z przechylną formą: AT013, EL080, FR112, FR114 i IT127.

- Odlewanie wysokociśnieniowe: AT005, AT014, ES087, FR116, IT122, IT123, IT133 oraz SE148.

Literatura źródłowa
[100. TWG 2002], [120. TWG 2003], [169. TWG 2021]

3.2.1.12.7 Filtr tkaninowy

Opis
Filtry tkaninowe, często określane jako filtry workowe, są zbudowane z porowatej tkaniny lub filcu, przez który przepuszczane są gazy w celu usunięcia cząstek. Zastosowanie filtra tkaninowego wymaga doboru tkaniny odpowiedniej do charakterystyki gazów odlotowych i maksymalnej temperatury roboczej.

Szczegóły techniczne
Ten typ separatora jest szeroko stosowany w różnych częściach procesu odlewniczego ze względu na jego dobrą wydajność i niskie wartości emisji. Może osiągnąć dobrą skuteczność w kontrolowaniu drobnych cząstek stałych występujących w procesach topienia. Oddzielane mogą być również cząstki submikronowe, takie jak tlenki metali. Aby zapewnić prawidłowe działanie, należy podjąć następujące środki: chłodzenie gazów spalinowych (T = 130 - 160 ºC) i oddzielanie iskier (za pomocą cyklonu). W przypadku gazów odlotowych o wysokiej zawartości LZO można zastosować dopalanie materiałów organicznych (w celu zmniejszenia ryzyka pożaru). Spalanie wtórne jako "zapora ogniowa" dla ochrony filtra workowego zostało zgłoszone w niektórych przypadkach dla gazów odlotowych z rozpakowywania beczek. Technika ta nie jest powszechnie stosowana; zamiast tego strumienie gazów odlotowych o dużym zapyleniu są mieszane ze strumieniami gazów o zwiększonej zawartości LZO, aby zapobiec zaklejeniu filtra i kanałów wylotowych. Widok wewnętrzny i zewnętrzny jednostki filtra workowego przedstawiono na Rysunku 3.57.



Źródło: [132. HUT 2003].

Rysunek 3.57: Filtry workowe; widok od wewnątrz (L) i z zewnątrz (C, R)

Osiągnięte korzyści dla środowiska Ograniczenie emisji do powietrza.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Filtry tkaninowe są stosowane samodzielnie lub w połączeniu z innymi technikami oczyszczania gazów odlotowych.

Zgłoszone dane z trzech zakładów stosujących filtry tkaninowe pokazują zakres emisji pyłu od 0,2 mg/Nm^3 do 3,4 mg/Nm^3, przy czym wszystkie wartości z wyjątkiem jednej są niższe niż 1,2 mg/Nm^3. [169. TWG 2021].

Zobacz także *Szczegóły techniczne* powyżej. Więcej informacji można znaleźć w dokumencie BREF CWW [179. COM 2016].

Oddziaływanie na procesy i środowisko
- Zużycie energii.
- Unieszkodliwianie pyłu, jeśli nie jest używany.

Więcej informacji można znaleźć w dokumencie BREF CWW [179. COM 2016].

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.
Więcej informacji można znaleźć w dokumencie BREF CWW [179. COM 2016].

Ekonomika
Informacje znajdują się w dokumencie BREF CWW [179. COM 2016].

Siła napędowa wdrażania

- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady
EL080, IT133 i SE148.

Literatura źródłowa
[132. HUT 2003], [169. TWG 2021], [179. COM 2016].

3.2.1.12.8 Filtr elektrostatyczny (ESP)

Opis
Filtry elektrostatyczne (elektrofiltry, ESP) działają w taki sposób, że cząstki są ładowane i oddzielane pod wpływem pola elektrycznego. Elektrofiltry mogą pracować w szerokim zakresie warunków. Skuteczność oczyszczania może zależeć od liczby pól, czasu przebywania (wielkości) i urządzeń do usuwania cząstek, które zazwyczaj obejmują od dwóch do pięciu pól, ale mogą zawierać do siedmiu pól w przypadku najbardziej zaawansowanych elektrofiltrów. Elektrofiltry mogą być typu suchego lub mokrego, w zależności od techniki stosowanej do zbierania pyłu z elektrod. Mokre elektrofiltry są zwykle stosowane na etapie polerowania w celu usunięcia pozostałości pyłu i kropelek po płukaniu (oczyszczaniu) na mokro.

Szczegóły techniczne
Filtr elektrostatyczny jest stosowany do usuwania pyłu, zarówno jako technika odzyskiwania, jak i ograniczania emisji. Skuteczność usuwania pyłu wynosi zazwyczaj od 97% do ponad 99%. [179. COM 2016].

Więcej informacji można znaleźć w dokumencie BREF CWW [179. COM 2016].

Osiągnięte korzyści dla środowiska
- Zmniejszona emisja zanieczyszczeń do atmosfery.
- Możliwy odzysk materiałów.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Filtry elektrostatyczne są stosowane samodzielnie lub w połączeniu z innymi technikami oczyszczania gazów odlotowych.

Zgłoszone dane z dwóch zakładów (4 punkty emisji) wykorzystujących elektrofiltry pokazują zakres emisji pyłu od 1,3 mg/Nm^3 do 5.3 mg/Nm^3. [169. TWG 2021].

Oddziaływanie na procesy i środowisko
- Zużycie energii.
- Unieszkodliwianie pyłu, jeśli nie jest używany.

Więcej informacji można znaleźć w dokumencie BREF CWW [179. COM 2016].

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.
Więcej informacji można znaleźć w dokumencie BREF CWW [179. COM 2016].

Ekonomika
Więcej informacji można znaleźć w dokumencie BREF CWW [179. COM 2016].

Siła napędowa wdrażania
- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady
AT005 i ES087. [169. TWG 2021].
Literatura źródłowa
[169. TWG 2021], [179. COM 2016]

3.2.1.12.9 Utlenianie termiczne

Zobacz Sekcja 3.2.1.9.21.

3.2.1.12.10 Płukanie (oczyszczanie) na mokro

Zobacz Sekcja 3.2.1.13.4.

3.2.1.13 Emisje do powietrza z wykańczania odlewów

3.2.1.13.1 Ekstrakcja (odciąganie) gazów wylotowych generowanych podczas wykańczania jak najbliżej źródła emisji

Opis

Gazy wylotowe powstające podczas operacji wykończeniowych, takich jak usuwanie zadziorów, cięcie ścierne, oczyszczanie odlewów, śrutowanie, spawanie, dłutowanie, igłowanie, są odpowiednio ekstrahowane przy użyciu np.:

- zamknięcie obszaru wykańczania;
- wentylacji dachowej lub dachów w kształcie kopuły;
- sztywnych lub regulowanych okapów wyciągowych;
- ramion odciągowych.

Szczegóły techniczne

Znaczne ilości oparów muszą być wychwytywane i odciągane podczas stosowania technik separacji termicznej. Obszar roboczy może być maksymalnie zamknięty, ale musi zapewniać swobodę ruchu i dopływ wdychanego powietrza do pracownika. Techniki zbierania pyłu podczas cięcia i szlifowania ściernego są rozróżniane między maszynami stacjonarnymi i ręcznymi. Sztywne osłony są zwykle stosowane w maszynach stacjonarnych, częściowo w połączeniu z częściowymi obudowami.

W przypadku szlifierek stacjonarnych ściśle ograniczony strumień ścierniwa trafia do leja wyciągowego i jest odsysany. W przypadku stacji cięcia ścierniwem rozsądne jest dodatkowe odciąganie emisji z kabiny w interesie zdrowia i bezpieczeństwa pracowników. Emisje z maszyn ręcznych są czasami usuwane przez zamocowane na nich worki do gromadzenia emisji. Jest to skuteczna, ale niepopularna metoda, ponieważ zwiększa wagę urządzenia i utrudnia jego obsługę. Zazwyczaj szlifierki i przecinarki ręczne są umieszczone w kabinach (tj. częściowych obudowach).

Zbieranie pyłu odbywa się za pomocą ścian odciągowych, kopuł dachowych, ruchomych okapów lub stanowisk roboczych z odciągiem. Skuteczną pomocą przy zbieraniu emisji są kurtyny gorącego powietrza, które kierują dodatkowe powietrze do kabiny. Dodatkowe powietrze może być oczyszczonym powietrzem z odzysku w celu zaoszczędzenia energii grzewczej. Należy jednak zauważyć, że część świeżego powietrza nadal będzie musiała być dostarczana z zewnątrz.

Zbieranie pyłu lub zanieczyszczeń w większości przypadków nie jest konieczne np. w przypadku piłowania, ubijania, ściskania, kucia, tłoczenia i frezowania. Sita mogą być czasami używane do ochrony operatora przed szorstkimi cząstkami. Spawanie dzieli się na procesy z materiałami dodatkowymi i bez nich. Dla większości procesów istnieją przepisy dotyczące ochrony pracy wymagające zainstalowania odciągów.

Zgrubne oszacowanie poziomów emisji w zależności od zastosowanej techniki wykańczania przedstawiono w poniższych akapitach.

- *Śrutowanie:* Śrutowanie generuje dużo pyłu. Wychwytywanie gazów odlotowych jest bezproblemowe ze względu na całkowite umieszczenie procesu śrutowania w zamkniętej kabinie. Zwyczajowe procesy dekontaminacji powietrza wylotowego to mycie na mokro i filtry suche, zwykle z cyklonem jako filtrem wstępnym.
- *Szlifowanie ślizgowe, bębnowanie:* Oba procesy nie wymagają redukcji emisji w normalnych warunkach. Aerozole, które mogą tworzyć się w szybko poruszających się bębnach, można pominąć.
- *Cięcie:* Wszystkie procesy separacji termicznej generują emisje. Wychwytywanie spalin osiąga się poprzez odgrodzenie miejsca pracy i intensywne odsysanie powstających oparów. Ważne jest, aby umieścić elementy wychwytujące jak najbliżej źródła emisji, ale bez utrudniania procesu operacyjnego. W niektórych przypadkach korzystne okazało się połączenie ruchomego ramienia do odciągu bezpośredniego i dodatkowego odciągu kabinowego. Dzięki starannemu rozmieszczeniu elementów odciągowych, powietrze wypełnione pyłem może być kierowane z dala od obszaru oddychania pracownika. Typowe procesy dekontaminacji powietrza wylotowego to oczyszczanie na mokro i filtry suche. Należy zauważyć, że systemy są skonfigurowane dla mniejszych rozmiarów ziaren emitowanych oparów. Separatory bezwładnościowe są stosowane jako separatory wstępne.
- *Cięcie ścierne*: Stacjonarne instalacje do cięcia ściernego są poddawane odciąganiu/ekstrakcji gazów. Zwyczajowymi procesami dekontaminacji powietrza wylotowego są cyklony, oczyszczanie na mokro i filtry suche

- *Piłowanie, ubijanie, ściskanie*: Te procesy obsługi powodują niewielką emisję i nie wymagają w normalnych warunkach środków redukcji.
- *Kucie, igłowanie*: W tych procesach powstają głównie gruboziarniste cząstki, które są trudne do usunięcia poprzez ekstrakcję. Ze względów bezpieczeństwa prace wykonywane są głównie w kabinach. W szczególnych przypadkach, np. podczas usuwania spalonego piasku, wytworzony pył może być odsysany przez ramię odciągowe. Powietrze wylotowe podlega dekontaminacji w cyklonach, filtrach mokrych i suchych.
- *Szlifowanie*: Wychwytywanie emisji podczas szlifowania na maszynach stacjonarnych odbywa się w podobny sposób, jak w przypadku cięcia ściernego, tj. za pomocą stałych tuneli, do których kierowany jest strumień emisji ze szlifowania. Zamknięte miejsce pracy jest używane do ręcznego szlifowania i cięcia ściernego. Następnie w obudowie można zastosować ściany odciągowe. Procesy dekontaminacji powietrza obejmują cyklony, mycie na mokro i filtry suche.
- *Tłoczenie, frezowanie*: Te procesy obsługi powodują niewielką emisję i nie wymagają w normalnych warunkach środków redukcji.
- *Spawanie, zgrzewanie*: Większa lub mniejsza emisja występuje w zależności od rodzaju wybranego procesu spawania, który zwykle najlepiej jest zbierać za pomocą ramion odciągowych. Do oczyszczania powietrza wylotowego stosuje się filtry mokre i suche, a czasami filtry elektrostatyczne.

Jak wskazano w poniższej tabeli, niektóre techniki wykańczania mogą nie generować pyłu i w konsekwencji mogą nie wymagać systemu zbierania gazów odlotowych.

Tabela 3.44: Stosowanie technik wychwytywania pyłu w różnych operacjach wykańczania

	Wentylacja dachowa	Dach w kształcie kopuły	Sztywny kaptur	Regulowany kaptur	Obudowa
Cięcie ścierne			x	x	x
Wypalanie	x	x	x	x	x
Dłutowanie, igłowanie	Zbieranie gazów odlotowych rzadko jest konieczne				
Oczyszczanie odlewów		x	x	x	x
Frezowanie	Brak konieczności zbierania gazów odlotowych				
Ubijanie, ściskanie	Brak konieczności zbierania gazów odlotowych				
Piłowanie	Brak konieczności zbierania gazów odlotowych				
Szlifowanie ślizgowe	x	x	x	x	x
Śrutowanie					x
Wytłaczanie	Brak konieczności zbierania gazów odlotowych				
Zgrzewanie	x		x	x	x
Źródło: [14. CAEF 1997], [120. TWG 2003]					

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Ograniczenie emisji rozproszonych cząstek metalicznych i pyłu.
Oddziaływanie na procesy i środowisko
Zbieranie i usuwanie zapylonych gazów odlotowych zużywa energię.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika
Ekstrakcja gazów wylotowych wiąże się ze zużyciem energii.

Siła napędowa wdrażania
- Przepisy dotyczące emisji pyłów oraz bezpieczeństwa i higieny pracy.
- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady
Technika ta jest stosowana w zdecydowanej większości europejskich odlewni.

Literatura źródłowa
[14. CAEF 1997], [79. Assofond 2002], [169. TWG 2021]

3.2.1.13.2 Cyklon

Zobacz Sekcja 3.2.1.9.18

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Cyklony mogą być używane samodzielnie, ale często są stosowane w połączeniu z innymi technikami oczyszczania gazów odlotowych (np. w połączeniu z oczyszczaniem końcowym poprzez absorpcję lub filtrację). Skuteczność usuwania pyłu wynosi zazwyczaj od 90% do ponad 99%. [179. COM 2016].

Zgłoszone dane z siedmiu zakładów (14 punktów emisji) wykorzystujących cyklony pokazują zakres emisji pyłu od 0,2 mg/Nm^3 do 11,6 mg/Nm^3 z medianą 3mg/Nm^3. [169. TWG 2021].

Przykładowe zakłady
ES087, ES089, ES090, IT071, PL135, PT139 i PT139 [169. TWG 2021].

Literatura źródłowa
[14. CAEF 1997], [79. Assofond 2002], [169. TWG 2021], [179. COM 2016].

3.2.1.13.3 Filtr tkaninowy

Więcej informacji na temat tej techniki znajduje się w Sekcji 3.2.1.12.7.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Filtry tkaninowe są stosowane samodzielnie lub w połączeniu z innymi technikami oczyszczania gazów odlotowych.

Zgłoszone dane z 79 zakładów (192 punkty emisji) stosujących filtry tkaninowe pokazują zakres emisji pyłu od 0,02 mg/Nm^3 do 62,3 mg/Nm^3 z medianą 1,1 mg/Nm^3 i średnią wartością 2,8 mg/Nm^3.[169, TWG 2021].

Przykładowe zakłady
Technika szeroko stosowana. Zdecydowana większość zakładów, które zgłosiły emisje z wykańczania, zgłosiła stosowanie filtrów tkaninowych jako techniki oczyszczania gazów wylotowych. [169. TWG 2021].
Literatura źródłowa
[169. TWG 2021], [179. COM 2016]

3.2.1.13.4 Płukanie (oczyszczanie) na mokro

Opis
Usuwanie zanieczyszczeń gazowych lub cząstek stałych ze strumienia gazu poprzez przeniesienie masy do ciekłego rozpuszczalnika, często wody lub roztworu wodnego. Może to obejmować reakcję chemiczną (np. w płuczce kwaśnej lub alkalicznej). W niektórych przypadkach związki mogą być odzyskiwane z rozpuszczalnika. Obejmuje to płuczki Venturiego.

Szczegóły techniczne
Płuczki gazowe mokre są zwykle używane do usuwania rozpuszczalnych w wodzie związków organicznych i nieorganicznych, a także pyłu. Płuczki alkaliczne są zwykle używane do usuwania kwaśnych gazów, takich jak chlorowodór, fluorowodór i siarkowodór, podczas gdy płuczki kwaśne są zwykle używane do usuwania amoniaku.

Płuczki gazowe mokre są najczęściej stosowane jako technika redukcji emisji, choć czasami są również wykorzystywane do odzyskiwania gazowych związków organicznych (np. benzenu), a także pyłu. W większości przypadków stosuje się płuczki z wypełnieniem oraz wieże natryskowe. Więcej informacji można znaleźć w dokumencie BREF CWW [179. COM 2016].

Osiągnięte korzyści dla środowiska
- Zmniejszona emisja zanieczyszczeń do atmosfery.
- Możliwy odzysk materiałów.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Oczyszczanie na mokro jest stosowane samodzielnie lub w połączeniu z innymi technikami oczyszczania gazów odlotowych.

Zgłoszone dane z trzech zakładów (6 punktów emisji) stosujących oczyszczanie na mokro wskazują na zakres emisji pyłu od 0,2 mg/Nm^3 do 35,6 mg/Nm^3, przy czym 4 z 6 punktów emisji wykazują poziomy emisji poniżej 1 mg/Nm3 [169. TWG 2021]

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Absorpcja generuje zużyty płyn płuczący, który zwykle wymaga dalszej obróbki lub unieszkodliwienia. Więcej informacji można znaleźć w dokumencie BREF CWW [179. COM 2016].

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana. Zastosowanie absorpcji jest uzależnione od dostępności odpowiedniego płynu płuczącego. Więcej informacji można znaleźć w dokumencie BREF CWW [179. COM 2016].

Ekonomika
Absorpcja jest stosunkowo niedroga w porównaniu z innymi technikami, np. utlenianiem termicznym. Istnieje również potencjalna korzyść z odzysku materiałów, która zależy od stężenia danego związku w gazach odlotowych. Więcej informacji można znaleźć w dokumencie BREF CWW [179. COM 2016].

Siła napędowa wdrażania
- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady
CZ025, DE035 i DE036. [169. TWG 2021].

Literatura źródłowa
[169. TWG 2021], [179. COM 2016]

3.2.1.14 Emisje do powietrza z regeneracji i odzyskiwania piasku

3.2.1.14.1 Stosowanie paliwa lub mieszanki paliw o niskim potencjale tworzenia NO_X

Więcej informacji na temat tej techniki znajduje się w Sekcji 3.2.1.7.4.

3.2.1.14.2 Stosowanie paliwa lub mieszanki paliw o niskiej zawartości siarki

Więcej informacji na temat tej techniki znajduje się w Sekcji 3.2.1.7.5.

3.2.1.14.3 Ekstrakcja (odciąganie) gazów wylotowych generowanych podczas odzyskiwania jak najbliżej źródła emisji

Opis
Gazy wylotowe powstające podczas regeneracji piasku są ekstrahowane na przykład za pomocą obudowy lub okapu. Obejmuje to ekstrakcję gazów spalinowych generowanych z pieców ze złożem fluidalnym, pieców obrotowych lub pieców wielopaleniskowych itp. wykorzystywanych do termicznej regeneracji piasku.

Szczegóły techniczne
Więcej informacji na temat zastosowanej techniki regeneracji piasku znajduje się w Sekcji 3.2.1.4.4.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
- Ograniczenie emisji do powietrza.
- Możliwy odzysk materiałów.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Więcej informacji na temat zastosowanej techniki regeneracji piasku znajduje się w Sekcji 3.2.1.4.4.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Ekstrakcja gazów wylotowych zużywa energię.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika
Nie dostarczono danych.

Siła napędowa wdrażania
- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady
Technika szeroko stosowana. Zdecydowana większość zakładów uczestniczących w gromadzeniu danych SF

zgłosiła tę technikę. [169. TWG 2021].

Literatura źródłowa[169. TWG 2021]

3.2.1.14.4 Cyklon

Więcej informacji na temat tej techniki znajduje się w Sekcji 3.2.1.13.2.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Cyklony mogą być używane samodzielnie, ale często stosowane są w połączeniu z innymi technikami oczyszczania gazów odlotowych.

Zgłoszone dane z sześciu zakładów (8 punktów emisji) wykorzystujących cyklony wskazują na zakres emisji pyłu od 0,04 mg/Nm^3 do 19,4 mg/Nm^3 z medianą wynoszącą 1,54 mg/Nm^3 i średnią wartością 2,9 mg/Nm^3 [169. TWG 2021].

Przykładowe zakłady
BE023, BE028, DE028, DE039, FR109, PT139 i PT141. [169. TWG 2021].

Literatura źródłowa
[169. TWG 2021], [179. COM 2016]

3.2.1.14.5 Filtr tkaninowy

Więcej informacji na temat tej techniki znajduje się w Sekcji 3.2.1.12.7.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Filtry tkaninowe są stosowane samodzielnie lub w połączeniu z innymi technikami oczyszczania gazów odlotowych.

Zgłoszone dane z 75 zakładów (118 punktów emisji) stosujących filtry tkaninowe pokazują zakres emisji pyłu od 0,03 mg/Nm3 do 103,3 mg/Nm^3 z medianą 1,7 mg/Nm^3, średnią wartością 4,6 mg/Nm^3, 90. percentylem 16,36 mg/Nm^3 oraz 10.percentylem 0,29 mg/Nm^3.[169. TWG 2021].

Przykładowe zakłady
Technika szeroko stosowana. Zdecydowana większość zakładów zgłosiła użycie filtra tkaninowego jako techniki oczyszczania gazów wylotowych. [169. TWG 2021].

Literatura źródłowa
[169. TWG 2021], [179. COM 2016]

3.2.1.14.6 Płukanie (oczyszczanie) na mokro

Więcej informacji na temat tej techniki znajduje się w Sekcji 3.2.1.13.4.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Oczyszczanie na mokro jest stosowane samodzielnie lub w połączeniu z innymi technikami oczyszczania gazów odlotowych.

Zgłoszone dane z czterech zakładów (8 punktów emisji) stosujących oczyszczanie na mokro pokazują zakres emisji pyłu od 0,61 mg/Nm^3 do 27 mg/Nm^3 z medianą 2,9 mg/Nm^3 i średnią wartością 7,18 mg/Nm^3.[169. TWG 2021].

Przykładowe zakłady
CZ026, DE043, DE062 i FR114. [169. TWG 2021].
Literatura źródłowa
[169. TWG 2021], [179. COM 2016]

3.2.1.14.7 Utlenianie termiczne

Więcej informacji na temat tej techniki znajduje się w Sekcji 3.2.1.3.2.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Zgłoszone dane z jednego zakładu wykorzystującego regeneracyjne utlenianie termiczne wskazują na poziom emisji całkowitych LZO wynoszący 12 mg/Nm^3. [169. TWG 2021].

Zobacz także Sekcja 3.2.1.9.21.

Przykładowe zakłady
AT011. [169. TWG 2021].

Literatura źródłowa
[169. TWG 2021], [179. COM 2016]

3.2.1.15 Odór

Emisje odorów są związane głównie z procesami wykorzystującymi spoiwa piaskowe. Rzeczywiste zapachowe produkty pirolizy mogą się różnić w zależności od rodzaju zastosowanego systemu, ale generalnie fenolowe produkty rozkładu, tj. krezole i ksylenole, są najczęstszym źródłem skarg na odór, ze względu na ich bardzo niskie progi wykrywania zapachu. Dyspersja odorów podczas odlewania, chłodzenia i wytrząsania wiąże się z mieszaniem z dużymi ilościami powietrza, co utrudnia ich zbieranie i oczyszczanie. Zastosowanie spoiw nieorganicznych, takich jak krzemian sodu, może znacznie zmniejszyć emisje. Obecnie nie jest znana żadna całkowicie skuteczna, sprawdzona metoda eliminacji odoru generowanego przez odlewnie. Najczęstsze podejście polega na zapewnieniu dobrej wentylacji (zob. 3.2.1.15.4) oraz szybkość wymiany powietrza, która zapewnia sprawne i skuteczne rozpraszanie emisji do atmosfery. Środki zintegrowane z procesem obejmują techniki zastępowania (zob. Sekcja 3.2.1.9). Techniki końca rury omówiono w Sekcji 3.2.1.10.

3.2.1.15.1 Plan zarządzania odorami

Opis
Plan zarządzania odorami (*odour management plan - OMP*) jest częścią systemu zarządzania środowiskowego (EMS) instalacji (zob. Sekcja 3.1.1.1) i obejmuje elementy mające na celu zapobieganie lub ograniczanie uciążliwości odorowych.

Szczegóły techniczne
OMP obejmuje następujące elementy:

- Protokół zawierający odpowiednie działania i harmonogramy.
- Protokół prowadzenia monitorowania odorów. Może być uzupełniony pomiarem/szacowaniem ekspozycji na odory (np. zgodnie z normą EN 16841-1 lub -2) lub szacowaniem wpływu odorów.
- Protokół reagowania na zidentyfikowane incydenty związane z odorami (w tym zarządzanie skargami: identyfikacja przeprowadzonych operacji, warunki pogodowe, takie jak temperatura, kierunek wiatru, opady deszczu, komunikacja z władzami i skarżącym itp.)
- Program zapobiegania i ograniczania uciążliwości odorowej mający na celu identyfikację źródeł, pomiar/oszacowanie narażenia na uciążliwość odorową, scharakteryzowanie wpływu źródeł oraz wdrożenie środków zapobiegawczych i/lub ograniczających.

W odlewniach istnieje szereg rozproszonych źródeł emisji, które mogą powodować uciążliwości odorowe. Zazwyczaj emisje pochodzą z kilku etapów procesu, takich jak topienie, zwłaszcza żeliwiaki, ale także piece indukcyjne, formowanie podczas etapów zalewania i chłodzenia formy, produkcja rdzeni, zwłaszcza system "gorącej rdzennicy" i piece do utwardzania rdzeni, odlewanie, odlewanie ciśnieniowe w hutach aluminium, wytrząsanie i obszary odzysku piasku. Odory są spowodowane rozproszonymi emisjami organicznych substancji chemicznych, które są stosowane jako spoiwa w procesie formowania i wytwarzania rdzeni, jako środki do obróbki powierzchni lub inne dodatki. Poza tym, odory mogą również pochodzić z rozkładu tych chemikaliów, gdy stopiony metal jest wlewany do form. Istnieje bardzo duża liczba preparatów wiążących, ale typowe formuły zawierają fenol, furan, formaldehyd, uretan i czasami olej. W produkcji rdzeni niektóre preparaty wymagają użycia katalizatorów amin trzeciorzędowych. Inne dodatki mogą obejmować węgiel, zboża, skrobię, glinę i minerały ogniotrwałe. Ze względu na dużą liczbę możliwych rozproszonych źródeł emisji, konieczne jest ustanowienie w odlewniach kompleksowych środków, które pomogą zapobiegać i minimalizować emisje odorów.

Potencjalny wpływ emisji nieprzyjemnych zapachów pochodzących z zakładu należy ocenić na podstawie charakteru, wielkości i częstotliwości pracy oraz odległości sąsiadów od zakładu. Zidentyfikowane źródła emisji nieprzyjemnych zapachów można dodatkowo scharakteryzować poprzez ilościowe pomiary stężenia odorów, natężenia przepływu, temperatury, wilgotności, analizy chemicznej i pH.

Przetestowano środki redukcji, odpowiednie technologie redukcji i innowacyjne technologie oczyszczania w celu zmniejszenia dużych ilości emisji odorów powstających w odlewniach. Testowane technologie obejmowały regeneracyjne utlenianie katalityczne (RCO), regeneracyjne utlenianie termiczne (RTO), koncentrator i system RTO, biofiltrację i adsorpcję. Wyniki pokazują, że RTO, RCO, biofiltracja

i dwustopniowy proces adsorpcji są odpowiednimi technologiami redukcji emisji dla odlewni, przy czym utlenianie ma największą skuteczność oczyszczania. Filtry biologiczne (biofiltry) okazały się najbardziej opłacalnym systemem, gdy w emisjach występują niskie stężenia zapachów. [218. COM 2014].

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Zapobieganie lub ograniczanie emisji odorów, które mogą być uciążliwe i wykrywalne poza granicami terenu.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Nie dostarczono danych.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Możliwość stosowania tej techniki jest ograniczona do przypadków, w których uciążliwość odorowi dla obiektów wrażliwych jest spodziewana i/lub została uzasadniona.

Ekonomika
Nie dostarczono danych.

Siła napędowa wdrażania
- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady
Nie dostarczono danych.

Odniesienie literatura [218, COM 2014].

3.2.1.15.2 Okresowy monitoring odorów

Opis
Odór można monitorować za pomocą:

- normy EN (np. olfaktometria dynamiczna zgodnie z EN 13725 w celu określenia stężenia zapachu i/lub EN 16841-1 lub -2 w celu określenia ekspozycji na zapach);
- metod alternatywnych (np. szacowania wpływu odoru), dla których nie są dostępne normy EN. W takim przypadku można zastosować normy ISO, krajowe lub inne normy międzynarodowe, które zapewniają dostarczanie danych o równoważnej jakości naukowej.

Częstotliwość monitorowania jest określona w planie zarządzania odorami.

Szczegóły techniczne
Techniki monitorowania odorów obejmują:

- do określania stężenia odorów (wyrażonego w ouE/m^3, do kontrolnych wartości granicznych): olfaktometrię dynamiczną (pomiar zgodnie z normą europejską EN 13725);
- w przypadku odorów w otaczającym powietrzu: metoda siatki (zgodnie z normą europejską EN 16841-1) lub metoda smugi (zgodnie z normą europejską EN 16841-2) celem określenia narażenia na odory;
- w przypadku odczuwania odorów w otoczeniu instalacji (wpływ): badania odorów (patrz mapowanie intensywności odorów i koła odorów (koła zapachowe));
- elektroniczne nosy (e-nosy).

Aby określić stężenie odoru, należy pobrać próbkę powietrza. Techniki pobierania próbek są podobne do tych stosowanych do pomiaru poszczególnych związków. Techniki monitorowania odorów opisano w dokumentach ROM i CWW BREF.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Osiągniętą korzyścią dla środowiska jest minimalizacja emisji nieprzyjemnych odorów.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Zobacz ROM i CWW BREF.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Możliwość stosowania tej techniki jest ograniczona do przypadków, w których uciążliwość odorowa dla obiektów wrażliwych jest spodziewana i/lub została uzasadniona.

Ekonomika
Zobacz ROM i CWW BREF.

Siła napędowa wdrażania
Siłą napędową wdrożenia są przepisy i skargi pojawiające się w pobliżu instalacji/miejsca instalacji.

Przykładowe zakłady
Emisje odorów zostały zgłoszone przez trzy zakłady (w sumie 5 punktów emisji): DE041, DE062 i IT127. [169. TWG 2021].

Literatura źródłowa
[169. TWG 2021], [174. COM 2018], [179. COM 2016].

3.2.1.15.3 Zastępowanie chemikaliów zawierających rozpuszczalniki na bazie alkoholu lub rozpuszczalniki aromatyczne

Opis
- Obejmuje techniki takie jak:
- stosowanie powłok na bazie wody;
- stosowanie alternatywnych rozpuszczalników w produkcji rdzeni z użyciem zimnych rdzennic.

Szczegóły techniczne
Więcej informacji na temat tych technik można znaleźć w Sekcjach 3.2.1.9.12 oraz 3.2.1.9.8.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Zastosowanie powłok na bazie wody może być ograniczone ze względu na rodzaj surowca lub specyfikację produktu (np. duże formy/rdzenie, piaski wiązane szkłem wodnym, odlewy z Mg, produkcja stali manganowej z powłoką MgO).

3.2.1.15.4 Dobra wentylacja obszarów, w których stosowane są spoiwa

Opis
Tam, gdzie nie stosuje się odsysania i uzdatniania powietrza procesowego, należy zapewnić dobrą wentylację i odpowiednią wymianę powietrza, aby emisje odorów były szybko i skutecznie rozpraszane do atmosfery.

Szczegóły techniczne
Obecnie nie jest znana żadna całkowicie skuteczna, sprawdzona metoda eliminacji odoru generowanego przez odlewnie. Jednak ogólnym podejściem jest zapewnienie dobrej wentylacji i szybkości wymiany powietrza, która zapewnia szybkie i skuteczne rozpraszanie emisji do atmosfery.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Osiągniętą korzyścią dla środowiska jest minimalizacja emisji nieprzyjemnych odorów.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Nie dostarczono danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika
Nie zgłoszono żadnych informacji.

Siła napędowa wdrażania
- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady
Technika szeroko stosowana.

Literatura źródłowa
Nie podano literatury referencyjnej.

3.2.1.15.5 Zbieranie i oczyszczanie emisji amin z procesu produkcji rdzeni metodą zimnej

rdzennicy

Opis
Gazy wylotowe zawierające aminy, powstające w wyniku gazowania zimnych rdzennic, są poddawane ekstrakcji i oczyszczaniu przy użyciu, na przykład, płukania (oczyszczania) na mokro, biofiltra, utleniania termicznego lub katalitycznego.

Szczegóły techniczne
Podczas gazowania zimnych rdzennic powstają gazy wylotowe, które wymagają oczyszczenia przed emisją do atmosfery. W celu ochrony atmosfery roboczej, rdzennice są zabudowane, a rdzenie są przepłukiwane powietrzem, aby usunąć wszystkie pozostałości gazów przed otwarciem maszyny w celu wyjęcia świeżo wykonanego rdzenia.

Aby zapewnić dobre warunki pracy podczas sprawdzania, przenoszenia i przechowywania świeżo wykonanych rdzeni, można zainstalować systemy wychwytywania spalin. W tym celu instalowane są okapy lub systemy ekstrakcji, na przykład przy stole kontrolnym, nad obszarem obsługi i nad tymczasowym obszarem przechowywania (obszar oczekiwania na tacę z gotowymi tulejami).

Usunięte opary aminy wymagają oczyszczenia, aby zapobiec powstawaniu uciążliwych odorów. Można zastosować jedną z poniższych metod:

- *Adsorpcja na węglu aktywnym*: Proces ten jest bardzo wydajny, ale koszty operacyjne są nadmierne, więc może być opłacalny tylko wtedy, gdy odprowadzana objętość jest niewielka.
- *Spalanie*: Aby proces ten był skuteczny, komora dopalania musi być prawidłowo zaprojektowana, aby zapewnić temperaturę co najmniej 800 ºC, przy minimalnym czasie przebywania wynoszącym 2 sekundy. Zużycie energii jest wysokie, w związku z czym proces ten jest kosztowny w eksploatacji. W odlewniach obsługujących żeliwiaki, gaz wydechowy może być doprowadzany do żeliwiaka w celu spalenia.
- *Oczyszczanie chemiczne*: Aminy są silnymi zasadami i reagują z kwasem siarkowym lub fosforowym. Wartość pH roztworu jest zwykle utrzymywana na poziomie poniżej 3. W związku z tym roztwór płuczący jest od czasu do czasu wymieniany w celu usunięcia stężonych soli, które następnie wymagają unieszkodliwienia jako odpady niebezpieczne. Technicznie możliwe jest przetworzenie roztworu płuczącego w celu odzyskania aminy do ponownego użycia. Zostało to omówione w Sekcji 3.2.1.4.3.6.
- *Biofiltr:* Zobacz Sekcja 3.2.1.10.7.

Ponadto przetestowano innowacyjne technologie czyszczenia i odpowiednie technologie ograniczania emisji dużych ilości odorów pochodzących z odlewni. Testowane technologie obejmowały regeneracyjne utlenianie katalityczne (RCO), regeneracyjne utlenianie termiczne (RTO), koncentrator i system RTO, biofiltrację, zapłon i adsorpcję. Wyniki pokazują, że RTO, RCO, biofiltracja i dwustopniowy proces adsorpcji są odpowiednimi technologiami redukcji emisji dla odlewni, przy czym utlenianie ma największą skuteczność oczyszczania. [218. COM 2014].

Zimą może być konieczne podgrzewanie powietrza wylotowego, aby zapobiec kondensacji amin w przewodach. Można to zrobić wykorzystując ciepło odpadowe ze sprężarek lub innych pobliskich urządzeń.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Wychwytywanie spalin pozwalające na redukcję emisji amin i związanych z nimi odorów.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Niezależnie od zastosowanej metody oczyszczania, emisja amin może być utrzymywana na poziomie niższym niż 5 mg/Nm^3.

Dane dotyczące emisji dla rdzeniarni stosującej zimne rdzennice i wykorzystującej płuczkę kwaśną podano w Tabeli 3.45. Płuczka wykorzystuje 75% roztwór kwasu fosforowego. Podczas normalnej pracy, 15 kg aminy jest usuwane dziennie przez roztwór płuczki. Roztwór jest nasycany i przechowywany w zbiorniku do zewnętrznej obróbki lub unieszkodliwienia. Instalacja pracuje z mocą 35,5 kW przez 2 000 godzin rocznie.

Tabela 3.45: Dane dotyczące emisji dla rdzeniarni stosującej zimne rdzennice i wykorzystującej płuczkę kwaśną

Związek	Poziom emisji mg/m³
Pył	0,42
Amina	2,4

Fenol	0,53
Tlen	21%
Objętość spalin	25100 m³/h
Źródło: [13, Batz, R. 1986].	

Oddziaływanie na procesy i środowisko
W przypadku stosowania płuczek kwaśnych amina jest przenoszona do roztworu płuczącego, który następnie wymaga dalszej obróbki. Możliwe jest jednak odzyskanie aminy z roztworu. Zostało to omówione w Sekcji 3.2.1.4.3.6.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ta ma zastosowanie we wszystkich istniejących i nowych rdzeniarniach stosujących zimne rdzennice.

Ekonomika
Koszty operacyjne dla instalacji wspomnianej w sekcji "*dane operacyjn*e" wynoszą 6,3 EUR/tonę dobrego odlewu.

Koszt inwestycji dla przykładowej instalacji wykorzystującej płuczkę gazową mokrą podano w Tabeli 3.46.

Tabela 3.46: Specyfikacja i koszt inwestycyjny płuczki aminowej na podstawie danych o spalinach dla portugalskiej rdzeniarni stosującej metodę zimnej rdzennicy, 2003 r.

Właściwość	Wartość
Przepływ spalin	30 000 m3/h
Stężenie amin w gazie nieoczyszczonym	150 mg aminy/Nm3
Stężenie amin w gazie oczyszczonym	< 1 mg aminy/Nm^3
Zasilanie	45 kW
Koszt inwestycji	187000 EUR

Jak wspomniano powyżej (zob. *Szczegóły techniczne*), biofiltry są uważane za opłacalny system redukcji odorów, gdy w emisjach obecne są niskie ich stężenia. [218, COM 2014].

Siła napędowa wdrażania
- Zapewnienie zdrowia pracowników oraz zapobieganie emisji odorów.
- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady
Technika ta jest powszechnie stosowana w odlewniach stosujących spoiwa metody zimnej rdzennicy.

Literatura źródłowa
[13. Batz, R. 1986], [14. CAEF 1997], [5. Gwiasda, F. 1984], [169. TWG 2021], [218. COM 2014].

3.2.1.15.6 Zbieranie i oczyszczanie emisji LZO z przygotowania piasku wiązanego chemicznie, zalewania, chłodzenia i wytrząsania

Opis
Gazy wylotowe zawierające lotne związki organiczne (LZO), powstające podczas przygotowywania chemicznie związanego piasku, zalewania, chłodzenia i wytrząsania, są poddawane ekstrakcji i oczyszczaniu przy użyciu, na przykład, płuczki gazowej mokrej, biofiltra, utleniania termicznego lub katalitycznego.

Szczegóły techniczne
Emisje lotnych związków organicznych (głównie rozpuszczalników, BTEX i w mniejszym stopniu fenolu, formaldehydu itp.) wynikają z chemicznego przygotowania piasku, a także, w dalszej części procesu, z zalewania, chłodzenia i wytrząsania. Związki te są szkodliwe i powodują emisję odorów.

Ograniczenie emisji lotnych związków organicznych jest utrudnione przez fakt, że duże ilości powietrza z otoczenia są zasysane przez stosowane systemy zbierania (np. okapy).

Następujące techniki mają zastosowanie do usuwania lotnych związków organicznych:

- adsorpcja na węglu aktywnym;
- dopalanie;
- biofiltr.

W celu adsorpcji na węglu aktywnym spaliny przepływają przez złoże węglowe. Po nasyceniu węgiel jest regenerowany termicznie. Węgiel aktywny ma bardzo wysoką skuteczność adsorpcji (i redukcji). W przypadku benzenu skuteczność ta wynosi > 99%. Technika ma jednak następujące wady:

- duże ilości gazów spalinowych wymagają dużych ilości węgla aktywnego
- pył i aerozole muszą zostać odfiltrowane z gazów wylotowych przed adsorpcją węglem. Ponieważ bardzo drobne cząsteczki pyłu mają tendencję do przywierania, filtrowanie jest możliwe tylko przy użyciu technik odpylania na mokro, co generuje przepływ ścieków.

Aby skutecznie wykorzystać dopalanie w celu wyeliminowania LZO z gazów wylotowych, konieczne są określone minimalne stężenia. Te wartości graniczne są specyficzne dla danego związku i zależą od wybranej techniki. Dopalanie jest możliwe w przypadku gazów wydechowych z formowania skorupy. Ogólnie rzecz biorąc, gaz wydechowy z odlewni nie ma wystarczająco wysokiego poziomu LZO, aby można było zastosować dopalanie. Jedną z alternatyw dla dopalania jest wykorzystanie powietrza wylotowego z dmuchaw rdzenia jako powietrza do spalania w żeliwiaku.

Stosowanie biofiltrów omówiono szczegółowo w Sekcji 3.2.1.10.7.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Zmniejszenie emisji LZO do powietrza.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Zobacz *Szczegóły techniczne* powyżej.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika
Biofiltry są uważane za opłacalny system, gdy w emisjach występują niskie stężenia zapachów. [218. COM 2014].

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Energia jest zużywana na zbieranie strumienia gazów odlotowych, co może również wiązać się z porywaniem dużych ilości powietrza z otoczenia.

Siła napędowa wdrażania
- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady
Technika ta jest szeroko stosowana.

Literatura źródłowa
[9. Gapp, H. 1989], [38. Vito 2001]. [169. TWG 2021], [218. COM 2014].

3.2.1.16 Zużycie wody oraz wytwarzanie ścieków

3.2.1.16.1 Plan zarządzania zasobami wodnymi i audyty

Opis
Plan zarządzania zasobami wodnymi i audyty są częścią EMS (zob. Sekcja 3.1.1.1) i obejmują:

- diagramy przepływu i bilans masowy wody w zakładzie a także procesy w ramach inwentaryzacji wejść i wyjść, o których mowa w Sekcji 3.1.1.2;
- ustanowienie celów w zakresie oszczędnego gospodarowania wodą;
- wdrożenie technik optymalizacji zużycia wody (np. kontrola zużycia wody, ponowne wykorzystanie/recykling, wykrywanie i naprawa wycieków).

Audyty są przeprowadzane co najmniej raz w roku, aby zagwarantować, że cele planu gospodarowania zasobami wodnymi są realizowane, a zalecenia pokontrolne są przestrzegane i wdrażane.

Szczegóły techniczne
Niektóre techniki optymalizacji zużycia wody są następujące:

a) Kontrola zużycia wody
Warunkiem wstępnym każdego programu zapobiegania niepotrzebnemu zużyciu wody jest najpierw zebranie informacji na temat instalacji i ilości wody zużywanej w różnych procesach, w ramach gromadzenia informacji na temat rodzajów, ilości, składu i źródeł wszystkich strumieni ścieków.

Podobnie jak w przypadku zużycia wody, dane na poziomie obiektu są już dobrym punktem odniesienia przy określaniu, czy zużycie wody jest nadmierne i stanowią dobry punkt bazowy do określenia ulepszeń. Aby umożliwić analizę specyficzną dla danego procesu, zużycie wody jest monitorowane i rejestrowane na poziomie maszyny/procesu, a wodomierze są regularnie konserwowane i kalibrowane.

b) Zmniejszenie zużycia wody.
Dzięki ulepszonym praktykom pracy
Ustala się procedury produkcyjne oraz szkoli personel, aby uniknąć niewłaściwych praktyk w pracy, zwłaszcza gdy nie ma zautomatyzowanych systemów kontroli, które mogą prowadzić do znacznego marnotrawstwa wody.

Poprzez modyfikacje techniczne
Zobacz przykładowe techniki w Sekcjach 3.2.1.16.5 oraz 3.2.1.16.6.

Optymalizacja systemu dostarczania i uzdatniania wody. Zobacz na przykład technikę w Sekcji 3.2.1.16.2.

Poprzez ponowne wykorzystanie i/lub recykling wody
Zobacz na przykład technikę w Sekcji 3.2.1.16.3.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Zmniejszenie zużycia wody i ilości odprowadzanych ścieków.
Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Nie dostarczono danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Poziom szczegółowości i stopień sformalizowania planu gospodarowania zasobami wodnymi będą związane z charakterem, skalą i złożonością zakładu.

Ekonomika
- Czas pracy personelu.
- Koszt wszelkich wymaganych dodatkowych pomiarów.

Siła napędowa wdrażania
- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady
Technika ta jest zwykle stosowana przez większość fabryk IED.

Literatura źródłowa
Nie podano literatury referencyjnej.

3.2.1.16.2 Segregacja strumieni wody

Opis
Strumienie wody (np. spływy powierzchniowe, woda procesowa) są gromadzone oddzielnie, w oparciu o zawartość zanieczyszczeń i wymagane techniki oczyszczania. Strumienie ścieków, które można poddać recyklingowi bez oczyszczania, są oddzielane od strumieni ścieków wymagających oczyszczenia.

Szczegóły techniczne
Szczegółowy opis techniczny systemu zbierania i segregacji ścieków można znaleźć w dokumencie BREF CWW [179. COM 2016].

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Zmniejszenie zużycia wody i ilości odprowadzanych ścieków.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Zaleca się oddzielne odprowadzanie ścieków, aby uniknąć efektu rozcieńczenia oczyszczonych ścieków. Im bardziej skoncentrowane są ścieki powstałe w wyniku separacji, tym skuteczniejsze jest ich dalsze oczyszczanie.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Możliwość zastosowania w istniejących zakładach może być ograniczona przez układ systemu zbierania wody.

Ekonomika
Koszty modernizacji związane z separacją/segregacją ścieków mogą być znaczące w istniejących zakładach. Systemy separacji/segregacji ścieków mogą być efektywnie instalowane w nowych zakładach. Oszczędności mogą wynikać ze zmniejszenia pojemności wodnej potrzebnej na danym terenie.

Siła napędowa wdrażania
- Oszczędność kosztów związanych z pojemnością wodną i odprowadzaniem ścieków.
- Wymogi prawne.

Przykładowe zakłady
Technika ta jest zwykle stosowana przez większość fabryk IED. Została zgłoszona przez 26 zakładów w zbiorze danych SF. [169. TWG 2021].

Literatura źródłowa
[169. TWG 2021], [179. COM 2016]

3.2.1.16.3 Ponowne wykorzystanie i/lub recykling wody

Opis
Strumienie wody (np. woda procesowa, ścieki z mokrego szorowania lub woda chłodząca) są ponownie wykorzystywane i/lub poddawane recyklingowi w zamkniętych lub półzamkniętych obiegach, jeśli to konieczne po oczyszczeniu (zob. Sekcja 3.2.1.17).

Szczegóły techniczne
Aby obniżyć koszty, zakłady będą dążyć do ponownego wykorzystania i/lub recyklingu wody w jak największym stopniu. W związku z tym strumienie wody (np. woda procesowa, ścieki z oczyszczania na mokro lub woda chłodząca) są ponownie wykorzystywane i/lub poddawane recyklingowi w obiegach zamkniętych lub półzamkniętych. W razie potrzeby (w oparciu o zawartość zanieczyszczeń) zebrana woda jest uzdatniana przed recyklingiem/ponownym użyciem - zob. Sekcja 3.2.1.17 gdzie omówiono techniki oczyszczania ścieków.

Ścieki z płuczek kwaśnych mogą być oczyszczane zewnętrznie, a zatem nie mogą być zrzucane. W takich przypadkach ścieki z płuczek kwaśnych są zbierane (np. w pojemnikach) i transportowane do zewnętrznej (poza zakładem) oczyszczalni ścieków (komentarz BE-49 w [210. TWG 2022]).

Osiągnięte korzyści dla środowiska
- Zmniejszenie zużycia wody.
- Zmniejszenie ilości generowanych ścieków.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Nie dostarczono danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Stopień ponownego wykorzystania i/lub recyklingu wody jest ograniczony przez bilans wodny zakładu, zawartość zanieczyszczeń i/lub charakterystykę strumieni wody.

Ekonomika
- Koszt inwestycji i eksploatacji systemu recyklingu/ponownego wykorzystania wody.
- Oszczędności wynikające ze zmniejszonego zużycia wody i zmniejszonej ilości odprowadzanych ścieków.

Siła napędowa wdrażania
- Wymogi prawne.

Przykładowe zakłady
Technika ta jest zwykle stosowana przez większość odlewni. W szczególności:

- 49 zakładów zgłosiło wewnętrzny recykling wody procesowej
- 14 zakładów zgłosiło wielokrotne wykorzystanie oczyszczonych ścieków. [169. TWG 2021].

Literatura źródłowa
[169. TWG 2021], [179. COM 2016], [210. TWG 2022].

3.2.1.16.4 Zapobieganie powstawaniu ścieków z obszarów procesowych i magazynowych

Opis
Zobacz Sekcję 3.1.1.4.2 odnoszącą się do "Struktury i zarządzania obszarami procesowymi oraz obszarami składowania surowców".

3.2.1.16.5 Stosowanie systemów odpylania na sucho

Opis
Obejmują techniki takie jak filtry tkaninowe i suche elektrofiltry.

Więcej informacje na temat techniki:
Zobacz Sekcja 3.2.1.12.7 (filtr tkaninowy) oraz Sekcja 3.2.1.12.8 (elektrofiltry).

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Brak generowania ścieków z oczyszczania gazów wylotowych.

Przykładowe zakłady
Technika szeroko stosowana. Wykorzystanie systemów odpylania na sucho zostało zgłoszone przez 40 odlewni w zbiorze danych SF.

Literatura źródłowa
[169. TWG 2021].

3.2.1.16.6 Oddzielne rozpylanie środka antyadhezyjnego i wody w odlewaniu wysokociśnieniowym

Zobacz Sekcja 3.2.1.4.3.1.

3.2.1.16.7 Wykorzystanie ciepła odpadowego do odparowywania ścieków

Opis
Gdy ciepło odpadowe jest dostępne w sposób ciągły, można je wykorzystać do odparowania ścieków.

Szczegóły techniczne
Wykorzystanie nadmiaru ciepła (odpadowego) do odparowania ścieków; odparowane ścieki (para wodna) są następnie uwalniane do środowiska. Osiąga się to poprzez skierowanie części gazów spalinowych do parownika (zwykle zbiornika suszącego). W parowniku ciepło gazów spalinowych jest przekazywane do ścieków i następuje ich odparowanie.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Zmniejszenie ilości wytwarzanych ścieków.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Nie dostarczono danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika

- Koszty inwestycji i eksploatacji potrzebnego sprzętu (parownika).
- Oszczędności w zakresie efektywnego wykorzystania energii odpadowej i zmniejszenia ilości ścieków.

Siła napędowa wdrażania

- Oszczędności (zob. *Ekonomika* powyżej).
- Wymogi prawne.

Przykładowe zakłady
DE049 oraz DE051 [169. TWG 2021].

Literatura źródłowa
[169. TWG 2021].

3.2.1.17 Emisje do wody

W tej sekcji wymieniono zidentyfikowane techniki oczyszczania ścieków. Szczegółowe dane dotyczące powiązanych emisji do wody przedstawiono w Sekcji 2.3 (Bieżące zużycie i poziomy emisji).

3.2.1.17.1 Wyrównywanie

Więcej informacji można znaleźć w dokumencie BREF CWW [179. COM 2016].

Przykładowe zakłady
FI101, IT157 i IT158. [169. TWG 2021].

3.2.1.17.2 Neutralizacja

Więcej informacji można znaleźć w dokumencie BREF CWW [179. COM 2016].

Przykładowe zakłady
AT001, AT013, DE035, DE036, DE037, DE038, DE050, DE062, EL080, FR116 i SE150. [169. TWG 2021].

3.2.1.17.3 Separacja fizyczna, np. przy użyciu sit, przesiewaczy, separatorów piasku, separatorów tłuszczu, hydrocyklonów, separatorów oleju i wody lub osadników wstępnych.

Więcej informacji można znaleźć w dokumencie BREF CWW [179. COM 2016].

Przykładowe zakłady
AT001, AT008, AT010, AT015, BE021, DE035, DE036, DE037, DE038, DE050, DE051, ES087, ES098, FR102, FR105, FR113, FR114, FR115, FR116, IT127, IT128, IT131, IT132, IT134, IT155, IT158, SE152 i SE153. [169. TWG 2021].

3.2.1.17.4 Adsorpcja

Więcej informacji można znaleźć w dokumencie BREF CWW [179. COM 2016].

3.2.1.17.5 Strącanie chemiczne

Więcej informacji można znaleźć w dokumencie BREF CWW [179. COM 2016].

Przykładowe zakłady
DE033, DE035, DE036, DE037, DE038, DE051, DE062, EL080, ES087, FI101, FR114 i FR115. [169. TWG 2021].

3.2.1.17.6 Parowanie

Więcej informacji można znaleźć w dokumencie BREF CWW [179. COM 2016].

Przykładowe zakłady
AT007, CZ025, DE033, IT123, IT154 oraz SE148. [169. TWG 2021].

3.2.1.17.7 Proces osadu czynnego

Więcej informacji można znaleźć w dokumencie BREF CWW [179. COM 2016].

Przykładowe zakłady
AT003. [169. TWG 2021].

3.2.1.17.8 Bioreaktor membranowy

Więcej informacji można znaleźć w dokumencie BREF CWW [179. COM 2016].

Przykładowe zakłady
FR116. [169. TWG 2021].

3.2.1.17.9 Koagulacja i flokulacja

Więcej informacji można znaleźć w dokumencie BREF CWW [179. COM 2016].

Przykładowe zakłady
AT001, AT013, AT015, DE035, DE036, DE037, DE038, DE050, DE051, DE062, EL080, ES087, FR114, FR115, FR116, FR119, IT129 i SE144. [169. TWG 2021].

3.2.1.17.10 Sedymentacja (osadzanie się)

Więcej informacji można znaleźć w dokumencie BREF CWW [179. COM 2016].

Przykładowe zakłady
AT001, AT005, AT015, BE020, BE022, DE035, DE036, DE037, DE038, DE046, DE050, DE051, DE060, DE062, DE065, EL080, FI102, FR118, FR119, IT071, IT125, IT154, IT155 i PT140. [169. TWG 2021].

3.2.1.17.11 Filtracja, np. filtracja piaskowa, mikrofiltracja, ultrafiltracja, odwrócona osmoza

Więcej informacji można znaleźć w dokumencie BREF CWW [179. COM 2016].
Przykładowe zakłady
AT001, DE033, DE035, DE036, DE037, DE038, DE051, DE060, EL080, FR114, FR115, FR116, IT154, PT143 i SE148. [169. TWG 2021].

3.2.1.17.12 Flotacja

Więcej informacji można znaleźć w dokumencie BREF CWW [179. COM 2016].

Przykładowe zakłady
FR116. [169. TWG 2021].

3.2.2 Techniki do rozważenia przy określaniu BAT dla odlewni żelaza

3.2.2.1 Efektywność energetyczna

3.2.2.1.1 Zwiększenie wysokości szybu w żeliwiakach z zimnym dmuchem

Opis
Zwiększenie wysokości szybu w żeliwiakach z zimnym dmuchem umożliwia dłuższe pozostawanie gazów spalinowych w kontakcie z wsadem, co skutkuje zwiększonym transferem ciepła.

Szczegóły techniczne
Wymagana wysokość szybu dla żeliwiaków przy różnych prędkościach topienia została podana w Tabeli 3.47. Wysokości te optymalizują podgrzewanie wstępne dla opadającego wsadu. Jeśli jednak gaz ma być spalany w otworze wsadowym, można rozważyć mniejszą wysokość szybu. Zasadniczo, im krótszy szyb, tym gorętszy górny gaz i większa łatwość spalania - samoistnego lub wspomaganego przez dopalacz.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania Dotyczy tylko nowych zakładów i większych modernizacji istniejących zakładów.
Możliwość zastosowania w istniejących zakładach może być ograniczona przez ograniczenia budowlane i inne ograniczenia strukturalne.

Tabela 3.47: Wymagania dotyczące wysokości szybu

Topnienie szybkość w żeliwiaku (tony/h)	Wysokość od dyszy (przewodu dyszowego, tuyères) do progu drzwi ładujących (m)
Do 5	4,9
5 – 8	5,8
> 8	6,7

Sprawność cieplną żeliwiaka z zimnym dmuchem można poprawić poprzez zwiększenie wysokości szybu. Zasadniczo, im wyższa wysokość szybu, tym dłużej gazy spalinowe pozostają w kontakcie z wsadem i tym więcej ciepła jest przekazywane do wsadu.

W zależności od typu instalacji, zoptymalizowane wysokości szybów w żeliwiakach z zimnym dmuchem umożliwiają wypalanie gazów i wydajne ogrzewanie wsadu.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Zwiększona efektywność energetyczna.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Dane operacyjne podano w Tabeli 3.48. Modyfikacja polega na podwojeniu objętości górnej strefy. Skutkuje to zmniejszeniem zużycia koksu ze 140 kg/tonę do 115 kg/tonę, co stanowi względną redukcję o 18%. Należy zauważyć, że ogólnie optymalna wysokość szybu jest zgodna z zasadą: „wysokość = 5 x średnica dyszy (przewodu dyszowego, tuyères)”. Początkowa sytuacja w przykładowym piecu była zatem nieoptymalna.

Tabela 3.48: Przykładowe dane dotyczące zmiany poziomu zużycia koksu przy wzroście wysokości szybu

	Żeliwiak przed modyfikacją	Żeliwiak po modyfikacji
Średnica - strefa topienia (m) - górna strefa (m)	 1,4 1,4	 1,4 1,7
Wysokość nad tuyères (m)	5	6,5
Współczynnik koksu	140	115
Źródło: [100. TWG 2002].		

Oddziaływanie na procesy i środowisko Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Optymalizacja wysokości pieca musi być przeprowadzona na etapie jego projektowania, w przeciwnym razie zwiększenie wysokości będzie zwykle przeprowadzane tylko podczas poważnych prac związanych z przebudową pieca.

Siła napędowa wdrażania
Zwiększenie wydajności pracy pieca.

Przykładowe zakłady
Dane operacyjne pochodzą z przykładowego zakładu we Francji.

Literatura źródłowa
[14. CAEF 1997], [20. ETSU 1993], [100. TWG 2002], [169. TWG 2021]

3.2.2.1.2 Wzbogacanie tlenem powietrza do spalania

Opis
Wzbogacanie tlenem powietrza do spalania odbywa się albo bezpośrednio przy wdmuchiwaniu, albo poprzez wtryskiwanie tlenu do złoża koksu, albo przez dysze (tuyères).

Szczegóły techniczne
Sprawność cieplną żeliwiaka z zimnym dmuchem można poprawić poprzez wzbogacenie powietrza do

spalania w tlen. Powoduje to wyższą temperaturę spalania koksu. W ten sposób można zmniejszyć zużycie koksu lub uzyskać wyższą temperaturę spustu. W porównaniu z normalną pracą, ciągłe stosowanie tlenu umożliwia uzyskanie jednej z następujących korzyści:

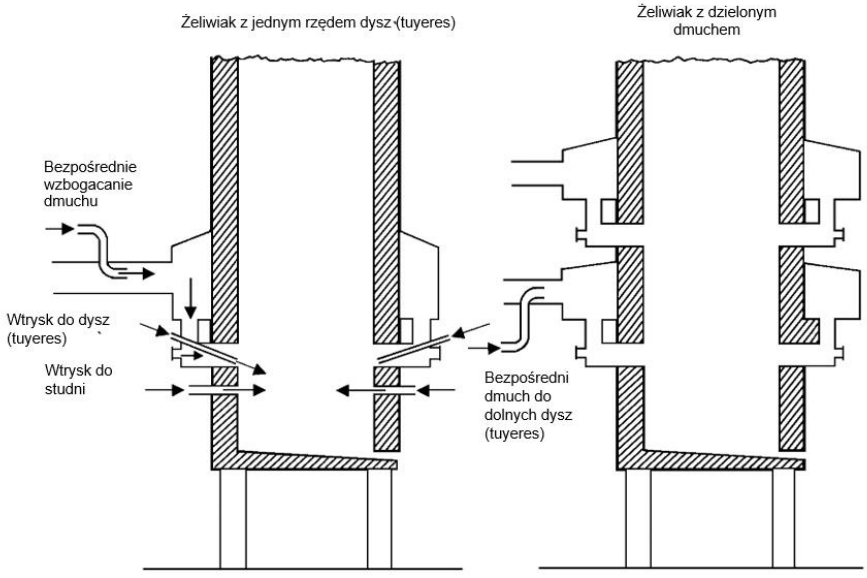
- wyższa temperatura metalu, wyższy wychwyt węgla i niższe straty topienia krzemu przy takim samym zużyciu koksu, lub
- niższe zużycie koksu dla danej temperatury metalu, bez wzrostu wychwytu węgla lub zmniejszenia strat topienia krzemu, lub
- zwiększona wydajność z istniejącego żeliwiaka w wyniku zwiększonej szybkości topnienia.

Wtrysk tlenu zapewnia możliwość szybkiego reagowania na dryfty procesu, a następnie kompensowania niewielkich zmian warunków procesu. W związku z tym wtrysk tlenu jest często stosowany sporadycznie, zwykle gdy proces wymaga regulacji.

Skuteczność tlenu zależy od metody, za pomocą której jest on wprowadzany do żeliwiaka. Opracowano trzy technologie:

- *Bezpośrednie wzbogacenie* dmuchu Tlen jest podawany do głównego dmuchu, technika ta jest stosowana w większości żeliwiaków z zimnym dmuchem.
- *Wtrysk do studni*: Tlen jest wtryskiwany do złoża koksu z magistrali pierścieniowej, która zasila chłodzone wodą wtryskiwacze, przy czym ich liczba zależy od wielkości żeliwiaka. Tlen użyty w ten sposób jest co najmniej dwa razy bardziej skuteczny niż tlen użyty bezpośrednio do wzbogacenia strumienia wdmuchiwanego powietrza. Ten rodzaj wtrysku jest jednak ograniczony do żeliwiaków z ciągłym spustem, ponieważ w przypadku spustu przerywanego istnieje ryzyko, że żużel lub metal może podnieść się do poziomu wtryskiwaczy. Technika ta została opracowana w Wielkiej Brytanii, ale nie znalazła powszechnego zastosowania.
- *Wstrzyknięcie do* dysz (*tuyères)*: Tlen jest wprowadzany do żeliwiaka przez wtryskiwacze umieszczone w każdej dyszy (przewodzie dyszowym) lub w naprzemiennych dyszach. Skuteczność tej metody plasuje się pomiędzy metodami bezpośredniego dmuchu i wtrysku do studni. Technika ta jest stosowana w 20-30% przypadków, ale częściej w przypadku gorącego dmuchu.

Zasady wtrysku tlenu przedstawiono na Rysunku 3.58.



Źródło: [20. ETSU 1993].

Rysunek 3.58: Różne metody wtrysku tlenu

Osiągnięte korzyści dla środowiska

Zastosowanie tlenu skutkuje zmniejszonym zużyciem koksu i lepszą kontrolą procesu. Ponadto odnotowano zmniejszenie emisji dioksyn i furanów z żeliwiaków z zimnym dmuchem.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

W porównaniu z konwencjonalnym procesem zimnego dmuchu (wtrysku) z jednym rzędem dysz, można oczekiwać, że wzrost temperatury spustu uzyskany dla danego wsadu koksu będzie następujący:

- wzbogacenie dmuchu + 15 ºC;
- wtrysk do studni + 85 ºC;
- wtrysk do dyszy (tuyère)+ 40 ºC.

Dmuch dzielony z bezpośrednim wzbogacaniem powietrza wdmuchiwanego powoduje wzrost temperatury spustu o 85 ºC w porównaniu do dmuchu zimnego. W przypadku dmuchu dzielonego ani wtrysk do studni, ani wtrysk do dyszy (tuyère) nie dają większych korzyści niż prosta metoda wtrysku bezpośredniego.

Ważnym zastosowaniem tlenu było zwiększenie szybkości topienia w istniejących żeliwiakach, znacznie powyżej ich zwykłej optymalnej zdolności topienia. W żeliwiakach z dzielonym dmuchem szybkość topienia wzrasta o około 6,8%, a temperatura spustu o około 20ºC na każdy 1% bezpośredniego wzbogacenia wdmuchiwanego powietrza w tlen. Jeśli wzrost temperatury nie jest wymagany, a wsad koksu jest zmniejszony, można uzyskać jeszcze większy wzrost topienia dla tej samej szybkości dmuchu i wzbogacenia w tlen.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Technika ta wymaga tlenu produkowanego poza zakładem i wiąże się ze zużyciem energii elektrycznej.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Obecnie prawie wszystkie europejskie żeliwiaki z gorącym dmuchem wtłaczają tlen przez dysze (tuyères). W przypadku żeliwiaków z zimnym dmuchem stosowanie wzbogacania tlenem można uznać za standardową technikę. W takim przypadku zwykle stosuje się wzbogacanie dmuchu, jeśli ma to zastosowanie. Poziom tlenu w mieszaninie powietrza utleniającego wynosi zwykle od 22% do 25% (tj. wzbogacenie od 1% do 4%).

Ekonomika
Wpływ użycia tlenu na koszty topienia zależy w dużej mierze od ceny tlenu, która z kolei jest związana z ilością użytego tlenu. Odlewnie o większej wydajności na ogół kupują tlen taniej. Ekonomiczne uzasadnienie stosowania tlenu musi być ustalane indywidualnie dla każdego przypadku.

Znaczący wzrost wydajności umożliwił odlewniom zwiększenie produkcji bez konieczności dokonywania wysokich inwestycji kapitałowych w nowe zakłady, a także obniżenie kosztów i płatności za nadgodziny, tak bardzo, że ogólna redukcja kosztów w pełni uzasadnia koszt tlenu. Takie ulepszenia muszą uwzględniać powiązaną produkcję rdzeni i form.

Siła napędowa wdrażania
- Optymalizacja wydajności i kontroli procesu topienia.
- Wymogi prawne.

Przykładowe zakłady
Technika ta jest powszechnie stosowana w europejskich odlewniach stosujących żeliwiaki.

Literatura źródłowa
[14. CAEF 1997], [59. Godinot 2001].

3.2.2.1.3 Przegrzanie wdmuchiwanego powietrza w żeliwiakach z gorącym dmuchem

Opis
Zwiększenie temperatury płomienia poprzez przegrzanie powietrza do temperatury 800-900 °C za pomocą wtrysku plazmy powietrznej lub stosowanie grzałek oporowych.

Szczegóły techniczne
Alternatywną techniką zwiększania temperatury płomienia jest przegrzanie powietrza do temperatury 800-900ºC. W tym celu stosuje się wtrysk plazmy powietrznej lub ogrzewanie w rurowych grzejnikach oporowych. Doświadczenie pokazało, że zwiększenie temperatury dmuchu o 200ºC, z 550ºC do 750ºC, co wymaga 60 kWh na tonę żelaza, pozwala zaoszczędzić 10 kg koksu na tonę stopionego żelaza. Główną korzyścią, ważniejszą nawet niż oszczędność koksu, jest elastyczność: wydajność godzinową można zwiększyć o 30% bez modyfikowania łoża do topienia. Dodatkowo, zastosowanie przegrzewania (plazmowego) pozwala na zmianę surowca z czystego żeliwa na stal, co ma pozytywny efekt ekonomiczny.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Zmniejszone zużycie koksu oraz zwiększona wydajność procesu.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Ogrzewanie wdmuchiwanego powietrza daje mniejszą objętość gazów spalinowych w porównaniu do długiego okresu pracy z gorącym dmuchem. W porównaniu z wtryskiem tlenu, objętość spalin i zużycie energii

elektrycznej są większe.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Ogrzewanie elektryczne powoduje wzrost zużycia energii elektrycznej (58 kWh/tonę).

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ta ma zastosowanie do nowych i istniejących żeliwiaków z gorącym dmuchem.

Technika ta (zarówno z ogrzewaniem elektrycznym, jak i plazmowym) osiąga podobny efekt jak wtrysk tlenu przez lance, ale może być stosowana w bardziej złożonej instalacji i wytwarza większą objętość gazów spalinowych. Dodatkowo, wtrysk tlenu umożliwia uzupełnienie nieszczelności w obwodzie powietrza.

Ekonomika
Nie dostarczono danych.

Siła napędowa wdrażania
- Optymalizacja wydajności i kontrola procesu topienia.
- Wymogi prawne.

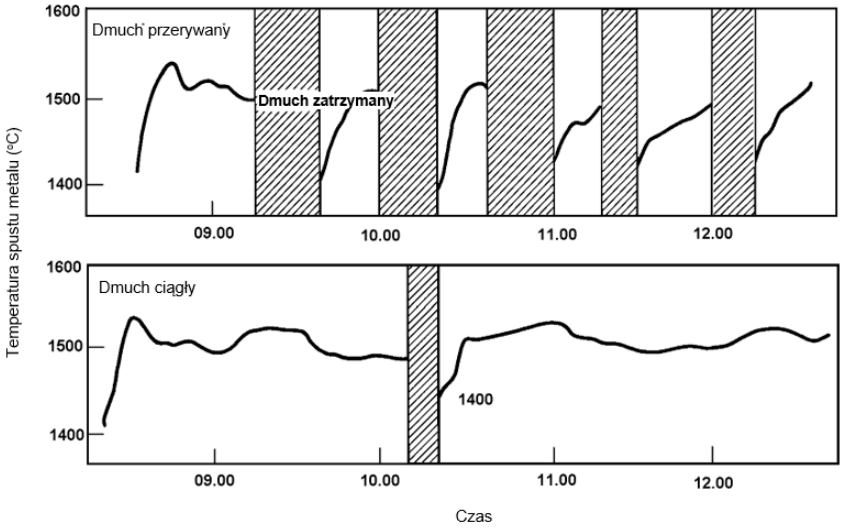
Przykładowe zakłady
PSA, Sept-Fons, Francja
Trzy odlewnie we Francji stosują rurowe ogrzewanie oporowe.

Literatura źródłowa [59. Godinot 2001]

3.2.2.1.4 Minimalne okresy wstrzymywania nadmuchiwania dla żeliwiaków z gorącym dmuchem

Opis
Zminimalizowanie okresów wyłączenia poprzez zaprogramowanie harmonogramów procesów formowania i odlewania w celu zapewnienia w miarę stałego zapotrzebowania na metal.

Szczegóły techniczne
Żeliwiak przedmuchiwany tylko sporadycznie nie będzie działał wydajnie i spowoduje obniżenie temperatury spustu metalu, jak to pokazano na poniższym rysunku.



Źródło: [20. ETSU 1993].
Rysunek 3.59: Wpływ okresów wyłączenia dmuchu na temperaturę spustu w żeliwiaku z gorącym dmuchem

Częste wyłączanie dmuchu z powodu jedynie sporadycznego zapotrzebowania na metal:

- zmniejsza średnią temperaturę spustu i zalewania oraz zwiększa zakres ich wahań, co w konsekwencji powoduje ryzyko produkcji wadliwych odlewów;
- zwiększa zmienność składu metalu, w szczególności zawartości węgla i krzemu, co stwarza ryzyko produkcji metalu „niskiej jakości”;
- zwiększa zużycie koksu poprzez próby regulacji temperatury spustu przez operatorów;
- wpływa na stopień zarodkowania w żeliwie i zwiększa jego tendencje do kurczenia się.

Harmonogramy formowania i odlewania są zatem zaprogramowane tak, aby wytwarzać w miarę stałe zapotrzebowanie na metal, minimalizując w ten sposób lub nawet eliminując potrzebę okresów wyłączenia nadmuchu lub dużych zmian w jego szybkości.

Tam, gdzie duże wahania zapotrzebowania są nieuniknione, można rozważyć instalację elektrycznego pieca podtrzymującego. Pomoże to zapewnić duży „zbiornik buforowy metalu", aby zaspokoić wahania popytu, dzięki czemu żeliwiak może pracować w sposób ciągły z rozsądnie stałą prędkością dmuchu. Może być również stosowany do wyrównywania różnic temperatur i składu.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
- Zmniejszenie zużycia koksu.
- Wyższa wydajność energetyczna procesu.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Nie dostarczono danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Obsługa elektrycznego pieca podtrzymującego wiąże się z wyższym zużyciem energii.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ta ma zastosowanie do wszystkich nowych i istniejących żeliwiaków.

Ekonomika
Ekonomika instalacji pieca podtrzymującego musi być bardzo dokładnie rozważona, szczególnie w odlewniach o stosunkowo niskim tempie produkcji.

Siła napędowa wdrażania
- Zwiększenie wydajności procesu odlewniczego.

Przykładowe zakłady
Stosowany system dmuchu jest częścią rozważań operacyjnych we wszystkich europejskich odlewniach wykorzystujących żeliwiaki.

Literatura źródłowa [20. ETSU 1993]

3.2.2.1.5 Żeliwiak kampanijny

Opis
Żeliwiak jest przystosowany do długotrwałej pracy w celu zminimalizowania konserwacji i zmian procesu. Można to osiągnąć poprzez zastosowanie bardziej odpornych okładzin ogniotrwałych w szybie, dnie i palenisku pieca, poprzez zastosowanie chłodzenia wodą ścian pieca i chłodzonych wodą rur wdmuchujących głębiej w szyb pieca.

Szczegóły techniczne
Jest to kampanijnie działający żeliwiak z zimnym dmuchem, która posiada również wtrysk tlenu. Dostosowanie ilości wdmuchiwanego powietrza do aktualnych warunków pracy odbywa się za pomocą pomiaru objętości przepływu powietrza, systemu kontroli przepływu powietrza i regulacji częstotliwości wentylatora powietrza. W przeciwieństwie do istniejącego wcześniej pieca, stopione żelazo nie jest stale przechowywane we wnętrzu żeliwiaka kampanijnego. W tym celu zainstalowano nieogrzewane przedpalenisko, które pochłania wyciekający wytop.

Podczas normalnej pracy stopione żelazo stale wycieka. Jest ono zbierane przez żelazne rynny w nieogrzewanym przedpalenisku za pomocą kadzi dźwigowej, a następnie transportowany do już istniejącego, ogrzewanego elektrycznie pieca lub pieca zatrzymującego ciepło, lub, w razie potrzeby, transportowane bezpośrednio do systemu form do odlewania. Żużel jest oddzielany w syfonie, a następnie przepływa do wiadra z żużlem pod platformą pieca, gdzie jest schładzany przed skierowaniem go do następnego etapu w postaci stałej w celu recyklingu/unieszkodliwienia.

Główna różnica między dwoma poprzednio stosowanymi piecami szybowymi, których wsad musiał być uzupełniany każdego dnia, polega na tym, że żeliwiak ma system chłodzenia wodą wielkiego pieca, do którego sięgają dysze wdmuchujące. System chłodzenia wodą zapobiega szybkiemu stopieniu się dyszy z powodu wysokiej temperatury w piecu, która w tym obszarze była związana z silną erozją okładziny pieca. Znacznie wydłuża to żywotność okładziny pieca, dzięki czemu piec może być eksploatowany przez kilka tygodni, zanim konieczne będzie jego ponowne wyłożenie okładziną.

System odpylania składa się z chłodnicy, dwóch cyklonów, systemu czyszczenia na sucho i filtra przeciwpyłowego z wentylatorem promieniowym, tłumikiem wydechu i stalowym kominem. W procesie spalania w żeliwiaku gaz kominowy jest wytwarzany we wszystkich fazach pracy (rozruch, normalna praca, niski stopień wytopu). Gaz jest w całości wychwytywany w głowicy pieca i doprowadzany do systemu ekstrakcji pyłu z żeliwiaka.

Pył osadzający się w filtrach workowych jest czyszczony przez płukanie wsteczne, a następnie zbierany w zbiorniku na pył i podawany do pojemnika na pył, a następnie usuwany. Oczyszczone powietrze jest odprowadzane z zawartością pyłu resztkowego < 10 mg/m^3 do atmosfery.

Dodatkowym środkiem usprawniającym jest fakt, że magazyn i skład materiałów wyjściowych znajdują się w oddzielnej hali. Zmniejsza to znacznie emisję hałasu i pyłu, a ponadto pozwala uniknąć utraty jakości materiału wyjściowego z powodu warunków pogodowych.

Osiągnięte korzyści dla środowiska

- Długo działający (kampanijny) żeliwiak z zimnym dmuchem:
  - Ochrona środowiska poprzez zmniejszenie zużycia materiałów (okładzina pieca) i ilości odpadów (odpady z pieca). Przed wymianą pieca żywotność okładziny wynosiła 1 dzień, a po niej (żeliwiak kampanijny) ponad 2 miesiące. Zapotrzebowanie na okładzinę ognioodporną przed zmianą wynosiło 25-30 kg/t płynnego żelaza, a po zmianie 1,6 kg/t płynnego żelaza (dane dla przykładowego zakładu (Hermann Reckers GmbH & Co)).
  - Zmniejszenie emisji pyłu i ilości odpadów dzięki rzadszemu uruchamianiu i wyłączaniu oraz odnawianiu okładziny pieca (wcześniej: 1 dzień; potem: ponad 2 miesiące).
  - Ograniczenie emisji odorów o 60% (wcześniej: 167 MGE/h; 4 400 GE/m^3; później: 65 MGE/h; 1 700 GE/m^3).
- Przechowywanie surowców w magazynie:
  - Ograniczenie emisji niezorganizowanych podczas przechowywania i ładowania materiałów wejściowych.
  - Zmniejszona zawartość wilgoci w surowcu i koksie.
- Zmniejszenie hałasu przy dostawie i ładowaniu/uzupełnianiu substancji.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Żeliwiaki kampanijne są eksploatowane w sposób ciągły.

Jeśli żeliwiak z zimnym nadmuchem jest eksploatowany w sposób nieciągły (np. wytapianie przez 3 dni w tygodniu na jednej zmianie), okładzina uległaby bardzo szybkiemu zniszczeniu w wyniku etapów chłodzenia i nagrzewania. Zazwyczaj praca żeliwiaka kampanijnego z zimnym dmuchem powinna odbywać się na co najmniej dwie zmiany, ponieważ w czasie bez pracy (zmiana nocna) nie jest on całkowicie wyłączany. Jeżeli przerwa w pracy żeliwiaka trwa zbyt długo (np. w trybie jednozmianowym) to stosowanie żeliwiaka kampanijnego z zimnym dmuchem staje się nieekonomiczne.

Poniższe dane operacyjne zostały zgłoszone dla przykładowego zakładu (Hermann Reckers GmbH & Co).

Tabela 3.49: Dane operacyjne dla żeliwiaka kampanijnego z zimnym dmuchem

Czasy pracy żeliwiaka	Od poniedziałku do piątku w systemie dwuzmianowym od 5:00 do 22:00
Wydajność topienia (płynne żelazo)	Przed: do 8 t/h po: do 12 t/h
Żywotność okładziny pieca	Przed: 1 dzień po: ponad 2 miesiące
Zapotrzebowanie na ognioodporność	Przed: 25 - 30 kg/t po: 1,6 kg/t płynnego żelaza
Emisja odorów	Przed: 167 MGE/h; 4 400 GE/m^3 po: 65 MGE/h; 1 700 GE/m^3
Objętość spalin z żeliwiaka, koks, zapotrzebowanie na tlen, ilość pyłu (usuwanie odpadów)	Bez zmian
Uwaga: MGE/h: mega jednostki odoru na godzinę, jednostka do definiowania wskaźnika emisji odoru. GE/m^3: Holenderska jednostka odorowa - 1 GE/m^3 odpowiada 20 ppbv n-butanolu zgodnie z holenderską normą NVN2820:1990. *Źródło*:[133. DE UBA 2014].	

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Brak znaczących oddziaływań na procesy i środowisko (może wystąpić nieznacznie zwiększone zużycie

energii przez sprzęt chłodzący).

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika

Dla przykładowego zakładu podano następujące dane ekonomiczne:

- inwestycja w halę magazynową: około 900 000 EUR;
- inwestycja w żeliwiak kampanijny: około 1 200 000 EUR.

Tabela 3.50: Aspekty ekonomiczne dla żeliwiaka kampanijnego z zimnym dmuchem

Koszty operacyjne	Stary żeliwiak	Nowy żeliwiak
materiał okładziny	3,61 €/t Fe	2,10 €/t Fe
koszty unieszkodliwiania	1,23 €/t Fe	0,04 €/t Fe
nakład pracy	5,76 €/t Fe	4,38 €/t Fe
Razem:	10,60 €/t Fe	6,52 €/t Fe
Źródło:[133. DE UBA 2014].		

Rekonstrukcja wymaga znacznych inwestycji (rekonstrukcja żeliwiaka oraz magazynu).

Siła napędowa wdrażania

- Korzyści dla środowiska.
- Zwiększona konkurencyjność poprzez redukcję kosztów związanych z unieszkodliwianiem materiałów ogniotrwałych i odpadów piecowych.
- Możliwość wydłużenia godzin pracy wytapialni do trzech zmian.
- Poprawa obciążenia pracą i bezpieczeństwa pracy poprzez znaczne ograniczenie fizycznie stresującej pracy w gorącym i wąskim szybie z piecem.

Przykładowe zakłady

Hermann Reckers GmbH & Co. KG Eisengießerei, Rheine - Mesum, DE.

Literatura źródłowa[133. DE UBA 2014]

3.2.2.1.6 Żeliwiaki opalane gazem ziemnym

Opis

Częściowe zastąpienie w żeliwiaku koksu gazem ziemnym.

Szczegóły techniczne

Zasada działania żeliwiaka koksowo-gazowego polega na zastąpieniu części koksu gazem. Istnieją dwie techniki spalania gazu ziemnego w żeliwiaku:

- za pomocą palników gazowo-powietrznych, umieszczonych nad dyszami (tuyères);
- za pomocą palników tlenowo-gazowych, umieszczonych w dyszach (tuyères).

Obecnie żeliwiaki koksowo-powietrzno-gazowe znajdują ograniczone zastosowanie w Europie. Może to wynikać z trudności w kontrolowaniu procesu i zwiększonej komplikacji powłoki pieca.

Palnik tlenowo-gazowy został wprowadzony w 1994 roku. Oprócz wypalania tlenem, umożliwia on wprowadzanie pyłu do dysz w celu recyrkulacji, choć w praktyce opcja ta nie jest stosowana. Palniki tlenowo-gazowe są umieszczone w 1/3 -1/2 dysz. Około 10% energii koksu jest zastępowane gazem ziemnym, co prowadzi do zużycia gazu od 8 Nm³/tonę do 16 Nm³/tonę. Wiąże się to z całkowitym zużyciem tlenu (palniki + lance) na poziomie od 40 Nm³/tonę do 60 Nm³/tonę. Zastosowanie tej techniki pozwala na większą elastyczność w produkcji i/lub metalurgii.

Efekt i zastosowanie palnika tlenowego zależą od danego żeliwiaka. W żeliwiakach z zimnym dmuchem technika ta jest stosowana w celu zapewnienia łatwego ponownego rozruchu lub zmniejszenia udziału koksu. Jest wykorzystywana do zwiększania wydajności pieca bez konieczności modyfikacji złoża topielnego. Zastąpienie części koksu CH_4 powoduje zmniejszenie objętości gazów spalinowych. Jest to sposób na zwiększenie wydajności pieca bez nadmiernego nasycania zainstalowanego systemu oczyszczania gazów spalinowych.

Technika ta powoduje wzrost zawartości węgla w stopionym materiale i umożliwia zwiększenie ilości stali we wsadzie. Proces umożliwia wstrzykiwanie żelazokrzemu, który jest tańszy w postaci proszku niż rudy.

Właściwości te przekładają się na korzystny efekt ekonomiczny.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Zastąpienie części koksu CH4 powoduje zmniejszenie objętości gazów spalinowych. Ponadto gazy spalinowe stają się bardziej palne ze względu na wyższą zawartość CO oraz H_2. Jeśli występuje dopalanie, powstałe gazy spalinowe będą wykazywać niższe poziomy związków organicznych i CO.

Częściowe zastąpienie koksu gazem ziemnym zmniejsza poziom emisji SO_2.

Technika ta umożliwia recyrkulację pyłu z żeliwiaka do stopionego materiału.

Obniżenie poziomu koksu w żeliwiaku zwiększa ryzyko powstawania mostkowania.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Odlewnia AGA-Rayburn (Coalbrookdale, Wielka Brytania) wyposażyła 3 z 8 dysz (tuyères) swojego żeliwiaka z zimnym dmuchem w palniki tlenowo-gazowe. Pozwoliło to na zmniejszenie ogólnego udziału koksu z 15% do 10%. W rezultacie spadła zawartość siarki w produkowanym żelazie, co pozwoliło na zmniejszenie ilości zużywanej surówki, a tym samym przyniosło korzyści ekonomiczne.

Odlewnia Fritzwinter (Niemcy) wyposażyła trzy z sześciu dysz (tuyères) swojego żeliwiaka o wydajności 20-25 ton/h w palniki tlenowo-gazowe. Umożliwiło to zwiększenie wydajności produkcyjnej do 28 ton/h, bez konieczności wymiany złoża topielnego ani systemu oczyszczania gazów spalinowych. Wpływ na skład gazów spalinowych przed spalaniem podano w poniższej tabeli.

Tabela 3,51: Wpływ palników tlenowo-gazowych na skład gazu spalinowego dla żeliwiaka z gorącym dmuchem; wartości w %

	Z tlenem bez palników tlenowo-gazowych	**Z tlenem z palnikami tlenowo-gazowymi**
H_2	0,8 – 1,2	2,2 – 2,4
CO	14 – 15	19
O_2	2	2
Źródło: [83, Godinot, P. i in. 2002]		

Oddziaływanie na procesy i środowisko
W przypadku stosowania palników tlenowo-paliwowych, oddziaływanie na procesy i środowisko związane z produkcją, przechowywaniem i wykorzystaniem tlenu omówiono w Sekcji 3.2.1.3.8.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ta może być stosowana zarówno w przypadku żeliwiaków z zimnym dmuchem jak i z gorącym, zarówno w nowych, jak i istniejących instalacjach. Korzyści wynikające z zastosowania (zwiększona elastyczność, korzyści ekonomiczne, zmniejszona objętość gazów spalinowych, zwiększona wydajność) będą zależeć od konkretnych warunków topienia rozważanej instalacji. Zgłoszono, że technika ta powoduje trudności w kontrolowaniu procesu, a także zwiększa złożoność wymaganego płaszcza pieca.

Ekonomika
Koszty operacyjne przed i po przestawieniu żeliwiaka do pracy z zimnym dmuchem na operacje tlenowo-gazowe w wyżej wymienionej odlewni Aga-Rayburn (Wielka Brytania) podano w poniższej tabeli. Ceny są prognozami obliczonymi przez CTIF (FR).

Tabela 3.52: Koszty operacyjne dla żeliwiaka z i bez palników tlenowo-gazowych

Wejście	**j.m.**	Cena jednostkowa	**Bez palników**		**Z palnikami**	
		EUR	**Zużycie na tonę**	**Koszt EUR/tonę**	**Zużycie na tonę**	**Koszt EUR/tonę**
Koks	tony	198	0,15	29,7	0,1	19,8
Gaz	Nm^3	0,15	0	-	16,5	2,5
Tlen	Nm^3	0,38	14	5,4		
		0,23			40	9,2
Surówka	tony	164,6	0,2	32,9	0	-

Złom żelazny	tony	125,8	0,2	37,7	0,5	62,9
Ogółem	EUR/tonę			105,7		94,4
Uwaga: Wszystkie wartości na tonę stopionego metalu *Źródło:* [83. Godinot, P. i in. 2002]						

Koszty operacyjne spadły z 105 EUR/tonę do 94 EUR/tonę stopionego metalu. Zysk ekonomiczny można przypisać głównie zmniejszonemu udziałowi surówki. Podkreśla to również fakt, że równowaga będzie różna dla każdej konkretnej odlewni.

Siła napędowa wdrażania
Zwiększenie elastyczności odlewni i/lub zwiększenie zdolności produkcyjnej istniejących instalacji bez zmiany układu instalacji.

Przykładowe zakłady
- AGA-Rayburn Foundry (Coalbrookdale, Wielka Brytania)
- Odlewnia Fritzwinter (DE)

Literatura źródłowa
[59. Godinot 2001], [83. Godinot, P. i in. 2002]

3.2.2.1.7 Dopalanie gazów wylotowych

Opis
Dopalanie CO i innych związków organicznych zawartych w gazach wylotowych z pieca jest wykorzystywane do redukcji emisji i odzysku ciepła. Wytworzone ciepło jest odzyskiwane za pomocą wymiennika ciepła i wykorzystywane do wstępnego podgrzewania powietrza dmuchowego lub innych celów wewnętrznych. W żeliwiakach z gorącym dmuchem dopalanie odbywa się w oddzielnej komorze dopalania podgrzewanej palnikiem na gaz ziemny. W żeliwiakach z zimnym dmuchem dopalanie odbywa się bezpośrednio w szybie żeliwiaka. W piecach obrotowych dopalanie odbywa się za pomocą dopalacza zainstalowanego między piecem a wymiennikiem ciepła.

Szczegóły techniczne
Dopalanie w żeliwiakach
Dopalanie gazów wylotowych jest wykorzystywane do optymalizacji odzysku ciepła (chemicznie związanego jako CO) i zapewnienia czystszych gazów spalinowych. Podczas spalania CO, wszelkie pozostałości materiału węglowego są jednocześnie utleniane do CO_2 oraz H_2O. Wytworzone ciepło może być odzyskiwane za pomocą wymiennika ciepła, a następnie transportowane do użytkownika wewnętrznego (np. podgrzewanie powietrza dmuchowego).
Typowe aranżacje to:

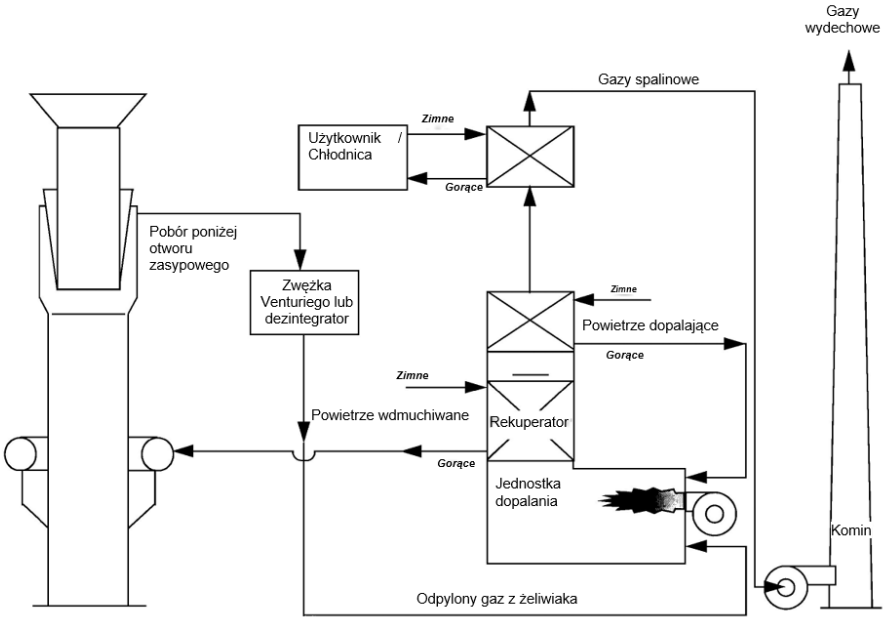
- komora dopalania umieszczona przed (filtr workowy) lub za (filtr mokry) jednostką odpylającą (w przypadku poboru poniżej otworu wsadowego);
- (gaz ziemny) lub kontrolowany wtrysk powietrza do szybu żeliwiaka (w przypadku poboru nad otworem zasypowym).

Konstrukcja systemu musi zapewniać, że gazy wylotowe pozostaną w temperaturze powyżej 800 ºC i z odpowiednim czasem przebywania, tj. 2 sekundy, aby zagwarantować całkowite utlenienie gazów wylotowych. Różne systemy zostały w pełni opisane i omówione poniżej.

Dopalanie w żeliwiakach z gorącym dmuchem
Za żeliwiakiem zainstalowano komorę dopalania z palnikiem. Zazwyczaj oddzielna jednostka dopalania musi być wstępnie podgrzana za pomocą palnika na gaz ziemny. Po uruchomieniu żeliwiaka albo mniejszy palnik podtrzymuje spalanie gazów wylotowych, albo gazy ulegają samozapłonowi.

Typ i położenie komory mogą się różnić w zależności od kompozycji procesu. Istnieją zarówno poziome, jak i pionowe typy komór spalania.

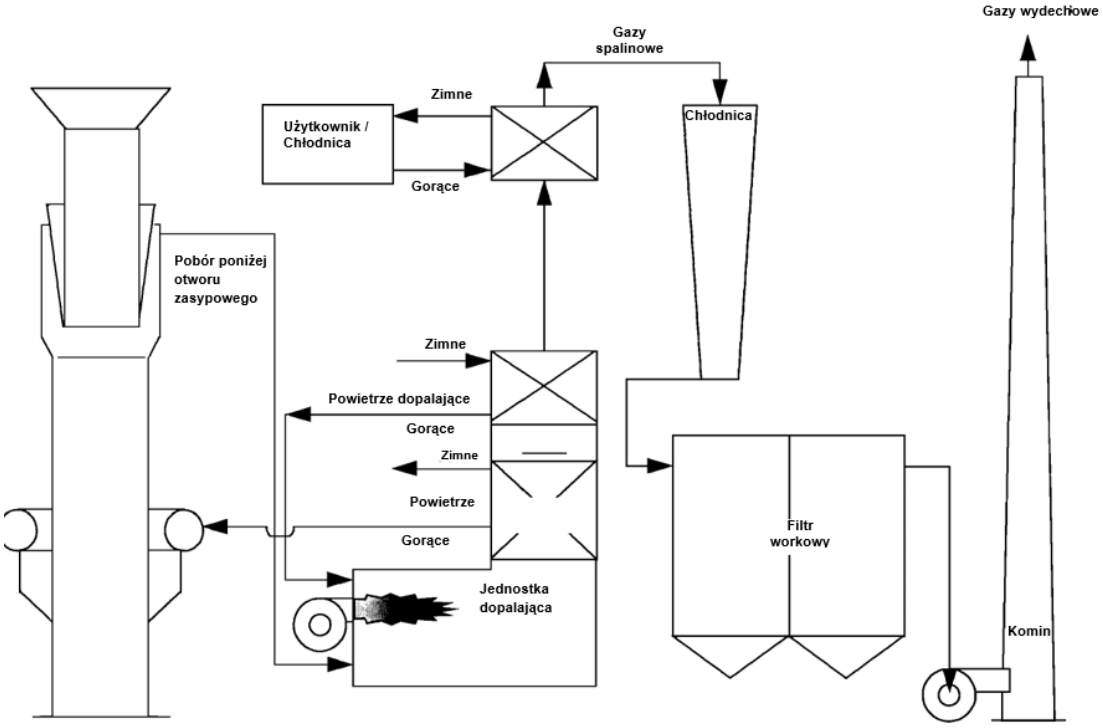
- Żeliwiak z gorącym dmuchem *z rekuperatorem* i *płuczką gazową mokrą* (Rysunek 3.60): W tym układzie gazy są odpylane przed spalaniem. Zmniejsza to gromadzenie się pyłu w rekuperatorze, co poprawia szybkość wymiany ciepła. Jedną z wad jest wyższe zużycie energii w jednostce dopalania, spowodowane tym, że gazy są schładzane w płuczce gazowej mokrej. Wczesne chłodzenie gazów wylotowych jest stale przeprowadzane w celu zmniejszenia rozmiaru jednostki odpylania.



Źródło: [14. CAEF 1997].

Rysunek 3.60: Żeliwiak z gorącym dmuchem *z rekuperatorem* i *płuczką gazową mokrą*

- *Żeliwiak z gorącym dmuchem z rekuperatorem i filtrem workowym* (Rysunek 3.61): Gorące, zapylone, górne gazy są doprowadzane bezpośrednio do jednostki dopalania. Ścisła kontrola procesu jest konieczna, aby zapobiec spiekaniu się cząstek pyłu na ściankach rekuperatora, które muszą być regularnie czyszczone. Gazy wymagają dalszego chłodzenia przed wejściem do filtra workowego, ponieważ opuszczają rekuperator w temperaturze od 500ºC do 600ºC.



Źródło: [14. CAEF 1997].

Rysunek 3.61: Żeliwiak z gorącym dmuchem z rekuperatorem i filtrem workowym

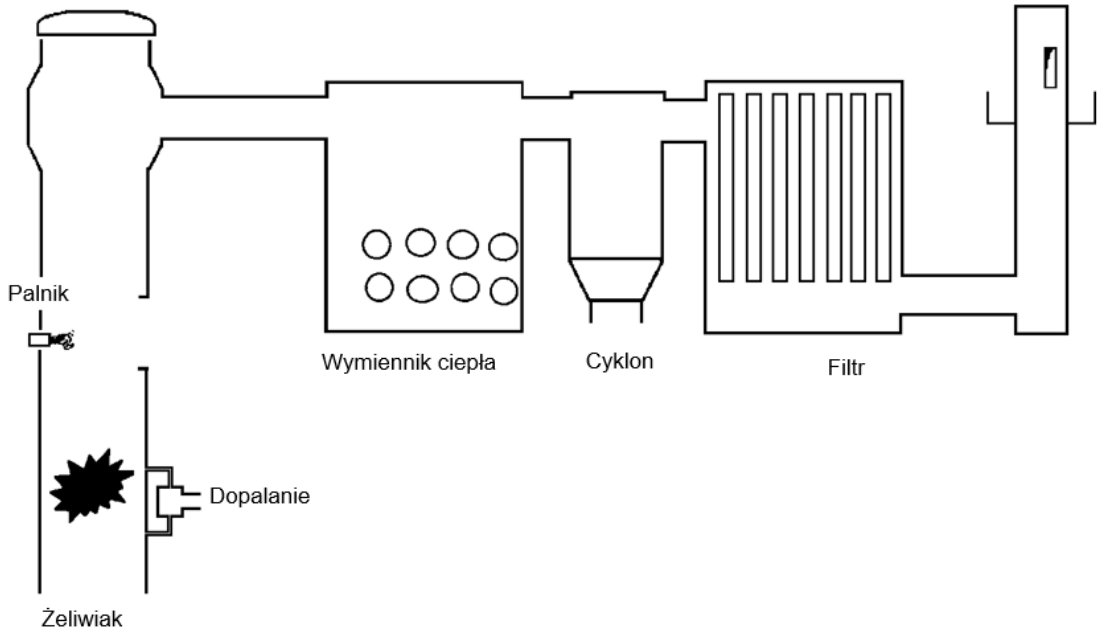
Dopalanie w szybie żeliwiaka

Gazy są spalane przez wtrysk powietrza do górnej części wsadu lub w miejscu powyżej górnego poziomu wsadu. Przepływ powietrza jest regulowany w taki sposób, aby gazy wylotowe zapalały się spontanicznie ze względu na zawartość CO i temperaturę. Dysze wtryskowe mogą być umieszczone na jednym lub dwóch

poziomach. Podział przepływu powietrza na różnych poziomach, wybór średnicy i położenia dysz opiera się na doświadczeniu. Celem optymalizacji jest spalanie CO bez zapłonu koksu. Przeciąg będzie również zasysał powietrze z drzwiczek ładowania. Ten nadmiar powietrza pozwala na pełniejsze wypalenie CO.

W celu utrzymania płomienia można zastosować palnik wspomagający. W przypadku stosowania bardzo niskich ładunków koksu (tj. < 6-8%) środek ostrożności jest w pełni uzasadniony.

Spalanie gazów wylotowych musi być połączone z chłodzeniem gazu, jeśli używany jest filtr workowy. W przypadku żeliwiaków z gorącym dmuchem chłodzenie jest połączone z wstępnym podgrzewaniem wdmuchiwanego powietrza. W przypadku zimnego dmuchu można zastosować szybkie chłodzenie za pomocą wtrysku wody do szybu pieca. Alternatywnie można zastosować wymiennik ciepła (gaz wylotowy - powietrze). Zostało to zilustrowane na Rysunku 3.62.



Źródło: [60, Godinot i in. 1999]

Rysunek 3.62: Zasada dopalania i chłodzenia gazów wylotowych w żeliwiakach z zimnym dmuchem

Instalacja dopalania w żeliwiakach z zimnym nadmuchem może być połączona z pełną modernizacją do pracy z gorącym dmuchem. Na ogół, wybór ten opiera się na względach operacyjnych. Charakterystykę żeliwiaków z gorącym dmuchem oraz kampanijnych omówiono w sekcjach 2.2.4.1.2 oraz 2.2.4.1.3.

Dopalanie w piecach obrotowych

Zastosowanie dopalacza pozwala na redukcję emisji węgla organicznego i palnych cząstek. Technika ta może być również skuteczna w zmniejszaniu ryzyka powstawania dioksyn podczas chłodzenia gazów. Dopalacz jest instalowany za piecem, ale przed wymiennikiem ciepła. Można użyć jednego z następujących typów dopalaczy:

- spalarnia termiczna: spalanie w otwartym płomieniu;
- spalarnia katalityczna: spalanie w niższych temperaturach dzięki zastosowaniu katalizatora, co skutkuje wyższą wydajnością i niższą emisją NO_X;
- spalarnia rekuperacyjna: spalanie z odzyskiem ciepła w celu wstępnego podgrzania powietrza do spalania, co skutkuje wyższą sprawnością cieplną i niższym zużyciem paliwa;
- katalityczna spalarnia rekuperacyjna: połączenie dwóch poprzednich typów.

Osiągnięte korzyści dla środowiska

Dopalanie ogranicza emisję CO i eliminuje większość związków organicznych. Jeśli nie będą spalone, zostaną wychwycone w pyle lub wyemitowane przez komin. Ponadto, dopalanie zmniejsza ryzyko pożaru w filtrze.

Technika ta pozwala uniknąć ryzyka wybuchu w pewnych okolicznościach. Pozytywny wpływ na środowisko jest zmaksymalizowany w przypadkach, gdy gazy wylotowe są spalane autotermicznie przez większość czasu. W przeciwnym razie wzrost zużycia energii może zrównoważyć redukcję emisji CO.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

W Sekcji 2.3, przedstawiono najnowsze szczegółowe informacje przekazane w ramach gromadzenia danych SF.

W poniższej tabeli przedstawiono przegląd zgłoszonych stężeń emisji CO i całkowitych LZOP z dopalania w żeliwiakach (z zimnym i gorącym dmuchem).

Tabela 3.53: Zgłoszone stężenia CO i całkowitych LZO dla dopalania w żeliwiakach

Typ pieca	Liczba punktów emisji	CO mediana/średnia zgłoszonych maksymalnych stężeń (mg/Nm3)	TVOC mediana/średnia zgłoszonych maksymalnych stężeń (mg/Nm3)
Żeliwiak z	1	86/-	-/-
Żeliwiak z	7	61/191	14/23
Źródło: [169. TWG 2021].			

Dopalanie w żeliwiakach z gorącym dmuchem

Dane operacyjne dla żeliwiaków z gorącym dmuchem podano w Tabeli 3.54. Poniżej podano dane dla dwóch przykładowych zakładów:

1. Odlewnia G to odlewnia pracująca na 3 zmiany oraz 5 dni w tygodniu, o wydajności topienia 50 t/h. Gaz wylotowy jest zbierany poniżej otworu wsadowego i spalany w rekuperatorze. Gaz wylotowy jest następnie rozdzielany: jedna część trafia do wytworzenia gorącego dmuchu (T = 600 ºC), a druga do kotła parowego. Para jest doprowadzana do turbiny, która zasila generator lub sprężarkę. Ciepło resztkowe jest wykorzystywane do wstępnego podgrzewania powietrza do spalania w rekuperatorze. Gaz odlotowy jest następnie oczyszczany w filtrze workowym. Rysunek koncepcyjny i dalsze omówienie instalacji podano w Sekcji 3.2.1.3.13. Pył jest zawracany do żeliwiaka po zmieszaniu z koksem naftowym. Zostało to omówione w Sekcji 3.2.1.4.5.6.

2. Odlewnia H to pracująca na 3 zmiany i 5 dni w tygodniu odlewnia, o wydajności topienia 70 t/h. Gaz wylotowy jest zbierany poniżej otworu wsadowego i płukany w dezintegratorze przed dopaleniem w rekuperatorze. Ciepło jest wykorzystywane do wstępnego podgrzewania powietrza dmuchowego i trafia do dalszego odzysku ciepła, a następnie opuszcza komin w temperaturze 220 ºC. Dalsze omówienie instalacji odzysku ciepła znajduje się w Sekcji 3.2.1.3.13. Ścieki są ponownie wprowadzane do obiegu po osadzeniu. Objętość wody obiegowej wynosi 440 m³/h. Osad z osadnika jest suszony w prasie filtracyjnej do zawartości 50% DS przed utylizacją. Około 80 m³ ścieków dziennie jest odprowadzanych do miejskiej oczyszczalni ścieków.

Tabela 3.54: Dane operacyjne żeliwiaków z gorącym dmuchem wykorzystujących filtr workowy i dezintegrator do wychwytywania pyłu

	j.m.	**Zakład G**	**Zakład H**
Wydajność topienia	tona/h	50	50
Przepływ gazów odlotowych	Nm³/h	75000	55000
Temperatura gorącego dmuchu	°C	600	570
Temperatura gazów spalinowych	°C	127	220
Rok budowy systemu oczyszczania gazów spalinowych		1989	1983
Data pomiarów		10/1990	Pomiar kontrolny 09/1993

Emisje - pył • Gaz nieoczyszczony • Czysty gaz: średnia[1] maksimum - Gazowe[2] • SO_2 • NO_x • C ogólny • CO • O_2	mg/Nm3 %	 1300 – 4300 1.1 1.8 33 44 <5 32 12.2	 8000 – 20000 6.1 7.3 15.6 52.5 28.6 (FID) <100 6.4
Emisja metali ciężkich - Cr - Cr ogólny - Pb	mg/Nm3	Czysty gaz[3] <0.001 <0.001 <0.001	Czysty gaz <0,0022 b.d 0,11

	j.m.	Zakład G	Zakład H
- Zn - Ni		< 0,011 b.d	0.36 < 0,004
Emisje PCDD/F[1] •Czysty gaz[4] •Współczynnik emisji	ng TEQ/Nm3 µg TEQ/tonę Fe	0,048 0,089	0,003 0,004
Pył filtracyjny/osad - ilość pojedyncza - zawartość PCDD/F	kg/tonę Fe µg TEQ/kg	Recykling pyłu 4,5 0,176	Osady pofiltracyjne do utylizacji 5,5 1,4
Wykorzystanie ciepła odpadowego		Gorące nadmuchiwane powietrze, para do produkcji energii elektrycznej o mocy do 3 MW	Gorące powietrze dmuchowe, olej termalny do konwersji ciepła odpadowego do celów ogrzewania i suszenia do 21 MW
Koszt inwestycji	DEM '000	26400	22700 w 1980/81
Koszty operacyjne	DEM/tonę dobrego odlewu	Zobacz dane w tekście dla odlewni G	Zobacz dane w tekście dla odlewni H

1 Średnia dla pyłu jest obliczana na podstawie 5-6 półgodzinnych danych pomiarowych i wartości 2x2 godziny dla PCDD/F.
2 Stężenia dwutlenku siarki, tlenku azotu, węgla całkowitego, tlenku węgla i dwutlenku węgla są obliczonymi średnimi z ciągłych pomiarów w ciągu kilku godzin podczas pobierania próbek pyłu lub PCDD/F.
3 W czasie pomiaru recykling pyłu nie działał.
4 Czas próbkowania 2 godziny.
b.d.: brak danych.
Uwaga: Próbki gazu nieoczyszczonego pobierano przed filtrem workowym w przypadku G i przed dezintegratorem w przypadku H; próbki gazu oczyszczonego pobierano po filtrze workowym w przypadku G i po rekuperatorze w przypadku H.
Źródło: [7. Strauß 1983], [12. Kran, H.-P. i in. 1995], [100. TWG 2002]

Spalanie spalin w komorze dopalania nie zużywa dużo energii, pod warunkiem, że w spalinach znajduje się wystarczająca ilość tlenku węgla, co zazwyczaj ma miejsce. Jednak cały system oczyszczania spalin (komora spalania + wymiennik ciepła + filtr lub płuczka gazowa mokra + wentylatory) również wymaga energii elektrycznej i regularnej konserwacji. Tabela 3.55 przedstawia kilka przykładów zużycia energii przez żeliwiaki z gorącym dmuchem

Tabela 3.55: Zużycie energii przez żeliwiaki z gorącym dmuchem

Stawka godzinowa żeliwiaka	Typ odpylania	Gaz zużycie dla komory spalania (kWh/t wsadu)	Zużycie energii elektrycznej przez system oczyszczania spalin (kWh/t wsadu)
12	Filtr	59	46
12	Filtr	124	72
26	Filtr	42	Brak danych
17	Elektrofiltr (mokry)	16	38

Dopalanie w szybie żeliwiaka
Dwie konfiguracje dopalania i chłodzenia w żeliwiakach z zimnym dmuchem zostały zbadane na skalę

przemysłową i porównane przez CTIF; żeliwiak i był wyposażony we wtrysk wody do szybu żeliwiaka, cyklon i filtr workowy, żeliwiak J był wyposażony w gazowo-powietrzny wymiennik ciepła, cyklon i filtr workowy. Dane operacyjne podano w Tabeli 3.56. Wyniki kampanii pomiarowych i odniesienie do obowiązujących przepisów podano w Tabeli 3.57.

Tabela 3.56: Wydajność środowiskowa i dane operacyjne dwóch przykładowych konfiguracji wykorzystujących dopalanie z chłodzeniem wodnym (I) i chłodzeniem powietrzem (J)

Parametr	j.m.	Odlewnia I	Odlewnia J
Wydajność topienia	tona/h	10,3	9,2
Przepływ powietrza pierwotny + wtórny	Nm³/h	7389	6484
Przepływ powietrza dopalającego	Nm³/h	2372	1549
Przepływ wody	l/h	2678	
Przepływ gazów spalinowych (komin)	Nm³/h	26780	39179
Czas przebywania od spalania do filtra workowego	S	10,5	12,3
Etap chłodzenia z czasem przebywania	S	< 1,7	6,01
Ogólna wydajność spalania CO	%	66	96,5
Źródło: [60, Godinot i in. 1999]			

Tabela 3.57: Wyniki analiz i obowiązujące (francuskie) przepisy dotyczące dopalania w żeliwiaku z zimnym dmuchem z chłodzeniem wodnym (I) i chłodzeniem powietrzem (J) gazów spalinowych

	Odlewnia I		Odlewnia J		Zarządzenie 02/02/98	
Związek	**analiza**	**topnik**	**analiza**	**topnik**	**Wartość graniczna**	**Wartość graniczna do rozważenia ***
Pył	1,7 - 2,8 mg/Nm³ 3 - 5 g/t	0,04 - 0,07 kg/h	1 mg/Nm³ 34 g/h		100 mg/Nm³ 200 g/t	< 1 kg/h stopu = 8 ton/h
CO	450 Nm³/h	560 kg/h	35 Nm³/h	44 kg/h		50 kg/h
HCl	22 mg/Nm³	0,4 kg/h	9,2 mg/Nm³	0,35 kg/h	50 mg/Nm³	1 kg/h
HF	13 mg/Nm³	0,24 kg/h	4,8 mg/Nm³	0,18 kg/h	5 mg/Nm³	0,5 kg/h
HCN	< 0,007 mg/Nm³	0,13 g/h	< 0,01 mg/Nm³	0,38 kg/h	5 mg/Nm³	50 g/h
NH_3	0,61 mg/Nm³	12 g/h	0,10 mg/Nm³	3,8 g/h	50 mg/Nm³	100 g/h
NO_X	9 mg/Nm³	0,17 kg/h	15 mg/Nm³	0,57 kg/h	500 mg/Nm³	25 kg/h
LZO niemetanowe	13 mg/Nm³	0,25 kg/h	6 mg/Nm³	0,23 kg/h	110 mg/Nm³	2 kg/h
*: Jeśli strumień ma wartość niższą niż wartość graniczna, zmierzona wartość może przekroczyć limit *Źródło*: [60, Godinot i in. 1999]						

Chłodzenie natryskowe osiąga sprawność niszczenia CO na poziomie 66% i zapewnia zgodność z obowiązującymi przepisami. Chłodzenie gazów spalinowych przez wymiennik ciepła zapewnia lepszą wydajność (98%).

Dopalanie w piecach obrotowych

Oczekuje się, że dopalacz osiągnie sprawność od 80% do 98% w zakresie spalania palnych cząstek stałych emitowanych z pieca obrotowego. Gorące gazy z dopalacza mogą być kierowane przez rekuperator i mogą pomóc we wstępnym podgrzaniu powietrza do spalania w głównym palniku pieca. Rekuperatory zapewniają oszczędność energii do 15%.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Techniki odpylania na sucho wytwarzają pył do unieszkodliwiania (4-12 kg/t ciekłego żelaza). Pył może zostać ponownie wprowadzony do żeliwiaka. Systemy mokre wytwarzają frakcję osadu.

W przypadku żeliwiaków z zimnym dmuchem, jeśli gazy wylotowe z żeliwiaka nie zapalają się samoczynnie, konieczne jest zainstalowanie palników zapłonowych lub podtrzymujących. Powoduje to znaczne zużycie energii i zwiększa ogólną objętość gazów spalinowych.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ogólnie stosowana.

Na etapie projektowania należy zwrócić szczególną uwagę na zminimalizowanie całkowitego przepływu oczyszczanych gazów. Wlot powietrza do spalania musi być ograniczony do niezbędnego minimum. Jest to powód, dla którego oddzielna jednostka spalania jest zawsze instalowana w połączeniu z poborem pod otworem zasypowym. Ze względów ekonomicznych (zobacz poniżej) komora dopalania jest stosowana tylko w żeliwiakach z gorącym dmuchem. Opracowano jednak również system dopalania dla zimnych wielkich pieców, bez złożoności instalacji gorącego dmuchu. System ten działa obecnie we Francji. Dopalanie "w szybie" ma zatem zastosowanie zarówno do pracy żeliwiaka z gorącym, jak i zimnym dmuchem.

Zmiana systemu poboru istniejącego żeliwiaka z powyżej na poniżej systemu otworu zasypowego jest w większości przypadków niemożliwa. Dopalanie gazów odlotowych w szybie pieca jest zatem bardziej opłacalnym rozwiązaniem w przypadku żeliwiaków z zasypem powyżej otworu wsadowego.

W Republice Czeskiej zbadano cały zakres instalacji żeliwiaków z zimnym dmuchem pod kątem możliwości zastosowania dopalania w szybie. Spalanie nie było spontaniczne w żadnej z konfiguracji przez cały okres topienia. W każdym przypadku konieczne było zainstalowanie palników zapłonowych o znacznej mocy. Zwiększyła się również objętość emisji żeliwiaka.

Jeśli chodzi o piece obrotowe, technika ta ma zastosowanie do wszystkich nowych i istniejących instalacji pieców obrotowych, zarówno w odlewniach metali żelaznych, jak i nieżelaznych.

Ekonomika
Wysokie zużycie energii w procesie dopalania jest uzasadnione ekonomicznie tylko wtedy, gdy uwolnione ciepło gazów odlotowych może być ponownie wykorzystane, tak jak ma to miejsce w żeliwiaku rekuperacyjnym z gorącym dmuchem. Jednak przejście z zimnego dmuchu na gorący dmuch tylko ze względu na spalanie gazu może w niektórych sytuacjach napotkać ograniczenia ekonomiczne. Żeliwiaki z gorącym dmuchem, najlepiej w konfiguracji z długimi kampaniami, wiążą się z wyższymi kosztami inwestycyjnymi i są stosowane tylko przy wydajności produkcji 10 ton Fe/h lub większej. W mniejszych odlewniach ta metoda produkcji może nie być właściwym wyborem.

Tabela 3.54 zawiera dane ekonomiczne dla przykładowych zakładów. W przypadku odlewni G podano koszty inwestycyjne dla żeliwiaka z filtrem workowym i dużym odzyskiem ciepła. Koszty operacyjne w 1994 r. (po modernizacji pieca do topienia) były o 25% niższe niż w 1985 r., tj. w przypadku starego pieca do topienia. Dla odlewni H podano koszty inwestycji w latach 1980-1981. Po remoncie koszty operacyjne spadły o 2% na tonę płynnego żelaza.

Koszt inwestycji w podwójny żeliwiak z zimnym dmuchem o średnicy wewnętrznej 850 mm, który produkuje 4,5 tony na godzinę, 10 godzin dziennie, 5 dni w tygodniu, wynosi około 300 000 EUR.

Siła napędowa wdrażania
Wymogi prawne: Dopuszczalne wartości emisji i ciągłe monitorowanie CO oraz dopuszczalne wartości emisji związków organicznych.

Przykładowe zakłady
Żeliwiak z zimnym dmuchem: DE058 i DE067.
Żeliwiak z gorącym dmuchem: BE021, BE022, CZ024, DE046, DE051, DE061 i DE076. [169. TWG 2021].

Literatura źródłowa
[7. Strauß 1983], [12. Kran, H.-P. i in. 1995], [14. CAEF 1997], [60. Godinot i in. 1999] [100. TWG 2002], [54. ETSU 1998], [11. Brettschneider i in. 1992], [64. UK Environment Agency (Brytyjska Agencja Ochrony Środowiska) 2002], [169. TWG 2021]

3.2.2.1.8 Praktyka stosowania spienionego żużla

Opis
Jednoczesny wtrysk tlenu i węgla (w postaci pyłu węglowego) do żużla pod koniec cyklu topienia w piecach łukowych. Wtrysk ten generuje pęcherzyki CO, tworząc warstwę spienionego żużla, który izoluje stopiony metal i chroni wyłożenie ogniotrwałe pieca.

Szczegóły techniczne
Praktyka spienionego żużla, stosowana obecnie w przemyśle stalowym, polega na jednoczesnym wtryskiwaniu tlenu i węgla (w postaci pyłu węglowego) do żużla pod koniec topienia. Piana żużlowa powstaje w wyniku działania pęcherzyków CO. CO pochodzi z utleniania węgla w metalu przez wtryskiwany tlen, a także z redukcji tlenków żelaza (FeO) przez wtryskiwany węgiel.

Tworzenie spienionego żużla poprawia przenoszenie ciepła do ładowanych jednostek i chroni materiał ogniotrwały wewnątrz pieca. Ze względu na lepszą stabilność łuku i mniejsze efekty promieniowania, spienianie żużla prowadzi do zmniejszenia zużycia energii, zużycia elektrod, poziomu hałasu i zwiększenia wydajności.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Zmniejszenie zużycia energii i elektrod, niższy poziom hałasu i zmniejszenie objętości spalin.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Tabela 3.58 przedstawia dane operacyjne dla 60-tonowego pieca łukowego i wskazuje główne oszczędności energii, czasu, materiałów ogniotrwałych i elektrod.

Tabela 3.58: Dane dotyczące energii i temperatury topienia w piecu łukowym z użyciem zwykłego żużla i żużla spienionego

	j.m.	**Zwykły żużel**	**Spieniony żużel**
Całkowita moc	MW	25	30
Utrata promieniowania łuku do gazów spalinowych	MW	6	0
Przepływ gazów spalinowych	m³/h	41000	28000
Temperatura końcowa - metal - żużel - gazy spalinowe - materiał ogniotrwały	°C	 1630 1603 1463 1528	 1630 1753 1607 1674
Energia - wejście - elektryczność - skamielina (węgiel)	kWh/tonę	 50,8 37,1	 37,7 22,6
Energia - wyjście - metal (ΔH) - żużel (ΔH) - straty w piecu - straty gazów spalinowych - inne straty	kWh/tonę	 10,4 93 412 53,6 2,5	 10,4 93 412 24,8 1,6
Czas nagrzewania 1584 - 1630 °C Szybkość nagrzewania	min °C/min	11 min 45 s 3,9	7 min 30 s 6.1
Źródło: [100. TWG 2002].			

Gęstość żużla zmniejsza się z 2,3 tony/m³ do 1,15-1,5 tony/m³.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Wraz ze wzrostem objętości żużla mogą być potrzebne większe wiadra na żużel. Po spuście żużel ponownie się odgazowuje. Nie odnotowano negatywnego wpływu na możliwości ponownego wykorzystania żużla.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ta ma zastosowanie do nowych i istniejących odlewniach z piecami łukowymi, które stosują wtrysk tlenu.

Siła napędowa wdrażania
- Zwiększenie wydajności pracy pieca.

Przykładowe zakłady
Nie zgłoszono żadnych konkretnych przykładów zakładów, ale technika ta znalazła zastosowanie w kilku europejskich odlewniach.

Literatura źródłowa
[14. CAEF 1997], [100. TWG 2002], [109. COM 2013].

3.2.2.2 Emisje do powietrza z procesów termicznych

3.2.2.2.1 Emisje do powietrza z topienia metali

3.2.2.2.1.1 Kontrola jakości koksu

Opis
Koks jest kupowany w oparciu o ważne specyfikacje jakościowe (np. węgiel stały, popiół, substancje lotne, zawartość siarki i wilgoci, średnia średnica), które są systematycznie kontrolowane przed użyciem.

Szczegóły techniczne
Jakość stosowanego koksu ma bezpośredni wpływ na wydajność pracy żeliwiaka. W szczególności wpływa na początkową temperaturę wychwytu węgla i zawartość siarki w żelazie. Określenie specyfikacji koksu odlewniczego obejmuje sprawdzenie następujących jego zawartości:

- *Węgiel stały*: Im wyższa zawartość węgla, tym wyższa wartość opałowa.
- *Zawartość popiołu*: Wysoka zawartość popiołu jest niepożądana, ponieważ obniża wartość opałową koksu i generuje większą objętość żużla w żeliwiaku.
- *Substancje lotne*: Substancje lotne są niepożądane, ponieważ zmniejszają zawartość węgla stałego, a tym samym wartość opałową koksu.
- *Siarka*: Siarka jest dobrze znana jako niepożądany pierwiastek w każdym rodzaju żeliwa i prowadzi do emisji SO2. Im niższa zawartość siarki w koksie wsadowym, tym lepiej. Zawartość siarki w koksie zależy od zawartości siarki w węglu wsadowym. Główne procesy odsiarczania obejmują: odsiarczanie chemiczne, ługowanie, ekstrakcję, flotację, oksydesulfurację i biodesulfurację. Na przykład nieorganicznie związana siarka (piryt) jest mechanicznie oddzielana od suchego lub mokrego drobno zmielonego węgla lub organicznie związana siarka jest redukowana wodorem pod ciśnieniem do siarkowodoru i oddzielana (proces SRC (węgiel rafinowany rozpuszczalnikiem)). Nieorganicznie związaną siarkę (piryt) można również usunąć zgodnie z procesem Meyersa, utleniając ją siarczanem Fe(III) i tlenem atmosferycznym do siarki elementarnej.
- *Wilgotność*: Wilgoć w koksie po wyjściu z pieca koksowniczego jest niepożądana, ponieważ zmniejsza ilość węgla dostępnego wagowo. Konieczne jest jednak, aby koks zawierał pewną ilość wilgoci, aby uniknąć pożarów na przenośnikach taśmowych oraz w ciężarówkach i wagonach.
- *Rozmiar*: Rozmiar koksu odlewniczego ma bezpośredni wpływ na zużycie koksu na tonę stopionego żelaza, a także na szybkość topienia. Aby osiągnąć optymalną wydajność, rozmiar koksu wysyłanego z pieca koksowniczego musi być dobrany w taki sposób, aby koks piecowy miał średnią średnicę większą niż 90 mm, z nie więcej niż 4% średnic mniejszych niż 50 mm. Zawartość drobnych cząstek ma wpływ na emisję pyłu podczas załadunku i przeładunku.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Optymalizacja wsadu koksu skutkuje wyższą wydajnością procesu.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne Typowe właściwości koksu odlewniczego podano w Tabeli 3.59.

Tabela 3.59: Typowe właściwości koksów odlewniczych

Właściwość	Typowa wartość (%)	Wartość graniczna (%)
Popiół	5,8 – 5,9	6,5 maks.
Substancje lotne	0,3 – 0,4	0,8 maks.
Siarka	0,68 – 0,70	0,75 maks.
Wilgoć	1,5 – 2,5	3,0 maks.
Trwałość M80 Wskaźnik Micus M10 Wskaźnik Micus	 81 – 82 8 - 8.5	 78,0 maks. 9,0 maks.
Węgiel stały	93,7 – 93,8	93,0 min.
Wyższa wartość opałowa	32200 kJ/kg	31800 kJ/kg
Źródło: [95. Nalonchem 2002].		

Dane w Tabeli 3.59 pochodzą ze specyfikacji dostawcy. Lokalne normy mogą wykorzystywać wyższe wartości graniczne.

Oddziaływanie na procesy i środowisko Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ta ma zastosowanie do wszystkich nowych i istniejących instalacji wykorzystujących żeliwiaki.

Ekonomika
Generalnie, surowce o niskiej zawartości siarki są droższe.

Siła napędowa wdrażania
- Poprawa wydajności procesu odlewniczego.
- Wymogi prawne.

Przykładowe zakłady
Technika ta jest powszechnie stosowana w europejskich odlewniach stosujących żeliwiaki.

Literatura źródłowa
[20. ETSU 1993], [120. TWG 2003]

3.2.2.2.1.2 Regulacja kwasowości/zasadowości żużla

Więcej informacji na temat tej techniki znajduje się w Sekcji 3.2.1.4.5.4.

3.2.2.2.1.3 Zwiększenie wysokości szybu w żeliwiakach z zimnym dmuchem

Więcej informacji na temat tej techniki znajduje się w Sekcji 3.2.2.1.1.

3.2.2.2.1.4 Wzbogacanie tlenem powietrza do spalania

Więcej informacji na temat tej techniki znajduje się w Sekcji 3.2.2.1.2.

3.2.2.2.1.5 Przegrzanie wdmuchiwanego powietrza w żeliwiakach z gorącym dmuchem

Więcej informacji na temat tej techniki znajduje się w sekcji 3.2.2.1.3.

3.2.2.2.1.6 Minimalne okresy wstrzymywania nadmuchiwania dla żeliwiaków z gorącym dmuchem

Więcej informacji na temat tej techniki znajduje się w Sekcji 3.2.2.1.4.

3.2.2.2.1.7 Żeliwiak kampanijny

Więcej informacji na temat tej techniki znajduje się w Sekcji 3.2.2.1.5.

3.2.2.2.1.8 Ekstrakcja (odciąganie) i chłodzenie gazu wylotowego jak najbliżej źródła emisji

Opis
W żeliwiakach gazy wylotowe są odsysane:

- powyżej wlotu do otworu wsadowego na końcu komina żeliwiaka za pomocą kanałów i wentylatora; lub
- poniżej otworu wsadowego za pomocą pierścienia.

Po ekstrakcji gazy wylotowe są chłodzone, na przykład za pomocą:

- długich kanałów obniżających temperaturę poprzez naturalną konwekcję;
- wymienników ciepła powietrze/gaz lub olej/gaz;
- hartowanie wodą.

W przypadku pieców indukcyjnych gazy wylotowe są odciągane, na przykład za pomocą:

- okapów wyciągowych (np. okapów z daszkiem lub okapów bocznych);
- ekstrakcji barierowej;
- ekstrakcji osłonowej.

W przypadku pieców obrotowych gazy odlotowe są odciągane, na przykład za pomocą ekstrakcji okapowej.

W przypadku pieców łukowych gazy wylotowe są odciągane, na przykład za pomocą:

- ekstrakcji okapowej sufitowej;
- okapów z daszkiem lub bocznych;
- częściowej obudowy pieca (przenośnej lub stałej) zamontowanej wokół pieca i obszaru poboru;
- całkowitej obudowy pieca wykorzystującej kompletną obudowę pomieszczenia wokół pieca i obszaru spustowego wyposażonego w ruchomy dach do operacji ładowania/spustu.

Szczegóły techniczne
Zbieranie, chłodzenie i odpylanie w żeliwiakach
Konstrukcja systemu zbierania i oczyszczania gazów opiera się na warunkach występujących podczas

przedmuchiwania, ponieważ są to często najtrudniejsze warunki występujące podczas pracy systemu. Pod koniec kampanii topienia piec nie jest już wypełniony materiałami wsadowymi. Temperatura gazu będzie stopniowo wzrastać, ponieważ nie jest on już chłodzony przez zimny wsad w kominie. W kontakcie z tlenem CO spala się automatycznie. Temperatury mogą zatem osiągnąć 1 200 ºC, a nawet więcej. System zbierania i oczyszczania gazów wylotowych musi być w stanie poradzić sobie z tymi trudnymi warunkami.

Zbieranie:

Stosowane są dwa systemy zbierania gazu:

- *Odbiór nad otworem zasypowym*: Gazy wydechowe są pobierane na końcu komina żeliwiaka za pomocą kanałów i wentylatora umieszczonego za nimi. Otwór nad otworem wsadowym umożliwia dopływ powietrza, niezbędnego do zapobiegania emisji gazów z żeliwiaka. Ta ilość dodatkowego powietrza może być wielokrotnie większa od przepływu gazu w żeliwiaku. Zwiększa to rozmiar i koszt systemu zbierania i oczyszczania. Zmniejszenie rozmiarów otworów wsadowych może mieć pewne zalety, ale ta opcja może być ograniczona ze względu na zagrożenie wybuchem, gdy zbyt mało tlenu miesza się z gazami żeliwiaka zawierającymi CO (spalanie pulsacyjne).
- Odbiór poniżej otworu zasypowego: Gazy z żeliwiaka są zbierane przez pierścień poniżej otworu zasypowego. Nie jest wymagany dopływ powietrza, ponieważ gazy nie mogą być emitowane z otworu, pod warunkiem, że system sterowania jest wystarczająco czuły, aby działać prawidłowo podczas zmian prędkości dmuchu żeliwiaka. Zbyt mała prędkość dmuchu może spowodować emisję nieoczyszczonych gazów przez komin żeliwiaka, a zbyt duża prędkość dmuchu może spowodować przedostanie się powietrza, prowadząc do spalania i przegrzania gazów (tj. zagrożenia wybuchem).

Chłodzenie

Po zebraniu gazy mogą wymagać schłodzenia w zależności od zastosowanego systemu odpylania. W operacji z gorącym dmuchem ciepło odzyskane z chłodzenia może być wykorzystane do wstępnego podgrzania powietrza dmuchowego.

Możliwych jest kilka opcji chłodzenia zebranych gazów, w tym:

- *Użycie chłodnic rurowych*: Prowadzenie zebranych gazów przez długie kanały, obniża temperaturę poprzez naturalną konwekcję i promieniowanie. System ten jest prosty, ale zajmuje dużo miejsca i nie oferuje kontrolowanego chłodzenia (dlatego istnieje ryzyko kondensacji).
- *Korzystanie z wymuszonego wymiennika ciepła powietrze/gaz*: Zimne powietrze z otoczenia jest wtłaczane przez układ rurek lub płyt w celu schłodzenia gazów. Zbieranie pyłu i późniejsza potrzeba czyszczenia powierzchni wymiany ciepła może prowadzić do złożonej i kosztownej konstrukcji systemu. Jedną z zalet tego systemu jest możliwość wykorzystania ogrzanego powietrza do celów ogrzewania zewnętrznego. Żeliwiaki z rekuperacją są wyposażone w jednostkę dopalania i wymiennik ciepła (rekuperator) do ogrzewania powietrza dmuchowego.
- *Wykorzystanie olejowego/gazowego wymiennika ciepła*: Jest to rozwiązanie podobne do powyższego, ale droższe ze względu na konieczność zastosowania dodatkowego systemu chłodzenia. Wymiennik ciepła jest zazwyczaj chłodzony obiegiem oleju mineralnego. Chłodzenie za pomocą wodnego/gazowego wymiennika ciepła nie jest praktykowane (lub jest praktykowane bardzo rzadko).
- *Nasycenie wodą*: Tutaj gazy są chłodzone przez odparowanie wody rozpylonej w strumieniu gazu. Płuczki gazowe mokre działają lepiej, jeśli gazy są schładzane w komorze nasycania przed oczyszczaniem. W przypadku korzystania wyłącznie z filtrów tkaninowych możliwe jest częściowe nasycenie, aby zapobiec zatykaniu się tkaniny z powodu kondensacji wody. Dobry system kontroli jest niezbędny do zagwarantowania prawidłowego funkcjonowania układu. Chłodzenie gazów ma tę zaletę, że szybkie chłodzenie zmniejsza ryzyko powstawania dioksyn.

Odpylanie

Do usuwania cząstek stałych z gazów odlotowych można stosować różnego rodzaju urządzenia do odpylania. Generalnie płuczki gazowe mokre charakteryzują się niskimi kosztami inwestycyjnymi i konserwacji, ale wymagają dużego nakładu energii, aby osiągnąć akceptowalną efektywność energetyczną. Usuwanie szlamu jest trudne, a woda z płuczki musi zostać oczyszczona przed zrzutem. Systemy zbierania na sucho są droższe pod względem kosztów kapitałowych i wymagają lepszej kontroli warunków gazu wlotowego (temperatura, kondensacja wody lub oparów organicznych, stosunek $CO:O_2$, iskry), ale zwykle zużywają mniej energii niż w przypadku oczyszczania na mokro. Co więcej, suchy pył z żeliwiaka może być zawracany do żeliwiaka (zob. Sekcja 3.2.1.4.5.6).

W systemach z żeliwiakami stosowane są zarówno płuczki Venturiego, jak i dezintegratory. Wieże płuczkowe

służą do odpylania gazów wylotowych. W porównaniu z systemami suchymi, systemy mokre mają następujące wady: wyższe zużycie energii, wyższe wymagania konserwacyjne (korozja, bakterie) oraz powodują powstawanie ścieków i szlamu do unieszkodliwiania. Zalety to wychwytywanie związków rozpuszczalnych w wodzie (takich jak SO2, chlorki), szybkie chłodzenie - co zapobiega reformacji dioksyn, niskie koszty inwestycyjne i mniejsze ograniczenia odnośnie do temperatury wejściowej.

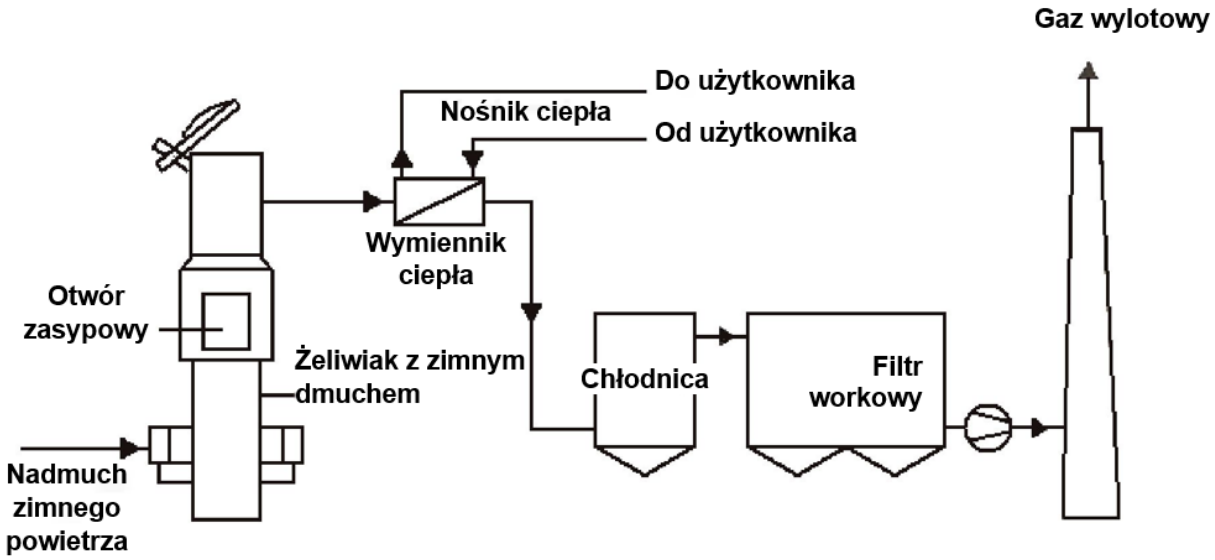
- *Płuczki Venturiego (płuczki gazowe zwężkowe)*: Woda jest rozpylana na gazy przepływające przez zwężkę Venturiego. Przyspieszenie przepływu gazu w zwężce Venturiego powoduje intensywne mieszanie obu mediów. Cząsteczki pyłu są tłumione, przez co stają się cięższe, dzięki czemu można je oddzielić w cyklonie lub innym systemie umieszczonym dalej. Jeśli przepływ gazu spada, zwężka Venturiego jest regulowana w celu utrzymania wydajności zbierania.
- *Dezintegratory*: Te tak zwane płuczki dynamiczne składają się z koncentrycznych trzpieni zamontowanych na wirniku i stojanie, przez które strumień gazu jest napędzany za pomocą wentylatora umieszczonego za nim lub za pomocą łopatek wentylatora na zewnętrznym końcu wirnika. Woda wtryskiwana do środka wirnika jest rozbijana na drobne kropelki przez trzpienie i rozpraszana w strumieniu gazu. Mokre cząstki uderzają w ścianki stojana i są zbierane na dnie dezintegratora. System działa wydajnie przy zmniejszonym przepływie gazu.

Za płuczką gazową mokrą znajduje się separator usuwający małe cząstki porwane przez krople wody.

W odniesieniu do systemów suchych można poczynić następujące uwagi:

- *Multicyklony*: Są często używane w połączeniu z filtrem tkaninowym, działając jako zgrubne filtry przeciwpyłowe. Pomagają zapobiegać przedostawaniu się żarzących się cząstek koksu do tkaniny filtracyjnej. Pod warunkiem zastosowania okładziny ogniotrwałej i wysokiej jakości stali w konstrukcji cyklonu, mogą one pracować w wysokich temperaturach. Należy pamiętać, że skuteczność zbierania pyłu przez same cyklony nie jest wystarczająca, aby spełnić dzisiejsze przepisy, dlatego są one zwykle używane w połączeniu z innymi systemami odpylania.
- *Filtry workowe* : Są idealne, gdy gazy są spalane przed odpylaniem. Pozwala to uniknąć problemów związanych z osadzaniem się materiału węglowego lub zagrożenia pożarowego. Filtry workowe mogą być zaprojektowane tak, aby zapewnić dobrą skuteczność zbierania cząstek dymów metalurgicznych, takich jak ZnO.
- *Elektrofiltry (filtry elektrostatyczne)*: Systemy te są mniej powszechne w europejskim przemyśle odlewniczym. Metoda ta najlepiej sprawdza się w mniej lub bardziej stałych warunkach pracy, np. w żeliwiakach kampanijnych, ze względu na wrażliwość na zmiany temperatury, przepływu i wilgotności gazu. Istnieje zagrożenie wybuchem podczas odpylania niespalonych gazów zmieszanych z powietrzem, ze względu na stosunkowo dużą objętość elektrofiltru. Dlatego też przed podłączeniem zasilania elektrycznego konieczne jest przepłukanie elektrofiltru.

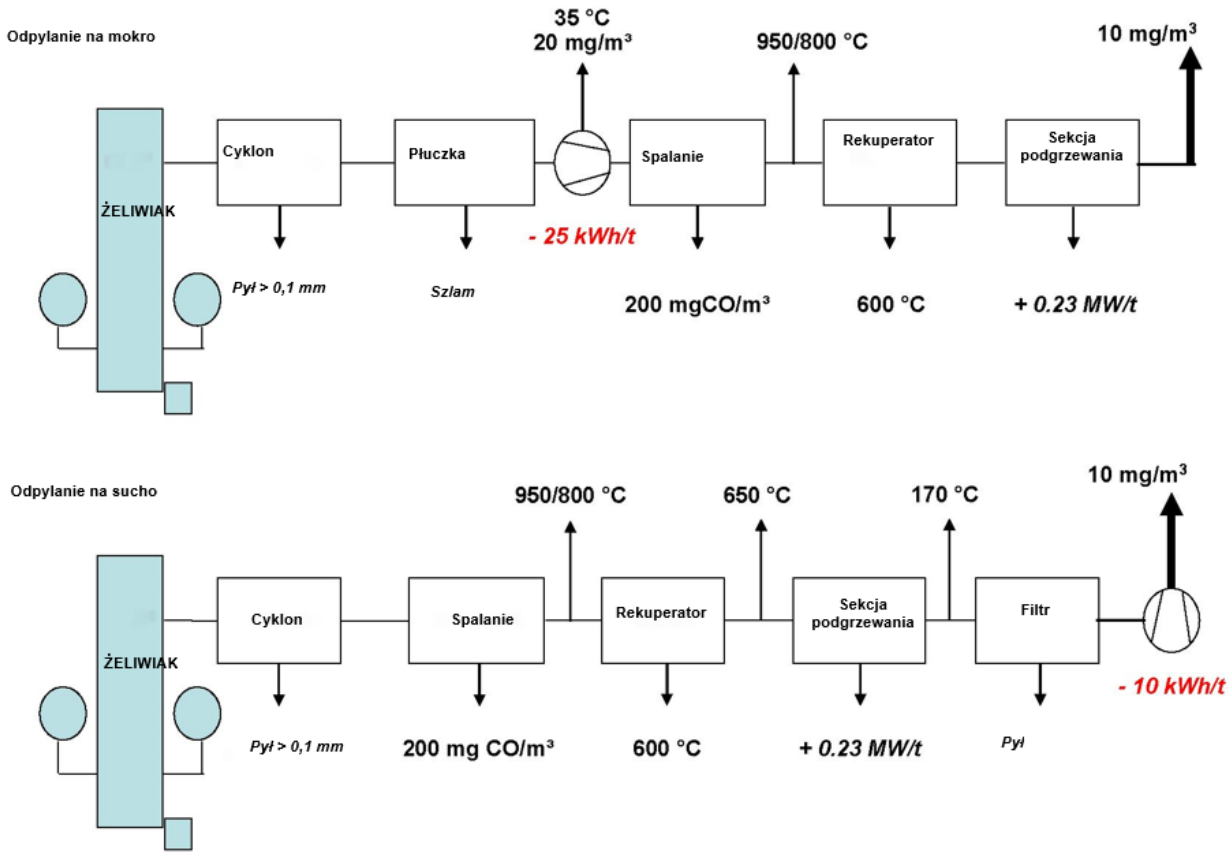
Schemat żeliwiaka z zimnym dmuchem, z odzyskiem ciepła i filtrem workowym przedstawiono na Rysunku 3.63.



Źródło: [13. Batz, R. 1986].

Rysunek 3.63: Arkusz przepływu dla żeliwiaka z zimnym dmuchem, odzyskiem ciepła, chłodzeniem i filtrem workowym

Ponadto, Rysunek 3.64 przedstawia porównanie warunków pracy żeliwiaków z gorącym dmuchem, z systemem odpylania na mokro i na sucho. Główne różnice dotyczą profilu temperatury gazu spalinowego i zużycia energii.



Rysunek 3.64: Warunki operacyjne odpylania na mokro i sucho gazów wylotowych dla żeliwiaka z gorącym dmuchem

Po odpyleniu, dopalanie gazów odlotowych w żeliwiakach jest stosowane w celu optymalizacji odzysku ciepła (chemicznie związanego jako CO) i zapewnienia czystszych gazów wydechowych. Zostało to dokładniej opisane w Sekcji 3.2.2.1.7.

Piece indukcyjne

Wychwytywanie dymu i pyłu jest najtrudniejszym problemem do rozwiązania podczas instalacji systemu zbierania gazów wylotowych w bezrdzeniowym piecu indukcyjnym, ponieważ nie ma on szybu wydechowego. W ciągu ostatniej dekady opracowano kilka metod, z których każda ma swoje zalety i wady.

- *Ogólna wentylacja miejsca pracy*: W celu zwiększenia naturalnej konwekcji dymu i oparów oraz skierowania ich na zewnątrz stosuje się kombinację żaluzji ściennych i wentylatorów dachowych umieszczonych nad platformą pieca. Nawet z przegrodami zawieszonymi na dachu i przy użyciu wysokich prędkości ekstrakcji wydajność jest często niska i łatwo zakłócana przez przeciągi.
- *Ekstrakcja z okapem*: Ponieważ niżej umieszczone okapy będą kolidować z systemami ładowania dźwigiem, większe okapy muszą być instalowane nad ładowarką. Powoduje to powstanie dużej szczeliny między piecem a systemem ekstrakcji, co utrudnia kontrolowanie unoszącego się dymu i pyłu, nawet przy zastosowaniu wysokiej wydajności odciągu. Przeciągi krzyżowe mogą poważnie zniekształcić skuteczność zbierania pyłu przez system. Wady te sprawiają, że korzystanie z tych systemów zbierania jest nieatrakcyjne.
- *Okapy uchylne*: Okapy te są bardziej wydajne w połączeniu z podajnikami wibracyjnymi. Wycięcia w okapie mogą ułatwić ładowanie. Podczas spustu okap jest odchylany nad kadzią, umożliwiając skuteczną ekstrakcję oparów.
- *Okapy odchylane*: Okapy te są bardziej wydajne w połączeniu z podajnikami wibracyjnymi. Wycięcia w okapie ułatwiają załadunek. Podczas spustu okap odchyla się nad kadź, umożliwiając wydajną ekstrakcję dymów.
- *Okapy z bocznym odciągiem*: Umieszczenie okapu odciągowego obok pieca zapewnia dobrą dostępność pieca i brak zakłóceń w pracy systemów ładowania. Dzięki dużej wyporności gazów wydechowych osiągane są duże wydajności ekstrakcji, co zapewnia dobrą sprawność, zwłaszcza gdy okap jest umieszczony poza platformą pieca. W tym przypadku kontrola ekstrakcji podczas spustu jest słaba. Mocowanie do platformy pieca rozwiązuje ten problem, ale może zakłócać operacje ładowania. Wydajność można poprawić, instalując dysze powietrzne po przeciwnej stronie okapu, aby wdmuchiwać pył i opary do okapu. Niestety, rozwiązanie to nie sprawdza się w przypadku zakłóceń w przepływie powietrza, co ma miejsce podczas załadunku.
- *Ekstrakcja barierowa*: Na górnej części pieca umieszcza się pierścień ssący, który porusza się wraz z piecem podczas operacji odżelaziania lub spustu. System ten nie zakłóca operacji załadunku. Przy zamkniętej pokrywie ekstrakcja barierowa zapewnia bardzo dobrą kontrolę, ponieważ znajduje się jak najbliżej źródła emisji i charakteryzuje się najniższymi współczynnikami ekstrakcji. Opary nie przechodzą przez strefę pracy operatorów pieca. Jednak kontrola ekstrakcji znacznie spada po otwarciu pokrywy pieca, na przykład podczas ładowania. Konstrukcja tego urządzenia do ekstrakcji została poddana wielu badaniom. Dostawcy oferują rozwiązania pozwalające przezwyciężyć niektóre z tych wad.
- *Ekstrakcja osłonowa*: Gaz jest odprowadzany przez pokrywę pieca. Metoda ta jest bardzo skuteczna i jest stosowana przez większość producentów pieców. Odprowadzanie gazów odbywa się zgodnie z trybem pracy pieca: topienie, ładowanie, zalewanie.

Należy zwrócić uwagę na materiał, z którego wykonane są okapy i kanały, ponieważ gazy mogą osiągać wysokie temperatury, gdy wlot systemu odciągania znajduje się blisko pieca. Na etapie projektowania należy uwzględnić ciepło przenoszone przez promieniowanie lub konwekcję z roztopionego metalu. Odpowiednia konserwacja w połączeniu z czujnikami ciepła zmniejsza ryzyko pożaru.

Ponownie ważną rolę odgrywa czystość złomu. Jeśli złom zawiera substancje organiczne, temperatura zebranego gazu może wzrosnąć w wyniku spalania tych substancji, co wymaga zastosowania stali żaroodpornej lub nawet okładzin ogniotrwałych. Osady olejowe, powstające w wyniku kondensacji oparów oleju w przewodach, gromadzą kurz i mogą stwarzać zagrożenie pożarowe, jeśli nie są regularnie usuwane. W przypadku stosowania czystego złomu wystarczająca jest konstrukcja ze stali miękkiej, która nie wymaga dostępu w celu czyszczenia.

Piece obrotowe

W większości przypadków, aby spełnić obowiązujące przepisy, konieczne jest zastosowanie urządzeń odpylających. Zazwyczaj w tym celu stosuje się filtry workowe, ale technicznie możliwe jest również zastosowanie technik odpylania na mokro.

W celu obniżenia temperatury gazów wydechowych są one rozcieńczane powietrzem otoczenia. Osiąga się to poprzez zasysanie powietrza przez szczelinę między wylotem pieca a kolankiem rury wydechowej. Szczelina ta jest zawsze obecna, ponieważ umożliwia obrót i przechylanie korpusu pieca. Często rura wydechowa jest wysuwana. Zasadniczo rozcieńczanie w celu zmniejszenia emisji jest niedopuszczalne. Jeżeli rozcieńczanie jest stosowane (i jest konieczne) w celu chłodzenia, technologia końcowa powinna mieć odpowiednie wymiary dla większego przepływu gazu. Czasami rozcieńczone gazy odlotowe są następnie przepuszczane przez wymiennik ciepła powietrze-gaz w celu dalszego schłodzenia. W ten sposób temperatura gazu jest obniżana z początkowej wartości 1 500 ºC do 200 ºC lub niższej. W tej temperaturze gazy mogą być wprowadzane do filtra workowego w celu odpylenia.

Zastosowanie dopalacza pozwala na redukcję emisji węgla organicznego i cząstek palnych. Kwestia ta została omówiona w Sekcji 3.2.2.1.7.

Piece łukowe (EAF)

Zobacz Sekcja 3.2.3.1.3.

Osiągnięte korzyści dla środowiska

- Wyłapywanie gazów spalinowych pozwala na kontrolowane odprowadzanie i oczyszczanie ich strumienia, co skutkuje minimalizacją zarówno emisji niezorganizowanych, jak i zorganizowanych.
- W żeliwiakach wychwytywanie i oczyszczanie spalin są niezbędnym środkiem ograniczającym emisję produktów spalania koksu, takich jak NO_X, SO_2, HF, PCDD/F i pył.
- Ograniczenie emisji pyłu i substancji zakwaszających z pieców indukcyjnych do topienia.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Żeliwiaki z zimnym dmuchem

Filtry tkaninowe charakteryzują się ponad 99% skutecznością. Średnie dzienne wartości emisji pyłu utrzymują się znacznie poniżej 10 mg/Nm^3. Suma Pb, Zn, Cr, Cu, Mn, V, Sn, Cr, Ni, As i Cd wynosi około 20% całkowitej zawartości pyłu. Dane przedstawione w Tabeli 3.60 zostały zebrane w ramach badań przeprowadzonych przez Federalną Agencję Ochrony Środowiska w Niemczech w działających zakładach. Podano je dla 3 przykładowych zakładów.

Tabela 3.60: Dane operacyjne dla żeliwiaków z filtrem workowym do odpylania

	j.m.	Zakład D		Zakład E	Zakład F
		Początkowo	Po przebudowie		
Wydajność topienia - wartość projektowa - wartość rzeczywista	 t/h t/h	 7,5-8 7,0	 12,0 11,0	 6-7 5,5	 4-5 3,7
Strumień gazów wydechowych - wartość - wartość rzeczywista	Nm^3/h Nm^3/h	25000 19800	30000 22300	20000 17400	b.d. 14300
Rok budowy filtra		1981	1995	1988	1985
Ostatnia wymiana tkaniny filtracyjnej		b.d.	1995	1988	1993
Data pomiaru		07/1981	11/1997	03/1993	03/1993
Emisje - pył - gaz nieoczyszczony - gaz oczyszczony • średnia[1] • min. • maks.	mg/Nm^3	 1623-2674 21,5 18,0 25,4	 < 1 < 1 < 1	 b.d. 3 1 5	 b.d. 3 2 4

	j.m.	Zakład D		Zakład E	Zakład F
		Początkowo	**Po przebudowie**		
- gazowe[2]	%	288	b.d.	174	227
• SO_2		43	b.d.	24	31
• NO_x		b.d.	b.d.	22	7
• $C_{całk}$		700	b.d.	11890	18980
• CO		7	b.d.	4,9	3,9
• CO_2					
Metale ciężkie emisje	mg/Nm[5]	Nieoczyszczone Oczyszczone	Oczyszczony gaz	b.d.	b.d.
- Cd		0,0184 0,0019			
- Cr		0,7287 0,0384	0,00313 (Cu, Mn, Cr, V)		
- Pb		29,895 0,2952			
- Zn		16,464 0,2862			
- Ni		0,2024 0,0077	0,00057		
- As		0,7665 0,0149			
- Mo		0,2672 0,0420			
PCDD/F-emisje			b.d.		
- gaz oczyszczony[5]	ngTEQ/Nm[5]			0,512	0,085
- współczynnik emisji	µg TEQ/t Fe			1,620	0,330
Filtr przeciwpyłowy					
- ilość zebrana	Kg/t Fe	6.5 unieszkodliwianie	8.2 ponowne		
- PCDD/F-zawartość	µg TEQ/kg			4,850	0,960
Materiał filtracyjny		Tkanina poliestrowa z powłoką poliamidową (PA)	Włókno syntetyczne	Poliester	Włóknina igłowana
Czyszczenie filtra		Strumień impulsowy	Przeciwprąd o średnim ciśnieniu	Pneumatycznie z kontrolą spadku ciśnienia	
Koszty kapitałowe	EUR '000	385 (1981)	370 (1995/96)	b.d.	350
Koszty operacyjne	EUR/tonę zatwierdzonego odlewu	9,8 (1982) = 3 % kosztów odlewu	9,04 (1998) = 2,8 % kosztów odlewu	b.d.	b.d.

1 Średnia zawartość pyłu jest obliczana na podstawie danych z 3–5 półgodzinnych pomiarów.
2 Stężenia dwutlenku siarki, tlenku azotu, węgla całkowitego, tlenku węgla i dwutlenku węgla są średnimi obliczonymi na podstawie ciągłych pomiarów przeprowadzonych w ciągu kilku godzin podczas pobierania próbek pyłu lub PCDD/F.
3 Czas pobierania próbek 6 godzin. b.d. - brak danych
Źródło: Dane pochodzą z [19. Batz, R. 1996], oraz [100. TWG 2002], [120. TWG 2003].

Żeliwiak z gorącym dmuchem
Dane dla żeliwiaków z gorącym dmuchem podano w Sekcji 3.2.2.1.7.

Piece indukcyjne
Oczyszczanie wychwyconych gazów odbywa się zazwyczaj za pomocą filtrów. Średnie dzienne wartości emisji pyłu utrzymują się znacznie poniżej 10 mg/Nm³.
Tabela 3.61 zawiera dane eksploatacyjne niemieckiej odlewni żeliwa, w której zainstalowano scentralizowany system wychwytywania gazów spalinowych, a odpylanie odbywa się za pomocą filtra workowego. System zbiera gazy wydechowe z różnych części odlewni, w tym z czterech pieców indukcyjnych (każdy z ekstrakcją barierową i okapem górnym), magazynu złomu oraz podgrzewania, obróbki metalu, regeneracji piasku i obszarów odlewania. Podano dane dotyczące nieoczyszczonego gazu wylotowego z pieca podczas topienia, łącznego przepływu nieoczyszczonego gazu oraz przepływu oczyszczonego gazu.

Tabela 3.61: Dane dotyczące emisji dla odlewni żeliwa wykorzystującej topienie indukcyjne i centralny system odciągowy z filtrem workowym

Związek	Gaz wydechowy z topienia	Gaz wydechowy łącznie	Oczyszczony gaz*
Pył	89,3	237	< 1
NO_x	1,6	8,3	7,9
CO	2,2	4,2	3,8
SO_2	3,5	3,9	3,7
C całkowity	21,8	34,7	34,9
PCDD/F		$0{,}036 \times 10^{-6}$	$0{,}0027 \times 10^{-6}$
* NOx, CO, SO2 i C całkowity nie są wychwytywane przez filtr workowy. Różnica między gazami nieoczyszczonymi a oczyszczonymi wynika z nieznacznej zmiany składu mieszanki gazów po wentylatorze ID. Wydajność topienia 14 ton/h, całkowity przepływ gazów spalinowych 240 000 m³/h. Wszystkie dane podane są w mg/Nm³. *Źródło*: [8. Rademacher, H. 1993].			

Dzięki zastosowaniu specjalnych systemów wychwytywania, takich jak okapy boczne, ruchome okapy odciągowe i częściowa obudowa pieca, możliwe jest osiągnięcie skuteczności wychwytywania powyżej 95%. Doświadczenia eksploatacyjne w niemieckiej odlewni żeliwa wykazały, że pokrywa pieca jest otwarta średnio przez 25% czasu pracy pieca. Podczas okresów otwarcia wykonywane są czynności powodujące powstawanie pyłu, takie jak podawanie dodatków, odżelowanie i zalewanie. System ekstrakcji barierowej zamontowany na pokrywie pieca nie pozwala na ekstrakcję powstających oparów. Zainstalowanie teleskopowego okapu górnego umożliwiło skuteczne wychwytywanie gazów spalinowych podczas otwierania pokrywy pieca.

Piece obrotowe

W przypadku pieców obrotowych do metali żelaznych, wyposażonych w proste palniki powietrzno-paliwowe i dopalacz, emisje pyłu osiągają wartości szczytowe około 250 mg/m^3 przez krótki czas (pomiędzy 3 sekundami w sposób ciągły, a 1 minutą w sposób przerywany) podczas fazy stałej cyklu topienia. Następnie, gdy wsad zaczyna się topić, emisje pyłu spadają do poniżej 30 mg/m3 podczas normalnej pracy. Emisje mogą utrzymywać się na poziomie 150–200 mg/m^3 w sposób ciągły podczas fazy stałej topienia. Emisje substancji palnych wynoszą zazwyczaj 40 %. Szczytowe emisje z pieców obrotowych składają się w co najmniej 80 % z niespalonego paliwa i występują podczas operacji ładowania, gdy główny palnik pieca jest wyłączony, a następnie ponownie zapalany. Wspomniane emisje mają zastosowanie tylko wtedy, gdy przez cały czas, w tym podczas ładowania, dymy są odprowadzane przez dopalacz, który jest utrzymywany w stanie pełnej gotowości [62. UK Environment Agency (Brytyjska Agencja Ochrony Środowiska) 2002]. W przypadku pieca obrotowego na tlen bez dopalacza odnotowano następujące poziomy pyłu w gazie nieoczyszczonym: średnie obciążenie pyłem wynoszące 400–450 mg/Nm^3 w dwóch odrębnych fazach topienia. Fazy te to faza stała z poziomem emisji pyłu wynoszącym 150 mg/Nm^3, oraz faza ciekłego metalu z poziomem szczytowym do 1 500 mg/Nm^3 na początku obrotu i 600–700 mg/Nm$_3$ podczas normalnej pracy. [102. Carnicer Alfonso, P. L 2001]

Dane dotyczące emisji operacyjnej po redukcji podano w Sekcji 2.3 oraz w poniższej tabeli.

Tabela 3.62: Zgłoszone poziomy emisji pyłu z pieców obrotowych

Zakład/Punkt emisji	Zastosowana technika redukcji	Minimum	Średnia	Maksimum	Dopuszczalna
		mg/Nm3			
BE020_a(1)	Filtr tkaninowy + cyklon	0,1	1,3	2,0	20
ES088_a {1}	Filtr tkaninowy	1,0	1,4	2,0	20
AT005_a {1}	Filtr tkaninowy	2,1	2,1	2,1	10
IT127_a {7}	Filtr tkaninowy	0,8	1,4	2,1	20
IT132_a {5}	Filtr tkaninowy	2,3	3,0	4,2	10
BE020_a {2}	Filtr tkaninowy + cyklon	0,9	10,1	26,0	20
Źródło: [169. TWG 2021].					

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Żeliwiaki

Systemy odpylające wytwarzają pył resztkowy przeznaczony do unieszkodliwiania. Na tonę ciekłego żelaza powstaje od 5 do 13 kg pyłu. Pył może być ponownie wprowadzony do żeliwiaka. Kwestia ta została omówiona w Sekcji 3.2.1.4.5.6.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika

Żeliwiaki

Tabela 3.60 przedstawia wartości emisji oraz dane ekonomiczne. Najważniejszymi czynnikami kosztowymi są zapotrzebowanie na energię elektryczną niezbędną do przezwyciężenia spadku ciśnienia oraz koszt materiału filtracyjnego.

Dla instalacji do topienia zawierającej dwa żeliwiaki z zimnym dmuchem o wydajności topienia 4,5 t/h sporządzono ofertę sprzedaży zawierającą następujące szczegóły:

- urządzenie do oczyszczania strumienia o wydajności do 12 400 m^3/h, z komorą spalania o temperaturze 820 ºC, akceptujące maksymalnie:
  - VOC – 1 g/Nm^{3}_{3};
  - CO – 59100 g/Nm^{3}_{3};
- dwa palniki do stosowania z metanem – moc/palnik 390 kW

Cena instalacji i uruchomienia: EUR 350 000.

Przewidywane koszty eksploatacji, przy produkcji 4 500 ton odlewów, okresie płatności 5 lat plus 10 % na energię i konserwację rocznie: 23,3 EUR/t.

Piece indukcyjne

Dane dotyczące kosztów i zużycia dla instalacji filtrów workowych na urządzeniu do topienia w piecach indukcyjnych tyglowych, o wydajności 15 t/h, zdolnym do oczyszczenia 120 000 Nm^3/h, podano w Tabeli 3.63.

Tabela 3.63: Koszt inwestycyjny i zużycie energii dla jednostki filtra workowego w piecach indukcyjnych, przy różnych poziomach końcowej emisji pyłu

Poziom emisji pyłu (mg/Nm³)	Koszt inwestycji (EUR)	Zużycie energii (Kw)
< 5	350 000	250
< 20	200 000	150
Uwaga: Dane dla Portugalii za rok 2003. *Źródło*: [120. TWG 2003].		

Siła napędowa wdrażania

Wymogi prawne.

Przykładowe zakłady

Wspomniane techniki są powszechnie stosowane we wszystkich europejskich odlewniach.

Literatura źródłowa

[13. Batz, R. 1986], [14. CAEF 1997], [38. Vito 2001], [100. TWG 2002], [120. TWG 2003], [8. Rademacher, H. 1993], [102. Carnicer Alfonso, P. L 2001], [11. Brettschneider i in. 1992], [UK Environment Agency (Brytyjska Agencja Ochrony Środowiska) 2002]

3.2.2.2.1.9 Podstawowe środki kontroli służące minimalizacji emisji PCDD/F

Opis

Podstawowe środki kontroli mające na celu minimalizację emisji PCDD/F (dioksyn) podczas topienia metali obejmują:

- *Maksymalizację czasu przebywania gazów wylotowych oraz optymalizację temperatury w komorze dopalania w żeliwiakach*: W żeliwiakach temperatura komory dopalania jest optymalizowana (T > 850 °C) i stale monitorowana, a czas przebywania gazów wylotowych jest maksymalizowany (> 2 s).
- *Szybkie schładzanie gazów wylotowyc*h: Gazy wylotowe są szybko schładzane z temperatur powyżej 400 °C do poniżej 250 °C przed oczyszczaniem z pyłu, aby zapobiec ponownej syntezie PCDD/F. Osiąga się to poprzez odpowiednią konstrukcję pieca i/lub zastosowanie systemu hartowania.
- *Minimalizację gromadzenia się pyłu w wymiennikach ciepła*: Gromadzenie się pyłu wzdłuż trajektorii schładzania gazów wylotowych jest zminimalizowane, zwłaszcza w wymiennikach ciepła, np. poprzez zastosowanie pionowych rur wymiennika, skuteczne czyszczenie wewnętrzne rur wymiennika, odpylanie w wysokiej temperaturze.

Szczegóły techniczne

Dioksyny mają znaczenie w procesach termicznych, w których obecne są metale. Dioksyny lub ich prekursory mogą występować w niektórych surowcach i istnieje możliwość ich ponownej syntezy w piecach lub systemach oczyszczania. Dioksyny łatwo adsorbują się na substancjach stałych i mogą być gromadzone przez wszystkie media środowiskowe w postaci pyłu, substancji stałych z płuczek i pyłu z filtrów. Badania terenowe

wykazały, że powstawanie dioksyn w żeliwiakach nie może być powiązane z jednym (lub kilkoma) parametrem (parametrami) eksploatacyjnym (eksploatacyjnymi). Aby zminimalizować ryzyko powstawania dioksyn, konieczne jest połączenie różnych środków.
Środki zapobiegające emisji dioksyn stosowane w trakcie procesu lub środki podstawowe obejmują:

- Dopalanie gazów wylotowych z pieca w szybie żeliwiaka z zimnym dmuchem lub w komorze spalania żeliwiaka z gorącym dmuchem. Spalanie gazów wylotowych z żeliwiaka zostało szczegółowo opisane w Sekcji 3.2.2.1.7.
- Ciągłe monitorowanie i kontrola temperatury w komorze spalania żeliwiaka z gorącym dmuchem (T > 850 ºC) oraz maksymalizacja czasu przebywania (najlepiej >2 s).
- Utrzymanie stężenia cząstek stałych w rekuperatorze na poziomie < 20 mg/m^3, co jest możliwe w przypadku żeliwiaka z gorącym dmuchem przy zastosowaniu odpylania na mokro.
- Zapewnienie szybkiego schłodzenia gazów wylotowych zawierających pył poprzez zastosowanie zakresu temperatur powtórnej syntezy wynoszącej 250–450 ºC.
- Zapobieganie lub minimalizowanie gromadzenia się pyłu wzdłuż trajektorii schładzania gazów spalinowych, zwłaszcza w wymienniku ciepła, np. poprzez zastosowanie pionowych rur wymiennika, skuteczne czyszczenie wewnętrzne, odpylanie w wysokiej temperaturze.
- Topienie czystego złomu. Technika ta została opisana w Sekcji 3.2.1.7.2.
- Wykorzystanie wtrysku tlenu w celu zapewnienia całkowitego spalania. Technika ta została opisana w Sekcji 3.2.2.1.2.

Chociaż dioksyny ulegają zniszczeniu w wysokiej temperaturze (tj. powyżej 850 °C) w obecności tlenu, proces powtórnej syntezy jest nadal możliwy, ponieważ gazy są schładzane w oknie reformingu (250–450 °C). Okno to może występować w wymiennikach ciepła lub systemach oczyszczania oraz w chłodniejszych częściach pieca, np. w obszarze podawania. Należy zachować ostrożność podczas projektowania systemów chłodzenia, aby zminimalizować czas przebywania w oknie temperaturowym i uniknąć gromadzenia się pyłu, co zapobiegnie powtórnej syntezie. Alternatywą jest odpylanie gazów wylotowych poprzez szybkie schłodzenie za pomocą systemu na mokro. W gorących gazach musi być również obecna wystarczająca ilość tlenu, w tym celu można zastosować wtrysk tlenu, aby zapewnić całkowite spalanie. Należy jednak zapobiegać nadmiarowi tlenu, ponieważ może to sprzyjać powtórnej syntezie.
Siarka ma hamujący wpływ na powstawanie dioksyn poprzez wyczerpywanie cząsteczek chloru. Wykazano, że stosowanie węgla o wyższej zawartości siarki w dużych obiektach energetycznego spalania zapewnia niższe stężenia PCDD/F. Hamujący wpływ redukcji jest związany ze stosunkiem S/Cl, którego wartość krytyczna wynosi 0,64. Dalszy wzrost nie powoduje zmniejszenia ilości dioksyn i furanów. Efekt ten nie został wykazany w odlewniach, ale można go zbadać. [126. UNEP 2003].
Duży rozrzut i zmienność poziomów emisji dioksyn (nawet w przypadku tej samej instalacji) wskazują, że same środki podstawowe mogą nie zapewnić stabilnej i niskiej wartości emisji dioksyn. Dlatego oprócz środków podstawowych można zastosować środki dodatkowe, takie jak adsorpcja (zob. Sekcja 3.2.2.2.1.12).

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Ograniczenie emisji dioksyn i furanów do powietrza.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Pomiary dioksyn w procesie produkcji w żeliwiaku z gorącym dmuchem wykazały, że w wymienniku ciepła występują wysokie poziomy PCDD/F (5 ng TEQ/Nm^3). W innych częściach systemu gazów spalinowych odnotowano znacznie niższe wartości. Środki ograniczające emisję powinny zatem mieć na celu zminimalizowanie kontaktu pyłu z gazami spalinowymi w tej strefie poprzez zminimalizowanie ilości pyłu lub skrócenie czasu jego przebywania.
Przy natężeniu przepływu gazów spalinowych wynoszącym 8 000 m^3/h i natężeniu nadmuchu wynoszącym 3 000 m^3/h, szybkie schłodzenie gazów wylotowych z żeliwiaka z temperatury 800 °C do 150 °C wymaga zużycia wody wynoszącego 4 m^3/h.
Poziom emisji PCDD/F wynoszący 0,5 ng TEQ/Nm^3 można osiągnąć poprzez zastosowanie środków podstawowych, a poziom niższy niż 0,5 ng TEQ/Nm^3 można osiągnąć poprzez zastosowanie jednej lub kilku z poniższych technik. Niemieckie badania wykazały, że bez środków dodatkowych poziom 0,1 ng TEQ/Nm³ jest przekraczany tylko w ograniczonej liczbie instalacji i to w niewielkim stopniu.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika
Środki podstawowe nie wiążą się z dodatkowymi kosztami inwestycyjnymi. Koszty operacyjne ograniczają się do zużycia tlenu lub wyższej ceny za czystszy złom. Koszty operacyjne są ograniczone do użycia tlenu lub wyższej ceny za czystszy złom.

Siła napędowa wdrażania
- Przepisy ograniczające emisje PCDD/F pochodzące z topienia metali.
- Ograniczenie emisji gazów organicznych i innych gazów niebezpiecznych z żeliwiaka.
- Wymogi prawne.

Przykładowe zakłady
Technika szeroko stosowana.

Literatura źródłowa
[1. COM 2017], [63. UK Environment Agency (Brytyjska Agencja Ochrony Środowiska) 2002], [100. TWG 2002], [119. Helber i in. 2000], [125. CAEF 2003], [169. TWG 2021]

3.2.2.2.1.10 Dopalanie gazów wylotowych

Więcej informacji na temat tej techniki znajduje się w Sekcji 3.2.2.1.7.

3.2.2.2.1.11 Cyklon

Więcej informacji na temat tej techniki znajduje się w Sekcji 3.2.1.13.2.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Cyklony mogą być stosowane samodzielnie, ale często są używane w połączeniu z innymi technikami oczyszczania gazów odlotowych.
Dane zgłoszone przez 23 zakłady (30 punktów emisji) stosujące cyklony wskazują, że emisja pyłu wynosi od 0,1 mg/Nm^3 do 62 mg/Nm^3, przy wartości mediany wynoszącej 1,4 mg/Nm^3 i wartości średniej wynoszącej 3,31 mg/Nm^3. [169. TWG 2021].

Przykładowe zakłady
Technika szeroko stosowana.

Literatura źródłowa
[169. TWG 2021]

3.2.2.2.1.12 Adsorpcja

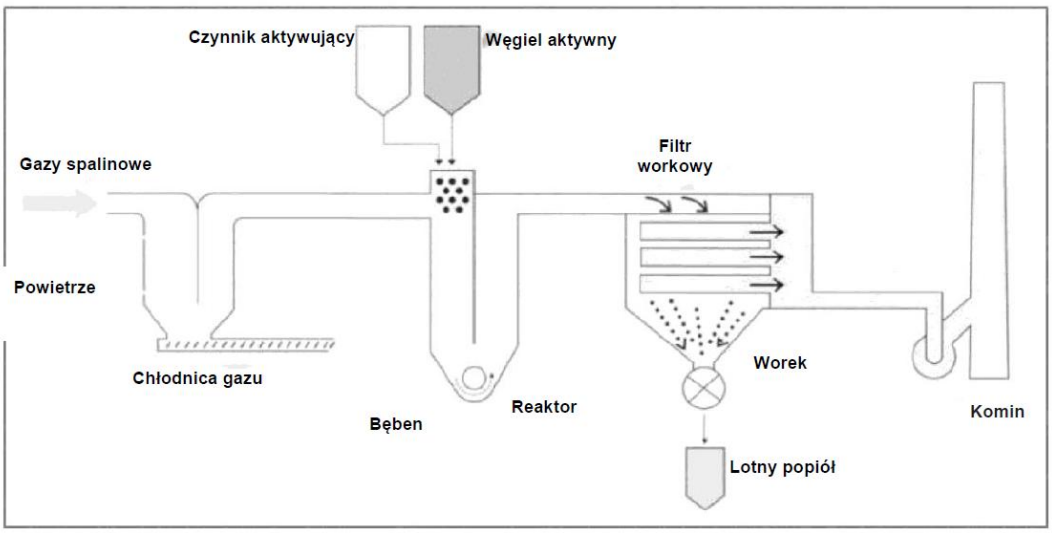
Opis
Usuwanie zanieczyszczeń z gazów wylotowych lub strumienia gazów odlotowych poprzez zatrzymanie ich na powierzchni stałej (jako adsorbent stosuje się zazwyczaj węgiel aktywny). Adsorpcja może być regeneracyjna lub nieregeneracyjna.
W odlewni technika ta dotyczy w szczególności technik redukcji emisji na końcu procesu, stosowanych w celu zmniejszenia emisji PCDD/F z topienia metali.
Ogólne informacje na temat tej techniki znajdują się również w dokumencie CWW BREF [179. COM 2016].
Szczegóły techniczne
Oprócz podstawowych środków kontroli emisji PCDD/F pochodzących z topienia metali, można rozważyć następujące środki ograniczające emisję:

- *Wstrzykiwanie do strumienia gazu dodatków w postaci proszku*, takich jak węgiel aktywny, koks z pieca z otwartym paleniskiem lub zeolit, tak aby dioksyny były absorbowane na powierzchni. Następnie stosuje się wysokowydajną filtrację pyłu w celu usunięcia pyłu i dioksyn. Dodatek jest wtryskiwany do strumienia gazów wylotowych przed filtracją. Proces adsorpcji zachodzi głównie podczas przylegania absorbentów do worka filtracyjnego. Pył z filtrów może być ponownie wprowadzany do gazów spalinowych w celu uzyskania wyższej skuteczności. W przypadku stosowania dodatków na bazie węgla należy podjąć specjalne środki w celu zapobieżenia ryzyku pożaru i wybuchu. Zebrany pył może zawierać wysokie stężenia dioksyn i wymaga unieszkodliwiania lub starannej obróbki (szczegółowy przykład przedstawiono poniżej).
- Do niszczenia dioksyn dostępne są systemy *utleniania katalitycznego*. Do niszczenia dioksyn stosuje się filtry tkaninowe z warstwą katalityczną. W innych sektorach (np. hutnictwo stali, spalanie odpadów komunalnych) technika ta została z powodzeniem wdrożona i uznano ją za wykonalną w odlewniach. Jednakże w celu zapobieżenia dezaktywacji warstwy katalitycznej może być konieczne wcześniejsze

usunięcie gruboziarnistych cząstek pyłu.

Przykład zastosowania wtrysku adsorbentu (węgla aktywnego) w odlewni żelaza w Niemczech

Adsorbenty mogą być wtryskiwane bezpośrednio do gazów spalinowych przed filtrem workowym.. Rysunek 3.65 przedstawia taki zakład (odlewnia żelaza w Niemczech). Adsorbenty składają się z mieszaniny węgla aktywnego i wodorotlenku wapnia.



Źródło: [133. DE UBA 2014].

Rysunek 3.65: Wtryskiwanie adsorbentów

System wtrysku składa się ze zbiornika z przenośnikiem śrubowym, który reguluje ilość adsorbentu dozowanego do gazów. Aby usprawnić instalację, system dozowania umieszczony jest na poziomie gruntu. Za pomocą małej dmuchawy i elastycznej rury adsorbenty są transportowane do gazów spalinowych (Rysunek 3.66).



Źródło: [133. DE UBA 2014].

Rysunek 3.66: Widok instalacji do wtrysku adsorbentu

Osiągnięte korzyści dla środowiska

Redukcja emisji PCDD/F do powietrza.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Wtryskiwanie dodatków do gazów spalinowych z żeliwiaka powoduje znaczne zmniejszenie stężenia PCDD/F

w gazach wylotowych. Ponadto dzięki zastosowaniu systemu oczyszczania pyłu z filtrów tkaninowych zmniejsza się stężenie innych substancji niebezpiecznych, takich jak metale ciężkie.
Dawki dodatków zostały zoptymalizowane w ramach projektu badawczego (DIOFUR), w którym dawka dodatku została ustalona na 150 mg/Nm^3 (w stanie suchym). W ramach projektu przetestowano w szczególności wtrysk węgla aktywnego przy użyciu adsorbentu na bazie koksu o wysokiej zawartości popiołu, odpowiedniego do zastosowań w wysokich temperaturach. Emisje PCDD/F zmierzono za wymiennikiem ciepła (przed wtryskiem adsorbentu) oraz w kominie (po wtrysku adsorbentu). Wyniki podsumowano w Tabeli 3.64.
Osiągnięto skuteczną adsorpcję PCDD/F. Ponadto adsorbent nie powodował żadnych zagrożeń dla bezpieczeństwa (np. pożarów żarowych). Zachowanie tego materiału podczas spalania w temperaturze 20 °C i 100 °C opisano jako „krótki zapłon i szybkie gaśnięcie", a jego temperatura zapłonu wynosiła 800 °C. Materiał ten nie żarzył się w temperaturach do 450 °C, co minimalizowało potencjalne zagrożenia związane z użyciem substancji organicznych w strumieniach gazów odlotowych o wysokiej temperaturze. [180. DIOFUR, 2010].

Tabela 3.64: Pomiar emisji PCDD/F i pyłu po przejściu przez wymiennik ciepła oraz w kominie w przypadku wtrysku węgla aktywnego do żeliwiaka

Data pomiaru	13/11/2007		14/11/2007		15/11/2007	
Parametr	Za wymiennikiem ciepła	Komin	Za wymiennikiem ciepła	Komin	Za wymiennikiem ciepła	Komin
PCDD/F ogółem (ng I-TEQ/suchy Nm^3)	6,7	0,11	2,7	0,04	11,9	0,21
Pył (mg/suchy Nm^3)	b.d.	32	Brak danych	107	b.d.	106

W przypadku niemieckiej odlewni żelaza (przedstawionej powyżej) z żeliwiakiem z zimnym dmuchem i wydajnością 12–14 t ciekłego żelaza na godzinę, dawka wtrysku wynosiła od 0,1 kg do 0,4 kg na tonę ciekłego żelaza. Zużycie energii wynosiło 4 kW na wdmuchnięcie do gazów nieoczyszczonych z żeliwiaka 500 m3/h powietrza zawierającego adsorbenty.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Adsorpcja dioksyn i furanów na węglu aktywnym generuje strumień pyłu obciążony PCDD/F. Aby zapobiec ryzyku wybuchu w filtrze workowym, konieczne może być zmieszanie węgla aktywnego z wapnem. Zwiększa to całkowitą ilość pozostałości przeznaczonych do unieszkodliwiania (w przypadku opisanej wcześniej niemieckiej odlewni żelaza ilość pyłu przeznaczonego do unieszkodliwiania wzrosła z 0,1 kg do 0,4 kg na tonę ciekłego żelaza) oraz ogranicza możliwość ponownego wykorzystania pyłu z filtrów.
W ramach projektu DIOFUR stwierdzono, że udział adsorbentów w całkowitej ilości pyłu pochodzącego z oczyszczania gazów jest znikomy. Oznacza to, że koszty unieszkodliwiania pyłu z filtrów nie wzrastają znacząco w wyniku stosowania adsorbentu.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Ogólnie, wtryskiwanie dodatków uważane jest za technikę kompaktową, wydajną i łatwą do zintegrowania z nowymi i istniejącymi instalacjami, o ile spełnione są wymagania dotyczące przestrzeni. Można ją również stosować w żeliwiakach z gorącym i zimnym dmuchem.
Zastosowanie filtracji katalitycznej wymaga najmniejszych zmian technicznych w istniejących instalacjach, ponieważ wystarczy jedynie wymienić worki filtracyjne na katalityczne.

Ekonomika
Dane ekonomiczne z projektu DIOFUR wykazały, że koszty inwestycji związane z instalacją urządzenia do wtrysku węgla aktywnego (ceny z 2009 r.) oszacowano na 35 000 EUR dla zakładu o zdolności produkcyjnej 45 000 ton rocznie. W szacunkach tych nie uwzględniono następujących elementów:
- prace związane z inżynierią lądową, takie jak budowa fundamentów betonowych, wiercenie ścian itp.
- ochrona materiału (instrumenty elektryczne, detektory itp.);
- dostęp do dźwigu i wind (gondoli) na placu budowy;
- kabel zasilający do skrzynki urządzeń elektrycznych.

Siła napędowa wdrażania
- Przepisy ograniczające emisje PCDD/F pochodzące z topienia metali.

- Ograniczenie emisji gazów organicznych i innych gazów niebezpiecznych z żeliwiaka.
- Wymogi prawne.

Przykładowe zakłady
Odlewnia Fiday Gestion (Francja) [180, DIOFUR, 2010].

Literatura źródłowa
[1. COM 2017], [63. UK Environment Agency (Brytyjska Agencja Ochrony Środowiska) 2002], [100. TWG 2002], [119. Helber i in. 2000], [125. CAEF 2003], [133. DE UBA 2014], [180. DIOFUR, 2010]

3.2.2.2.1.13 Proces suchego oczyszczania gazów wylotowych (proces suchego odsiarczania)

Opis
Suchy proszek lub zawiesina/roztwór odczynnika alkalicznego (np. wapno lub wodorowęglan sodu) jest wprowadzany i rozpraszany w strumieniu gazów wylotowych. Materiał reaguje z kwaśnymi gazami (np. SO2), tworząc substancję stałą, która jest usuwana przez filtrację (np. filtr tkaninowy).
Więcej informacji można znaleźć w dokumencie BREF CWW [179. COM 2016].

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Dane zgłoszone przez dwa zakłady (2 punkty emisji) stosujące wtrysk suchego wapna wskazują na zakres emisji SO_2 od 57 mg/Nm^3 do 214 mg/Nm^3. [169. TWG 2021].

Przykładowe zakłady
DE076, FR111 i FR120.

Literatura źródłowa
[169. TWG 2021], [179. COM 2016].

3.2.2.2.1.14 Filtr tkaninowy

Więcej informacji na temat tej techniki znajduje się w Sekcji 3.2.1.12.7.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Filtry tkaninowe stosuje się samodzielnie lub w połączeniu z innymi technikami oczyszczania gazów wylotowych.
Dane zgłoszone przez 81 zakładów (112 punktów emisji) stosujących filtry tkaninowe wskazują, że emisje pyłu wynoszą od 0,02 mg/Nm^3 do 26 mg/Nm^3, przy wartości mediany wynoszącej 1 mg/Nm^3 i wartości średniej wynoszącej 2,1 mg/Nm^3 [169. TWG 2021].

Przykładowe zakłady
Technika szeroko stosowana.

Literatura źródłowa
[169. TWG 2021]

3.2.2.2.1.15 Płukanie (oczyszczanie) na mokro

Więcej informacji na temat tej techniki znajduje się w Sekcji 3.2.1.13.4.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Płukanie (oczyszczanie) na mokro stosuje się samodzielnie lub w połączeniu z innymi technikami oczyszczania gazów odlotowych.
Dane zgłoszone przez dziewięć zakładów (12 punktów emisji) stosujących płukanie (oczyszczanie) na mokro wskazują na zakres emisji pyłu od 0,8 mg/Nm^3 do 62 mg/Nm^3, z dwoma wartościami odstającymi rzędu 1 120 mg/Nm^3 i 2 560 mg/Nm^3.[169, TWG 2021].

Przykładowe zakłady
AT015, DE041, DE046, DE050, DE051, DE062, DE070, PL138 oraz SE150.

Literatura źródłowa
[169. TWG 2021]

3.2.2.3 Emisje do powietrza pochodzące z sferoidyzacji żeliwa

3.2.2.3.1 Sferoidyzacja bez emisji tlenku magnezu

Opis
Zastosowanie procesu formowania w formie (*in-mould process*), w którym stop magnezu dodaje się w postaci

tabletek bezpośrednio do gniazda formy, a reakcja sferoidyzacji zachodzi podczas formowania.

Szczegóły techniczne
Proces formowania w formie jest jedyną techniką sferoidyzacji bez wytwarzania gazów spalinowych. W procesie tym stop magnezu dodaje się w postaci tabletki do gniazda formy. Reakcja zachodzi od razu i nie powstają emisje tlenku magnezu.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Brak emisji tlenku magnezu podczas sferoidyzacji żeliwa.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Brak zgłoszonych danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika
Nie podano żadnych informacji.
Siła napędowa wdrażania
Redukcja emisji tlenku magnezu podczas sferoidyzacji żeliwa.
Przykładowe zakłady
BE021, IT 126
Literatura źródłowa
[63. UK Environment Agency (Brytyjska Agencja Ochrony Środowiska) 2002], [38. Vito 2001].

3.2.2.3.2 Ekstrakcja gazów wylotowych jak najbliżej źródła emisji

Opis
W przypadku emisji tlenku magnezu powstających w wyniku stosowanej techniki sferoidyzacji (np. technika warstwowa, technika kanałowa (duktylacyjna)), gazy wylotowe są ekstrahowane jak najbliżej źródła emisji za pomocą stałego lub ruchomego okapu odciągowego.

Szczegóły techniczne
Rodzaj zastosowanego systemu odciągania spalin zależy od techniki sferoidyzacji (zob. Sekcja 2.2.4.12.4). W zależności od zastosowanej techniki, znaczne ilości MgO mogą być uwalniane w postaci białego dymu. Właściwości różnych technik sferoidyzacji podano w Tabeli 2.14. Ogólnie techniki o wyższej skuteczności wychwytywania powodują niższe emisje.
W przypadku sferoidyzacji „w kadzi" techniki wykorzystujące pokrywę lub osłonę powodują znaczne zmniejszenie emisji.
Jeżeli gaz wylotowy z procesu sferoidyzacji nie jest wychwytywany, może to spowodować wypełnienie wytapialni białym dymem i wytrącenie pyłu MgO. Odprowadzanie gazów bez filtracji może spowodować widoczną emisję z odlewni. W stosunkowo krótkim czasie może powstać duża ilość widocznych cząstek stałych, ale zazwyczaj utrzymują się one tylko przez krótki czas (5 do 10 minut dla każdej przetworzonej partii).
Sferoidyzację w kadzi można wykonywać w określonym miejscu lub stanowisku w wytapialni. Kadź z roztopionym metalem jest doprowadzana do tego miejsca po zalaniu, ale przed przeniesieniem do pieca odlewniczego lub stacji odlewniczej. Umożliwia to zainstalowanie stałego okapu do wychwytywania spalin.
Zbieranie oparów z MgO jest utrudnione przez fakt, że gazy te są bardzo gorące, a intensywna reakcja Mg powoduje iskrzenie. Ze względu na dużą prędkość wznoszenia i temperaturę konieczne jest również usuwanie znacznych ilości otaczającego powietrza. Wymaga to zainstalowania dużych i kosztownych urządzeń.
Sucha filtracja (za pomocą filtrów workowych) gazów wydechowych powoduje powstanie proszku MgO, który może być ponownie wykorzystany w pigmentach lub do produkcji materiałów ogniotrwałych.
Osiągnięte korzyści dla środowiska

- Zmniejszona emisja tlenku magnezu podczas sferoidyzacji żeliwa.
- Mg nie ma szkodliwego wpływu na środowisko i w niewielkich stężeniach jest niezbędnym składnikiem odżywczym dla zwierząt i roślin. W Wielkiej Brytanii dopuszczalne wartości narażenia zawodowego określają

długoterminową wartość narażenia (8-godzinna średnia ważona w czasie) dla pyłu MgO i oparów respirabilnych (wyrażonych jako Mg) na poziomie 4 mg/m³.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Typowa ilość magnezu dodawana do stopu wynosi około 0,1% masy stopu, mierzonej jako magnez (rzeczywista ilość dodanego stopu zawierającego magnez, np. żelazokrzem magnezowy, może wynosić do 2% masy stopu, w zależności od zastosowanego stopu).

Dodatek ten zapewnia około 0,05 % magnezu w stopie, większość pozostałości utlenia się i uchodzi do atmosfery w postaci MgO, gdzie dość szybko aglomeruje się w powietrzu. W przypadku braku wychwytywania oparów, mogą one rozprzestrzeniać się po odlewni, gdzie ich część opada w postaci pyłu. Nie ma dokładnych informacji na temat tej ilości, ale rozsądną wartością może być 50 % uwolnionych oparów. W związku z tym na każdą tonę przetworzonego metalu do powietrza z kadzi uwalnia się około 500 g magnezu w postaci MgO (tj. 833 g MgO na tonę przetworzonego metalu) oraz około 400 g MgO do atmosfery zewnętrznej.

Dane dotyczące emisji z zakładów objętych zbiorem danych podsumowano w Sekcji 2.3.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Wychwytywanie oparów tlenku magnezu wymaga zwiększonego zużycia energii, a tym samym powoduje wzrost emisji z produkcji energii.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika wychwytywania i filtracji spalin ma zastosowanie w odlewniach stosujących techniki sferoidyzacji w kadzi.

Ekonomika

Przy zastosowaniu tej techniki ekstrakcja wymagana do skutecznego wychwycenia większości emisji MgO z kadzi do obróbki wyniosłaby około 280 m^3/min. Łączne nakłady inwestycyjne i koszty instalacji na odlewnię wyniosłyby około 180 000 EUR.

Tabela 3.65 poniżej podsumowuje dane finansowe dla „przeciętnej odlewni", przy czym koszty zamortyzowano w ciągu przewidywanego 10-letniego okresu eksploatacji urządzeń do ekstrakcji (odciągania) i redukcji emisji.

Tabela 3.65: Obliczenie kosztów dla ograniczania ilości oparów z MgO

Szybkość ekstrakcji m^3/min	Wielkość produkcji tona/h	Koszty EUR		Moc kW	Koszty EUR/tonę żelaza poddanego obróbce		
		Kapitałowe	Osobowe		Bieżące	Finansowe	Ogółem
280	0,5	180280	23514	50	21,95	29,35	51,30
	(1000 ton rocznie)						

Uwaga:
Koszty osobowe stanowią 15% kosztów kapitałowych. Koszty bieżące opierają się na kosztach obsługi i unieszkodliwiania odpadów i stanowią równowartość 10% kosztów kapitałowych i energii w wysokości 0,06 EUR/kWh. Koszty finansowe opierają się na amortyzacji zakładu przez dziesięć lat z odsetkami w wysokości 10%.
Źródło: [63. UK Environment Agency (Brytyjska Agencja Ochrony Środowiska) 2002].

Koszty ograniczenia emisji tlenku magnezu szacuje się na około 51,30 EUR na tonę przetworzonego metalu.

Siła napędowa wdrażania

Wymogi prawne.

Przykładowe zakłady

- Metoda kanałowa (duktylacyjna): AT004.
- Wtrysk drutu rdzeniowego: AT017, IT132, PL138, BE022, BE023, DE042, DE045, DE056, ES100, FR110, IT071, IT124 i PL135.
- Metoda warstwowa: PT141, PT140, IT130, FR104, ES095, DE060, FI102 i ES088.
- Metoda pokrywy kadzi pośredniej: AT009, DE039, ES082, FR109, IT131, IT158, SE144, SE145 oraz SE152.

- Metoda konwertera G Fishera: DE050, DE049 i DE051.
- Metoda zalewania: BE019, CZ156, DE041, DE048, ES091 i IT 124.

Literatura źródłowa
[63. UK Environment Agency (Brytyjska Agencja Ochrony Środowiska) 2002], [38. Vito 2001], [169. TWG 2021]

3.2.2.3.3 Filtr tkaninowy

Więcej informacji na temat tej techniki znajduje się w Sekcji 3.2.1.12.7.
Opis
Zebrany tlenek magnezu może być ponownie wykorzystany do produkcji pigmentów lub materiałów ogniotrwałych.
Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Filtry tkaninowe stosuje się samodzielnie lub w połączeniu z innymi technikami oczyszczania gazów wylotowych.
Dane zgłoszone przez pięć zakładów (5 punktów emisji) stosujących filtry tkaninowe wskazują, że emisje pyłu wynoszą od 0,4 mg/Nm^3 do 4,2 mg/Nm^3, przy czym w 4 z 5 punktów emisji wartości te są niższe niż 1 mg/Nm^3 [169. TWG 2021].
Przykładowe zakłady
BE022, DE039, ES088, IT071 i IT132.
Literatura źródłowa
[169. TWG 2021]

3.2.3 Techniki do rozważenia przy określaniu BAT dla odlewni stali

3.2.3.1 Emisje do powietrza z procesów termicznych

3.2.3.1.1 Szybkie schładzanie gazów wylotowych

Opis
Gazy wylotowe są szybko schładzane z temperatur powyżej 400 °C do poniżej 250 °C przed usuwaniem pyłu, aby zapobiec ponownej syntezie PCDD/F. Osiąga się to poprzez odpowiednią konstrukcję pieca i/lub zastosowanie systemu chłodzenia.
Więcej informacji można znaleźć w Sekcji 3.2.2.2.1.9.

3.2.3.1.2 Minimalizacja gromadzenia się pyłu w wymiennikach ciepła

Opis
Gromadzenie się pyłu wzdłuż trajektorii chłodzenia gazów wylotowych zostaje zminimalizowane, zwłaszcza w wymiennikach ciepła, np. poprzez zastosowanie pionowych rur wymiennika, skuteczne czyszczenie wewnątrz rur wymiennika, odpylanie wysokotemperaturowe.
Więcej informacji można znaleźć w Sekcji 3.2.2.2.1.9.

3.2.3.1.3 Ekstrakcja gazów wylotowych jak najbliżej źródła emisji

Opis
Gazy wylotowe z pieców indukcyjnych są ekstrahowane (odsysane), na przykład za pomocą:

- okapów wyciągowych (np. górnych lub z odciągiem bocznym);
- ekstrakcji barierowej;
- ekstrakcji osłonowej.

Gazy wylotowe z pieców łukowych są ekstrahowane, na przykład za pomocą:

- częściowej obudowy pieca (ruchomej lub stałej) zamontowanej wokół pieca i obszaru spustu;
- całkowitej obudowy pieca wykorzystującej kompletne zamknięcie pomieszczenia wokół pieca i spustu,

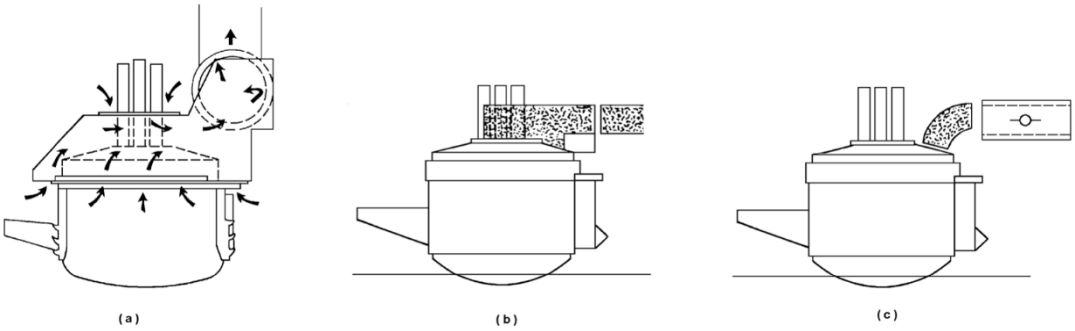
i wyposażonej w ruchomy dach do operacji załadunku/spustu;
- okapów (np. montowanych na dachu, górnych lub z odciągiem bocznym);
- bezpośredniej ekstrakcji przez górną pokrywę z otworem ssącym (tzw. czwarty otwór).

Szczegóły techniczne Piece indukcyjne

Systemy ekstrakcji (odsysania) gazów wylotowych z pieców indukcyjnych opisano w Sekcji 3.2.2.2.1.8.

Piece łukowe (EAF)

Cząstki stałe z pieca łukowego są bardzo małe i trudne do wychwycenia. Wychwytywanie dymu i pyłu jest największym problemem do rozwiązania podczas instalacji systemu odpylania w piecu łukowym. Istnieje kilka metod, które mają różne zalety i wady. Rysunek 3.67 przedstawia zasadę działania okapów dachowych, bocznych i tzw. czwartego otworu.



Źródło: [72. Huelsen, W. B. 1985].

Rysunek 3.67: Zasada działania (a) okapu dachowego, (b) okapu z bocznym odciągiem (bocznego) i (c) bezpośredniego odsysania przez tzw. czwarty otwór

- *Okapy montowane na dachu (dachowe)*: Okap jest zamocowany na stropie pieca i zbiera opary przez szczelinę między obudową pieca a dachem. Dodatkowo wychwytywane są opary powstające przy drzwiach roboczych i otworze spustowym. Okapy dachowe są ciężkie i podatne na odkształcenia pod wpływem ciepła. W przypadku montażu na istniejącym piecu łukowym mogą pojawić się problemy związane ze zwiększonym obciążeniem konstrukcyjnym mechanizmu podnoszenia i obracania dachu. Typowe wydajności ekstrakcji dla tego systemu wynoszą od 7 500 Nm^3/tonę do 15 000 Nm^3/tonę.
- *Okapy z bocznym odciągiem (boczne)*: Okap jest zamontowany na stropie pieca i zbiera opary wydobywające się przez otwory elektrod. Łopatki kierują strumień powietrza w stronę okapu. Dodatkowe okapy nad drzwiami roboczymi i otworem spustowym służą do wychwytywania emisji w tych miejscach. W porównaniu z okapami montowanymi na dachu konieczne są tutaj wyższe współczynniki ekstrakcji, ponieważ do wychwytywania oparów potrzebne są duże prędkości przepływu powietrza. Można spodziewać się pewnego wycieku zanieczyszczeń do atmosfery zakładu, chyba że utrzymywana jest szczelność. Doniesiono, że okapy z bocznym odciągiem zwiększają zużycie elektrod.
- *Okapy górne (znane również z zupełnie innego zastosowania jako okapy kuchenne, okapy nad wyspą, canopy hood)*: Nad całym piecem i nad systemem ładowania umieszcza się duży okap wyciągowy. Powstaje w ten sposób duża szczelina między piecem a systemem ekstrakcji (odciągania), co utrudnia kontrolowanie unoszącego się dymu i pyłu, nawet przy zastosowaniu wysokich współczynników ekstrakcji. Przeciągi mogą poważnie zakłócić skuteczność zbierania. Wady te sprawiają, że korzystanie z tych systemów zbierania emisji jest nieatrakcyjne.
- *Bezpośrednia ekstrakcja z pieca lub tzw. czwartego otworu*: Opary są zbierane przez chłodzony wodą lub wykładany materiałem ogniotrwałym kanał połączony z czwartym otworem w stropie pieca. Powietrze otoczenia jest zasysane przez złącze w przewodzie, dostarczając tlen do spalania CO w nierozcieńczonym i gorącym gazie odlotowym. Zapobiega to wybuchom w systemie odpylania. Wymiary komory spalania mają bardzo duże znaczenie dla zapewnienia wystarczającego spalania na wszystkich etapach cyklu topienia. Spalony gaz (900 °C) jest schładzany w dalszej części procesu poprzez rozcieńczenie powietrzem otoczenia, wtrysk wody, wymienniki ciepła (płaszcze wodne) lub

poprzez zastosowanie długich kanałów. Proces chłodzenia jest niezbędny do ochrony urządzeń filtrujących pył. Zastosowanie systemu kontroli ciśnienia w piecu pozwala na stosunkowo niewielką szybkość ekstrakcji w piecu na poziomie 2 000 Nm^3/tonę do 4 000 Nm^3/tonę. Zużycie elektrod jest zazwyczaj wyższe ze względu na efekt utleniania. Bezpośrednie odsysanie oparów z pieca za pomocą tzw. czwartego otworu jest zazwyczaj ograniczone do dużych pieców łukowych, ponieważ ich strop musi być wystarczająco duży, aby pomieścić czwarty otwór bez osłabienia konstrukcji. Technika ta nie jest stosowana do topienia żelaza, ponieważ dopływ świeżego powietrza powoduje nadmierne utlenianie się węgla.

- *Częściowa obudowa (częściowe obudowanie) pieca*: Obudowy ruchome lub stałe są montowane wokół pieca i obszaru spustu. Pierwsze z nich są chowane, aby umożliwić załadunek i spust, natomiast drugie są wyposażone w ruchomy dach i ściany boczne służące temu samemu celowi. Gazy wydechowe są zbierane przez główny kanał wydechowy w górnej części obudowy, wspomagany przez wentylatory wewnątrz kanału, które kierują opary do wydechu. Dzięki tego typu systemom zbierania można osiągnąć skuteczność usuwania gazów nawet do 98%.
- *Całkowita obudowa (całkowite obudowanie) pieca*: System ten składa się z dużej stałej komory odsysania całkowicie otaczającej piec do topienia i wnękę kadzi. Obudowa ta jest wyposażona w ruchomy dach i/lub panele boczne, aby umożliwić zarówno operacje ładowania, jak i spustu. Mogą one zostać wyposażone w kurtyny powietrzne w celu zmniejszenia strat gazu. Wadą tej techniki są wysokie temperatury i poziom hałasu wewnątrz obudowy. Zalety natomiast obejmują niski poziom hałasu na zewnątrz a także niskie zużycie energii. Zużycie energii szacuje się na 30% do 50% mniej niż w przypadku okapu górnego.

Osiągnięte korzyści dla środowiska

Wychwytywanie gazów spalinowych umożliwia kontrolowane odsysania i oczyszczanie strumienia gazów spalinowych, co skutkuje minimalizacją zarówno emisji niezorganizowanych, jak i zorganizowanych.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Tabela 3.66 przedstawia typowe natężenia przepływu spalin oraz skuteczność usuwania dla różnych systemów wychwytywania.

Tabela 3.66: Typowe natężenia przepływu spalin (w m3/s) oraz skuteczność usuwania cząstek stałych z spalin w systemach wychwytywania spalin z pieców łukowych (EAF)

	Przepływ spalin dla danej wydajności pieca			**Skuteczność usuwania cząstek stałych (%)**	
	3.9 t/h	**9.1 t/h**	**22.7 t/h**	**Zakres**	**Typowa wartość maks.**
Okap z bocznym odciągiem (boczne)	12,9	19,8	50,00	90 – 100	99
Okap dachowy	7,7	11,9	30,00	95 – 100	99
Bezpośrednie odsysania	3,2	5,0	12,5	90 – 100	99
Całkowita obudowa			35 – 42		
Źródło: [72. Huelsen, W. B. 1985].					

W polskiej odlewni zainstalowanie całkowitej obudowy nad dwoma piecami łukowymi o wydajności 8,5 tony każdy spowodowało zmniejszenie poziomu hałasu podczas topienia z 91 dBA do poniżej 85 dBA.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Wychwytywanie spalin zwiększa zużycie energii. Ponieważ umożliwia oczyszczanie gazów wydechowych, powoduje również powstawanie pyłu, który należy unieszkodliwić lub ponownie wykorzystać.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika
Budowa i montaż obudowy typu "doghouse" nad dwoma piecami łukowymi o pojemności 8,5 tony każdy wymagała inwestycji w wysokości 275 000 EUR (ceny z 1996 r.), nie uwzględniając kosztów dalszej renowacji systemu kanałów i filtracji.

Siła napędowa wdrażania
- Środki zapobiegawcze związane ze zdrowiem pracowników. Umożliwia zastosowanie techniki oczyszczania gazów poprzez kierowanie strumieniem gazów wydechowych.
- Wymogi prawne.

Przykładowe zakłady
Obudowa typu „doghouse”: Odlewnia Metalodlew, Kraków (PL).
Zbieranie gazów wylotowych: Metso Lokomo Steels oraz odlewnia Sulzer Pumps Karhula Foundry (FI)

Literatura źródłowa
[13. Batz, R. 1986], [14. CAEF 1997], [72. Huelsen, W. B. 1985], [97. Metalodlew S.A. 2002], [169. TWG 2021].

3.2.3.1.4 Cyklon

Więcej informacji na temat tej techniki znajduje się w Sekcji 3.2.1.13.2.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Cyklony mogą być stosowane samodzielnie, ale często są używane w połączeniu z innymi technikami oczyszczania gazów odlotowych.

Dane zgłoszone przez dwa zakłady (2 punkty emisji) stosujące cyklony wskazują na zakres emisji pyłu od 8,7 mg/Nm^3 do 11,6 mg/Nm^3. [169. TWG 2021].

Przykładowe zakłady
ES089 oraz PL135.

Literatura źródłowa
[169. TWG 2021]

3.2.3.1.5 Filtr tkaninowy

Więcej informacji na temat tej techniki znajduje się w Sekcji 3.2.1.12.7.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Filtry tkaninowe stosuje się samodzielnie lub w połączeniu z innymi technikami oczyszczania gazów wylotowych.

Dane zgłoszone przez 15 zakładów (18 punktów emisji) stosujących filtry tkaninowe wskazują, że emisje pyłów wynoszą od 0,02 mg/Nm^3 do 8,7 mg/Nm^3, przy wartości mediany wynoszącej 0,7 mg/Nm^3 i wartości średniej wynoszącej 1,24 mg/Nm3 [169. TWG 2021].

Przykładowe zakłady
AT011, AT016, CZ156, DE043, DE044, DE068, DE069, DE073, ES097, FI103, FR104, IT129, PL135, SE146 i SE149.

Literatura źródłowa
[169. TWG 2021]

3.2.3.2 Emisje do powietrza z rafinacji stali

3.2.3.2.1 Ekstrakcja (odciąganie) gazów wylotowych jak najbliżej źródła emisji

Opis

Gazy wylotowe z rafinacji stali (np. z konwertorów do odwęglania argonowo-tlenowego (AOD) lub próżniowego odwęglania tlenowego (VOD)) są ekstrahowane za pomocą np. okapu do bezpośredniej ekstrakcji lub okapu górnego w połączeniu z kominem przyspieszającym (akceleracyjnym). Odsysane gazy wylotowe są oczyszczane za pomocą filtra tkaninowego (zob. Sekcja 3.2.3.2.2).

Szczegóły techniczne
Okapy do kontroli oparów dla zbiorników AOD są dostępne w wielu różnych kształtach i rozmiarach. Alternatywą dla okapu z bezpośrednim odciąganiem jest okap dachowy. Okapy dachowe są stosowane w kilku zakładach AOD i skutecznie wychwytują zarówno opary z procesu AOD, jak i dym z innych operacji, takich jak ładowanie i spust. Okapy dachowe mogą być stosowane w połączeniu z kominami przyspieszającymi umieszczonymi nad wylotem AOD. Komin przyspieszający pełni kilka użytecznych funkcji, w tym tworzy bardziej spójny strumień spalin z AOD, zmniejsza wymagany rozmiar okapu oraz chroni otaczający sprzęt i personel przed czasami intensywnym promieniowaniem płomienia AOD.
Główną zaletą okapu dachowego jest wychwytywanie zarówno zanieczyszczeń procesowych, jak i niezorganizowanych w tym samym okapie.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Oddziaływanie gazów spalinowych pozwala na kontrolowane odsysanie i oczyszczanie strumienia gazów spalinowych, co skutkuje minimalizacją zarówno emisji niezorganizowanych, jak i zorganizowanych.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Zobacz dane podsumowane w Sekcji 2.3.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Oczyszczanie gazów wydechowych zwiększa zużycie energii. Odpylanie gazów wydechowych powoduje powstawanie pyłu, który należy unieszkodliwić lub ponownie wykorzystać.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ta ma zastosowanie do wszystkich nowych i istniejących instalacji AOD.

Siła napędowa wdrażania
Wymogi prawne.

Przykładowe zakłady
Konwertory AOD: FR104, DE068, AT017.
Konwertor VOD: FI103.

Literatura źródłowa
[100. TWG 2002]

3.2.3.2.2 Filtr tkaninowy

Więcej informacji na temat tej techniki znajduje się w Sekcji 3.2.1.12.7.

3.2.4 Techniki do rozważenia przy określaniu BAT dla odlewni metali nieżelaznych

3.2.4.1 Efektywność energetyczna

3.2.4.1.1 Cyrkulacja stopionego metalu w piecach płomiennych (trzonowych)

Opis
W piecach płomiennych montowana jest pompa, która wymusza cyrkulację stopionego metalu i minimalizuje gradient temperatury w całej stopionej kąpieli (od góry do dołu).

Szczegóły techniczne
Dodanie pompy cyrkulacyjnej stopionego metalu może znacznie poprawić wydajność pieców płomiennych, ponieważ ciepło jest przekazywane z powierzchni kąpieli metalu do całej kąpieli w bardziej efektywny sposób. Wymuszona cyrkulacja powoduje mniejsze wahania temperatury. Twierdzi się, że typowe wahania

temperatury (od góry do dołu) w piecu płomiennym o głębokości 1 metra bez cyrkulacji stopionego metalu wynoszą od 50 °C do 85 °C i można je zmniejszyć o 3-7 °C poprzez dodanie pompy cyrkulacyjnej. Ponieważ metal topi się szybciej, można zaoszczędzić energię lub zwiększyć wydajność.

Kolejną zaletą stosowania pompy cyrkulacyjnej jest zmniejszenie strat stopionego metalu; dzięki niższej temperaturze powierzchni kąpieli zmniejsza się tworzenie zgarów. Straty stopionego metalu można zmniejszyć o około 1%. Ponadto dzięki większej jednorodności temperatury ogranicza się również powstawanie szlamu.

Osiągnięte korzyści dla środowiska

- Zwiększona efektywność energetyczna.
- Zmniejszone tworzenie się zgarów (zgorzeliny).

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Cyrkulacja stopionego metalu może zmniejszyć zużycie energii o 10–15 %.

Zużycie energii w dobrze zaprojektowanym i w pełni wykorzystywanym piecu opalanym paliwem, z promiennikiem sufitowym i 100 % ładowaniem zimnego metalu wynosi około 830 kcal/kg (sprawność 33 %). Ulepszenie okładziny, dodanie powolnego podgrzewania paleniska i cyrkulacji stopionego metalu może zmniejszyć zużycie energii do około 680 kcal/kg (sprawność 41%). Ponadto zastosowanie palników rekuperacyjnych zmniejszy zużycie energii do 600 kcal/kg (sprawność 46%), a zastosowanie palników regeneracyjnych zmniejszy zużycie energii do 520 kcal/kg (sprawność 53%).

W przypadku elektrycznego pieca płomieniowego z promiennikiem sufitowym i zużyciem energii wynoszącym 420 kcal/kg, dodanie cyrkulacji stopionego metalu zmniejszy zużycie energii do około 380 kcal/kg.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika

Typowy koszt dodania pompy do dużego pieca wynosi od 24 500 EUR do 31 500 EUR (dane z 2011 r.), w zależności od wielkości pieca. Koszt pompy cyrkulacyjnej wynosi dodatkowo od 24 500 EUR do 30 000 EUR (dane z 2011 r.). Zwrot z inwestycji w typową pompę cyrkulacyjną i studnię szacuje się na 24 do 28 miesięcy.

Siła napędowa wdrażania

Efektywność energetyczna

Przykładowe zakłady

Nie podano żadnych informacji.

Literatura źródłowa

[145. US EPA 2016]

3.2.4.1.2 Minimalizacja strat energii spowodowanych promieniowaniem w piecach tyglowych

Opis

Piece tyglowe są przykryte pokrywą i/lub wyposażone w okładziny z paneli radiacyjnych, aby zminimalizować straty energii spowodowane promieniowaniem.

Szczegóły techniczne

Około 60 % energii wprowadzonej do pieców tyglowych opalanych gazem jest tracone w wyniku promieniowania. W przypadku pieców nieuszczelnionych przykrycie pieca pokrywą spowodowałoby znaczne zmniejszenie strat energii. Środek ten jest stosunkowo łatwy do wdrożenia i znacznie skraca czas topienia oraz zmniejsza zużycie energii.

W przypadku gdy straty promieniowania nie mogą być kontrolowane poprzez zamknięcie pieca tyglowego pokrywą, można rozważyć wyposażenie pieca w panele radiacyjne. Panele radiacyjne są wykonane z tlenku glinu i ograniczają promieniowanie wychodzące z tygla. Panele z tlenku glinu mają specjalną strukturę o dużej powierzchni i muszą być wzmocnione materiałem izolacyjnym, takim jak tlenek glinu, który wykazuje wysoką przewodność cieplną.

Osiągnięte korzyści dla środowiska

Zwiększona efektywność energetyczna.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Przewidywano, że panele radiacyjne mogą poprawić efektywność energetyczną pieca o 30%. Badania przeprowadzone przez Case Western Reserve University wykazały, że efektywność energetyczna tygla opalanego gazem ziemnym wzrosła z 8% do 16% dzięki zainstalowaniu ulepszonych palników gazowych i paneli radiacyjnych. Oszacowano, że każdy z tych dwóch środków w równym stopniu przyczynił się do poprawy efektywności. Oznacza to, że instalacja paneli radiacyjnych zmniejszyła zużycie gazu ziemnego o 4–8%.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika

Koszty instalacji paneli wyniosły około 2 800 EUR na tygiel (dane z 2007 r.). To, czy jest to ekonomicznie uzasadnione, należy oceniać indywidualnie dla każdego przypadku.

Siła napędowa wdrażania

Efektywność energetyczna.

Przykładowe zakłady

Nie dostarczono danych.

Literatura źródłowa

[145. US EPA 2016]

3.2.4.2 Emisje do powietrza z procesów termicznych

3.2.4.2.1 Emisje do powietrza z topienia metali

3.2.4.2.1.1 Szybkie schładzanie gazów wylotowych

Opis

Gazy wylotowe są szybko schładzane z temperatur powyżej 400 °C do poniżej 250 °C przed usuwaniem pyłu, aby zapobiec ponownej syntezie PCDD/F. Osiąga się to poprzez odpowiednią konstrukcję pieca i/lub zastosowanie systemu chłodzenia.

Więcej informacji można znaleźć w Sekcji 3.2.2.2.1.9.

3.2.4.2.1.2 Minimalizacja gromadzenia się pyłu w wymiennikach ciepła

Opis

Gromadzenie się pyłu wzdłuż trajektorii chłodzenia gazów wylotowych zostaje zminimalizowane, zwłaszcza w wymiennikach ciepła, np. poprzez zastosowanie pionowych rur wymiennika, skuteczne czyszczenie wewnątrz rur wymiennika, odpylanie wysokotemperaturowe.

Więcej informacji można znaleźć w Sekcji 3.2.2.2.1.9.

3.2.4.2.1.3 Ekstrakcja gazów wylotowych jak najbliżej źródła emisji

Opis

Gazy wylotowe z pieców szybowych, tyglowych, oporowych, płomiennych i z promiennikiem sufitowym są odprowadzane za pomocą okapu odciągowego (np. okapów górnych). Urządzenia odciągowe są tak zamontowane, aby umożliwić wychwytywanie emisji podczas zalewania.

Gazy wylotowe z pieców indukcyjnych są ekstrahowane (odsysane) na przykład za pomocą:

- okapów wyciągowych (np. górnych lub z odciągiem bocznym);
- ekstrakcji barierowej;
- ekstrakcji osłonowej.

Gazy wylotowe z pieców obrotowych są odciągane, na przykład za pomocą okapu.

Szczegóły techniczne

Piece indukcyjne

Zobacz Sekcja 3.2.2.2.1.8.

Piece szybowe, tyglowe, oporowe, płomienne i z promiennikiem sufitowym

Gazy wylotowe są zbierane za pomocą wyciągów (np. okapów górnych). W przypadku pieców przechylnych (np. płomiennych, obrotowych), system odciągowy jest przystosowany do wychwytywania emisji podczas opróżniania pieca.

Piece obrotowe

Zobacz Sekcja 3.2.2.2.1.8.

Osiągnięte korzyści dla środowiska

Wychwytywanie gazów spalinowych umożliwia kontrolowane odsysanie i oczyszczanie strumienia gazów spalinowych, co pozwala zminimalizować zarówno emisje niezorganizowane, jak i zorganizowane.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Niektóre odlewnie aluminium topią materiał odzyskany z elektrolizy aluminium. W tym przypadku mogą powstawać zanieczyszczenia nieorganiczne, takie jak fluorowodór. Można je usunąć z gazów spalinowych za pomocą etapu chemisorpcji, który można dodać do systemu odpylania. W tym procesie jako adsorbent można stosować wodorotlenek wapnia lub tlenek glinu.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika

Nie podano żadnych informacji.

Siła napędowa wdrażania

- Przepisy dotyczące emisji do powietrza.
- Wymogi prawne.

Przykładowe zakłady

Poniżej podsumowano niektóre przykładowe instalacje topienia metali nieżelaznych z bazy danych SF w [169. TWG 2021]:

- Piece indukcyjne (elektryczne bezrdzeniowe): DE078, ES081, PL137 i SE148.
- Piece tyglowe: AT007, AT008, DE034, DE072, ES086, ES093, FI101 i PT142.
- Piece oporowe: ES099, FR108 i FR116.
- Pice płomienne (typu paleniskowego): AT002, DE075, ES086, ES087 i IT133.
- Piece z promiennikiem sufitowym: FR116 i IT154.
- Piece obrotowe: AT005 i IT127.

Literatura źródłowa

[169. TWG 2021].

3.2.4.2.1.4 Cyklon

Więcej informacji na temat tej techniki znajduje się w Sekcji 3.2.1.13.2.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Cyklony mogą być stosowane samodzielnie, ale często są używane w połączeniu z innymi technikami oczyszczania gazów odlotowych.

Dane zgłoszone przez trzy zakłady (5 punktów emisji) stosujące cyklony wskazują, że emisje pyłu wynoszą od 0,6 mg/Nm^3 do 30,7 mg/Nm^3, przy czym w 3 z 5 punktów emisji wartości te są niższe niż 4,7 mg/Nm^3 [169. TWG 2021].

Przykładowe zakłady

DE064 i SE148.

Literatura źródłowa

[169. TWG 2021]

3.2.4.2.1.5 Proces suchego oczyszczania gazów wylotowych (proces suchego odsiarczania)

Opis

Suchy proszek lub zawiesina/roztwór odczynnika alkalicznego (np. wapno lub wodorowęglan sodu) jest wprowadzany i rozpraszany w strumieniu gazów wylotowych. Materiał reaguje z kwaśnymi gazami (np. SO2), tworząc substancję stałą, która jest usuwana przez filtrację (np. filtr tkaninowy).

Więcej informacji można znaleźć w dokumencie BREF CWW [179. COM 2016].

Przykładowe zakłady

DE034.

Literatura źródłowa

[169. TWG 2021], [179. COM 2016].

3.2.4.2.1.6 Filtr tkaninowy

Więcej informacji na temat tej techniki znajduje się w Sekcji 3.2.1.12.7.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Filtry tkaninowe stosuje się samodzielnie lub w połączeniu z innymi technikami oczyszczania gazów wylotowych.

Dane zgłoszone przez osiem zakładów (18 punktów emisji) stosujących filtry tkaninowe wskazują na zakres emisji pyłu od 0,4 mg/Nm^3 do 15,4 mg/Nm^3, przy wartości mediany wynoszącej 6,5 mg/Nm^3 i wartości średniej wynoszącej 6,12 mg/Nm^3 [169. TWG 2021].

Przykładowe zakłady

AT008, DE048, DE064, DE072, FR116, IT127, IT154 i PL137.

Literatura źródłowa

[169. TWG 2021]

3.2.4.2.1.7 Płukanie (oczyszczanie) na mokro

Więcej informacji na temat tej techniki znajduje się w Sekcji 3.2.1.13.4.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Płukanie (oczyszczanie) na mokro stosuje się samodzielnie lub w połączeniu z innymi technikami oczyszczania gazów odlotowych.

Dane zgłoszone przez 4 zakłady (5 punktów emisji) stosujące wyłącznie płukanie na mokro pokazują zakres zgłoszonych maksymalnych stężeń emisji pyłu od 11 mg/Nm^3 do 42 mg/Nm^3. [169. TWG 2021].

Przykładowe zakłady

AT015, DE041, DE070 i SE150.

Literatura źródłowa

[169. TWG 2021]

3.2.4.3 Emisje do powietrza z procesów obróbki i ochrony stopionego metalu

3.2.4.3.1 Zoptymalizowane odgazowanie/oczyszczanie stopionego aluminium

Opis

Do usuwania wodoru z topionego materiału stosuje się mobilną lub stacjonarną stację odgazowującą z wirnikiem obrotowym. W większości przypadków osiąga się to poprzez prostą obróbkę odgazowującą z użyciem argonu lub azotu bez gazowego chloru.

W połączonym procesie odgazowywania i oczyszczania do stopionego materiału wprowadzane są mieszaniny argonu i chloru lub azotu i chloru. W tym przypadku stężenie chloru w gazie nośnym jest optymalizowane w celu zapewnienia dobrego oczyszczania i niskiej emisji chloru.

Szczegóły techniczne

Odgazowanie aluminium jest konieczne w celu usunięcia wodoru ze stopu. Usunięcie lub redukcja niewielkich ilości niepożądanych pierwiastków i zanieczyszczeń wymaga obróbki stopu halogenami, takimi jak chlor, fluor lub brom. Obróbka ta nazywana jest oczyszczaniem i zazwyczaj łączy się ją z odgazowaniem.

Odpowiednie odgazowanie za pomocą fizycznie działających procesów obróbki nie zapewnia wystarczającego oczyszczenia większości odlewów aluminiowych. Odgazowanie próżniowe pozwala uzyskać bardzo niską zawartość wodoru w stopie, ale jednocześnie mniejsza liczba jąder oznacza, że krystalizacja jest mniej skuteczna.

W połączonym procesie odgazowywania i oczyszczania do stopionego materiału wprowadzane są mieszaniny argonu i chloru lub azotu i chloru. Stężenie chloru w gazie nośnym musi być zoptymalizowane, aby zapewnić dobre oczyszczania i niską emisję. W większości przypadków konieczne jest jedynie odgazowanie. Obróbka ta odbywa się bez użycia gazu Cl_2. W zależności od zbiornika do obróbki skuteczność odgazowania można poprawić za pomocą porowatych zatyczek i wirników.

W niektórych odosobnionych przypadkach stosuje się mieszaninę Ar/SF_6. Ten ostatni jest gazem cieplarnianym o wysokim potencjale globalnego ocieplenia, który podlega protokołowi z Kioto.

Osiągnięte korzyści dla środowiska

Zastosowanie wirnika z Ar/Cl_2 lub N_2/Cl_2 pozwala uniknąć stosowania heksachloroetanu w procesie oczyszczania aluminium. Stosowanie heksachloroetanu jest zakazane w UE od 30 czerwca 2003 roku.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Do łącznego odgazowania i czyszczenia stosuje się zazwyczaj mieszaninę azotu z 3% Cl_2. Do samego odgazowania Cl_2 nie jest konieczny.

Do pieców i kadzi o pojemności 50–250 kg Al można stosować mobilną stację wirnikową. Zabieg trwa od 3 do 5 minut. Jednostka do obróbki metalu jest używana dla wydajności od 400 kg do 1000 kg Al. Stopiony materiał jest poddawany obróbce przez 1,5 do 5 minut przy przepływie gazu od 8 litrów/minutę do 20 litrów/minutę. Żywotność wirnika grafitowego wynosi 100–150 obróbek, w zależności od temperatury stopu.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Brak.

Zastosowanie tego typu jednostki odgazowującej pozwoliło na zaprzestanie stosowania heksachloroetanu do odgazowywania i oczyszczania.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ogólnie stosowana.

Stacje wirówkowe zostały opracowane do podtrzymywania pieców i kadzi o pojemności od 50 kg do 1000 kg

stopionego aluminium.

Ekonomika

Koszty inwestycji podano w Tabeli 3.67.

Tabela 3.67: Koszty inwestycyjne dla stacji wirnika

Opis	Koszt (EUR)
Instalacja wirnika wraz z akcesoriami	15 000
Urządzenia do mieszania argonu z chlorem	40 000
Razem	55 000.
Źródło: [77. Wenk, L. 1995].	

Siła napędowa wdrażania

- Dyrektywa europejska 97/16/WE zakazująca stosowania heksachloroetanu w produkcji lub przetwarzaniu metali nieżelaznych.
- Wymogi prawne.

Przykładowe zakłady

Technika ta jest powszechnie stosowana w odlewniach aluminium.

W ramach gromadzenia danych SF zgłoszono następujące informacje: [169. TWG 2021].

- dwa zakłady (IT154 i SE148) zgłosiły użycie Ar-Cl_2 jako środka odgazowującego;
- jeden zakład (DE048) zgłosił użycie N_2-Cl_2 jako środka odgazowującego.

Literatura źródłowa

[74. Brown, J. R. 1999], [77. Wenk, L. 1995], [169. TWG 2021]

3.2.4.3.2 Wybór środków kontrolujących utlenianie o niskim współczynniku globalnego ocieplenia w topieniu magnezu

Opis

Środki kontrolujące utlenianie (gazy osłonowe) stosowane podczas topienia magnezu dobiera się z uwzględnieniem ich współczynnika globalnego ocieplenia. Mieszaniny gazów o niskim wpływie na środowisko to:

- SO_2;
- mieszaniny gazów N_2 CO_2 lub SO_2;
- mieszaniny gazów: argonu oraz SO_2.

Zastosowanie SO_2 powoduje powstanie warstwy ochronnej złożonej z $MgSO_4$, MgS i MgO.

Szczegóły techniczne

Zgodnie z art. 13 rozporządzenia (UE) nr 517/2014 w sprawie fluorowanych gazów cieplarnianych stosowanie sześciofluorku siarki w odlewaniu ciśnieniowym magnezu oraz w recyklingu stopów magnezu przeznaczonych do odlewania ciśnieniowego jest zabronione. W odniesieniu do instalacji wykorzystujących mniej niż 850 kg sześciofluorku siarki rocznie do odlewania ciśnieniowego magnezu i recyklingu stopów magnezu, zakaz ten obowiązuje od dnia 1 stycznia 2018 r.

Z powodzeniem przetestowano mieszanki gazów zawierające HFC-134a ($CF3CH_2F$) oraz Novec 612 (perfluoroketon, $C_3F_7C(O)C_2F_5$). Trwają badania nad możliwością zastosowania obu związków. HFC-134a podlega ograniczeniom protokołu z Kioto. Oba związki wykazują niższy potencjał globalnego ocieplenia niż SF_6: SF_6 GWP = 23900; HFC-134a GWP = 1300; Novec 612 GWP = 1.

Z informacji branżowych wynika, że niemieckie odlewnie stosowały następujące gazy/mieszanki osłonowe: N_2 + R134a, N_2 + CO2 + SO_2, N_2 + SO_2, SO_2, S/Ar.

Zastosowanie R134a (1,1,1,2-tetrafluoroetanu) powoduje powstanie warstwy ochronnej MgF_2. Zastosowanie SO_2 (dwutlenku siarki) powoduje powstanie faz $MgSO_4$, MgS i MgO. Różne firmy wprowadziły w tym względzie różne "filozofie".

Do 2005 r. realną alternatywą był SO_2. Niektóre odlewnie magnezu mają wieloletnie doświadczenie w

stosowaniu tego gazu i nigdy nie przeszły na SF_6, gdy gaz ten został wprowadzony na rynek na początku lat 70. SO_2 reaguje z ciekłym magnezem i tworzy na jego powierzchni warstwę ochronną. Dostępne jest urządzenie do mieszania SO_2 z powietrzem w niskich stężeniach. Ponadto opracowano procedury postępowania z SO_2 w celu ograniczenia narażenia pracowników i ryzyka.
Gaz ochronny jest dostarczany przez kolektor z kilkoma wylotami. Położenie wylotów dobrano tak, aby zapewnić ochronę wszystkich obszarów powierzchni metalu. Obszary znajdujące się bliżej włazów, które będą często otwierane podczas pracy, wymagają większego przepływu gazu niż obszary, w których oddziaływanie z otaczającą atmosferą jest niewielkie.
W celu optymalizacji bezpieczeństwa i minimalizacji zużycia gazu stosuje się całkowicie zamknięte procesy topienia i odlewania.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Zastąpienie SF_6 pozwala uniknąć stosowania tego gazu cieplarnianego, którego współczynnik ocieplenia klimatu wynosi 22 200 w perspektywie 100 lat.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
W przypadku niezakłóconego topienia stosowanie SO_2 wynosi zazwyczaj 0,7 % w powietrzu przy natężeniu przepływu od 5 litrów/minutę do 10 litrów/minutę. W piecach zamkniętych (ale nie hermetycznych), takich jak piece do topienia i dozowania w maszynach do odlewania ciśnieniowego, stosuje się czysty SO_2. Niewielkie ilości powietrza dostające się przez pokrywę są potrzebne do zapewnienia działania osłonowego. Jeśli stosowany jest gaz nośny, preferowanym gazem jest azot ze względu na jego obojętność. SO_2 jest następnie mieszany w stężeniach 1–2%.
Dane dotyczące bilansu masowego dla topienia złomu magnezowego bez stosowania topników podano w Sekcji 3.2.1.4.1.2.
Oddziaływanie na procesy i środowisko
SO_2 jest gazem toksycznym i należy wziąć pod uwagę dopuszczalne wartości narażenia pracowników. Limit narażenia zawodowego w większości krajów wynosi 2 ppm (5 mg/m^3) w ciągu 8 godzin. Na ścianach pieca mogą tworzyć się osady zawierające siarkę i tlen. W niekorzystnych warunkach osady te mogą zanurzyć się w stopionym metalu, gdzie powodują reakcje prowadzące do wyrzucania metalu z powierzchni.
Częste usuwanie zgorzeliny może zapobiec temu zjawisku.
Technika ta powoduje emisję niewielkich ilości SO_2, których ilość zależy od wydajności odlewni i liczby pieców.
Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.
Ekonomika
Przejście z SF_6 na inny system gazu osłonowego pociąga za sobą związane z tym koszty ekonomiczne.
Siła napędowa wdrażania
Wymogi prawne związane z gazami cieplarnianymi.
Przykładowe zakłady
LM Leichtmetall Systemtechnik, Felbach (DE)
W zbiorze danych SF, z trzech zakładów produkujących odlewy magnezowe, dane dla jednego zakładu (DE033) wskazują na użycie SO2 jako środka kontroli utleniania.
Siła napędowa wdrażania

- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady
DE033.
Literatura źródłowa
[81. Closset, B 2002], [89. Schubert i in. 2000], [90. IMA i in. 2000], [91. Gjestland i in. 1996], [92. UNEP IPCC 2002], [116. Harnisch i in. 2003], [134. CAEF 2020], [169. TWG 2021].

3.3 Techniki do rozważenia przy określaniu BAT dla kuźni

3.3.1 Efektywność energetyczna

3.3.1.1 Ogólne techniki przetwarzania

Opis

Procesy energooszczędne dzięki zastosowaniu ogólnych technik przetwarzania.

Szczegóły techniczne

Przedstawiono tutaj ogólne techniki przetwarzania oraz kilka różnych środków, które można zastosować w procesach kuźniczych indywidualnie lub w połączeniu:

- automatyzacja pracy pieca grzewczego;
- komputerowa kontrola zużycia energii w krytycznych punktach procesu produkcyjnego;
- energooszczędne oświetlenie;
- system zarządzania energią;
- ulepszenia systemu ogrzewania, np. wymiana palników, zastosowanie centralnych rekuperatorów do podgrzewania powietrza do spalania, zastosowanie palników rekuperacyjnych, zastosowanie palników z wewnętrzną rekuperacją;
- system zarządzania sprężarkami powietrza; [169. TWG 2021].
- minimalizacja/ograniczenie etapów procesu, np. unikanie procesów nagrzewania; [137. Herbertz i in., 2013].

Osiągnięte korzyści dla środowiska

Zwiększona efektywność energetyczna.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

W przypadku techniki „Energooszczędne oświetlenie": Zakład DE006 zgłosił stopniową wymianę podstawowego oświetlenia w całym zakładzie na nowoczesne oświetlenie LED od 2018 r. Zużycie energii na oświetlenie wynosiło około 8 % całkowitego zużycia energii elektrycznej w zakładzie. Według doniesień, dzięki nowoczesnej technologii LED możliwe jest osiągnięcie oszczędności energii rzędu 80 %.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ogólnie stosowana w kuźniach.

Ekonomika

Nie podano żadnych informacji.

Siła napędowa wdrażania

- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.
- Oszczędność kosztów dzięki oszczędności energii.
- Ograniczenie emisji CO_2.

Przykładowe zakłady

Podczas zbierania danych SF kuźnie zgłosiły zastosowanie następujących technik:

- Komputerowa kontrola zużycia energii w krytycznych punktach procesu produkcyjnego: DE002 - ES008
- Energooszczędne oświetlenie: DE001, DE002, DE003, DE005, ES008, PL009, WO2019233893.
- System zarządzania energią DE002, DE003, DE004, DE005, DE007, ES008, PL009.
- Ulepszenia systemu ogrzewania: DE003 - ES008
- Wykorzystanie ciepła odpadowego z pieców (gorące gazy spalinowe) do wspomagania systemu centralnego ogrzewania: DE002;

- System zarządzania sprężarkami powietrza: DE004.

Literatura źródłowa
[137. Herbertz i in., 2013], [169. TWG 2021], [224. PL 2023].

3.3.1.2 Optymalna konstrukcja pieca

Opis
Obejmuje takie techniki, jak:

- optymalizacja kluczowych parametrów pieca (np. liczba i rodzaj palników, szczelność i izolacja pieca przy użyciu odpowiednich materiałów ogniotrwałych);
- minimalizacja strat ciepła przez otwory w drzwiach pieca, np. poprzez zastosowanie kilku segmentów podnoszonych zamiast jednego w piecach do ciągłego nagrzewania;
- minimalizacja liczby konstrukcji nośnych surowców wewnątrz pieca (np. belek, płoz) oraz zastosowanie odpowiedniej izolacji w celu zmniejszenia strat ciepła z chłodzenia wodą konstrukcji nośnych w piecach do ciągłego nagrzewania.

Szczegóły techniczne
Piece opalane paliwem: Konstrukcja pieca i stopień izolacji mają znaczący wpływ na sprawność cieplną. Piec wraz z liczbą i wydajnością palników są dokładnie obliczane na podstawie kilku realistycznych scenariuszy produkcji. Uwzględnia się różne temperatury ogrzewania surowca oraz różnice w rytmie produkcji spowodowane zmianami wymiarów surowca. [168. COM 2022].
W latach 2004–2009 opracowano nowe palniki impulsowe dla przemysłu kuźniczego. Palniki te są obecnie w użyciu i wykazują optymalizację procesu ogrzewania, np. lepsze i zoptymalizowane przekazywanie ciepła do elementów stalowych w piecu oraz równomierny rozkład temperatury w komorze pieca. [146. Ade 2017].
Piece elektryczne: W przypadku pieców indukcyjnych efektywność energetyczną można zwiększyć poprzez zastosowanie cewek dostosowanych do wielkości wsadu surowca (cewki najlepiej dopasowane). (Zgłoszenie EUROFORGE w [237. TWG 2023])

Osiągnięte korzyści dla środowiska

- Zmniejszenie zużycia energii.
- Ograniczenie emisji NO_X oraz CO w przypadku pieców opalanych paliwem.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Nie dostarczono danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Dotyczy tylko nowych zakładów i znaczących modernizacji istniejących zakładów.

Ekonomika
Nie podano żadnych informacji.

Siła napędowa wdrażania

- Ograniczenie kosztów.
- Oszczędność zasobów naturalnych dzięki zmniejszonemu zużyciu energii.
- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady
W zbiorze danych SF: DE001 zgłosił dla pieców indukcyjnych „dostosowanie cewek do wielkości surowca”.

Literatura źródłowa
[137. Herbertz i in., 2013], [146. Ade 2017], [168. COM 2022], [169. TWG 2021], [177. COM 2009], (zgłoszenie EUROFORGE w [237. TWG 2023])

3.3.1.3 Automatyka i sterowanie pracą pieca

Opis

Proces ogrzewania zostaje zoptymalizowany dzięki zastosowaniu systemu komputerowego kontrolującego kluczowe parametry, takie jak temperatura pieca i surowca, stosunek powietrza do paliwa oraz ciśnienie w piecu.

Szczegóły techniczne

Automatyka pieca kontroluje parametry spalania, zużycie energii, transport materiałów, regulację temperatury surowca i bezpieczeństwo procesu w sposób ciągły. Ponadto umożliwia regulację stosunku powietrza do paliwa w celu uzyskania optymalnego spalania, co z kolei zmniejsza emisję NO_X. [168. COM 2022].

Za pomocą komputera można zoptymalizować proces ogrzewania (np. brak niepotrzebnego przegrzewania surowca podczas przerw, dokładniejsza kontrola temperatury) zgodnie z jakością i wymiarami materiału. [168. COM 2022].

Osiągnięte korzyści dla środowiska

- Zmniejszenie zużycia energii.
- Ograniczenie emisji NO_X.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Nie dostarczono danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Nie są znane żadne negatywne skutki oddziaływania na procesy i środowisko.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika

Nie podano żadnych informacji.

Siła napędowa wdrażania

Zmniejszone zużycie energii - oszczędność energii. Lepsza jakość produktu i niższe koszty konserwacji.

Przykładowe zakłady

W zbiorze danych SF: DE002, DE003, DE006, ES008 i PL009

Literatura źródłowa

[137. Herbertz i in., 2013], [168. COM 2022], [169. TWG 2021].

3.3.1.4 Optymalizacja ogrzewania/nagrzewania surowców

Opis

Obejmuje takie techniki jak:

- techniki związane z całym procesem, np. zapewnienie stałego utrzymywania docelowych temperatur ogrzewania/nagrzewania surowców;
- wyłączanie urządzeń w okresach bezczynności;
- optymalizacja pracy pieca, np. wykorzystanie wydajności pieca, korekta stosunku powietrza do paliwa, poprawa izolacji.

Szczegóły techniczne

Do ogrzewania materiału dostępne są piece gazowe, indukcyjne i przewodzące, które zapewniają precyzyjną temperaturę procesu.

Optymalizacja pracy pieca obejmuje ustawienie temperatury pieca na optymalnym poziomie w celu uzyskania odpowiedniego rozkładu temperatury przy minimalnym zużyciu energii. Jednym z czynników wpływających na ogrzewanie/nagrzewanie materiału wsadowego i wydajność pieca jest efektywny załadunek pieca oraz wykorzystanie jego pojemności.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Zmniejszenie zużycia energii.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Nie dostarczono danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika
Nie podano żadnych informacji.

Siła napędowa wdrażania
- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.
- Ograniczenie kosztów.
- Oszczędność zasobów naturalnych dzięki zmniejszeniu zużycia energii.

Przykładowe zakłady
W zbiorze danych SF: DE004 i DE006

Literatura źródłowa
[169. TWG 2021], [177. COM 2009].

3.3.1.5 Podgrzewanie powietrza do spalania

Opis
Zobacz Sekcja 3.2.1.3.14.

Szczegóły techniczne
Więcej informacji na temat tej techniki: patrz sekcja 3.2.1.3.14.
Jak podano, w niektórych przypadkach stosuje się palniki rekuperacyjne (DE002, DE003), ciepło odpadowe jest wykorzystywane bezpośrednio (PL009) lub ponownie poprzez centralny rekuperator (DE004). Gazy spalinowe są wykorzystywane do podgrzewania powietrza do spalania [169. TWG 2021]. PL009 zgłosił stosowanie palników z wewnętrzną rekuperacją: gaz i powietrze do spalania przepływają przez wewnętrzną rurę palnika, natomiast gazy spalinowe z pieca są odprowadzane na zewnątrz palnika (tj. piec nie ma typowego wylotu gazów spalinowych, ale otwór kominowy wewnątrz pieca). Powietrze do spalania jest podgrzewane przez gazy spalinowe. [224. PL 2023].

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Możliwość zastosowania w istniejących instalacjach może być ograniczona przez brak miejsca na montaż palników regeneracyjnych.

Siła napędowa wdrażania
Zmniejszenie zużycia energii.

Przykładowe zakłady
W zbiorze danych SF: DE002, DE003, DE004 i PL009.

Literatura źródłowa
[168. COM 2022], [169. TWG 2021], [177. COM 2009], [210. TWG 2022], [224. PL 2023].

3.3.2 Efektywność wykorzystania materiałów

3.3.2.1 Optymalizacja procesu

Opis

Optymalizacja procesu obejmuje takie techniki jak:

- komputerowe zarządzanie procesami, np. cyklami ogrzewania/nagrzewania, sekwencjami kucia;
- wybór odpowiedniego młota w zależności od wielkości surowca;
- dostosowanie rozmiaru surowca, zarówno w linii kucia (w pełni zautomatyzowanej), jak i w obszarze organizacyjnym cięcia materiału (ręcznie), w celu zminimalizowania ilości modyfikacji w procesie kucia.

Szczegóły techniczne

Optymalizacja procesów prowadzi do efektywnego wykorzystania materiałów i energii oraz może skutkować ukierunkowanym dostosowaniem różnych parametrów procesu stosowanego w kuźniach.

Komputerowe zarządzanie procesami

Procesy obróbki w kuźniach są prowadzone w możliwie najbardziej zoptymalizowanym trybie, np. cykle ogrzewania/nagrzewania, sekwencje uderzeń młotów, obciążenia udarowe młotów.

Ponadto dzięki zastosowaniu komputerowego sterowania robotami (do obsługi elementów kutych) oraz automatyzacji uzyskuje się precyzyjne i centralne wprowadzanie kęsów do kucia, co zmniejsza ilość wadliwych odkuwek. [210. TWG 2022].

Dostosowanie rozmiaru surowca

Rozmiar surowca wejściowego (np. prętów) jest zmniejszany do rzeczywistego minimum wymaganego dla każdego elementu kutego, aby uniknąć nadmiaru materiału. Cięcie materiału wejściowego na wymiar można wykonać za pomocą jednej z dwóch następujących metod redukcji:

- w pełni automatycznej, centralnie na linii kuźniczej;
- ręcznej, w sposób zdecentralizowany w obszarze organizacyjnym rozdrabniania materiału. [169. TWG 2021].

Urządzenia oszczędzające materiał

Zgłoszono stosowanie urządzeń oszczędzających materiał (nowe urządzenia zwiększające produktywność, bezpieczeństwo i zmniejszające zużycie, wydajne silniki, wentylatory, sprężarki i elementy sterujące, cienkie brzeszczoty). [169. TWG 2021].

Osiągnięte korzyści dla środowiska

Efektywne wykorzystanie materiałów i energii.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Nie dostarczono danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika

Nie podano żadnych informacji.

Siła napędowa wdrażania

- Zwiększona wydajność materiałowa i zmniejszone wytwarzanie pozostałości.

Przykładowe zakłady

W zbiorze danych SF zgłoszono następujące informacje:

- komputerowy system zarządzania: DE003, DE004, DE006 i PL009;
- komputerowe zarządzanie robotami i automatyzacją: DE001, DE002, DE006 i ES008;

- urządzenia oszczędzające materiał: DE002, DE006, ES008 i PL009.

Literatura źródłowa
[169. TWG 2021], [210. TWG 2022], (zgłoszenie EUROFORGE w [237. TWG 2023])

3.3.2.2 Optymalizacja zużycia surowców i materiałów pomocniczych

Opis
Obejmuje takie techniki jak:

- wykorzystanie projektowania wspomaganego komputerowo do optymalizacji narzędzi kuźniczych i geometrii kucia (matrycy) w celu zmniejszenia zapotrzebowania na próbne kucia;
- dobór odpowiedniego rodzaju chłodziwa/smaru do kucia, np. syntetyczny smar do kucia w matrycy zamkniętej, dyspersje grafitowe na bazie wody;
- systemy zbierania i recyrkulacji chłodziwa/smaru do kucia w matrycy zamkniętej.

Szczegóły techniczne
Techniki poprawiające zużycie surowców i materiałów pomocniczych obejmują projektowanie wspomagane komputerowo (CAD) oraz komputerową symulację procesu kucia.
Systemy projektowania wspomaganego komputerowo (CAD) pozwalają na optymalizację geometrii narzędzi kuźniczych poprzez symulacje przepływu CAD w ramach projektowania narzędzi. Symulacja procesów kucia zmniejsza liczbę potrzebnych prób oraz ilość powstających odpadów (zadziory). Ponadto osiąga się zmniejszenie zużycia energii podczas prób. Jak podał DE006, możliwe jest teoretyczne modelowanie procesów za pomocą CAD. Ogólnie stosowane są popularne programy CAD. [169. TWG 2021].
Oprogramowanie symulacyjne wykorzystuje się np. do:

- symulacji procesu kucia w celu jego optymalizacji (DE001);
- optymalizacji zużycia surowców (ES008, DE004);
- zmniejszenia liczby próbnych kuć;
- zmniejszenia wypływki i siły kucia (DE002). [169. TWG 2021];

Dobór odpowiedniego rodzaju smarów/chłodziw
Smary stosowane są w kuciu na gorąco i na ciepło i często zawierają wodne dyspersje grafitu. Grafit wspomaga proces formowania metalu i jest odporny na wysokie ciśnienia przyłożone prostopadle do płaszczyzn, zapobiegając kontaktowi metalu z metalem między obrabianym elementem a matrycą, a tym samym minimalizując zużycie matrycy. Wadą jest efekt korozji galwanicznej, wzmacniany przez przewodność grafitu.

Wyraźnie widać tendencję do zastępowania smarów na bazie grafitu smarami syntetycznymi. Wynika to z potrzeby zapewnienia czystszego środowiska pracy, łatwiejszej obsługi oraz uniknięcia korozji galwanicznej sprzętu spowodowanej przez grafit. [165. Odink, G. J. 2021].
Systemy zbierania i recyrkulacji smarów/chłodziw
Zużyte chłodziwa/smary są zbierane za pomocą systemu zbierającego (np. zbiornika na dnie obszaru roboczego) i ponownie wprowadzane do obszaru roboczego (w razie potrzeby po filtracji).
Można zainstalować zamknięte obwody chłodzące, np. dla tokarek i pił.

Osiągnięte korzyści dla środowiska

- Efektywne wykorzystanie materiałów.
- Minimalizacja ilości pozostałości poprzez redukcję nadmiaru surowców, co prowadzi np. do zmniejszenia ilości zadziorów.
- Zmniejszenie zużycia chłodziw/smarów, poprawa zarządzania magazynowaniem i transportem, ułatwienie wykrywania wycieków.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Nie dostarczono danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika
Nie podano żadnych informacji.

Siła napędowa wdrażania

- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady
W zbiorze danych SF zgłoszono następujące informacje:

- projektowanie wspomagane komputerowo: DE001, DE002, DE004, DE005 i DE006;
- symulacja komputerowa procesów kucia: DE004, DE005 i DE006;
- zbieranie i recyrkulacja chłodziwa/smarów: DE001 (zamknięte obiegi chłodzenia dla tokarek i pił), DE005, DE007, ES008 i PL009.

Literatura źródłowa
[137. Herbertz i in., 2013], [146. Ade 2017], [169. TWG 2021], [165. Odink, G. J. 2021], (zgłoszenie EUROFORGE w [237. TWG 2023])

3.3.2.3 Recykling pozostałości po procesie

Opis
Pozostałości z procesu (np. pozostałości metali z procesów przygotowania surowców, kucia i wykańczania; zużyte środki do śrutowania/ścierniwo) są poddawane recyklingowi i/lub ponownie wykorzystywane.

Szczegóły techniczne
W kuźniach mogą powstawać pozostałości z procesu, np. pozostałości metalowe i/lub zużyte/nienadające się do ponownego użycia środki do śrutowania, które można poddać recyklingowi i/lub ponownie wykorzystać. Recykling może być przeprowadzany poza zakładem.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Minimalizacja wytwarzania pozostałości.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Jeden zakład (DE002) poinformował, że złom metalowy jest sortowany według wielkości i jakości oraz czystości gatunkowej w celu ułatwienia jego recyklingu.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika
Nie podano żadnych informacji.

Siła napędowa wdrażania.

- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady
W zbiorze danych SF: DE003, DE007, ES008 i PL009.

Literatura źródłowa

[169. TWG 2021], [210. TWG 2022], (zgłoszenie EUROFORGE w [237. TWG 2023])

3.3.2.4 Automatyzacja maszyn kuźniczych

Opis

Automatyzacja maszyn kuźniczych, np. w procesach ogrzewania/nagrzewania, kucia i manipulacji materiałami wsadowymi/robotami, wspiera optymalizację efektywności wykorzystania materiałów.

Szczegóły techniczne

Automatyzacja dotyczy zarówno poszczególnych etapów operacji, jak i różnych części maszyn kuźniczych. Obejmuje na przykład proces produkcji, ekonomię pracy maszyn, jednostkę operacyjną i jednostkę sterującą w celu regulacji np. wydajności etapów operacji, w tym efektywności energetycznej i materiałowej. Sterowanie temperaturą, warunkami ogrzewania, siłą uderzenia młota, temperaturą materiału może być zautomatyzowane i zoptymalizowane. Automatyzacja pozwala na bezpośrednie wykrywanie problemów związanych z maszynami i procesem. Środki naprawcze są dodawane bezpośrednio przez procedurę automatyzacji lub mogą być realizowane na żądanie.

Ponadto roboty są stosowane na specjalnych etapach produkcji lub w procesach produkcyjnych. Bardzo elastyczna zasada chwytania jest połączona z niemal każdym systemem prowadzenia taśmy. W rezultacie nawet elementy o skomplikowanej geometrii mogą być chwytane i transportowane na niemal wszystkich prowadnicach taśmowych w obszarze roboczym, w tym również poza granicami maszyny. Zasada ta umożliwia robotom łatwe i bezpieczne podnoszenie elementów. Zazwyczaj roboty mają ograniczony czas cyklu. Limit ten można czasem obejść, zwiększając liczbę używanych robotów i dzieląc między nie pracę. [137. Herbertz i in., 2013].

Zautomatyzowane systemy mogą ograniczać elastyczność produkcji, na przykład w odniesieniu do kształtu i wymiarów produktów, które mogą być kute.

Osiągnięte korzyści dla środowiska

Optymalizacja efektywności wykorzystania materiałów.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Nie dostarczono danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika

Koszty inwestycyjne i operacyjne zależą zazwyczaj zarówno od rodzaju automatyzacji, jak i od części maszyn, które mają zostać zautomatyzowane. Możliwe jest zmniejszenie kosztów pracy.

Aby automatyzacja była opłacalna, zazwyczaj wymagane są duże partie produkcyjne. [137. Herbertz i in., 2013].

Siła napędowa wdrażania

- Ograniczenie kosztów robocizny.
- Wzrost wydajności.

Przykładowe zakłady

W zbiorze danych SF "skomputeryzowane zarządzanie robotami i automatyzacją" zostało zgłoszone przez DE001, DE002, DE006 i ES008.

Literatura źródłowa

[137. Herbertz i in., 2013], (wniosek EUROFORGE w [237. TWG 2023])

3.3.3 Wibracje

3.3.3.1 Ograniczenie wibracji (redukcja drgań)

Opis

Redukcja drgań powstających podczas procesu kucia poprzez zastosowanie technik redukujących drgania oraz izolujących.

Techniki redukcji drgań i izolacji dla urządzeń młotowych obejmują instalację elementów tłumiących drgania, np. warstwowych izolatorów elastomerowych lub lepkich izolatorów sprężynowych pod kowadłem lub izolatorów sprężynowych pod fundamentem młota.

Szczegóły techniczne

Młoty kuźnicze są rodzajami maszyn wytwarzających wstrząsy i generują silne, krótkotrwałe obciążenia udarowe oraz silne efekty dynamiczne, które można scharakteryzować jako impulsy wstrząsowe. Tylko część energii uderzenia jest wykorzystywana do zamierzonego działania maszyny, a reszta jest rozpraszana w fundamencie, powodując intensywne drgania. Silne uderzenia przenoszone na fundament mogą powodować problemy z wyrównaniem (tj. skracać żywotność), skargi sąsiadów oraz uniemożliwiać prawidłowe działanie sąsiednich urządzeń. Głównym celem techniki jest zmniejszenie amplitud drgań i sił przenoszonych na grunt oraz/lub zminimalizowanie wszelkich zakłóceń w sąsiedztwie i otoczeniu. [164, Heidari i in. 2011], [235. Dynemech 2023].

Stopień, w jakim drgania oddziałują na osoby trzecie, zależy w dużej mierze od właściwości gruntu. Szczególne warunki lokalne mogą powodować, że drgania stają się problemem, np. w przypadku oddziaływania na wrażliwe odbiorniki. Jednak w innych przypadkach, gdy w pobliżu nie ma wrażliwych odbiorników lub gdy właściwości geologiczne gruntu zapobiegają przenoszeniu drgań lub je tłumią, odbiorcy poza zakładem mogą nie odczuwać żadnych skutków. (Zgłoszenie EUROFORGE w [237. TWG, 2023])

Środki mające na celu redukcję drgań obejmują montaż odpowiedniej podstawy izolacyjnej/antywibracyjnej [139. Probst 2006], [169. TWG 2021], [169. TWG 2021], np. zwiększenie powierzchni podstawy lub masy fundamentu, umieszczenie mediów izolacyjnych [235. Dynemech 2023]. , elementów tłumiących drgania np. elastomerów pod kowadłem czy izolatorów sprężynowych pod fundamentem [162. Rajui in.2017].

Zastosowanie podstaw antywibracyjnych zgłoszono w zakładach DE002, DE003, DE005 i DE007. Zakład DE002 zgłosił zastosowanie dwóch sprawdzonych rodzajów elementów antyuderzeniowych, takich jak amortyzatory sprężynowe i panele amortyzujące, z których każdy ma określone zalety.

Ponadto zakład DE006 zgłosił odłączenie fundamentu maszyny od konstrukcji budynku. Maszyny są posadowione na solidnych betonowych fundamentach w głębokich wykopach na podłożu skalnym. [210. TWG 2022].

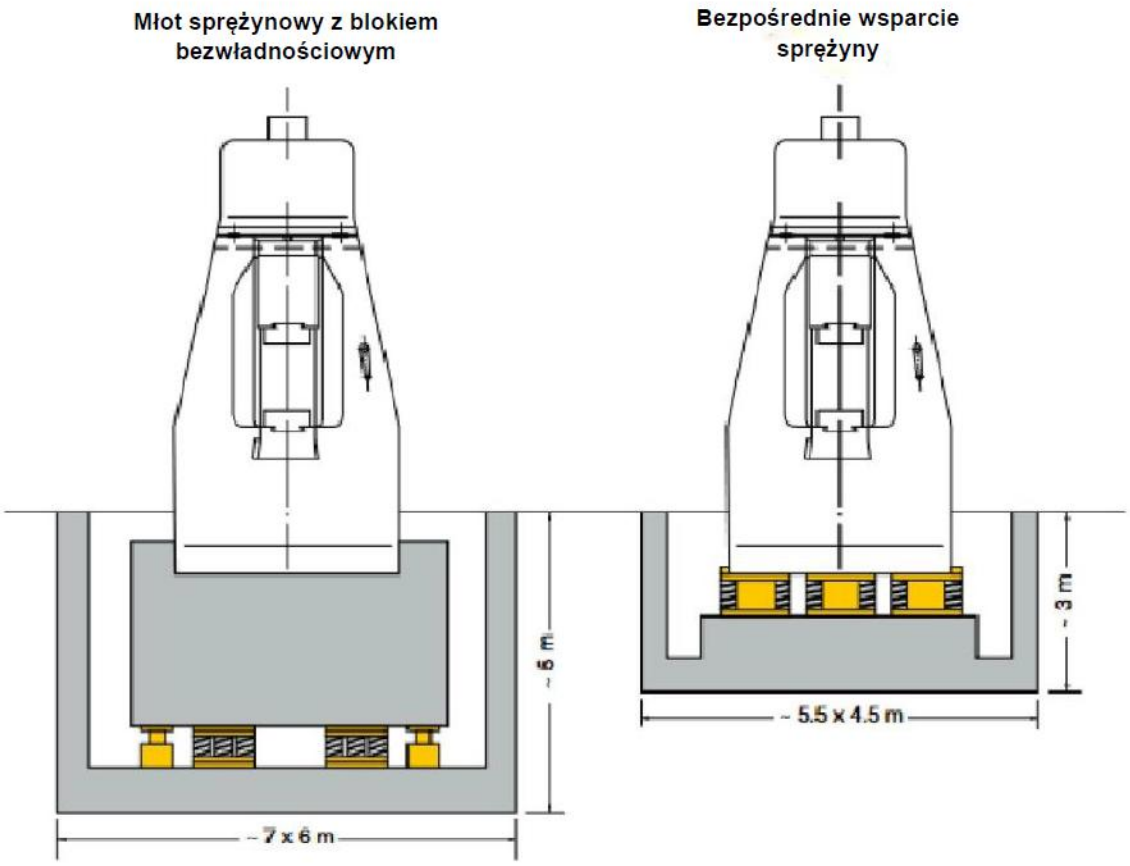
Prawidłowe zastosowanie dobrze zaprojektowanego systemu izolacji powoduje znaczne zmniejszenie wstrząsu od uderzenia „barana” [163. Veroeven 2010]. Uderzenie jest izolowane przez ruch izolatora i wewnętrzne tłumienie izolatorów drgań. Siła przenoszona na podstawę oraz drgania gruntu/fundamentu są znacznie zmniejszone. [235. Dynemech 2023].

Przykłady technik redukcji drgań oraz izolacji (izolatory sprężynowe oraz systemy tłumików sprężynowych) przedstawiono na poniższych rysunkach. [235. Dynemech 2023], [236. GERB 2022].



Źródło: [235. Dynemech 2023].

Rysunek 3.68: Młot z zamkniętą matrycą (3,5 tony) na izolatorach sprężynowych



Źródło: [236. GERB 2022].

Rysunek 3.69: Przykłady systemów amortyzatorów sprężynowych dla młotów kuźniczych

Rysunek 3.70 przedstawia jako przykład fundament pod sprężynową podstawę dużego młota o masie 6 ton w zakładzie DE002. Na tym fundamencie zamontowano kompletny młot w konstrukcji mostowej. Fundament ta ma głębokość około 10 m i masę około 2000 ton betonu zbrojonego stalą (zgłoszenie EUROFORGE w [237.

TWG 2023]).



Źródło: [237. TWG 2023].

Rysunek 3.70: Fundament pod 6-tonowy młot w zakładzie DE002

Osiągnięte korzyści dla środowiska

Ograniczenie wibracji.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Poprawa redukcji drgań i izolacji w istniejących zakładach może stanowić wyzwanie techniczne, zwłaszcza w przypadku instalacji tych rozwiązań pod urządzeniami udarowymi. Konieczny może być demontaż kuźni (młota, kowadła), rozbiórka istniejących fundamentów betonowych lub ich odnowienie. Warstwowe izolatory elastomerowe można uznać za stosunkowo łatwe w montażu rozwiązanie, ale są one skuteczne głównie w przypadku mniejszych urządzeń z młotami. W przypadku dużych młotów skuteczność może być niska, tzn. drgania są redukowane, ale nie eliminowane (zgłoszenie EUROFORGE w [237. TWG 2023]).

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Dotyczy tylko nowych zakładów i/lub znaczących modernizacji istniejących instalacji.

Ekonomika

Nie podano żadnych informacji.

Siła napędowa wdrażania

- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady

W zbiorze danych SF zastosowanie podstaw antywibracyjnych zostało zgłoszone przez DE001, DE002, DE003, DE005, DE006 i DE007.

Literatura źródłowa

[139. Probst 2006], [162. Raju i in. 2017], [163. Veroeven 2010], [164. Heidari i in. 2011], [169. TWG 2021], [235. Dynemech 2023], [236. GERB 2022], (zgłoszenie EUROFORGE w [237. TWG 2023])

3.3.4 Emisje hałasu

3.3.4.1 Ogólne uwagi dotyczące hałasu

Emisja hałasu i wibracji występuje na kilku etapach procesu kuźniczego. Emisja hałasu może występować podczas całego procesu kuźniczego, np. podczas przygotowywania i przetwarzania surowców, cięcia, ogrzewania, kucia/młotkowania, obróbki termicznej, obróbki powierzchniowej, transportu materiałów i przechowywania produktów, a także podczas wysyłki i transportu produktów końcowych. [139. Probst 2006], [169. TWG 2021].

Wysoki poziom hałasu spowodowany jest głównie samym procesem produkcyjnym. Przetwarzanie metalu wymaga użycia dużych sił.

Ciężkie maszyny i duże wentylatory stosowane w różnych częściach procesów kuźniczych mogą powodować emisję hałasu. Są to w szczególności:

- wibracje związane z kuciem/młotkowaniem i wszelkimi operacjami związanymi z młotkowaniem;
- wentylatory wyciągowe;
- dmuchawy;
- wibracje kanałów wentylacyjnych.

Redukcję emisji dźwięku można często osiągnąć poprzez zastosowanie środków bezpośrednio u źródła hałasu.

Zakłady są zobowiązane do przestrzegania norm dotyczących wpływu hałasu na otoczenie, zgodnie z przepisami krajowymi, a badania hałasu są przeprowadzane i oceniane. W hali produkcyjnej/kuźni podczas pracy okna i drzwi są zamknięte. W przemyśle kuźniczym stosuje się również naturalne bariery akustyczne, takie jak budynki biurowe, ściany, drzewa lub krzewy, aby zmniejszyć oddziaływanie emisji hałasu.

Ponadto można zainstalować powierzchnie dźwiękochłonne oraz zastosować środki konstrukcyjne. [139. Probst 2006].

W warsztacie mechanicznym można zastosować techniczne urządzenia pochłaniające hałas i powierzchnie dźwiękochłonne, np. płyty wiórowe związane cementem/płyty z włókien drzewnych. Zewnętrznie izolowane dachy z blachy trapezowej, w których płyty boczne są perforowane i wypełnione klinami z włókien mineralnych, również okazały się skuteczne jako konstrukcje dachowe pochłaniające hałas. [139. Probst 2006].

Ponadto można stosować maszyny, urządzenia i narzędzia o niskim poziomie hałasu, np. dysze. Do transportu materiałów używany jest sprzęt o zredukowanym poziomie hałasu.

W przypadku, gdy instalacja znajduje się w pobliżu obszarów mieszkalnych, planowanie nowych budynków w miejscu instalacji wiąże się z koniecznością ograniczenia emisji hałasu.

Zobacz Sekcja 3.1.5 celem zapoznania się z innymi technikami i środkami mającymi zastosowanie do ograniczania emisji hałasu.

3.3.4.2 Środki ogólne

Opis

Techniki i środki ograniczające emisję hałasu.

Szczegóły techniczne

Ograniczenie emisji hałasu można często osiągnąć poprzez bezpośrednie zastosowanie odpowiednich technik u źródła tego hałasu. Ponadto w kuźniach można stosować różne techniki ograniczania hałasu w celu zmniejszenia jego poziomu tak aby chronić sąsiedztwo, takie jak

- instalacja ścian dźwiękochłonnych oraz wykorzystanie/optymalizacja efektu pochłaniania hałasu przez budynki: (DE001, DE002, DE006, DE007 oraz ES008):
  - podwójne ściany lub poszycie o dwupłaszczowej konstrukcji, bardzo skuteczne, ponieważ

dodatkowe przerwa powietrzna pomiędzy pierwszą a drugą ścianą gwarantuje wyższy poziom ochrony przed hałasem;

- zamknięcie (pełne lub częściowe) hałaśliwych urządzeń (DE003, DE006, ES008 i PL009);
- pełne zamknięcie budynku kuźni (DE007);
- oddzielenie fundamentów maszyn od konstrukcji budynku (DE006);
- środki kontroli hałasu (np. lepsza kontrola i konserwacja urządzeń, zamykanie drzwi i okien) (DE003 i DE007);
- środki ograniczania hałasu dla wentylatorów (np. stosowanie tłumików, wolno obracających się wentylatorów) (DE003, DE004 i ES008);
- unikanie hałaśliwych działań (np. transportu) w nocy (DE002, DE003, DE006 i DE007);
- Kapsułkowanie (enkapsulacja) dostaw materiałów w obszarze zewnętrznym (DE006);
- izolacja akustyczna frontów budynku, w tym montaż dźwiękochłonnych elementów wentylacyjnych (DE006).

[169. TWG 2021].

Jeśli nie można zastosować wyżej wymienionych technik zapobiegania hałasowi/jego ograniczenia, należy zastosować dodatkowe techniki ograniczania hałasu, np. budowę budynków lub naturalnych barier, takich jak drzewa i krzewy rosnące między obszarem chronionym a miejscem hałaśliwej działalności. Podczas hałaśliwych prac drzwi i okna pomieszczeń zamkniętych muszą być zamknięte.

Ogólne ograniczenie poziomu hałasu wymaga opracowania planu jego redukcji. Każde źródło hałasu musi zostać sprawdzone i ocenione. Można zastosować alternatywne techniki o niższym poziomie hałasu i/lub zamknąć źródła punktowe, jak to opisano powyżej.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Ograniczenie emisji hałasu.
Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Nie dostarczono danych.
Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak problemów.
Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Dotyczy wszystkich nowo budowanych oraz istniejących instalacji.
Ekonomika
W związku z zastosowaniem technik ochrony przed hałasem mogą wystąpić dodatkowe koszty inwestycyjne i konserwacyjne.

Siła napędowa wdrażania

- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady
W zbiorze danych SF: DE001, DE002, DE003, DE004, DE005, DE006, DE007, ES008 oraz PL009.

Literatura źródłowa

[169. TWG 2021]

3.3.5 Monitorowanie

3.3.5.1 Przegląd

Potrzebne są rzeczywiste dane dotyczące dokładnego wpływu działalności zakładu przemysłowego na środowisko. Dlatego trzeba prowadzić zaplanowany, regularny program pobierania próbek i monitorowania. Monitorowane parametry obejmują:

- emisje zorganizowane i rozproszone ze źródeł punktowych do atmosfery, zbiorników wodnych lub kanalizacji;
- pozostałości/odpady, w szczególności odpady niebezpieczne, jeśli dotyczy;
- zanieczyszczenie gleby, wody i powietrza;
- zużycie wody, energii (elektrycznej, cieplnej);
- odprowadzanie wody, hałas, wibracje;
- wpływ na określone części środowiska i ekosystemy;
- skargi mieszkańców lokalnej społeczności.

Monitorowanie nie ogranicza się jednak tylko do pomiarów analitycznych. Obejmuje również regularną konserwację, a także kontrole wizualne i bezpieczeństwa.

Więcej informacji można znaleźć w raporcie referencyjnym dotyczącym monitorowania emisji do powietrza i wody z instalacji IED (ROM) [174. COM 2018].
Zaleca się, aby zapisy z monitorowania emisji do powietrza i wody były udostępniane w formacie elektronicznym.

3.3.5.2 Monitorowanie emisji zorganizowanych do powietrza

Opis
Regularne monitorowanie emisji do powietrza.

Szczegóły techniczne
Monitorowanie emisji odbywa się zgodnie z normami EN lub, jeśli normy EN nie są dostępne, zgodnie z normami ISO, normami krajowymi lub innymi normami międzynarodowymi, które zapewniają dostarczanie danych o równoważnej jakości naukowej.

W przypadku procesów ogrzewania/nagrzewania i obróbki termicznej emisje NO_X i CO są zazwyczaj monitorowane regularnie (co roku lub raz na trzy lata), zgodnie z informacjami przekazywanymi przez zakłady kuźnicze uczestniczące w gromadzeniu danych.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Monitorowanie charakterystyki gazów wylotowych i stężenia zanieczyszczeń jest ważne dla oceny wpływu działalności kuźni na środowisko. Ponadto przyczynia się do optymalizacji procesów (np. procesów spalania) i wykrywania przypadkowych uwolnień, pomagając zapobiegać ewentualnym negatywnym skutkom dla środowiska.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
W przypadku emisji NO_X 5 zakładów zgłosiło dane z 29 punktów emisji. Dla emisji CO 4 zakłady zgłosiły dane z 19 punktów emisji.

Coroczne monitorowanie NO_X jest zgłaszane przez zakłady DE006, ES008 i PL009, a monitorowanie NO_X raz na 3 lata jest zgłaszane przez zakłady DE004, DE007 i ES008.
Coroczne monitorowanie CO jest zgłaszane przez zakłady DE006 i PL009, a monitorowanie CO raz na 3 lata jest zgłaszane przez zakłady DE004 i ES008.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak oddziaływania na procesy i środowisko.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Generalnie dotyczy wszystkich kuźni, w których występują emisje zorganizowane do powietrza.

Ekonomika
Koszty związane z monitorowaniem gazów odlotowych z kuźni dotyczą personelu i sprzętu wykorzystywanego do pobierania próbek i pomiarów.

Siła napędowa wdrażania

Przepisy dotyczące ochrony środowiska.

Przykładowe zakłady
W zbiorze danych SF: DE004, DE006, DE007, ES008 i PL009.

Literatura źródłowa
[174. COM 2018], [169. TWG 2021].

3.3.6 Emisje do powietrza

3.3.6.1 Ogólne rozważania dotyczące emisji rozproszonych do powietrza

Różne etapy procesu w kuźniach mogą powodować powstawanie pyłu, dymu i innych zanieczyszczeń, np. podczas przechowywania, transportu i obróbki materiałów.

Emisje rozproszone występują, gdy emisje ze źródeł i etapów określonych procesów nie są zbierane. Potencjalne źródła obejmują:

- obszary przechowywania surowców i chemikaliów;
- załadunek i rozładunek pojemników transportowych;
- przygotowywanie surowców;
- przemieszczanie materiałów (zasadniczo spowodowane mechanicznie przez przemieszczanie materiałów po obiekcie);
- piece, ogrzewanie/nagrzewanie, obróbka termiczna (emisje z procesu spalania, jeżeli nie są zorganizowane);
- kucie;
- schładzanie;
- oczyszczanie/usuwanie kamienia;
- wszelkie przypadkowe uwolnienia substancji z instalacji lub awarii urządzeń, w tym wycieki;
- rozlania.

[169. TWG 2021], [210. TWG 2022].

3.3.6.1.1 Środki techniczne i operacyjne

Opis
Obejmuje takie techniki jak:

- stosowanie zamkniętych worków lub beczek do transportu materiałów zawierających składniki dyspersyjne lub rozpuszczalne w wodzie, np. substancje pomocnicze;
- minimalizacja odległości transportu;
- wydajna obsługa materiałów;

Szczegóły techniczne
Emisje rozproszone pyłów powstają głównie podczas magazynowania, przygotowywania i przeładunku materiałów, ogrzewania/nagrzewania, obróbki termicznej, kucia, chłodzenia i/lub wykańczania, a także podczas transportu. Istnieje kilka technik zapobiegania lub minimalizowania emisji rozproszonych, np. z transportu i przygotowania materiałów (np. obudowa/hermetyzacja operacji powodujących pylenie i/lub stosowanie zamkniętych worków lub beczek do transportu materiałów), ogrzewania/nagrzewania, obróbki termicznej, kucia, wykańczania. Aby zminimalizować możliwe źródła pyłu rozproszonego, zaleca się prosty i liniowy układ zakładu. Właściwa i kompletna konserwacja instalacji zawsze pośrednio skutkuje zmniejszeniem emisji rozproszonych pyłu poprzez ograniczenie wycieków powietrza i punktów rozsypywania się pyłu. Zastosowanie automatycznych urządzeń i systemów kontroli również pomaga w ograniczeniu rozpraszania pyłu. Zmniejszenie emisji niezorganizowanych z transportu materiałów zgłoszono w zakładzie DE006.

Minimalizacja odległości transportowych została zgłoszona przez zakład DE006 i obejmuje przechowywanie

materiałów wejściowych w pobliżu procesu i pilarki, gdzie materiał jest wykorzystywany.

Efektywna i odpowiednia obsługa materiałów obejmuje okresowe czyszczenie (np. co tydzień) terenów zewnętrznych, takich jak drogi, ścieżki i place, zwłaszcza w porze suchej, jak zgłosił zakład DE006. Emisje rozproszone pochodzące ze składowania i obsługi surowców i chemikaliów są zasadniczo spowodowane przemieszczaniem materiałów na terenie zakładu. [210. TWG 2022].

Zakłady DE003 i ES008 zgłosiły zamknięcie obszarów magazynowych. Zakład DE007 zgłosił zamknięcie urządzeń produkcyjnych.

W nowych i dużych piecach do kucia w matrycy otwartej następuje ekstrakcja gazów odlotowych. W przypadku mniejszych i starszych pieców emisje rozproszone są zbierane za pomocą tzw. sygnaturek umieszczonych na dachach warsztatów. [210. TWG 2022].

Osiągnięte korzyści dla środowiska

- Ograniczenie emisji rozproszonych (głównie pyłu).
- Dzięki obudowie obszarów magazynowych możliwe jest również ograniczenie emisji hałasu.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Nie dostarczono danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika

Nie podano żadnych informacji.

Siła napędowa wdrażania

- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.
- Wymagania dotyczące zdrowia i bezpieczeństwa w miejscu pracy.

Przykładowe zakłady

W zbiorze danych SF: DE003, DE006, DE007 i ES008.

Literatura źródłowa

[169. TWG 2021], [210. TWG 2022]

3.3.6.1.2 Ekstrakcja emisji z śrutowania

Opis

Emisje ze śrutowania są usuwane za pomocą obudów. Gazy wylotowe są oczyszczane za pomocą takich technik jak filtry tkaninowe.

Szczegóły techniczne

Procesy wykończeniowe, takie jak śrutowanie, piaskowanie lub szlifowanie, są przeprowadzane w obudowach. Gazy wylotowe są odsysane. Można zastosować oczyszczanie gazów wylotowych, np. za pomocą filtrów tkaninowych. Więcej informacji na temat filtrów tkaninowych podano w Sekcji 3.2.1.12.7. Zastosowanie filtra tkaninowego wymaga wyboru tkaniny odpowiedniej do charakterystyki gazów wylotowych i maksymalnej temperatury roboczej.

Następujące zakłady zgłosiły ekstrakcję i oczyszczanie:

- DE006: Zbieranie gazów wylotowych z czyszczenia po ręcznym szlifowaniu i po piaskowaniu. Stałe monitorowanie emisji. Oczyszczanie gazów odlotowych za pomocą filtra bramkowego i filtra

workowego. Wyłączenie zakładu w przypadku przekroczenia dopuszczalnych wartości emisji.

- ES008: Wychwytywanie i oczyszczanie emisji z procesów wykańczania i procesów mechanicznych, np. śrutowania. Zastosowanie filtrów mechanicznych w procesie spawania.
- DE002: Wychwytywanie i oczyszczanie emisji z procesów wykańczania (np. śrutowania) oraz pomiar stężenia pyłu po filtrowaniu.
- Co więcej, zakład DE005 poinformował, że dzięki filtrowaniu unika się emisji pyłu z śrutowania.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Zapobieganie lub redukcja emisji rozproszonych.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Nie dostarczono danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Nie stwierdzono.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika
Nie podano żadnych informacji.

Siła napędowa wdrażania

- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.
- Wymagania dotyczące zdrowia i bezpieczeństwa w miejscu pracy.

Przykładowe zakłady
W zbiorze danych SF: DE002, DE005, DE006 i ES008.

Literatura źródłowa
[169. TWG 2021], [210. TWG 2022], (zgłoszenie EUROFORGE w [237. TWG 2023])

3.3.6.13 Efektywne magazynowanie i obsługa surowców

Opis
Efektywne składowanie i obsługa surowców oraz redukcja emisji rozproszonych do powietrza.
Strukturyzacja i zarządzanie zadaszonymi obszarami składowania/magazynowymi.

Szczegóły techniczne
Zgłoszono różne techniki i środki dotyczące przechowywania i obchodzenia się z surowcami i przygotowanymi materiałami, które mogą być stosowane indywidualnie lub w połączeniu. Dzięki zastosowaniu tych technik, surowce są efektywnie przechowywane i obsługiwane. Materiały są dobrze posortowane, pozostają w suchym miejscu pod dachem lub w zamkniętych pojemnikach magazynowych i mogą być szybko dostarczone do pieca grzewczego i odpowiedniej linii kucia. Ponadto surowce i materiały pomocnicze są przechowywane w pobliżu miejsca ich wykorzystania, aby ograniczyć transport. Personel jest przeszkolony w zakresie zarządzania, obsługi i dystrybucji materiałów w efektywny sposób. Przygotowanie surowców odbywa się ręcznie (zdecentralizowane) lub automatycznie [169. TWG 2021]:.

Stosowane są następujące techniki:

- Staranny wybór miejsca przechowywania dostarczonych surowców, z uwzględnieniem rozmieszczenia linii kuźniczej. Surowce i materiały pomocnicze są klasyfikowane i przechowywane w pobliżu miejsc, w których będą wykorzystywane, w zadaszonych i utwardzonych miejscach, aby zminimalizować odległość transportu (zakłady DE001, DE002, DE003, DE004, DE005, DE006, DE007 i ES008). Materiał wejściowy (półfabrykaty) jest przechowywany w hali o kontrolowanej temperaturze (zakład

DE002).

- Szkolenie personelu magazynowego, materiały informacyjne i widoczne oznakowanie bezpieczeństwa (zakłady DE003, DE004, DE006, DE007, ES008 i PL009).

Osiągnięte korzyści dla środowiska

- Efektywne magazynowanie i obsługa surowców oraz zmniejszone odległości transportu.
- Ograniczenie emisji rozproszonych do powietrza dzięki zminimalizowaniu odległości transportu oraz zadaszonym i utwardzonym podłogom i lokalizacjom.
- Ograniczenie emisji hałasu.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Nie dostarczono danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika

Nie podano żadnych informacji.

Siła napędowa wdrażania

- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady

W zbiorze danych SF: DE001, DE002, DE003, DE004, DE005, DE006, DE007, ES008 oraz PL009.

Literatura źródłowa

[169. TWG 2021]

3.3.6.2 Emisje do powietrza z ogrzewania, nagrzewania i obróbki termicznej

3.3.6.2.1 Stosowanie paliwa lub mieszanki paliw o niskim potencjale tworzenia NO_X

Więcej informacji na temat tej techniki znajduje się w Sekcji 3.2.1.7.4.

3.3.6.2.2 Optymalizacja spalania

Opis

Środki podjęte w celu maksymalizacji efektywności przetwarzania energii w piecu przy jednoczesnej minimalizacji emisji (w szczególności CO). Osiąga się to poprzez połączenie różnych technik, w tym odpowiednią konstrukcję pieca, optymalizację temperatury (np. efektywne mieszanie paliwa i powietrza do spalania) i czasu przebywania w strefie spalania oraz stosowanie automatyki i sterowania piecem.

Szczegóły techniczne

Podejmowane są środki mające na celu maksymalizację wydajności konwersji energii w piecu przy jednoczesnej minimalizacji emisji (w szczególności CO). Podwyższona emisja CO wynika głównie ze słabego spalania oraz niewłaściwych warunków spalania w piecach.

Usprawnienie systemu ogrzewania poprzez automatyzację pracy pieca grzewczego zostało zgłoszone przez zakład ES008. PL009 zgłosił prawidłowe działanie i konserwację palników oraz wykorzystywanie ciepła odpadowego. Automatyzacja pracy pieca grzewczego została zgłoszona przez zakład DE006.

Więcej informacji można znaleźć w dokumencie BREF LCP. [178. COM 2017].

Osiągnięte korzyści dla środowiska

Ograniczenie emisji CO.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Nie dostarczono danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.

Ekonomika
Nie podano żadnych informacji.

Siła napędowa wdrażania

- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady
W zbiorze danych SF: ES008; PL009 i DE006

Literatura źródłowa
[169. TWG 2021], [178. COM 2017].

3.3.6.2.3 Automatyzacja i sterowanie piecem

Zobacz Sekcja 3.3.1.3.

3.3.6.2.4 Recyrkulacja gazów spalinowych

Opis
Recyrkulacja (zewnętrzna) części gazów spalinowych do komory spalania w celu zastąpienia części świeżego powietrza do spalania, co ma podwójny efekt: obniżenie temperatury i ograniczenie zawartości O2 do utleniania azotu, a tym samym ograniczenie powstawania NO_X. Oznacza to doprowadzenie gazów spalinowych z pieca do płomienia w celu zmniejszenia zawartości tlenu, a tym samym temperatury płomienia.

Szczegóły techniczne
Recyrkulacja gazów spalinowych jest techniką ograniczania szczytowych temperatur płomienia. Recyrkulacja gazów spalinowych do powietrza spalania zmniejsza zawartość tlenu i obniża temperaturę płomienia, ograniczając w ten sposób tworzenie się termicznych NO_X. Oznacza to doprowadzenie gazów spalinowych z pieca do płomienia w celu zmniejszenia zawartości tlenu, a tym samym temperatury płomienia.

Więcej informacji można znaleźć w dokumencie BREF FMP. [168. COM 2022].

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Ograniczenie emisji NO_X.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Nie dostarczono danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Możliwość zastosowania w istniejących zakładach może być ograniczona brakiem miejsca.

Ekonomika
Nie podano żadnych informacji.

Siła napędowa wdrażania

- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady
W gromadzeniu danych SF: żadna z kuźni nie zgłosiła stosowania tej techniki.

Literatura źródłowa
[168. COM 2022], [169. TWG 2021].

3.3.6.2.5 Palniki o niskiej emisji NO_X

Więcej informacji na temat tej techniki znajduje się w Sekcji 3.2.1.7.6.

Przykładowe zakłady
W gromadzeniu danych SF: żadna z kuźni nie zgłosiła stosowania tej techniki.

3.3.6.2.6 Ograniczenie temperatury podgrzewania powietrza

Opis
Ograniczenie temperatury podgrzewania powietrza prowadzi do zmniejszenia stężenia emisji NO_X. Należy osiągnąć równowagę między maksymalnym odzyskiem ciepła z gazów spalinowych a minimalizacją emisji NO_X.

Szczegóły techniczne
Poziomy emisji NO_X rosną wraz ze wzrostem temperatury podgrzewania powietrza do spalania.
Ograniczenie podgrzewania powietrza może być zatem środkiem ograniczającym emisję NO_X.

Z drugiej strony podgrzewanie powietrza do spalania jest powszechnie stosowanym środkiem zwiększającym efektywność energetyczną pieców i zmniejszającym zużycie paliwa. Ograniczenie podgrzewania powietrza oznacza, że niewykorzystana energia zawarta w gazach spalinowych jest tracona i musi zostać zrekompensowana większym zużyciem paliwa.

Na ogół operatorzy zakładów są zainteresowani zmniejszeniem zużycia paliwa, ponieważ oznacza to korzyści finansowe, ale zmniejszenie zużycia paliwa może dodatkowo ograniczyć emisję innych zanieczyszczeń powietrza, takich jak CO_2 i cząstki stałe. W związku z tym może zaistnieć konieczność osiągnięcia równowagi między efektywnością energetyczną i zmniejszeniem emisji CO_2 z jednej strony a wzrostem emisji NO_X z drugiej strony. W przypadku utrzymywania wysokich temperatur podgrzewania powietrza konieczne może być zastosowanie dodatkowych środków redukcji NO_X.

Więcej informacji można znaleźć w dokumencie BREF FMP. [168. COM 2022].
Osiągnięte korzyści dla środowiska
Ograniczenie emisji NO_X.
Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Nie dostarczono danych.
Oddziaływanie na procesy i środowisko
Zmniejszona efektywność energetyczna.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ogólnie stosowana.
Ekonomika
Nie podano żadnych informacji.

Siła napędowa wdrażania
- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady
W zbiorze danych SF: żaden zakład nie zgłosił stosowania tej techniki.

Literatura źródłowa

[169. TWG 2021], [168. COM 2022].

3.3.6.2.7 Spalanie tlenowo-paliwowe

Więcej informacji na temat tej techniki znajduje się w Sekcji 3.2.1.3.8.

Więcej informacji można także znaleźć w dokumencie BREF FMP. [168. COM 2022].

Przykładowe zakłady
W gromadzeniu danych SF: żadna z kuźni nie zgłosiła stosowania tej techniki.

3.3.6.2.8 Spalanie bezpłomieniowe

Opis
Spalanie bezpłomieniowe osiąga się poprzez wtryskiwanie paliwa i powietrza do spalania oddzielnie do komory spalania pieca z dużą prędkością, co hamuje tworzenie się płomienia i ogranicza powstawanie termicznych NOX, zapewniając jednocześnie bardziej równomierny rozkład ciepła w całej komorze. Spalanie bezpłomieniowe może być stosowane w połączeniu ze spalaniem tlenowo-paliwowym.

Szczegóły techniczne
Spalanie bezpłomieniowe można osiągnąć za pomocą konwencjonalnych pieców zasilanych powietrzem wyposażonych w palnik bezpłomieniowy lub za pomocą bezpłomieniowych palników tlenowo-paliwowych.

Spalanie bezpłomieniowe
Spalanie bezpłomieniowe można osiągnąć dzięki intensywnemu mieszaniu paliwa gazowego, powietrza do spalania i recyrkulowanych gazów spalinowych. Paliwo gazowe i powietrze do spalania są wtryskiwane oddzielnie do komory spalania z dużą prędkością. Wewnątrz komory spalania bardzo intensywny wewnętrzny obieg gazów spalinowych miesza powietrze do spalania, paliwo oraz produkty spalania. W takich warunkach spalanie bezpłomieniowe zachodzi pod warunkiem, że temperatura spalania wewnątrz pieca jest wyższa niż temperatura samozapłonu mieszanki (np. > 800 ºC przy użyciu gazu ziemnego i powietrza), a współczynnik recyrkulacji spalin jest wyższy niż trzy. [168. COM 2022].

W przypadku spalania bezpłomieniowego nie występuje temperatura szczytowa czoła płomienia, co znacznie ogranicza powstawanie NO_X w porównaniu z palnikami konwencjonalnymi. Kolejną dodatkową zaletą spalania bezpłomieniowego jest to, że paliwo utlenia się w całej objętości komory spalania, zapewniając bardzo jednorodną temperaturę pieca. Dzięki równomiernemu rozkładowi możliwe jest utrzymanie wyższej średniej temperatury w komorze spalania, co skutkuje skróceniem czasu nagrzewania i niższą emisją CO, ponieważ osiągane jest całkowite spalanie. Wreszcie, spalanie bezpłomieniowe skutkuje niższą emisją hałasu i mniejszym obciążeniem termicznym palnika. [168. COM 2022].

Spalanie bezpłomieniowe w połączeniu z spalaniem tlenowo-paliwowym
Technologia bezpłomieniowa może być stosowana w połączeniu z techniką tlenowo-paliwową. Technika ta polega na zastąpieniu powietrza do spalania tlenem (o czystości > 90%), co oznacza mniejszą ilość azotu do podgrzania i zmniejszenie całkowitej objętości gazów spalinowych, co prowadzi do zwiększenia efektywności energetycznej.

Bezpłomieniowe spalanie tlenowo-paliwowe uzyskuje się poprzez oddzielne wtryskiwanie paliwa i tlenu z dużą prędkością do pieca. [168. COM 2022].

Osiągnięte korzyści dla środowiska
- Ograniczenie emisji NO_X.
- Ograniczenie emisji CO
- Zmniejszona emisja hałasu

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Nie dostarczono danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Nie stwierdzono.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Zastosowanie tej techniki w istniejących instalacjach może być ograniczone przez konstrukcję pieca (tj. objętość pieca, przestrzeń dla palników, odległość między palnikami) oraz konieczność zmiany okładziny ogniotrwałej pieca. Technika ta nie ma zastosowania w piecach pracujących w temperaturze niższej niż temperatura samozapłonu wymagana do spalania bezpłomieniowego.

Ekonomika
Zastosowanie palników tlenowo-paliwowych wymaga dodatkowego zakupu lub produkcji tlenu na miejscu. W związku z tym bezpłomieniowa technika tlenowo-paliwowa jest często ekonomicznie opłacalna tylko w zakładach, w których tlen jest dostępny po niskiej cenie. [168. COM 2022].

Siła napędowa wdrażania

- Zwiększona produktywność.
- Oszczędność energii.
- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady
W ramach gromadzenia danych SF żadna z kuźni nie zgłosiła stosowania tej techniki.

Literatura źródłowa
[168. COM 2022], [169. TWG 2021].

3.3.7 Zużycie wody oraz wytwarzanie ścieków

3.3.7.1 Segregacja strumieni wody

Opis
Strumienie wody (np. spływ powierzchniowy, woda procesowa) są zbierane oddzielnie, w zależności od zawartości zanieczyszczeń i wymaganych technik oczyszczania. Strumienie ścieków, które mogą być poddane recyklingowi bez oczyszczania, są oddzielane od strumieni ścieków wymagających oczyszczania.

Szczegóły techniczne
Zakład DE006 zgłosił wykorzystanie wody powierzchniowej jako wody chłodzącej do chłodzenia sprężarek, pieców i pras. Po wykorzystaniu w obiegu chłodzenia są one oczyszczane w osadniku i separatorze oleju, a następnie bezpośrednio odprowadzane do wód powierzchniowych. Woda deszczowa jest również wstępnie oczyszczana w ten sam sposób na terenie zakładu. Ścieki sanitarne są odprowadzane oddzielnie, pośrednio i trafiają do miejskiej oczyszczalni ścieków. Zakład DE002 zgłosił separację różnych rodzajów ścieków, np. zawierających olej i niezawierających oleju.

Segregacja różnych rodzajów ścieków została zgłoszona przez zakłady DE002, DE003, DE006 i ES008.

Bardziej szczegółowy opis techniczny systemu zbierania i segregacji ścieków można znaleźć w dokumencie BREF CWW [179. COM 2016].

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Ograniczenie emisji zanieczyszczeń do wody.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Nie dostarczono danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Możliwość zastosowania w istniejących zakładach może być ograniczona przez układ systemu zbierania wody.

Technika ma zastosowanie wyłącznie w przypadku, gdy wytwarzanie ścieków zostało uznane za istotne na podstawie wykazu danych wejściowych i wyjściowych, o którym mowa w Sekcji 3.1.1.2.

Ekonomika
Nie podano żadnych informacji.

Siła napędowa wdrażania

- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady
W zbiorze danych SF: DE002, DE003, DE006 i ES008.

Literatura źródłowa
[169. TWG 2021], [179. COM 2016].

3.3.7.2 Ponowne wykorzystanie i/lub recykling wody

Opis
Strumienie wody (np. woda procesowa, woda chłodząca) są ponownie wykorzystywane i/lub poddawane recyklingowi w obiegach zamkniętych lub półzamkniętych, w razie potrzeby po oczyszczeniu.

Szczegóły techniczne
Zgłoszono techniki i środki służące efektywnemu wykorzystaniu wody, zapobieganiu powstawaniu ścieków/minimalizacji ich ilości oraz oczyszczaniu ścieków w celu zmniejszenia emisji do wody, które można stosować indywidualnie lub łącznie, takie jak minimalizacja wytwarzania ścieków podczas chłodzenia poprzez zastosowanie zamkniętego obiegu chłodniczego [148. Euroforge 2021].

Osiągnięte korzyści dla środowiska

- Efektywne użycie wody.
- Redukcja emisji do wody.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Nie dostarczono danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Brak.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Stopień ponownego wykorzystania i/lub recyklingu wody jest ograniczony przez bilans wodny zakładu, zawartość zanieczyszczeń i/lub właściwości strumieni wody. Ma zastosowanie, gdy wytwarzanie ścieków zostanie uznane za istotne.

Technika ma zastosowanie wyłącznie w przypadku, gdy wytwarzanie ścieków zostało uznane za istotne na podstawie wykazu danych wejściowych i wyjściowych, o którym mowa w Sekcji 3.1.1.2.

Ekonomika
Nie podano żadnych informacji.

Siła napędowa wdrażania

- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady
W zbiorze danych SF: DE007, ES008 i PL009.

Literatura źródłowa
[169. TWG 2021]

3.3.7.3 Plan zarządzania zasobami wodnymi i audyty

Informacje na temat tej techniki można znaleźć w Sekcji 3.2.1.16.1.

3.3.8 Emisje do wody

3.3.8.1 Techniki oczyszczania ścieków

Opis
Techniki te zostały opisane w Sekcji 3.2.1.17. Celem jest zmniejszenie ilości wytwarzanych ścieków oraz poprawa możliwości recyklingu wody.

Szczegóły techniczne
Zgłoszono techniki i środki służące zapobieganiu powstawaniu ścieków/minimalizacji ich ilości oraz oczyszczaniu ścieków w celu zmniejszenia emisji do wody, które można stosować indywidualnie lub łącznie, takie jak:

- monitorowanie pH i zawartości olejów/tłuszczów w ściekach na wylocie (DE003, DE006 i ES008);
- oczyszczanie ścieków przemysłowych (ES008).

[169. TWG 2021].

Regularne monitorowanie pH i olejów/tłuszczów na odpływie ścieków oraz pobieranie próbek i analiza bezpośrednio odprowadzanych ścieków przeprowadzane przez operatora są zgłaszane przez DE006.

Zgodnie z informacjami przekazanymi przez zakład ES008, woda deszczowa jest zbierana za pomocą rynien, rur spustowych i kanałów ściekowych, a następnie kierowana do systemu zbierania wody zakładu i bezpośrednio do miejskiej oczyszczalni ścieków. Woda sanitarna łączy się zarówno ze zanieczyszczeniami opuszczającymi wewnętrzną oczyszczalnię ścieków, jak i wodą deszczową, a następnie jest bezpośrednio odprowadzana do miejskiej sieci kanalizacyjnej. Ścieki przemysłowe, wody opadowe z dwóch silosów na odpady oraz wody z mycia są oczyszczane w zakładowej oczyszczalni ścieków, a następnie odprowadzane do miejskiej oczyszczalni ścieków. Zakładowa oczyszczalnia ścieków składa się z oczyszczania wstępnego, zbiornika homogenizacyjnego oraz przetwarzania fizyczno-chemicznego (koagulacja, flokulacja w mieszalniku flokulacyjnym, a następnie flotacja (flotacja drobnopęcherzykowa – DAF). [221. ES 2018].

Zgłoszono oddzielanie różnych rodzajów ścieków (DE002, DE003, DE006 i ES008), np. oddzielanie wody zawierającej olej i wody wolnej od oleju (DE002).

DE006 zgłosił wykorzystanie wód powierzchniowych jako wody chłodzącej do sprężarek i pieców. Po użyciu w urządzeniach chłodzących woda jest oczyszczana za pomocą osadnika szlamu i separatora oleju, a następnie bezpośrednio odprowadzana do wód powierzchniowych. Woda deszczowa jest także wstępnie oczyszczana w ten sam sposób na terenie zakładu. Ścieki sanitarne są odprowadzane oddzielnie, pośrednio i trafiają do miejskiej oczyszczalni ścieków.

Zgodnie z informacjami przekazanymi przez zakłady DE002, DE005, DE007, ES008 i PL009, do chłodzenia stosuje się zamknięty obieg/system chłodzenia w celu uniknięcia wytwarzania ścieków. Ponadto stosowany jest również system chłodzenia przepływowego (DE006). Ten system chłodzenia działa w trybie ciągłym.

DE005, ES008 i PL009 zgłosiły zbieranie oraz ponowne wykorzystanie smarów chłodzących. [169. TWG 2021].

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Ograniczenie emisji zanieczyszczeń do wody.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne
Nie dostarczono danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Nie stwierdzono.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technika ma zastosowanie tylko wtedy, gdy wytwarzanie ścieków zostało zidentyfikowane w wykazie wejść i wyjść, o którym mowa w Sekcji 3.1.1.2.

Ekonomika
Nie podano żadnych informacji.

Siła napędowa wdrażania
- Wymogi prawne.
- Warunki lokalne.

Przykładowe zakłady
W zbiorze danych SF: DE002, DE003, DE005, DE006, DE007, ES008 oraz PL009.

Literatura źródłowa
[169. TWG 2021], [221. ES 2018].

4 KONKLUZJE DOTYCZĄCE NAJLEPSZYCH DOSTĘPNYCH TECHNIK (BAT) W ODNIESIENIU DO SEKTORA KUŹNI i ODLEWNI

Zakres

Niniejsze konkluzje dotyczące BAT odnoszą się do następujących rodzajów działalności wymienionych w załączniku i do dyrektywy 2010/75/UE:

2.3. Obróbka stopów żelaza:
(b) eksploatacja kuźni z młotami o energii przekraczającej 50 kilodżuli na młot, gdzie stosowana energia cieplna przekracza 20 MW.

2.4. Eksploatacja odlewni stopów żelaza z wydajnością produkcyjną przekraczającą 20 ton dziennie.

2.5. Przetwarzanie metali nieżelaznych:
(b) topienie, łącznie ze stapianiem, metali nieżelaznych, łącznie z produktami z odzysku, i eksploatacja odlewni metali nieżelaznych, o wydajności topienia przekraczającej 4 tony dziennie dla ołowiu i kadmu lub 20 ton dziennie dla wszystkich innych metali.

6.11 Niezależnie prowadzone oczyszczanie ścieków nieobjętych dyrektywą 91/271/EWGso ile główny ładunek zanieczyszczeń pochodzi z rodzajów działalności objętych niniejszymi konkluzjami dotyczącymi BAT.

Niniejsze konkluzje dotyczące BAT obejmują również:

- Odlewnie stopów żelaza wykorzystujące ciągłe procesy odlewania do produkcji odlewów z żeliwa szarego lub żeliwa sferoidalnego w ich ostatecznym kształcie lub w przybliżeniu ich ostatecznego kształtu.
- Odlewnie metali nieżelaznych wykorzystujące wlewki stopowe, złom, produkty z odzysku lub metal ciekły do produkcji odlewów w ich ostatecznym kształcie lub w przybliżeniu ich ostatecznego kształtu.
- Mieszane oczyszczanie ścieków różnego pochodzenia, pod warunkiem że główny ładunek zanieczyszczeń pochodzi z rodzajów działalności objętych niniejszymi konkluzjami dotyczącymi BAT, a oczyszczanie ścieków nie jest objęte dyrektywą 91/271/EWG.[5].
- Powlekanie form i rdzeni w odlewniach stopów żelaza i metali nieżelaznych.
- Magazynowanie i przenoszenie materiałów oraz postępowanie z nimi, w tym magazynowanie złomu i masy oraz postępowanie z nimi w odlewniach.
- Procesy spalania bezpośrednio związane z rodzajami działalności objętymi niniejszymi konkluzjami dotyczącymi BAT, pod warunkiem że gazowe produkty spalania wchodzą w bezpośredni kontakt z materiałem (np. bezpośrednie nagrzewanie wsadu lub bezpośrednie suszenie wsadu).

Niniejsze konkluzje dotyczące BAT nie obejmują:

- Odlewania ciągłego w przypadku żelaza i/lub stali (tj. w celu produkcji cienkich płyt, pasków i arkuszy). Działalność ta wchodzi w zakres stosowania konkluzji dotyczących BAT w odniesieniu do produkcji żelaza i stali (IS).
- Produkcji półproduktów z metali nieżelaznych wymagających dalszego formowania. Działalność ta wchodzi w zakres stosowania konkluzji dotyczących BAT w odniesieniu do przemysłu metali nieżelaznych (NFM).
- Powlekania odlewów. Działalność ta może wchodzić w zakres stosowania konkluzji dotyczących BAT w odniesieniu do obróbki powierzchniowej z wykorzystaniem rozpuszczalników organicznych, w tym konserwacji drewna i produktów z drewna produktami chemicznymi.
- Pras kuźniczych.

[5] Dyrektywa Rady 91/271/EWG z dnia 21 maja 1991 r. dotycząca oczyszczania ścieków komunalnych (Dz.U. L 135 z 30.5.1991, s. 40).

- Ścieków z systemów chłodzenia pośredniego. Działalność ta może wchodzić w zakres stosowania konkluzji dotyczących BAT w odniesieniu do przemysłowych systemów chłodzenia (ICS).
- Walcarek do metali. Działalność ta wchodzi w zakres stosowania konkluzji dotyczących BAT w odniesieniu do przetwórstwa metali żelaznych (FMP).
- Wchodzących w skład instalacji obiektów energetycznego spalania wytwarzających gorące gazy, których nie wykorzystuje się do bezpośredniego ogrzewania, suszenia lub dowolnej innej obróbki przedmiotów lub materiałów. Tego rodzaju działalność może wchodzić w zakres stosowania konkluzji dotyczących BAT w odniesieniu do dużych obiektów energetycznego spalania (LCP) lub być objęta dyrektywą Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2015/2193[6].

Inne konkluzje dotyczące BAT oraz dokumenty referencyjne, które mogą być istotne dla rodzajów działalności objętych niniejszymi konkluzjami dotyczącymi BAT, odnoszą się do:

- powierzchniowej obróbki metali i tworzyw sztucznych (STM);
- przetwarzania odpadów (WT);
- monitorowania emisji do powietrza i wody z instalacji IED (ROM);
- ekonomiki i wzajemnych powiązań pomiędzy różnymi komponentami środowiska (ECM);
- emisji z magazynowania (EFS);
- efektywności energetycznej (ENE).

Niniejsze konkluzje dotyczące BAT mają zastosowanie bez uszczerbku dla innych stosownych przepisów, np. w sprawie rejestracji, oceny, udzielania zezwoleń i stosowanych ograniczeń w zakresie chemikaliów (REACH), w sprawie klasyfikacji, oznakowania i pakowania substancji i mieszanin (CLP).

[6] Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2015/2193 z dnia 25 listopada 2015 r. w sprawie ograniczenia emisji niektórych zanieczyszczeń do powietrza ze średnich obiektów energetycznego spalania (Dz.U. L 313 z 28.11.2015, s. 1).

Definicje

Do celów niniejszych konkluzji dotyczących BAT zastosowanie mają następujące definicje:

Pojęcia ogólne	
Zastosowany termin	**Definicja**
Odlew	Metalowy przedmiot obrabiany/wytwarzany w procesie odlewania, który jest wybijany lub uwalniany z formy.
Proces odlewania	Zalewanie wnęki formy stopem odlewniczym. Stop odlewniczy pozostawia się następnie do ochłodzenia i zakrzepnięcia.
Odlewanie odśrodkowe	Stop odlewniczy jest wlewany do podgrzanej obracającej się formy, umieszczonej pionowo lub poziomo w zależności od kształtu produktu. Po zalaniu stopem odlewniczym forma obraca się wokół swojej osi centralnej, wytwarzając siłę odśrodkową, która przenosi stop odlewniczy w stronę obwodu, wymuszając jego osadzenie się na ściankach formy.
Emisje zorganizowane	Emisje substancji zanieczyszczających do środowiska przez wszelkiego rodzaju kanały, rury, kominy itp.
Czysty złom	Złom metali, który posiada co najmniej wszystkie z następujących cech: • jest wolny od zanieczyszczeń niemetalicznych; • jest wolny od galwanizowanych, zalanych lub malowanych części złomu; • jest wolny od oleju i tłuszczu; • jest wolny od materiałów wybuchowych; • jest wolny od stali narzędziowej, stali nierdzewnej lub stali chromowej, z wyjątkiem odlewni stali; • w przypadku odlewni żelaza i stali – jest wolny od części złomu metali nieżelaznych. Termin „wolny” oznacza, że pozostałości zanieczyszczeń występują na tak niskim poziomie, że nie wpływają niekorzystnie na efektywność środowiskową (np. zwiększone emisje całkowitych LZO, PCDD/F i/lub metali ciężkich) ani na funkcjonowanie/bezpieczeństwo zakładu.
Procesy utwardzania na zimno	Procesy utwardzania form i rdzeni, w których spoiwo wiążące masę utwardza się w temperaturze otoczenia. Utwardzanie rozpoczyna się natychmiast po dodaniu do mieszaniny ostatniego składnika postaci użytkowej spoiwa wiążącego masę.
Odlewanie ciągłe	Stop odlewniczy jest wlewany do chłodzonej wodą matrycy, która jest otwarta na dole lub z boku. Dzięki intensywnemu chłodzeniu zewnętrzna część produktu metalowego zestala się, gdy jest powoli wyciągana z formy. Następnie produkt (np. pręty, rury, kształtowniki) jest przycinany do pożądanej długości.
Pomiar ciągły	Pomiar dokonywany przy zastosowaniu automatycznych systemów pomiarowych zainstalowanych na stałe.
Wykonywanie rdzeni	Produkcja/wytwarzanie rdzeni, które mogą być pełne lub wydrążone. Rdzenie umieszcza się w formie, aby stworzyć wewnętrzne wgłębienia lub część zewnętrznego kształtu odlewu przed połączeniem połówek formy.
Emisje rozproszone	Emisje niezorganizowane do powietrza. Emisje rozproszone obejmują zarówno emisje ulotne, jak i nieulotne.
Zrzut bezpośredni	Zrzut/odprowadzenie do odbiornika wodnego bez dalszego oczyszczania ścieków.
Zgary	Substancje stałe powstałe podczas topienia lub trzymania metalu na powierzchni stopu odlewniczego, np. przez utlenianie powietrzem.
Istniejący zakład	Zakład, który nie jest nowym zakładem.
Wsad	Każdy wsad metalowy wykorzystywany w procesie produkcji w kuźniach.

Pojęcia ogólne	
Zastosowany termin	**Definicja**
Wykańczanie	W odlewniach proces ten obejmuje to szereg czynności mechanicznych przeprowadzonych po procesie odlewania, w tym stępianie ostrych krawędzi, cięcie ścierne, dłutowanie, igłowanie, oczyszczanie, szlifowanie ślizgowe, śrutowanie i spawanie. W kuźniach proces ten obejmuje oczyszczanie, stępianie ostrych krawędzi, obróbkę skrawaniem, cięcie i łupanie
Gazy spalinowe	Spaliny wychodzące z jednostki spalania.
Kucie	Proces odkształcania i formowania metali z wykorzystaniem ogrzewania i młotów (np. pneumatycznych, na napęd parowy, mechanicznych, elektrycznych, hydraulicznych).
Proces pełnej formy	Technika wykonywania form z wykorzystaniem modelu piankowego wykonanego z polimerów ekspandowanych (np. polistyrenu ekspandowanego) dodanych do masy wiązanej chemicznie. Model piankowy znika podczas zalewania. Proces ten jest zazwyczaj stosowany do wykonywania dużych odlewów.
Procesy utwardzania/hartowania gazem	Procesy utwardzania rdzeni, w których katalizator lub utwardzacz jest wtryskiwany w postaci gazowej do rdzennicy.
Odlewanie grawitacyjne	Stop odlewniczy jest wlewany bezpośrednio z kadzi do matrycy na zasadzie grawitacji. Po zestaleniu otwiera się matrycę i uwalnia metalowy przedmiot obrabiany.
Masa/piasek z bentonitem	Mieszanina piasku, gliny (np. bentonitu) i dodatków (np. pyłu węglowego, spoiw zbożowych) wykorzystywana do wykonywania form.
Substancje niebezpieczne/stwarzające zagrożenie	Substancje stwarzające zagrożenie zgodnie z definicją zawartą w art. 3 pkt 18 dyrektywy 2010/75/UE.
Obróbka termiczna	Proces termiczny, w którym odlewy (w odlewniach) lub przedmioty obrabiane (w kuźniach) są podgrzewane poniżej ich temperatury topnienia w celu poprawy ich właściwości fizycznych.
Odlewanie pod wysokim ciśnieniem/wysokociśnieniowe	Stop odlewniczy jest wprowadzany pod ciśnieniem do uszczelnionej wnęki formy. Utrzymuje go w miejscu duża siła ściskająca do momentu zestalenia się metalu. Po zestaleniu otwiera się matrycę i uwalnia metalowy przedmiot obrabiany.
Procesy utwardzania na gorąco	Procesy utwardzania rdzeni lub form, w których spoiwo wiążące masę utwardza się do kształtu podgrzewanej rdzennicy lub podgrzewanego modelu; zarówno rdzennica, jak i model są wykonane z metalu lub drewna.
Zrzut pośredni	Zrzut, które nie jest zrzutem bezpośrednim.
Złom obiegowy	Złom obiegowy składa się z bram, podnośników, wadliwych odlewów i innych elementów metalowych wytworzonych w instalacji.
Wstępne wygrzewanie/podgrzewanie kadzi	Kadzie wykorzystywane do przenoszenia stopu odlewniczego z pieca topielnego do procesu odlewania są wstępnie wygrzewane do kontrolowanej temperatury w celu osuszenia kadzi po przygotowaniu, aby zminimalizować wstrząs cieplny i zużycie okładziny ogniotrwałej podczas zalewania oraz ograniczyć straty temperatury stopu odlewniczego.
Produkt ciekłego metalu	Ilość ciekłego metalu wytwarzanego w piecach topielnych (do topienia).
Odlewanie metodą pełnej formy	Modele piankowe części, które mają być odlewane, wykonane z polimerów ekspandowanych (np. polistyrenu ekspandowanego), są wytwarzane przy użyciu zautomatyzowanych formierek i montowane razem w klastry. Klastry są następnie wprowadzane do niezwiązanej masy. Po zalaniu stop odlewniczy powoduje pirolizę polistyrenu ekspandowanego i wypełnia opróżnioną przestrzeń.
Odlewanie pod niskim ciśnieniem/niskociśnieniowe	Stop odlewniczy jest przenoszony ze szczelnego pieca przez rurkę wznoszącą do metalowej matrycy. Jest wypychany do góry do matrycy pod niskim ciśnieniem gazu. Po zestaleniu ciśnienie gazu jest uwalniane, co umożliwia powrót stopu odlewniczego w rurce wznoszącej do pieca, matryca zostaje otwarta i następuje uwolnienie odlewu.

Pojęcia ogólne	
Zastosowany termin	**Definicja**
Znacząca modernizacja zakładu	Istotna zmiana pod względem konstrukcji lub technologii zakładu połączona z wprowadzeniem istotnych korekt w procesie i/lub technikach redukcji emisji i w powiązanych urządzeniach lub z ich wymianą.
Przepływ masowy	Masa danej substancji lub parametru, która jest emitowana w określonym czasie.
Topienie metali	Produkcja stopu żelazna lub metalu nieżelaznego z wykorzystaniem pieców. Proces ten obejmuje również topienie na przykład złomu wytwarzanego na miejscu oraz przechowywanie stopu odlewniczego w piecach podgrzewających.
Wykonywanie/produkcja form	Wykonywanie formy, do której wlewany będzie stop odlewniczy. Proces ten obejmuje również wykonywanie modeli.
Piasek naturalny	Mieszanina składająca się z piasku krzemionkowego (np. 85 %), gliny (np. 15 %) i wody. Co do zasady do mieszaniny nie dodaje się żadnych innych dodatków.
Nowy zakład	Instalacja, na którą wydano pozwolenie po opublikowaniu niniejszych konkluzji dotyczących BAT lub która całkowicie zastąpiła instalację istniejącą przed opublikowaniem niniejszych konkluzji dotyczących BAT.
Żeliwo sferoidalne	Żeliwo z węglem w kształcie sferoidalnym, potocznie nazywane żeliwem sferoidalnym.
Sferoidyzacja	Obróbka stopionego żeliwa magnezem lub metalem ziem rzadkich w celu nadania cząstkom węgla kształtu sferoidalnego.
Pomiar okresowy	Pomiar w określonych odstępach czasu z zastosowaniem metod ręcznych lub automatycznych.
Ogrzewanie/nagrzewanie	Kolejne etapy procesu termicznego stosowane w celu podniesienia temperatury wsadu przed młotkowaniem.
Chemikalia technologiczne	Substancje i/lub mieszaniny określone w art. 3 rozporządzenia (WE) 1907/2006 i stosowane w procesie(-ach). Chemikalia technologiczne mogą zawierać substancje stwarzające zagrożenie i/lub substancje stanowiące bardzo duże zagrożenie.
Świeżenie/rafinacja stali	Proces obróbki stali mający na celu usunięcie węgla (odwęglenie) z surówki (rafinacja pierwotna), po którym następuje usunięcie zanieczyszczeń.
Pozostałość	Substancja lub obiekt wytworzony w wyniku prowadzenia działalności objętej zakresem stosowania niniejszych konkluzji dotyczących BAT, takie jak odpady lub produkty uboczne.
Ponowne wykorzystanie masy/piasku	Proces ponownego wykorzystania piasku w odlewni po jego odświeżeniu lub regeneracji.
Odświeżenie masy/piasku	Każda czynność mechaniczna wykonywana w instalacji w celu ponownego wykorzystania masy z bentonitem i/lub piasku naturalnego. Proces ten obejmuje przesiewanie, usuwanie większych kawałków metalu, oddzielanie i usuwanie drobnych i zbyt dużych aglomeratów. Następnie masa jest schładzana i przesyłana do przechowywania/ponownego wykorzystania.
Regeneracja/odzysk masy/piasku	Wszelkie operacje mechaniczne i/lub termiczne przeprowadzane w instalacji w celu ponownego wykorzystania masy wiązanej chemicznie lub masy mieszanej. Proces ten obejmuje początkowy etap mechaniczny (np. rozdrabnianie, przesiewanie), a następnie procesy mechaniczne (np. ściernica, bęben udarowy) i/lub termiczne (np. złoże fluidalne, piece obrotowe) mające na celu usunięcia pozostałości spoiw.
Obiekty wrażliwe	Obszary wymagające szczególnej ochrony, takie jak: - obszary mieszkalne; - obszary, na których człowiek prowadzi działalność (np. obszary sąsiadujące z miejscami pracy, szkołami, przedszkolami, obszarami rekreacyjnymi, szpitalami lub zakładami pielęgnacyjno-opiekuńczymi).
Żużel	Substancje ciekłe, które nie rozpuszczają się w ciekłym metalu, ale łatwo oddzielają się od niego i tworzą oddzielną warstwę na ciekłym metalu ze względu na swoją niższą gęstość. Żużel powstaje w wyniku utleniania elementów niemetalicznych obecnych we wsadzie metalowym.

Pojęcia ogólne	
Zastosowany termin	**Definicja**
Substancje stanowiące bardzo duże zagrożenie/substancje wzbudzające szczególnie duże obawy	Substancje spełniające kryteria wymienione w art. 57 i znajdujące się na liście kandydackiej substancji stanowiących bardzo duże zagrożenie zgodnie z rozporządzeniem REACH ((WE) nr 1907/2006[7]).
Spływ powierzchniowy	Woda pochodząca z opadów atmosferycznych, która spływa po gruncie lub po powierzchniach nieprzepuszczalnych, takich jak utwardzone ulice, przestrzenie magazynowe i dachy, i która nie wsiąka w grunt.
Obróbka stopu odlewniczego	Operacje rafinacji w procesach topienia aluminium, które obejmują odgazowywanie, rozdrabnianie ziarna i topnikowanie. Odgazowywanie (tj. usuwanie rozpuszczonego wodoru za pomocą azotu) jest często połączone z oczyszczaniem (tj. usuwaniem metali alkalicznych lub metali ziem alkalicznych, takich jak Ca) przy użyciu gazu Cl_2.
Ważna średnia wartość godzinna (lub półgodzinna)	Średnią wartość godzinną (lub półgodzinną) uznaje się za ważną, jeżeli nie jest prowadzona konserwacja ani nie wystąpi niesprawność automatycznego systemu pomiarowego.

[7] Rozporządzenie (WE) nr 1907/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 18 grudnia 2006 r. w sprawie rejestracji, oceny, udzielania zezwoleń i stosowanych ograniczeń w zakresie chemikaliów (REACH), utworzenia Europejskiej Agencji Chemikaliów, zmieniające dyrektywę 1999/45/WE oraz uchylające rozporządzenie Rady (EWG) nr 793/93 i rozporządzenie Komisji (WE) nr 1488/94, jak również dyrektywę Rady 76/769/EWG i dyrektywy Komisji 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/WE i 2000/21/WE (Dz.U. L 396 z 30.12.2006, s. 1).

Zanieczyszczenia i parametry	
Zastosowany termin	**Nazwa**
Aminy	Zbiorczy termin odnoszący się do pochodnych amoniaku, w których co najmniej jeden atom wodoru został zastąpiony grupą alkilową lub arylową.
AOX	Adsorbowalne związki chloroorganiczne, wyrażone jako Cl, obejmują adsorbowalne organiczne związki chloru, bromu i jodu.
As	Suma arsenu i jego związków, rozpuszczonych lub związanych w cząsteczki, wyrażona jako As.
B[a]P	Benzo[a]piren.
BZT_5	Biochemiczne zapotrzebowanie na tlen. Ilość tlenu potrzebna do biochemicznego utleniania materii organicznej i/lub nieorganicznej w 5 (BZT_5) dni.
Cd	Suma kadmu i jego związków, rozpuszczonych lub związanych w cząsteczki, wyrażona jako Cd.
Cl_2	Chlor pierwiastkowy.
CO	Tlenek węgla
ChZT	Chemiczne zapotrzebowanie tlenu. Ilość tlenu potrzebna do całkowitego utlenienia chemicznego materii organicznej do dwutlenku węgla z wykorzystaniem dwuchromianu. ChZT jest wskaźnikiem stężenia masy związków organicznych.
Cr	Suma chromu i jego związków, rozpuszczonych lub związanych w cząsteczki, wyrażona jako Cr.
Cu	Suma miedzi i jej związków, rozpuszczonych lub związanych w cząsteczki, wyrażona jako Cu.
Pył	Całkowita masa cząstek stałych (w powietrzu).
Fe	Suma żelaza i jego związków, rozpuszczonych lub związanych w cząsteczki, wyrażona jako Fe.
HCl	Chlorowodór.
HF	Fluorowodór.
Hg	Suma rtęci i jej związków, rozpuszczonych lub związanych w cząsteczki, wyrażona jako Hg.
HOI	Indeks oleju węglowodorowego. Suma związków, których ekstrakcję można przeprowadzić za pomocą rozpuszczalnika węglowodorowego (w tym węglowodory alifatyczne, alicykliczne, aromatyczne lub aromatyczne z podstawioną grupą alkilową, o długich lub rozgałęzionych łańcuchach).
Mg	Magnez.
MgO	Tlenek magnezu.
MgS	Siarczek magnezu.
$MgSO_4$	Siarczan magnezu.
Ni	Suma niklu i jego związków, rozpuszczonych lub związanych w cząsteczki, wyrażona jako Ni.
NO_X	Suma tlenku azotu (NO) i dwutlenku azotu (NO_2), wyrażona jako NO_2.
PCDD/F	Polichlorowane dibenzo-para-dioksyny/furany.
Indeks fenolowy	Suma związków fenolowych wyrażona jako stężenie fenolu i mierzona zgodnie z normą EN ISO 14402.
Pb	Suma ołowiu i jego związków, rozpuszczonych lub związanych w cząsteczki, wyrażona jako Pb (w wodzie).Suma ołowiu i jego związków, wyrażona jako Pb (w powietrzu).
SO_2	Dwutlenek siarki.
OWO	Ogólny węgiel organiczny, wyrażony jako C (w wodzie), obejmuje wszystkie związki organiczne.
TSS	Zawiesina ogólna. Masa całkowita zawiesiny (w wodzie) mierzona metodą filtracji przez sączki z włókna szklanego i metodą grawimetryczną.
Azot ogólny (TN)	Azot ogólny, wyrażony jako N, obejmuje amoniak wolny i azot amonowy (NH4-N), azot azotynowy (NO2-N), azot azotanowy (NO3-N) i azot związany organicznie.
Całkowite LZO	Całkowity lotny węgiel organiczny wyrażony jako C (w powietrzu).
LZO	Lotny związek organiczny zdefiniowany w art. 3 pkt 45 dyrektywy 2010/75/UE.
Zn	Suma cynku i jego związków, rozpuszczonych lub związanych w cząsteczki, wyrażona jako Zn.

Akronimy

Do celów niniejszych konkluzji dotyczących BAT stosuje się następujące akronimy.

Akronim	Definicja
CBC	Żeliwiak z zimnym dmuchem
CMS	System zarządzania chemikaliami
CMR	Rakotwórcze, mutagenne lub działające szkodliwie na rozrodczość.
CMR 1A	Substancja CMR należąca do kategorii 1 A zgodnie z rozporządzeniem (WE) nr 1272/2008 z późniejszymi zmianami, tj. opisana zwrotami określającymi zagrożenie H340, H350, H360.
CMR 1B	Substancja CMR należąca do kategorii 1B zgodnie z rozporządzeniem (WE) nr 1272/2008 z późniejszymi zmianami, tj. opisana zwrotami określającymi zagrożenie H340, H350, H360.
CMR 2	Substancja CMR należąca do kategorii 2 zgodnie z rozporządzeniem (WE) nr 1272/2008 z późniejszymi zmianami, tj. opisana zwrotami określającymi zagrożenie H341, H351, H361.
DMEA	N,N-Dimetyloetyloamina
EAF	Piec łukowy
EMS	System zarządzania środowiskowego
ESP	Elektrofiltr/filtr elektrostatyczny
HBC	Żeliwiak z gorącym dmuchem
HPDC	Odlewanie pod wysokim ciśnieniem/wysokociśnieniowe
NFM	Metale nieżelazne
OME	Operacyjna efektywność wykorzystania materiałów
OTNOC	Inne niż normalne warunki eksploatacji
TEA	Trietyloamina

Uwagi ogólne

Najlepsze Dostępne Techniki

Techniki wymienione i opisane w niniejszych konkluzjach dotyczących BAT nie mają ani nakazowego, ani wyczerpującego charakteru. Dopuszcza się stosowanie innych technik, o ile zapewniają one 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) i wskaźnikowe poziomy emisji w odniesieniu do emisji do powietrza

W odlewniach BAT–AEL oraz wskaźnikowy poziom emisji w odniesieniu do emisji do powietrza podane w niniejszych konkluzjach dotyczących BAT odnoszą się do stężeń (masa wyemitowanej substancji w objętości gazu odlotowego) w następujących warunkach standardowych: w suchym gazie o temperaturze 273,15 K i pod ciśnieniem 101,3 kPa, bez korekty pod kątem referencyjnego poziomu tlenu, oraz wyrażonych w mg/Nm^3 albo ng WHO-TEQ/Nm^3.

W kuźniach BAT–AEL i wskaźnikowy poziom emisji w odniesieniu do emisji do powietrza podane w niniejszych konkluzjach dotyczących BAT odnoszą się do stężeń (masa wyemitowanej substancji w objętości gazu odlotowego) w następujących warunkach standardowych: w suchym gazie o temperaturze 273,15 K i pod ciśnieniem 101,3 kPa, z korektą pod kątem referencyjnego poziomu tlenu wynoszącego 3 % obj. w suchym gazie, oraz wyrażonych w mg/Nm^3.
Poniżej przedstawiono równanie do celów obliczania stężenia emisji przy referencyjnym poziomie tlenu:

$$E_R = \frac{21 - O_R}{21 - O_M} \, x \, E_M$$

gdzie:
E_R: stężenie emisji przy referencyjnym poziomie tlenu O_R;
O_R: referencyjny poziom tlenu w % obj.;
E_M: zmierzone stężenie emisji;
O_M: zmierzony poziom tlenu w % obj.
W odniesieniu do okresów uśrednienia BAT-AEL i wskaźnikowych poziomów emisji dla emisji zorganizowanych do powietrza zastosowanie mają poniższe definicje:

Rodzaj pomiaru	**Okres uśrednienia**	**Definicja**
Ciągły	Średnia dobowa	Średnia z okresu jednej doby na podstawie ważnych średnich wartości godzinnych lub półgodzinnych.
Okresowy	Średnia z okresu pobierania próbek	Średnia wartość uzyskana na podstawie trzech kolejnych pobrań próbek/pomiarów, z których każde lub każdy trwa co najmniej 30 minut (1).
(1) W przypadku każdego parametru, w odniesieniu do którego – z uwagi na ograniczenia dotyczące pobierania próbek lub ograniczenia analityczne i/lub warunki operacyjne (np. procesy przeprowadzane partiami) – zastosowanie 30-minutowego pobrania próbki/ pomiaru i/lub średniej wartości uzyskanej na podstawie trzech kolejnych pobrań próbek/pomiarów jest niewłaściwe, można zastosować bardziej reprezentatywną procedurę pobierania próbek/pomiaru. W przypadku PCDD/F stosuje się jeden okres pobierania próbek wynoszący od 6 do 8 godzin.		

Jeżeli gazy odlotowe z co najmniej dwóch źródeł (np. pieców) są odprowadzane przez wspólny komin, BAT-AEL mają zastosowanie do połączonego odprowadzenia z komina.

Do celów obliczenia przepływów masowych w odniesieniu do BAT 12, jeżeli gazy odlotowe o podobnej charakterystyce, np. zawierające te same substancje/parametry, i odprowadzane przez co najmniej dwa oddzielne kominy mogłyby, w ocenie właściwego organu, być odprowadzane przez wspólny komin, kominy te należy traktować jako jeden komin.

Poziomy emisji powiązane z najlepszymi dostępnymi technikami (BAT-AEL) w odniesieniu do emisji do wody

BAT-AEL dla emisji do wody, podane w niniejszych konkluzjach dotyczących BAT, odnoszą się do stężeń (masa wyemitowanych substancji w objętości wody) wyrażonych w mg/l.

Okresy uśrednienia związane z BAT-AEL odnoszą się do jednego z dwóch następujących 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 uwalniania, pobieranych jako próbki złożone proporcjonalne do przepływu lub jako próbka chwilowa pobrana przed zrzutem, pod warunkiem że ścieki oczyszczone są odpowiednio wymieszane i jednorodne.

Można wykorzystywać próbki złożone proporcjonalne do czasu, pod warunkiem że wykazano wystarczającą stabilność przepływu. Alternatywnie można pobrać próbki chwilowe, pod warunkiem że ścieki oczyszczone są odpowiednio wymieszane i jednorodne.

BAT-AEL stosuje się w punkcie, w którym emisja opuszcza instalację.

Inne poziomy efektywności środowiskowej powiązane z najlepszymi dostępnymi technikami (BAT-AEPL) i poziomy wskaźnikowe

BAT-AEPL dla jednostkowego zużycia energii (odlewnie)

BAT-AEPL dla jednostkowego zużycia energii odnoszą się do średnich rocznych obliczonych za pomocą następującego równania:

$$\text{współczynnik zużycia energii} = \frac{\text{współczynnik zużycia energii}}{\text{współczynnik przetwarzania}}$$

gdzie:
współczynnik zużycia energii: całkowita ilość ciepła (wytworzonego ze źródeł energii pierwotnej) oraz energii elektrycznej zużytej przez odpowiednie procesy (topienie i podgrzewanie, wstępne wygrzewanie kadzi) w odlewniach, wyrażona w kWh/rok; oraz

współczynnik przetwarzania: całkowita ilość produktu ciekłego metalu, wyrażona w t/rok.

Współczynnik zużycia energii odpowiada całkowitej ilości ciepła (wytworzonego ze źródeł energii pierwotnej) oraz energii elektrycznej zużytej przez wszystkie piece w odpowiednich procesach: topienie i podgrzewanie, wstępne wygrzewanie kadzi.

Wskaźnikowe poziomy jednostkowego zużycia energii (kuźnie)

Wskaźnikowe poziomy jednostkowego zużycia energii odnoszą się do średnich rocznych obliczonych za pomocą następującego równania:

$$\text{współczynnik zużycia energii} = \frac{\text{współczynnik zużycia energii}}{\text{współczynnik przetwarzania}}$$

gdzie:
współczynnik zużycia energii: całkowita ilość ciepła (wytworzonego ze źródeł energii pierwotnej) oraz energii elektrycznej zużytej przez zakład w kuźniach, wyrażona w kWh/rok; oraz
współczynnik przetwarzania: całkowita ilość wsadu, wyrażona w t/rok.

BAT-AEPL dla jednostkowego zużycia wody (odlewnie)

BAT-AEPL dla jednostkowego zużycia wody odnoszą się do średnich rocznych obliczonych za pomocą następującego równania:

$$\text{współczynnik zużycia wody} = \frac{\text{współczynnik zużycia wody}}{\text{współczynnik przetwarzania}}$$

gdzie:
współczynnik zużycia wody: całkowita ilość wody zużytej przez zakład z wyłączeniem:

- odzyskanej i ponownie wykorzystanej wody, oraz
- wody chłodzącej używanej w jednoprzepływowych systemach chłodzenia, oraz
- wody do użytku domowego,

wyrażona w m3/rok; oraz

współczynnik przetwarzania: całkowita ilość produktu ciekłego metalu, wyrażona w t/rok.

BAT-AEPL dla określonej ilości odpadów przesyłanych do unieszkodliwienia (odlewnie)

BAT-AEPL dla określonej ilości odpadów przesyłanych do unieszkodliwienia odnoszą się do średnich rocznych obliczonych za pomocą następującego równania:

$$\text{określona ilości odpadów przesyłanych do unieszkodliwienia} = \frac{\text{współczynnik unieszkodliwiania odpadów}}{\text{współczynnik przetwarzania}}$$

gdzie:
współczynnik unieszkodliwiania odpadów: całkowita ilość odpadów przesłanych do unieszkodliwienia, wyrażona w kg/rok; oraz
współczynnik przetwarzania: całkowita ilość produktu ciekłego metalu, wyrażona w t/rok.

Wskaźnikowe poziomy operacyjnej efektywności wykorzystania materiałów (OME) (odlewnie)

Wskaźnikowe poziomy dla OME odnoszą się do średnich rocznych wyrażonych w procentach i obliczonych za pomocą następującego równania:

$$\text{operacyjna efektywność wykorzystania materiałów (OME)} = \frac{\text{współczynnik dobrej jakości odlewania}}{\text{współczynnik przetwarzania}} \; x \; 100$$

gdzie:
współczynnik dobrej jakości odlewania: całkowita liczba ostatecznych odlewów wyprodukowanych w instalacji bez wad, wyrażona w t/rok; oraz
współczynnik przetwarzania: całkowita ilość produktu ciekłego metalu, wyrażona w t/rok.

BAT-AEPL dla ponownego wykorzystania masy/piasku (odlewnie)

BAT-AEPL dla ponownego wykorzystania masy odnoszą się do średnich rocznych wyrażonych w procentach i obliczonych przy użyciu następującego równania:

$$\text{współczynnik ponownego wykorzystania masy/piasku} = \frac{\text{ilość ponownie wykorzystanej masy}}{\text{całkowita ilość wykorzystanej masy}} \; x \; 100$$

gdzie:
ilość ponownie wykorzystanej masy: całkowita ilość ponownie wykorzystanej masy/piasku pochodząca z odświeżania lub regeneracji, wyrażona w t/rok;
całkowita ilość wykorzystanej masy: całkowita ilość wykorzystanej masy/piasku, wyrażona w t/rok.

4.1 Ogólne konkluzje dotyczące BAT

4.1.1 Ogólna efektywność środowiskowa

BAT 1. Aby poprawić ogólną efektywność środowiskową, BAT ma opracować i wdrożyć system zarządzania środowiskowego (EMS) uwzględniający wszystkie poniższe 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 oraz zdrowia ludzkiego, jak również mających zastosowanie przepisów prawa dotyczących ochrony środowiska;
iii. opracowanie polityki ochrony środowiska, która obejmuje 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 niezbędnych zasobów finansowych i ludzkich;
vii. zapewnienie niezbędnej wiedzy oraz umiejętności personelu, którego praca może mieć wpływ na efektywność środowiskową instalacji (np. poprzez dostarczenie informacji czy przeprowadzanie szkoleń);
viii. komunikację wewnętrzną oraz zewnętrzną;
ix. wspieranie zaangażowania pracowników w dobre praktyki zarządzania środowiskowego;
x. opracowanie, stosowanie oraz aktualizowanie podręcznika zarządzania oraz pisemnych procedur służących kontroli działań o znaczącym wpływie na środowisko, jak również odpowiednich zapisów;
xi. skuteczne planowanie oraz kontrola procesów;
xii. wdrożenie odpowiednich programów obsługi technicznej;
xiii. przygotowanie protokołów gotowości i reagowania na sytuacje kryzysowe, w tym zapobiegania niekorzystnym skutkom (środowiskowym) sytuacji kryzysowych i/lub ich łagodzenia;
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 raporcie referencyjnym dotyczącym Monitorowania emisji do powietrza i wody z instalacji objętych Dyrektywą IED;
xvi. regularne stosowanie sektorowej analizy porównawczej (benchmarking);
xvii. okresowe i 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. ocenę przyczyn niezgodności, wdrożenie działań naprawczych w odpowiedzi na zidentyfikowane niezgodności, przegląd skuteczności działań naprawczych oraz ustalenie, czy podobne niezgodności istnieją lub mogą potencjalnie wystąpić;
xix. okresowy przegląd EMS przeprowadzany przez kadrę kierowniczą wyższego szczebla pod kątem jego ciągłej przydatności, adekwatności i skuteczności;
xx. śledzenie i uwzględnianie rozwoju "czystszych" technik.

W odniesieniu do sektora kuźni i odlewni w BAT w systemie zarządzania środowiskowego należy również

uwzględnić następujące elementy:

xxi. wykaz materiałów wsadowych i produktów (zob. BAT 2);

xxii. system zarządzania chemikaliami (zob. BAT 3);

xxiii. plan zapobiegania wyciekom i rozlaniu oraz ich kontroli (zob. BAT 4 lit. a)); xxiv. plan zarządzania warunkami innymi niż normalne warunki eksploatacji (zob. BAT 5);

xxv. plan racjonalizacji zużycia energii i audyty energetyczne (zob. BAT 7 lit. a)); xxvi. plan gospodarowania wodą i audyty gospodarki wodnej (zob. BAT 35 lit. a));

xxvii. plan zarządzania hałasem i/lub wibracjami (zob. BAT 8);

xxviii. plan gospodarowania pozostałościami (zob. BAT 10);

xxix. plan zarządzania odorami w odlewniach (zob. BAT 32).

Uwaga

W rozporządzeniu Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1221/2009 ustanowiono system ekozarządzania i audytu w Unii Europejskiej, który stanowi przykład EMS spójnego z niniejszymi BAT.

Zakres stosowania

Poziom szczegółowości oraz stopień formalizacji EMS będzie zasadniczo zależeć od charakteru, skali i złożoności instalacji oraz od stopnia jej potencjalnego wpływu na środowisko.

BAT 2. W celu poprawy ogólnej efektywności środowiskowej w ramach BAT należy ustanowić i prowadzić wykaz materiałów wsadowych i produktów, a także dokonywać regularnych przeglądów tego wykazu (w tym w przypadku wystąpienia istotnej zmiany), jako część EMS (zob. BAT 1**), obejmujący wszystkie następujące elementy:**

(i) informacje na temat procesów produkcji, w tym:

a) uproszczone schematy sekwencji procesów pokazujące pochodzenie emisji do powietrza, wody i gleby;

b) opisy technik zintegrowanych z procesem oraz metod oczyszczania ścieków/gazów odlotowych w celu zapobiegania emisjom lub ich ograniczania, w tym ich skuteczności (np. skuteczność redukcji);

(ii) informacje o ilości i charakterystyce surowców (np. złom, materiały wsadowe, piasek) i paliw (np. koks) wykorzystywanych w procesie;

(iii) informacje o zużyciu i wykorzystaniu wody (np. schematy przepływu i bilans masy wody);

(iv) informacje o zużyciu i wykorzystaniu energii;

(v) informacje o charakterystyce strumieni ścieków, takie jak:

a) średnie wartości i zmienność przepływu, pH, temperatury i przewodności;

b) średnie stężenia i wartości przepływu masowego odpowiednich substancji/parametrów (np. zawiesina ogólna, ogólny węgiel organiczny (OWO) lub chemiczne zapotrzebowanie na tlen (ChZT), wskaźnik zawartości węglowodorów, metale) oraz ich zmienność;

(vi) informacje o ilości i charakterystyce stosowanych w procesie chemikaliów (chemikaliów technologicznych), takie jak:

a) identyfikacja i charakterystyka stosowanych chemikaliów, w tym właściwości mające niekorzystny wpływ na środowisko i/lub zdrowie ludzi;

b) ilości stosowanych chemikaliów i miejsce ich stosowania;

(vii) informacje o charakterystyce strumieni gazów odlotowych, takie jak:

a) średnie wartości oraz zmienność przepływu i temperatury;

b) średnie wartości stężenia i przepływu masowego odpowiednich substancji (np. pył, NOX, SO2, CO, metale) oraz ich zmienność;

c) obecność innych substancji, które mogą mieć wpływ na system oczyszczania gazów odlotowych (np. tlen, azot, para wodna) lub bezpieczeństwo instalacji;

d) obecność substancji sklasyfikowanych jako CMR 1A, CMR 1B lub CMR 2; obecność takich substancji można na przykład ocenić zgodnie z kryteriami rozporządzenia (WE) nr 1272/2008 w sprawie

klasyfikacji, oznakowania i pakowania (CLP);
(viii) informacje na temat ilości i właściwości wytworzonych pozostałości.

Stosowanie

Poziom szczegółowości i stopień sformalizowania wykazu będą zasadniczo związane z charakterem, skalą i złożonością instalacji oraz zakresem jej potencjalnego oddziaływania na środowisko.

BAT 3. Aby poprawić ogólną efektywność środowiskową, w ramach BAT należy opracować i wdrożyć system zarządzania chemikaliami jako część EMS (zob. BAT 1**) zawierający wszystkie następujące cechy:**

(i) Politykę mającą na celu zmniejszanie zużycia i ryzyka związanego z chemikaliami technologicznymi, w tym politykę zamówień publicznych, której celem jest wybór mniej szkodliwych chemikaliów technologicznych i ich dostawców, tak aby zminimalizować użycie i ryzyko związane z substancjami stwarzającymi zagrożenie oraz substancjami stanowiącymi bardzo duże zagrożenie, jak również uniknąć zamawiania nadmiernej ilości chemikaliów technologicznych. Przy wyborze chemikaliów technologicznych uwzględnia się:

a) analizę porównawczą ich bioeliminacji/biodegradowalności, ekotoksyczności i możliwości uwolnienia do środowiska, w celu ograniczenia emisji do środowiska;
b) charakterystykę ryzyka związanego z chemikaliami technologicznymi, na podstawie klasyfikacji chemikaliów pod względem zagrożeń, dróg przemieszczania się przez zakład, potencjalnego uwolnienia i poziomu narażenia;
c) potencjał odzysku i ponownego użycia (zob. BAT 17 (f));
d) regularną (np. coroczną) analizę możliwości zastąpienia, aby określić potencjalnie nowe, dostępne i bezpieczniejsze alternatywy dla stosowania substancji stwarzających zagrożenie i substancji stanowiących bardzo duże zagrożenie; można to osiągnąć przez zmianę procesu(-ów) lub zastosowanie innych chemikaliów technologicznych, które nie mają wpływu na środowisko lub mają na nie mniejszy wpływ (zob. BAT 11 dla odlewni);
e) prewencyjne monitorowanie zmian regulacyjnych związanych z substancjami stwarzającymi zagrożenie oraz substancjami stanowiącymi bardzo duże zagrożenie i zapewnienie zgodności z obowiązującymi wymogami prawnymi.

Informacje potrzebne do wyboru chemikaliów technologicznych można dostarczać i przechowywać, korzystając z wykazu chemikaliów technologicznych (zob. BAT 2 (vi.)).

(ii) Cele i plany działania mające na celu uniknięcie lub ograniczenie stosowania substancji stwarzających zagrożenie i substancji stanowiących bardzo duże zagrożenie oraz ryzyka z nimi związanego.
(iii) Opracowanie i wdrożenie procedur nabywania, obsługi, przechowywania i stosowania chemikaliów technologicznych, usuwania odpadów zawierających chemikalia technologiczne oraz zwrotu niewykorzystanych chemikaliów technologicznych w celu zapobiegania emisjom do środowiska lub ich ograniczania (np. zob. BAT 4).

Stosowanie

Poziom szczegółowości oraz stopień formalizacji systemu zarządzania chemikaliami będzie na ogół zależeć od charakteru, skali i złożoności zespołu urządzeń.

BAT 4. Aby zapobiec emisjom do gleby i wód podziemnych lub ograniczyć te emisje, w ramach BAT należy stosować wszystkie poniższe techniki.

Technika	Opis	Stosowanie

a	Opracowanie i wdrożenie planu zapobiegania wyciekom i rozlaniu oraz ich kontroli	Plan zapobiegania wyciekom i rozlaniu oraz ich kontroli jest częścią EMS (zob. BAT 1) i obejmuje m.in.: • miejscowe plany postępowania w przypadku małych i dużych wycieków, • określenie ról i obowiązków uczestniczących osób, • zagwarantowanie, że pracownicy mają wiedzę na temat ochrony środowiska i zostali przeszkoleni w zakresie zapobiegania przypadkom wycieków i postępowania z nimi, • wskazanie miejsc, w których istnieje ryzyko rozlania i/lub wycieku materiałów stwarzających zagrożenie i substancji stanowiących bardzo duże zagrożenie, i uszeregowanie ich według ryzyka, • wskazanie odpowiednich urządzeń zabezpieczających przed wyciekami i służących do ich likwidacji oraz • regularne sprawdzanie, czy urządzenia te są dostępne, są w dobrym stanie technicznym i znajdują się blisko punktów, w których takie zdarzenia mogą wystąpić, • wytyczne dotyczące gospodarowania odpadami do celów postępowania z odpadami pochodzącymi z kontroli wycieków, • regularne (prowadzone co najmniej raz na rok) inspekcje w miejscach magazynowania i przeładunku, • testowanie i kalibracja urządzeń służących do wykrywania nieszczelności i niezwłoczne usuwanie wycieków z zaworów, dławików, kołnierzy itp.	Poziom szczegółowości planu będzie zasadniczo zależeć od charakteru, skali i złożoności zakładu, jak również od rodzaju i ilości wykorzystywanych cieczy.
	Ustrukturyzowanie stref produkcyjnych i składów surowców oraz zarządzanie nimi	• Obejmuje to techniki takie jak: • nieprzepuszczalne (na przykład spiekane) podłogi w przypadku stref produkcyjnych oraz składów złomu/ wsadu; • oddzielne składowanie różnych rodzajów surowców, w pobliżu linii produkcyjnych; można to osiągnąć na przykład za pomocą skrzyń lub komór w strefach składowania, bunkrach.	Zastosowanie ogólne
	Zapobieganie zanieczyszczeniu spływów powierzchniowych	• Obszary produkcyjne i/lub obszary, na których są składowane lub przetwarzane chemikalia technologiczne, pozostałości lub odpady, są zabezpieczone przed spływami powierzchniowymi. Uzyskuje się to dzięki zastosowaniu co najmniej następujących technik: • kanałów odwadniających i/lub zewnętrznych obwałowań wokół zakładu, zadaszenia z orynnowaniem stref produkcyjnych i/lub stref składowania	Zastosowanie ogólne
	Gromadzenie potencjalnie zanieczyszczonych spływów powierzchniowych	Spływ powierzchniowy z obszarów potencjalnie zanieczyszczonych gromadzony jest oddzielnie; zgromadzone ścieki są odprowadzane dopiero po podjęciu odpowiednich działań, np. monitorowania, oczyszczania, ponownego wykorzystania.	Zastosowanie ogólne

	Bezpieczne obchodzenie się z chemikaliami technologicznymi i ich składowanie	• Obejmuje to następujące czynności: składowanie w zadaszonych i wentylowanych obszarach z podłogami nieprzepuszczalnymi dla danych cieczy;stosowanie szczelnych koryt olejowych (tac) lub zbiorników do stacji hydraulicznych i urządzeń smarowanych olejem lub smarem;zbieranie rozlanego płynu;obszary załadunku/rozładunku chemikaliów technologicznych, smarów i powłok itp. są zaprojektowane i skonstruowane w taki sposób, aby potencjalne wycieki i rozlania były ograniczane i przekazywane do utylizacji na miejscu (zob. BAT 36) lub poza terenem zakładu.ciecze wysoce łatwopalne (np. mrówczan metylu, TEA, DMEA, powłoki form zawierające alkohol) są składowane oddzielnie od substancji wzajemnie niezgodnych (np. utleniaczy) w zamkniętych i dobrze wentylowanych miejscach składowania.	Zastosowanie ogólne
	Dobre gospodarowanie	Zestaw środków mających na celu zapobieganie wytwarzaniu emisji lub ich ograniczanie (np. regularna konserwacja i czyszczenie urządzeń, powierzchni roboczych, podłóg i tras transportowych oraz ograniczanie rozprzestrzeniania się, a także niezwłoczne usuwanie wszelkich rozlań).	Zastosowanie ogólne

BAT 5. Aby ograniczyć częstość występowania warunków innych niż normalne warunki eksploatacji oraz emisje w warunkach innych niż normalne warunki eksploatacji (OTNOC), w ramach BAT należy opracować i wdrożyć oparty na analizie ryzyka plan zarządzania w warunkach innych niż normalne warunki eksploatacji będący częścią EMS (zob. BAT 1**), który obejmuje wszystkie następujące elementy:**

i. identyfikacja potencjalnych OTNOC (np. awaria urządzeń o krytycznym znaczeniu dla ochrony środowiska („urządzenia o krytycznym znaczeniu")), ich przyczyn i potencjalnych konsekwencji;
ii. odpowiednia konstrukcja urządzeń o krytycznym znaczeniu (np. urządzeń do oczyszczania gazów odlotowych, ścieków);
iii. opracowanie i wdrożenie planu inspekcji i programu zapobiegawczej konserwacji urządzeń o krytycznym znaczeniu (zob. BAT 1 pkt (xii));
iv. monitorowanie (tj. oszacowanie lub, o ile to możliwe, zmierzenie) i rejestrowanie emisji w warunkach innych niż normalne warunki eksploatacji i związanych z nimi okoliczności;
v. okresowa ocena emisji w warunkach innych niż normalne warunki eksploatacji (np. częstość występowania zdarzeń, czas ich trwania, ilość wyemitowanych zanieczyszczeń) oraz, w stosownych przypadkach, wdrażanie działań naprawczych;
vi. regularny przegląd i aktualizacja wykazu zidentyfikowanych warunków innych niż normalne warunki eksploatacji w ramach pkt (i) po dokonaniu okresowej oceny zgodnie z pkt (v);
vii. regularne testowanie systemów zapasowych.

Stosowanie

Poziom szczegółowości oraz stopień formalizacji planu zarządzania OTNOC będzie zasadniczo zależeć od charakteru, skali i złożoności zakładu oraz od stopnia jego potencjalnego wpływu na środowisko.

4.1.2 Monitorowanie

BAT 6. W ramach BAT należy monitorować co najmniej raz w roku:

- zużycie wody, energii i użytych materiałów, w tym chemikaliów technologicznych, wyrażone jako średnia roczna;

- ilość wytwarzanych ścieków, wyrażoną jako średnia roczna;
- ilość każdego rodzaju materiałów odzyskanych, poddanych recyklingowi i/lub ponownie wykorzystanych, wyrażoną jako średnia roczna;
- ilość każdego rodzaju wytworzonych pozostałości i każdego rodzaju odpadów przekazanych do unieszkodliwienia, wyrażoną jako średnia roczna.

Opis

Jeżeli chodzi o monitorowanie, preferowane są pomiary bezpośrednie. Można również stosować obliczenia lub zapisy, np. przy użyciu odpowiednich mierników lub faktur. Monitorowanie odbywa się na najbardziej odpowiednim poziomie (np. na poziomie procesu lub zakładu) i uwzględnia się w nim wszelkie istotne zmiany w procesie lub zespole urządzeń.

4.1.3 Efektywność energetyczna

BAT 7. Aby zwiększyć ogólną efektywność energetyczną zakładu, w ramach BAT należy stosować wszystkie poniższe techniki.

Technika		Opis	Stosowanie
Techniki zarządzania			
a.	Plan efektywności energetycznej (racjonalizacji zużycia energii elektrycznej) oraz audyty	Plan efektywności energetycznej (racjonalizacji zużycia energii) stanowi część EMS (zob. BAT 1) i obejmuje definiowanie i monitorowanie jednostkowego zużycia energii w ramach działalności/procesów (np. kWh/t ciekłego metalu), wyznaczanie celów w zakresie efektywności energetycznej oraz wdrażanie działań służących osiągnięciu tych celów. Audyty (które również stanowią część EMS, zob. BAT 1) przeprowadza się co najmniej raz w roku, aby zapewnić osiągnięcie celów planu racjonalizacji zużycia energii oraz przeprowadzenie działań następczych w związku z zaleceniami z audytów i wdrażanie tych zaleceń. Plan efektywności energetycznej (racjonalizacji zużycia energii) można włączyć do ogólnego planu racjonalizacji zużycia energii większej instalacji (np. do działalności związanej z obróbką powierzchniową).	Poziom szczegółowości planu efektywności energetycznej (racjonalizacji zużycia energii), audytów energetycznych i rejestru bilansu energetycznego będzie zasadniczo zależeć od charakteru, skali i złożoności zakładu oraz od rodzajów wykorzystywanych źródeł energii.
b.	Rejestr bilansu energetycznego	Sporządzanie raz na rok rejestru bilansu energetycznego, który przedstawia podział zużycia i wytwarzania energii (w tym oddawania energii) według rodzaju źródła energii, na przykład: • zużycie energii: energii elektrycznej, gazu ziemnego, energii ze źródeł odnawialnych, pobranego ciepła i/lub chłodzenia; • wytwarzanie energii energii elektrycznej i/lub pary. Obejmuje to: • określenie granic energetycznych procesów; • informacje o zużyciu energii pod względem energii dostarczonej • informacje o energii oddawanej z zakładu na zewnątrz; • informacje o przepływie energii (np. wykresy Sankeya lub bilanse energetyczne) pokazujące, w jaki sposób energia jest wykorzystywana w procesach.	
Wybór i optymalizacja procesów i sprzętu			
c.	Stosowanie ogólnych technik oszczędzania energii	Obejmuje to techniki takie jak: • konserwację i kontrolę palników; • energooszczędne silniki; • energooszczędne oświetlenie;	Zastosowanie ogólne

Technika		Opis	Stosowanie
Techniki zarządzania			
		• optymalizację systemów dystrybucji pary wodnej i sprężonego powietrza; • regularną kontrolę i konserwację systemów dystrybucji pary w celu zapobiegania wyciekom pary lub ich ograniczania; • systemy kontroli procesów; • napędy o zmiennej prędkości; • • optymalizację klimatyzacji i ogrzewania budynku.	

Dalsze sektorowe techniki zwiększania efektywności energetycznej podano w Sekcjach 4.2.1.3, 4.2.2.1, 4.2.4.1 i 4.3.1 niniejszych konkluzji BAT.

4.1.4 Hałas i wibracje

BAT 8. W celu zapobiegania występowaniu emisji hałasu i wibracji lub, jeżeli jest to niemożliwe, ich ograniczenia, w ramach BAT należy opracować, wdrożyć i regularnie weryfikować plan zarządzania hałasem i/lub wibracjami w ramach EMS (zob. BAT 1), który obejmuje wszystkie następujące elementy:

- protokół zawierający odpowiednie działania i harmonogramy;
- protokół monitorowania emisji hałasu i/lub wibracji;
- protokół reagowania na stwierdzone przypadki wystąpienia hałasu i wibracji, np. zarządzanie skargami i/lub podejmowanie działań naprawczych;
- program ograniczania hałasu i/lub wibracji mający na celu identyfikację źródeł, pomiar lub oszacowanie narażenia na hałas i/lub wibracje, określenie udziału poszczególnych źródeł i wdrożenie środków zapobiegawczych i/lub ograniczających.

Stosowanie

Zastosowanie ogranicza się do przypadków, w których oczekuje się, że w obiektach wrażliwych odczuwana będzie i/ lub zostanie uzasadniona dokuczliwość hałasu i/lub wibracji.

BAT 9. 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	Stosowanie
a.	Właściwa lokalizacja urządzeń i budynków	Zwiększenie odległości między źródłem emisji a punktem odbioru dzięki wykorzystaniu budynków jako ekranów chroniących przed hałasem oraz przemieszczeniu urządzeń i/lub zmianie otworów w budynkach.	W przypadku istniejących zakładów przenoszenie sprzętu i otworów w budynkach może nie mieć zastosowania z powodu braku miejsca i/ lub nadmiernych kosztów.

Technika		Opis	Stosowanie
b.	Środki operacyjne	Obejmuje to co najmniej następujące elementy: • kontrolę i konserwację urządzeń; • w miarę możliwości, zamykanie drzwi i okien na terenach zamkniętych lub zastosowanie drzwi samozamykających się; • obsługę urządzeń przez doświadczony personel; • w miarę możliwości, unikanie przeprowadzania hałaśliwych czynności w nocy; • zapewnienie ograniczenia emisji hałasu podczas produkcji i czynności konserwacyjnych, transportu i manipulowania wsadem i materiałami, np. zmniejszenie liczby operacji przewozu materiałów, zmniejszenie wysokości, z której części spadają na twarde powierzchnie.	Zastosowanie ogólne
c.	Urządzenia o niskim poziomie emisji hałasu	Obejmuje to silniki napędu bezpośredniego; sprężarki, pompy i wentylatory o niskiej emisji hałasu; urządzenia transportowe o niskiej emisji hałasu.	
d.	Urządzenia do kontroli hałasu	Obejmuje to techniki takie jak: • stosowanie reduktorów hałasu; • stosowanie izolacji akustycznej urządzeń; • obudowanie hałaśliwych urządzeń i procesów (np. rozładunek surowców, młotkowanie, sprężarki, wentylatory, wybijanie odlewu z formy, wykańczanie); • stosowanie materiałów budowlanych o wysokiej izolacyjności akustycznej (np. do budowy ścian, dachów, okien, drzwi).	Zastosowanie do istniejących zakładów może być ograniczone ze względu na brak miejsca.
e.	Ograniczenie/redukcja hałasu	Umieszczenie bariery między źródłami emisji a punktami odbioru (np. chroniące przed hałasem ściany, nasypy).	Ma zastosowanie jedynie do istniejących zakładów, ponieważ konstrukcja nowych zakładów powinna sprawić, że technika ta stanie się zbędna. W przypadku istniejących zakładów umieszczanie barier może nie mieć zastosowania ze względu na brak miejsca.

4.1.5 Pozostałości

BAT 10. Aby zwiększyć efektywność wykorzystania materiałów i zmniejszyć ilość odpadów przekazywanych do unieszkodliwienia, w ramach BAT należy opracować, wdrożyć i regularnie weryfikować plan gospodarowania pozostałościami.

Opis

Plan gospodarowania pozostałościami stanowi część EMS (zob. BAT 1) i zawiera zbiór środków mających na celu:

I. ograniczenie wytwarzania pozostałości do minimum;

II. optymalizację ponownego użycia, recyklingu i/lub odzysku pozostałości, oraz III. zapewnienie właściwego unieszkodliwiania odpadów.

Plan gospodarowania pozostałościami można włączyć do ogólnego planu gospodarowania pozostałościami w większej instalacji (np. do działalności związanej z obróbką powierzchniową).

Stosowanie

Poziom szczegółowości oraz stopień formalizacji planu gospodarowania pozostałościami będzie zasadniczo zależeć od charakteru, skali i złożoności zakładu.

4.2 Konkluzje dotyczące BAT w odniesieniu do odlewni

Konkluzje dotyczące BAT przedstawione w niniejszej sekcji nie mają zastosowania do odlewni kadmu, tytanu i metali szlachetnych, ani do odlewów dzwonów i odlewów artystycznych.

4.2.1 Ogólne konkluzje dotyczące BAT w odniesieniu do odlewni

Konkluzje dotyczące BAT przedstawione w niniejszej sekcji mają zastosowanie w uzupełnieniu do ogólnych konkluzji dotyczących BAT podanych w Sekcji 4.1.

4.2.1.1 Substancje stwarzające zagrożenie i substancje stanowiące bardzo duże zagrożenie

BAT 11. Aby zapobiec stosowaniu lub ograniczyć stosowanie substancji stwarzających zagrożenie i substancji stanowiących bardzo duże zagrożenie podczas wykonywania form oraz rdzeni z wykorzystaniem masy wiązanej chemicznie, w ramach BAT należy stosować substancje alternatywne, które nie są niebezpieczne lub są mniej niebezpieczne.

Opis

Substancje stwarzające zagrożenie i substancje stanowiące bardzo duże zagrożenie stosowane podczas wykonywania form oraz rdzeni zastępuje się substancjami niezaliczanymi do substancji stwarzających zagrożenie lub – jeżeli nie jest to możliwe – substancjami stwarzającymi mniejsze zagrożenie, wykorzystując na przykład:

- alifatyczne spoiwa organiczne (zamiast aromatycznych) przy wykonywaniu form i rdzeni (zob. BAT 25 lit. d), e) i f));
- rozpuszczalniki niearomatyczne do wytwarzania rdzeni w procesie zimnej rdzennicy (zob. BAT 25 lit. j));
- spoiwa nieorganiczne przy wykonywaniu form i rdzeni (zob. BAT 25 lit. d), e) i f));
- powłoki na bazie wody przy wykonywaniu form i rdzeni (zob. BAT 25 lit. l)).

4.2.1.2 Monitorowanie emisji

4.2.1.2.1 Monitorowanie emisji do powietrza

BAT 12. W ramach BAT należy monitorować emisje zorganizowane do powietrza co najmniej z podaną poniżej częstotliwością i zgodnie z normami EN. Jeżeli normy EN są niedostępne, w ramach BAT należy stosować normy ISO, normy krajowe lub inne normy międzynarodowe zapewniające uzyskanie danych o równoważnej jakości naukowej.

Substancja/ Parametr	**Proces(y) /źródło(a)**	Rodzaj **odlewni/pieca**	**Normy**	**Minimalna częstotliwość monitorowania** (1)	**Monitorowanie powiązane z**
Aminy	Wykonywanie form przy użyciu pełnych form i wykonywanie rdzeni (2)	Wszystkie	Brak normy EN	Raz w roku	BAT 26
Benzen	Wykonywanie form przy użyciu pełnych form i wykonywanie rdzeni (3)	Wszystkie	Brak normy EN		BAT 26

Substancja/ Parametr	**Proces(y) /źródło(a)**	Rodzaj **odlewni/pieca**	**Normy**	**Minimalna częstotliwość monitorowania** (1)	**Monitorowanie powiązane z**
	Odlewanie, chłodzenie i wybijanie przy użyciu pełnych form, w tym procesu pełnej formy (3)				BAT 27
B[a]P	Topienie metali (4)	Żeliwo	Brak normy EN	Raz w roku	-
Tlenek węgla CO	Obróbka termiczna (5)	Wszystkie	EN 15058	Raz na rok	BAT 24
	Topienie metali	Żeliwo CBC, HBC i piece obrotowe			BAT 38
		NFM (5)			BAT 43
Pył	Obróbka termiczna (4)	Wszystkie	EN 13284-1 (7) (8)	Raz w roku	BAT 24
	Topienie metali			Raz w roku (6)	BAT 38 BAT 40 BAT 43
	Sferoidyzacja (9)	Żeliwo		Raz w roku	BAT 39
	Rafinacja	Stal			BAT 41
	Wykonywanie przy użyciu pełnych form i wykonywanie rdzeni	Wszystkie			BAT 26
	Odlewanie, chłodzenie i wybijanie przy użyciu pełnych form, w tym proces pełnej formy	Wszystkie			BAT 27
	Wykańczanie	Wszystkie			BAT 30
	Odlewanie metodą pełnej formy	Żeliwo i NFM			BAT 28
	Odlewanie w formach trwałych	Wszystkie			BAT 29
	Ponowne wykorzystanie masy/piasku	Wszystkie			BAT 31
Formaldehyd (4)	Wykonywanie przy użyciu pełnych form i wykonywanie rdzeni	Wszystkie	Trwają prace na normą EN	Raz w roku	BAT 26

Substancja/ Parametr	Proces(y) /źródło(a)	Rodzaj odlewni/pieca	Normy	Minimalna częstotliwość monitorowania (1)	Monitorowanie powiązane z
	Odlewanie, chłodzenie i wybijanie przy użyciu pełnych form, w tym proces pełnej formy			Raz w roku	BAT 27
Chlorki gazowe	Topienie metali	Żeliwo: CBC, HBC i piece obrotowe (4)	EN 1911	Raz na rok	BAT 38
		Aluminium (4)			BAT 43
Fluorki gazowe	Topienie metali	Żeliwo: CBC, HBC i piece obrotowe (4)	Trwają prace na normą EN		BAT 38
		Aluminium			BAT 43
Kadm i jego związki	Odlewanie, chłodzenie i wybijanie przy użyciu pełnych form, w tym proces pełnej formy (4)	Wszystkie	EN 14385	Raz na rok	-
	Topienie metali	Wszystkie		Raz w roku	-
	Wykańczanie (4)	Wszystkie		Raz w roku	-
Chrom i jego związki	Odlewanie, chłodzenie i wybijanie przy użyciu pełnych form, w tym proces pełnej formy (4)	Wszystkie		Raz w roku	-
	Topienie metali (4)	Wszystkie		Raz w roku	-
	Wykańczanie (4)	Wszystkie		Raz w roku	-
Nikiel i jego związki	Odlewanie, chłodzenie i wybijanie przy użyciu pełnych form, w tym proces pełnej formy (4)	Wszystkie		Raz w roku	-
	Topienie metali (4)	Wszystkie		Raz w roku	-
	Wykańczanie (4)	Wszystkie		Raz w roku	-
Ołów i jego związki	Odlewanie, chłodzenie i wybijanie przy użyciu pełnych form, w tym procesu pełnej formy (4)	Wszystkie		Raz w roku	-
	Topienie metali	Żeliwo CBC i HBC (4)		Raz w roku	BAT 38
		NFM (10)			BAT 43

Substancja/ Parametr	**Proces(y) /źródło(a)**	Rodzaj **odlewni/pieca**	**Normy**	**Minimalna częstotliwość monitorowania** [1]	**Monitorowanie powiązane z**
	Odlewanie w formach trwałych	Ołów		Raz w roku	BAT 29
	Wykańczanie [4]	Wszystkie		Raz w roku	-
Cynk i jego związki	Topienie metali [4]	Wszystkie		Raz w roku	-
Tlenki azotu NOx	Obróbka termiczna [5]	Wszystkie	EN 14792	Raz w roku	BAT 24
	Regeneracja termiczna masy/piasku, z wyjątkiem masy pochodzącej z procesu zimnej rdzennicy [5]	Wszystkie			BAT 31
	Regeneracja termiczna masy/piasku pochodzącej z procesu zimnej rdzennicy				
	Topienie metali	Żeliwo CBC, HBC i piece obrotowe			BAT 38
		NFM [5]			BAT 43
PCDD/F	Topienie metali	Żeliwo CBC, HBC i piece obrotowe	EN 1948-1, EN 1948-2, EN 1948-3		BAT 38
		Żeliwo Indukcja [4]			BAT 38
		Stal i NFM [4]			BAT 40 BAT 43
Fenol	Wykonywanie form przy użyciu pełnych form i wykonywanie rdzeni [11]	Wszystkie	Brak normy EN	Raz w roku	BAT 26
	Odlewanie, chłodzenie i wybijanie przy użyciu pełnych form, w tym procesu pełnej formy [11]				BAT 27
Dwutlenek siarki (SO_2)	Regeneracja termiczna masy/piasku, w której zastosowano katalizatory kwasu sulfonowego	Wszystkie	EN 14791	Raz na rok	BAT 31
	Topienie metali	Żeliwo CBC, HBC i piece obrotowe			BAT 38
		NFM [5] [12]			BAT 43

Substancja/ Parametr	Proces(y) /źródło(a)	Rodzaj **odlewni/pieca**	Normy	Minimalna częstotliwość monitorowania (1)	Monitorowanie powiązane z
Całkowita zawartość lotnego węgla organicznego (całkowite LZO)	Wykonywanie przy użyciu pełnych form i wykonywanie rdzeni	Wszystkie	EN 12619	Raz w roku	BAT 26
	Odlewanie metodą pełnej formy				BAT 28
	Odlewanie, chłodzenie i wybijanie przy użyciu pełnych form, w tym proces pełnej formy				BAT 27
	Ponowne wykorzystanie masy/piasku				BAT 31
	Topienie metali	Żeliwo			BAT 38
		Stal i NFM (4)			-
	Odlewanie w formach trwałych (13)	Wszystkie (4)			BAT 29

(1) W miarę możliwości pomiary są przeprowadzane w najwyższym oczekiwanym stanie emisji w normalnych warunkach eksploatacji.
(2) Monitorowanie ma zastosowanie tylko w procesie zimnej rdzennicy, gdy stosowane są aminy.
(3) Monitorowanie ma zastosowanie tylko wtedy, gdy stosowane są aromatyczne spoiwa/chemikalia lub proces pełnej formy.
(4) Monitorowanie ma zastosowanie tylko wtedy, gdy daną substancję/dany parametr zidentyfikowano jako istotne w strumieniu gazów odlotowych na podstawie wykazu materiałów wsadowych i produktów, o którym mowa w BAT 2.
(5) Monitorowanie nie ma zastosowania, gdy wykorzystywana jest wyłącznie energia elektryczna.
(6) W przypadku każdego komina, który jest połączony z żeliwiakiem i ma przepływ masowy pyłu > 0,5 kg/h, stosuje się ciągłe monitorowanie.
(7) W przypadku pomiarów ciągłych zastosowanie mają natomiast następujące normy ogólne EN: EN 15267-1, EN 15267-2, EN 15267-3 i EN 14181.
(8) W przypadku pomiarów ciągłych zastosowanie ma również norma EN 13284-2. (9) Monitorowanie nie ma zastosowania, gdy stosuje się BAT 39 (a).
(10) Monitorowanie ma zastosowanie wyłącznie do odlewni ołowiu lub do innych odlewni NFM wykorzystujących ołów jako pierwiastek stopowy.
(11) Monitorowanie ma zastosowanie tylko wtedy, gdy stosuje się systemy spoiw na bazie fenolu.
(12) Monitorowanie nie ma zastosowania, gdy wykorzystywany jest wyłącznie gaz ziemny.
(13) Monitorowanie ma zastosowanie tylko wtedy, gdy stosuje się rdzenie z masą wiązaną chemicznie

4.2.1.2.2 Monitorowanie emisji do wody

BAT 13. W ramach BAT należy monitorować emisje do wody co najmniej z podaną poniżej częstotliwością i zgodnie z normami EN. Jeżeli normy EN są niedostępne, w ramach BAT należy stosować normy ISO, normy krajowe lub inne normy międzynarodowe zapewniające uzyskanie danych o równoważnej jakości naukowej.

Substancja/parametr		Proces	Normy	Minimalna częstotliwość monitorowania (1)	Monitorowanie powiązane z
Adsorbowalne związki chloroorganiczne (AOX) (2)		Ścieki z oczyszczania na mokro gazów odlotowych z żeliwiaków	EN ISO 9562	Raz na 3 miesiące (3)	BAT 36
Biochemiczne zapotrzebowanie tlenu (BZT5) (3)		Odlewanie ciśnieniowe, oczyszczanie gazów odlotowych (np. oczyszczanie na mokro), wykańczanie, obróbka termiczna, zanieczyszczone spływy powierzchniowe, chłodzenie bezpośrednie, regeneracja masy na mokro i granulacja żużla odlewniczego z żeliwiaków.	Dostępne różne normy EN (np. EN 1899-1, EN ISO 5815)		
Chemiczne zapotrzebowanie tlenu (ChZT) (3) (4)			Brak normy EN		
Indeks oleju węglowodorowego (HOI) (2)			EN ISO 9377-2		
Metale / metaloidy	Arsen (As) (2)		Dostępne różne normy EN (np. EN ISO 11885, EN ISO 15586, EN ISO 17294-2)		
	Kadm (Cd) (2)				
	Chrom (Cr) (2)				
	Miedź (Cu) (2)				
	Żelazo (Fe) (2)				
	Ołów (Pb) (2)				
	Nikiel (Ni) (2)				
	Cynk (Zn) (2)				
	Rtęć (Hg) (2)		Dostępne są różne normy EN (np. EN ISO 12846, EN ISO 17852)		
Indeks fenolowy (5)			EN ISO 14402		
Azot całkowity (TN) (3)			Dostępne są różne normy EN (np. EN 12260, EN ISO 11905-1)		
Ogólny węgiel organiczny (TOC) (3) (4)			EN 1484		
Zawiesina ogólna (TSS) (3)			EN 872		

(1) W przypadku zrzutu partiami, który ma miejsce rzadziej niż minimalna częstotliwość monitorowania, monitorowanie przeprowadza się raz dla każdej partii.
(2) Monitorowanie ma zastosowanie tylko wtedy, gdy daną substancję/dany parametr zidentyfikowano jako istotne w strumieniu ścieków na podstawie wykazu materiałów wsadowych i produktów, o którym mowa w BAT 2.
(3) W przypadku pośredniego zrzutu minimalną częstotliwość monitorowania można ograniczyć do monitorowania raz na 6 miesięcy, jeśli oczyszczalnia ścieków jest odpowiednio zaprojektowana i wyposażona, aby przeprowadzać redukcję danych zanieczyszczeń.
(4) Monitorowane jest ChZT albo OWO. Monitorowanie OWO jest preferowanym wariantem, ponieważ nie wiąże się z wykorzystaniem bardzo toksycznych związków.
(5) Monitorowanie ma zastosowanie tylko wtedy, gdy stosuje się systemy wiązania fenolowego.

4.2.1.3 Efektywność energetyczna

BAT 14. Aby zwiększyć efektywność energetyczną, w ramach BAT należy stosować techniki wymienione w lit. a)–f) oraz odpowiednią kombinację technik wymienionych w lit. g)–n) poniżej.

Technika		Opis	Stosowanie
		Konstrukcja i działanie	
a.	Wybór energooszczędnego rodzaju pieca	Zob. Sekcja 4.4.1.	Technika ta ma zastosowanie wyłącznie do nowych zakładów i/lub w przypadku znaczącej modernizacji istniejących zakładów.
b.	Techniki maksymalizacji sprawności cieplnej pieców	Zob. Sekcja 4.4.1.	Zastosowanie ogólne
c.	Automatyzacja pieca i sterowanie piecem	Zob. Sekcja 4.4.1.	Zastosowanie ogólne
d.	Wykorzystanie czystego złomu	Zob. Sekcja 4.4.1.	Zastosowanie ogólne
e.	Poprawa wydajności odlewania i zmniejszenie wytwarzania złomu	Zob. Sekcja 4.4.1.	Zastosowanie ogólne
f.	Ograniczenie strat energii/ usprawnienie praktyk wstępnego wygrzewania kadzi	Obejmuje to wszystkie następujące elementy: • stosowanie czystych, wstępnie wygrzanych kadzi; • zamykanie pokryw na kadziach w celu utrzymania ciepła; • stosowanie energooszczędnych technik wstępnego wygrzewania kadzi (np. palników mikroporowatych bezpłomieniowych lub palników tlenowo-paliwowych); • stosowanie (w miarę możliwości) kadzi wyposażonych w osłony utrzymujące ciepło; • ograniczenie do minimum przenoszenia stopu odlewniczego z jednej kadzi do drugiej; • jak najszybsze przenoszenie stopu odlewniczego.	Zastosowanie tej techniki może być ograniczone w przypadku dużych kadzi (np. > 2 t) i kadzi zalewanych syfonowo ze względu na ograniczenia konstrukcyjne.
g.	Spalanie w tlenie (spalanie tlenowo-paliwowe)	Zob. Sekcja 4.4.1.	Zastosowanie tej techniki w istniejących zakładach może być ograniczone konstrukcją pieca i potrzebą zapewnienia minimalnego przepływu gazów odlotowych.
h.	Wykorzystanie mocy o średniej częstotliwości w piecach indukcyjnych	Stosowanie pieców indukcyjnych o średniej częstotliwości (250 Hz) zamiast pieców o częstotliwości sieci zasilającej (50 Hz).	Zastosowanie ogólne
i.	Optymalizacja układu sprężonego powietrza	Obejmuje to wszystkie następujące środki: • stosowanie odpowiedniej konserwacji systemu w celu ograniczenia wycieków; • skuteczne monitorowanie parametrów operacyjnych, takich jak przepływ, temperatura i ciśnienie; • ograniczenie do minimum spadków ciśnienia; • stosowanie efektywnego zarządzania obciążeniem; • obniżenie temperatury powietrza wlotowego; • stosowanie wydajnego systemu sterowania sprężarką.	Zastosowanie ogólne

Technika		Opis	Stosowanie
		Konstrukcja i działanie	
j.	Suszenie mikrofalowe rdzeni do powłok na bazie wody	Stosowanie mikrofalowych pieców do suszenia (np. o częstotliwości 2 450Hz) do rdzeni pokrytych powłokami na bazie wody (zob. BAT 21 lit. e)), co prowadzi do szybkiego i jednorodnego suszenia całej powierzchni rdzenia.	Może nie mieć zastosowania do odlewania ciągłego ani do produkcji dużych odlewów lub gdy rdzenie wykonane są z regenerowanej masy zawierającej ślady węgla.
Techniki odzyskiwania energii			
k.	Wstępne podgrzewanie złomu z wykorzystaniem ciepła odzyskanego	Złom jest wstępnie podgrzewany w wyniku odzyskiwania ciepła z gorących gazów odlotowych, które są przekierowywane w celu zetknięcia się z wsadem.	Ma zastosowanie wyłącznie do pieców szybowych w odlewniach metali nieżelaznych oraz do EAF w odlewniach stali.
l	Odzyskiwanie ciepła z gazów odlotowych wytwarzanych w piecach	Ciepło odpadowe z gorących gazów odlotowych jest odzyskiwane (np. za pomocą wymienników ciepła) i ponownie wykorzystywane w zakładzie lub poza zakładem (np. w obwodach oleju termicznego/ciepłej wody/ ogrzewania, do wytwarzania pary lub wstępnego ogrzewania powietrza do spalania (zob. technika m)). Może to obejmować następujące działania: • Nadmiar ciepła z gorących gazów odlotowych z żeliwiaków jest wykorzystywany na przykład do produkcji pary, ogrzewania oleju termicznego, podgrzewania wody. • Nadmiar ciepła z systemu chłodzenia pieców jest wykorzystywany na przykład do suszenia surowców, ogrzewania pomieszczeń, podgrzewania wody. • W piecach opalanych paliwem w odlewniach aluminium nadmiar ciepła jest wykorzystywany na przykład do ogrzewania pomieszczeń i/lub wody do oczyszczania odlewów. • Ciepło niskotemperaturowe jest przekształcane w energię elektryczną za pomocą płynów o wysokiej masie cząsteczkowej z wykorzystaniem organicznego obiegu Rankine'a.	Zastosowanie może być ograniczone brakiem odpowiedniego zapotrzebowania na ciepło.
m.	Wstępne ogrzewanie powietrza do spalania	Zob. Sekcja 4.4.1.	Zastosowanie ogólne
n.	Wykorzystywanie ciepła odpadowego w piecach indukcyjnych	Ciepło odpadowe z systemu chłodzenia pieca indukcyjnego odzyskuje się za pomocą wymienników ciepła do suszenia surowców (np. złomu), ogrzewania pomieszczeń lub dostarczania ciepłej wody.	Zastosowanie ogólne

Dalsze sektorowe techniki zwiększania efektywności energetycznej podano w Sekcjach 4.2.2.1 oraz 4.2.4.1 i niniejszych konkluzjach dotyczących BAT.

Tabela 4.1: Poziomy efektywności środowiskowej powiązane z BAT (BAT-AEPL) w odniesieniu do jednostkowego zużycia energii w odlewniach żeliwa

Proces - rodzaj pieca	Jednostka	BAT-AEPL (średnia roczna)
Topienie i podgrzewanie – żeliwiak z zimnym dmuchem	kWh/t ciekłego metalu	900 – 1 750
Topienie i podgrzewanie – żeliwiak z gorącym dmuchem		900 – 1 500
Topienie i podgrzewanie – piec indukcyjny		600 – 1 200
Topienie i podgrzewanie – piec obrotowy		800 – 950
Wstępne wygrzewanie/podgrzewanie kadzi		50 – 150 (1)
(1) W przypadku odlewni produkujących duże odlewy górna granica zakresu BAT-AEPL może być wyższa i wynosić do 200 kWh/t ciekłego metalu.		

Tabela 4.2: Poziomy efektywności środowiskowej powiązane z BAT (BAT-AEPL) w odniesieniu do jednostkowego zużycia energii w odlewniach stali

Proces - rodzaj pieca	Jednostka	BAT-AEPL (średnia roczna)
Topienie - (EAF/indukcja)	kWh/t ciekłego metalu	600 – 1 200
Wstępne wygrzewanie/podgrzewanie kadzi		100 – 300

Tabela 4.3: Poziomy efektywności środowiskowej powiązane z BAT (BAT-AEPL) w odniesieniu do jednostkowego zużycia energii w odlewniach aluminium

Proces	Jednostka	BAT-AEPL (średnia roczna)
Topienie i podgrzewanie	kWh/t ciekłego metalu	600 – 2 000

Powiązane monitorowanie podano w BAT 6.

4.2.1.4 Efektywne wykorzystanie materiałów

4.2.1.4.1 Przechowywanie pozostałości, opakowań i niewykorzystanych chemikaliów technologicznych oraz postępowanie z nimi

BAT 15. Aby zapobiec zagrożeniu dla środowiska związanemu z przechowywaniem pozostałości, opakowań i niewykorzystanych chemikaliów technologicznych lub je ograniczyć, a także aby ułatwić ich ponowne użycie i/lub recykling, w ramach BAT należy stosować wszystkie poniższe techniki.

Technika		Opis
a.	Odpowiednie przechowywanie różnych rodzajów pozostałości	Obejmuje to następujące elementy: • Pył z filtrów tkaninowych jest przechowywany na nieprzepuszczalnych powierzchniach, w zamkniętych pomieszczeniach i w zamkniętych pojemnikach/ workach. • Inne rodzaje pozostałości (np. żużel, zgary, zużyte ogniotrwałe okładziny pieców) są przechowywane oddzielnie od siebie na nieprzepuszczalnych powierzchniach w miejscach zadaszonych, chronionych przed spływem powierzchniowym.
b.	Ponowne wykorzystanie złomu obiegowego	Ponowne wykorzystanie złomu obiegowego bezpośrednio lub po obróbce. Stopień ponownego wykorzystania złomu obiegowego zależy od zawartości zanieczyszczeń.
c.	Ponowne użycie/recykling opakowań	Opakowania na chemikalia technologiczne wybiera się tak, aby ułatwić ich całkowite opróżnienie (np. biorąc pod uwagę wielkość otworu opakowania lub charakter materiału opakowaniowego). Po opróżnieniu opakowanie używa się ponownie, zwraca dostawcy lub przekazuje do recyklingu materiałowego. Najlepiej, aby chemikalia technologiczne były przechowywane w dużych pojemnikach.

Technika		Opis
d.	Zwrot niewykorzystanych chemikaliów technologicznych	Niewykorzystane chemikalia technologiczne (tj. takie, które pozostają w oryginalnych pojemnikach) zwraca się ich dostawcom.

4.2.1.4.2 Operacyjna efektywność wykorzystania materiałów w procesie odlewania

BAT 16. Aby zwiększyć efektywność wykorzystania materiałów w procesie odlewania, w ramach BAT należy stosować technikę a) albo technikę a) w połączeniu z technikami b) i c) lub z jedną z tych technik.

Technika		Opis
a.	Poprawa wydajności odlewania i zmniejszenie wytwarzania złomu	Zob. Sekcja 4.4.2.
b.	Wykorzystanie wspomaganej komputerowo symulacji do odlewania, zalewania i zestalania	System symulacji komputerowej jest wykorzystywany do optymalizacji procesu odlewania, zalewania i zestalania, aby zminimalizować liczbę wadliwych odlewów i zwiększyć wydajność odlewni.
c.	Produkcja lekkich odlewów z wykorzystaniem optymalizacji topologicznej	Wykorzystanie optymalizacji topologicznej (tj. symulacji odlewania za pomocą algorytmów i programów komputerowych) w celu zmniejszenia masy produktu przy jednoczesnym spełnieniu wymogów dotyczących charakterystyki produktu.

Tabela 4.4: Wskaźnikowe poziomy operacyjnej efektywności wykorzystania materiałów

Rodzaj odlewni	Jednostka	Poziomy wskaźnikowe (średnia roczna)
Odlewnie żeliwa	%	50 - 97 (1) (2)
Odlewnie stali		50 - 100 (1) (2)
Odlewnie NFM (wszystkie typy z wyjątkiem HPDC) - Pb		50– 97.5 (1)
Odlewnie NFM (wszystkie typy z wyjątkiem HPDC) - metale inne niż Pb		50 – 98 (1)
Odlewnie NFM (HPDC)		60 – 97 (1)
(1) Dolna granica przedziału związana jest zazwyczaj z produkcją złożonych kształtów odlewniczych, na przykład ze względu na dużą liczbę stosowanych rdzeni i/lub podnośników/podajników. (2) Górna granica przedziału związana jest zazwyczaj z odlewaniem odśrodkowym.		

Powiązane monitorowanie opisano w BAT 6.

4.2.1.4.3 Zmniejszenie zużycia materiałów

BAT 17. Aby zmniejszyć zużycie materiałów (np. chemikaliów, spoiw), w ramach BAT należy stosować odpowiednią kombinację technik podanych poniżej.

Technika		Opis	Zakres stosowania
Techniki dla aluminium wysokociśnieniowe odlewanie ciśnieniowe			
a.	Oddzielne natryskiwanie czynnika zapobiegającego przywieraniu i wody	Zob. Sekcja 1.4.2.	Zastosowanie ogólne

Technika		Opis	Zakres stosowania
b.	Ograniczenie do minimum zużycia czynnika zapobiegającego przywieraniu i wody	Środki mające na celu ograniczenie do minimum zużycia czynnika zapobiegającego przywieraniu i wody obejmują: • stosowanie zautomatyzowanego systemu natryskiwania; • optymalizację współczynnika rozcieńczenia; • środek antyadhezyjny; • stosowanie chłodzenia wewnątrz matrycy; • stosowanie czynnika zapobiegającego przywieraniu w formie zamkniętej; • pomiar zużycia czynników zapobiegających przywieraniu; • pomiar temperatury powierzchni matrycy w celu wskazania miejsc o zbyt wysokiej temperaturze.	Zastosowanie ogólne
Techniki procesów wykorzystujących masę wiązaną chemicznie i wykonywania rdzeni			
c.	Optymalizacja zużycia spoiwa i żywicy	Zob. Sekcja 1.4.2.	Zastosowanie ogólne
d.	Minimalizacja strat masy w formie i rdzeniu	Parametry produkcji różnych rodzajów produktów są przechowywane w elektronicznej bazie danych, która umożliwia łatwe przejście na nowe produkty z minimalnymi stratami czasu i materiałów.	Zastosowanie ogólne
e.	Stosowanie najlepszych praktyk w procesach utwardzania na zimno	Zob. Sekcja 1.4.2.	Zastosowanie ogólne
f.	Odzyskiwanie amin z kwaśnej wody płuczkowej	Podczas przemywania kwasem (np. kwasem siarkowym) do celów oczyszczania gazów odlotowych metodą zimnej rdzennicy powstaje siarczan aminowy. Aminy są odzyskiwane z oczyszczania siarczanu aminowego przy użyciu wodorotlenku sodu. Może się to odbywać na terenie zakładu lub poza nim.	Możliwość zastosowania może być ograniczona ze względów bezpieczeństwa (zagrożenie wybuchem).
g.	Stosowanie najlepszych praktyk w zakresie procesów utwardzania gazem	Zob. Sekcja 4.4.2.	Zastosowanie ogólne
h.	Stosowanie alternatywnych procesów wykonywania form/rdzeni	Alternatywne procesy wykonywania form/rdzeni, w których nie stosuje się spoiw lub stosuje się ich ograniczoną ilość, obejmują: • proces odlewania metodą pełnej formy; • formowanie próżniowe.	Możliwość zastosowania procesu odlewania metodą pełnej formy do istniejących zakładów może być ograniczona ze względu na wymagane zmiany w infrastrukturze. Zastosowanie formowania próżniowego może być ograniczone w przypadku dużych skrzynek formierskich (np. powyżej 1,5 m × 1,5 m).

4.2.1.4.4 Ponowne wykorzystanie masy/piasku

BAT 18. Aby ograniczyć zużycie nowej masy/piasku i wytwarzanie zużytej masy z ponownego

wykorzystania masy w procesie odlewania do pełnej formy, w ramach BAT należy stosować jedną z poniższych technik albo ich odpowiednią kombinację.

Technika		Opis	Stosowanie
a.	Zoptymalizowane odświeżanie masy z bentonitem (zielonego piasku)	Proces odświeżania masy z bentonitem jest sterowany przez system komputerowy w celu optymalizacji zużycia surowców i ponownego wykorzystania masy z bentonitem, np. chłodzenie (złoże parowe lub fluidalne), dodawanie spoiw i dodatków, nawilżanie, mieszanie, kontrola jakości.	Zastosowanie ogólne
b.	Odświeżanie masy z bentonitem (zielonego piasku) o niskiej zawartości odpadów	Odświeżanie/regeneracja masy z bentonitem w odlewniach aluminium przeprowadza się za pomocą skanera służącego do identyfikacji zanieczyszczeń w masie z bentonitem na podstawie jasności/koloru. Zanieczyszczenia te oddziela się od masy z bentonitem za pomocą strumienia powietrza.	Zastosowanie ogólne
c.	Przygotowanie masywiązanej gliną przez mieszanie próżniowe i chłodzenie	Zob. BAT 25 (b).	Zastosowanie ogólne
d.	Regeneracja mechaniczna mas/piasku utwardzanych na zimno	Do regeneracji mas utwardzanych na zimno stosuje się techniki mechaniczne (np. rozbijanie brył, segregacja frakcji piaskowych) z wykorzystaniem rozdrabniaczy lub młynów.	Może nie mieć zastosowania do masy wiązanej krzemianami.
e.	Regeneracja mechaniczna na zimno masy wiązanej gliną lub masy wiązanej chemicznie za pomocą ściernicy	Stosowanie obracającej się ściernicy w celu usunięcia warstw gliny i chemicznych spoiw z użytych ziaren piasku.	Zastosowanie ogólne
f.	Regeneracja mechaniczna na zimno masy przy użyciu bębna uderzeniowego	Stosowanie bębna uderzeniowego z wewnętrzną osią wirującą, wyposażonego w małe ostrza, do ściernego czyszczenia ziaren piasku. W przypadku stosowania na mieszaninie bentonitu i masy wiązanej chemicznie przeprowadza się wstępną separację magnetyczną w celu usunięcia z masy z bentonitem elementów o właściwościach magnetycznych	Zastosowanie ogólne
g.	Regeneracja masy na zimno za pomocą systemu pneumatycznego	Usunięcie spoiw z ziaren piasku przez ścieranie i uderzanie. Energię kinetyczną zapewnia strumień sprężonego powietrza.	Zastosowanie ogólne
h.	Termiczna regeneracja masy/piasku	Wykorzystywanie ciepła do spalania spoiw i zanieczyszczeń zawartych w masie wiązanej chemicznie i masie mieszanej. Proces ten jest połączony z początkową mechaniczną obróbką wstępną w celu osiągnięcia właściwego rozmiaru ziaren piasku i usunięcia wszelkich zanieczyszczeń metalicznych. W przypadku masy mieszanej udział masy wiązanej chemicznie powinien być wystarczająco duży.	Może nie mieć zastosowania, gdy użyta masa zawiera pozostałości z nieorganicznych spoiw.

Technika		Opis	Stosowanie
i.	Regeneracja łączona (mechaniczno-termiczno-mechaniczna) mieszanych mas organicznych i bentonitowych	Po obróbce wstępnej (przesiew, separacja magnetyczna) i wysuszeniu masa jest oczyszczana mechanicznie lub pneumatycznie w celu usunięcia części spoiwa. W fazie termicznej składniki organiczne są spalane, a składniki nieorganiczne są przenoszone do pyłu lub spalone na ziarna. Podczas końcowej obróbki mechanicznej te warstwy ziarna usuwa się mechanicznie lub pneumatycznie i odrzuca jako pył.	Może nie mieć zastosowania do mas rdzeniowych zawierających spoiwa wiążące kwasy (ponieważ może zmieniać właściwości bentonitu) lub w przypadku szkła wodnego (ponieważ może zmieniać właściwości masy z bentonitem (zielonego piasku)).
j.	Kombinacja regeneracji masy i obróbki cieplnej odlewów aluminiowych	Po zalaniu i zestaleniu formy/jednostki odlewania są wprowadzane do pieca. Gdy jednostki osiągają temperaturę > 420 °C, spoiwa są spalane, rdzenie/formy ulegają rozpadowi, a odlewy poddaje się obróbce cieplnej. Masa spada na dno pieca w celu ostatecznego oczyszczenia w nagrzanym złożu fluidalnym. Po schłodzeniu masa jest ponownie wykorzystywana w mieszarce masy rdzeniowej bez dalszej obróbki.	Zastosowanie ogólne
k.	Regeneracja na mokro masy z bentonitem, mas wiązanych krzemianami lub CO_2	Masę miesza się z wodą w celu wytworzenia osadu. Usuwanie pozostałości spoiwa wiązanego ziarnami odbywa się poprzez intensywne pocieranie o siebie ziaren piasku. Spoiwa trafiają do wody do płukania. Płukana masa jest suszona, przesiewana i ostatecznie zostaje schłodzona.	Zastosowanie ogólne
l	Regeneracja masy wiązanej krzemianem sodu (szkło wodne) za pomocą systemu pneumatycznego	Masa jest podgrzewana w celu uzyskania kruchości warstwy krzemianowej przed zastosowaniem systemu pneumatycznego (zob. technika g)). Zregenerowaną masę schładza się przed ponownym użyciem.	Zastosowanie ogólne
m.	Ponowne wewnętrzne wykorzystanie masy rdzeniowej (w metodzie zimnej rdzennicy lub w spoiwach wykorzystujących kwasy furanowe)	Masa powstała z połamanych/wadliwych rdzeni oraz nadmiar masy z maszyn do wykonywania rdzeni (po utwardzeniu w specjalnej jednostce) są podawane do jednostki rozbijającej. Powstała w ten sposób masa jest mieszana z nową masą do produkcji nowych rdzeni.	Zastosowanie ogólne
n.	Ponowne wykorzystanie pyłu z obiegu masy z bentonitem (zielonego piasku) w produkcji form	Pył jest zbierany przez filtrowanie wylotowe z instalacji wybijającej odlewy z formy oraz ze stacji dozowania i załadunku suchej masy z bentonitem. Zebrany pył (zawierający czynne związki spoiw) można poddać recyklingowi w obiegu masy z bentonitem.	Zastosowanie ogólne

Tabela 4.5: Poziomy efektywności środowiskowej powiązane z BAT (BAT-AEPL) w odniesieniu do ponownego wykorzystania masy

Rodzaj odlewni	Jednostka	BAT-AEPL (1) (średnia roczna)
Odlewnie żeliwa	%	> 90
Odlewnie staliwa		> 80
Odlewnie NFM (2)		> 90
(1) BAT-AEPL mogą nie mieć zastosowania, jeżeli ilość wykorzystanej masy jest niższa niż 10 000t/rok. (2) BAT-AEPL mogą nie mieć zastosowania w odlewniach aluminium, gdy stosuje się szkło wodne.		

Powiązane monitorowanie opisano w BAT 6.

4.2.1.4.5 Zmniejszenie ilości wytwarzanych pozostałości i odpadów przesyłanych do unieszkodliwienia

BAT 19. Aby zmniejszyć ilość pozostałości wytwarzanych podczas topienia metali oraz odpadów przesyłanych do unieszkodliwienia, w ramach BAT należy stosować wszystkie techniki podane poniżej.

Technika		Opis
Techniki dla wszystko rodzajów pieców		
a.	Ograniczenie powstawania żużla	Powstawanie żużla można ograniczyć za pomocą środków wewnątrzprocesowych, takich jak: • wykorzystanie czystego złomu; • zastosowanie niższej temperatury metalu (jak najbardziej zbliżonej do teoretycznej temperatury topnienia); • unikanie szczytów wysokich temperatur; • zapobieganie nadmiernemu trzymaniu stopu odlewniczego w piecu topielnym lub zastosowanie oddzielnego pieca do przechowywania stopu odlewniczego; • odpowiednie wykorzystanie topników; • odpowiedni wybór okładziny ogniotrwałej pieca; • stosowanie chłodzenia wodą ścian pieca w celu uniknięcia zużycia okładziny ogniotrwałej pieca; • odtłuszczanie płynnego aluminium.
b.	Mechaniczne wstępne oczyszczanie żużla/zgarów/pyłu z filtrów/zużytych okładzin ogniotrwałych w celu ułatwienia recyklingu	Zob. Sekcja 4.4.2. Może się odbywać poza terenem zakładu.
Techniki dla żeliwiaków		
c.	Dostosowanie kwasowości/zasadowości żużla	Zob. Sekcja 4.4.2.
d.	Gromadzenie i recykling miału koksowego	Miał koksowy powstający podczas obróbki, transportu i załadunku koksu jest zbierany (np. przy użyciu systemów zbierania pod taśmami przenośnikowymi i/lub punktami ładowania) i poddawany recyklingowi w procesie (wprowadzany do żeliwiaka lub wykorzystywany do odwęglania).
e.	Recykling pyłu z filtrów w żeliwiakach z wykorzystaniem złomu zawierającego cynk	Pył z filtrów w żeliwiakach jest częściowo ponownie wprowadzany do pieca w celu zwiększenia zawartości cynku w pyle do poziomu umożliwiającego odzysk Zn (> 18 %).
Techniki dla EAF		
f.	Recykling pyłu z filtrów w EAF	Zebrany suchy pył z filtrów, zwykle po wstępnym oczyszczeniu (np. poprzez granulowanie lub brykietowanie), jest poddawany recyklingowi w piecu, aby umożliwić odzyskanie zawartości metali w pyle. Zawartość nieorganiczną przenosi się do żużla.

BAT 20. Aby ograniczyć ilość odpadów przesyłanych do unieszkodliwienia, w ramach BAT należy nadać pierwszeństwo recyklingowi poza terenem zakładu i/lub innemu rodzajowi odzysku przed unieszkodliwianiem zużytej masy, masy niewymiarowej, żużli, okładzin ogniotrwałych i zebranego pyłu z filtrów (np. pyłu z filtrów tkaninowych).

Opis

Recykling poza terenem zakładu i/lub inne rodzaje odzysku mają pierwszeństwo przed unieszkodliwianiem zużytej masy, masy nieposiadającej odpowiednich właściwości, żużli, okładzin ogniotrwałych i pyłu z filtrów. Zużyta masa, masa nieposiadająca odpowiednich właściwości, żużle i okładziny ogniotrwałe mogą być:

- poddane recyklingowi, np. w budownictwie drogowym, materiałach budowlanych (takich jak cement, cegły, płytki);
- odzyskane, np. w celu napełniania wgłębień górniczych, budowy składowisk odpadów (np. budowy dróg na składowiskach i stałych pokryw).

Pył z filtrów można poddać recyklingowi zewnętrznemu, np. w metalurgii, wytwarzaniu piasku, w sektorze budowlanym.

Stosowanie

Recykling i/lub inny rodzaj odzysku może być ograniczony właściwościami fizyczno-chemicznymi pozostałości (np. zawartością substancji organicznych/metali, granulometrią).
Recykling lub inny odzysk może nie mieć zastosowania w przypadku braku odpowiedniego zapotrzebowania ze strony osób trzecich na recykling i/lub odzysk

Tabela 4.6: Poziomy efektywności środowiskowej powiązane z BAT (BAT-AEPL) w odniesieniu do odpadów przesyłanych do unieszkodliwienia

Rodzaj odpadów	Jednostka	BAT-AEPL (1) (średnia roczna)		
		Odlewnie NFM	Odlewnie żeliwa	Odlewnie staliwa
Żużel	kg/t płynnego metalu	0 – 50	0 – 50 (2)	0 – 50 (2)
Zgary		0 – 30	0 – 30	0 – 30
Pył z filtra		0 – 5	0 – 60	0 – 10
Zużyte okładziny ogniotrwałe pieców		0 – 5	0 – 20 (3)	0 – 20

(1) BAT-AEPL może nie mieć zastosowania w przypadku braku odpowiedniego zapotrzebowania ze strony osób trzecich na recykling i/ lub odzysk. (2) W przypadku odlewni staliwa lub żeliwa, w których eksploatowane są EAF, górna granica zakresu BAT-AEPL może być wyższa i wynosić do 100 kg/t ciekłego metalu ze względu na zwiększone powstawanie żużla podczas obróbki metalurgicznej.
(3) W przypadku odlewni żeliwa, w których eksploatowane są CBC, górna granica zakresu BAT-AEPL może być wyższa i wynosić do 100 kg/t ciekłego metalu.

Powiązane monitorowanie opisano w BAT 6.

4.2.1.5 Emisje rozproszone do powietrza

BAT 21. Aby zapobiec występowaniu emisji rozproszonych do powietrza lub, jeżeli jest to niemożliwe, ograniczyć je, w ramach BAT należy stosować wszystkie poniższe techniki.

Technika		Opis	Stosowanie
a.	Zakrywanie sprzętu dostawczego (pojemników) i przestrzeni ładunkowej pojazdów transportowych	Powierzchnię ładunkową pojazdów transportowych i sprzęt transportowy (pojemniki) zakrywa się (np. brezentami).	Zastosowanie ogólne
b.	Czyszczenie dróg i kół pojazdów transportowych	Drogi, a także koła pojazdów transportowych są regularnie czyszczone, np. za pomocą ruchomych systemów próżniowych, lagun wodnych.	Zastosowanie ogólne
c.	Stosowanie zamkniętych przenośników	Materiały są przenoszone za pomocą systemów przenośników, np. zamkniętych przenośników, systemów transportu pneumatycznego. W ten sposób minimalizuje się wypadanie materiałów.	Zastosowanie ogólne

d.	Odkurzanie obszarów, na których odbywają się procesy wykonywania form i odlewania	Obszary, na których odbywają się procesy wykonywania form i odlewania, w odlewniach, w których odbywa się wykonywanie form przy użyciu piasku, są regularnie odkurzane.	Może nie mieć zastosowania na obszarach, na których piasek pełni funkcję techniczną lub związaną z bezpieczeństwem.
e.	Zastąpienie powłok na bazie alkoholu powłokami na bazie wody	Zob. Sekcja 4.4.3.	Możliwość zastosowania może być ograniczona w przypadku dużych lub złożonych kształtów odlewów ze względu na trudności w cyrkulacji powietrza do suszenia. Nie ma zastosowania do mas wiązanych szkłem wodnym, procesu odlewania magnezu, formowania próżniowego lub produkcji odlewów ze stali manganowej z powłoką MgO.
f.	Kontrola emisji z kąpieli hartowniczych	Obejmuje to następujące czynności: • Ograniczenie do minimum wytwarzania emisji pochodzących z kąpieli hartowniczych przez zastosowanie roztworów polimerowych na bazie wody (np. zawierających poliwinylopirolidon lub glikol polialkilenowy). • Zbieranie emisji z kąpieli hartowniczych (zwłaszcza z olejowych kąpieli hartowniczych) możliwie najbliżej źródła emisji, z wykorzystaniem wentylacji dachu, kopuł odciągowych lub ekstraktorów krawędziowych. Odessane gazy odlotowe można oczyścić, np. za pomocą ESP (zob. Sekcja 4.4.3). • Wykorzystanie podgrzanej wody jako środka hartującego.	Zastosowanie ogólne
g.	Kontrola emisji z operacji przesyłowych podczas topienia metali	Obejmuje to następujące czynności: • Wyłapywanie emisji jak najbliżej źródła emisji rozproszonych (np. pyłu, oparów) z procesów przesyłowych, takich jak ładowanie pieca/spuszczanie, na przykład z wykorzystaniem okapów. Odessane gazy odlotowe są oczyszczane na przykład przy użyciu filtra tkaninowego, oczyszczania na mokro. • Ograniczenie do minimum emisji rozproszonych pochodzących z przenoszenia ciekłego metalu przez rynny spustowe, na przykład przy użyciu pokryw.	Zastosowanie ogólne

Dalsze techniki specyficzne dla danego procesu mające na celu zapobieganie emisjom rozproszonym lub ich ograniczanie podano w BAT 24, BAT 26, BAT 27, BAT 28, BAT 29, BAT 30, BAT 31, BAT 38, BAT 39, BAT 40, BAT 41 oraz BAT 43.

4.2.1.6 Emisje zorganizowane do powietrza

BAT 22. Aby ułatwić odzysk materiałów i ograniczenie emisji zorganizowanych do powietrza, a także zwiększyć efektywność energetyczną, w ramach BAT należy łączyć strumienie gazów odlotowych o podobnej charakterystyce, co minimalizuje liczbę punktowych źródeł emisji.

Opis

Łączne oczyszczanie gazów odlotowych o podobnej charakterystyce zapewnia skuteczniejsze i efektywniejsze oczyszczanie w porównaniu z oddzielnym oczyszczaniem poszczególnych strumieni gazów odlotowych. Przy łączeniu gazów odlotowych uwzględnia się bezpieczeństwo zakładów (np. unikanie stężeń bliskich dolnej/górnej granicy wybuchowości), czynniki techniczne (np. kompatybilność poszczególnych strumieni gazów odlotowych, stężenie danych substancji), środowiskowe (np. maksymalizacja odzysku materiałów lub redukcja zanieczyszczeń) i ekonomiczne (np. odległość między różnymi jednostkami produkcyjnymi). Dokłada się starań, aby łączenie gazów odlotowych nie prowadziło do rozcieńczania emisji.

4.2.1.7 Emisje do powietrza z procesów termicznych

BAT 23. Aby zapobiec emisjom do powietrza w wyniku topienia metali lub je ograniczyć, w ramach BAT należy stosować energię elektryczną wytwarzaną z niekopalnych źródeł energii w połączeniu z technikami a)–e) lub technikami a)–e) oraz odpowiednią kombinacją technik f)–i) podanych poniżej.

Technika		Opis	Stosowanie
Techniki ogólne			
a.	Wybór odpowiedniego rodzaju pieca i maksymalizacja sprawności cieplnej pieców	Zob. Sekcja 4.4.1	Wybór odpowiedniego rodzaju pieca ma zastosowanie wyłącznie do nowych zakładów oraz w przypadku znaczącej modernizacji istniejących zakładów.
b.	Wykorzystanie czystego złomu	Zob. Sekcja 4.4.1	Zastosowanie ogólne
Podstawowe środki kontroli mające na celu zmniejszenie emisji PCDD/F			
c.	Maksymalizacja czasu przebywania gazów odlotowych i optymalizacja temperatury w komorze dopalania w żeliwiakach	W żeliwiakach temperatura komory dopalania jest optymalizowana (T > 850 °C) i stale monitorowana przy maksymalizacji czasu przebywania gazów odlotowych (> 2 s).	Zastosowanie ogólne
d.	Szybkie chłodzenie gazów odlotowych	Gazy wylotowe są szybko schładzane z temperatur powyżej 400 °C do poniżej 250 °C przed usuwaniem pyłu, aby zapobiec ponownej syntezie PCDD/F. Osiąga się to poprzez odpowiednią konstrukcję pieca i/lub zastosowanie systemu chłodzenia.	
e.	Ograniczenie do minimum gromadzenia się pyłu w wymiennikach ciepła	Gromadzenie się pyłu wzdłuż trajektorii schładzania gazów wylotowych jest zminimalizowane, zwłaszcza w wymiennikach ciepła, np. poprzez zastosowanie pionowych rur wymiennika, skuteczne czyszczenie wewnętrzne rur wymiennika, odpylanie w wysokiej temperaturze.	
Techniki ograniczania wytwarzania emisji NO_X i SO_2			
f.	Stosowanie paliwa lub kombinacji paliw o niskim potencjale tworzenia NO_X	Paliwa o niskim potencjale tworzenia NOX obejmują gaz ziemny oraz LPG.	Zastosowanie w ramach ograniczeń związanych z dostępnością poszczególnych rodzajów paliwa, na którą może mieć wpływ polityka energetyczna państwa członkowskiego.

Technika		Opis	Stosowanie
g.	Stosowanie paliwa lub kombinacji paliw o niskiej zawartości siarki	Paliwa o niskiej zawartości siarki obejmują gaz ziemny oraz LPG.	Zastosowanie w ramach ograniczeń związanych z dostępnością poszczególnych rodzajów paliwa, na którą może mieć wpływ polityka energetyczna państwa członkowskiego.
h.	Palniki o niskiej emisji NO_X	Zob. Sekcja 4.4.3.	Możliwość zastosowania w istniejących zakładach może być ograniczona ze względu na ograniczenia konstrukcyjne pieca i/lub ograniczenia eksploatacyjne.
i.	Spalanie w tlenie (spalanie tlenowo-paliwowe)	Zob. Sekcja 4.4.3.	Zastosowanie tej techniki w istniejących zespołach urządzeń może być ograniczone konstrukcją pieca i potrzebą zapewnienia minimalnego przepływu gazów odlotowych.

BAT-AEL dla topienia metali podano:

- w Tabeli 4.18 dla odlewni żeliwa;
- w Tabeli 4.20 dla odlewni staliwa;
- w Tabeli 4.22 dla odlewni NFM.

BAT 24. Aby zapobiec emisjom do powietrza w wyniku obróbki cieplnej lub je ograniczyć, w ramach BAT należy stosować energię elektryczną wytwarzaną z niekopalnych źródeł energii w połączeniu z technikami a) i d) lub wszystkie techniki podane poniżej.

Technika		Opis	Stosowanie
Techniki ogólne			
a.	Wybór odpowiedniego rodzaju pieca i maksymalizacja sprawności cieplnej pieców	Zob. Sekcja 4.4.3.	Dotyczy tylko nowych zakładów i znaczących modernizacji istniejących zakładów.
Techniki ograniczania wytwarzania emisji NO_X			
b.	Stosowanie paliwa lub kombinacji paliw o niskim potencjale tworzenia NO_X	Paliwa o niskim potencjale tworzenia NOX obejmują gaz ziemny oraz LPG.	Zastosowanie w ramach ograniczeń związanych z dostępnością poszczególnych rodzajów paliwa, na którą może mieć wpływ polityka
c.	Palniki o niskiej emisji NO_X	Zob. Sekcja 4.4.3.	Możliwość zastosowania w istniejących zespołach urządzeń może być ograniczona ze względu na ograniczenia
Zbieranie emisji			

d.	Wychwytywanie gazów odlotowych jak najbliżej źródła emisji	Gazy odlotowe z pieców do obróbki cieplnej (np. wyżarzanie, starzenie, normalizacja, przemiana izotermiczna) są wychwytywane przy użyciu okapów lub osłon. Zebrane emisje	Zastosowanie ogólne

Tabela 4.7: Poziomy emisji powiązane z najlepszymi dostępnymi technikami (BAT-AEL) w odniesieniu do emisji zorganizowanych do powietrza pyłu i NO_X oraz wskaźnikowy poziom emisji w odniesieniu do zorganizowanych emisji do powietrza CO z obróbki termicznej

Substancja/ Parametr	Jednostka	BAT-AEL (średnia dobowa lub średnia z okresu pobierania próbek)	Wskaźnikowy poziom emisji (średnia dobowa lub średnia z okresu pobierania próbek)
Pył	mg/Nm³	1 – 5 (1)	Brak poziomu wskaźnikowego
NO_X		20 - 120 (2) (3)	Brak poziomu wskaźnikowego
CO		Brak BAT-AEL	10 – 100 (3)
(1) BAT-AEL mają zastosowanie tylko wtedy, gdy daną substancję/dany parametr zidentyfikowano jako istotne w strumieniach gazów odlotowych na podstawie wykazu materiałów wsadowych i produktów, o którym mowa w BAT 2. (2) W przypadku obróbki termicznej w temperaturze powyżej 1 000°C (np. w przypadku produkcji żeliwa ciągliwego) górna granica zakresu BAT-AEL może być wyższa i wynosić do 300 mg/Nm³. (3) BAT-AEL i wskaźnikowy poziom emisji nie mają zastosowania w przypadku pieców wykorzystujących wyłącznie energię elektryczną (np. pieców oporowych).			

Powiązane monitorowanie opisano w BAT 12.

4.2.1.8 Emisje do powietrza z wykonywania form przy użyciu pełnych form i wykonywania rdzeni

BAT 25. Aby zapobiec emisjom do powietrza z wykonywania form przy użyciu pełnych form i wykonywania rdzeni lub je ograniczyć, w ramach BAT należy:

- **stosować odpowiednią kombinację poniższych technik a)–c) w przypadku wykonywania przy użyciu masy wiązanej gliną;**
- **stosować technikę d), e) lub f) oraz odpowiednią kombinację technik g)–k) podanych poniżej w przypadku wykonywania form i rdzeni przy użyciu masy wiązanej chemicznie;**
- **stosować technikę l) podaną poniżej w odniesieniu do wyboru powłok stosowanych w formach i rdzeniach.**

Technika		Opis	Stosowanie
Techniki formowania przy użyciu masy wiązanej gliną (masy z bentonitem, zielony piasek)			
a.	Stosowanie najlepszych praktyk w zakresie wykonywania form przy użyciu masy z bentonitem	Obejmuje to techniki takie jak: • precyzyjne dodawanie wymaganej ilości kluczowych składników (np. gliny, wody, pyłu węglowego lub innych dodatków) w celu przywrócenia właściwości chemicznych powracającej masy z bentonitem; • regularne badania (np. codziennie) właściwości masy z bentonitem (np. wilgoci, zawartości frakcji zielonych, zagęszczalności, przepuszczalności, strat przy prażeniu, części lotnych).	Zastosowanie ogólne
b.	Przygotowanie masy wiązanej gliną przez mieszanie próżniowe i chłodzenie	Procesy mieszania i chłodzenia są łączone w jeden etap procesu poprzez eksploatację mieszarki masy pod obniżonym ciśnieniem, co skutkuje chłodzeniem przez kontrolowane odparowywanie wody.	Zastosowanie ogólne

Technika		Opis	Stosowanie
c.	Zastępowanie pyłu węglowego	Pył węglowy zastępuje się dodatkami, takimi jak grafit, mączka koksowa i zeolity, co powoduje znacznie niższe emisje rozproszone podczas procesu odlewania.	Możliwość zastosowania może być ograniczona ze względu na ograniczenia eksploatacyjne (np. mniej efektywne wybijanie lub występowanie wad odlewania).
Techniki zapobiegania emisjom podczas wykonywania form i rdzeni przy użyciu masy wiązanej chemicznie			
d.	Wybór niskoemisyjnego systemu spoiwa utwardzanego na zimno	Wybiera się system spoiwa utwardzanego na zimno, który generuje niskie emisje formaldehydu, fenolu, alkoholu furfurylowego, izocyjanianów itp. Obejmuje to stosowanie: • niewypalanych żywic furanowych o niskiej zawartości alkoholu furfurylowego (np. poniżej 40 %mas.) do produkcji na przykład odlewów żeliwnych; • niewypalanych systemów fenolu/furanu z katalizatorem kwasu o niskiej zawartości siarki do produkcji na przykład odlewów stalowych; • alifatycznych spoiw organicznych na przykład na bazie polialkoholów alifatycznych (zamiast aromatycznych spoiw organicznych) do produkcji odlewów z żeliwa, stali, aluminium lub magnezu itp.; • geopolimerów nieorganicznych na bazie polisaliatów (do produkcji żeliwa, aluminium i odlewów stalowych itp.); • krzemianu estrowego (do produkcji odlewów stalowych średnich i dużych itp.); • oleju alkidowego (np. do produkcji pojedynczych odlewów lub małych partii w odlewniach stali); • estrów rezolowych (np. do wytwarzania lżejszych stopów w małej lub średniej produkcji); • cementu (np. do produkcji bardzo dużych odlewów).	Możliwość zastosowania może być ograniczona ze względu na specyfikacje produktu.
e.	Wybór niskoemisyjnego systemu spoiwa utwardzanego gazem	Wybiera się system spoiwa utwardzanego gazem, który generuje niskie emisje amin, benzenu, formaldehydu, fenolu, izocyjanianów itp. Obejmuje to stosowanie: • spoiw nieorganicznych, np. krzemianu sodowego (szkła wodnego), utwardzanych przy użyciu CO2 lub estrów organicznych, na przykład w procesie odlewania ciśnieniowego aluminium; • geopolimerów nieorganicznych na bazie polisaliatów, utwardzanych przy użyciu CO_2 (do produkcji żeliwa, aluminium, odlewów stalowych itp.); • alifatycznych spoiw organicznych na przykład na bazie polialkoholów alifatycznych (zamiast aromatycznych spoiw organicznych) do produkcji odlewów z żeliwa, stali, aluminium lub magnezu itp.; • spoiw fenolowo-uretanowych o bardzo niskiej zawartości fenolu i formaldehydu (do produkcji odlewów żelaznych i stalowych itp.);	Możliwość zastosowania może być ograniczona ze względu na specyfikacje produktu.
f.	Wybór niskoemisyjnego systemu spoiwa utwardzanego na	Wybiera się system spoiwa utwardzanego na gorąco, który generuje niskie emisje formaldehydu, fenolu, alkoholu furfurylowego, benzenu, izocyjanianów itp. Obejmuje to stosowanie: • spoiw nieorganicznych, takich jak geopolimery na bazie	Możliwość zastosowania może być ograniczona ze względu na specyfikacje produktu.

Technika		Opis	Stosowanie
	gorąco	polisaliatów; • spoiw nieorganicznych utwardzanych w procesie ciepłej rdzennicy bez fenolu, formaldehydu i izocyjanianów (na przykład do przygotowywania odlewów z aluminium o złożonych kształtach); • ●alifatycznych spoiw poliuretanowych wytworzonych w procesie ciepłej rdzennicy (stosowanych jako alternatywa dla procesu zimnej rdzennicy).	
Ogólne techniki wykonywania form i rdzeni z wykorzystaniem masy wiązanej chemicznie			
g.	Optymalizacja zużycia spoiwa i żywicy	Zob. Sekcja 4.4.3.	Zastosowanie ogólne
h.	Stosowanie najlepszych praktyk w procesach utwardzania na zimno	Zob. Sekcja 4.4.3.	Zastosowanie ogólne
i.	Stosowanie najlepszych praktyk w zakresie procesów utwardzania gazem	Zob. Sekcja 4.4.3.	Zastosowanie ogólne
j.	Stosowanie rozpuszczalników niearomatycznych do wytwarzania rdzeni w procesie zimnej rdzennicy	W celu ograniczenia emisji LZO (np. benzenu, toluenu) stosuje się rozpuszczalniki niearomatyczne, które bazują na białkach albo tłuszczach zwierzęcych (np. estrach metylowych kwasów tłuszczowych oleju roślinnego) lub na estrach krzemianowych.	Zastosowanie ogólne
k.	Stosowanie najlepszych praktyk w zakresie procesów utwardzania na gorąco	Można zastosować kilka procesów utwardzania na gorąco i wprowadzono szereg środków mających na celu optymalizację każdego procesu, w tym w odniesieniu do następujących procesów: Proces gorącej rdzennicy: • Utwardzanie przeprowadza się w optymalnym zakresie temperatur (np. 220–300 °C). • Rdzenie są zwykle wstępnie powlekane przy użyciu powłok na bazie wody, aby zapobiec poparzeniom na powierzchni rdzenia, co może prowadzić do kruchości podczas zalewania. • Nadmuchiwarki rdzeni i otaczające je obszary mają dobrą wentylację lub odsysanie, co pozwala skutecznie wychwytywać formaldehyd uwalniany podczas utwardzania. Proces ciepłej rdzennicy: • Utwardzanie przeprowadza się w niższym optymalnym zakresie temperatur niż w procesie gorącej rdzennicy (np. 150–190 °C), co skutkuje niższymi emisjami i mniejszym zużyciem energii niż w procesie gorącej rdzennicy. Formowanie skorupowe (Croninga): • Masy wstępnie powleczone żywicą fenolowo-	Zastosowanie ogólne

Technika		Opis	Stosowanie
		formaldehydową są wiązane przy użyciu heksametylenoczteroaminy, która ulega rozkładowi w temperaturze 160 °C, uwalniając formaldehyd, niezbędny do usieciowania żywicy, i amoniak. Obszar utwardzania i/lub nadmuchiwania rdzeni posiada dobrą wentylację i odsysanie, co pozwala skutecznie wychwytywać amoniak i formaldehyd uwalniane podczas utwardzania.	
Techniki związane z powłokami stosowanymi do form i rdzeni			
l	Zastąpienie powłok na bazie alkoholu powłokami na bazie wody	Zob. Sekcja 4.4.3.	Możliwość zastosowania może być ograniczona w przypadku dużych lub złożonych kształtów odlewów ze względu na trudności w cyrkulacji powietrza do suszenia. Nie ma zastosowania do mas wiązanych szkłem wodnym, procesu odlewania magnezu, formowania próżniowego lub produkcji odlewów ze stali manganowej z powłoką MgO.

BAT 26. Aby ograniczyć emisje do powietrza z wykonywania form przy użyciu pełnych form i wykonywania rdzeni, w ramach BAT należy:

- **stosować odpowiednią kombinację technik podanych w BAT 25;•zbierać emisje, stosując technikę a);**
- **oczyszczać gazy odlotowe, stosując jedną z poniższych technik b)–f) lub ich kombinację.**

	Technika	Opis	Stosowanie
Zbieranie emisji			
a.	Wyłapywanie emisji wytwarzanych w wyniku wykonywania form i/lub rdzeni jak najbliżej źródła emisji	Zob. Sekcja 4.4.3.	Możliwość zastosowania może być ograniczona w przypadku wykonywania form w odlewniach żeliwa i staliwa, w których wytwarzane są duże odlewy.
Oczyszczanie gazów odlotowych			
b.	Filtr tkaninowy	Zob. Sekcja 4.4.3.	Zastosowanie ogólne
c.	Oczyszczanie (płukanie) na mokro	Zob. Sekcja 4.4.3.	Zastosowanie ogólne
d.	Adsorpcja	Zob. Sekcja 4.4.3.	Zastosowanie ogólne
e.	Utlenianie termiczne	Zob. Sekcja 4.4.3.	Zastosowanie tej techniki może być ograniczone w przypadku nadmiernego zapotrzebowania na energię ze względu na niską zawartość danych związków w gazach odlotowych z procesu technologicznego. Zastosowanie rekuperacyjnego lub regeneracyjnego utleniania termicznego może być ograniczone w przypadku istniejących zakładów ze względu na ograniczenia konstrukcyjne i/lub eksploatacyjne.

f.	Utlenianie katalityczne	Zob. Sekcja 4.4.3.	Zastosowanie tej techniki może być ograniczone z powodu obecności substancji trujących dla katalizatora w gazach odlotowych lub w przypadku nadmiernego zapotrzebowania na energię ze względu na niską zawartość danych związków w gazach odlotowych z procesu technologicznego.

Tabela 4.8: Poziomy emisji powiązane z BAT (BAT-AEL) w odniesieniu do emisji zorganizowanych do powietrza pyłu, amin, benzenu, formaldehydu, fenolu i całkowitych LZO pochodzących z wykonywania form przy użyciu pełnych form i wykonywania rdzeni

Substancja/ Parametr	Jednostka	BAT-AEL (średnia dobowa lub średnia z okresu pobierania próbek)
Pył	mg/Nm^3	1 – 5
Aminy		< 0.5 – 2.5 (1)
Benzen		< 1 – 2 (2)
Formaldehyd		< 1 – 2 (3)
Fenol		< 1 – 2 (4)
Całkowite LZO	mg C/Nm^3	15 – 50 (5)

(1) BAT-AEL mają zastosowanie tylko w procesie zimnej rdzennicy, gdy stosowane są aminy. (2) BAT-AEL mają zastosowanie tylko wtedy, gdy stosuje się aromatyczne spoiwa/chemikalia.
(3) BAT-AEL mają zastosowanie tylko wtedy, gdy daną substancję zidentyfikowano jako istotne w strumieniach gazów odlotowych na podstawie wykazu materiałów wsadowych i produktów, o którym mowa w BAT 2.
(4) BAT-AEL mają zastosowanie tylko wtedy, gdy stosuje się systemy spoiw na bazie fenolu.
(5) W przypadku wykonywania rdzeni górna granica zakresu BAT-AEL może być wyższa i wynosić do 100 mg C/Nm3, jeżeli spełnione są oba następujące warunki a) i b):
(a) w produkcji rdzeni stosuje się organiczne systemy wiążące generujące niską emisję lub nie generujące emisji substancji sklasyfikowanych jako CMR 1A, CMR 1B lub CMR 2 (zob. techniki d), e) i/lub f) w BAT 25);
(b) spełniony jest jeden lub oba z poniższych warunków:
- spełniony jest jeden lub oba z poniższych warunków:
- zastąpienie powłokami na bazie wody nie ma zastosowania.

Powiązane monitorowanie opisano w BAT 12.

4.2.1.9 Emisje do powietrza z procesów odlewania, chłodzenia i wybijania w odlewniach stosujących pełne formy, w tym proces pełnej formy

BAT 27. Aby ograniczyć emisje do powietrza z procesów odlewania, chłodzenia i wybijania w odlewniach stosujących pełne formy, w tym proces pełnej formy, w ramach BAT należy:

- **zbierać emisje, stosując technikę a);**
- **oczyszczać gazy odlotowe, stosując jedną z poniższych technik b)–h) podanych poniżej lub ich kombinację.**

Technika	Opis	Stosowanie
Zbieranie emisji		

Technika		Opis	Stosowanie
a.	Wyłapywanie (ekstrakcja) emisji wytwarzanych podczas procesów odlewania, chłodzenia i wybijania jak najbliżej źródła emisji	Emisje wytwarzane podczas odlewania (zwłaszcza emisje z zalewania), chłodzenia i wybijania są odpowiednio wyłapywane. W przypadku procesów odlewania i chłodzenia obejmuje to: • ograniczenie procesu zalewania do ustalonego obszaru lub miejsca, aby ułatwić wyłapywanie emisji za pomocą wentylatorów i obudów (np. podczas zalewania seryjnego); • obudowanie linii zalewających i chłodzących W przypadku procesu wybijania (wytrząsania) obejmuje to: • stosowanie paneli wentylacyjnych po obu stronach i z tyłu wytrząsarki; • stosowanie zamkniętych zespołów wyposażonych w otwory dachowe lub zdejmowane osłony (np. obudów typu „doghouse”); • montaż punktu wyłapywania pod wytrząsarką w skrzynce do zbierania masy.	Zastosowanie może być ograniczone w przypadku odlewni żeliwa i staliwa produkujących duże odlewy.
Oczyszczanie gazów odlotowych			
b.	Cyklon	Zob. Sekcja 4.4.3.	Zastosowanie ogólne
c.	Filtr tkaninowy	Zob. Sekcja 4.4.3.	Zastosowanie ogólne
d.	Oczyszczanie (płukanie) na mokro	Zob. Sekcja 4.4.3.	Zastosowanie ogólne
e.	Adsorpcja	Zob. Sekcja 4.4.3.	Zastosowanie ogólne
f.	Filtr biologiczny (biofiltr)	Strumień gazów odlotowych przepuszcza się przez złoże materiału organicznego (takiego jak torf, wrzos, kompost, korzenie, kora drzew, drewno iglaste i różne kombinacje) lub materiału obojętnego (takiego jak ił, węgiel aktywny i poliuretan), w którym jest on biologicznie utleniany przez naturalnie występujące tam mikroorganizmy do dwutlenku węgla, wody, soli nieorganicznych i biomasy. Filtr biologiczny jest wrażliwy na pył, wysokie temperatury i duże różnice w składzie gazów odlotowych. Może być potrzebne uzupełnianie składników odżywczych.	Możliwość zastosowania wyłącznie do oczyszczania związków biodegradowalnych.
g.	Utlenianie termiczne	Zob. Sekcja 4.4.3.	Zastosowanie rekuperacyjnego lub regeneracyjnego utleniania termicznego może być ograniczone w przypadku istniejących zespołów urządzeń ze względu na ograniczenia konstrukcyjne i/lub eksploatacyjne. Możliwość zastosowania może być ograniczona, gdy zapotrzebowanie na energię jest nadmierne ze względu na niskie stężenie danego związku (związków) w gazach odlotowych z procesu.

Technika		Opis	Stosowanie
h.	Utlenianie katalityczne	Zob. Sekcja 4.4.3.	Zastosowanie tej techniki może być ograniczone z powodu obecności substancji trujących dla katalizatora w gazach odlotowych lub w przypadku nadmiernego zapotrzebowania na energię ze względu na niską zawartość danych związków w gazach odlotowych z procesu technologicznego.

Tabela 4.9: Poziomy emisji powiązane z BAT (BAT-AEL) w odniesieniu do emisji zorganizowanych do powietrza pyłu, benzenu, formaldehydu, fenolu oraz całkowitych LZO pochodzących z procesów odlewania, chłodzenia i wybijania w odlewniach stosujących pełne formy, w tym proces odlewania metodą pełnej formy

Substancja/Parametr	Jednostka	BAT-AEL (średnia dobowa lub średnia z okresu pobierania próbek)
Pył	mg/Nm^3	1 – 5
Benzen		< 1 – 2 (1)
Formaldehyd		< 1 – 2 (2)
Fenol		< 1 – 2 (3)
Całkowite LZO	mg C/Nm^3	15 – 50 (4)

(1) BAT-AEL mają zastosowanie tylko wtedy, gdy stosowane są aromatyczne spoiwa/chemikalia lub proces pełnej formy
(2) BAT-AEL mają zastosowanie tylko wtedy, gdy daną substancję zidentyfikowano jako istotną w strumieniach gazów odlotowych na podstawie wykazu materiałów wsadowych i produktów, o którym mowa w BAT 2.
(3) BAT-AEL mają zastosowanie tylko wtedy, gdy stosuje się systemy spoiw na bazie fenolu podczas wykonywania form i/lub rdzeni.
(4) Górna granica zakresu BAT-AEL może być wyższa i wynosić do 100 mg C/Nm^3, w przypadku gdy w wykonywaniu rdzeni stosuje się systemy spoiwa organicznego, które generują niskie emisje substancji sklasyfikowanych jako CMR 1 A, CMR 1B lub CMR 2 lub które w ogóle nie generują takich emisji (zob. techniki d), e) i/lub f) w BAT 25).

Powiązane monitorowanie opisano w BAT 12.

4.2.1.10 Emisje do powietrza z odlewania metodą pełnej formy

BAT 28. Aby ograniczyć emisje do powietrza pyłów i całkowitych LZO z odlewania metodą pełnej formy, w ramach BAT należy zbierać emisje za pomocą techniki a) oraz oczyszczać gazy odlotowe przy użyciu odpowiedniej kombinacji technik b)–d) podanych poniżej.

Technika		Opis	Stosowanie
Zbieranie emisji			
a.	Wyłapywanie emisji wytwarzanych podczas odlewania metodą pełnej formy jak najbliżej źródła emisji	W procesach odlewania metodą pełnej formy emisje z pirolizy polimeru ekspandowanego powstające podczas zalewania i wybijania są wyłapywane za pomocą np. obudowy lub okapu.	Zastosowanie ogólne
Oczyszczanie gazów odlotowych			
b.	Filtr tkaninowy	Zob. Sekcja 4.4.3.	Zastosowanie ogólne
c.	Oczyszczanie	Zob. Sekcja 4.4.3.	Zastosowanie ogólne

Technika		Opis	Stosowanie
d.	Utlenianie termiczne	Zob. Sekcja 4.4.3.	Zastosowanie rekuperacyjnego lub regeneracyjnego utleniania termicznego może być ograniczone w przypadku istniejących zespołów urządzeń ze względu na ograniczenia konstrukcyjne i/lub eksploatacyjne. Możliwość zastosowania może być ograniczona, gdy zapotrzebowanie na energię jest nadmierne ze względu na niskie stężenie danego związku (związków) w gazach odlotowych z procesu.

Tabela 4.10: Poziomy emisji powiązane z BAT (BAT-AEL) w odniesieniu do emisji zorganizowanych do powietrza pyłu i całkowitych LZO pochodzących z odlewania metodą pełnej formy

Parametr	Jednostka	BAT-AEL (średnia dobowa lub średnia z okresu pobierania próbek)
Pył	mg/Nm^3	1 – 5
Całkowite LZO	$mg\ C/Nm^3$	15 – 50 (1)
(1) Górna granica zakresu BAT-AEL może być wyższa i wynosić do 100 mg C/Nm3, jeżeli efektywność redukcji emisji całkowitych LZO przez układ oczyszczania gazów odlotowych wynosi > 95 %.		

Powiązane monitorowanie opisano w BAT 12.

4.2.1.11 Emisje do powietrza z procesu odlewania w odlewniach stosujących formy trwałe

BAT 29. Aby zapobiec emisjom do powietrza z procesu odlewania w odlewniach stosujących formy trwałe lub je ograniczyć, w ramach BAT należy:

- **zapobiegać wytwarzaniu emisji poprzez zastosowanie jednej z technik a)–e) lub ich kombinacji;**
- **zbierać emisje, stosując technikę f);**
- **oczyszczać gazy odlotowe, stosując jedną z poniższych technik g)–j) lub ich kombinację.**

Technika		Opis	Stosowanie
Zapobieganie emisjom			
a.	Ogólne techniki odlewania grawitacyjnego i pod niskim ciśnieniem (niskociśnieniowego)	Obejmuje takie techniki jak: • dobór odpowiedniego środka smarującego, aby zapobiec wadom powierzchni odlewów; • optymalizację przygotowania i zastosowania środka smarującego w celu uniknięcia nadmiernego użycia.	Zastosowanie ogólne
b.	Ogólne techniki odlewania pod wysokim ciśnieniem (wysokociśnieniowego)	Obejmuje to techniki takie jak: • odpowiednie smarowanie matrycy i bełtaków na przykład przy użyciu emulsji wodnych, olejów silikonowych, olejów estrowych, wosków syntetycznych; • ograniczenie do minimum zużycia czynnika zapobiegającego przywieraniu i wody przez optymalizację procesu natryskiwania, np. stosowanie mikronatryskiwania czynników zapobiegających przywieraniu (zob. również BAT 17 (b)).	

Technika		Opis	Stosowanie
c.	Optymalizacja parametrów procesu odlewania odśrodkowego i ciągłego	W odlewaniu odśrodkowym optymalizuje się ważne parametry procesu, takie jak obracanie się formy, temperaturę zalewania i temperaturę wstępnego ogrzewania formy (np. przez symulację przepływu), aby zmniejszyć liczbę wad i zminimalizować emisje. W odlewaniu ciągłym optymalizuje się szybkość odlewania, temperaturę odlewania i szybkość chłodzenia w celu zminimalizowania emisji i zmniejszenia ilości wody zużywanej do chłodzenia, przy jednoczesnym osiągnięciu wymaganej specyfikacji produktu.	
d.	Oddzielne natryskiwanie czynnika zapobiegającego przywieraniu i wody w odlewaniu pod wysokim ciśnieniem	Zob. Sekcja 4.4.2.	
e.	Stosowanie bezwodnych czynników zapobiegających przywieraniu w odlewaniu pod wysokim ciśnieniem	Bezwodne czynniki zapobiegające przywieraniu (np. w postaci proszku) nakłada się na matrycę za pomocą osadzania elektrostatycznego.	
Zbieranie emisji			
f.	Wyłapywanie emisji wytwarzanych podczas procesu odlewania jak najbliżej źródła emisji	Emisje pochodzące z procesu odlewania, w tym odlewania pod wysokim ciśnieniem/pod niskim ciśnieniem/grawitacyjnego, odlewania odśrodkowego i ciągłego, są wyłapywane przy użyciu obudów lub okapów odciągowych.	Zastosowanie ogólne
Oczyszczanie gazów odlotowych			
g.	Filtr tkaninowy	Zob. Sekcja 4.4.3.	Zastosowanie ogólne
h.	Oczyszczanie (płukanie) na mokro	Zob. Sekcja 4.4.3.	
i.	Elektrofiltr	Zob. Sekcja 4.4.3.	
j.	Utlenianie termiczne	Zob. Sekcja 4.4.3.	Zastosowanie rekuperacyjnego lub regeneracyjnego utleniania termicznego może być ograniczone w przypadku istniejących zespołów urządzeń ze względu na ograniczenia konstrukcyjne i/lub eksploatacyjne. Zastosowanie tej techniki może być ograniczone w przypadku nadmiernego zapotrzebowania na energię ze względu na niską zawartość danych związków w gazach odlotowych z procesu technologicznego.

Tabela 4.11: Poziomy emisji powiązane z BAT (BAT-AEL) w odniesieniu do emisji zorganizowanych do powietrza pyłu, całkowitych LZO i ołowiu pochodzących z procesów odlewania w odlewniach stosujących formy trwałe

Substancja/Parametr	Jednostka	BAT-AEL (średnia dobowa lub średnia z okresu pobierania próbek)
Pył	mg/Nm³	1 – 5
Pb		0,05 – 0,1 (1)
Całkowite LZO	mg C/Nm^3	2 - 30 (2)(3)
(1) BAT-AEL mają zastosowanie wyłącznie w przypadku odlewni ołowiu. (2) BAT-AEL mają zastosowanie tylko wtedy, gdy całkowite LZO zidentyfikowane jako istotne w strumieniach gazów odlotowych na podstawie wykazu materiałów wsadowych i produktów, o którym mowa w BAT 2. (3) BAT-AEL mają zastosowanie tylko wtedy, gdy stosuje się rdzenie z wiązaną masą wiązaną chemicznie.		

Powiązane monitorowanie opisano w BAT 12.

4.2.1.12 Emisje do powietrza z wykańczania

BAT 30. Aby ograniczyć emisje do powietrza z wykańczania, w ramach BAT należy zbierać emisje za pomocą techniki a) oraz oczyszczać gazy odlotowe przy użyciu jednej z poniższych technik b)–d) lub ich kombinacji.

Technika		Opis
Zbieranie emisji		
a.	Wyłapywanie emisji wytwarzanych podczas wykańczania jak najbliżej źródła emisji	Emisje pochodzące z operacji wykańczania, takich jak stępianie ostrych krawędzi, przecinanie, oczyszczanie odlewów, szlifowanie ślizgowe, śrutowanie, spawanie, dłutowanie, igłowanie, są odpowiednio wyłapywane za pomocą na przykład: • obudowania obszaru procesu wykańczania; • wentylacji dachowej lub dachów kopułowych; • sztywnych lub regulowanych okapów odciągowych; • ramion odciągowych.
Oczyszczanie gazów odlotowych		
b.	Cyklon	Zob. Sekcja 4.4.3.
c.	Filtr tkaninowy	Zob. Sekcja 4.4.3.
d.	Oczyszczanie (płukanie) na mokro	Zob. Sekcja 4.4.3.

Tabela 4.12: Poziomy emisji powiązane z najlepszymi dostępnymi technikami (BAT-AEL) w odniesieniu do emisji zorganizowanych do powietrza pyłu pochodzących z wykańczania

Parametr	Jednostka	BAT-AEL (średnia dobowa lub średnia z okresu pobierania próbek)
Pył	mg/Nm³	1 – 5

Powiązane monitorowanie opisano w BAT 12.

4.2.1.13 Emisje do powietrza z ponownego wykorzystania masy/piasku

BAT 31. Aby ograniczać emisje do powietrza z ponownego wykorzystania masy/piasku, w ramach BAT należy:

- **w przypadku regeneracji termicznej masy – stosować energię elektryczną wytwarzaną z niekopalnych źródeł energii albo obie techniki a) i b);**
- **zbierać emisje, stosując technikę c);**

- **oczyszczać gazy odlotowe, stosując jedną z poniższych technik d)–g) lub ich odpowiednią kombinację.**

Technika		Opis	Stosowanie
Techniki ograniczające powstawanie emisji			
a.	Stosowanie paliwa lub kombinacji paliw o niskim potencjale tworzenia NO_X	Paliwa o niskim potencjale tworzenia NO_X obejmują gaz ziemny oraz LPG.	Zastosowanie w ramach ograniczeń związanych z dostępnością poszczególnych rodzajów paliwa, na którą może mieć wpływ polityka energetyczna państwa członkowskiego.
b.	Stosowanie paliwa lub kombinacji paliw o niskiej zawartości siarki	Paliwa o niskiej zawartości siarki obejmują gaz ziemny oraz LPG.	Zastosowanie w ramach ograniczeń związanych z dostępnością poszczególnych rodzajów paliwa, na którą może mieć wpływ polityka energetyczna państwa członkowskiego.
Zbieranie emisji			
c.	Wyłapywanie emisji wytwarzanych podczas ponownego wykorzystania masy jak najbliżej źródła emisji	Emisje wytwarzane podczas regeneracji masy są wyłapywane na przykład za pomocą obudowy lub okapu. Obejmuje to wychwytywanie gazów spalinowych wytwarzanych w piecach ze złożem fluidalnych, piecach obrotowych, piecach trzonowych itp., które to gazy wykorzystuje się do regeneracji termicznej masy.	Zastosowanie ogólne
Oczyszczanie gazów odlotowych			
d.	Cyklon	Zob. Sekcja 4.4.3.	Zastosowanie ogólne
e.	Filtr tkaninowy	Zob. Sekcja 4.4.3.	
f.	Oczyszczanie (płukanie) na mokro	Zob. Sekcja 4.4.3.	
g.	Utlenianie termiczne	Zob. Sekcja 4.4.3.	Zastosowanie rekuperacyjnego lub regeneracyjnego utleniania termicznego może być ograniczone w przypadku istniejących zespołów urządzeń ze względu na ograniczenia konstrukcyjne i/lub eksploatacyjne. Zastosowanie tej techniki może być ograniczone w przypadku nadmiernego zapotrzebowania na energię ze względu na niską zawartość danych związków w gazach odlotowych z procesu technologicznego.

Tabela 4.13: Poziomy emisji powiązane z najlepszymi dostępnymi technikami (BAT-AEL) w odniesieniu do emisji zorganizowanych do powietrza pyłu i całkowitych LZO pochodzących z ponownego wykorzystania masy

Substancja/Parametr	Jednostka	BAT-AEL (średnia dobowa lub średnia z okresu pobierania próbek)
Pył	mg/Nm^3	1 – 5
Całkowite LZO	mg C/Nm^3	5 – 20 (1)
(1) Górna granica zakresu BAT-AEL może być wyższa i wynosić do 50 mg C/Nm3 w przypadku niskiego udziału masy rdzeniowej w ponownym wykorzystaniu masy.		

Tabela 4.14: Poziomy emisji powiązane z najlepszymi dostępnymi technikami (BAT-AEL) w odniesieniu do emisji zorganizowanych do powietrza NO_X i SO_2 z ponownego wykorzystania masy

Substancja/ Parametr	Proces	Jednostka	BAT-AEL (średnia dobowa lub średnia z okresu pobierania próbek)
NO_x	Regeneracja termiczna masy/piasku pochodzącej z procesu zimnej rdzennicy	mg/Nm3	50 – 140
SO_2	Regeneracja termiczna masy, w której zastosowano katalizatory kwasu sulfonowego		10 – 100

Powiązane monitorowanie opisano w BAT 12.

4.2.1.14 Odór

BAT 32. Aby zapobiec występowaniu emisji odorów lub, jeżeli jest to niemożliwe, ograniczyć je, w ramach BAT należy opracować, wdrożyć i regularnie poddawać przeglądowi plan zarządzania odorami, jako część systemu zarządzania środowiskowego (zob. BAT 1), który obejmuje wszystkie następujące elementy:

- Protokół zawierający odpowiednie działania i harmonogram.
- Protokół monitorowania odorów określony w BAT 33. Można go uzupełnić pomiarem/oszacowaniem narażenia na odory lub oszacowaniem skutków takiego narażenia.
- Protokół reagowania na stwierdzone przypadki wystąpienia odorów, np. zarządzanie skargami i/lub podejmowanie działań naprawczych.
- Program zapobiegania występowaniu odorów i ich ograniczania, mający na celu określenie ich źródeł; pomiar/ oszacowanie narażenia na odory; określenie udziału poszczególnych źródeł; oraz wdrożenie środków zapobiegawczych i/lub ograniczających.

Stosowanie

Możliwość zastosowania ogranicza się do przypadków, w których oczekuje się, że w obiektach wrażliwych odczuwany będzie dokuczliwy odór, i/lub gdy dokuczliwość odoru została udowodniona.

BAT 33. W ramach BAT należy okresowo monitorować emisje odorów.

Opis

Emisje odorów można monitorować zgodnie z:

- Normami EN (np. olfaktometria dynamiczna zgodnie z normą EN 13725 w celu określenia stężenia zapachu i/ lub normą EN 16841-1 lub -2 w celu określenia ekspozycji na zapach).
- Metodami alternatywnymi (np. oszacowanie wpływu odorów), dla których nie są dostępne normy EN. W takim przypadku można stosować normy ISO, normy krajowe lub inne normy międzynarodowe zapewniające uzyskanie danych o równoważnej jakości naukowej.

Częstotliwość monitorowania określa się w planie zarządzania odorami (zob. BAT 32).

Stosowanie

Możliwość zastosowania ogranicza się do przypadków, w których oczekuje się, że w obiektach wrażliwych odczuwany będzie dokuczliwy odór, i/lub gdy dokuczliwość odoru została udowodniona.

BAT 34. Aby zapobiec występowaniu emisji odorów lub, jeżeli jest to niemożliwe, ograniczyć je, w ramach BAT należy stosować wszystkie poniższe techniki.

Technika	Opis	Stosowanie

a.	Zastąpienie substancji chemicznych zawierających rozpuszczalniki na bazie alkoholu lub rozpuszczalniki aromatyczne	Obejmuje to techniki takie jak: • stosowanie powłok na bazie wody (zob. BAT 25 (l)); • stosowanie alternatywnych rozpuszczalników w wykonywaniu rdzeni w procesie zimnej rdzennicy (zob. BAT 25 (h)).	Zastosowanie powłok na bazie wody może być ograniczone ze względu na rodzaj surowca lub specyfikacje produktu (np. duże formy/rdzenie, masy wiązane szkłem wodnym, odlewy Mg, produkcja stali manganowej z powłoką MgO).
b.	Gromadzenie i oczyszczanie emisji amin z procesu wykonywaniu rdzeni w procesie zimnej rdzennicy	Gazy odlotowe zawierające aminy, wytwarzane w wyniku gazowania rdzeni metodą zimnej rdzennicy, są usuwane i oczyszczane na przykład za pomocą oczyszczania na mokro, filtra biologicznego, utleniania termicznego lub katalitycznego (zob. BAT 26).	Zastosowanie ogólne
c.	Gromadzenie i oczyszczanie emisji LZO z przygotowywania, zalewania, chłodzenia i wybijania masy wiązanej chemicznie	Gazy odlotowe zawierające LZO, wytwarzane w wyniku przygotowywania, zalewania, chłodzenia i wybijania masy wiązanej chemicznie, są usuwane i oczyszczane na przykład za pomocą oczyszczania na mokro, filtra biologicznego, utleniania termicznego lub katalitycznego (zob. BAT 26).	

4.2.1.15 Zużycie wody oraz wytwarzanie ścieków

BAT 35. Aby zoptymalizować zużycie wody i zmniejszyć ilość wytwarzanych ścieków oraz zwiększyć zdatność wody do recyklingu, w ramach BAT należy stosować zarówno techniki a) i b), jak i odpowiednią kombinację technik c)–g).

Technika		Opis	Stosowanie
a.	Plan gospodarowania wodą i audyty	Plan gospodarowania wodą i audyty stanowią część systemu EMS (zob. BAT 1) i obejmują: • schematy przepływu i bilans masy wody zakładu w ramach wykazu materiałów wsadowych i produktów, o którym mowa w BAT 2; • ustanowienie celów w zakresie oszczędnego gospodarowania wodą; • wdrażanie technik optymalizacji zużycia wody (np. kontrola zużycia wody, ponowne użycie/recykling, wykrywanie i usuwanie wycieków). Audyty są przeprowadzane co najmniej raz w roku, aby upewnić się, że cele planu gospodarowania wodą zostały osiągnięte, a zalecenia pokontrolne są przestrzegane i wdrażane.	Poziom szczegółowości planu gospodarowania wodą i audytów będzie zasadniczo związany z charakterem, skalą i złożonością zakładu.
b.	Segregacja strumieni wody	Zob. Sekcja 4.4.4.	Możliwość zastosowania w istniejących zakładach może być ograniczona układem systemu zbierania wody.

Technika		Opis	Stosowanie
c.	Ponowne wykorzystanie i/lub recykling wody	Strumienie wody (np. woda procesowa, ścieki z oczyszczania na mokro, woda chłodząca) są ponownie wykorzystywane i/lub poddawane recyklingowi w obiegach zamkniętych lub półzamkniętych, w razie potrzeby po oczyszczeniu (zob. BAT 36).	Stopień ponownego wykorzystania i/lub recyklingu wody jest uwarunkowany bilansem wodnym zakładu, zawartością zanieczyszczeń lub charakterystyką ścieków.
d.	Zapobieganie wytwarzaniu ścieków z obszarów przetwarzania i przechowywania	Zob. BAT 4 (b).	Zastosowanie ogólne
e.	Stosowanie układów odpylania na sucho	Obejmuje takie techniki jak filtry tkaninowe i suche elektrofiltry (zob. Sekcja 4.4.3).	Zastosowanie ogólne
f.	Oddzielne natryskiwanie czynnika zapobiegającego przywieraniu i wody w odlewaniu pod wysokim ciśnieniem	Zob. Sekcja 4.4.2.	Zastosowanie ogólne
g.	Wykorzystanie ciepła odpadowego do odparowywania ścieków	Jeżeli ciepło odpadowe jest dostępne w sposób ciągły, można je wykorzystać do odparowywania ścieków.	Możliwość zastosowania może być ograniczona właściwościami fizyczno-chemicznymi zanieczyszczeń obecnych w ściekach, które mogą być emitowane do powietrza.

Tabela 4.15: Poziomy efektywności środowiskowej powiązane z BAT (BAT-AEPL) w odniesieniu do jednostkowego zużycia wody

Rodzaj odlewni	Jednostka	BAT-AEPL (średnia roczna)
Odlewnie żeliwa	m^3/t płynnego metalu	0,5 – 4
Odlewnie staliwa		
Odlewnie metali nieżelaznych (wszystkie rodzaje z wyjątkiem HPDC)		
Odlewnie metali nieżelaznych HPDC		0,5 – 7

Powiązane monitorowanie opisano w BAT 6.

4.2.1.16 Emisje do wody

BAT 36. Aby ograniczyć emisje do wody, w ramach BAT należy oczyszczać wodę, stosując odpowiednią kombinację poniższych technik.

Technika (1)		Typowe zanieczyszczenia, wobec których stosowana jest technika
Oczyszczanie wstępne, pierwotne i ogólne, np.		
a.	Wyrównanie (ujednorodnienie) strumienia ścieków	Wszystkie zanieczyszczenia
b.	Neutralizacja	Kwasy, zasady
c.	Oddzielanie fizyczne na przykład za pomocą krat, sit, piaskowników, separatorów tłuszczu, hydrocyklonów, rozdzielania faz oleju i wody lub osadników wstępnych	Ciała stałe, zawiesiny ciał stałych, olej/tłuszcz
Przetwarzanie fizyczno-chemiczne, np.		

d.	Adsorpcja	Ulegające adsorpcji, rozpuszczone, nieulegające biodegradacji lub inhibitory zanieczyszczeń, np. węglowodory, rtęć, AOX
e.	Strącanie chemiczne	Ulegające strącaniu rozpuszczone, nieulegające biodegradacji substancje zanieczyszczające lub inhibitory zanieczyszczeń, np. metale, fluorek
f.	Odparowywanie	Rozpuszczalne zanieczyszczenia, np. sole
Oczyszczanie biologiczne, np.		
g.	Proces osadu czynnego	Związki organiczne ulegające biodegradacji
h.	Bioreaktor membranowy	
Usuwanie substancji stałych, np.		
i.	Koagulacja i flokulacja	Zawiesiny ciał stałych oraz metale zawarte w pyle
j.	Sedymentacja	Zawiesiny i zawarte w pyle metale nieulegające biodegradacji lub zanieczyszczenia inhibitujące
k.	Filtracja, np. filtrowanie przez piasek, mikrofiltracja, ultrafiltracja, odwrócona osmoza	Zawiesiny ciał stałych oraz metale zawarte w pyle
l	Flotacja	
(1) Opisy przedmiotowych technik podano w Sekcji 4.4.4		

Tabela 4.16: Poziomy emisji powiązane z BAT (BAT-AEL) w odniesieniu do bezpośrednich zrzutów

Substancja/Parametr		Jednostka	BAT-AEL (1)	Pochodzenie strumieni ścieków
Adsorbowalne związki chloroorganiczne (AOX) (2)		mg/l	0,1 – 1	Oczyszczanie na mokro gazów odlotowych z żeliwiaków
Chemiczne zapotrzebowanie tlenu (ChZT) (3)			25 – 120	Odlewanie ciśnieniowe, oczyszczanie gazów odlotowych (np. oczyszczanie na mokro), wykańczanie, obróbka termiczna, zanieczyszczone spływy powierzchniowe, chłodzenie bezpośrednie, regeneracja masy/piasku na mokro i granulacja żużla odlewniczego z żeliwiaków.
Ogólny węgiel organiczny (OWO) (TOC) (3)			8 – 40	
Zawiesina ogólna (TSS)			5 – 25	
Indeks oleju węglowodorowego (HOI) (2)			0,1 – 5	
Metale	Miedź (Cu) (2)		0,1 – 0,4	
	Chrom (Cr) (2)		0,1 – 0,2	
	Ołów (Pb) (2)		0,1 – 0,3	
	Nikiel (Ni) (2)	mg/l	0,1 – 0,5	
	Cynk (Zn) (2)		0,5 – 2	
Indeks fenolowy			0,05, 0,5-4.	
Azot ogólny (TN) (2)			1 – 20	
(1) Okresy uśrednienia zdefiniowano w części Uwagi ogólne. (2) BAT-AEL mają zastosowanie tylko wtedy, gdy daną substancję/dany parametr zidentyfikowano jako istotne w strumieniu ścieków na podstawie wykazu materiałów wsadowych i produktów, o którym mowa w BAT 2. (3) Zastosowanie ma BAT-AEL w odniesieniu do ChZT albo BAT-AEL w odniesieniu do OWO. BAT-AEL w odniesieniu do OWO jest preferowanym wariantem, ponieważ jego monitorowanie nie wiąże się z wykorzystaniem bardzo toksycznych związków. (4) AEL mają zastosowanie tylko wtedy, gdy stosuje się systemy wiązania fenolowego.				

Powiązane monitorowanie opisano w BAT 13.

Tabela 4.17: Poziomy emisji powiązane z BAT (BAT-AEL) w odniesieniu do zrzutów pośrednich

Substancja/Parametr		Jednostka	BAT-AEL (1) (2)	Pochodzenie strumieni ścieków
Adsorbowalne związki chloroorganiczne (AOX) (3)		mg/l	0,1 – 1	Oczyszczanie na mokro gazów odlotowych z żeliwiaków
Indeks oleju węglowodorowego (HOI) (3)			0,1 – 5	Odlewanie ciśnieniowe, oczyszczanie gazów odlotowych (np. oczyszczanie na mokro), wykańczanie, obróbka
Metale	Miedź (Cu) (3)		0,1 – 0,4	

	Chrom (Cr) (3)		0,1 – 0,2	termiczna, zanieczyszczone spływy powierzchniowe, chłodzenie bezpośrednie, regeneracja masy/piasku na mokro i granulacja żużla odlewniczego z żeliwiaków.
	Ołów (Pb) (3)		0,1 – 0,3	
	Nikiel (Ni) (3)	g/l	0,1 – 0,5	
	Cynk (Zn) (3)		0,5 – 2	
Indeks fenolowy			§ 0 05 – 0,5 (4)	

(1) Okresy uśrednienia zdefiniowano w części Uwagi ogólne.
(2) BAT-AEL mogą nie mieć zastosowania, gdy oczyszczalnia ścieków jest odpowiednio zaprojektowana i wyposażona do usuwania przedmiotowych zanieczyszczeń, o ile nie prowadzi to do wyższego poziomu zanieczyszczenia środowiska.
(3) BAT-AEL mają zastosowanie tylko wtedy, gdy daną substancję/dany parametr zidentyfikowano jako istotne w strumieniu ścieków na podstawie wykazu materiałów wsadowych i produktów, o którym mowa w BAT 2.
(4) AEL mają zastosowanie tylko wtedy, gdy stosuje się systemy wiązania fenolowego.

Powiązane monitorowanie opisano w BAT 13.

4.2.2 Konkluzje dotyczące BAT w odniesieniu do odlewni żeliwa

Konkluzje dotyczące BAT przedstawione w niniejszej sekcji mają zastosowanie w uzupełnieniu do ogólnych konkluzji dotyczących BAT podanych w Sekcjach 4.1 oraz 4.2.1.

4.2.2.1 Efektywność energetyczna

BAT 37. Aby zwiększyć efektywność energetyczną w procesie topienia metali, w ramach BAT należy stosować kombinację poniższych technik.

Technika		Opis	Stosowanie
a.	Zwiększenie wysokości szybu w piecach CBC	Zob. Sekcja 4.4.1.	Technika ta ma zastosowanie wyłącznie do nowych zakładów oraz w przypadku znaczącej modernizacji istniejących zakładów. Możliwość zastosowania w istniejących zakładach może być ograniczona ze względu na ograniczenia konstrukcyjne i inne ograniczenia strukturalne.
b.	Wzbogacanie tlenem powietrza do spalania	Zob. Sekcja 4.4.1.	Zastosowanie ogólne
c.	Minimalne okresy wyłączania dmuchu w piecach HBC	Zob. Sekcja 4.4.1.	Zastosowanie ogólne
d.	Żeliwiaki kampanijne o długim czasie pracy	Zob. Sekcja 4.4.1.	Zastosowanie ogólne
e.	Spalanie gazów odlotowych	Zob. Sekcja 4.4.1.	Zastosowanie ogólne

BAT-AEPL dla jednostkowego zużycia energii podano w BAT 14.

4.2.2.2 Emisje do powietrza z procesów termicznych

4.2.2.2.1 Emisje do powietrza z topienia metali

BAT 38. Aby zapobiec emisjom do powietrza z topienia metali lub je ograniczyć, w ramach BAT należy:

- stosować odpowiednią kombinację technik zintegrowanych z procesem a)–e) w przypadku żeliwiaków;
- zbierać emisje, stosując technikę f);
- oczyszczać wychwycone gazy odlotowe, stosując jedną z poniższych technik g)–l) lub ich odpowiednią kombinację.

Technika		Opis	Stosowanie
Techniki zintegrowane z procesem dla żeliwiaków			
a.	Kontrola jakości koksu	Koks kupowany jest w oparciu o istotne specyfikacje jakościowe (np. współczynnik „fixed carbon", popiół, substancje lotne, zawartość siarki i wilgoci, średni rozmiar średnicy), które są systematycznie kontrolowane przed użyciem.	Zastosowanie ogólne
b.	Dostosowanie kwasowości/zasadowości żużla	Zob. Sekcja 4.4.3.	
c.	Zwiększenie wysokości szybu w piecach CBC	Zob. Sekcja 4.4.1.	Technika ta ma zastosowanie wyłącznie do nowych zakładów oraz w przypadku znaczącej modernizacji istniejących zakładów. Możliwość zastosowania w istniejących zakładach może być ograniczona ze względu na ograniczenia konstrukcyjne i inne ograniczenia strukturalne.
d.	Wzbogacanie tlenem powietrza do spalania	Zob. Sekcja 4.4.3.	Zastosowanie ogólne
e.	Żeliwiaki kampanijne o długim czasie pracy	Zob. Sekcja 4.4.1.	Zastosowanie ogólne
Zbieranie emisji			
f.	Wychwytywanie gazów odlotowych jak najbliżej źródła emisji	W żeliwiakach gazy odlotowe są wychwytywane: • powyżej miejsca odbioru z otworem wsadowym na końcu komina żeliwiaka przy użyciu kanału i znajdującego się za nim wentylatora; albo • poniżej miejsca odbioru z otworem wsadowym przy użyciu otaczającej podkładki pierścieniowej. Po wychwyceniu gazy odlotowe schładza się na przykład przy użyciu: • długich kanałów obniżających temperaturę poprzez konwekcję naturalną; • wymienników ciepła powietrza/gazu lub oleju/gazu; • gaszenia wodą. W przypadku pieców indukcyjnych gazy odlotowe są wychwytywane na przykład przy użyciu: • odciągu okapowego (np. okapy górne lub boczne z odciągiem); • ekstrakcji barierowej; • ekstrakcji osłonowej. W przypadku pieców obrotowych gazy odlotowe są wychwytywane na przykład przy użyciu odciągu okapowego.	Zastosowanie ogólne

Technika		Opis	Stosowanie
		W przypadku EAF gazy odlotowe są wychwytywane na przykład przy użyciu: • odciągu okapowego montowanego na dachu; • okapów górnych lub bocznych z odciągiem; • częściowej obudowy pieca (ruchomej lub stałej) zamocowanej wokół pieca i obszaru spuszczania; • pełnej obudowy pieca z zastosowaniem pełnej obudowy przestrzeni wokół pieca i obszaru spuszczania, wyposażonej w ruchomy dach do celów ładowania/spuszczania.	
Oczyszczanie gazów odlotowych			
g.	Spalanie gazów odlotowych	Zob. Sekcja 4.4.3.	Zastosowanie ogólne
h.	Cyklon	Zob. Sekcja 4.4.3.	Zastosowanie ogólne
i.	Adsorpcja	Zob. Sekcja 4.4.3.	Zastosowanie ogólne
j.	Proces suchego odsiarczania	Suchy proszek lub zawiesina/roztwór odczynnika alkalicznego (np. wapno lub wodorowęglan sodu) jest wprowadzany i rozpraszany w strumieniu gazów wylotowych. Materiał reaguje z danym kwasem w stanie gazowym (np. SO_2), tworząc ciało stałe, które usuwa się drogą filtracji (np. na filtrze tkaninowym).	Zastosowanie ogólne
k.	Filtr tkaninowy	Zob. Sekcja 4.4.3.	Zastosowanie ogólne
l	Oczyszczanie (płukanie) na mokro	Zob. Sekcja 4.4.3.	Zastosowanie ogólne

Tabela 4.18: Poziomy emisji powiązane z najlepszymi dostępnymi technikami (BAT-AEL) w odniesieniu do emisji zorganizowanych do powietrza pyłu, HCl, HF, NO_X, PCDD/F, SO_2, całkowitych LZO i ołowiu oraz wskaźnikowy poziom emisji w odniesieniu do zorganizowanych emisji do powietrza CO z topienia metali

Substancja/ Parametr	Jednostka	Rodzaj pieca	AT-AEL (średnia dobowa lub średnia z okresu pobierania próbek)	Wskaźnikowy poziom emisji (średnia dobowa lub średnia z okresu pobierania próbek)
Pył	mg/Nm³	Indukcyjne, obrotowe, EAF	1 – 5	Brak wskaźnikowego poziomu emisji
		CBC, HBC	1 – 7 (1)	
HCl		CBC, HBC	10 – 30 (2)	
HF		CBC, HBC, piece obrotowe	1 – 3 (2)	
CO		Piece obrotowe	Brak BAT-AEL	10 – 30
		CBC, HBC	Brak BAT-AEL	20 – 220
NO_X		HBC	20 -160	Brak wskaźnikowego poziomu emisji
		CBC	20 – 70	
		Piece obrotowe	20 – 100	
PCDD/F	ng WHO-TEQ/Nm³	CBC, HBC, piece obrotowe	< 0,01 – 0,08	
		Piece indukcyjne	< 0,01 – 0,08 (3)	
SO_2	mg/Nm³	HBC	30 – 100	
		Piece obrotowe	10 – 50	
		CBC	50 – 150	

Substancja/ Parametr	Jednostka	Rodzaj pieca	AT-AEL (średnia dobowa lub średnia z okresu pobierania próbek)	Wskaźnikowy poziom emisji (średnia dobowa lub średnia z okresu pobierania próbek)
Całkowite LZO	mg C/Nm^3	Wszystkie rodzaje pieców	5 – 30	
Pb	mg/Nm^3	CBC, HBC	0,02 0,1 3.	
(1) W odniesieniu do istniejących zakładów stosujących HBC oraz wykorzystujących oczyszczanie na mokro górna granica zakresu BAT-AEL może być wyższa i wynosić do 12 mg/Nm^3 do czasu następnej znaczącej modernizacji żeliwiaka. (2) Dolną granicę zakresu BAT-AEL można osiągnąć poprzez wstrzyknięcie suchego wapna. (3) BAT-AEL mają zastosowanie tylko wtedy, gdy daną substancję/dany parametr zidentyfikowano jako istotny w strumieniu gazów odlotowych na podstawie wykazu materiałów wsadowych i produktów, o którym mowa w BAT 2.				

Powiązane monitorowanie opisano w BAT 12.

4.2.2.2.2 Emisje do powietrza ze sferoidyzacji żeliwa

BAT 39. Aby zapobiec emisjom pyłu do powietrza ze sferoidyzacji żeliwa lub je ograniczyć, w ramach BAT należy stosować technikę a) lub obie techniki b) i c) podane poniżej.

Technika		Opis
a.	Sferoidyzacja bez emisji tlenku magnezu	Stosowanie procesu formowania, w którym stop magnezu jest dodawany jako tabletka, bezpośrednio do wnęki formy, a reakcja sferoidyzacji ma miejsce podczas zalewania.
b.	Wychwytywanie gazów odlotowych jak najbliżej źródła emisji	W przypadku emisji tlenku magnezu powstających w wyniku stosowanej techniki sferoidyzacji (np. technika warstwowa, technika kanałowa (duktylacyjna)), gazy wylotowe są ekstrahowane jak najbliżej źródła emisji za pomocą stałego lub ruchomego okapu odciągowego.
c.	Filtr tkaninowy	Zob. Sekcja 4.4.3. Zebrany tlenek magnezu można ponownie wykorzystać do produkcji pigmentów lub materiałów ogniotrwałych

Tabela 4.19: Poziomy emisji powiązane z najlepszymi dostępnymi technikami (BAT-AEL) w odniesieniu do emisji zorganizowanych do powietrza pyłu ze sferoidyzacji żeliwa

Parametr	Jednostka	BAT-AEL (1) (średnia dobowa lub średnia z okresu pobierania próbek)
Pył	mg/Nm^3	1 – 5
(1) BAT-AEL nie ma zastosowania, gdy stosuje się technikę a).		

Powiązane monitorowanie opisano w BAT 12.

4.2.3 Konkluzje dotyczące BAT w odniesieniu do odlewni staliwa

Konkluzje dotyczące BAT przedstawione w niniejszej sekcji mają zastosowanie w uzupełnieniu do ogólnych konkluzji dotyczących BAT podanych w Sekcjach 4.1 oraz 4.2.1.

4.2.3.1 Emisje do powietrza z procesów termicznych

4.2.3.1.1 Emisje do powietrza z topienia metali

BAT 40. Aby zapobiec emisjom do powietrza z topienia metali lub je ograniczyć, w ramach BAT należy stosować obie poniższe techniki.

Technika	Opis
Zbieranie emisji	

a.	Wychwytywanie gazów odlotowych jak najbliżej źródła emisji	Gazy wylotowe z pieców indukcyjnych są ekstrahowane (odsysane), na przykład za pomocą: • odciągu okapowego (np. okapy górne lub boczne z odciągiem); • ekstrakcji barierowej; • ekstrakcji osłonowej. Gazy wylotowe z pieców łukowych są ekstrahowane, na przykład za pomocą: • częściowej obudowy pieca (ruchomej lub stałej) zamocowanej wokół pieca i obszaru spustowego; • pełnej obudowy pieca z zastosowaniem pełnej obudowy przestrzeni wokół pieca i obszaru spustowego, wyposażonej w ruchomy dach do celów ładowania/spustu; • odciągu okapowego (np. okapy montowane na dachu, okapy górne lub boczne z odciągiem); • wychwytywania bezpośredniego przez górną pokrywę z otworem ssącym (tzw. czwarty otwór).
Oczyszczanie gazów odlotowych		
b.	Filtr tkaninowy	Zob. Sekcja 4.4.3.

Tabela 4.20: Poziomy emisji powiązane z najlepszymi dostępnymi technikami (BAT-AEL) w odniesieniu do emisji zorganizowanych do powietrza pyłu i PCDD/F

Parametr	Jednostka	BAT-AEL (średnia dobowa lub średnia z okresu pobierania próbek)
Pył	mg/Nm^3	1 – 5
PCDD/F	ng WHO-TEQ / Nm3	< 0,01 – 0,08 (1)
(1) BAT-AEL mają zastosowanie tylko wtedy, gdy PCDD/F zostały zidentyfikowane jako istotne w strumieniu gazów odlotowych na podstawie wykazu materiałów wsadowych i produktów, o którym mowa w BAT 2.		

Powiązane monitorowanie opisano w BAT 12.

4.2.3.1.2 Emisje do powietrza z rafinacji stali

BAT 41. Aby ograniczyć emisje do powietrza z rafinacji stali, w ramach BAT należy stosować obie poniższe techniki.

Technika		Opis
Zbieranie emisji		
a.	Wychwytywanie gazów odlotowych jak najbliżej źródła emisji	Gazy wylotowe z rafinacji stali (np. z konwertorów do odwęglania argonowo-tlenowego (AOD) lub próżniowego odwęglania tlenowego (VOD)) są ekstrahowane za pomocą np. okapu do bezpośredniej ekstrakcji lub okapu górnego w połączeniu z kominem przyspieszającym (akceleracyjnym). Wychwycone gazy odlotowe są oczyszczane techniką b).
Oczyszczanie gazów odlotowych		
b.	Filtr tkaninowy	Zob. Sekcja 4.4.3.

Tabela 4.21: Poziom emisji powiązany z najlepszymi dostępnymi technikami (BAT-AEL) w odniesieniu do emisji zorganizowanych do powietrza pyłu z rafinacji stali

Parametr	Jednostka	BAT-AEL (średnia dobowa lub średnia z okresu pobierania próbek)
Pył	mg/Nm^3	1 – 5

Powiązane monitorowanie opisano w BAT 12.

4.2.4 Konkluzje dotyczące BAT w odniesieniu do odlewni metali nieżelaznych

Konkluzje dotyczące BAT przedstawione w niniejszej sekcji mają zastosowanie w uzupełnieniu do ogólnych konkluzji dotyczących BAT podanych w Sekcjach 4.1 oraz 4.2.1.

4.2.4.1 Efektywność energetyczna

BAT 42. Aby zwiększyć efektywność energetyczną topienia metali, w ramach BAT należy stosować jedną z poniższych technik.

Technika		Opis
a.	Cyrkulacja stopu odlewniczego w piecach płomiennych	W piecach płomiennych montowana jest pompa, która wymusza cyrkulację stopionego metalu i minimalizuje gradient temperatury w całej stopionej kąpieli (od góry do dołu).
b.	Minimalizacja strat energii w drodze promieniowania w piecach tyglowych	Piece tyglowe są przykryte pokrywą i/lub wyposażone w okładziny z paneli radiacyjnych, aby zminimalizować straty energii spowodowane promieniowaniem.

BAT-AEPL dla jednostkowego zużycia energii podano w BAT 14.

4.2.4.2 Emisje do powietrza z procesów termicznych

4.2.4.2.1 Emisje do powietrza z topienia metali

BAT 43. Aby ograniczyć emisje do powietrza z topienia metali, w ramach BAT należy zbierać emisje za pomocą techniki a) oraz oczyszczać gazy odlotowe przy użyciu jednej z poniższych technik b)–e) lub ich kombinacji.

Technika		Opis
Zbieranie emisji		
a.	Wychwytywanie gazów odlotowych jak najbliżej źródła emisji	Gazy wylotowe z pieców szybowych, tyglowych, oporowych, płomiennych i z promiennikiem sufitowym są odprowadzane za pomocą okapu odciągowego (np. okapów górnych). Urządzenia odciągowe są tak zamontowane, aby umożliwić wychwytywanie emisji podczas zalewania. Gazy wylotowe z pieców indukcyjnych są ekstrahowane (odsysane) na przykład za pomocą: • odciągu okapowego (np. okapy górne lub boczne z odciągiem); • ekstrakcji barierowej; • ekstrakcji osłonowej. Gazy wylotowe z pieców obrotowych są odciągane, na przykład za pomocą okapu.
Oczyszczanie gazów odlotowych		
b.	Cyklon	Zob. Sekcja 4.4.3.
c.	Proces suchego odsiarczania	Zob. Sekcja 4.4.3
d.	Filtr tkaninowy	Zob. Sekcja 4.4.3
e.	Oczyszczanie (płukanie) na mokro	Zob. Sekcja 4.4.3

Tabela 4.22: Poziomy emisji powiązane z najlepszymi dostępnymi technikami (BAT-AEL) w odniesieniu do emisji zorganizowanych do powietrza pyłu, HCl, HF, NO_X, PCDD/F, SO_2 i Pb oraz wskaźnikowy poziom emisji w odniesieniu do zorganizowanych emisji do powietrza CO z topienia metali

Substancja/ Parametr	Jednostka	BAT-AEL (średnia dobowa lub średnia z okresu pobierania próbek)	Wskaźnikowy poziom emisji (średnia dobowa lub średnia z okresu pobierania próbek)
Pył	mg/Nm³	1 – 5	Brak wskaźnikowego poziomu emisji
HCl		1 - 3 (1) (6)	
HF		< 1 (1)	
CO		Brak BAT-AEL	5 - 30 (2) (3)
NO_X		20 - 50 (4) (5)	Brak wskaźnikowego poziomu emisji
PCDD/F	ng WHO-TEQ/Nm³	< 0,01 – 0,08 (6)	
SO_2	mg/Nm³	< 10 (4) (7)	

Substancja/ Parametr	Jednostka	BAT-AEL (średnia dobowa lub średnia z okresu pobierania próbek)	Wskaźnikowy poziom emisji (średnia dobowa lub średnia z okresu pobierania próbek)
Pb		< 0,02 – 0,1 (8)	

(1) BAT-AEL mają zastosowanie wyłącznie w przypadku odlewni aluminium.
(2) Górna granica wskaźnikowego poziomu emisji może być wyższa i wynosić do 70 mg/Nm^3 w przypadku pieców szybowych.
(3) Wskaźnikowy poziom emisji nie ma zastosowania w przypadku pieców wykorzystujących wyłącznie energię elektryczną (np. pieców oporowych).
(4) BAT-AEL nie ma zastosowania w przypadku pieców wykorzystujących wyłącznie energię elektryczną (np. pieców oporowych).
(5) Górna granica zakresu BAT-AEL może być wyższa i wynosić do 100 mg/Nm^3 w przypadku pieców szybowych.
(6) BAT-AEL mają zastosowanie tylko wtedy, gdy daną substancję/dany parametr zidentyfikowano jako istotny w strumieniu gazów odlotowych na podstawie wykazu materiałów wsadowych i produktów, o którym mowa w BAT 2.
(7) BAT-AEL nie ma zastosowania, gdy wykorzystywany jest wyłącznie gaz ziemny.
(8) BAT-AEL ma zastosowanie wyłącznie do odlewni ołowiu lub innych odlewni NFM wykorzystujących ołów jako pierwiastek stopowy.

Powiązane monitorowanie opisano w BAT 12.

4.2.4.3 Emisje do powietrza z obróbki i ochrony stopu odlewniczego

BAT 44. Stosowanie chloru w postaci gazowej do obróbki stopionego aluminium (odgazowywanie/oczyszczanie) nie stanowi BAT.

BAT 45. Aby zapobiec emisjom substancji o wysokim współczynniku globalnego ocieplenia uwalnianych wskutek ochrony stopu odlewniczego podczas topienia magnezu, w ramach BAT należy stosować czynniki regulujące utlenianie o niskim współczynniku globalnego ocieplenia.

Opis

Odpowiednie czynniki regulujące utlenianie (obejmujące gazy) o niskim współczynniku globalnego ocieplenia obejmują:

- SO_2;
- mieszaniny gazów N_2, CO_2 i/lub SO_2;
- mieszaniny argonu i SO_2.

Zastosowanie SO_2 powoduje powstanie warstwy ochronnej złożonej z $MgSO_4$, MgS i MgO.

4.3 Konkluzje dotyczące BAT w odniesieniu do kuźni

Konkluzje dotyczące BAT przedstawione w niniejszej sekcji mają zastosowanie w uzupełnieniu do ogólnych konkluzji dotyczących BAT podanych w Sekcji 4.1.

4.3.1 Efektywność energetyczna

BAT 46. Aby zwiększyć efektywność energetyczną ogrzewania/nagrzewania i obróbki termicznej, w ramach BAT należy stosować wszystkie poniższe techniki.

Technika		Opis	Zakres stosowania
a.	Optymalizacja konstrukcji pieca	Obejmuje takie techniki jak: • optymalizację kluczowych cech pieca (np. liczba i typ palników, szczelność i izolacja pieca przy użyciu odpowiednich materiałów ogniotrwałych); • minimalizację strat ciepła z otworów drzwiowych pieca, np. przez zastosowanie kilku podnoszonych segmentów zamiast jednego w piecach grzewczych ciągłego działania; • minimalizację liczby konstrukcji podtrzymujących wsad wewnątrz pieca (np. kształtowników, szyn ślizgowych) oraz zastosowanie odpowiedniej izolacji w celu zmniejszenia strat ciepła wynikających z chłodzenia wodą konstrukcji wsporczych w piecach grzewczych ciągłego działania.	Technika ta ma zastosowanie wyłącznie do nowych zakładów oraz w przypadku znaczącej modernizacji istniejących zakładów.
b.	Automatyzacja pieca i sterowanie piecem	Zob. Sekcja 4.4.1.	Zastosowanie ogólne
c.	Optymalizacja ogrzewania/nagrzewania wsadu	Obejmuje takie techniki jak: • zapewnienie, aby docelowe temperatury ogrzewania/ nagrzewania wsadu były zawsze osiągane; • wyłączanie urządzeń w okresach bezczynności; • optymalizacja pracy pieca, np. wykorzystanie wydajności pieca, korekta stosunku powietrza do paliwa, poprawa izolacji.	Zastosowanie ogólne
d.	Wstępne ogrzewanie powietrza do spalania	Zob. Sekcja 4.4.1.	Możliwość zastosowania w istniejących instalacjach może być ograniczona przez brak miejsca na montaż palników regeneracyjnych.

Tabela 4.23: Wskaźnikowy poziom jednostkowego zużycia energii na poziomie zakładu

Sektor	Jednostka	Wskaźnik poziomu (średnia roczna średnia)
Kuźnie	kWh/t wsadu	1 700 - 6 500

Powiązane monitorowanie opisano w BAT 6.

4.3.2 Efektywność wykorzystania materiałów

BAT 47. Aby zwiększyć efektywność wykorzystania materiałów i zmniejszyć ilość odpadów przekazywanych do unieszkodliwienia, w ramach BAT należy stosować wszystkie techniki podane poniżej.

Technika		Opis
a.	Optymalizacja procesu technologicznego	Obejmuje takie techniki jak: • komputerowe zarządzanie procesami, np. cyklami ogrzewania/nagrzewania, sekwencjami kucia; • wybór odpowiedniego młota w zależności od wielkości surowca; • dostosowanie wielkości surowca na linii kucia (w pełni zautomatyzowanej) lub w obszarze organizacyjnym (ręcznego) cięcia materiałów w celu zminimalizowania ilości pozostałości i liczby procesów.
b.	Optymalizacja zużycia surowców i materiałów pomocniczych	Obejmuje takie techniki jak: • stosowanie wspomaganego komputerowo projektowania w celu optymalizacji narzędzi kucia i geometrii kucia (matrycy) w celu zmniejszenia konieczności przeprowadzania prób kucia; • wybór odpowiedniego rodzaju kucia z wykorzystaniem cieczy chłodzącej/smaru, np. syntetycznego smaru do kucia matrycowego, dyspersji grafitu na bazie wody; • systemy zbierania i recyrkulacji cieczy chłodzących/smarów w procesie kucia matrycowego.
c.	Recykling pozostałości poprocesowych	Pozostałości z procesu (np. pozostałości metali z procesów przygotowania surowców, kucia i wykańczania; zużyte środki do śrutowania/ścierniwo) są poddawane recyklingowi i/lub ponownie wykorzystywane.

4.3.3 Wibracje

BAT 48. Aby ograniczyć wibracje występujące w procesie młotkowania, w ramach BAT należy stosować techniki ograniczania wibracji oraz techniki izolacji

Opis

Techniki ograniczania wibracji i techniki izolacji stosowane w odniesieniu do urządzeń młotkowych obejmują instalację elementów tłumiących wibracje, np. warstwowych izolatorów elastomerowych lub wiskotycznych izolatorów sprężynowych poniżej kowadła, obudowy sprężynowej poniżej fundamentu młota.

Zakres stosowania

Technika ta ma zastosowanie wyłącznie do nowych zakładów i/lub w przypadku znaczącej modernizacji istniejących zakładów.

4.3.4 Monitorowanie emisji do powietrza

BAT 49. W ramach BAT należy monitorować emisje zorganizowane do powietrza co najmniej z podaną poniżej częstotliwością i zgodnie z normami EN. Jeżeli normy EN są niedostępne, w ramach BAT należy stosować normy ISO, normy krajowe lub inne normy międzynarodowe zapewniające uzyskanie danych o równoważnej jakości naukowej.

Substancja/ Parametr	Szczegóły procesu	Normy	Minimalna częstotliwość monitorowania (1)	Monitorowanie powiązane z
Tlenki azotu (NO_X)	Ogrzewanie/ nagrzewanie, obróbka termiczna	EN 14792	Raz na rok	BAT50
Tlenek węgla CO		EN 15058		
(1) W miarę możliwości pomiary są przeprowadzane w najwyższym oczekiwanym stanie emisji w normalnych warunkach eksploatacji.				

4.3.5 Emisje do powietrza

4.3.5.1 Emisje rozproszone do powietrza

BAT 50. Aby ograniczyć emisje rozproszone do powietrza, w ramach BAT należy stosować obie niżej podane techniki.

Technika		Opis
a.	Środki operacyjne i techniczne	Obejmuje takie techniki jak: • stosowanie zamkniętych worków lub bębnów do obsługi materiałów zawierających związki rozpraszalne lub rozpuszczalne w wodzie, np. urządzeń pomocniczych; • minimalizacja odległości transportu; • efektywne postępowanie z materiałami.
b.	Wyłapywanie emisji ze śrutowania	Emisje ze śrutowania. Gazy wylotowe są oczyszczane za pomocą takich technik jak filtry tkaninowe.

4.3.5.2 Emisje do powietrza z ogrzewania/nagrzewania i obróbki termicznej

BAT 51. Aby zapobiec emisjom NO_X do powietrza z ogrzewania, nagrzewania i obróbki termicznej, a jednocześnie ograniczyć emisje CO, w ramach BAT należy wykorzystać energię elektryczną wytwarzaną z niekopalnych źródeł energii albo odpowiednią kombinację technik podanych poniżej.

Technika		Opis	Zakres stosowania
a.	Stosowanie paliwa lub kombinacji paliw o niskim potencjale tworzenia NO_X	Paliwa o niskim potencjale tworzenia NO_X obejmują gaz ziemny oraz LPG.	Zastosowanie ogólne
b.	Optymalizacja spalania	Środki podjęte w celu maksymalizacji efektywności przetwarzania energii w piecu przy jednoczesnej minimalizacji emisji (w szczególności CO). Osiąga się to poprzez połączenie różnych technik, w tym odpowiednią konstrukcję pieca, optymalizację temperatury (np. efektywne mieszanie paliwa i powietrza do spalania) i czasu przebywania w strefie spalania oraz stosowanie automatyki i sterowania piecem.	
c.	Automatyzacja pieca i sterowanie piecem	Zob. Sekcja 4.4.1..	
d.	Recyrkulacja gazów spalinowych	Recyrkulacja (zewnętrzna) części gazów spalinowych do komory spalania w celu zastąpienia części świeżego powietrza do spalania, o podwójnym efekcie obniżenia temperatury chłodzenia i ograniczenia zawartości O_2 do utleniania azotu, co w rezultacie ogranicza wytwarzanie NO_X. Oznacza to doprowadzenie gazów spalinowych z pieca do płomienia w celu zmniejszenia zawartości tlenu, a tym samym temperatury płomienia.	Zastosowanie do istniejących zakładów może być ograniczone ze względu na brak miejsca.
e.	Palniki o niskiej emisji NO_X	Zob. Sekcja 4.4.3.	Możliwość zastosowania w istniejących zakładach może być utrudniona ze względu na ograniczenia projektowe i/lub operacyjne.

f.	Ograniczenie temperatury wstępnego podgrzewania powietrza	Ograniczenie temperatury wstępnego podgrzewania powietrza prowadzi do zmniejszenia stężenia emisji NO_X. Należy osiągnąć równowagę między maksymalizacją odzysku ciepła z gazów spalinowych a minimalizacją emisji NO_X.	Zastosowanie ogólne
g.	Spalanie w tlenie (spalanie tlenowo-paliwowe)	Zob. Sekcja 4.4.3.	Zastosowanie tej techniki w istniejących zakładach może być ograniczone konstrukcją pieca i potrzebą zapewnienia minimalnego przepływu gazów odlotowych.
h.	Spalanie bezpłomieniowe	Zob. Sekcja 4.4.3.	Zastosowanie tej techniki w istniejących instalacjach może być ograniczone przez konstrukcję pieca (tj. objętość pieca, przestrzeń dla palników, odległość między palnikami) oraz konieczność zmiany okładziny ogniotrwałej pieca. Nie dotyczy pieców pracujących w temperaturze niższej niż temperatura samozapłonu wymagana do celów spalania bezpłomieniowego.

Tabela 4.24: Poziomy emisji powiązane z najlepszymi dostępnymi technikami (BAT-AEL) w odniesieniu do emisji zorganizowanych do powietrza NO_X oraz wskaźnikowy poziom emisji w odniesieniu do emisji zorganizowanych do powietrza CO

Parametr	Jednostka	Proces(-y)	BAT-AEL (średnia dobowa lub średnia z okresu pobierania próbek)	Wskaźnikowy poziom emisji (średnia dobowa lub średnia z okresu pobierania próbek)
NO_X	mg/Nm³	Ogrzewanie/nagrzewanie/ obróbka termiczna	100 – 250 (1)	Brak poziomu wskaźnikowego
CO			Brak BAT-AEL	10 – 100
(1) Górna granica zakresu BAT-AEL może być wyższa i wynosić do 350 mg/Nm³ w przypadku stosowania palników rekuperacyjnych/ regeneracyjnych.				

Powiązane monitorowanie opisano w BAT 48.

4.3.6 Zużycie wody oraz wytwarzanie ścieków

BAT 52. Aby zoptymalizować zużycie wody i zmniejszyć ilość wytwarzanych ścieków, w ramach BAT należy stosować obie poniższe techniki a) i b):

Technika		Opis	Zakres zastosowania
a.	Segregacja strumieni wody	Zob. Sekcja 4.4.4.	Możliwość zastosowania w istniejących zakładach może być ograniczona układem systemu zbierania wody.
b.	Ponowne wykorzystanie i/lub recykling wody	Strumienie wody (np. woda procesowa, woda chłodząca) są ponownie wykorzystywane i/lub poddawane recyklingowi w obiegach zamkniętych lub półzamkniętych, w razie potrzeby po oczyszczeniu.	Stopień ponownego wykorzystania i/lub recyklingu wody jest ograniczony przez bilans wodny zakładu, zawartość zanieczyszczeń i/lub właściwości strumieni wody.

Uwaga: BAT 52 ma zastosowanie tylko wtedy, gdy wytwarzanie ścieków zostało zidentyfikowane jako istotne na podstawie wykazu materiałów wsadowych i produktów, o którym mowa w BAT 2.

4.4 Opisy technik

4.4.1 Techniki zwiększania efektywności energetycznej

Technika	Opis
Automatyzacja pieca i sterowanie piecem	Proces ogrzewania zostaje zoptymalizowany dzięki zastosowaniu systemu komputerowego kontrolującego kluczowe parametry, takie jak temperatura pieca i surowca, stosunek powietrza do paliwa oraz ciśnienie w piecu.
Poprawa wydajności odlewania i zmniejszenie ilości generowanego złomu	Podejmowane są środki mające na celu zmaksymalizowanie wydajności procesu odlewania i zmniejszenie ilości generowanego złomu, np.: • optymalizacja operacji topienia i zalewania w celu zmniejszenia, na przykład, strat w topieniu, nadmiernego pigowania, współczynników wytwarzania złomu; • optymalizacja wykonywania form i rdzeni w celu ograniczenia wytwarzania złomu powstającego w związku z wadami form i rdzeni; • optymalizacja systemów topienia w gnieździe i wznoszenia; • stosowanie izolowanych podajników egzotermicznych.
Zwiększenie wysokości szybu w piecach CBC	Zwiększenie wysokości szybu w żeliwiakach z zimnym dmuchem umożliwia wydłużenie kontaktu gazów spalinowych z wsadem, co skutkuje większym przepływem ciepła.
Żeliwiaki kampanijne o długim czasie pracy	Żeliwiak jest przeznaczony do długiego czasu pracy w celu zminimalizowania konserwacji i zmian procesu. Można to osiągnąć, stosując bardziej odporne okładziny ogniotrwałe w szybie, na dnie i w trzonie, stosując chłodzenie wodą ściany pieca oraz za pomocą chłodzonych wodą rur doprowadzających do szybu pieca.
Minimalne okresy wyłączania dmuchu w piecach HBC	Minimalizacja okresów wyłączania dmuchu przez programowanie harmonogramów procesów wykonywania form i odlewania w celu zapewnienia odpowiednio stałego zapotrzebowania na metal.
Spalanie w tlenie (spalanie tlenowo-paliwowe)	Powietrze do spalania jest całkowicie lub częściowo zastępowane czystym tlenem. Spalanie w tlenie można stosować w połączeniu ze spalaniem bezpłomieniowym.
Wzbogacanie tlenem powietrza do spalania	Wzbogacenie tlenem powietrza do spalania odbywa się albo bezpośrednio przy dopływie tlenu, albo poprzez wstrzyknięcie tlenu do złoża koksowego, albo przez dysze powietrzne.
Spalanie gazów odlotowych	Zob. Sekcja 4.4.3.
Wstępne ogrzewanie powietrza do spalania	Ponowne użycie części ciepła odzyskanego z gazu spalinowego do wstępnego ogrzania powietrza do spalania. Można to osiągnąć na przykład przez zastosowanie palników regeneracyjnych lub rekuperacyjnych (zob. poniżej). Należy osiągnąć równowagę między maksymalizacją odzysku ciepła z gazów spalinowych a minimalizacją emisji NO_X.
Palnik rekuperacyjny	W palnikach rekuperacyjnych stosuje się różne typy rekuperatorów (np. wymienniki ciepła o konstrukcji radiacyjnej, konwekcyjnej, kompaktowej lub promiennikowej) do bezpośredniego odzyskiwania ciepła z gazów spalinowych, które następnie wykorzystuje się do wstępnego podgrzania powietrza do spalania.
Palnik regeneracyjny	Palniki regeneracyjne składają się z dwóch palników pracujących naprzemiennie, w których znajdują się złoża materiałów ogniotrwałych lub ceramicznych. Podczas pracy jednego palnika ciepło gazów spalinowych jest absorbowane przez materiały ogniotrwałe lub ceramiczne drugiego palnika, a następnie wykorzystywane do wstępnego podgrzania powietrza do spalania.
Wybór energooszczędnego rodzaju pieca	Efektywność energetyczna pieca jest brana pod uwagę przy wyborze pieca, np. piece, które umożliwiają wstępne podgrzewanie i suszenie doprowadzanego wsadu przed strefą topienia.
Techniki maksymalizacji sprawności cieplnej pieców	Środki zastosowane w celu zmaksymalizowania efektywności konwersji energii w piecach do topienia i piecach do obróbki cieplnej, przy jednoczesnym ograniczeniu do minimum emisji (w szczególności emisji pyłu i CO). Osiąga się to dzięki zastosowaniu szeregu środków optymalizacji procesów zgodnie z rodzajem pieca, w tym dzięki optymalizacji temperatury (np. skuteczne mieszanie paliwa i powietrza do spalania) i czasu przebywania w strefie

Technika	Opis
	spalania oraz zastosowaniu automatyzacji i systemu sterowania piecem (zob. powyżej). Środki mające zastosowanie do niektórych konkretnych pieców obejmują: W przypadku żeliwiaków: • optymalizację systemu eksploatacji; • unikanie nadmiernej temperatury; • jednolite ładowanie;
	• minimalizację strat powietrza; • dobrą praktykę nakładania okładziny. W przypadku pieców indukcyjnych: • stan wsadu (np. optymalna wielkość i gęstość materiałów wsadowych i złomu); • zamykanie pokrywy pieca; • minimalny czas podgrzewania; • utrzymywanie przechyłu cieczy w piecu; • dodawanie karburyzatorów na początku cyklu topienia; • pracę na maksymalnym poziomie poboru mocy; • regulację temperatury w celu zapobiegania przegrzaniu; • zapobieganie nadmiernemu gromadzeniu się żużla poprzez optymalizację temperatury topienia; • minimalizację i kontrolę zużycia okładzin ogniotrwałych pieca; • w przypadku eksploatacji kilku pieców indukcyjnych zużycie energii jest optymalizowane przez zarządzanie obciążeniem szczytowym. W przypadku pieców obrotowych: • stosowanie antracytu i krzemu do ochrony przed stopieniem; • regulację ciągłej lub nieciągłej rotacji prędkości pieca w celu osiągnięcia maksymalnego transferu ciepła; • regulację mocy i kąta palnika w celu osiągnięcia maksymalnego transferu ciepła. W przypadku EAF: • krótszy czas topienia i/lub obróbki metali z wykorzystaniem zaawansowanych metod kontroli, na przykład w odniesieniu do składu i wagi załadowanych materiałów, temperatury topienia, a także poprzez skuteczne metody pobierania próbek i oddzielania żużla. W przypadku pieców szybowych: • wybór wielkości pieca zgodnie z ciągłym zapotrzebowaniem na topienie w celu uzyskania procesu topienia ciągłego; • utrzymywanie szybu wypełnionego materiałem wsadowym w celu uzyskania optymalnego odzysku ciepła; • dostosowanie konstrukcji szybu do określonego materiału wsadowego w celu optymalnego rozprowadzania materiału wsadowego w szybie; • regularne czyszczenie pieca; • niezależną kontrolę stosunku paliwa do powietrza dla każdego palnika gazowego; • ciągłe monitorowanie emisji CO lub wodoru dla każdego rzędu palników; • dodawanie tlenu nad strefą topienia w celu umożliwienia dopalania na górnym poziomie szybu; • wstępne podgrzewanie wsadu przy użyciu ciepła odpadowego odzyskanego z gazów odlotowych. W przypadku pieców płomiennych: • wstępne podgrzewanie wsadu w przypadku pieców płomiennych z suchym trzonem lub z bocznym szybem; • stosowanie palników z automatyczną regulacją temperatury. W przypadku pieców tyglowych: • wstępne podgrzewanie tygla przed napełnieniem;

Technika	Opis
	• stosowanie tygli o wysokiej przewodności cieplnej i odporności na wstrząsy termiczne (np. z grafitu); • czyszczenie ścian tygla natychmiast po opróżnieniu w celu usunięcia żużla lub zgarów.
Wykorzystanie czystego złomu	Topienie złomu czystego zapobiega ryzyku wchłaniania związków niemetali przez żużel i/lub zniszczenia ogniotrwałych okładzin w piecu lub kadzi.

4.4.2 Techniki zwiększania efektywności wykorzystania materiałów

Technika	Opis
Dostosowanie kwasowości/zasadowości żużla	Zastosowanie odpowiedniego strumienia (np. wapienia w przypadku fluorku kwasu i wapnia do podstawowych operacji żeliwiaka) w celu zapewnienia wystarczającej ilości cieczy żużlowej, aby oddzielić go od żelaza.
Poprawa wydajności odlewania i zmniejszenie ilości generowanego złomu	Zob. Sekcja 4.4.1.
Mechaniczne wstępne oczyszczanie żużla/zgarów/pyłu z filtrów/zużytych okładzin ogniotrwałych w celu ułatwienia recyklingu	Wytworzone żużel/zgary/pył z filtrów/zużyte ogniotrwałe okładziny są wstępnie poddawane obróbce na miejscu za pomocą takich technik, jak kruszenie, segregacja, granulacja, separacja magnetyczna.
Optymalizacja zużycia spoiwa i żywicy	Środki mające na celu optymalizację zużycia spoiwa i żywicy obejmują: • stosowanie masy/piasku o jakości zgodnej z systemem spoiwa; • dobre zarządzanie przechowywaniem masy/piasku i jej testowaniem (czystość, wielkość ziarna, kształt, wilgotność); • regulację temperatury; • konserwację i czyszczenie mieszarki; • sprawdzanie jakości formy (w celu zapobiegania wadom wykonywania form i, w razie konieczności, ich naprawy); • optymalizację procesu dodawania spoiwa; • optymalizację pracy mieszarki.
Oddzielne natryskiwanie czynnika zapobiegającego przywieraniu i wody w odlewaniu pod wysokim ciśnieniem	Wodę i czynniki zapobiegające przywieraniu nakłada się osobno na formę za pomocą dodatkowego rzędu dysz zamontowanych na głowicy natryskowej. Najpierw natryskuje się wodę, co pozwala znacznie schodzić formę przed zastosowaniem czynnika zapobiegającego przywieraniu, co skutkuje ograniczeniem emisji oraz zużycia czynników zapobiegających przywieraniu i wody.
Stosowanie najlepszych praktyk w procesach utwardzania na zimno	Praktyki obejmują (w zależności od zastosowanego systemu spoiwa): • regulację temperatury: temperatura masy jest utrzymywana na możliwie stałym poziomie i powinna być dostatecznie niska, aby zapobiegać emisjom powodowanym przez parowanie. W przypadku systemów katalizowanych kwasem fenolowym i furanowym, systemów poliuretanowych i krzemianowo-estrowych optymalny zakres temperatur wynosi od 15 °C do 25 °C. W przypadku systemów rezolowo- estrowych optymalny zakres temperatur wynosi od 15 °C do 35 °C; • w przypadku systemów katalizowanych kwasem furanowym: o zawartość wolnego (monomer) alkoholu furfurylowego w żywicy jest ograniczona do minimum (np. poniżej 40 %mas.); oraz o zawartość siarki w katalizatorze kwasu zmniejsza się przez zastąpienie części kwasu sulfonowego silnym kwasem organicznym bezsiarkowym.
Stosowanie najlepszych praktyk w zakresie	Praktyki obejmują (w zależności od zastosowanego procesu utwardzania): W przypadku żywic fenolowo-uretanowych (proces zimnej rdzennicy):

Technika	Opis
procesów utwardzania gazem	• zużycie amin ogranicza się do minimum przez optymalizację procesu dyfuzji w rdzeniu, zwykle przez symulację komputerową w celu optymalizacji przepływu gazu; • temperaturę masy/piasku utrzymuje się na możliwie stałym poziomie między 20 °C a 25 °C, aby zminimalizować czas gazowania i zużycie amin; • wilgotność masy/piasku utrzymuje się poniżej 0,1 %, a powietrze gazowane i przedmuchiwane jest suszone; • rdzennice są dobrze uszczelnione, aby umożliwić wychwytywanie aminowego gazu katalizującego, a rdzenie są dokładnie oczyszczane, aby zapobiec uwalnianiu się amin podczas przechowywania rdzeni W przypadku żywic rezolowo-estrowych: • temperaturę masy utrzymuje się na możliwie stałym poziomie między 15 °C a 30 °C; • utwardzanie alkalicznej żywicy fenolowej osiąga się przy użyciu mrówczanu metylu, który jest gazyfikowany powietrzem zwykle podgrzanym do temperatury 80 °C; • rdzennice i głowice gazujące są prawidłowo uszczelnione, a odpowietrzanie rdzennic jest zaprojektowane tak, aby zapewnić niewielkie ciśnienie wsteczne, żeby opary z utwardzania utrzymywały się na tyle długo, by reakcja doszła do skutku. W przypadku żywic utwardzonych CO_2 (np. alkalicznego fenolu, krzemianu): • dokładną ilość gazu CO_2 niezbędną do utwardzania żywic stosuje się dzięki zastosowaniu sterownika przepływu i regulatora czasowego w celu osiągnięcia najlepszej wytrzymałości i czasu składowania; • w przypadku żywic krzemianowych stosuje się płynne czynniki rozkładające (np. rozpuszczalne węglowodany) w celu zwiększenia szybkości gazowania. W przypadku żywic utwardzonych SO_2 (np. fenolowych, epoksydowych/akrylowych): • po okresie gazowania następuje oczyszczanie tym samym gazem obojętnym (np. azotem) wykorzystywanym do utwardzania lub powietrzem w celu usunięcia z masy nieprzereagowanego nadmiaru dwutlenku siarki; • rdzennice są dobrze uszczelnione, a rdzenie są dokładnie oczyszczane, aby zapobiec uwalnianiu się amin podczas przechowywania rdzeni.
Wykorzystanie czystego złomu	Zob. Sekcja 4.4.1.

4.4.3 Techniki ograniczania emisji do powietrza

Technika	Opis
Dostosowanie kwasowości/zasadowości żużla	Zob. Sekcja 4.4.2.
Adsorpcja	Usuwanie zanieczyszczeń z gazów wylotowych lub strumienia gazów odlotowych poprzez zatrzymanie ich na powierzchni stałej (jako adsorbent stosuje się zazwyczaj węgiel aktywny). Adsorpcja może być regeneracyjna lub nieregeneracyjna.
Utlenianie katalityczne	Technika redukcji emisji, w ramach której związki palne w strumieniu gazów odlotowych są utleniane w powietrzu lub przez tlen w złożu katalizatora. Katalizator umożliwia utlenianie w niższych temperaturach i w mniejszym urządzeniu w porównaniu z utlenianiem termicznym. Zazwyczaj temperatura utleniania wynosi 200–600 °C.
Cyklon	Sprzęt służący do usuwania pyłu ze strumienia gazów odlotowych przez wywołanie sił odśrodkowych, zwykle w komorze stożkowej. Cyklony stosowane są głównie do wstępnego oczyszczania przed dalszą redukcją pyłu lub związków organicznych. Można również stosować multicyklony.

Technika	Opis
Proces suchego odsiarczania	Suchy proszek lub zawiesina/roztwór odczynnika alkalicznego (np. wapno lub wodorowęglan sodu) jest wprowadzany i rozpraszany w strumieniu gazów wylotowych. Materiał reaguje z danym kwasem w stanie gazowym (np. SO_2), tworząc ciało stałe, które usuwa się drogą filtracji (np. na filtrze tkaninowym).
Elektrofiltr/filtr elektrostatyczny	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. Efektywność redukcji może zależeć od liczby pól, czasu przebywania (rozmiaru) oraz urządzeń do usuwania cząsteczek przed filtrem. Elektrofiltry zazwyczaj obejmują od dwóch do pięciu pól, ale mogą obejmować maksymalnie siedem pól w przypadku najbardziej zaawansowanych elektrofiltrów. 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.
Wyłapywanie emisji wytwarzanych w wyniku wykonywania form i/lub rdzeni jak najbliżej źródła emisji	Wyłapywane są emisje pochodzące z wykonywania form (w tym wytwarzania modeli) i/lub wykonywania rdzeni. Wybrany system wyłapywania zależy od rodzaju procesu wykonywania form/rdzeni. • Formowanie przy użyciu piasku naturalnego/masy z bentonitem/zielonego piasku: Wychwytuje się gazy odlotowe wytwarzane na obszarach przygotowania piasku naturalnego lub masy z bentonitem (np. na obszarach transportu, przesiewania, mieszania i chłodzenia) oraz na obszarach wykonywania form, zwłaszcza podczas zalewania. W przypadku maszyn do automatycznego wykonywania form do zbierania emisji stosuje się odpowiednie systemy odciągowe (np. odciąg dachowy). W przypadku ręcznego wykonywania form wychwytywanie jak najbliżej źródła emisji odbywa się przy użyciu ruchomych okapów odciągowych. • Procesy utwardzania na zimno, utwardzania gazowego, utwardzania na gorąco: W przypadku maszyn do automatycznego wykonywania form do zbierania emisji stosuje się systemy odciągowe (np. stałe odciągi okapowe, okapy górne). W przypadku ręcznego wykonywania form wychwytywanie jak najbliżej źródła emisji odbywa się przy użyciu ruchomych okapów odciągowych. Jeżeli nie można zastosować okapów ruchomych ze względu na rozmiar formy i/lub ograniczenia przestrzeni, stosuje się odciąg w hali odlewniczej. Rdzeniarki są zamknięte, a gazy odlotowe są wychwytywane. Wychwytywanie stosuje się również podczas kontroli, obsługiwania i przechowywania świeżo wytworzonych rdzeni (np. za pomocą okapów przy stole kontrolnym, nad strefą obsługiwania i tymczasowego składowania).
Filtr tkaninowy	Filtry tkaninowe, często określane jako filtry workowe, wykonuje się z porowatej plecionej lub filcowej tkaniny, przez którą przechodzą gazy w celu usunięcia cząstek. Filtry tkaninowe mogą mieć postać płacht, kaset lub worków zawierających szereg poszczególnych jednostek filtrów tkaninowych połączonych w grupę. Zastosowanie filtra tkaninowego wiąże się z koniecznością doboru tkaniny, która będzie odpowiadała cechom charakterystycznym gazów odlotowych i maksymalnej temperaturze pracy.
Spalanie bezpłomieniowe	Spalanie bezpłomieniowe uzyskuje się poprzez oddzielne wdmuchiwanie paliwa i powietrza do spalania do komory spalania pieca z dużą prędkością, aby stłumić powstawanie płomienia i ograniczyć powstawanie termicznego NO_X, tworząc jednocześnie bardziej równomierny rozkład ciepła w całej komorze. Spalanie bezpłomieniowe można stosować w połączeniu ze spalaniem w tlenie (zob. Sekcja 4.4.1).
Automatyzacja pieca i sterowanie piecem	Zob. Sekcja 4.4.1.
Palnik o niskiej emisji NO_X	Technika ta (obejmująca palniki o ultraniskiej emisji NO_X) opiera się na zasadzie redukcji szczytowych temperatur płomienia. Mieszanie powietrza/paliwa ogranicza dostępność tlenu i zmniejsza maksymalną temperaturę płomienia, tym

Technika	Opis
	samym opóźniając przekształcanie występującego w paliwie azotu w NO_X i powstawanie termicznych NO_X przy jednoczesnym utrzymaniu wysokiej efektywności spalania.
Optymalizacja zużycia spoiwa i żywicy	Zob. Sekcja 4.4.2.
Wzbogacanie tlenem powietrza do spalania	Zob. Sekcja 4.4.1.
Spalanie w tlenie (spalanie tlenowo-paliwowe)	Zob. Sekcja 4.4.1.
Spalanie gazów odlotowych	Dopalanie CO i innych związków organicznych zawartych w gazach odlotowych pieca wykorzystuje się do redukcji emisji i odzysku ciepła. Wytworzone ciepło jest odzyskiwane za pomocą wymiennika ciepła i wykorzystywane do wstępnego podgrzewania wdmuchiwanego powietrza lub do innych celów wewnętrznych. W piecach HBC dopalanie odbywa się w oddzielnej komorze dopalania wstępnie nagrzanej palnikiem gazu ziemnego. W piecach CBC dopalanie odbywa się bezpośrednio w szybie żeliwiaka. W piecach obrotowych dopalanie jest przeprowadzane przy użyciu dopalacza termicznego zainstalowanego między piecem a wymiennikiem ciepła.
Wybór odpowiedniego rodzaju pieca	Wybór odpowiedniego rodzaju pieca na podstawie poziomu emisji i kryteriów technicznych, np. rodzaju procesu, np. produkcja ciągła lub seryjna, wydajności pieca, rodzaju odlewów, dostępności surowców, elastyczności w zależności od czystości surowców i zmiany stopu. Uwzględnia się również efektywność energetyczną pieca (zob. technika „Wybór energooszczędnego rodzaju pieca” w Sekcji 4.4.1).
Zastąpienie powłok na bazie alkoholu powłokami na bazie wody	Zastąpienie powłok na bazie alkoholu w formach i rdzeniach powłokami uwodnionymi. Powłoki uwodnione są suszone w otaczającym powietrzu lub przy użyciu pieców do suszenia.
Utlenianie termiczne	Technika redukcji emisji, w ramach której związki palne w strumieniu gazów odlotowych są utleniane przez ogrzanie strumienia powietrzem lub tlenem do temperatury przekraczającej jego temperaturę samozapłonu w komorze spalania oraz przez utrzymanie wysokiej temperatury strumienia przez okres konieczny do jego całkowitego spalenia do dwutlenku węgla i wody. Zazwyczaj temperatura spalania wynosi pomiędzy 800–1 000°C. Stosuje się kilka rodzajów utleniania termicznego: • bezpośrednie utlenianie termiczne: utlenianie termiczne bez odzysku energii ze spalania; • rekuperacyjne utlenianie termiczne: utlenianie termiczne z wykorzystaniem ciepła gazów odlotowych przez pośrednie przekazywanie ciepła; • regeneracyjne utlenianie termiczne: utlenianie termiczne, w którym dochodzący strumień gazów odlotowych jest ogrzewany podczas przechodzenia przez złoże ceramiczne, zanim dotrze do komory spalania. Oczyszczone gorące gazy opuszczają tę komorę, przepływając przez złoże ceramiczne lub kilka złóż ceramicznych (schłodzonych przez dochodzący strumień gazów odlotowych w ramach wcześniejszego cyklu spalania). Następnie w ponownie ogrzanym złożu rozpoczyna się nowy cykl spalania poprzez wstępne ogrzanie nowego dochodzącego strumienia gazów odlotowych.
Stosowanie najlepszych praktyk w procesach utwardzania na zimno	Zob. Sekcja 4.4.2.
Stosowanie najlepszych praktyk w zakresie procesów utwardzania gazem	Zob. Sekcja 4.4.2.

Technika	Opis
Oczyszczanie (płukanie) na mokro	Usunięcie zanieczyszczeń w formie gazu lub cząstek stałych ze strumienia gazu przez przeniesienie masy do płynnego rozpuszczalnika, którym często jest woda lub roztwór wodny. Technika ta może obejmować reakcję chemiczną (np. w płuczce kwaśnej lub zasadowej). W niektórych przypadkach istnieje możliwość odzyskania związków z rozpuszczalnika. Obejmuje to płuczki Venturiego.

4.4.4 Techniki ograniczania emisji do wody

Technika	Opis
Proces osadu czynnego	W procesie osadu czynnego mikroorganizmy są utrzymywane w stanie zawieszonym w ściekach i cała mieszanina jest mechanicznie napowietrzana. Mieszanina osadu czynnego zostaje odprowadzona do separatora, z którego osad zostaje zawrócony do komory napowietrzania.
Adsorpcja	Usuwanie substancji rozpuszczalnych ze ścieków poprzez przeniesienie ich na powierzchnię stałych, wysoce porowatych cząstek (zwykle węgla aktywnego).
Przetwarzanie tlenowe	Biologiczne utlenianie rozpuszczonych zanieczyszczeń organicznych w tlenie z wykorzystaniem metabolizmu mikroorganizmów. W obecności rozpuszczonego tlenu, wprowadzanego w postaci powietrza lub czystego tlenu, składniki organiczne ulegają mineralizacji na dwutlenek węgla i wodę lub inne metabolity i biomasę.
Strącanie chemiczne	Przekształcenie rozpuszczonych zanieczyszczeń w nierozpuszczalne związki poprzez dodawanie chemicznych środków strącających. Powstałe trudno rozpuszczalne związki stałe są następnie oddzielane metodami sedymentacji, flotacji lub filtracji. W razie potrzeby można zastosować mikrofiltrację lub ultrafiltrację. Do strącania fosforu wykorzystuje się wielowartościowe jony metali (np. wapnia, glinu, żelaza).
Redukcja chemiczna	Przekształcenie substancji zanieczyszczających za pomocą chemicznych środków redukujących w podobne, ale mniej szkodliwe lub mniej niebezpieczne związki.
Koagulacja i flokulacja	Koagulacja i flokulacja służą do oddzielania zawieszonych ciał stałych od ścieków i często następują po sobie. Koagulację przeprowadza się przez dodanie koagulantów o ładunkach przeciwnych do ładunków zawiesiny. Flokulacja jest przeprowadzana przez dodanie polimerów, tak aby zderzenia cząstek mikroagregatów powodowały ich wiązanie w celu wytworzenia większych agregatów.
Wyrównanie (ujednorodnienie) strumienia ścieków	Równoważenie przepływów i ładunków zanieczyszczeń na wlocie do końcowego oczyszczania ścieków dzięki zastosowaniu zbiorników centralnych. Wyrównywanie może być zdecentralizowane lub przeprowadzane przy użyciu innych technik zarządzania.
Odparowywanie	Odparowywanie ścieków jest procesem destylacji, w którym woda jest substancją lotną, a koncentrat pozostaje na dnie jako pozostałości do przetworzenia (np. do poddania recyklingowi lub unieszkodliwienia). Celem tej operacji jest zmniejszenie objętości ścieków lub zagęszczanie cieczy macierzystych. Para wodna zbiera się w skraplaczu, a skroplona woda jest poddawana recyklingowi, w razie potrzeby po późniejszym oczyszczeniu. Istnieje wiele rodzajów wyparek: wyparki o naturalnej cyrkulacji; wyparki pionowe z krótką rurą; wyparki koszowe; wyparki opadowe; wyparki cienkowarstwowe. Typowymi docelowymi substancjami zanieczyszczającymi są zanieczyszczenia rozpuszczalne (np. sole).
Filtracja	Oddzielenie substancji stałych od ścieków przez przepuszczenie ich przez porowaty materiał filtracyjny, np. filtrowanie przez piasek, mikrofiltracja lub ultrafiltracja.
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 przelewy syfonowe.
Bioreaktor membranowy (MBR)	MBR składa się z połączenia procesu membranowego (np. mikrofiltracji lub ultrafiltracji) z zawieszonym bioreaktorem wzrostu. W systemie MBR do biologicznego oczyszczania ścieków osadnik wtórny i etap filtracji trzeciego rzędu tradycyjnego napowietrzonego układu z osadem zastępuje się filtracją membranową (oddzielenie osadu i zawiesiny).
Nanofiltracja	Proces filtracji, w którym stosuje się membrany o rozmiarach porów około 1 nm.

Technika	Opis
Neutralizacja	Doprowadzenie pH ścieków do neutralnego poziomu (około 7) w wyniku dodania substancji chemicznych. W celu zwiększenia poziomu pH generalnie stosuje się wodorotlenek sodu (NaOH) lub wodorotlenek wapnia ($Ca(OH)_2$), a w celu obniżenia poziomu pH generalnie stosuje się kwas siarkowy (H_2SO_4), kwas chlorowodorowy (HCl) lub dwutlenek węgla (CO_2). Podczas neutralizacji może wystąpić strącanie niektórych substancji.
Oddzielenie fizyczne	Oddzielanie substancji stałych, zawiesin, cząstek metali ze ścieków przy użyciu np. sit, separatorów piaskowych lub żwirowych, separatorów tłuszczu, hydrocyklonów, rozdzielania faz oleju i wody lub osadników wstępnych.
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	Oddzielenie cząstek stałych i materiału zawieszonego przez osadzanie grawitacyjne.
Segregacja strumieni wody	Strumienie wody (np. spływ powierzchniowy, woda procesowa) są zbierane oddzielnie, w zależności od zawartości zanieczyszczeń i wymaganych technik oczyszczania. Strumienie ścieków, które mogą być poddane recyklingowi bez oczyszczania, są oddzielane od strumieni ścieków wymagających oczyszczania.

5 NOWE TECHNIKI

5.1 Nowe techniki dla kuźni

Nie przekazano żadnych informacji na temat nowych technik.

5.2 Nowe techniki dla odlewni

5.2.1 Recykling odpadów bez użycia paliw kopalnych

Opis

Proces oparty na wodorze, służący do redukcji tlenków metali, głównie żelaza, do czystego metalu bez emisji gazów cieplarnianych.

Szczegóły techniczne

Ta elastyczna technika może być stosowana do recyklingu utlenionego kamienia, pyłu z filtrów, wiórów szlifierskich, odpadów kopalnianych oraz do produkcji żelaza gąbczastego z rudy żelaza.

- Proces i rozwiązanie systemowe to proces oparty na wodorze, służący do redukcji tlenków metali, głównie żelaza, do czystego metalu bez emisji gazów cieplarnianych.
- Proces i rozwiązanie systemowe nadają się również do redukcji innych tlenków metali zgodnie z diagramem Ellinghama, takich jak ołów, cynk, nikiel, miedź, kobalt i molibden.

Technika ta polega na zastosowaniu pieca dzwonowego z zamkniętym obiegiem i elektrycznymi elementami grzewczymi.

Głównymi czynnikami napędzającymi ten proces są prawa dotyczące temperatury, różnic ciśnień i masy:

- skłonność wodoru do łączenia się z tlenem w temperaturze 550°C.
- stosunkowo zimna para wodna powstająca w procesie redukcji (proces endotermiczny) jest wypychana w dół przez otaczający ją gorący wodór
- para wodna jest cięższa od wodoru i dlatego jest wypychana w dół (9 razy cięższa od H_2).
- kondensacja pary wodnej powoduje różnicę ciśnień między górną a dolną częścią pieca (zmniejszenie objętości 1:1 244 z pary wodnej do wody)

Piec jest ładowany granulatem wytworzonym z rudy żelaza lub pozostałości w postaci utlenionej zgorzeliny, pyłu z filtrów, wiórów szlifierskich itp. Piec jest opróżniany i przepłukiwany azotem w celu zapewnienia całkowitej nieobecności tlenu. Następnie pod ciśnieniem dodawany jest wodór, który reaguje z tlenem zawartym w materiale, tworząc parę wodną. Tlenki w produktach ubocznych ulegają redukcji, a czysty metal zatrzymany w granulacie w wsadu może zostać ponownie wprowadzony jako surowiec do procesu produkcyjnego.

Osiągnięte korzyści dla środowiska Główne korzyści dla środowiska to:

- brak emisji CO_2.
- zwiększenie udziału recyklingu, co zmniejszy zapotrzebowanie na surowce pierwotne i ich przetwarzanie w piecach hutniczych emitujących duże ilości CO_2.
- mniejsze zapotrzebowanie na transport.

Jedynym produktem tego procesu jest czysty metal i woda.

Piec jest niewielkich rozmiarów i charakteryzuje się niskimi nakładami inwestycyjnymi. Dzięki temu można go umieścić w miejscach, gdzie powstają lub są gromadzone pozostałości i odpady, co pozwala ograniczyć transport. Transport materiałów nieutlenionych pozwala zmniejszyć masę transportowaną nawet o 30%.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Zapotrzebowanie energetyczne procesu wynosi 1650–2100 kWh na tonę materiału zawierającego żelazo, w zależności od stopnia utlenienia materiału wsadowego.

Zebrane zostają odpady z odlewni, a czysty metal w postaci granulek jest odsyłany do topienia z dobrymi wynikami.

Technologii tej nie należy mylić z dwiema metodami produkcji stosowanymi obecnie (2022 r.) przez głównych producentów stali, wykorzystującymi gaz ziemny, które w przyszłości mają być stosowane głównie z wykorzystaniem wodoru, a więc produkcją DRI w piecu szybowym lub piecu fluidalnym. Jedynym

podobieństwem jest wykorzystanie wodoru, jednak surowiec, temperatura i produkt są różne.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Woda powstała w procesie może zawierać pewne zanieczyszczenia, które należy usunąć przed jej uwolnieniem. Ilość zanieczyszczeń zależy od przetwarzanego surowca. Przed przetworzeniem materiał jest analizowany, a instalacja do uzdatniania wody gwarantuje, że nie zostanie uwolniona woda zawierająca substancje szkodliwe.

Z pieca nie są emitowane żadne gazy, ponieważ wszystkie gazy są przekształcane w wodę lub ponownie wykorzystywane.

Wodór wykorzystywany w procesie może być wytwarzany w drodze elektrolizy, co wymagałoby użycia ekologicznej energii elektrycznej o mniejszym wpływie na środowisko. Alternatywnie można go wytwarzać poprzez zgazowanie biomasy do wodoru. Są to metody produkcji wodoru dostępne na rynku.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Piec o wydajności 5 ton jest niewielki, ale modułowy, a zatem w pełni skalowalny. Jeden piec może przetworzyć około 40 000 ton materiału rocznie. Możliwa jest równoległa praca dwóch lub więcej pieców. Rozwiązanie wielopiecowe pracujące w trybie asynchronicznym pozwala uzyskać dodatkowe oszczędności energii poprzez ogrzewanie przetwarzanego wsadu gorącymi gazami z procesu chłodzenia poprzedniego wsadu, dzięki czemu nie dochodzi do uwalniania i utraty energii.

Piec może być zainstalowany w odlewniach, hutach, zakładach produkujących metale, centrach recyklingu oraz w kopalniach posiadających odpowiednie odpady kopalniane.

Technika ta ma zastosowanie zarówno w nowych, jak i istniejących odlewniach.

Ekonomika
Całkowity koszt redukcji odpadów, takich jak utleniona zgorzelina lub pył z filtrów, do stanu pierwotnego metalu szacuje się na 250 EUR za tonę. Szacunki opierają się na cenach (ze stycznia 2022 r.) zielonego wodoru, który stanowi 85 % zużycia energii. Oprócz wodoru koszt 250 EUR za tonę obejmuje również koszty energii elektrycznej, granulacji, konserwacji, oczyszczania wody, ubezpieczenia, koszty osobowe oraz koszt kapitałowy wraz z amortyzacją pieca i innych urządzeń, takich jak granulator, dźwigi, zbiorniki magazynowe i przenośniki.

Wraz ze stałym spadkiem kosztów elektrolizy i spodziewanym wzrostem kosztów uprawnień do emisji, konkurencyjność kosztowa tej technologii w porównaniu z istniejącymi rozwiązaniami opartymi na paliwach kopalnych powinna z czasem jeszcze bardziej wzrosnąć. [210. TWG 2022].

Siła napędowa wdrażania
Głównymi czynnikami sprzyjającymi wdrożeniu są: przyczynienie się do redukcji emisji CO_2 oraz zwiększenie recyklingu.

Data wdrożenia
Piec produkcyjny znajduje się w końcowej fazie projektowania przez firmę Seco/Warwick. Firma Linde Gas dostarcza wodór, a testy są przeprowadzane w zakładzie pilotażowym zlokalizowanym w zakładzie Linde Gas w Sztokholmie.
Trwają prace nad uruchomieniem pełnowymiarowej instalacji na skalę przemysłową.

Przykładowe zakłady
W ośrodku badawczym Linde w Sztokholmie magnetyt i hematyt zostały zredukowane do czystego żelaza ze 100% skutecznością i 100% metalizacją. Eksperymenty wykazały odporność na działanie różnych metali.

Literatura źródłowa
[136. SE 2020], [210. TWG 2022].

5.2.2 Analiza online temperatury i składu chemicznego

Opis

Analiza online temperatury i składu chemicznego żużla i stopionego metalu przy użyciu szerokopasmowej termometrii spektralnej (BST) i spektroskopii laserowej indukowanej przebiciem (LIBS).

Szczegóły techniczne

W ramach projektu UE CONSENSO opracowano urządzenia do analizy online temperatury i składu chemicznego. Urządzenia te oparte są na szerokopasmowej termometrii spektralnej (BST) i spektroskopii laserowej indukowanej przebiciem (LIBS). Instalacje planowane są na różnych etapach produkcji w procesie wytwarzania żelaza i stali, zazwyczaj w konwertorze AOD i tyglu formierskim.

Głównymi elementami techniki LIBS są: laser, optyka, spektrometr. Zasada działania jest następująca: Impulsy laserowe są skupiane na próbce w celu wytworzenia plazmy. Następnie atomy i jony w plazmie emitują światło charakterystyczne dla każdego pierwiastka. Światło jest następnie analizowane za pomocą spektrometru. Analizując dane spektralne można następnie określić skład chemiczny próbki. Sprzęt nie wymaga żadnych chemikaliów ani gazów, a jedynie energii elektrycznej. W ramach projektu CONSENSO technika LIBS jest rozwijana do analizy składu chemicznego żużla i żelaza w stanie gorącym, dzięki czemu będzie przydatna do kontroli procesów. Technika została opracowana przede wszystkim z myślą o szybkim i łatwym pobieraniu próbek na linii produkcyjnej, ale może być również stosowana do pomiarów online bezpośrednio w procesie produkcyjnym bez pobierania próbek.

BST składa się tylko z optyki i spektrometru. Zasada działania jest taka sama jak w przypadku konwencjonalnej pirometrii. Obiekt emituje promieniowanie, które jest analizowane na podstawie prawa Plancka dotyczącego promieniowania ciała doskonale czarnego. W przeciwieństwie do zwykłej pirometrii, BST wykorzystuje informacje z szerokiego zakresu spektralnego, dzięki czemu lepiej radzi sobie z zakłóceniami, takimi jak dym lub inne niepożądane materiały, które zasłaniają widok badanego materiału.

Osiągnięte korzyści dla środowiska

Główną zaletą tej techniki jest ulepszona kontrola procesu, która zapewnia, że materiał ma odpowiednią jakość podczas produkcji, a tym samym mniej produktów jest odrzucanych i zamienianych w odpady. Dzięki analizie chemicznej można upewnić się, że nie zużywa się w nadmiarze materiału, a tym samym umożliwia bardziej efektywne wykorzystanie zasobów. Dzięki szybszej analizie można skrócić czas nagrzewania metalu, a tym samym uzyskać znaczne oszczędności energii. Przy lepszej kontroli składu chemicznego możliwe jest również dostosowanie składu żużla, tak aby można go było wykorzystać jako surowiec wtórny, zmniejszając ilość odpadów.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Projekt CONSENSO był realizowany w latach 2018-2021.

Techniki opracowane w CONSENSO nie zmniejszą bezpośrednio emisji ani zużycia energii. Zamiast tego umożliwiają bardziej wydajną kontrolę procesu, co z kolei prowadzi do zmniejszenia emisji i zużycia surowców.

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Brak negatywnego wpływu na środowisko.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

BST może być stosowany w większości sektorów, w których istnieje potrzeba kontroli temperatury. Największą potrzebę dostrzega się w produkcji metali, ponieważ surowe środowisko sprawia, że inne dostępne techniki są mniej odpowiednie.

Ekonomika

Sprzęt jest w trakcie opracowywania i dlatego koszty nie są znane.

Siła napędowa wdrażania

BST i LIBS są jedynymi znanymi technikami, które spełniają te wymagania. LIBS wykorzystuje laser o dużej mocy, który może powodować uszkodzenie wzroku. Jednak w formacie, w jakim techniki te są

wykorzystywane w CONSENSO, żadne środki bezpieczeństwa nie są potrzebne.

Przykładowe zakłady
Technika nie jest jeszcze w użyciu.

Literatura źródłowa
Więcej informacji: https://eitrawmaterials.eu/project/consenso/

5.2.3 Spiekanie plazmowe iskrowe

Opis
Szybka produkcja wysokowydajnych części przy użyciu ciśnienia i ciepła.

Szczegóły techniczne
Szczególną cechą spiekania plazmowego iskrowego (znanego również jako technika spiekania wspomaganego polem, spiekanie pulsacyjnym prądem elektrycznym lub zagęszczanie pod ciśnieniem plazmy, *Spark Plasma Sintering - SP*S) jest wytwarzanie ciepła dzięki przepływowi prądu o wysokim natężeniu jak najbliżej obrabianego przedmiotu przez formę grafitową. Prowadzi to do sytuacji, w której temperatura rośnie niezwykle szybko (do 100°C/min), a cykle spiekania trwają zaledwie kilka minut. W porównaniu do spiekania naturalnego lub konwencjonalnego, spiekanie plazmowe iskrowe ma tę zaletę, że skraca czas spiekania i obniża temperaturę. Wzrost ziaren w materiale jest zatem bardzo ograniczony, a uzyskane materiały mają znacznie lepsze parametry. Dzięki temu można uzyskać lepszą kontrolę mikrostruktury w otrzymanych częściach, a jednocześnie osiągnąć stopień zagęszczenia zbliżony do gęstości teoretycznej.

Zalety części otrzymanych metodą SPS można podsumować następująco:
- wzrost wydajności mechanicznej;
- zmniejszenie strat materiału (poniżej 5%);
- skrócenie czasu produkcji (poniżej 1 godziny).

Materiałem docelowym może być metal, ceramika lub kompozyt. Cechą charakterystyczną technologii SPS jest również możliwość obróbki połączeń metalowo-ceramicznych. Kontrola gradientu temperatury i czasu utrzymywania temperatury pozwala operatorowi zarządzać naprężeniami w materiale podczas chłodzenia.

Osiągnięte korzyści dla środowiska
Technologia SPS opiera się na metalurgii proszkowej. Przygotowanie specjalnych narzędzi pozwala operatorowi na bezpośrednie wytwarzanie części o kształcie zbliżonym do ostatecznego w jednym etapie (<1 godz. obróbki cieplnej). Straty materiału są znacznie mniejsze w porównaniu ze wszystkimi tradycyjnymi procesami i mogą wynosić mniej niż 5%.

Ta zaleta jest bardzo przydatna w przypadku materiałów o wysokiej wartości, stosowanych w przemyśle lotniczym, motoryzacyjnym, obronnym i energetycznym.

Proces SPS stanowi również okazję do odnowienia projektu i składu materiałów o strategicznym znaczeniu dla zaopatrzenia. Przykładowo, trwają prace nad zmniejszeniem lub wyeliminowaniem zawartości kobaltu w narzędziach skrawających z węglika wolframu. Wyniki tych prac doprowadzą do zmniejszenia zapotrzebowania na surowce strategiczne pochodzące z krajów spoza Europy.
Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne Nie dostarczono danych.

Oddziaływanie na procesy i środowisko
Wskaźnik „kup, aby latać" jest jednym z ważniejszych parametrów sprawdzanych w lotnictwie. Straty materiału podczas procesu mogą przekraczać 80% pierwotnie zakupionego materiału, co uznaje się za wartość wysoką.

SPS jest jedną z wiodących technologii, która może zapewnić takie rozwiązanie dzięki dwóm zaletom:
- niskim stratom materiału;
- możliwości opracowania bardziej inteligentnego projektu i składu materiału.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania
Technologia SPS nie ogranicza się do jednego sektora, problem utraty materiału i poprawy jego właściwości jest powszechny we wszystkich gałęziach przemysłu.

Ekonomika
Nie podano żadnych informacji.

Siła napędowa wdrażania
Nie dostarczono danych.

Przykładowe zakłady
Spiekanie plazmowe iskrowe jest obecnie komercjalizowane. Europejski dostawca maszyn SPS jest jednym z dwóch największych liderów na świecie (FCT Systeme GmbH).
Producenci są także dostępni we Francji (Tuluza lub Sintermat). Również inne zainteresowane strony zainwestowały w tę technologię, tak jak Sandvik Coromant czy Mecachrome.

Literatura źródłowa
Więcej informacji: https://eitrawmaterials.eu/

5.2.4 Stosowanie biokoksów w żeliwiakach

Opis
Wykorzystanie biogenicznych paliw stałych („biokoksów") jako neutralnego pod względem emisji dwutlenku węgla substytutu koksu antracytowego w żeliwiakach do wydajnego topienia i nawęglania stopionego żeliwa.

Szczegóły techniczne
Materiały żeliwne są ważnymi materiałami konstrukcyjnymi, np. w budowie pojazdów (wsporniki osi), inżynierii mechanicznej (obudowy przekładni) i budowie turbin wiatrowych (piasta wirnika itp.).

Żeliwiak jest wydajnym agregatem do topienia żeliwa w średnich i długich seriach produkcyjnych. Ma zalety w ciągłej produkcji jednolitego żeliwa bazowego. Ciepło odpadowe jest efektywnie wykorzystywane.

Około 50 % płynnego żelaza (np. 2 miliony ton w Niemczech) jest topione w żeliwiakach. Topią one płynne żelazo ze złomu stalowego i koksu antracytowego (węgla kamiennego). W Europie pracuje około 200 żeliwiaków.

Żeliwiaki są w stanie topić niestopowy i niskostopowy złom stalowy o stosunkowo niskiej jakości. Lekka atmosfera utleniająca wokół dysz (tuyères) może usunąć niektóre niepożądane pierwiastki śladowe:

- Proces metalurgiczny w żeliwiaku polega na nawęglaniu złomu stalowego (0,1% C) do > 3% C w celu uzyskania odpowiednich właściwości materiału.
- Węgiel ma podwójne zastosowanie w żeliwie: jako materiał (ponad 3% C) i jako źródło energii. Żeliwo jest kompozytem in situ zawierającym w swojej strukturze wolny grafit.
- Biokoks jest natychmiastową opcją pozwalającą przynajmniej częściowo zrezygnować z paliw kopalnych w żeliwiakach.
- Biokoks jest wytwarzany z karbonizowanej biomasy poprzez zagęszczenie (wytłaczarka, prasa hydrauliczna) przy użyciu zrównoważonego spoiwa (zboża, lignina).
- Karbonizowana biomasa jest wytwarzana w piecu obrotowym, zwykle w wyniku wysokotemperaturowej karbonizacji białej biomasy (odpadów drzewnych lub roślinnych). Zawartość węgla wynosi około 90%. Z tego procesu autotermicznego jest możliwe odzyskanie ciepła odpadowego.

Stosowanie biokoksu jest możliwe we wszystkich odlewniach żeliwa bez konieczności modyfikacji pieca. Testy biokoksu rozpoczęły się w UE w 2017 r. i są w toku. W połowie 2023 r. możliwe jest częściowe zastąpienie koksu antracytowego biokoksem, do 40%.

Osiągnięte korzyści dla środowiska

Zastąpienie koksu antracytowego neutralnym pod względem emisji dwutlenku węgla biokoksem przy:

- niezmienionej zawartości żelaza pochodzącego z recyklingu na poziomie około 90% (złom stali niestopowej lub niskostopowej, zwroty żeliwa);
- niezmienionej ilości energii potrzebnej do topienia;
- emisji CO_2 bez udziału paliw kopalnych (cykl CO2 w obrębie jednego pokolenia).

Ogólna efektywność dekarbonizacji nie została jeszcze określona (zob. wartości przedstawione w załączniku do dyrektywy w sprawie odnawialnych źródeł energii RED II[8]), po przeprowadzeniu bieżących prób przemysłowych.

Wyniki w zakresie ochrony środowiska oraz dane operacyjne

Właściwości charakterystyczne dla zakładu:

- Koks wsadowy: do chwili obecnej (połowa 2023 r.) wymaga większego zastąpienia koksu antracytowego ze względu na odmienne właściwości biokoksu (ta sama wartość opałowa, ale wcześniejsza temperatura zapłonu i niższa stabilność termiczna).
- Wtrysk koksu: miał węglowy może być wdmuchiwany do paleniska przez dysze w celu zwiększenia wydajności reakcji. Jednak nie można go jeszcze zastosować w każdym piecu (wymaga specjalnego sprzętu do wtrysku).

Emisje do powietrza i wody:

- Brak zanieczyszczeń powietrza (lub wody) przy wyborze odpowiednich pozostałości biogenicznych (w porównaniu z koksem antracytowym, brak SO_2, HCl itp.)

Pozostałości:

- Niezmieniona frakcja odpadów (żużel), z możliwością wykorzystania jako wtórny materiał budowlany (budowa dróg itp.)

Oddziaływanie na procesy i środowisko

Brak.

Gdyby zasada kaskadowa (dyrektywa w sprawie energii odnawialnej – RED III) została wprowadzona w życie w odniesieniu do wykorzystania biomasy energetycznej w żeliwiakach, np. poprzez obowiązkowe stosowanie drewna odpadowego klasy AIII i AIV, spowodowałoby to niedopuszczalne emisje, częściowo uszkadzające materiały piecowe. Substancje chemiczne stosowane do impregnacji drewna lub spoiwa (np. w płytach wiórowych) zawierają chlor itp., co może powodować emisje PCDD. Chlor zwiększa korozję stali (konstrukcji pieca) i okładziny ogniotrwałej.

Względy techniczne istotne z punktu widzenia możliwości zastosowania

Czynniki ograniczające 100% zastąpienie to na dzień dzisiejszy (połowa 2023 r.):

- dostępność odpowiedniej biomasy na rynku UE;
- wytrzymałość na wysokie temperatury (stabilność termiczna) biokoksów, obecnie badana.

W połowie 2023 r. możliwe jest osiągnięcie stopnia zastąpienia do 40 %, w zależności od typu pieca, jego wielkości, trybu pracy i składu żelaza wsadowego. Koks antracytowy jest nadal potrzebny do stabilizacji wsadu w kolumnie pieca. Zwiększenie stabilności termicznej pozwoli na dalszy wzrost stopnia zastąpienia.

Obecne prace badawczo-rozwojowe koncentrują się na:

- Poprawie wytrzymałości wysokotemperaturowej cegieł z biokoksu;
- optymalizacji zrównoważonych spoiw (typ i frakcja);
- dostosowaniu procesów produkcyjnych (brykietowanie);
- opracowaniu cegieł z połączenia stopu i biowęgla.

[8] DYREKTYWA PARLAMENTU EUROPEJSKIEGO i RADY w sprawie promowania stosowania energii ze źródeł odnawialnych w Unii Europejskiej (przekształcenie)

Trwają badania właściwości biokoksu. Ponieważ jest to nowy materiał, tworzona jest baza danych zawierająca informacje o składzie i podstawowych właściwościach materiału (wytrzymałość na zimno, wytrzymałość koksu po reakcji (CSR), wskaźnik reaktywności koksu (CRI)), które są porównywane z danymi dotyczącymi koksu antracytowego. Jest to niezbędne do oceny jakości cegieł z biokoksu.

Przyszłe prace badawczo-rozwojowe skupią się na przydatności biogenicznego węgla niższej jakości, przetwarzanego w wysokiej temperaturze lub nawet w procesie hydrotermalnej karbonizacji. Przy wyborze biomasy należy zachować ostrożność, biorąc pod uwagę możliwe emisje i/lub potencjalnie szkodliwe pierwiastki śladowe.

Ekonomika

Na rynku europejskim istnieje obecnie (do połowy 2023 r.) ograniczona dostępność karbonizowanej biomasy ze względu na:

- finansowane ze środków publicznych wykorzystanie białej biomasy (pozostałości drewna) do współspalania w elektrowniach węglowych;
- finansowane ze środków publicznych wykorzystanie białej biomasy do prywatnego ogrzewania domów pelletem;
- finansowane ze środków publicznych wykorzystanie pozostałości biomasy w biogazowniach lub kompostowniach;
- konkurencji ze strony innych sektorów przemysłu, np. w celu wykorzystania neutralnego dla klimatu (cement) lub pozytywnego dla klimatu (rolnictwo).

Sytuacja ta powoduje import zrównoważonej biomasy spoza UE, co nie jest pożądane ze względu na „bagaż" CO_{2e} związany z transportem morskim i środkami bezpieczeństwa mającymi zapobiegać samozapłonowi w wilgotnym środowisku. Ma to wpływ na cenę biomasy, co sprawia, że jest ona nieopłacalna dla odlewni (w połowie 2023 r. koszt biokoksów był wyższy niż koszt certyfikatów EU ETS). Ocena / certyfikacja zrównoważonego rozwoju będzie dodatkowym czynnikiem kosztotwórczym.

Siła napędowa wdrażania

Defosylizacja zakładów wykorzystujących żeliwiaki bez konieczności przebudowy pieców i z możliwością natychmiastowego zastosowania (uniknięcie przeciążenia sieci elektrycznej przez dodatkowe piece elektryczne).

Jak wynika z analizy przeprowadzonej w ramach badania InnoGuss (BDG, czerwiec 2023 r.), istnieje niewiele możliwości:

- Elektryfikacja (wymaga dostępności 100% ekologicznej energii elektrycznej przy wysokich nakładach inwestycyjnych (linia wysokiego napięcia, całkowicie nowa wytapialnia), wysokich kosztach operacyjnych (koszt energii elektrycznej w UE w porównaniu z kosztami poza UE).
- Wodór (wymaga dostępności 100% ekologicznego wodoru), wysokie nakłady inwestycyjne (infrastruktura i bezpieczeństwo), wysokie koszty operacyjne (koszt wodoru). Inne: zbyt szlachetny do spalania, nie wymaga procesu redukcji do topienia żelaza.
- CCU (wymaga dodatkowej infrastruktury), wysokie nakłady inwestycyjne, wysokie koszty operacyjne (energia) i ograniczona sprzedaż nowego produktu.
- CCS (wymaga dodatkowej infrastruktury), wysokie nakłady inwestycyjne (oczyszczanie, sprężanie do transportu) i koszty operacyjne (oczyszczanie, uzdatnianie wody).
- Biomasa (brak przebudowy, pewien rozwój).

Dodatkowo żeliwiaki mogą topić złom stalowy niższej jakości. Jest to przyszła przewaga konkurencyjna nad piecami indukcyjnymi, ponieważ do 2026 r. złom stali niestopowej stanie się rzadkością ze względu na transformację przemysłu stalowego.

Przykładowe zakłady

- Japonia: Kindai Biocoke w odlewni rur żeliwnych, piec kopułowy 30 t/h, mieszanka bambusa i drewna, 20 % zastąpienia osiągnięte do końca 2021 r.
- Szwecja: Volvo w Skövde, 40-procentowe zastąpienie do końca 2022 r.
- Niemcy: testy na małą skalę w 15 odlewniach (np. MeierGuss, Fondium Singen, Linde Material Handling Weilbach).

Literatura źródłowa

- Zgłoszenie CAEF w [237. TWG 2023].

6 UWAGI KOŃCOWE ORAZ ZALECENIA DOTYCZĄCE PRZYSZŁYCH PRAC

Harmonogram procesu przeglądu

Kluczowe etapy procesu przeglądu zostały podsumowane w Tabeli 6.1 poniżej.

Tabela 6.1: Najważniejsze etapy procesu przeglądu SF BREF

Kluczowe kamienie milowe	Czas
Reaktywacja TWG	lipiec 2018
Zaproszenie do składania wniosków	styczeń 2019
Spotkanie inauguracyjne	17-20 września 2019
Gromadzenie danych i informacji	kwiecień 2020 - marzec 2021
Projekt 1 (D1) poprawionego dokumentu SF BREF	luty 2022
Okres zgłaszania uwag (otrzymano 1 565 uwag)	luty - kwiecień 2022 r.
Zmienione wnioski dotyczące projektu konkluzji dotyczących BAT i dokument informacyjny na końcowe spotkanie technicznej grupy roboczej	kwiecień 2023
Końcowe posiedzenie technicznej grupy roboczej	26 - 30 czerwca 2023

W trakcie przeglądu BREF odwiedzono łącznie 10 odlewni w Belgii, Francji, Hiszpanii i Szwecji.

Ponadto w celu usprawnienia wymiany informacji EU-BRITE zorganizowało następujące wydarzenia:

- Warsztaty mające na celu sfinalizowanie szablonu kwestionariusza (luty 2020 r.);
- Pierwsze warsztaty dotyczące oceny danych (kwiecień 2021 r.);
- Drugie warsztaty dotyczące oceny danych (marzec 2023 r.);

Źródła informacji i luki w informacjach

Głównymi źródłami informacji dla procesu przeglądu były:

- literatura naukowa i techniczna;
- 158 wypełnionych kwestionariuszy od operatorów odlewni i 9 wypełnionych kwestionariuszy od operatorów kuźni;
- dodatkowe informacje od członków SF TWG;
- 1 565 komentarzy do projektu 1 zmienionego dokumentu SF BREF;
- 491 uwag do zmienionej wersji projektu konkluzji BAT (czerwiec 2022 r.);
- informacje zebrane podczas wizyt na w terenie;
- wyniki warsztatów wspomnianych powyżej.

Łącznie w BATIS opublikowano ponad 200 dokumentów, a większość z nich została wymieniona w zmienionym dokumencie SF BREF.

Stopień konsensusu osiągniętego podczas wymiany informacji

Na końcowym posiedzeniu technicznej grupy roboczej, które odbyło się w formacie hybrydowym (osobiście i online) w dniach 26-30 czerwca 2023 r., osiągnięto wysoki stopień konsensusu w sprawie większości konkluzji BAT. Wyrażono jednak 19 odrębnych opinii, które spełniają warunki określone w sekcji 4.6.2.3.2 decyzji wykonawczej Komisji 2012/119/UE. Zostały one podsumowane w Tabeli 6.2 poniżej.

Tabela 6.2: Podsumowanie wyrażonych opinii

Konkluzje dotyczące BAT / Numer tabeli	Opinia	Wyrażona przez	Proponowana alternatywa (jeśli istnieje)

Wniosek dotyczący nowej najlepszej dostępnej techniki (BAT) 6(bis) w sprawie planu neutralności klimatycznej i elektryfikacji	Dodanie nowego BAT, który stwierdza, że: BAT ma stosować wszystkie techniki od (a) do (c), a w przypadku procesów wykorzystujących energię elektryczną BAT ma stosować technikę (d) podaną poniżej. Technika (a): Opracowanie i wdrożenie planu neutralności klimatycznej; Technika (b): Wybór typu pieca elektrycznego w odlewniach żeliwa i aluminium; Technika (c): Elektryfikacja innych procesów wykorzystujących energię; Technika (d): Zwiększenie udziału energii elektrycznej wytwarzanej z odnawialnych źródeł energii nieopartych na spalaniu.	EEB	-
BAT 12	Nie obejmuje monitorowania emisji Cd, Cr, Ni i Pb pochodzących z odlewania, chłodzenia i wytrząsania przy użyciu pełnych form, w tym procesu odlewania metodą pełnej formy.	DE i CAEF	
BAT 12	Nie obejmuje monitorowania emisji Cd, Cr, Ni i Pb z procesów wykańczania.	DE, IT i CAEF	
BAT 13	• Ustalenie częstotliwości monitorowania na "raz w miesiącu". • Usunięcie przypisu (3) (zezwalający na skrócenie częstotliwości do 6 miesięcy). • Zmiana przypisu (2) w następujący sposób *" Monitorowanie ma zastosowanie tylko wtedy, gdy dana substancja/parametr ~~jest zidentyfikowana jako istotne~~ występuje w strumieniu gazów odlotowych na podstawie wykazu wejść* i *wyjść, o którym mowa w BAT 2."*	EEB	
BAT 16, Tabela 4.2	• Wstawienie BAT-AEPL zamiast poziomów wskaźnikowych. • Przywrócenie jako dolnych granic zakresów BAT-AEPL wartości zaproponowanych w projekcie 1 SF BREF oraz zmiana przypisu (1) w celu dopuszczenia dolnej granicy zakresu wynoszącej 50 % w przypadku złożonych kształtów odlewów oraz dużej liczby rdzeni i/lub podajników. • Dodanie do SF BREF lub do BATC wyjaśnienia terminów „złożone kształty odlewów" oraz „duża liczba rdzeni i/lub podajników" wraz z informacjami ilościowymi i jakościowymi.	BE i EEB	
BAT 24, Tabela 4.5 (NO_X)	Ustawienie wartości BAT-AEL dla NO_x z obróbki termicznej na poziomie 50-150 mg/Nm^3.	DE	50 – 150 mg-Nm^3
BAT 26, Tabela 4.6 (pył)	Zwiększenie górnej granicy zakresu BAT-AEL dla emisji pyłu z formowania z wykorzystaniem pełnych form i wytwarzania rdzeni do 10 mg/Nm3.	FR, PT i CAEF	< 1 – 10 mg/Nm^3
BAT 26, Tabela 4.6 (całkowite LZO dla procesu produkcji rdzeni)	Zwiększenie górnej wartości zakresu BAT-AEL dla emisji całkowitych LZO z produkcji rdzeni do 100 mg/Nm^3.	FR	Wytwarzanie rdzenia: 15 – 100 mg C/Nm^3
BAT 27, Tabela 4.7 (pył)	Ustalenie zakresu BAT-AEL dla emisji pyłu z odlewania, chłodzenia i wytrząsania na poziomie 2-10 mg/Nm^3 w odlewniach stosujących pełne formy.	DE, CZ, FR, PT i CAEF	2 – 10 mg/Nm^3

BAT 27, Tabela 4.7 (całkowite LZO)	Zwiększenie górnej granicy zakresu BAT-AEL dla emisji całkowitych LZO z odlewania, chłodzenia i wytrząsania do 100 mg/Nm^3 w odlewniach stosujących pełne formy, w tym proces pełnej formy.	FR	15 – 100 mg C/Nm^3
BAT 27, Tabela 4.7 (benzen)	Zwiększenie górnej granicy zakresu BAT-AEL dla emisji benzenu z odlewania, chłodzenia i wytrząsania do 5 mg/Nm^3	CAEF	1 – 5 mg/Nm^3
BAT 27, Tabela 4.7 (benzen)	Dodanie nowego przypisu stwierdzającego, że górna granica zakresu BAT-AEL wynosi 5 mg/Nm^3 dla emisji benzenu do powietrza z procesu pełnej formy.	ES, IT i CAEF	-
BAT 30, Tabela 4.10 (pył)	Ustalenie górnej granicy zakresu BAT-AEL dla emisji pyłu z obróbki wykańczającej na poziomie 10 mg/Nm^3	DE, CZ, FR, PT i CAEF	1 – 10 mg/Nm^3
BAT 36, Tabela 4.13 (indeks fenolowy)	Ustalenie górnej granicy zakresu BAT-AEL dla emisji indeksu fenolowego na poziomie 0,2 mg/l	EEB	0,05 - 0,2 mg/l
BAT 36, Tabela 4.13 (TSS)	Ustalenie górnej granicy zakresu BAT-AEL dla emisji TSS na poziomie 20 mg/l	EEB	5 – 20 mg/l
BAT 38, Tabela 4.15 (pył)	Ustalenie zakresu BAT-AEL dla emisji pyłu dla HBC i CBC na poziomie 1-5 mg/Nm^3	EEB	1 – 5 mg/Nm^3
BAT 38, Tabela 4.15 (pył)	Zmodyfikowanie przypis (1) w następujący sposób: W przypadku istniejących zakładów HBC stosujących oczyszczanie (płukanie) na mokro, górna granica zakresu BAT-AEL może być wyższa i wynosić do 15 mg/Nm^3 do czasu kolejnej istotnej modernizacji żeliwiaka.	CAEF	-
BAT 38, Tabela 4.15 (SO_2)	Ustalenie górnej granicy zakresu BAT-AEL dla SO_2 dla HBC na poziomie 150 mg/Nm^3.	DE	30 – 150 mg/Nm^3
BAT 43, Tabela 4.19 (pył)	Ustalenie górnej granicy zakresu BAT-AEL dla emisji pyłu na poziomie 10 mg/Nm^3	FR, PT i CAEF	1 – 10 mg/Nm^3

W odniesieniu do sektora kuźni EUROFORGE zgłosiło zastrzeżenia dotyczące 4 tematów związanych z BAT 4, BAT 5, BAT 47 i BAT 48 (tematy uznane za niepodlegające dyskusji podczas końcowego posiedzenia TWG). Były to następujące kwestie:

BAT 4 - Emisje do gleby i **wód gruntowych**
- czy wszystkie techniki określone w BAT 4 mają zastosowanie do kuźni, oraz
- potencjalne ograniczenia stosowania technik b)-e) w przypadku kuźni.

BAT 5 - OTNOC (inne niż normalne warunki eksploatacji)
- czy wszystkie techniki określone w BAT 5 mają zastosowanie do kuźni, oraz
- potencjalne ograniczenia stosowania dotyczące ppkt (i)-(vii) zawartych w planie zarządzania OTNOC w przypadku kuźni.

BAT 47 - Efektywność wykorzystania materiałów
- czy wszystkie techniki określone w BAT 47 mają zastosowanie do kuźni, oraz
- czy technika (b) (wykorzystanie projektowania wspomaganego komputerowo) jest istotna zarówno dla fazy projektowania produktu, jak i procesu kucia,
- czy stosowanie technik wymienionych w punktorach 5 i 6 techniki b) odnoszących się do "scentralizowanej dystrybucji chłodziwa/płynów smarujących" oraz "systemów gromadzenia i recyrkulacji chłodziwa/płynów smarujących" ma znaczenie dla kuźni, oraz
- czy technika c) (recykling pozostałości z procesu) ma zastosowanie do kuźni.

BAT 48 - Wibracje: możliwość zastosowania środków ograniczających wibracje w przypadku kuźni, co może zależeć od tego, czy oczekuje się i/lub uzasadniono uciążliwość wibracji dla obiektów wrażliwych.

Konsultacje na forum, a następnie formalna procedura przyjęcia konkluzji dotyczących BAT
Do ukończenia na późniejszym etapie.

Zalecenia dotyczące przyszłych prac

Wymiana informacji ujawniła szereg kwestii, którymi należy się zająć podczas kolejnego przeglądu dokumentu SF BREF. Zalecenia dotyczące kolejnego przeglądu obejmują następujące kwestie:

Zakres – powiązania między dokumentem SF BREF a dokumentem NFM BREF

- Odlewnie produkujące półprodukty z metali nieżelaznych wymagające dalszej obróbki (które nie są objęte zakresem dokumentu SF BREF) mogą zostać uwzględnione w kolejnym przeglądzie dokumentu NFM BREF.
- Zebranie większej ilości informacji na temat powiązań między zakresem SF i NFM BREF w celu ułatwienia właściwym organom lepszej klasyfikacji odlewni w ramach poszczególnych BREF.
- Zebranie większej ilości informacji na temat działalności odlewni kadmu, tytanu i metali szlachetnych podlegających Dyrektywie IED, a także odlewni dzwonów i odlewni artystycznych, ponieważ nie zgłoszono żadnych instalacji przekraczających odpowiednie progi.

Zużycie energii w odlewniach

- Zebranie informacji kontekstowych związanych ze specyficznym zużyciem energii do obróbki cieplnej (np. temperatura, rodzaj obróbki cieplnej, czas trwania, cykle obróbki, tonaż odlewów poddanych obróbce cieplnej).
- Wyrażenie poziomów sprawności energetycznej obróbki cieplnej w kWh/tonę odlewów poddanych obróbce cieplnej.
- Zebranie większej ilości danych i informacji kontekstowych dotyczących specyficznego zużycia energii w odlewniach NFM innych niż odlewnie aluminium (tj. Zn, Cu, Pb, Mg, brąz, mosiądz).

Zużycie energii w kuźniach

- Zebranie informacji kontekstowych i danych dotyczących konkretnego zużycia energii w kuźniach (np. procesy i ich charakterystyka, rodzaje produktów, cykle ogrzewania, temperatura, rodzaj obróbki cieplnej, czas trwania).

Efektywność wykorzystania materiałów produkcyjnych (odlewnie)

- Dalsze doprecyzowanie koncepcji odlewów o złożonych kształtach.

Emisje do powietrza (odlewnie)

- Zebranie większej ilości informacji na temat wprowadzania i stosowania:
  - niskoemisyjnych systemów spoiw utwardzanych na zimno,
  - niskoemisyjnych systemów spoiw utwardzanych gazem, oraz
  - niskoemisyjnych systemów spoiw utwardzanych na gorąco.
- Zebranie większej ilości informacji na temat intensywności rdzeniowania (liczba użytych rdzeni) oraz jego wpływu na emisje pochodzące z odlewania, chłodzenia i wytrząsania.
- Zebranie większej ilości informacji na temat wprowadzania i stosowania pieców elektrycznych jako substytutów żeliwiaków.
- Zebranie większej ilości informacji na temat emisji dioksynopodobnych PCB z topienia metali.
- Zebranie danych dotyczących emisji do powietrza w podziale na poszczególne metale nieżelazne (NFM).

7 LITERATURA ŹRÓDŁOWA

[1] COM, *Najlepsze dostępne techniki (BAT) Dokument referencyjny dla przemysłu metali nieżelaznych (NFM BREF)*, Komisja Europejska, JRC Sewilla EIPPCB.

[2] Hoffmeister i in., *"NE-Metallindustrie - Betreiberleitfaden für Anlagen zum Gießen in verlorenen Formen - Sandgußverfahren" (Przewodnik dla operatorów instalacji do odlewania w pełnych formach – proces odlewania w formach piaskowych), Ministerstwo Środowiska, Zagospodarowania Przestrzennego i Rolnictwa Nadrenii Północnej-Westfalii.*

[3] *Schneider, B., "Verwertung von Gießereialtsanden durch thermisch-mechanische Aufbereitung in einer zentralen Anlage" (Wykorzystanie starych piasków odlewniczych poprzez termomechaniczną przetwarzanie w centralnej instalacji), Federalny Urząd Ochrony Środowiska, 30 441-5/9.*

[4] Schachtner i in., *"Demonstrationsanlage zur thermischen Altsandregenerierung mit Komponententrennung für Quarz- und Chromerzsand (Demonstracyjna instalacja do termicznej regeneracji zużytego piasku z oddzieleniem składników, krzemionki i chromitu - raport końcowy 9010)", Federalny Urząd Ochrony Środowiska*, UBA3 0 441-2/4.

[5] Gwiasda, F., *""Erfassung und Reinigung von Abgasen bei der Kernfertigung einer Gießerei" (Rejestracja i oczyszczanie spalin w produkcji rdzeni w odlewni), Federalny Urząd Ochrony Środowiska.*

[6] Gerber *"Erfassung und Reinigung von Abgasen bei der Kernfertigung einer Gießerei" (Rejestracja i oczyszczanie spalin w produkcji rdzeni w odlewni), Federalny Urząd Ochrony Środowiska.*

[7] Strauß, *"Emissionsminderung druch Umbau einer Kupolofenanlage (Redukcja emisji poprzez przebudowę zakładu topienia wykorzystującego żeliwiak - raport końcowy 1018)", Federalny Urząd Ochrony Środowiska.*

[8] Rademacher, H., *"Errichtung und Betrieb einer Absaugung der Induktionsofen-Schmelzerei und Nebenbetriebe (Uruchomienie i eksploatacja urządzeń do odprowadzania emisji z pieców indukcyjnych i ich podzespołów - raport końcowy 1107)", Federalny Urząd Ochrony Środowiska, 50 441-5/168.*

[9] Gapp, H., *"Reduzierung des Gehaltes an Benzol in den Abgasen von Gieß- und Kühlstrecken durch den Einsatz eines Bio Filters (Redukcja zawartości benzenu w gazach spalinowych z linii odlewniczych i chłodniczych poprzez zastosowanie filtra biologicznego - raport końcowy 2041)", Federalny Urząd Ochrony Środowiska, 50 441 - 7/10.*

[11] Brettschneider i in., *"Luftreinhaltung - Verbesserung der Emissionssituation eines Gießereischmelzbetriebes mit zwei Drehtrommelöfen" (Ochrona powietrza – ograniczenie emisji z odlewni z dwoma piecami obrotowymi - Raport końcowy 1119), Federalny Urząd Ochrony Środowiska*, 50 441 - 1/56.

[12] Kran, H.-P. Brettschneider i in., *"Luftreinhaltung - Verbesserung der Emissionssituation eines Gießereischmelzbetriebes mit zwei Drehtrommelöfen" (Ochrona powietrza – ograniczenie emisji z odlewni z dwoma piecami obrotowymi - Raport końcowy 1119), Federalny Urząd Ochrony Środowiska*, 50 441 - 1/56.

[13] Batz, R., *"Stand der Technik bei der Emissionsminderung in Eisen-, Stahl- und Tempergießereien" (Stan techniki w zakresie ograniczania emisji w odlewniach żelaza, stali i odlewów z żeliwa sferoidalnego), Federalny Urząd Ochrony Środowiska.*

[14] CAEF, *"BAT for the Abatement of Atmospheric Pollution in the Ferrous Foundry Industry" (BAT dla ograniczania zanieczyszczenia atmosfery w przemyśle odlewów żelaza), Komisja Europejska - DG XI.E.1.*

[15] Binninger, W., *"Vermeidung von Abfällen durch abfallarme Produktionsverfahren -Reststoffe aus Schelzanlagen für Nichteisenmetalle (NE-Schwermetallguß)" (Zapobieganie powstawaniu odpadów dzięki procesom produkcyjnym o niskiej emisji odpadów – odpady z instalacji do odlewania metali nieżelaznych (odlewy metali nieżelaznych)), Agencja Doradztwa ds. Odpadów (ABAG).*

[16] Winterhalter et al., *"Vermeidung von Abfällen durch abfallarme Produktionsverfahren - Gießereialtsande aus Nichteisenmetallgießereien" (Zapobieganie powstawaniu odpadów dzięki procesom produkcyjnym o niskiej emisji odpadów – odpady odlewnicze z odlewni metali nieżelaznych), Agencja Doradztwa ds. Odpadów (ABAG).*

[17] Winterhalter et al., *"Vermeidung von Abfällen durch abfallarme Produktionsverfahren -Gießereialtsande aus Eisen-, Stahl- und Tempergießereien" (Unikanie powstawania odpadów dzięki procesom*

produkcyjnym o niskiej emisji odpadów – stare odpady odlewnicze z odlewni żelaza, stali i odlewni stali hartowanej), Agencja Doradztwa ds. Odpadów (ABAG).

[18] US EPA, *"EPA Office of Compliance Sector Notebook Project: Profile of the Metal Casting Industry" (EPA Biuro ds. Zgodności, Projekt Poradnika dla Sektora: Profil przemysłu odlewniczego), U.S. EPA, EPA/310-R-97-004.*

[19] Batz, R., *"Dioxin- und Furanemissionen aus Schmelzanlagen in Eisen-, Temper- und Stahlgießereien" (Emisje dioksyn i furanów z instalacji do topienia w odlewniach żelaza, odkuwek i stali), Federalny Urząd Ochrony Środowiska, 0722 186X.*

[20] ETSU, *"Cupola Melting of Cast Iron in Iron Foundries (Good Practice - Guide 58) (Wytapianie w odlewniach żeliwa stosujących żeliwiaki (Dobre praktyki – Przewodnik 58))", Biuro Efektywności Energetycznej - Departament Środowiska.*

[21] ETSU, *"Achieving High Yields in Iron Foundries (Good Practice - Guide 17)" (Osiąganie wysokich wydajności w odlewniach żeliwa (Dobre praktyki – przewodnik 17)), Biuro Efektywności Energetycznej - Departament Środowiska.*

[22] ETSU, *Energy Saving in Foundry Services (Good Practice - Guide 166)" (Oszczędność energii w odlewniach (Dobre praktyki – przewodnik 166)), Biuro Efektywności Energetycznej - Departament Środowiska.*

[23] ETSU, *"Guidance Notes for the Efficient Operation of Coreless Induction Furnaces (Good Practice - Guide 50)" (Wytyczne dotyczące efektywnej eksploatacji bezrdzeniowych pieców indukcyjnych (Dobre praktyki – przewodnik 50)), Biuro Efektywności Energetycznej - Departament Środowiska.*

[24] ETSU, *"Improving Metal Utilisation in Aluminium Foundries (Good Practice - Guide 142)" (Poprawa wykorzystania metali w odlewniach aluminium (Dobre praktyki – przewodnik 142)), Biuro Efektywności Energetycznej - Departament Środowiska.*

[25] ETSU, *"Electric Holding of Hot Metal in Iron Foundries" (Utrzymywanie gorącego metalu w odlewniach żelaza przy pomocy energii elektrycznej), Biuro Efektywności Energetycznej - Departament Środowiska.*

[26] ETSU, *"Non-Ferrous Foundries (second edition)" (Odlewnie metali nieżelaznych (wydanie drugie)), Biuro Efektywności Energetycznej - Departament Środowiska.*

[27] ETSU, *"Optimising Sand Use in Foundries" (Optymalizacja zużycia masy/piasku w odlewniach), Biuro Efektywności Energetycznej - Departament Środowiska.*

[28] ETSU, *"Cost-Effective Management of Chemical Binders in Foundries (GG104)" (Ekonomiczne zarządzanie chemicznymi spoiwami w odlewniach (GG104)), Biuro Efektywności Energetycznej - Departament Środowiska*.

[29] ETSU, *"Chemically Bonded Sand: Use and Reclamation (EG4)" (Chemicznie związana masa/piasek: Wykorzystanie i Rekultywacja (EG4)), Biuro Efektywności Energetycznej - Departament Środowiska.*

[30] ETSU, *"Foundry Greensand: Use and Reclamation (EG 5 Guide)" (Zielony piasek odlewniczy: zastosowanie i odzyskiwanie (przewodnik EG 5)), Biuro Efektywności Energetycznej - Departament Środowiska.*

[31] ETSU, *"Improved Process Control Reduces Mould Losses" (Ulepszona kontrola procesu zmniejsza straty związane z produkcją form), Biuro Efektywności Energetycznej - Departament Środowiska.*

[33] ERM Lahmeyer International GmbH, *"Aufkommen und Entsorgung von Gießereialtsanden (Powstawanie i utylizacja zużytych piasków odlewniczych), Federalny Urząd Ochrony Środowiska.*

[34] IfG, *"Untersuchung von Eisen- und NE-Metallgießereien - Branchengutachten" (Badanie odlewni żelaza i metali nieżelaznych – ekspertyza branżowa), Ministerstwo Badenii-Wirtembergii, 0941-780 X.*

[35] Spillner, A., *"Vermeidung von Kernsanden und Aminabfällen durch den Einsatz des Lost-foam-Verfahrens im Leichtmetall-Serienguß" (Unikanie piaskowania rdzeni i odpadów aminowych dzięki zastosowaniu technologii odlewania metodą traconej pianki w seryjnym odlewaniu metali lekkich), Agencja Doradztwa ds. Odpadów (ABAG).*

[36] Vereniging van Nederlandse Gemeenten, *"Werkboek milieumaatregelen Metaal - en Elektrotechnische Industre" (Stowarzyszenie Gmin Holenderskich, Podręcznik metod ochrony środowiska w przemyśle metalowym i elektrotechnicznym), VNG Uitgeverij.*

[37] FEAF, *"Fundición de Metales Ferrosos" (Najlepsze dostępne techniki dla odlewni, Fundacja*

Przedsiębiorczość a Środowisko), Fundación Entorno Empresa y Medio Ambiente.

[38] Vito, *"Beste Beschikbare Technieken voor de Gieterijen" (Najlepsze dostępne techniki dla odlewni), Vito, ISBN 90 382 0312 8.*

[39] Salminen i in., *"The Biological Air Purification System in Purifying Odours Produced in a Foundry Process" (Biologiczny system oczyszczania powietrza w procesie usuwania odorów powstających w odlewni), Vapo Oy Biotech.*

[40] Kirst, J., *"Regenerierung von Kernformstoffen und Formstoffen" (Regeneracja materiałów rdzeniowych i formierskich), Federalny Urząd Ochrony Środowiska, UBA III 2.2-50441-14/7.*

[41] Teknologisk*"A Survey of the Pollution and Environmental Conditions in the Foundry Industry" (Badanie zanieczyszczenia i warunków środowiskowych w przemyśle odlewniczym), Duński Instytut Technologiczny*.

[42] IHOBE, *"Arenas de Moldeo en Fundiciones Ferreas" (Piaski formierskie w odlewniach żelaza), Gobierno Vasco.*

[43] infoMil, *"Reductie van de uitstoot van isopropylalcohol door ijzergieterijen" (Ograniczanie emisji alkoholu izopropylowego z odlewni żelaza), infoMil.*

[44] de Wilde i in., *"LCA van drie gietsystemen voor gietijzer op basis van de LCA van een compressor casing ten behoeve van een rotorhuis Z3" (Analiza cyklu życia trzech systemów odlewniczych dla żeliwa na podstawie analizy cyklu życia obudowy sprężarki do korpusu wirnika Z3), TNO Industrie.*

[45] De Globe B.V., *"Aanvraag revisievergunning Wet milieubeheer", Provincie Limburg (Wniosek o zmianę pozwolenia zgodnie z ustawą o ochronie środowiska, prowincja Limburg).*

[46] Metaalgieterij Giesen B.V., *"Emissiemeetprogramma Thermische Zandregeneratie", Provincie Limburg (Program pomiaru emisji z termicznej regeneracji piasku, prowincja Limburg).*

[47] *Sieć tematyczna UE ds. odpadów odlewniczych*, *"Foundry Waste Possibilities in the Future" (Możliwości wykorzystania odpadów z odlewni w przyszłości), Inasmet.*

[49] Inasmet and CTIF, *"Eurofond 2002: Sand Moulding: Key to Competitiveness" (Eurofond 2002: Formowanie piasku: Klucz do Konkurencyjności), Eurofond 2002, San Sebastian (E).*

[50] Departament Energii Stanów Zjednoczonych, *"Advanced Lost Foam Casting" (Zaawansowane odlewanie metodą traconej pianki), Biuro Technologii Przemysłowych*, http://www.oit.doe.gov/factsheets/metalcast/pdfs/lostfoam.pdf.,1998.

[51] Inductotherm, *"Inductotherm Safety Manual On-line" (E-instrukcja bezpieczeństwa Inductotherm), Inductotherm, http://www.inductotherm.com/safety/safety.htm.,*2002.

[52] Eurofine, *Key variables for aluminium melting furnaces (Kluczowe zmienne dla pieców do topienia aluminium), "European Foundry Internet Network" (Internetowa Europejska Sieć Odlewni)*.

[53] Beauvais i in., "New technologies for the application of waterbased coatings" (Nowe technologie stosowania powłok na bazie wody), Fonderie Fondeur Aujourd'hui, 201, pp. 9-29.

[54] ETSU, *"Long campaign hot-blast cupolas in iron foundries" (Żeliwiaki kampanijne z gorącym dmuchem w odlewniach żelaza), GPCS366.*

[55] Gemco, *"Sand Cleaner" (oczyszczacz do piasku), Gemco Engineers Foundy Projects*, komunikacja osobista, 1999.

[57] Federalny Urząd Ochrony Środowiska, *"Techniken zur Regenerierung von Mono- und Mischsanden aus Giessereien" (Techniki regeneracji piasków jedno- i wieloskładnikowych z odlewni, Federalny Urząd Ochrony Środowiska)*, Komunikacja osobista, 2002.

[58] Baum, *"Firma Bröer"*, komunikacja osobista, 2002.

[59] Godinot, *"Evolution of the Cupola in Europe" (Rozwój żeliwiaków w Europie), Fonderie Fondeurs Aujourd'hui*, 205, s. 28-40.

[60] Godinot i in., *"Le traitement des fumées de cubilot" (Oczyszczanie oparów z żeliwiaka), Fonderie Fondeurs d'Aujourd'hui, 188, pp. 37-43.*

[61] Charbonnier i in., *"Devenir des poussières de cubilots dépoussierés à sec" (Regeneracja pyłów z pieców do suszenia na sucho), Fonderie Fondeur Aujourd'hui, 174, pp. 44-52.*

[62] UK Environment Agency, *"Interim Guidance for the A2 Ferrous Foundries Sector -External Consultation Draft" (Brytyjska Agencja Ochrony Środowiska, Tymczasowe wytyczne dla sektora*

odlewni metali żelaznych A2 – projekt konsultacji zewnętrznych), *IPPC S(A2)2.01 (2002).*

[63] UK Environment Agency, *"Process Guidance Note Draft Electrical, Crucible and Reverberatory Furnaces" (Brytyjska Agencja Ochrony Środowiska, Wytyczne dotyczące przebiegu procesu: Projekt pieców elektrycznych, tyglowych i płomiennych), UK Environment Agency, PG 2/3 (2002).*

[64] UK Environment Agency, *"DRAFT Process Guidance Note: Hot and cold blast cupolas and rotary furnaces" (Brytyjska Agencja Ochrony Środowiska, PROJEKT wytycznych dotyczących procesów: żeliwiaki z gorącym i zimnym dmuchem oraz piece obrotowe), UK Environment Agency, 163.*

[65] UK Environment Agency, *Draft Process Guidance Note Processes for melting and producing aluminium and its alloys" (Brytyjska Agencja Ochrony Środowiska, Projekt wytycznych dotyczących procesów: procesy topienia oraz przetwarzania aluminium i jego stopów), UK Environment Agency, PG 2/6a.*

[66] UK Environment Agency, *"Draft Process Guidance Note Processes for melting and producing magnesium and its alloys" (Brytyjska Agencja Ochrony Środowiska, Projekt wytycznych dotyczących procesów topienia oraz przetwarzania magnezu i jego stopów), UK Environment Agency, PG 2/6b.*

[68] Orkas J., *"Technical and environmental requirements for surplus foundry sand utilization", Helsinki University of Technology (Wymagania techniczne i środowiskowe dotyczące wykorzystania nadwyżek piasku odlewniczego, Uniwersytet Techniczny w Helsinkach).*

[69] Godinot, P. i in., *"Le Cubilot sans Coke", Fonderie - Fondeurs d'Aujourd'hui (Żeleźniak bez koksu), 185, s. 32-38.*

[70] The Castings Development Centre, *"Beneficial Re-use for Managers" (Centrum Rozwoju Odlewów, Korzyści z ponownego wykorzystania, poradnik dla menedżerów)*

[71] Neumann, F., *Gusseisen", expert verlag (Żeliwo, Poradnik).*

[72] Huelsen, W. B., *Gusseisen", expert verlag (Żeliwo, Poradnik).*

[73] Brown, J. R., *"Foseco Ferrous Foundryman's Handbook" (Podręcznik odlewnika wyrobów z żelaza firmy Foseco), Butterworth- Heinemann, ISBN0 7506 4284 X.*

[74] Brown, J. R., *"Foseco Non-ferrous Foundryman's Handbook 11th Ed" (Podręcznik odlewnika wyrobów nieżelaznych firmy Foseco, wydanie 11), Butterworth Heineman, ISBN 0 7506 4286 6.*

[75] ETSU, *"Induction Melting of Aluminium", Good practice guide 229 (Wytapianie indukcyjne aluminium, Podręcznik dobrych praktyk. 229).*

[76] Silva Ribeiro, C. A., *"Mass balance data for non-ferrous foundries" (Dane dotyczące bilansu masowego dla odlewni metali nieżelaznych, Portugalskie Stowarzyszenie Odlewników), Associação Portuguesa de Fundição.*

[77] Wenk, L., ' *Use of hexachloroethane for refinement of aluminium alloys and grain refinement of aluminium containing magnesium alloys" (Zastosowanie heksachloroetanu do rafinacji stopów aluminium i rozdrobnienia ziarna stopów aluminium zawierających magnez), Verein Deutscher Giessereifachleute (VDG),", Personal communication*, 1995.

[78] Hoppenstedt, *"Guss Produkte Jahreshandbuch", Giessereien - Zulieferer - Ausstatter (Przewodnik po produktach odlewanych, rocznik, odlewnie – dostawcy – wyposażenie)".*

[79] Assofond, *"Italian Foundry dust emission data" (Dane dotyczące emisji pyłu we włoskich odlewniach).*

[80] Ruffin, A. i Godinot, P., *"Recyclage des poussières du cubilot" (Recykling pyłów z żeliwiaka), Fonderie Fondeurs Aujourd'hui, 175, s. 18-41.*

[81] Closset, B*"SF6 replacement", International Magnesium Association" (Zamiennik dla SF6, Międzynarodowe Stowarzyszenie Producentów Magnezu)*, komunikacja osobista, 2002.

[83] Godinot, P. i in., *"Bibliographical study and survey on the coke-gas cupola" (Badanie bibliograficzne i przegląd dotyczący żeliwiaka opalanego koksem), Fonderie fondeur d'aujourd'hui, 216, pp. 32-41.*

[84] Spitz i in., *"Operational data PSA foundry" (Dane operacyjne odlewni PSA)*, PSA Sept-Fons,", komunikacja osobista, 2002.

[85] Stephan, J., *"Régénération thermique des sables de fonderie - caractérisation d'une installation Regetherm 500" (Regeneracja termiczna piasków odlewniczych – charakterystyka instalacji Regetherm 500), Fonderie Fondeurs d'Aujourd'hui, 158, pp. 37-47.*

[86] Stephan, J., *"Régénération thermique des sables de fonderie - caractérisation d'une installation*

Richards PX800" (Regeneracja termiczna piasków odlewniczych – charakterystyka instalacji Richards PX800), Fonderie Fondeurs d'Aujourd'hui, 170, pp. 21-53.

[87] Stephan, J., *Régénération thermique des sables de fonderie - caractérisation d'une installation Fataluminium Eco-Rec" (Regeneracja termiczna piasków odlewniczych – charakterystyka instalacji Fataluminium Eco-Rec), Fonderie Fondeurs d'Aujourd'hui, 198, pp. 54-69.*

[88] Hüttenes-Albertus, *"Die neue Cold-box Generation" (Nowa generacja procesów z zimną rdzennicą).*

[89] Schubert i in., *"Use of SO_2 as protection gas in magnesium die casting" (Zastosowanie SO_2 jako gazu ochronnego w odlewaniu ciśnieniowym magnezu).*

[90] IMA i in., *"Recommended practices for the conservation of sulphur hexafluoride in magnesium melting operations" (Zalecane praktyki dotyczące ochrony sześciofluorku siarki podczas topienia magnezu), International Magnesium Association*, raport komitetu technicznego.

[91] Gjestland i in., *"Use of SF6 in the megnesium industry, an environmental challenge" 3rd International Magnesium Conference, Manchester (Stosowanie SF6 w przemyśle magnezowym – wyzwanie dla środowiska naturalnego" 3. Międzynarodowa konferencja poświęcona magnezowi, Manchester).*

[92] UNEP IPCC, *"Climate change 2001: the Scientific basis", Intergovernmental Panel on Climate Change (Zmiany klimatu 2001: podstawy naukowe, Międzyrządowy Zespół ds. Zmian Klimatu), http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/001.htm.,*2002.

[93] UBA, *"Waste Water from Iron, Steel and Malleable Iron Foundry" (Ścieki z odlewni żelaza, stali oraz żeliwa), Federalny Urząd Ochrony Środowis*

[95] Nalonchem, *"Foundry coke"* (Koks odlewniczy), http://www.nalonchem.com/productos.htm.,2002.

[96] Fischer, *Einsaugsystem für Kupolöfen" (System odsysania dla żeliwiaków), GF.*

[97] Metalodlew s.a., " System odpylania elektrycznych pieców łukowych w odlewni staliwa Metalodlew s.a.", Metalodlew s.a.

[98] Metalodlew s.a., *" Zakład regeneracji samoutwardzalnych piasków rdzeniowych w odlewni staliwa Metalodlew s.a.", Metalodlew.*

[99] CEN, *"Definicja* i *klasyfikacja gatunków stali (EN10020)", Europejski Komitet Normalizacyjny, EN10020.*

[100] TWG, *"Komentarze do pierwszej wersji roboczej".*

[101] Linxe, D., *"Le prototypage rapide et ses applications en fonderie" (Szybkie prototypowanie i jego zastosowania w odlewnictwie), CTIF.*

[102] Carnicer Alfonso, P. L, , *"Emisiones de un Horno Rotativo de Oxigas para la fabricación de fundición férrea. Diagnóstico y medidas correctoras", Universidad del Pais Vasco (Emisje z pieca obrotowego na tlen i gaz do produkcji odlewów żeliwnych. Diagnoza i środki naprawcze, Uniwersytet Kraju Basków).*

[104] Ditze i in., *"Remelting of Magnesium type 1 scrap with or without flux?" (Przetapianie złomu magnezu typu 1 z użyciem topnika czy też bez?)*, Magnesium Industry Website, http://www.magnesiumindustry.com/Library/Highlights/Paper%20of%20the%20Month/papers/Remelting%20of%20Magnesium%20Type%201%20Scrap%20with%20or%20without%20Flux.pdf., 2000.

[105] Drews, B., *"Simultaneous mixing and cooling of moulding sand under vacuum" (Jednoczesne mieszanie i chłodzenie piasku formierskiego w warunkach niskiego ciśnienia), Casting Plant+Technology International, 2, pp. 4-10.*

[106] Devinny, J. S., *"Cleaning the Air, Biologically" (Biologiczne oczyszczanie powietrza)*, Inżynieria lądowa , wrzesień, s. 46-49.

[107] Metalodlew s.a., "Warunki przyjazne środowisku a poprawa warunków pracy", Metalodlew, http://metalodlew.nss.pl/eng/produkcja/srodowisko/index.php.,2003.

[108] Martínez de Morentin Ronda, J*"Dane operacyjne odlewni Lur-Sue", Lur-Sue*, komunikacja osobista, 2002.

[109] COM, *Dokument referencyjny dotyczący najlepszych dostępnych technik (BAT) dla produkcji żelaza i stali (IS BREF)*, Komisja Europejska, JRC IPTS EIPPCB.

[110] Zalensas, D. L., *""Aluminium Castings Technology, 2nd ed.", American Foundrymen Society (Technologia odlewów aluminiowych, wydanie drugie, Amerykańskie Stowarzyszenie Odlewników).*

[111] CTIF i in., *"Cast Aluminium Alloys - The reference guide", Artecomm document engineering (Stopy aluminium – przewodnik referencyjny, dokument techniczny Artecomm).*

[112] Gerl, S*"Aufbereitung von Feststoffmischungen mit Evactherm- Vakuummischern" (Przygotowanie mieszanek stałych za pomocą mieszalników próżniowych Evactherm)*, Giesserei-Praxis, 1-2003, pp. 17-22.

[113] Müller, G., *"Direkterfassung von Emissionen aus Formkästen im Groß- und Einzelguß (Hohl- und Vollform)" (Bezpośredni pomiar emisji z form odlewniczych w odlewniach wielkoseryjnych i jednostkowych (formy puste i pełne)), BIA, ISBN 3-88383-425-4.*

[114] Hobelsberger i in., *"Erste Erfahrungen met einem weiterentwickelten umweltverträglichen Cold-Box-System bei Daimler-Benz" (Pierwsze doświadczenia z udoskonalonym, przyjaznym dla środowiska systemem z zimną rdzennicą w firmie Daimler-Benz), Giesserei, 84/21, pp. 48-49.*

[115] Paul i in., *"Solvent (amine) recycling from the exhaust air of a core shop by means of gas permeation"* (Recykling rozpuszczalnika (aminy) z powietrza wywiewanego z rdzeniarni za pomocą permeacji gazowej), *GIFA-Kongress Giessereitechnik '94, Düsseldorf (D).*

[116] Harnisch i in., *"Cost and impact on emissions of potential regulatory framework for reducing emissions of hydrofluorocarbons, perfluorocarbons and sulphur hexafluoride" (Koszty i wpływ potencjalnych ram regulacyjnych dotyczących ograniczenia emisji wodorofluorowęglowodorów, perfluorowęglowodorów i sześciofluorku siarki na emisje), Ecofys GmbH, Öko-Recherche, B4-3040/2002/336380/MAR/E1.*

[117] Castings Technology International, *"Replicast (R)", CTI, http://www.castingsdev.com/tech_services/replicast/replicast.htm.*, 2003.

[118] i in., *"Technische und betriebswitrschaftliche Aspekte des Inhouse-Recycling von Mg-Legierungen" (Techniczne i ekonomiczne aspekty recyklingu stopów magnezu we własnym zakresie), http://www.lkr.at/german/news/news1/pdf/technische_betriebswirtschaftliche.pdf.,*2003.

[119] Helber i in., *"PCDD-/PCDF-Emissionnen bei Kupolöfen" (Emisje PCDD/PCDF z żeliwiaków) Conference Internationale sur le Cubilot, Strasbourg.*

[120] TWG, *Komentarze do drugiego projektu".*

[123] Galante i in., *"No-bake as we see it" (Bez wypalania, tak jak my to widzimy), Impianti Machine Fonderia.*

[124] Lilja i in., *"Survey of isocyanates in foundries, parts 1-5", Swedish Foundry Association -Svenska Gjuteriföreningen (Badanie izocyjanianów w odlewniach, części 1-5, Szwedzkie Stowarzyszenie Odlewnicze), 000317.*

[125] CAEF, *"Presentations of the Dioxin Workshop" Dioxin Workshop 24/09/2003, Bruksela (Prezentacje z warsztatów poświęconych dioksynom).*

[126] UNEP, *"Formation of PCDD and PCDF - an overview" Stockholm convention on persistent organic pollutants, expert group on BAT and BEP, Research Triangle Park (USA) (Powstawanie PCDD i PCDF – przegląd" Konwencja sztokholmska w sprawie trwałych zanieczyszczeń organicznych, grupa ekspertów ds. najlepszych dostępnych technik i najlepszych praktyk, Research Triangle Park (USA)).*

[127] Novem, *"Vervangen cokes-gestookte kroesoven door aardgas/zuurstof-gestookte trommeloven", Tenders Industriële Energiebesparing, 39520/0047.*

[128] IARC, *"Silica, some silicates, coal dust and para-aramid fibrils" (Krzemionka, niektóre krzemiany, pył węglowy i włókna para-aramidowe PPTA), Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem.*

[129] Anders, U., *"Ökologisch und ökonomisch optimierter Trennstoffeinsatz beim Aluminium-Druckguss" (Ekologiczne i ekonomiczne zastosowanie środków antyadhezyjnych w odlewaniu ciśnieniowym aluminium), Integrierter Umweltschutz in Gießereien, Verein Deutscher Gießereifachleute.*

[131] UK Environment Agency, *"Guidance for the recovery and Disposal of hazardous and non-hazardous waste (other than by incineration and landfill)" (Wytyczne dotyczące odzyskiwania i unieszkodliwiania odpadów niebezpiecznych i innych niż niebezpieczne (inaczej niż przez spalanie lub składowanie)), SEPA, IPPC S5.06.*

[132] HUT, *"Foundry pictures database", Helsinki University of Technology (Baza zdjęć odlewni, Uniwersytet Techniczny w Helsinkach).*

[133] DE UBA, *Innowacyjne techniki: Najlepsze Dostępne Techniki (BAT) w wybranych obszarach przemysłu - Podprojekt 3 - Odlewnie, Tom 1: Kandydaci do BAT.*

[134] CAEF, *wkład* CAEF *w rozdziały 1* i *2 obecnego (2005) dokumentu SF BREF oraz informacje zwrotne na temat kandydatów do BAT*.

[136] SE, *Informacje przekazane przez Szwecję*.

[137] Herbertz i in., *Massivumformung kurz und buendig, Deutsche Massivumformung (Krótka i zwięzła informacja o obróbce plastycznej, niemiecka obróbka plastyczna)*.

[138] Euroforge, *Global and European forging figures (Globalne i europejskie dane dotyczące kuźnictwa); http://www.euroforge.org/fileadmin/user_upload/Downloads/NEU/OFFICIAL_REPORT _World_tons_2017-2018.pdf*, 2020.

[139] Probst, *Gestaltung lärmarmer Fertigungsstätten in metallverarbeitenden Betrieben (Projektowanie cichych zakładów produkcyjnych w przedsiębiorstwach zajmujących się obróbką metali), BAuA Fb1083*.

[140] IAF, *strona internetowa Międzynarodowego Forum Akredytacji*, 2010.

[141] *strona internetowa Międzynarodowego Forum Akredytacji*, 2010.

[142] COM, Środowisko *DG: Czym jest Emas?*, 2010.

[143] DE, *Information submission by DE*.

[144] CEN, [143] DE, *Information submission by DE*.

[145] US EPA, *Energy Efficiency and Cost Saving Opportunities for Metal Casting (Efektywność energetyczna i możliwości oszczędności kosztów w odlewnictwie metali)*.

[146] Ade, *"Massivumformung in Deutschland; Eine energieintensive energieeffiziente Branche (Obróbka plastyczna metali w Niemczech; branża energochłonna i energooszczędna)*; https://www.massivumformung.de/fileadmin/user_upload/6_Presse_und_Medien/Veroeff entlichungen/Extra-Info/massiverFOKUS-12-2017-D_Web.pdf."

[147] Total Materia, *Cold and hot forging: An overview (Kucie na gorąco i na zimno, przegląd); - https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=CheckArticle&LN=EN&site=KT S&NM=277*, 2010.

[148] Euroforge, *komunikacja Euroforge podczas przygotowywania sekcji kuźni*, 2021 r.

[149] HWE DE, *Materiały, https://www.hammerwerk-erft.de/en/leistungen/werkstoffe/index.php,*2020.

[150] Stooss AG DE, *Material, https://www.stooss.com/en/production/material; https://www.stooss.com/de/produktion/waermebehandlung,*2020.

[151] Dirostahl DE, *Application and industries (zastosowanie i branże), https://dirostahl.com/en/portfolio/application-and-industries,*2020.

[152] DE VDI/ADB, *Haemmer oder Pressen, Entscheidungshilfe fuer die Auswahl von Maschinen zum Gesenkschmieden (Młoty lub prasy, pomoc w wyborze maszyn do kucia matrycowego)*.

[153] Witt DE, *Basic Knowledge; Forgings-Significance, design, production, application* (*Podstawowa wiedza; Odkuwki - znaczenie, projektowanie, produkcja, zastosowanie)*, 2011.

[154] Euroforge, *Basic Knowledge; Forgings-Significance, design, production, application* (*Podstawowa wiedza; Odkuwki - znaczenie, projektowanie, produkcja, zastosowanie)*, 2011.

[155] Euroforge, komunikacja Euroforge młoty vs. prasy, 2020 r.

[156] FIA, o *kuciu; Odkuwki: Gdzie, dlaczego, jak?, https://www.forging.org/about/forgings-where-why-how,*2021.

[157] Grillo, *Open Die Forging vs. Closed Die Forging (Kucie w matrycach otwartych a kucie w matrycach zamkniętych), https://www.steelavailable.com/en/open-die-forging-vs-closed-die-forging/,*2017.

[158] IspatGuru, *Reheating Furnaces and their Types* (*Piece do nagrzewania* i *ich rodzaje), https://www.ispatguru.com/reheating-furnaces-in-steel-plants/,*2013.

[159] McGraw-Hill Dictionary Dictionary i in., *Batch-type furnace (Piec wsadowy), https://encyclopedia2.thefreedictionary.com/batch-type+furnace*, 2003.

[160] Altan i in., *Hammers and presses for forging, Abstract, Digital Library, ASM Handbooks online (Młoty i prasy kuźnicze, Streszczenie, Biblioteka cyfrowa, ASM Handbooks online), https://dl.asminternational.org/handbooks/book/31/chapter-abstract/428788/Hammers-and-Presses-for-Forging?redirectedFrom=fulltext,*2005.

[161] CBM, *Wytyczne dotyczące wymogów bezpieczeństwa dla odkuwek na gorąco*, 2019.

[162] Raju i in., *"Analysis and design of foundation systems to control the vibrations due to forging impact hammer; JOURNAL OF STRUCTURAL ENGINEERING Vol. 44, No. 5, DECEMBER 2017 - JANUARY 2018 (Analiza i projektowanie systemów fundamentowych do kontroli drgań spowodowanych uderzeniami młotów kuźniczych; JOURNAL OF STRUCTURAL ENGINEERING, tom 44, nr 5, grudzień 2017 – styczeń 2018),* https://www.researchgate.net/publication/321185197_Analysis_and_Design_of_Foundation_Systems_to_Control_the_Vibrations_Due_to_Forging_Impact_Hammer".

[163] Veroeven, *Isolating the Vibrations of Forging Hammers (Izolowanie drgań od młotów kuźniczych), https://www.forgemag.com/articles/83789-isolating-the-vibrations-of-forging-hammers,*2010.

[164] Heidari i in., *"Using reinforced soil systems in hammer, foundations" (Zastosowanie systemów wzmocnionego podłoża dla młotów, fundamenty)*; https://www.eng.uwo.ca/grc/pdfs/2011/El_Naggar_reinforced_soil_systems_hammer_foundations.pdf".

[165] Odink, G. J, *"Using reinforced soil systems in hammer, foundations" (Zastosowanie systemów wzmocnionego podłoża dla młotów, fundamenty)*; https://www.eng.uwo.ca/grc/pdfs/2011/El_Naggar_reinforced_soil_systems_hammer_foundations.pdf".

[166] Goodchild, S., *Forging Die Lubricants: Graphite or Synthetics? (Smary do matryc kuźniczych: grafit czy syntetyki?)*, https://www.forgemag.com/articles/84386-forging-die-lubricants-graphite-or-synthetics#:~:text=Today%2C%20there%20are%20four%20main,based%20synthetics%20or%20non%2Dgraphite'.

[167] Shenoy, S. P., 'Reduce Costs by Using Graphite-Free Lubricants (Ograniczenie kosztów dzięki zastosowaniu smarów bez grafitu), https://www.forgemag.com/articles/84148-reduce-costs-by-using-graphite-free-lubricants'.

[168] COM, *Dokument referencyjny* dotyczący *najlepszych dostępnych technik (BAT) dla przemysłu przetwórstwa metali żelaznych (FMP BREF)*.

[169] TWG, *Gromadzenie danych na potrzeby przeglądu SF BREF*.

[170] REESE, *Plasmanitrieren (Azotowanie plazmowe); https://www.haerterei.com/fileadmin/user_upload/pdf/Verfahren/Plasmanitrieren.pdf,* 2020.

[171] COM, *Dokument referencyjny dotyczący* najlepszych *dostępnych technik (BAT) obróbki powierzchniowej metali* i *tworzyw sztucznych (STM BREF)*.

[173] CAEF i in., *Informacja przekazana po KoM na temat typowych rodzajów odlewni*.

[174] COM, *Raport referencyjny JRC dotyczący monitorowania emisji do powietrza i wody z instalacji objętych dyrektywą IED (ROM REF), Komisja Europejska, Wspólne Centrum Badawcze, Sewilla, EUR 29261 PL, doi:* 10.2760.344197.

[175] COM, *projekt 1 (czerwiec 2021 r.) dokumentu referencyjnego dotyczącego najlepszych dostępnych technik dla ubojni, produktów ubocznych pochodzenia zwierzęcego* i *jadalnych produktów ubocznych (SA BREF), dostępny pod adresem https://eippcb.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2021-06/SA-BREF-20210629.pdf*.

[176] HAZBREF, *HAZBREF, Niebezpieczne chemikalia przemysłowe w dokumentach BREF dotyczących Dyrektywy IED, pakiet roboczy 3, działanie 3.2: Metody bardziej systematycznego uwzględniania informacji o substancjach niebezpiecznych i innych substancjach budzących obawy w dokumentach BREF*.

[177] COM, Dokument referencyjny dotyczący najlepszych dostępnych technik (BAT) w zakresie efektywności energetycznej (ENE BREF)*, Komisja Europejska, JRC-EIPPCB, 2009*.

[178] COM, Dokument referencyjny dotyczący najlepszych dostępnych technik (BAT) dla dużych obiektów energetycznego spalania (LCP BREF).

[179] COM, Dokument referencyjny dotyczący najlepszych dostępnych technik (BAT) dla wspólnych systemów oczyszczania/gospodarki ściekami i gazami odlotowymi w sektorze chemicznym (CWW BREF)*, Komisja Europejska, Wspólne Centrum Badawcze , Sewilla, EUR 28112 PL, doi:10.2791/37535*.

[180] DIOFUR, Przewodnik dobrych praktyk w zakresie MINIMALIZACJI EMISJI DIOKSYN i FURANÓW W ODLEWNIACH*, Nr projektu: 30298*.

[181] Rząd Kraju Basków, BADANIA NAD BENZENEM i INNYMI LOTNYMI ZWIĄZKAMI

ORGANICZNYMI W ODLEWNIACH WYKORZYSTUJĄCYCH TECHNOLOGIĘ TRACONEJ PIANKI.

[182] Salonitis i in., *"Improvements in energy consumption and environmental impact by novel single shot melting process for casting" ("Poprawa zużycia energii i wpływu na środowisko dzięki nowatorskiemu procesowi topienia jednostrzałowego w odlewnictwie")*.

[183] Projekt Foundrybench, *Foundrybench - Foundry Energy Efficiency Benchmarking (Foundrybench – analiza porównawcza efektywności energetycznej odlewni)*.

[184] Watkins i in., *"Sustainability characterisation for die casting processes, Proceedings of the ASME 2013 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference IDETC/CIE 2013" (Charakterystyka zrównoważonego rozwoju procesów odlewania ciśnieniowego, Materiały z międzynarodowej konferencji ASME 2013 poświęconej inżynierii projektowej oraz konferencji IDETC/CIE 2013 poświęconej komputerom i informatyce w inżynierii)*.

[185] Seetharaman, *Process metallurgy* (Metalurgia procesowa), ISBN 978-0-08-096988-6.

[186] Foundry (czasopismo), *Environmental advantages of Water-Free Die Lubricants (Zalety środowiskowe bezwodnych smarów do matryc), strona internetowa: https://www.foundrytradejournal.com/features/environmental-advantages-of-water-free-die-lubricants. Inna strona z informacjami na temat suchych smarów: https://www.alteasrl.it/en/fields/aluminium-die-casting/,*2021.

[187] Baret, *Proven energy efficiency solutions for foundries, Casting Plant & amp (Sprawdzone rozwiązania w zakresie efektywności energetycznej dla odlewni, zakładów odlewniczych i hutniczych); Technology 3/2014*.

[188] Niehoff, T. i in., *"Oxy-fuel burner technology for cupola melting; 2nd International Cupola Conference, Tier, 18-19 March 2004 (Technologia palników tlenowo-paliwowych stosowanych do topienia w żeliwiakach; 2. Międzynarodowa Konferencja poświęcona żeliwiakom, Tier, 18-19 marca 2004 r.)*. Dostępne pod adresem: https://www.yumpu.com/en/document/read/5291607/oxy-fuel-burner-technology-for-cupola-melting-air-products-and-".

[189] BCS, *Advanced Melting Technologies: Energy Saving Concepts and Opportunities for the Metal Casting Industry (Zaawansowane technologie topienia: koncepcje oszczędzania energii oraz perspektywy dla przemysłu odlewniczego), BCS Incorporated,* listopad *2005 r*.

[190] Holtzer Holtzer i in., *Mold and core sands in metal casting: Chemistry and ecology. Springer International publishing pp 269-274* (Piaski formierskie i rdzeniowe w odlewnictwie metali: chemia i ekologia. Wydawnictwo Springer International, str. 269-274).

[191] Holtzer i in., *Molds and Cores Systems in Foundry, In Microstructure and Properties of Ductile Iron and Compacted Graphite Iron Castings (Systemy form i rdzeni w odlewni, w mikrostrukturze i właściwościach odlewów z żeliwa sferoidalnego i żeliwa z sprasowanym grafitem), Springer Briefs in Materials*.

[192] Pocolaa i in., *"Complex and efficient waste heat recovery system in aluminium foundry (Złożony i wydajny system odzysku ciepła w odlewni aluminium)*, Energy Procedia 112 (2017) 504 - 509".

[193] Neto i in., "Inventory of pollution reduction options for an aluminium pressure die casting plant, Resources, Conservation & Recycling (Wykaz możliwości ograniczenia zanieczyszczeń w odlewni ciśnieniowej aluminium, Zasoby, ochrona środowiska i recykling), 2009, vol. 53, wydanie 6, 309-320".

[194] Groteke i in. A *melt performance comparison: stack melter versus reverberatory furnace. Modern casting – Paper presented at the International Conference on Modern Molten Aluminium, 1999 (Porównanie wydajności topienia: piec stosowy a piec płomienny. Nowoczesne odlewnictwo – referat przedstawiony podczas Międzynarodowej Konferencji poświęconej nowoczesnemu odlewaniu aluminium, 1999 r.)*.

[195] Malpohl i in., *Aluminium melting furnaces for die casting (Piece do topienia aluminium do odlewania ciśnieniowego), Artykuł opublikowany w Foundry-planet.com w 2010 r. https://www.foundry-planet.com/d/aluminium-melting-furnaces-for-die-casting/*.

[196] Butler, *Melting and holding furnaces for die casting (Piece do topienia i przetrzymywania odlewów ciśnieniowych), Die Casting Engineer, 28-40.*

[197] Biswas i in., *Increasing melting efficiency in steel foundries. AFS transactions 2012 – American*

Foundry Society (Zwiększenie wydajności topienia w odlewniach stali. Transakcje AFS 2012 – Amerykańskie Stowarzyszenie Odlewników), 1-8.

[198] Beismann i in., *How to Integrate Bionics in Lightweight Design? (Jak zintegrować bionikę w konstrukcjach lekkich?), https://www.spotlightmetal.com/how-to-integrate-bionics-in-lightweight-design-*. a-786157/.

[199] Holtzer i in., *Research on the influence of moulding sand with furan resin on the environment. 4th International Symposiumon High Temperature Metallurgical Processing 643 – 650 (Badania nad wpływem piasku formierskiego z żywicą furanową na środowisko. 4. Międzynarodowe Sympozjum na temat Obróbki Metalurgicznej w Wysokich Temperaturach 643 – 650)*.

[200] Zennaro i in., *Foundry binder system with a low formaldehyde content and process for obtaining it, European Patent Specification EP3085724B1 (System spoiw odlewniczych o niskiej zawartości formaldehydu i sposób ich otrzymywania, opis patentu europejskiego ...),* czerwiec *2019* r.

[201] Vykoukal, M. i in., *Geopol, the Innovated environment friendly inorganic binder system. Archives of Foundry Engineering (Geopol, innowacyjny, przyjazny dla środowiska system spoiw nieorganicznych. Archiwum Inżynierii Odlewniczej), 109-116*.

[202] Merta, V. i in., *Innovative Inorganic Binder Systems for the Production of Cores for Non-Ferrous Metal Alloys Reflecting the Product Quality Requirements. Metal 11, 733 (Innowacyjne systemy spoiw nieorganicznych do produkcji rdzeni do stopów metali nieżelaznych, odzwierciedlające wymagania jakościowe produktu. Metal 11, 733*).

[203] Vacelet i in., *Ecocure Blue – New cold box system with ultra-high efficiency and as low as possible emissions. Foudry Production and Metallurgy 1(90), 63-68 (Ecocure Blue – nowy system zimnej rdzennicy o ultrawysokiej wydajności i możliwie najniższej emisji. Produkcja odlewnicza i metalurgia 1(90), 63-68)*.

[204] Vacelet i in., *Fewer emissions with solventless coldbox binders. Casting Plant and Technology 1, 14-16 (Mniejsza emisja dzięki bezrozpuszczalnikowym spoiwom typu coldbox. Odlewnia i technologia 1, 14-16*).

[205] P. R. Carey, Technical Paper, *Sand Binder systems - Part XII: Hot Box, Warm Box, and Core Oil*, 2021 (Artykuł naukowy, Systemy spoiw piaskowych – część XII: gorąca rdzennica, ciepła rdzennica i olej rdzeniowy, 2021).

[206] V. Haanappel, *Methods to Determine, Influence and Improve the Flowability of Sand Mixtures. Intech Open Publication (Metody określania, wpływania i poprawiania płynności mieszanek piaskowych. Publikacja Intech Open), 1-20.*, 2021.

[207] J. Lechner Abwärme nutzen, Strom gewinnen: Energiekosten sparen, Giesserei 103, 72-74." (Wykorzystanie ciepła odpadowego do produkcji energii elektrycznej: oszczędność na kosztach energii, Odlewnia 103, 72-74).

[208] COM, Dokument referencyjny dotyczący najlepszych dostępnych technik (BAT) w zakresie obróbki powierzchniowej z użyciem rozpuszczalników organicznych, w tym konserwacji drewna i produktów drewnopochodnych za pomocą środków chemicznych (STS BREF), Komisja Europejska., JRC EIPPCB, 2020 r.

[209] CAEF, *Dane przeglądowe sektora odlewniczego*.

[210] TWG, *uwagi* TWG *dotyczące D1 zmienionego dokumentu SF BREF*, 2022 r.

[211] M. Greger, *Melting/Holding Efficiency in Shaft Furnaces (Wydajność topienia/utrzymywania temperatury w piecach szybowych)*, 2022.

[213] COM, Dokument referencyjny dotyczący stosowania najlepszych dostępnych technik (BAT) w przemysłowych systemach chłodniczych (ICS BREF), COM, EIPPCB.

[214] Farinia, *RÓŻNORODNE EKSPERTYZY, MŁOTY KUŹNICZE; https://www.farinia.com/various-expertises/forging-hammers,*202.

[215] CFS Forge, *Quenching & Tempering For Steel Forgings (Hartowanie i odpuszczanie odkuwek stalowych); https://www.steelforging.org/quenching-and-tempering-for-steel-forgings/,*2017.

[216] Beneke i in. *Handbook of Thermoprocessing Technologies Volume 2: Plants / Components / Safety (Podręcznik technologii obróbki termicznej, tom 2: Zakłady / Komponenty / Bezpieczeństwo)*, Vulkan Verlag.

[217] UNEP, *Thermal Energy Equipment: Waste Heat Recovery. Energy Efficiency Guide for Industry in Asia, pp 1-18., 2006 (Urządzenia do energii cieplnej: Odzysk ciepła odpadowego. Przewodnik efektywności energetycznej dla przemysłu w Azji, str. 1-18, 2006 r.)*.

[218] COM, *Life Project Odourless casting; Reducing odour emissions from foundries, 2011-2014, odniesienie:* LIFE10 ENV/FI/000059 ; http://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=search.dspPage&n_proj_id=3926; https://dc5k4hhhkzdqp.cloudfront.net/media/bestenv15.pdf (strona 12).

[219] DE, *Noise measurements - Umbau Abluftschalldämpfung 45mt und 63mt Hammerschmiede - Übersicht Schallmessungen - 18.01.2019 (Pomiar hałasu – przebudowa tłumika hałasu powietrza wywiewanego 45 m i 63 m kuźnia – przegląd pomiarów hałasu – 18.01.2019); DE004.*

[220] ES, *Noise measurements* (pomiary hałasu) - *INFORME TÉCNICO DE MEDICIÓN ACÚSTICA EN EL ENTORNO INDUSTRIAL CIE GALFOR S.A. Polígono Industrial de San Cibrao das Viñas, Rúa 2, San Cibrao das Viñas (Ourense); REF. 1909123; 19/09/2019, ES008*, 2019.

[221] ES, *Environmental permit of Plant* (pozwolenie środowiskowe dla zakładu) *CIE GALFPR SAU; 2017-IPPC-M-36; RESOLUCIÓN, DA DIRECCIÓN XERAL DE CALIDADE AMBIENTAL E CAMBIO CLIMÁTICO, POLA QUE SE MODIFICA A AUTORIZACIÓN* AMBIENTAL *INTEGRADA NÚM. 2006/0367_NAA/IPPC_072*, 2018.

[223] SF TWG, *zgłoszenia* TWG *po 2. Warsztatach oceny danych*. [224] PL, *Informacje* dodatkowe *PL009 (kuźnie)*, 2023.

[225] COM, *sprawozdanie z wizyty w zakładzie Profero w Belgii*, 2022 r.

[226] TWG, *Alifatyczny poliuretanowy system wiązania* z ciepłą rdzennicą, 2023.

[227] ES, *Dodatkowe informacje na temat obróbki metali nieżelaznych* i *odlewania ciągłego dostarczone przez ES*, 2021 r.

[228] EFR, *EU-27 Steel Scrap Classification (klasyfikacja złomu stalowego)*, Europejska Federacja Odzysku i Recyklingu Żelaza.

[229] CAEF, Stanowisko w sprawie czystego złomu.

[230] Desmonts, *Badanie przeprowadzone przez Stellantis w celu określenia korzyści środowiskowych i ekonomicznych procesu odlewania metodą traconej pianki w porównaniu z procesem odlewania grawitacyjnego w produkcji aluminiowych odlewów surowych głowic cylindrów*, Stellantis.

[231] UmweltBundesamt, *CO_2-neutrale Prozesswärmeerzeugung (Federalna Agencja Ochrony Środowiska, neutralna pod względem emisji CO2 produkcja ciepła procesowego)*.

[232] Kovis, 'ABP INDUCTION AND KOVIS: FROM CCUPOLA TO INDUCTION FURNACE', *Iron Melting Conference*, Saarbrücken (OD ŻELIWIAKA DO PIECA INDUKCYJNEGO, konferencja poświęcona topieniu żelaza, Saarbrücken).

[233] Nissen A., "Erweiterung ElektroschmelzbetriebRückbau Kupolofen - Machbarkeitsstudie", *Iron Melting Conference*, Saarbrücken (Rozbudowa zakładu elektrolizy żelaza – likwidacja żeliwiaka – studium wykonalności)

[234] EEB, *Techniki kandydujące do BAT w zakresie: - Zastąpienie paliw (kopalnych) energią elektryczną (wytwarzaną ze źródeł odnawialnych) w procesach odlewni - Przekształcenie procesu wytopu złomu żelaznego w żeliwiakach na proces w piecach indukcyjnych.*

[235] Dynemech, *Vibration and Shock Isolation Systems for the Forging Hammers (Systemy izolacji drgań i wstrząsów dla młotów kuźniczych); https://www.vibrationmountsindia.com/vibration-shock-isolation-systems-forging-hammers/,*2023.

[236] GERB, *DIRECT SPRING SUPPORT OF FORGING HAMMERS (BEZPOŚREDNIE SPRĘŻYNOWE WSPARCIE MŁOTÓW KUŹNICZYCH); https://www.gerb.com/wp-content/uploads/2022/09/GERB_Forging-Hammers_EN-2022-09-1.pdf*, 2022.

[237] TWG, *Informacje przekazane po spotkaniu końcowym*, 2023 r.

8 ZAŁĄCZNIKI

8.1 Załącznik 1 Lista z europejskich kuźni i odlewni, które uczestniczyły w gromadzeniu danych

8.1.1 Lista z europejskich odlewni, które uczestniczyły w gromadzeniu danych

Kod zakładu	Nazwa zakładu	Miasto	Państwo	2.4 FM	2.5(b) NFM	Metal przetworzony w 2.5 (b) NFM
AT001	Banner GmbH	Linz	Austria		x	Pb
AT002	Borbet Braunau	Braunau	Austria		x	Al
AT003	Dynacast Österreich GmbH	Weikersdorf	Austria		x	Zn, Al
AT004	EGM Industrieguss GmbH	Möllersdorf	Austria	x		
AT005	Karl Fink GmbH	Leibnitz	Austria		x	Al
AT006	Georg Fischer Fittings GmbH	Traisen	Austria	x		
AT007	GF Casting Solutions Altenmarkt GmbH & Co KG	Altenmarkt	Austria		x	Al, Mg
AT008	Striko Schmelzöfen	Herzogenburg	Austria		x	Al
AT009	Gienanth Steyr Guss GmbH	Steyr	Austria	x		
AT010	MAHLE Vöcklabruck GmbH	Vöcklabruck	Austria	x		
AT011	Maschinenfabrik Liezen und Gießerei GesmbH, Odlewnia	Liezen	Austria	x		
AT012	MRB Guss GmbH	Herzogenburg	Austria	x		
AT013	Nemak Linz GmbH	Linz	Austria		x	Al
AT014	Schindler Fahrtreppen International GmbH	Ternitz	Austria		x	Al
AT015	Tiroler Rohre GmbH / Hall i.T	Hall i.T.	Austria	x		
AT016	Voestalpine Giesserei Linz GmbH	Linz	Austria	x		
AT017	Voestalpine Gießerei Traisen GmbH	Traisen	Austria	x		
AT018	Wagnerguss	Enns	Austria	x		
BE019	Allard-Europe	Turnhout	Belgia	x		
BE020	Dovre Weelde	Weelde	Belgia	x		
BE021	Fondatel Lecomte SA	Andenne	Belgia	x		
BE022	Proferro NV	Ypres	Belgia	x		
BE023	Dział odlewni zakładu Vandewiele	Kortrijk	Belgia	x		
CZ024	ZPS-Slevarna, a.s.	Zlin	Republika Czeska	x		
CZ025	Slévárny v závodě Mladá Boleslav	Mladá Boleslav	Republika Czeska		x	Inne powody
CZ026	Slévárna šedé a tvárné litiny	Hodonín	Republika Czeska	x		
CZ027	Kovolit a.s.	Modřice	Republika Czeska		x	Al
CZ156	Liberty Engineering Products Ostrava s.r.o.	Ostrawa	Republika Czeska	x		

Kod zakładu	Nazwa zakładu	Miasto	Państwo	2.4 FM	2.5(b) NFM	Metal przetworzony w 2.5 (b) NFM
DE028	ACO-Guss GmbH	Kaiserslautern	Niemcy	x		
DE029	Michelau, Zakład 3	Rudersberg	Niemcy		x	Zn
DE030	Necklinsberg, Zakład 1	Rudersberg	Niemcy		x	Zn
DE031	AE group nentershausen gmbh	Bebra-Iba	Niemcy		x	Al
DE032	Alzmetall Werkzeugmaschinenfabrik und Gießerei Friedrich GmbH & Co. KG	Altenmarkt	Niemcy	x		
DE033	Stihl Magnesium Druckguss / Druckgießerei, Schwerkraftguss	Weinsheim	Niemcy		x	Mg, Al
DE034	Stihl Magnesium Druckguss / Gießerei	Weinsheim	Niemcy		x	Mg
DE035	BMW odlewnia wysokociśnieniowa	Landshut	Niemcy		x	Al
DE036	BMW Odlewnia piaskowa	Landshut	Niemcy		x	Al
DE037	Odlewnia BMW odlewanie grawitacyjne i niskociśnieniowe	Landshut	Niemcy		x	Al
DE038	Odlewnia BMW metoda traconej pianki	Landshut	Niemcy		x	Al
DE039	Bosch Rexroth AG	Lohr am Main	Niemcy	x		
DE040	Buderus Guss Breidenbach	Breidenbach	Niemcy	x		
DE041	Isselguss GmbH Giessereierzeugnisse	Isselburg	Niemcy	x		
DE042	Dossmann GmbHEisengießerei und Modellbau	Walldürn-Rippberg	Niemcy	x		
DE043	DST Defence Service Tracks GmbH -Stahlgießerei	Remscheid	Niemcy	x		
DE044	Edelstahlwerke Schmees GmbH - Werk Pirna	Pirna	Niemcy	x		
DE045	Eisengießerei Georg Funk GmbH & Co. KG, Aalen	Aalen	Niemcy	x		
DE046	Eisenwerk Brühl GmbH	Brühl	Niemcy	x		
DE047	Eisenwerk Martinlamitz	Schwarzenbach a. d. Saale	Niemcy	x		
DE048	EMG Casting AG	Waldkraiburg	Niemcy	x	x	Al
DE049	Fondium Singen GmbH	Singen Htwl.	Niemcy	x		
DE050	Fondium Mettmann GmbH	Mettmann	Niemcy	x		
DE051	Franken Guss GmbH & Co. KG	Kitzingen	Niemcy	x		
DE052	Gontermann Peipers GmBH, Werk Hain	Siegen	Niemcy	x		
DE053	Gontermann Peipers GmBH, Werk Marienborn	Siegen	Niemcy	x		
DE054	HegerFerrit GmbH	Sembach	Niemcy	x		

Kod zakładu	Nazwa zakładu	Miasto	Państwo	2.4 FM	2.5(b) NFM	Metal przetworzony w 2.5 (b) NFM
DE055	HegerGuss GmbH	Enkenbach	Niemcy	x		
DE056	Harz Guss Zorge	Zorge	Niemcy	x		
DE057	Kemptener Eisengießerei Adam Hönig AG	Kempten/Allgäu	Niemcy	x		
DE058	Eisengießerei Weilbach	Weilbach	Niemcy			
DE060	MAT Foundries Europe GmbH Werk Neunkirchen	Neunkirchen	Niemcy	x		
DE061	Eisengießerei (Werk Wehrstapel)	Meschede	Niemcy	x		
DE062	MeierGuss Limburg GmbH (odlewnia żeliwa)	Limburgia / Lahn	Niemcy	x		
DE063	Odlewnia Gütersloh	Güterloh	Niemcy	x		
DE064	Odlewnia miedzi	Andernach	Niemcy		x	Cu
DE065	Nemak Dillingen GmbH	Dillingen	Niemcy		x	Al
DE066	Formanlage 1 Buchholz	Olpe	Niemcy		x	Al
DE067	Gusstechnik	Olsberg	Niemcy	x		
DE068	Pleissner Guss	Herzberg am Harz	Niemcy	x		
DE069	Reinhard Tweer GmbH - Stahlgiesserei	Bielefeld	Niemcy	x		
DE070	Robert Bosch Lollar Guss	Lollar	Niemcy	x		
DE072	SM Sächsisches Metallwerk Freiberg GmbH	Freiberg	Niemcy		x	Cu, inne
DE073	Stahlwerke Bochum GmbH	Bochum	Niemcy	x		
DE074	Trompetter Guss Chemnitz GmbH	Chemnitz	Niemcy	x		
DE075	Piec do topienia aluminium	St. Ingbert	Niemcy	x	x	Al
DE076	WESO-Aurorahütte GmbH	Gladenbach	Niemcy	x		
DE077	Werk Beuel	Bonn	Niemcy	x		
DE078	Sandguss	Sigmaringendorf-Laucherthal	Niemcy		x	Cu, Zn, Al, inne
DE159	ZGG - Zeitzer Guss GmbH	Zeitz	Niemcy	x		
DK079	Vald Birn A/S	Holstebro	Dania	x		
EL080	Sunlight Systems SA	Xanthi	Grecja		x	Pb
ES082	Fuchosa, S.L.U.	Atxondo	Hiszpania	x		
ES084	Planta de Fundición de Aluminio Bergara	Arrasate	Hiszpania		x	Al
ES085	Planta de Fundición de Hierro de Markulete	Arrasate	Hiszpania	x		
ES086	Planta de Fundición de Aluminio Uribarri	Arrasate	Hiszpania		x	Al
ES087	Planta de Fundicion de Aluminio de Eskoriatza	Eskoriatza	Hiszpania		x	Al
ES088	Durango	Durango	Hiszpania	x		
ES089	Guivisa, S.L.	Vizcaya	Hiszpania	x		

Kod zakładu	Nazwa zakładu	Miasto	Państwo	2.4 FM	2.5(b) NFM	Metal przetworzony w 2.5 (b) NFM
ES090	Industrias Hergom, S.L.	Soto de la Marina (Santa Cruz de Bezana)	Hiszpania	x		
ES091	Funderia Condals, S.A.	Manresa	Hiszpania	x		
ES092	Martinrea Honsel Hiszpania LPDC	Mostoles	Hiszpania		x	Al
ES093	Martinrea Honsel Spain HPDC	Mostoles	Hiszpania		x	Al
ES094	Metal Smelting S.A. Elorrio	Elorrio	Hiszpania	x		
ES095	Metal Smelting S.A. Iurreta	Iurreta	Hiszpania	x		
ES096	Saint-Gobain PAM, España	Santander	Hiszpania	x		
ES097	Schmidt-Clemens Spain S.A.U.	Murieta	Hiszpania	x		
ES098	Gamesa Eneggy Transmission, S.A.U.	Burgos	Hiszpania	x		
ES099	Teknia Ampuero, S.L.U.	Ampuero	Hiszpania		x	Al
ES100	UCB Cast Profil SAU	Villanueva de Gallego (Saragossa)	Hiszpania	x		
FI101	Alteams Finland Oy, Laihia	Laihia	Finlandia		x	Al
FI102	Porin valimo	Pori	Finlandia	x		
FI103	Tevo Lokomo oy Tampere	Tampere	Finlandia	x		
FR104	Ferry Capitain	Vecqueville	Francja	x		
FR105	FMGC	Soudan	Francja	x		
FR106	Focast	Chateaubriant	Francja	x		
FR107	Fonderie Bouhyer	Ancenis - Saint Géreon	Francja	x		
FR108	Fonderie De Plomb	Carquefou	Francja		x	Pb
FR109	Fonderie Venissieux SAS	Venissieux	Francja	x		
FR110	Kuhn SAS	Saverne	Francja	x		
FR111	Le Creuset SAS	Frensoy le Grand	Francja	x		
FR112	Linamar Montupet	Châteauroux	Francja		x	Al
FR113	Nidec Leroy-Somer Fonderie	Angouleme	Francja	x		
FR114	PSA Automobiles Fonderie de Charleville	Villers Semeuse	Francja	x	x	Al
FR115	PMP PSA	Charleville Mézières	Francja	x	x	Al
FR116	Odlewy aluminiowe / SNC Renault Cleon	Cleon	Francja		x	Al
FR117	ACI	Le Mans	Francja	x		
FR118	SG PAM Usine de Bayard sur Marne	Bayard sur Marne	Francja	x		
FR119	Usine de Foug	Foug	Francja	x		
FR120	Fondeire	Merville	Francja	x		
IT071	F.lli Giovannini SpA	Fano	Włochy	x		
IT121	Foam SpA	Rivoli (TO)	Włochy		x	Al
IT122	Endurance SpA	Chivasso	Włochy		x	Al
IT123	Endurance SpA	Grugliasco	Włochy		x	Al
IT124	Fonderia Baraldi S.r.L.	Montagnana	Włochy	x		

Kod zakładu	Nazwa zakładu	Miasto	Państwo	2.4 FM	2.5(b) NFM	Metal przetworzony w 2.5 (b) NFM
IT125	Fonderia San Martino	Barberino Tavarnelle	Włochy	x		
IT126	Fonderie Palmieri SPA	Calenzano	Włochy	x		
IT127	Fonderie Valdelsane spa	Monteriggioni (SI)	Włochy	x		
IT128	Fonderia Getti Speciali Colombo Giuseppe di Carlo & Figli S.P.A.	San Giorgio su legnano (MI)	Włochy	x		
IT129	Fondinox Spa	Sergnano	Włochy	x		
IT130	Massifond S.P.A.	Orbassano (TO)	Włochy	x		
IT131	Officine Zen Fonderie S.r.l.	Albignasego	Włochy	x		
IT132	Parola e Luraghi SPA	Magenta	Włochy	x		
IT133	Tecopress SPA	Terre del Reno	Włochy		x	Al
IT134	VDC S.r.l.	Camposampiero	Włochy	x		
IT154	Somipress SRL	Castelfidardo (AN)	Włochy		x	Al
IT155	Czas realizacji SPA	Caldarola (MC)	Włochy	x		
IT157	O/Cava Meccanica S.P.A.	Ferrere	Włochy	x		
IT158	Zanardi Fonderie SPA	Minerbe	Włochy	x		
PL135	Krakodlew S.A.	Kraków	Polska	x		
PL136	Koneckie Zakłady Odlewnicze S.A.	Końskie	Polska	x		
PL137	Foundry_OLE	Olesno	Polska		x	Cu
PL138	Odlewnia żeliwa w Ścinawce Średniej	Ścinawka Średnia	Polska	x		
PT139	Cruz Martins & Wahl, Lda	Vila Nova de Famalicão	Portugalia	x		
PT140	Duritcast, S.A.	Águeda	Portugalia	x		
PT141	Fucoli-Somepal, Fundição de Ferro, SA - Coimbra	Coimbra	Portugalia	x		
PT142	Fundiven - Fundição Venezuela S.A.	Águeda	Portugalia		x	Al
PT143	Schmidt Light Metal, Fundição Injectada, Lda	Oliveira de Azeméis	Portugalia		x	Al
SE144	Holsbyverken	Vetlanda	Szwecja	x		
SE145	Arvika Gjuteri	Arvika	Szwecja	x		
SE146	Części zużywające się do samochodów kombi, kv Muttern	Ljungby	Szwecja	x		
SE147	Gjuteriteknik AB	Värnamo	Szwecja		x	Zn
SE148	Metallfabriken Ljunghäll AB	Södra Vi	Szwecja		x	Al
SE149	Sandvik SRP AB	Svedala	Szwecja	x		
SE150	Volvo Group Skövde	Skövde	Szwecja	x		
SE151	Xylem Water Solutions Manufacturing AB, Emmaboda	Emmaboda	Szwecja	x		
SE152	Älmhults gjuteri	Älmhult	Szwecja	x		
SE153	Åkers Sweden AB	Åkers Styckebruk	Szwecja	x		

8.1.2 Lista europejskich kuźni, które uczestniczyły w gromadzeniu danych

Kod zakładu	Nazwa zakładu	Miasto	Państwo	2.3 (b)	Inne działania podlegające Dyrektywie IED	Działania bezpośrednio powiązane
DE001	Georg Group, Georg Umformtechnik	Willroth	Niemcy	Nr	-	-
DE002	Hammerwerk Fridingen GmbH	Fridingen	Niemcy	Nr	-	Śrutowanie, Kuźnia, Obróbka termiczna, Narzędziownia
DE003	Karl Diederichs GmbH & Co. KG Hammerwerk, Werk 1	Remscheid	Niemcy	Nr	-	Obróbka termiczna
DE004	Maschinenfabrik Alfing Kessler GmbH	Aalen	Niemcy	Nr	Brak innych działań podlegających Dyrektywie IED	Kucie (młot przeciwuderzeniowy), Ogrzewanie (piec wsadowy), Ogrzewanie / kucie
DE005	RUD Schöttler Umformtechnik und Systemlieferant GmbH	Hagen	Niemcy	Nie	-	Śrutowanie, Kuźnia, Ogrzewanie
DE006	SIEPMANN-WERKE GmbH & Co. KG	Warstein-Belecke	Niemcy	Nr	Brak innych działań podlegających Dyrektywie IED	Obróbka końcowa (wykańczanie), Obróbka termiczna
DE007	Wildauer Schmiede- und Kurbelwellentechnik GmbH	Wildau	Niemcy	Tak	Brak innych działań podlegających Dyrektywie IED	Obróbka wału korbowego
ES008	CIE AUTOMOTIVE	Ourense	Hiszpania	Tak	-	-
PL009	HSW Kuźnia Stalowa Wola	Stalowa Wola	Polska	Tak	Brak innych działań podlegających Dyrektywie IED	Obróbka mechaniczna, Obróbka termiczna

8.2 Załącznik 2 Informacje dotyczące oświadczeń H dla substancji obecnie stosowanych w odlewniach

W procesie formowania i produkcji rdzeni stosuje się różnorodne substancje jako spoiwa lub katalizatory, a niektóre z nich posiadają określone zwroty wskazujące rodzaj zagrożenia. Zgodnie z przekazanymi informacjami, w odniesieniu do systemów spoiw chemicznych stosowanych obecnie w odlewniach zgłoszono następujące zwroty wskazujące rodzaj zagrożenia:

- H225 - Wysoce łatwopalna ciecz i pary
- H302 - Działa szkodliwie po połknięciu
- H312 - Działa szkodliwie w kontakcie ze skórą
- H314 - Powoduje poważne oparzenia skóry oraz uszkodzenia oczu
  H315 - Działa drażniąco na skórę
- H317 - Może powodować reakcję alergiczną skóry.
- H318 - Działa drażniąco na oczy
- H319 - Działa drażniąco na oczy
- H331 - Działa toksycznie w następstwie wdychania.
- H332 - Działa szkodliwie w następstwie wdychania
- H334 - Może powodować objawy alergii lub astmy lub trudności w oddychaniu w następstwie wdychania.
- H335 - Może powodować podrażnienie dróg oddechowych.
- H341 - Podejrzewa się, że powoduje wady genetyczne
- H351 - Podejrzewa się, że powoduje raka
- H373 - Może powodować uszkodzenie narządów poprzez długotrwałe lub powtarzające się narażenie
- H400 - Działa bardzo toksycznie na organizmy wodne.
- H410 - Działa bardzo toksycznie na organizmy wodne, powodując długotrwałe skutki.
- H411 - Działa toksycznie na organizmy wodne, powodując długotrwałe skutki.
- H412 - Działa szkodliwie na organizmy wodne, powodując długotrwałe skutki.
- H413 - Może powodować długotrwałe szkodliwe skutki dla organizmów wodnych

Kontakt z UE

Osobiście

W całej Unii Europejskiej znajdują się setki centrów Europe Direct. Adres najbliższego można znaleźć w Internecie (european-union europa eu/contact-eu/meet-us en).

Przez telefon lub na piśmie

Europe Direct to serwis, który odpowiada na pytania dotyczące Unii Europejskiej. Możesz skontaktować się z tą usługą:

- pod bezpłatnym numerem telefonu: 00 800 6 7 8 9 10 11 (niektórzy operatorzy mogą pobierać opłaty za połączenie),
- pod następującym standardowym numerem: +32 22999696,
- za pośrednictwem następującego formularza: european-union europaeu'contact-eu'write-us pl

Wyszukiwanie informacji o UE

Online

Informacje o Unii Europejskiej we wszystkich językach urzędowych UE są dostępne na stronie internetowej Europa (european-union europa eu).

Publikacje UE

Publikacje UE można przeglądać lub zamawiać pod adresem op europa eiv'en/publications. Wiele egzemplarzy bezpłatnych publikacji można uzyskać, kontaktując się z Europe Direct lub lokalnym centrum dokumentacji (european- Lnioneuropaeuicontact-eui'meet-us en).

Prawo UE i powiązane dokumenty

Aby uzyskać dostęp do informacji prawnych z UE, w tym całego prawa UE od 1951 r. we wszystkich oficjalnych wersjach językowych, odwiedź stronę EUR-Lex (eur-lexeuropaeu).

Otwarte dane UE

Portal dataeuropaeu zapewnia dostęp do otwartych zbiorów danych pochodzących z instytucji, organów i agencji UE, które można bezpłatnie pobierać i ponownie wykorzystywać zarówno do celów komercyjnych, jak i niekomercyjnych.

Science for policy

Wspólne Centrum Badawcze (JRC) zapewnia niezależną, opartą na dowodach wiedzę i naukę, wspierając politykę UE w celu wywarcia pozytywnego wpływu na społeczeństwo.

EU Science Hub
Joint-research-centre.ec.europa.eu

Publications Office
of the European Union