PRZEWODNIK W ZAKRESIE NAJLEPSZYCH DOSTĘPNYCH TECHNIK (NDT)

WYTYCZNE DLA BRANŻY ODLEWNICZEJ

Narodowy Fundusz
Ochrony Środowiska
i Gospodarki Wodnej

Sfinansowano ze środków Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej na zamówienie Ministra Środowiska

Ministerstwo Środowiska
Wrzesień 2005

PRZEWODNIK W ZAKRESIE NAJLEPSZYCH DOSTĘPNYCH TECHNIK (NDT)

WYTYCZNE DLA BRANŻY ODLEWNICZEJ

Opracował zespół:

prof. dr hab. Mariusz Holtzer – kierownik zespołu

mgr inż. Ewa Bagińska,

prof. dr hab. inż. Andrzej Baliński,

dr inż. Kazimierz Borla

prof. dr hab. inż. Adam Bydałek,

prof. dr hab. inż. Józef Dańko,

mgr Krzysztof Kowalski,

mgr inż. Mariola Latała – Holtzer,

mgr inż. Mariusz Młyński,

prof. dr hab. inż. Czesław Podrzucki,

Jarosław Rożek,

mgr Maria Żmudzińska

Ministerstwo Środowiska
Wrzesień 2005

1. WPROWADZENIE 10

2. MAGAZYNOWANIE, TRANSPORT I PRZEŁADUNEK MATERIAŁÓW 12

2.1. Analiza stosowanych technik i technologii oraz porównanie z poziomem światowym 12
2.2. Identyfikacja istotnych aspektów środowiskowych 14
2.3. Charakterystyka emisji do poszczególnych komponentów środowiska 15
2.4. Odpady i ich zagospodarowanie 16
2.5. Emisja hałasu 19
2.6. Charakterystyka materiałochłonności i energochłonności stosowanych technologii 19
2.7. Sposoby zapobiegania i/lub ograniczania oddziaływania na środowisko 20
2.8. Propozycje granicznych wielkości emisji 21
2.9. Zestawienie minimalnych wymagań charakteryzujących NDT z przykładami rozwiązań, które pozwolą na spełnienie tych wymagań. 21
2.10. Określenie minimalnych wymagań w zakresie monitoringu 23

3. WYTAPIANIE I OBRÓBKA METALURGICZNA CIEKŁEGO METALU 25

3.1. Wytapianie i obróbka żeliwa 25
3.1.1. Analiza stosowanych technik i technologii oraz ich porównanie z poziomem światowym 25
3.1.1.1. Wprowadzenie 25
3.1.1.2. Piece i technologie stosowane w metalurgii żeliwa 26
3.1.1.2.1. Wiadomości ogólne 26
3.1.1.2.2. Piece paliwowe 28
3.1.1.3. Podstawowe rodzaje obróbki pozapiecowej ciekłego żeliwa 41
3.1.1.3.1. Wiadomości ogólne 41
3.1.1.3.2. Otrzymywanie żeliwa modyfikowanego 42
3.1.1.3.3. Otrzymywanie żeliwa sferoidalnego 42
3.1.1.3.4. Otrzymywanie żeliwa z grafitem wermikularnym 43
3.1.1.3.5. Odsiarczanie ciekłego żeliwa 43
3.1.1.4. Podsumowanie 44
3.1.1.4.1. Piece i stosowane technologie wytapiania żeliwa 44
3.1.1.4.2. Obróbka pozapiecowa ciekłego żeliwa 45
3.1.2. Porównanie technologii stosowanych w kraju z poziomem światowym 45
3.1.2.1. Piece i stosowane technologie wytapiania żeliwa 45
3.1.2.2. Obróbka pozapiecowa 47
3.1.3. Identyfikacja istotnych aspektów środowiskowych 47
3.1.3.1. Żeliwiaki 47
3.1.3.2. Piece obrotowe bębnowe 47
3.1.3.3. Piece indukcyjne 48
3.1.3.4. Obróbka pozapiecowa 48
3.1.4. Charakterystyka emisji do poszczególnych komponentów środowiska 48
3.1.4.1. Żeliwiaki 48
3.1.4.2. Piece bębnowe obrotowe 49
3.1.4.3. Piece indukcyjne 49

3.1.5. Odpady i ich zagospodarowanie 50
3.1.5.1. Pył żeliwiakowy 50
3.1.5.2. Gazy żeliwiakowe 51
3.1.5.3. Żużel żeliwiakowy 51
3.1.5.4. Pyły z pieców bębnowych obrotowych i z pieców indukcyjnych 51
3.1.5.5. Żużel z pieców bębnowych obrotowych i z pieców indukcyjnych 51
3.1.5.6. Złom obiegowy 51
3.1.6. Emisja hałasu 52
3.1.6.1. Żeliwiaki 52
3.1.6.2. Piece bębnowe obrotowe 52
3.1.6.3. Piece indukcyjne średniej częstotliwości 52
3.1.7. Charakterystyka materiałochłonności i energochłonności stosowanych w Polsce technologii 52
3.1.7.1. Wytapianie żeliwa w żeliwiakach 52
3.1.7.2. Wytapianie żeliwa w piecach bębnowych obrotowych 53
3.1.7.3. Wytapianie i przegrzewanie żeliwa w piecach indukcyjnych 53
3.1.7.4. Procesy pozapiecowe 53
3.1.8. Sposoby zapobiegania i/lub ograniczania oddziaływania technologii na środowisko 53
3.1.8.1. Wytapianie żeliwa w żeliwiakach 53
3.1.8.2. Wytapianie żeliwa w bębnowych piecach obrotowych 53
3.1.8.3. Wytapianie i przegrzewanie żeliwa w piecach indukcyjnych 54
3.1.8.4. Procesy pozapiecowe 54
3.1.9. Zestawienie minimalnych wymagań charakteryzujących NDT z przykładami rozwiązań technicznych, które pozwolą na spełnienie tych wymagań 54
3.1.9.1. Żeliwiaki 54
3.1.9.2. Piece indukcyjne 55
3.1.9.3. Zabiegi sferoidyzowania i wermikularyzowania 55
3.1.10. Określenie minimalnych wymagań w zakresie monitoringu 55
3.2. Wytapianie i obróbka stali na odlewy 56
3.2.1. Analiza stosowanych technik i technologii oraz ich porównanie z poziomem światowym 56
3.2.1.1.Elektryczne piece łukowe 56
3.2.1.2. Piece indukcyjne 58
3.2.1.3. Obróbka pozapiecowa ciekłej stali 58
3.2.1.4. Instalacje odpylające i oczyszczające gazy 58
3.2.1.5. Techniki i technologie stosowane w świecie 59
3.2.2. Identyfikacja istotnych aspektów środowiskowych 60
3.2.3. Charakterystyka emisji do poszczególnych komponentów środowiska 61
3.2.4. Odpady i ich zagospodarowanie 62
3.2.5. Emisja hałasu 64
3.2.6. Charakterystyka materiałochłonności i energochłonności stosowanych technologii wytapiania stali 65
3.2.7. Sposoby zapobiegania i/lub ograniczania oddziaływania technologii na środowisko 66

3.2.8. Zestawienie minimalnych wymagań charakteryzujących NDT z przykładami rozwiązań, które pozwolą na spełnienie tych wymagań 68
3.2.8.1. Piece łukowe 68
3.2.8.2. Piece indukcyjne 70
3.2.8.3. Obróbka pozapiecowa stali 71
3.2.9. Określenie minimalnych wymagań w zakresie monitoringu 72
3.3. Wytapianie i obróbka metali nieżelaznych 72
3.3.1. Analiza stosowanych technologii i technik oraz ich porównanie z poziomem światowym 72
3.3.1.1. Stopy aluminium 72
3.3.1.2. Stopy miedzi 75
3.3.1.3. Stopy magnezu 76
3.3.1.4. Stopy ołowiu i stopy cynku 76
3.3.2. Identyfikacja istotnych aspektów środowiskowych 76
3.3.3. Charakterystyka emisji do poszczególnych komponentów środowiska 77
3.3.4. Sposoby zapobiegania i ograniczania oddziaływania technologii na środowisko 78
3.3.5. Zestawienie minimalnych wymagań charakteryzujących NDT z przykładami rozwiązań technicznych, które pozwolą na spełnienie tych wymagań 79
3.3.6. Określenie minimalnych wymagań w zakresie monitoringu 81

4. PRZYGOTOWANIE MAS FORMIERSKICH I RDZENIOWYCH ORAZ WYKONYWANIE FORM I RDZENI 83

4.1. Analiza stosowanych technologii i technik oraz porównanie ich z poziomem światowym 83
4.1.1. Formowanie w masach wilgotnych 83
4.1.2. Masy ze spoiwami chemoutwardzalnymi i termoutwardzalnymi 84
4.1.2.1. Masy chemoutwardzalne ze spoiwami organicznymi 85
4.1.2.2. Masy chemoutwardzalne ze spoiwami nieorganicznymi 89
4.1.2.3. Masy utwardzane aktywnymi gazami 90
4.1.3. Masy formierskie i rdzeniowe utwardzane termicznie 91
4.1.4. Technologia pełnej formy 92
4.2. Lista aspektów środowiskowych szczególnie istotnych 93
4.3. Charakterystyka emisji do poszczególnych komponentów środowiska, w tym gospodarka odpadami oraz emisja hałasu 95
4.4. Sposoby zapobiegania i/lub ograniczania oddziaływania na środowisko 102
4.5. Zestawienie minimalnych wymagań charakteryzujących NDT 103
4.6. Zestaw minimalnych wymagań w zakresie monitoringu 105

5. ODLEWANIE, CHŁODZENIE I WYBIJANIE ODLEWÓW 106

5.1. Analiza stosowanych technologii i technik oraz ich porównanie z poziomem światowym 106
5.2. Identyfikacja istotnych aspektów środowiskowych 106
5.3. Charakterystyka emisji do poszczególnych komponentów środowiska 107
5.3.1. Emisja do powietrza 107
5.3.2. Emisja do wód 111

5.3.3. Odpady i ich zagospodarowanie 111
5.3.4. Emisja hałasu 111
5.4. Charakterystyka materiałochłonności i energochłonności stosowanych w kraju technologii 111
5.5. Sposoby zapobiegania i/lub ograniczania oddziaływania technologii na środowisko 113
5.6. Propozycje granicznych wielkości emisji 115
5.7. Zestawienie minimalnych wymagań charakteryzujących NDT 115

6. PROCES WYKAŃCZANIA ODLEWÓW 116

6.1. Analiza stosowanych technologii i technik oraz ich porównaie z poziomem światowym 116
6.1.1. Usuwanie układów wlewowych i nadlewów 116
6.1.2. Obróbka cieplna odlewów 117
6.1.3. Hartowanie odlewów 118
6.1.4. Malowanie i powlekanie odlewów 118
6.2. Oddziaływanie procesów wykańczania odlewów na środowisko 119
6.3. Emisja zanieczyszczeń do atmosfery 119
6.3.1. Wychwytywanie gazów odlotowych z procesów wykańczania odlewów 119
6.3.2. Techniki oczyszczania wychwyconego powietrza 120
6.4. Charakterystyka emisji do poszczególnych komponentów środowiska 121
6.4.1. Emisja pyłów i gazów 121
6.4.2. Emisja hałasu 123
6.4.3. Generowanie odpadów 124
6.4.4. Zrzut ścieków 125
6.4.5. Zużycie nośników energii 125
6.5. Minimalne wymagania dotyczące emisji pyłów i gazów z wykańczania odlewów 126
6.6. Minimalne wymagania dotyczące monitoringu procesów wykańczania odlewów 126

7. WYCHWYTYWANIE PYŁÓW I GAZÓW ORAZ ICH OBRÓBKA 127

7.1. Emisje pyłów i gazów w procesie magazynowania i przeładunku surowców 127
7.1.1. Stan istniejący w zakresie emisji pyłów i gazów w procesach magazynowania i przeładunku surowców 127
7.1.1.1. Źródła i poziomy emisji pyłów i gazów 127
7.1.1.2. Stosowane techniki ograniczania emisji pyłów i gazów 128
7.1.2. Minimalne wymagania dotyczące emisji pyłów i gazów w procesach magazynowania i przeładunku surowców 129
7.1.2.1. Zalecane techniki zapobiegania emisji pyłów i gazów 129
7.1.2.2. Zalecane techniki ograniczania emisji pyłów i gazów 129
7.1.3. Minimalne wymagania dotyczące monitoringu emisji pyłów i gazów w procesach magazynowania i przeładunku surowców 130
7.2. Emisje pyłów i gazów w procesach wytapiania metalu 130
7.2.1. Stan istniejący w zakresie emisji pyłów i gazów w procesach wytapiania metalu 130
7.2.1.1. Źródła i poziomy emisji pyłów i gazów 130

7.2.1.2. Stosowane techniki ograniczania emisji pyłów i gazów 142
7.2.2. Minimalne wymagania dotyczące emisji pyłów i gazów w procesach wytapiania metalu 143
7.2.2.1. Zalecane techniki zapobiegania emisji pyłów i gazów 143
7.2.2.2. Zalecane techniki redukcji emisji pyłów i gazów 144
7.2.3. Poziomy emisji NDT, propozycje granicznych wielkości emisji i minimalne wymagania dotyczące monitoringu emisji pyłów i gazów w procesach wytapiania metalu 146
7.3. Emisje pyłów i gazów w procesach wytwarzania form i rdzeni 149
7.3.1. Stan istniejący w zakresie emisji pyłów i gazów w procesach wytwarzania form i rdzeni 149
7.3.1.1. Źródła i poziomy emisji pyłów i gazów 149
7.3.1.2. Stosowane techniki ograniczania emisji pyłów i gazów 159
7.3.2. Minimalne wymagania dotyczące emisji pyłów i gazów w procesach wytwarzania form i rdzeni 160
7.3.2.1. Zalecane techniki zapobiegania emisji pyłów i gazów 160
7.3.2.2. Zalecane techniki redukcji emisji pyłów i gazów 162
7.3.3. Propozycje granicznych wielkości emisji i minimalne wymagania dotyczące monitoringu emisji pyłów i gazów w procesach wytwarzania form i rdzeni 163
7.4. Emisje pyłów i gazów w procesach odlewania, chłodzenia i wybijania form 165
7.4.1. Stan istniejący w zakresie emisji pyłów i gazów w procesach odlewania, chłodzenia i wybijania form 165
7.4.1.1. Źródła i poziomy emisji pyłów i gazów 165
7.4.1.2. Stosowane techniki ograniczania emisji pyłów i gazów 170
7.4.2. Minimalne wymagania dotyczące emisji pyłów i gazów w procesie odlewania, chłodzenia i wybijania form 171
7.4.2.1. Zalecane techniki zapobiegania emisji pyłów i gazów 171
7.4.2.2. Zalecane techniki redukcji emisji pyłów i gazów 171
7.4.3. Poziomy emisji NDT, propozycje granicznych wielkości emisji i minimalne wymagania dotyczące monitoringu emisji pyłów i gazów w procesach odlewania, chłodzenia i wybijania form 171
7.5. Emisje pyłów i gazów w procesach oczyszczania i wykańczania odlewów 173
7.5.1. Stan istniejący w zakresie emisji pyłów i gazów w procesie oczyszczania i wykańczania odlewów 173
7.5.1.1. Źródła i poziomy emisji pyłów i gazów 173
7.5.1.2. Stosowane techniki ograniczania emisji pyłów i gazów 178
7.5.2. Minimalne wymagania dotyczące emisji pyłów i gazów w procesach oczyszczania i wykańczania odlewów 178
7.5.2.1. Zalecane techniki zapobiegania emisji pyłów i gazów 178
7.5.2.2. Zalecane techniki redukcji emisji pyłów i gazów 178
7.5.3. Poziomy emisji NDT, propozycje granicznych wielkości emisji i minimalne wymagania dotyczące monitoringu emisji pyłów i gazów w procesach oczyszczania i wykańczania odlewów 178
7.6. Emisja pyłów i gazów w procesie obróbki cieplnej odlewów 179
7.6.1. Stan istniejący w zakresie emisji pyłów i gazów w procesach obróbki cieplnej odlewów 179
7.6.1.1. Źródła i poziomy emisji pyłów i gazów 179
7.6.1.2. Stosowane techniki ograniczania emisji pyłów i gazów 181
7.6.2. Minimalne wymagania dotyczące emisji pyłów i gazów

w procesach obróbki cieplnej odlewów 181
7.6.2.1. Zalecane techniki zapobiegania emisji pyłów i gazów 181
7.6.2.2. Zalecane techniki redukcji emisji pyłów i gazów 181
7.6.3. Propozycje granicznych wielkości emisji i minimalne wymagania dotyczące monitoringu emisji pyłów i gazów z procesów obróbki cieplnej odlewów 181
7.7. Uwagi i wnioski końcowe 182

8. ZAPOBIEGANIE POWSTAWANIU ŚCIEKÓW ORAZ ICH OBRÓBKA 183

8.1. Analiza stanu istniejącego w zakresie gospodarki wodno-ściekowej 183
8.1.1. Zużycie wody 183
8.1.2. Powstawanie ścieków 185
8.1.3. Rodzaje i poziomy zanieczyszczeń w ściekach 185
8.1.3.1. Procesy wytwarzania form i rdzeni 186
8.1.3.2. Procesy wytapiania metalu 186
8.1.3.3. Procesy odlewania 187
8.1.3.4. Procesy wybijania 187
8.1.3.5. Wykańczanie i obróbka odlewów 188
8.1.3.6. Ścieki stanowiące spływy z miejsc magazynowania surowców 188
8.1.3.7. Analiza ilościowa ścieków pochodzących z wybranej odlewni krajowej 188
8.2. Techniki zapobiegania generowaniu ścieków lub ograniczania ich ilości 188
8.3. Techniki oczyszczania ścieków 189
8.4. Propozycje jakości odprowadzanych ścieków 191
8.5. Zalecane techniki w gospodarce wodno - ściekowej odlewni 191
8.5.1. Magazynowanie i przeładunek surowców 191
8.5.2. Wytapianie i obróbka ciekłego metalu 191
8.5.3. Wykonywanie form i rdzeni 192
8.5.4. Odlewanie i wybijanie 192
8.6. Minimalne wymagania dotyczące monitoringu jakości ścieków 193

9. EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNA PROCESÓW 194

9.1. Analiza stanu istniejącego 194
9.2. Techniki zmniejszające zużycie nośników energii 195
9.3. Problematyka energetyczna w odlewniach krajowych 199

10. REGENERACJA ZUŻYTEJ MASY 202

10.1. Analiza stanu w zakresie regeneracji mas 202
10.1.1. Rodzaje mas stosowanych w odlewniach 202
10.1.2. Zużycie piasku świeżego w odlewniach 202
10.1.3. Koszty zakupu świeżego piasku 202
10.1.4. Podstawowe urządzenia technologiczne do sporządzania i przerobu mas 202
10.1.5. Ilość i rodzaj generowanych odpadów mas formierskich i rdzeniowych 204
10.1.6. Rodzaje i ilość masy zużytej kierowanej na wysypisko 204

10.1.7. Selekcja mas zużytych (sposoby oddzielania i usuwania z obiegu mas zużytych) 205
10. 2. Metody odzysku składników z mas zużytych 205
10.2.1. Rodzaje regeneracji i typy stosowanych instalacji regeneracyjnych 205
10.2.2. Obszary zastosowania systemów regeneracji 207
10.2.3. Typy aktualnie stosowanych w kraju urządzeń do odzysku i regeneracji osnowy z mas zużytych 208
10.3. Zalecane zakresy stosowania regeneratu jako zamiennika świeżego piasku 209
10.4. Powtórne wykorzystanie mas zużytych lub ich komponentów. 210
10.5. Wysokość opłat za korzystanie z wysypiska 210
10.6. Koncepcja zmniejszenia ilości odpadów 211

11. ODPADY STAŁE I MOŻLIWOŚCI ICH ZAGOSPODAROWANIA 213

11.1. Analiza stanu istniejącego i uwarunkowania prawne 213
11.2.Możliwości recyklingu niektórych odpadow odlewniczych 214
11.2.1. Ponowne użycie nieutwardzonej masy w odlewni 214
11.2.2. Ponowne użycie pyłów z obiegu mas do formowania na wilgotno 214
11.2.3. Wychwytywanie i recykling koksiku 215
11.2.4. Zawracanie pyłów żeliwiakowych do żeliwiaka 215
11.2.5. Recykling pyłów i szlamów z odpylania elektrycznego pieca łukowego 217
11.2.6. Ponowne wykorzystanie odpadów wymurówek ceramicznych kadzi i pieców 218
11.2.7. Ponowne wykorzystanie odpadów elektrod grafitowych 218
11.2.8. Recykling zgarów i żużli z odlewni aluminium i magnezu poza odlewnią 218
11.3. Możliwości gospodarczego wykorzystania odpadów odlewniczych poza odlewnią 218
11.3.1. Wstępna obróbka odpadów 218
11.3.2. Zasady kwalifikacji odpadów do grupy innej niż niebezpieczne 221
11.3.3. Wykorzystanie masy wybitej oraz pylu z procesu regeneracji 222
11.3.4. Wykorzystanie żuzli i zbędnych materiałów ceramicznych wymurówek 224

12. EMISJA HAŁASU DO ŚRODOWISKA 225

12.1. Analiza stanu istniejącego w zakresie emisji hałasu 225
12.2. Techniki zapobiegające generowaniu i ograniczające emisję hałasu 226
12.3. Minimalne wymagania dotyczące monitoringu emisji hałasu 228

1. WPROWADZENIE

Niniejszy Przewodnik został opracowany w oparciu o rozesłaną do 50 odlewni ankietę (niestety otrzymano odpowiedzi tylko z 20 odlewni), Reference Document on Best Available Techniques in the Smitheries and Foundries Industry (July 2004) oraz wiedzę i doświadczenie Autorów. Autorami przewodnika są pracownicy odlewni, instytutów naukowych oraz wyższych uczelni związani swoją działalnością z przemysłem odlewniczym. Z uwagi na bardzo krótki czas jakim Autorzy dysponowali na opracowanie Przewodnika, jesteśmy świadomi pewnych braków i niedociągnięć tego opracowania. Autorzy wyszli z założenia, że w chwili obecnej, kiedy ma miejsce opracowywanie i składanie już wniosków o udzielenie pozwolenia zintegrowanego odlewniom, a nawet zostały już wydane pierwsze pozwolenia, Przewodnik nawet w takiej formie może być pomocny odlewniom przy przygotowywaniu wniosków oraz władzom administracyjnym przy rozpatrywaniu tych wniosków i udzielaniu pozwoleń zintegrowanych. Mamy nadzieję, że w przyszłości dzięki poparciu Ministerstwa Środowiska i wsparciu finansowym Narodowego Funduszu Ochrony Środowiska będzie możliwe dopracowanie tego Przewodnika, wykorzystując cenne uwagi przyszłych użytkowników.

Proces wykonywania odlewów składa się z szeregu operacji, z których każda przebiega z określoną wydajnością. O wydajności całego procesu, a więc o ilości możliwych do wytworzenia dobrych odlewów decyduje etap najwolniejszy. Na proces wykonywania odlewów składają się następujące operacje: sporządzanie masy formierskiej i rdzeniowej, wykonywanie form i rdzeni, wytapianie ciekłego metalu, zalewanie form ciekłym metalem, chłodzenie i wybijanie form oraz oczyszczanie i wykańczanie odlewów. W praktyce odlewniczej okazuje się, że najwolniejszym etapem, czyli tzw. wąskim gardłem w produkcji odlewów są zazwyczaj operacje: wykonywania form i rdzeni oraz wybijania form i oczyszczanie odlewów. Proces wytapiania ciekłego metalu, czyli ta operacja, która decyduje o konieczności starania się przez odlewnię o uzyskanie pozwolenia zintegrowanego może być prowadzona zazwyczaj z dużą wydajnością. Jednak możliwa do wytopienia ilość ciekłego metalu nie zawsze może zostać przetworzona na gotowe odlewy, ze względu na podane wyżej ograniczenia. Stąd kryterium potencjalnych możliwości wytopienia ciekłego metalu, liczone jako iloczyn teoretycznej wydajności godzinowej pieca i jego czasu pracy, nie może decydować o tym, czy dana odlewnia jest zobligowana do posiadania pozwolenia zintegrowanego, czy też nie. Ponadto piece topialne stosowane w odlewnictwie nie mogą pracować w sposób ciągły przez dłuższy czas. Piece elektryczne indukcyjne, łukowe, piece płomienne obrotowe, piece tyglowe są piecami o pracy okresowej, wymagającymi dodatkowo czasu na tzw. naprawy pospustowe oraz remonty. Co prawda piece żeliwiaki mogą pracować przez kilka lub kilkanaście godzin w sposób ciągły, ale po tym czasie wymagają przerwy na wykonanie napraw i uzupełnienie wymurówki. To samo dotyczy tzw. żeliwiaków kampanijnych, pracujących nieprzerwanie przez kilka tygodni, ale po tym czasie pracy wymagających dłuższej przerwy. Dlatego też kryterium decydującym, czy dana odlewna wymaga pozwolenia zintegrowanego, czy też nie powinna być ilość ciekłego metalu faktycznie wytopiona w ciągu doby liczona jako ilość metalu wytopiona w okresie roku podzielona przez ilość dni wytopu w roku. Równocześnie odlewnie powinny uwzględnić możliwość zwiększenia produkcji w przyszłości, co może skutkować koniecznością posiadania pozwolenia zintegrowanego.

Informacje przedstawione w niniejszym Przewodniku są ogólnymi wskazówkami dotyczącymi technik i technologii, związanych z ich stosowaniem poziomów emisji oraz zużycia materiałów i energii w procesie produkcji odlewów ze stopów żelaza i metali nieżelaznych. Informacje te winny być brane pod uwagę podczas przygotowywania wniosku o pozwolenie zintegrowane, a także w procesie ustalania wielkości dopuszczalnych emisji podanych w tym pozwoleniu. W tekście Przewodnika użyto skrótu NDT (Najlepsze Dostępne Techniki), jako odpowiednik angielskiego skrótu BAT (Best Available Techniques).

W przewodniku omówiono poszczególne operacje składające się na proces wykonywania odlewów oraz podano propozycje limitów emisji do środowiska poszczególnych czynników i minimalne wymagania dotyczące monitoringu. Propozycje granicznych wielkości emisji dla wszystkich instalacji objętych pozwoleniem zintegrowanym w odlewni podzielono na dwie grupy:

I grupa instalacji: dotyczy instalacji oddanych do użytkowania przed **31.10.2000 r.** – dla których to instalacji proponowane wartości są wyższe niż wynika to z zaleceń NDT;

II grupa instalacji: dotyczy instalacji nowych oddanych do użytkowania po 3**0.10.2000 r.** – dla których to instalacji proponowane wartości są zgodne z zaleceniami NDT;

Przy czym w przypadku istniejących instalacji do wytapiania ciekłego metalu (piece), czyli tych instalacji, których wydajność decyduje o konieczności uzyskiwania pozwolenia zintegrowanego przez odlewnie, zaproponowano czas dochodzenia do granicznych wielkości emisji na **30.10.2007 roku.**

Podkreślić jednak należy, że nie można ich traktować jako standardów emisjnych. Treść pozwolenia zintegrowanego, a w szczególności wielkość dopuszczalnych emisji, wina być ustalana z uwzględnieniem lokalnych uwarunkowań: technicznej charakterystyki rozpatrywanej instalacji, jej geograficznego położenia i miejscowych warunków środowiskowych. W przypadku instalacji istniejących należy brać ponadto pod uwagę możliwości techniczne i ekonomiczne ich modernizacji oraz czas potrzebny na wdrożenie nowych rozwiązań.

2. MAGAZYNOWANIE, TRANSPORT I PRZEŁADUNEK MATERIAŁÓW

2.1 Analiza stosowanych technik i technologii oraz porównanie z poziomem światowym

Podstawowe rodzaje dostarczanych do odlewni materiałów i surowców można podzielić na następujące grupy:

- materiały wsadowe do wytapiania metalu - surówka, złomy, gąski, dodatki stopowe, koks, miał węglowy, ruda, nawęglacze, wapno, fluoryt, boksyt, modyfikatory i sferoidyzatory,
- materiały formierskie i pomocnicze – piaski odlewnicze (kwarcowy, chromitowy, cyrkonowy, oliwinowy, otaczany), bentonit lub mieszanki bentonitowe, spoiwa i utwardzacze do mas formierskich i rdzeniowych,dodatki zawierające węgiel, powłoki ochronne na formy i rdzenie, zasypki ceramiczne, perlit,
- materiały ogniotrwałe – wyłożenia ceramiczne do kadzi i pieców do topienia, materiały ceramiczne włókniste do pieców do obróbki cieplnej, kształtki układów wlewowo-zasilających, itp.,
- materiały lakiernicze – farby, lakiery, rozpuszczalniki, szpachlówki,
- materiały modelarskie – drewno, sklejka, kleje, żywice, styropian,
- paliwa, oleje i chłodziwa – oleje napędowe, opałowe, smarowe, przekładniowe i hydrauliczne, chłodziwa,
- gazy techniczne – tlen, dwutlenek węgla, argon, azot.

Materiały do produkcji są dostarczane do odlewni głównie transportem samochodowym. Transportem kolejowym dostarcza się przeważnie materiały zużywane w dużych ilościach, w przypadku okresowego zwiększonego zapotrzebowania odlewni na materiały (surówka, złom, piaski odlewnicze, koks, kamień wapienny). Cysternami samochodowymi dostarczane są składniki do mas - głównie piaski otaczane, szkło wodne i flodur, mieszanki bentonitowe, a także gazy techniczne (tlen, CO_2) oraz paliwa. W przypadku wykorzystywania przez odlewnię piasku rzecznego może on być dostarczany transportem rzecznym.

Przeładunek dostarczonych materiałów ze środków transportu do miejsc magazynowania odbywa się przy wykorzystaniu różnych środków transportu wewnętrznego. Surówkę i złomy rozładowuje się przy wykorzystaniu suwnic z elektromagnesem lub są one dostarczane samochodami z przyczepami samorozładowczymi. Przeładunek piasków, koksu oraz innych materiałów dostarczanych luzem odbywa się przy użyciu czerpaków suwnicowych lub dźwigowych oraz przy wykorzystaniu pojazdów samowyładowczych. Materiały w kontenerach, w pojemnikach lub w workach (big-bagach) umieszczonych na paletach drewnianych są rozładowywane przy użyciu wózków widłowych podnośnikowych. W przypadku dostaw cysterną przeładunek materiałów odbywa się przy użyciu sprężarek cystern samochodowych bezpośrednio transportem pneumatycznym do zbiorników magazynowych. Podobnie rozłzadowuje sie również piasek z wagonów kolejowych, gdzie dodatkowo stosuje się taśmociągi.

Magazynowanie podstawowych materiałów stosowanych w odlewniach odbywa się głównie z wykorzystaniem pól składowania zlokalizowanych wewnątrz zamkniętych (zadaszonych) hal produkcyjnych. Materiały wsadowe zużywane w dużych ilościach (złom, surówka, koks, kamień wapienny, ruda, miał węglowy) składuje się w betonowych lub betonowo-drewnianych zasobnikach (bunkrach) zlokalizowanych w obrębie oddziałów wytapialni. Pozostałe dodatki stopowe, takie jak: nawęglacze, modyfikatory i zaprawy do sferoidyzacji magazynuje się w opakowaniach handlowych (metalowych beczkach, workach typu big-bag) w suchych pomieszczeniach. Piaski formierskie składowane są na ogół w betonowych bunkrach, a po wysuszeniu w metalowych lub betonowych silosach (zbiornikach), zlokalizowanych w obrębie stacji przerobu mas lub stanowisk agregatów o pracy ciągłej (mieszarkonasypywarek). Koks i miał węglowy oraz kamień wapienny przechowuje się także w zbiornikach z podciśnieniowym dozowaniem tych składników do żeliwiaka, podobnie jak gotowe

mieszanki bentonitowe podawane są pneumatycznie do urządzeń do sporządzania mas. Ciekłe dodatki do mas oraz powłoki ochronne na formy i rdzenie przechowuje się w oryginalnych szczelnie zamkniętych opakowaniach transportowych (pojemnikach z metalu i tworzywa sztucznego lub kontenerach wielokrotnego użycia), w wydzielonych miejscach hal produkcyjnych. Niekiedy materiały do sporządzania powłok ochronnych na formy i rdzenie magazynowane są w specjalnych zbiornikach z mieszalnikami mechanicznymi, pozwalającymi na odpowiednie przygotowanie powłoki oraz jej natrysk pod ciśnieniem. Materiały ogniotrwałe oraz pozostałe materiały dostarczane na paletach są magazynowane na podręcznych suchych polach odkładczych. W większości przypadków materiały lakiernicze przechowuje się w specjalnie do tego celu przystosowanych zamkniętych magazynach, wyposażonych w instalację przeciwwybuchową, wentylację oraz sprzęt przeciwpożarowy. Paliwa, oleje i chłodziwa są składowane przeważnie w magazynach o utwardzonym betonowym podłożu w oryginalnych opakowaniach umieszczonych na specjalnych wannach wychwytowych zabezpieczających przed ewentualnym wyciekiem.

Gazy techniczne dostarczane cysterną są przepompowywane bezpośrednio do zbiorników na ciekły gaz umieszczonych na zewnątrz hal produkcyjnych odlewni.

W niektórych odlewniach zewnętrzne powierzchnie składowania wykorzystuje się do magazynowania takich materiałów, jak: złom, mokry piasek formierski, koks, miał węglowy, kamień wapienny czy masa szamotowa. Są to głównie pola odkładcze o betonowym podłożu, niekiedy częściowo lub całkowicie zadaszone. W przypadku konieczności magazynowania dużej ilości paliw płynnych (olej opałowy, olej napędowy), substancje te przechowuje się w podziemnych zbiornikach zewnętrznych.

Wewnętrzna dystrybucja materiałów w odlewni odbywa się przy wykorzystaniu zróżnicowanych technik transportowych. Podstawowymi urządzeniami stosowanymi do transportu wewnętrznego są suwnice transportowe z silnikami sterowanymi układami oporowymi lub falownikami. Są to głównie suwnice kabinowe, ale często wykorzystuje się także suwnice sterowane drogą radiową. Oprócz suwnic pomostowych, bramowych i podwieszanych wykorzystywane są w odlewniach różnego typu wciągniki i żurawie. Drugą grupę wewnętrznych środków transportowych w odlewniach stanowią przenośniki: taśmowe, ślimakowe, kubełkowe, zgrzebłowe oraz członowo-płytowe, samotoki rolkowe, przesypy, wyciągi załadowcze do żeliwiaków, mieszarek i innych urządzeń technologicznych, dozowniki (podajniki) objętościowe, kasetowe, talerzowe, taśmowe i wibracyjne. W przypadku transportu piasku otaczanego, regeneratu, mieszanek bentonitowych oraz sypkich dodatków formierskich do mas wykorzystuje się instalacje do transportu pneumatycznego, głównie wysokociśnieniowego. Oddzielną grupę stanowią środki wewnętrznego transportu kołowego, z których najczęściej stosowanymi są: ciągniki, wózki widłowe spalinowe (olej napędowy, gaz, benzyna) oraz elektryczne akumulatorowe, wózki paletowe i podnośnikowe (ręczne i elektryczne), a także wózki międzynawowe szynowe (przeciągarki). Transport ciekłego metalu odbywa się głównie w ręcznych i podwieszanych kadziach odlewniczych (zatyczkowych i przechylnych). W przypadku, gdy metal transportowany jest na duże odległości (np. z jednej hali produkcyjnej do drugiej) lub dostarczany jest z zewnątrz, to odbywa się to przy wykorzystaniu platformy samochodowej lub transportu kolejowego w specjalnie do tego celu przystosowanych kadziach. Wewnętrzny transport kolejowy jest również używany do dystrybucji wewnętrznej materiałów zużywanych w dużych ilościach, głównie materiałów wsadowych do wytapiania i innych materiałów składowanych na zewnątrz hal produkcyjnych. Stosowane w odlewniach kadzie posiadają wyłożenia z kształtek ogniotrwałych, głównie magnezytowych, magnezytowo-chromitowych i kwarcytowych.

W coraz większym zakresie stosowane są także wyłożenia monolityczne z mas lub betonów wysokoogniotrwałych.

Wykorzystywane w polskich odlewniach techniki w zakresie magazynowania materiałów nie odbiegają w istotny sposób od rozwiązań światowych. Magazynowanie materiałów i surowców do produkcji odbywa się zarówno na zewnętrznych składowiskach, jak i wewnątrz zamkniętych hal produkcyjnych. W odlewniach europejskich tendencją jest ograniczanie ilości magazynowanych materiałów (dostawy na określony czas) oraz dążenie do stosowania ujednoliconych technologii produkcji pozwalających na ograniczenie asortymentu magazynowanych dostaw.

W większym stopniu, niż w odlewniach krajowych, do operacji przeładunkowych oraz do dystrybucji materiałów wykorzystuje się transport pneumatyczny wysokociśnieniowy, szczególnie w zakresie transportu piasku, mieszanek bentonitowych, regeneratu oraz zużytej masy. Duża ilość suwnic i przenośników w polskim przemyśle odlewniczym została wyprodukowana w latach 70–tych. W porównaniu do suwnic stosowanych w odlewniach europejskich charakteryzują się one masywną, ciężką konstrukcją, sztywnymi mocowaniami szyn podtorzy i przestarzałymi układami napędowymi wyposażonymi w opory rozruchowe. Stosowane w świecie rozwiązania polegają na zastosowaniu elastycznego mocowania szyn jezdnych suwnic oraz układów napędowych małej mocy sterowanych radiem. Rozwiązania te pozwalają na znaczne ograniczenie drgań dynamicznych i hałasu, zwiększenie żywotności kół jezdnych i innych mechanizmów suwnic oraz zmniejszenie strat cieplnych i ilości zużywanej energii.

Znaczne obniżenie wskaźników zużycia materiałów ogniotrwałych kadzi do dystrybucji ciekłego metalu osiągnięto w odlewniach europejskich dzięki zastosowaniu na szeroką skalę wyłożeń monolitycznych z betonów i mas niskocementowych, dodatkowych izolacji cieplnych ścian kadzi oraz ochronnych pokryć ceramicznych nanoszonych na powierzchnię wyłożenia ogniotrwałego. Dzięki zastosowaniu tych technik zmniejszeniu uległa ilość powstających odpadów zużytych materiałów ogniotrwałych poprzez wydłużenie żywotności oraz możliwość regeneracji monolitycznych wyłożeń kadzi odlewniczych.

2.2. Identyfikacja istotnych aspektów środowiskowych

Proces magazynowania, transportu i przeładunku materiałów w odlewni może stanowić źródło negatywnych oddziaływań na środowisko. Poniżej zestawiono znaczące aspekty środowiskowe, będące wynikiem realizacji wymienionych procesów, mające największy wpływ na potencjalne zanieczyszczenie komponentów środowiska naturalnego (tabela 2.1.)

Tabela 2.1. Znaczące aspekty środowiskowe związane z realizacją procesów magazynowania, przeładunku i dystrybucji materiałów

L.p.	Proces	Aspekt środowiskowy
1.	Transport samochodowy i kolejowy materiałów i surowców do odlewni	▪ niekontrolowana emisja gazów (spalin) do powietrza ▪ możliwość wycieku oleju (napędowego, silnikowego) lub paliwa ▪ potencjalny niekontrolowany wyciek materiałów płynnych w przypadku utraty szczelności pojemników podczas transportu ▪ powstawanie odpadów zużytych podzespołów i materiałów eksploatacyjnych środków transportu (opony, filtry oleju, płyny hamulcowe, itp.)
		▪ potencjalny niekontrolowany wyciek surowców i materiałów płynnych wskutek rozszczelnienia pojemników pod-

L.p.	Proces	Aspekt środowiskowy
2.	Magazynowanie materiałów i surowców odlewniczych	czas składowania ▪ wymywanie substancji do wód gruntowych w wyniku działania czynników atmosferycznych (zewnętrzne magazyny) ▪ zanieczyszczenie powierzchni gleby materiałami sypkimi lub substancjami zawartymi w złomie (zewnętrzne magazyny) ▪ potencjalny wyciek substancji ciekłych magazynowanych w podziemnych zbiornikach ▪ powstawanie przeterminowanych materiałów oraz nie nadających się do użycia na skutek ich nieprawidłowego magazynowania ▪ potencjalna możliwość wybuchu lub pożaru spowodowanego niewłaściwymi warunkami magazynowania substancji łatwopalnych i/lub wybuchowych
3.	Przeładunek i obieg wewnętrzny materiałów i surowców	▪ pobór energii elektrycznej urządzeń do transportu wewnętrznego ▪ niekontrolowany wyciek olejów przekładniowych z reduktorów urządzeń transportowych ▪ potencjalny wyciek materiałów płynnych w trakcie przeładunku lub dystrybucji wewnętrznej ▪ emisja zanieczyszczeń do powietrza podczas transportu wewnętrznego materiałów i surowców ▪ emisja zanieczyszczeń do powietrza podczas przeładunku materiałów ze środków transportu do magazynu ▪ emisja zanieczyszczeń gazowych do powietrza podczas transportu ciekłego metalu w kadziach odlewniczych ▪ potencjalny wyciek ciekłego metalu z kadzi podczas transportu ▪ emisja hałasu do środowiska podczas przeładunku materiałów realizowanego na zewnątrz hal produkcyjnych ▪ powstawanie zużytych opakowań do materiałach do produkcji ▪ powstawanie odpadów metalicznych (złomu obiegowego) ▪ powstawanie zużytych materiałów ogniotrwałych z kadzi do transportu ciekłego metalu

2.3. Charakterystyka emisji do poszczególnych komponentów środowiska

Potencjalne oddziaływania na środowisko związane z procesami transportu, magazynowania, przeładunku i obiegu materiałów oraz surowców można podzielić na następujące grupy:

- emisja substancji do powietrza
- zanieczyszczenie gleby i wód gruntowych
- emisja hałasu
- wytwarzanie odpadów stałych i ciekłych

Źródło emisji zanieczyszczeń pyłowych stanowią głównie procesy przeładunku materiałów wsadowych (szczególnie złomu i piasku odlewniczego), a także operacje transportu wewnętrznego materiałów pylistych przy wykorzystaniu ciągów transportowych, przesypów

oraz podajników(por. tabela 7.1.). Emitowanymi pyłami są głównie pyły metaliczne, pyły krzemionkowe oraz pył węglowy, wprowadzane do powietrza głównie w sposób niezorganizowany i małym stopniu kontrolowany.

Emisja gazowa (głównie SO_2, NO_2) jest związana przede wszystkim z procesem spalania paliw przez środki transportu zewnętrznego oraz wewnętrznego, a także powstaje ona w wyniku transportu ciekłego metalu w kadziach odlewniczych z oddziałów wytapiania do stanowisk zalewania form.

Emisja lotnych związków organicznych do powietrza może być spowodowana głównie wskutek wybuchu (pożaru) lub niekontrolowanego wycieku materiałów podczas transportu, magazynowania, przeładunku lub dystrybucji spoiw i utwardzaczy do mas, powłok ochronnych na formy i rdzenie zawierających alkohol izopropylowy lub materiałów lakierniczych na bazie rozpuszczalników organicznych. Niekontrolowany wyciek spoiw do mas, powłok alkoholowych czy materiałów lakierniczych może dodatkowo spowodować zanieczyszczenie gleby i wód gruntowych.

Szczególnie niebezpieczne dla środowiska źródło lokalnego skażenia gruntu i wód gruntowych stanowią przypadki niekontrolowanego wycieku substancji ropopochodnych (paliw płynnych, olejów smarowych, hydraulicznych i transformatorowych, chłodziw) z nieszczelnych zbiorników podziemnych, uszkodzonych opakowań handlowych czy urządzeń transportu wewnętrznego (reduktory suwnic i przenośników, wózki i ciągniki spalinowe). Zanieczyszczenie gleby i wód gruntowych substancjami niebezpiecznymi (związki chloru, węglowodory aromatyczne, PCB) może być także wynikiem wymywania się zanieczyszczeń zawartych w złomie magazynowanym na odkrytych polach składowania (złom zanieczyszczony olejami i smarami, powłokami lakierniczymi, itp.) (tabela 2.2.).

Tabela 2.2 Możliwe zanieczyszczenia zawarte w wybranych rodzajach złomu

Rodzaj złomu	Możliwe zanieczyszczenia
Wióry i opiłki z obróbki skrawaniem	Oleje maszynowe, emulsje chłodzące
Złom z wytłaczania i wykrawania	Oleje smarujące
Zużyte części maszyn	Oleje hydrauliczne i przekładniowe
Złom z kuźni i przeróbki plastycznej na zimno	Fosforany, grafit, oleje

W przypadku wykonywania operacji przeładunkowych na zewnątrz hal produkcyjnych odlewni lub przy pracy zewnętrznych ciągów transportowych materiałów i surowców, wymienione procesy mogą stanowić źródło emisji hałasu do środowiska (aspekt ten został opisany w Rozdziale 2.5).

Charakterystyka odpadów powstających w wyniku realizacji procesu transportu, magazynowania, przeładunku i dystrybucji materiałów oraz sposób ich zagospodarowania został opisany w Rozdziale 2.4.

2.4. Odpady i ich zagospodarowanie

Podstawowe grupy odpadów powstających w odlewniach w procesach magazynowania, przeładunku i transportu materiałów i surowców to opakowania z drewna, (w tym uszkodzone palety), opakowania z tworzyw sztucznych, opakowania metalowe np. pojemniki po farbach, opakowania ze szkła, zużyte opony; taśmy gumowe z przenośników taśmowych oraz odpadowe oleje i smary (tabela 2.3). Niekiedy są to także przeterminowane materiały, które nie zostały użyte do produkcji w odpowiednim czasie. Odpady te należy gromadzić w sposób selektywny, zapobiegający wymieszaniu się poszczególnych odpadów oraz zanieczyszczeniu

środowiska w wyniku wymywania się z nich substancji niebezpiecznych i najczęściej są gromadzone z innymi identycznymi odpadami powstającymi w innych miejscach w odlewni (przykład odpady olejów i smarów, które powstają przy eksploatacji wszystkich urządzeń). Zużyte oleje przechowywane są przeważnie w specjalnych zbiornikach na olej przepracowany, umożliwiających bezpośrednie przepompowanie tych substancji do cysterny samochodowej. Miejsca magazynowania przepracowanych olejów z reguły posiadają betonowe podłoże oraz wanny wychwytowe zabezpieczające przed rozlaniem się tych substancji. Opakowania oraz inne odpady zanieczyszczone substancjami niebezpiecznymi (środkami chemicznymi, ropopochodnymi i lakierniczymi) są magazynowane w wydzielonych zamkniętych pomieszczeniach, głównie w kontenerach metalowych.

Miejsca gromadzenia odpadów muszą być oznakowane nazwą i kodem odpadu, a w przypadku odpadów niebezpiecznych, również odpowiednim znakiem ostrzegawczym, zgodnym z obowiązującymi przepisami i są one zazwyczaj magazynowane w wydzielonych zamkniętych pomieszczeniach.

Należy dążyć do maksymalnego ograniczania ilości powstających odpadów opakowaniowych. Najlepszym sposobem jest tu ma recykling zużytych opakowań poprzez stosowanie opakowań zwrotnych. Praktyka taka jest prowadzona praktycznie we wszystkich odlewniach. Zasady postępowania z odpadami po ich zgromadzeniu w odlewni są opisane szerzej w Rozdziale 11.

Tabela 2.3 Podstawowe rodzaje odpadów powstających w odlewni w procesach magazynowania, przeładunku i transportu materiałów

Lp.	Rodzaj odpadu	Kod odpadu*	Źródło powstawania	Podstawowe sposoby zagospodarowania
ODPADY NIEBEZPIECZNE				
1.	Odpadowe środki wiążące do mas, drewna, styropianu	10 09 13	Proces magazynowania materiałów o krótkim terminie przydatności do użycia	Przekazywane do przerobu do producenta lub do unieszkodliwienia
2.	Opakowania zawierające pozostałości substancji niebezpiecznych	15 01 10	Opakowania handlowe po zużytych materiałach niebezpiecznych (ropopochodnych, lakierniczych, dodatkach do mas)	Opakowania zwrotne wielokrotnego użycia lub przekazywane do unieszkodliwienia
3.	Oleje smarowe, hydrauliczne i przekładniowe	13 02 05 13 02 08 13 01 10	Obsługa i remonty urządzeń transportowych (reduktory suwnic, przenośników) i sprzętu jezdnego	Przekazywane do wykorzystania gospodarczego
4.	Baterie i akumulatory ołowiowe	16 06 01		Przekazywane do utylizacji
5.	Filtry olejowe	16 01 07		Przekazywane do unieszkodliwienia
6.	Sorbenty, materiały filtracyjne, czyściwo, tkaniny do wycierania zanieczyszczone substancjami niebezpiecznymi	15 02 02	Konserwacja urządzeń transportowych	Przekazywane do unieszkodliwienia
ODPADY INNE NIŻ NIEBEZPIECZNE				

Lp.	Rodzaj odpadu	Kod odpadu*	Źródło powstawania	Podstawowe sposoby zagospodarowania
7.	Opakowania z drewna (w tym palety)	15 01 03	Typowe odpady opakowaniowe nie zanieczyszczone substancjami niebezpiecznymi	Przekazywane osobom fizycznym na ich własne potrzeby
8.	Opakowania z tworzyw sztucznych	15 01 02		Przekazywane do wykorzystania gospodarczego
9.	Opakowania z metali	15 01 04		Odpady podlegające odzyskowi (złom własny) lub przekazywane na złom
10.	Opakowania ze szkła	15 01 07		Przekazywane do wykorzystania gospodarczego lub na składowisko
11.	Materiały ogniotrwałe	16 11 04	Zużyte okładziny kadzi do transportu ciekłego metalu	Przekazywane do wykorzystania gospodarczego
12.	Elementy usunięte z zużytych urządzeń	16 02 16	Części zamienne urządzeń transportowych	Elementy metalowe – podlegające odzyskowi (złom obiegowy), pozostałe – przekazywane do wykorzystania
13.	Inne nie wymienione odpady (pyły krzemionkowe, pyły metaliczne)	10 09 99	Pyły odseparowane w urządzeniach odpylających ciągi transportowe, stanowiska przeładunku materiałów	Pyły metaliczne - podlegające odzyskowi (złom obiegowy). Pozostałe pyły – przekazywane do wykorzystania gospodarczego
14.	Zużyte opony	16 01 03	Wymiana opon w środkach transportowych	Przekazywane do wykorzystania gospodarczego

*kod odpadu zgodnie z rozporządzeniem MŚ z dnia 27.09.2001 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz. U. Nr 112, poz. 1206 z dnia 8.10.2001 r.)

Odpady inne niż niebezpieczne do czasu ich przekazania odbiorcom są magazynowane głównie wewnątrz hal produkcyjnych w metalowych lub drewnianych kontenerach.

Większość odpadów pochodzących z procesów magazynowania, przeładunku i dystrybucji wewnętrznej jest przekazywana do wykorzystania gospodarczego lub do unieszkodliwienia przez podmioty posiadające stosowne zezwolenia na prowadzenie takiej działalności. Wywóz odpadów na składowiska zewnętrzne jest ograniczony do niezbędnego minimum i dokonywany jest on głównie ze względu na okresowy brak odbiorcy lub wymieszanie (zanieczyszczenie) odpadów uniemożliwiające wykorzystanie gospodarcze odpadu. Znaczny wpływ na ograniczenie ilości powstających odpadów opakowaniowych ma recykling zużytych opakowań po materiałach do produkcji. Proces ten jest prowadzony praktycznie we wszystkich odlewniach. Transport oraz przeładunek odpadów odbywa się z użyciem tych samych technik i środków, jakie wykorzystywane są do dostawy i wewnętrznej dystrybucji materiałów do produkcji.

2.5 Emisja hałasu

Źródłem emisji hałasu do środowiska mogą być przede wszystkim operacje transportu i przeładunku materiałów, surowców i odpadów poprodukcyjnych prowadzone na zewnątrz hal produkcyjnych odlewni. Hałas jest emitowany do środowiska głównie w wyniku takich czynności, jak (por. tabela 12.1.):

- wewnętrzny transport kolejowy materiałów i surowców,
- praca suwnic, żurawi samojezdnych i ładowarek,
- eksploatacja przenośników, urządzeń do rozładunku i załadunku, agregatów sprężarkowych,
- transport i przeładunek materiałów na zewnątrz hal produkcyjnych przy użyciu wózków podnośnikowych,
- wstępny przerób złomu (cięcie) prowadzony na terenie zewnętrznych magazynów przy użyciu palników acetylenowo-tlenowymi
- praca zewnętrznych urządzeń odciągowo-odpylających i wentylacyjnych.

Ograniczanie oddziaływania akustycznego odlewni jest istotnym zadaniem, szczególnie w przypadku lokalizacji zakładu w bezpośredniej bliskości obszarów o charakterze uzdrowiskowym, rekreacyjno-wypoczynkowym czy terenów zabudowy mieszkalnej. Obowiązujące aktualnie wartości progowe poziomu hałasu w środowisku determinują konieczność podjęcia przez odlewnie kompleksowych działań w celu ograniczenia do minimum operacji technicznych wykonywanych na zewnątrz odlewni, modernizacji przestarzałego wyposażenia transportowego lub izolacji akustycznej urządzeń i instalacji emitujących hałas przekraczający dopuszczalne wartości.

Szczególnie istotny, z punktu widzenia ochrony środowiska maturalnego (a także środowiska pracy) przed hałasem, jest proces modernizacji i zakupu urządzeń transportowych używanych na zewnątrz pomieszczeń. Zakup nowych, a zwłaszcza używanych maszyn i urządzeń powinien uwzględniać przeprowadzenie analizy ich parametrów technicznych pozwalających na spełnienie zasadniczych wymagań w zakresie emisji hałasu do środowiska, wynikających z aktualnie obowiązujących przepisów o systemie oceny zgodności maszyn i urządzeń (Dz. U. nr 138, poz. 1316 z 2003 r.).

Wymienione przepisy określają zarówno wykaz urządzeń podlegających ograniczeniu emisji hałasu (w tym urządzeń do transportu i przeładunku), jak i określają zasadnicze wymagania dla urządzeń przeznaczonych do pracy na zewnątrz pomieszczeń w zakresie emisji hałasu do środowiska.

2.6 Charakterystyka materiałochłonności i energochłonności stosowanych technologii

Wybór technik w zakresie magazynowania, przeładunku i transportu wewnętrznego materiałów i surowców ma istotny wpływ na racjonalne wykorzystanie materiałów do produkcji oraz zużycie energii i paliw przez urządzenia i środki transportu.

Magazynowanie materiałów na zewnętrznych polach składowania wiąże się z koniecznością wielokrotnego przeładunku i transportu, skutkującego stratami energii i wydajności, a także nadmiernym zużyciem materiałów związanym z ich rozpylaniem lub wymywaniem. Ponadto należy rozważyć wpływ czynników atmosferycznych na właściwości złomu i innych materiałów składowanych na zewnątrz hal produkcyjnych, a w konsekwencji na energochłonność i jakość procesów wytapiania metalu, ilość i skład powstającego żużla odlewniczego oraz pyłów w gazach odlotowych, a także koszty zużycia gazu podczas suszenia piasku.

Urządzeniami mającymi istotny wpływ na pobór energii w procesie transportu wewnątrz odlewni są suwnice oraz ciągi transportowe. Większość polskich odlewni wykorzystuje urządzenia dźwignicowe starszej generacji wyposażone w silniki dużej mocy (do 120 kW), sterowane oporami rozruchowymi. Urządzenia te, ze względu na masywną i przestarzałą kon-

strukcję, znaczne straty cieplne i dużą awaryjność są nieefektywne pod względem zużycia energii elektrycznej i materiałów eksploatacyjnych. Znaczący udział w poborze mocy urządzeń transportowych mają także ciągi transportowe, szczególnie przenośniki taśmowe, ślimakowe i kubełkowe. Napęd tych urządzeń wymaga zastosowania silników o mocy do kilkudziesięciu kilowatów. Eksploatacja transporterów ma ponadto znaczący wpływ na poziom niezorganizowanej emisji pyłowej wewnątrz hal produkcyjnych i osadzanie się pyłów na innych urządzeniach transportowych, na przykład na suwnicach. Wymienione czynniki powodują konieczność stosowania energochłonnych urządzeń odciągowo-odpylających, a w przypadku braku odpowiednich urządzeń ochronnych zapylenie hal produkcyjnych objawia się zwiększoną awaryjnością urządzeń transportowych oraz większym (nieuzasadnionym) poborem mocy.

Istotne znaczenie dla racjonalnej gospodarki materiałowej w odlewni ma zużycie materiałów ogniotrwałych dla kadzi do transportu i odlewania ciekłego metalu. Odpowiednie zaprojektowanie wyłożenia kadzi odlewniczych i prawidłowego przebiegu procesu transportu oraz odlewania ciekłego metalu, jest jednym z najistotniejszych czynników decydujących o jakości produkcji, ale także o efektywności ekonomicznej procesów transportu i odlewania ciekłego metalu, uzależnionej głównie od wskaźników zużycia wyłożeń ogniotrwałych oraz oszczędności energii dzięki zastosowaniu wysokiej jakości materiałów pokryciowych.

2.7 Sposoby zapobiegania i/lub ograniczania oddziaływania na środowisko

Działania zapobiegające lub eliminujące negatywny wpływ procesów magazynowania, przeładunku i wewnętrznej dystrybucji materiałów na środowisko powinny uwzględniać głównie:

- ograniczanie ilości operacji przeładunkowych na zewnątrz i wewnątrz hal produkcyjnych poprzez działania techniczno-organizacyjne,
- ograniczanie emisji hałasu do środowiska poprzez stosowanie zamykanych bram rolowanych, kurtyn powietrznych, ekranów dźwiękochłonnych, izolacji ścian zewnętrznych, systemu podwójnego oszklenia okien lub poprzez ograniczanie czasu pracy lub wyłączanie w porze nocnej urządzeń emitujących nadmierny hałas,
- usytuowanie miejsc magazynowania materiałów wewnątrz zadaszonych hal produkcyjnych, w pobliżu urządzeń wykorzystujących te materiały,
- ograniczanie ilości stosowanych w odlewni linii transportowych opartych o przenośniki mechaniczne z napędem elektrycznym i zastosowanie w szerszym zakresie (w uzasadnionych technologicznie i ekonomicznie przypadkach) instalacji do transportu pneumatycznego materiałów i surowców, głównie sypkich materiałów pylistych,
- modernizację transportu wewnętrznego poprzez zabudowę nowoczesnych suwnic do transportu i przeładunku o lekkiej konstrukcji, wyposażonych w elektroniczne tyrystorowe układy sterujące silnikami małej mocy,
- wprowadzanie do kadzi transportujących ciekły metal w miejsce powszechnie używanych wyłożeń z kształtek ogniotrwałych nowoczesnych wyłożeń monolitycznych, wykonanych z mas i betonów niskocementowych; zastosowanie tych materiałów pozwala na obniżenie wskaźnika zużycia wyłożenia kadzi odlewniczych oraz umożliwia regenerację wyłożeń monolitycznych samowypełniającymi materiałami do napraw,
- stosowanie izolacji ścian kadzi do transportu metalu materiałami na bazie włókien ceramicznych oraz powłok ceramicznych w celu ograniczenie strat cieplnych i ilość zużywanych materiałów ogniotrwałych dla kadzi i pieców do wytapiania poprzez obniżenie temperatury spustu ciekłego metalu.

2.8 Propozycje granicznych wielkości emisji

Zdecydowana większość polskich odlewni nie posiada aktualnych wyników pomiarów emisji, których źródłem są procesy magazynowania, transportu i przeładunku materiałów. Analiza dostępnych danych nie pozwala na jednoznaczne określenie minimalnych standardów emisyjnych z tych procesów. Na podstawie analizy dostępnych informacji można wnioskować, że:

- emisja pyłowa, której źródłem są operacje przeładunku i dystrybucji materiałów jest w duże mierze niezorganizowana,
- stężenie pyłów emitowanych przez urządzenia do dystrybucji wewnętrznej materiałów mieści się w granicach od 2 – 650 mg/Nm^3,
- poziomu emitowanego hałasu do środowiska wyrażony równoważnym poziomem dźwięku A wynikający z pracy zewnętrznych urządzeń odlewni na granicy z zabudową mieszkaniową lub terenami rekreacyjno-wypoczynkowymi nie przekracza z reguły 60 dB w porze dziennej oraz 47 dB w porze nocnej.

2.9 Zestawienie minimalnych wymagań charakteryzujących NDT z przykładami rozwiązań, które pozwolą na spełnienie tych wymagań

Zapewnienie optymalnych warunków magazynowania, przeładunku i dystrybucji materiałów stosowanych w odlewniach pozwala zminimalizować ich zużycie, a także ograniczyć negatywny wpływ wymienionych operacji na poszczególne komponenty środowiska. Minimalne wymagania charakteryzujące najlepsze dostępne techniki (NDT) w zakresie magazynowania, przeładunku i dystrybucji wewnętrznej obejmują następujące elementy:

- **Magazynowanie poszczególnych materiałów dostarczanych do odlewni w sposób selektywny, zapobiegający zanieczyszczeniom i zagrożeniom podczas składowania**

W celu spełnienia tego wymogu należy prowadzić selektywne magazynowanie poszczególnych gatunków złomu dostarczanego do odlewni w oddzielnych boksach (zasobnikach). Organizacja dostaw złomu i system jego kontroli powinny zapewniać skuteczną segregację materiałów wsadowych do wytapiania.

Magazynowanie ciekłych spoiw i utwardzaczy do mas oraz substancji łatwopalnych (farby i lakiery, rozpuszczalniki, alkohol izopropylowy, gotowe powłoki alkoholowe na formy i rdzenie) powinno się odbywać w zamkniętych pomieszczeniach magazynowych, zabezpieczonych przed dostępem osób postronnych. Pomieszczenia te powinny być wyposażone w wentylację oraz wanny wychwytowe lub studzienki ściekowe zabezpieczające przed zanieczyszczeniem gleby lub wód gruntowych w przypadku wycieku substancji podczas magazynowania.

Jeżeli nie zapewnimy warunków do selektywnego magazynowania złomu to ograniczamy skuteczną kontrolę procesu wytapiania ciekłego metalu, czego skutkiem jest wydłużenie czasu trwania wytopu, a tym samym wzrost zużycia energii oraz wyłożenia ogniotrwałego pieców do wytapiania.

Przechowywanie spoiw, utwardzaczy i materiałów łatwopalnych w pomieszczeniach niezabezpieczonych, niewyposażonych w odpowiednią wentylację i utwardzone betonowe podłoże, może prowadzić do utraty przydatności do użycia lub obniżenia właściwości tych materiałów. Może także doprowadzić do pożaru, wybuchu lub zanieczyszczenia środowiska w wyniku niekontrolowanego wycieku.

- **Organizowanie miejsc magazynowania złomu w sposób nie powodujący obniżenia jego jakości oraz zanieczyszczenia gleby i wód gruntowych**

W przypadku składowania złomu na zewnątrz hal produkcyjnych powierzchnie magazynowe powinny posiadać betonowe podłoże oraz konstrukcje dachowe zabezpieczające przed negatywnym oddziaływaniem opadów atmosferycznych. Ponadto zewnętrzne pola magazynowania powinny być wyposażone w system kanałów odprowadzających wodę opadową i jej oczyszczanie.

Magazynowanie złomu na zewnętrznych niezadaszonych powierzchniach bezpośrednio na gruncie powoduje pogorszenie jakości złomu (rdza, zabrudzenie ziemią i pyłem) oraz prowadzi do wymywania przez opady atmosferyczne substancji niebezpiecznych do gleby i wód gruntowych.

- **Odpowiednie prowadzenie wewnętrznego recyklingu złomu**

Złom obiegowy, przed ponownym przetopem, powinien być pozbawiony pozostałości masy formiersko-rdzeniowej oraz innych zanieczyszczeń powierzchniowych (rdza, oleje, powłoki lakiernicze) poprzez jego piaskowanie lub śrutowanie. Obecność wymienionych zanieczyszczeń powoduje wzrost zużycia energii podczas wytapiania, negatywnie wpływa na trwałość wyłożenia ogniotrwałego pieców i kadzi do transportu metalu (szczególnie zasadowego) oraz powoduje emisję lotnych związków organicznych do powietrza.

W przypadku wytapiania staliwa zaleca się, aby udział własnego złomu obiegowego we wsadzie metalowym nie przekraczał 60%, głównie ze względu na wprowadzanie przez złom obiegowy do wsadu dużej ilości gazów (głównie azotu i wodoru) oraz wtrąceń niemetalicznych. W przypadku wytopów żeliwa sferoidalnego (szczególnie żeliwa ferrytycznego o niskiej zawartości Si) oraz żeliwa szarego należy bezwzględnie eliminować te partie złomu własnego, których dodatek powoduje wprowadzenie do wsadu ołowiu i bizmutu oraz innych zanieczyszczeń obniżających jakość żeliwa oraz jego zdolność do sferoidyzacji.

Zaleca się, aby odzysk magnezu ze złomu pochodzącego z układów wlewowo-zasilających prowadzony był przez odlewnię we własnym zakresie. Skutkuje to przede wszystkim obniżeniem kosztów własnych odlewni poprzez wyeliminowaniem transportu złomu do przerobu przez firmy zewnętrzne. Stosowane metody prowadzenia odzysku powinny być dostosowane do możliwości technicznych odlewni oraz wymagań w zakresie wymaganej jakości gąsek ze stopów magnezu.

Niewłaściwie prowadzony proces odzysku złomu powstającego w odlewni może generować nieuzasadnione koszty oraz negatywnie oddziaływać na środowisko. Niedopuszczalne jest stosownie złomu obiegowego zawierającego pozostałości masy formierskiej, zabrakowanych odlewów z nieusuniętymi rdzeniami żywicznymi i naniesionymi powłokami lakierniczymi, lub złomu zanieczyszczonego olejami i emulsjami z obróbki mechanicznej. Zbyt duży udział złomu obiegowego we wsadzie, wprowadzanie do wsadu złomu o nieznanym składzie chemicznym, a szczególnie zawierającego szkodliwe zanieczyszczenia (Pb, Bi, As, Sb), skutkuje kumulacją tych zanieczyszczeń poprzez wielokrotne przetapianie złomu obiegowego, co w konsekwencji prowadzi do ciągłego obniżania się jakości odlewów oraz nadmiernego zużycia materiałów i energii w procesie wytapiania ciekłego metalu.

- **Wykorzystanie opakowań wielokrotnego użycia lub opakowań wielkogabarytowych do transportu i magazynowania materiałów**

Dostawy materiałów do odlewni, szczególnie substancji chemicznych, powinny być realizowane w kontenerach (opakowaniach) wielokrotnego użycia. Umowy z dostawcami materiałów powinny uwzględniać recykling opakowań lub zobowiązywać dostawców do odbioru opakowań handlowych. W celu ograniczenia ilości opakowań po zużytych materiałach powinno się wykorzystywać pojemniki o możliwie dużych rozmiarach. Opisany system zapewnia wyeliminowanie lub istotne ograniczenie ilości powstających odpadów opakowaniowych oraz zmniejsza koszty ich unieszkodliwiania.

Odbiór zużytych opakowań przez dostawców powinien się odbywać bez konieczności ich uprzedniego czyszczenia z pozostałości zużytego materiału prowadzonego w odlewniach. Umowy w zakresie dostaw materiałów (głównie chemicznych spoiw i utwardzaczy do mas) powinny gwarantować, aby proces oczyszczania pojemników oraz unieszkodliwiania powstających w jego trakcie szlamów był realizowany u dostawcy.

- **Stosowanie właściwych praktyk w zakresie transportu ciekłego metalu oraz racjonalnego wykorzystania kadzi odlewniczych**

W celu zmniejszenia wskaźnika zużycia materiałów ogniotrwałych oraz ograniczenia strat cieplnych podczas transportu ciekłego metalu należy przestrzegać następujących zasad:

- wymurówka kadzi do transportu metalu powinna być czysta i dobrze wygrzana,
- wielkość kadzi do transportu i odlewania metalu powinna być dobrana w taki sposób, aby maksymalnie wykorzystać jej pojemność,
- kadzie do transportu metalu powinny być izolowane przy wykorzystaniu materiałów i pokryć ogniotrwałych wydłużających trwałość wymurówki i obniżających straty cieplne,
- należy ograniczać do minimum przelewanie metalu z jednej kadzi do drugiej oraz czas transportu ciekłego metalu w kadzi,
- podczas składowania puste kadzie powinny być przykryte pokrywą lub być ułożone dnem do góry, w celu zabezpieczenia przed zanieczyszczeniem lub uszkodzeniem wymurówki.

Optymalizacja procesu wygrzewania kadzi przed spustem powinna polegać na zastosowaniu wysokowydajnych palników tlenowych oraz kontroli temperatury wyłożenia kadzi przy użyciu pirometrów. Zastosowanie punkowych palników gazowych o małej wydajności cieplnej i wygrzewanie kadzi dnem do dołu bez przykrycia nie jest zalecane.

- **Magazynowanie zużytych materiałów w sposób pozwalający na ich ponowne wykorzystanie, recykling lub odbiór**

Wszystkie odpady przewidziane do odzysku w obrębie odlewni lub przez firmy zewnętrzne powinny być magazynowane w sposób zabezpieczający je przed utratą właściwości pozwalających na ich odbiór lub wykorzystanie przemysłowe. Lokalizacja miejsc magazynowania powinna zapewniać łatwość dojazdu środka transportu oraz ograniczać do minimum negatywny wpływ operacji przeładunku odpadów na środowisko. Odpady należy gromadzić w sposób selektywny, a czas magazynowania powinien być maksymalnie krótki i uwarunkowany względami technologiczno-ekonomicznymi związanymi z prowadzonym odzyskiem i transportem do odbiorcy.

2.10 Określenie minimalnych wymagań w zakresie monitoringu

Minimalne wymagania w zakresie monitorowania operacji magazynowania, przeładunku i wewnętrznej dystrybucji materiałów i surowców powinny obejmować, co najmniej:

- bieżącą kontrolę dostaw materiałów do produkcji w zakresie ich jakości i bezpieczeństwa dla środowiska (stan opakowań, zawartość metali ciężkich, ropopochodnych i lakierniczych oraz materiałów niebezpiecznych, w tym wybuchowych w złomie metalowym),
- bieżącą kontrolę miejsc magazynowania materiałów i odpadów (identyfikacja potencjalnych uszkodzeń i wycieków, kontrola terminu przydatności do użycia i warunków magazynowania),
- okresową analizę odcieków wodnych pochodzących z zewnętrznych, niezadaszonych pól magazynowania materiałów do produkcji i odpadów,

- planowanie i przeprowadzanie okresowych przeglądów, remontów i konserwacji środków transportu wewnętrznego w zakresie sprawności urządzeń odpylających ciągi transportowe oraz wielkości poboru energii przez suwnice i przenośniki,
- ewidencję ilości i rodzajów odpadów powstających w wyniku dystrybucji materiałów do produkcji oraz eksploatacji urządzeń i środków do transportu wewnętrznego,
- okresowe monitorowanie poziomu emisji hałasu wprowadzanego do środowiska przez środki do transportu i przeładunku oraz przez urządzenia odpylające z nimi współpracujące,
- identyfikację potencjalnych aspektów środowiskowych związanych z wdrażaniem nowych technik transportowych i materiałów do produkcji.

3. WYTAPIANIE I OBRÓBKA METALURGICZNA CIEKŁEGO METALU

3.1 Wytapianie i obróbka żeliwa

3.1.1 Analiza stosowanych technik i technologii oraz ich porównanie z poziomem światowym

3.1.1.1 Wprowadzenie

W wytapialniach żeliwa znajdują obecnie zastosowanie głównie piece paliwowe: żeliwiaki i znacznie rzadziej obrotowe piece gazowe, oraz piece elektryczne: łukowe i indukcyjne. Przy doborze pieców metalurgicznych uwzględnia się następujące kryteria:

- rodzaj wytapianego żeliwa i wymaganą temperaturę jego przegrzania,
- wymagania jakościowe stawiane żeliwu (skład chemiczny, zawartość wtrąceń niemetalicznych i gazowych, lejność itp.),
- rodzaj i metoda produkcji odlewów (produkcja masowa, seryjna bądź jednostkowa, ciągła bądź okresowa), zapotrzebowanie metalu,
- rodzaj i koszt energii oraz materiałów wsadowych i ogniotrwałych,
- warunki bezpieczeństwa i higieny pracy,
- wymagania w zakresie ochrony środowiska.

Zagadnienie pieców metalurgicznych, stosowanych w odlewnictwie rozpatruje się w aspektach: technologicznym, energetycznym, ekonomicznym i ekologicznym. Dla użytkownika najważniejszy jest aspekt technologiczny, wiążący się z podstawowym celem stosowania pieców, tj. otrzymywaniem ciekłego żeliwa o założonej temperaturze przegrzania i założonych właściwościach fizykochemicznych. Istotny jest jednak również energetyczny aspekt procesów metalurgicznych, co się wiąże z narastającym deficytem źródeł energii a także z czynnikami ekonomicznymi, oraz czynnik ekologiczny wynikający z coraz bardziej zaostrzających się wymagań dotyczących ochrony środowiska.

Analiza zużycia energii w przeciętnej odlewni żeliwa wykazuje, że niemal w 50 % jest ono związane z procesami wytapiania. Zaskakująco duże jest bezwzględne zużycie energii, odniesione do jednostki masy dobrych odlewów żeliwnych: dla odlewni niemieckich wynosi ono przeciętnie 9-10 MJ/kg, co stanowi wartość ponad 7-krotnie większą od pojemności cieplnej żeliwa, przegrzanego do temperatury 1500 °C. Świadczy to o dużych możliwościach ograniczania zużycia energii w oddziałach wytapiania żeliwa.

Oszczędność zużycia energii (odnoszonego zazwyczaj do jednostki masy ciekłego metalu przygotowanego do zalania form odlewniczych) jest osiągana przede wszystkim przez pełne wykorzystanie zdolności produkcyjnej urządzeń. Zmniejszona wydajność urządzenia, równoznaczna z przedłużeniem się okresu jego pracy, pociąga za sobą straty energetyczne. Zwiększa się wówczas jednostkowe zużycie energii, najdotkliwiej odczuwalne przy wykorzystaniu energii elektrycznej w piecu. Dalszymi konsekwencjami zmniejszenia wydajności są straty spowodowane zwiększonym zużyciem materiałów ogniotrwałych i elektrod.

Podobne konsekwencje wystąpią również w wyniku zmniejszenia średniej wydajności pieców paliwowych, a zwłaszcza żeliwiaków. Ze względu jednak na większą sprawność cieplną żeliwiaków wszelkiego rodzaju przerwy w ich pracy, powodujące zmniejszenie wydajności, odbijają się w mniejszym stopniu na zużyciu paliwa pierwotnego. Ciągły charakter pracy żeliwiaków powoduje, że przerwy te mają charakter wyjątkowy w przeciwieństwie do pieców naczyniowych, do jakich należą piece elektryczne. W piecach płomiennych, opalanych paliwem naturalnym (gazem ziemnym), odpadają skutki zmniejszania wydajności pieców, wyrażające się zwiększeniem zużycia paliwa pierwotnego.

Procesy metalurgiczne, prowadzone zwłaszcza w piecach paliwowych, są źródłem znacznego nieraz zanieczyszczenia środowiska naturalnego szkodliwymi gazami i pyłami. Coraz ostrzejsze przepisy, dotyczące ochrony środowiska naturalnego przed szkodliwymi skutkami działalności przemysłu, zmuszają inwestorów do ujmowania w projektach nowych lub modernizowanych zakładów wysokowydajnych urządzeń odpylających. Konieczność

dysponowania takimi urządzeniami rzutuje w stopniu istotnym, choć różnym dla pieców poszczególnych typów, na koszt wytapialni, będąc trzecim - obok technologicznego i energetycznego - czynnikiem decydującym o doborze pieców.

W niektórych przypadkach procesy metalurgiczne, realizowane w ww. piecach, znajdują swą kontynuację w procesach metalurgii wtórnej, polegającej na obróbce ciekłego żeliwa poza piecami topiącymi. Procesy takie są, w szczególności nieodzowne, przy wytwarzaniu odlewów z wysokojakościowego żeliwa sferoidalnego i żeliwa z grafitem wermikularnym.

3.1.1.2 Piece i technologie stosowane w metalurgii żeliwa

3.1.1.2.1 Wiadomości ogólne

W ostatnich dziesiątkach lat zaznaczył się w technologii wytapiania żeliwa, wszechstronny rozwój zarówno pod względem metalurgicznym, jak i energetycznym oraz organizacyjno-ekonomicznym. Rozwój ten następował w warunkach coraz ostrzejszej konkurencji między dwoma - w zasadzie - grupami pieców: żeliwiakami i piecami elektrycznymi.

Żeliwiak jest najstarszym i obecnie jeszcze najpowszechniej stosowanym piecem odlewniczym. Decydujące znaczenie ma w tym przypadku jego duża sprawność cieplna (w porównaniu z innymi piecami paliwowymi), bardzo duża wydajność godzinowa oraz ciągły charakter pracy, pozwalający na łatwe przystosowanie go do zmiennych warunków pracy formierni. Argumentem dodatkowym, przemawiającym za stosowaniem żeliwiaków, jest dostępność, jakość i koszt koksu odlewniczego, bardziej lub mniej korzystna w zależności od warunków lokalnych, dostępności i kosztów energii elektrycznej. Żeliwiak może, poza tym, ułatwiać pozbywanie się pyłów generowanych nie tylko w procesie żeliwiakowym, lecz również w innych węzłach produkcyjnych (oczyszczanie i wykańczanie odlewów, regeneracja piasku formierskiego itp.), przeprowadzając go w łatwo zbywalny żużel granulowany.

Przy dużych zaletach procesu żeliwiakowego nie należy zapominać o jego wadach; do najważniejszych z nich należą:

- trudności w uzyskaniu w praktyce dowolnej temperatury przegrzania żeliwa; występują one szczególnie wyraźnie w przypadku konieczności dokonywania poza piecem jakichkolwiek zabiegów modyfikujących i uszlachetniających, związanych na ogół ze znacznym spadkiem temperatury; stąd wynika podstawowa przyczyna ograniczająca stosowanie żeliwiaków do produkcji żeliwa sferoidalnego za pomocą zapraw;
- trudności w uzyskaniu w praktyce dowolnego składu chemicznego ciekłego żeliwa; dotyczą one zarówno niektórych podstawowych składników żeliwa, np. węgla, którego zawartość - mniejsza niż 3,0% i większa niż 3,7% - może być uzyskiwana tylko przy stosowaniu specjalnych zabiegów, jak i pierwiastków stopowych, nawet przy wytwarzaniu żeliwa niskostopowego; stąd ograniczenie w stosowaniu żeliwiaków przy produkcji żeliwa ciągliwego oraz żeliwa stopowego;
- trudności w zmianie rodzaju wytapianego żeliwa; zmiana taka jest związana z koniecznością wytapiania pewnej ilości metalu o przejściowym składzie chemicznym, kierowanego często do ponownego przetopienia;
- niemożliwość przetrzymywania ciekłego metalu w żeliwiaku bez obniżenia temperatury;
- zanieczyszczenie metalu, głównie siarką pochodzącą z koksu; żeliwo może się również zanieczyszczać tlenem i wodorem z rozkładu wilgoci dmuchu;
- zanieczyszczenie środowiska pyłami i gazami, emitowanymi z żeliwiaków koksowych.

Wymienione wady procesu żeliwiakowego - nierozłącznie związane z istotą tego procesu - powodują, że zawęża się stopniowo zakres stosowania żeliwiaków w produkcji żeliwa wysokojakościowego, a głównie żeliwa sferoidalnego, niskostopowego i ciągliwego, tym,

bardziej iż wyraźnie powiększa się udział tych rodzajów żeliwa w ogólnej produkcji odlewów żeliwnych. Należy się jednak liczyć z tym, że wytapianie żeliwa niestopowego na odlewy maszynowe i handlowe, tj. dla podstawowej masy produkcyjnej odlewni żeliwa, odbywać się będzie jeszcze przez wiele lat w żeliwiakach.

Wad powyższych są pozbawione *piece elektryczne* (w różnym stopniu - zależnie od rodzaju pieca). Przypisuje się im na ogół następujące zalety:

- łatwość uzyskania ściśle założonego składu chemicznego wytapianego metalu (pod warunkiem staranniejszego, niż w przypadku procesu żeliwiakowego, doboru wsadu metalowego),
- łatwość wysokiego przegrzania żeliwa w krótkim czasie, połączone z łatwością regulacji temperatury przegrzania,
- łatwość przetrzymywania żeliwa w określonej temperaturze przez niemal dowolny czas (jednak kosztem wydajności godzinowej),
- mała zawartość zanieczyszczeń w żeliwie (nie następuje nasiarczenie metalu, stopień jego utlenienia jest nieznaczny),
- elastyczność technologiczna pod względem możliwości wytapiania różnych gatunków żeliwa w ciągu tego samego dnia;
- mały stopień zanieczyszczenia atmosfery szkodliwymi gazami.

Wadą procesów topienia w piecach elektrycznych - w porównaniu z żeliwiakami - jest mała wydajność godzinowa oraz większe na ogół koszty inwestycyjne. Poza tym spośród wymienionych zalet nie wszystkie odnoszą się w jednakowym stopniu do pieców indukcyjnych i łukowych; te ostatnie np. nie nadają się do przetrzymywania w nich ciekłego metalu przez dłuższy czas, emitują znaczne ilości szkodliwych pyłów, a przy tym stopień hałasu w czasie ich pracy przekracza nieraz dopuszczalne granice. Z tych m.in. powodów odlewnictwo żeliwa większości krajów rezygnuje z instalowania w swych odlewniach żeliwa elektrycznych pieców łukowych

Niemniej obecny stan metalurgii żeliwa charakteryzuje się postępującą coraz bardziej *elektryfikacją procesów wytapiania żeliwa*. Tendencja ta jest właściwa wszystkim krajom uprzemysłowionym, a natężenie - w jakim przejawia się ona w poszczególnych krajach - zależy od warunków lokalnych, głównie od dostępności energii elektrycznej i energii paliwowej oraz od stosunku cen obydwu rodzajów energii..

Przy rozważaniu doboru pieca od strony ekonomicznej nie wystarcza uwzględnienie wyłącznie cen poszczególnych postaci energii. Należy uwzględnić sprawność cieplną (energetyczną) pieca, kształtującą się rozmaicie w poszczególnych etapach procesu metalurgicznego.

W rozważaniach nad doborem pieca należy zatem uwzględnić również dostępność, jakość i relacje cen metalowych materiałów wsadowych, układających się rozmaicie w poszczególnych krajach, w zależności od takich czynników, jak np. podaż taniego złomu stalowego o dobrej i ustabilizowanej jakości (co np. wiąże się ściśle z rozwojem przemysłu budowy samochodów w danym kraju) bądź podaż surówki o wysokich i ustabilizowanych parametrach jakościowych, a przede wszystkim o odpowiednio małej zawartości fosforu i siarki, bądź też możliwość wykorzystywania powstających na miejscu wiórów żeliwnych lub obcinków blachy stalowej, nieprzydatnych w procesie żeliwiakowym, znajdujących natomiast zastosowanie w piecach indukcyjnych

Niezależnie od wyników obliczeń ekonomicznych o doborze pieca bądź układu pieców decydują w wielu przypadkach wymagania bhp, a przede wszystkim konieczność spełnienia przez wytapialnie metali coraz ostrzejszych przepisów o ochronie środowiska. Ma to zresztą kolejny, a przy tym bardzo znaczny aspekt ekonomiczny, gdyż np. sprawnie działająca instalacja do oczyszczania odlotowych gazów z żeliwiaka, a nawet z pieca łukowego, jest bardzo

kosztowna i opłacalna tylko przy bardzo dużych piecach. Różnica kosztów inwestycyjnych żeliwiaków i pieców elektrycznych staje się więc coraz mniejsza, tym bardziej że koszt inwestycyjny nowoczesnych żeliwiaków jest dodatkowo powiększony w związku z koniecznością wyposażenia ich w coraz bardziej złożoną aparaturę kontrolno-pomiarową.

Konieczność ochrony środowiska sprawia, że w ostatnich latach w niektórych krajach, głównie w Wielkiej Brytanii, we Włoszech, USA itp. do wytapiania żeliwa ponownie zaczyna się stosować *piece płomienne*, wyłącznie jednak *piece obrotowe na paliwo ciekłe lub gazowe*. Nowoczesne piece tego rodzaju mają niemal takie same właściwości eksploatacyjne, jak piece indukcyjne, z wyjątkiem skutków kontaktu metalu z płomieniem i spalinami (większy zgar, większa zawartość gazów i wtrąceń niemetalowych w metalu) oraz mniejsza wartość sprawności cieplnej. Niewątpliwą ich zaletą, w porównaniu z piecami indukcyjnymi, są małe koszty inwestycyjne i niewielkie koszty zużywanej energii. Piece płomienne obrotowe przewyższają żeliwiaki, głównie czystością emitowanych spalin, co eliminuje konieczność instalowania drogich urządzeń odpylających, natomiast ustępują żeliwiakom znacznie, podobnie jak piece elektryczne, wydajnością godzinową.

Zarówno tendencje rozwojowe nowoczesnych odlewni, jak i analiza ekonomiczna zagadnienia, wskazują coraz bardziej na konieczność zmiany poglądów odnośnie do przydatności żeliwiaków i pieców elektrycznych do wytapiania żeliwa; dąży się do wykorzystania w największym stopniu ich zalet oraz wyeliminowania wad przez połączenie tych pieców w układy *(np. system duplex)*. Dlatego też przy doborze pieców dla nowych lub modernizowanych wytapialni stawiane bywa coraz częściej pytanie: jaki układ pieców zamiast pytania żeliwiak czy piec elektryczny?

3.1.1.2.2 Piece paliwowe

Żeliwiaki koksowe

Żeliwiak koksowy jest to piec szybowy, w którym naboje wsadu metalowego na przemian z nabojami koksu i topnika opuszczają się w dół szybu, do stref topienia i spalania, a gorące gazy żeliwiakowe unoszą się do góry, a zatem w przeciwprądzie w stosunku do materiałów wsadowych, nagrzewając i topiąc wsad metalowy oraz przegrzewając ciekłe żeliwo. Gazy o wysokiej temperaturze rzeczywistej (zwykle 1650-2000^{o} C) powstają w strefie spalania, rozciągającej się na określonej wysokości ponad poziomem dysz, w wyniku egzotermicznych reakcji spalania paliwa w powietrzu wdmuchiwanym przez dysze. Ciekłe żeliwo, wraz z ciekłym żużlem, gromadzi się w kotlinie żeliwiaka (lub w zbiorniku w przypadku żeliwiaków ze zbiornikiem), skąd jest spuszczane okresowo lub w sposób ciągły przy zastosowaniu rynny syfonowej.

Z dokonanego powyżej porównania procesu żeliwiakowego z procesami elektrometalurgicznymi wynika, że mimo zwiększającego się udziału pieców elektrycznych w odlewnictwie żeliwa znaczenie żeliwiaków przy wytapianiu podstawowej masy żeliwa pozostaje nadal niepodważalne. W odlewach żeliwa instaluje się nadal - równocześnie z piecami elektrycznymi - żeliwiaki, przy czym zdolność produkcyjna nowych instalacji żeliwiakowych jest na ogół większa od zdolności produkcyjnej nowych elektrycznych pieców do topienia. Wykorzystuje się przy tym nowe i znane od dłuższego czasu metody poprawy technologicznej i ekonomicznej strony pracy pieców, np. przez stosowanie gorącego dmuchu i (lub) dmuchu wzbogaconego w tlen, stosowanie podwójnego rzędu dysz itp.

W dużych odlewniach żeliwa w USA i Japonii - głównie wytwarzających odlewy dla przemysłu motoryzacyjnego oraz rury odlewane odśrodkowo - w których zapotrzebowanie na ciekły metal wynosi do 90 t/h, podstawowym urządzeniem topiącym jest żeliwiak bezwykładzinowy z gorącym dmuchem o wydajności do 100 t/h, pracujący w procesie podwójnym (dupleks) z piecami indukcyjnymi kanałowymi. Przy zapotrzebowaniu na metal, mieszczącym się w przedziale 5-25 t/h, stosuje się zarówno żeliwiaki, jak i piece elektryczne. Wyraźna

tendencja do zastępowania żeliwiaków piecami elektrycznymi zaznacza się dopiero przy zapotrzebowaniu odlewni na ciekły metal poniżej 5 t/h.

Zjawiska fizykochemiczne, zachodzące podczas biegu żeliwiaka, sprowadzić można do trzech podstawowych grup: procesów spalania i zgazowywania paliwa, procesów wymiany cieplnej i zawiązanych z nimi zmian temperatury i stanu skupienia wsadu metalowego oraz procesów metalurgicznych, związanych ze zmianą składu chemicznego żeliwa. Zasadniczymi parametrami technologicznymi całego procesu żeliwiakowego są: wydajność W (w kg/h), temperatura przegrzania żeliwa $t_ż$ (w ^oC) i skład chemiczny ciekłego żeliwa spuszczonego z pieca (parametry wyjściowe) oraz ilość dmuchu $P_ż$ (w m^3/min), zużycie koksu K (w kg/100 kg wsad).

Stosowanie dmuchu atmosferycznego, o temperaturze otoczenia, prowadzi do uzyskiwania żeliwa o ograniczonej temperaturze przegrzania, jako skutku stosunkowo niskiej temperatury spalania koksu, a więc i niewysokiej temperatury fazy gazowej w strefie spalania. Podwyższenie temperatury żeliwa w żeliwiaku z zimnym dmuchem, o atmosferycznej zawartości w nim tlenu, wymaga starannego doboru wsadu metalowego pod względem kawałkowatości i czystości oraz zwiększonego zużycia koksu; to ostatnie postępowanie wywołuje jednak liczne negatywne skutki uboczne: zmniejszenie się sprawności cieplnej, zwiększa się ilość emitowanych gazów i pyłu a także zawartość siarki w żeliwie.

Podwyższenie temperatury przegrzania żeliwa uzyskuje się przede wszystkim w wyniku podgrzewania dmuchu (zwykle do temperatury 400-600 °C, rzadziej do 900 °C) i/lub dotleniania dmuchu (zwykle o 3-5 % O_2 ponad zawartość atmosferyczną). Stosowanie gorącego dmuchu, oprócz podwyższenia temperatury przegrzania, umożliwia zmniejszenie zużycia koksu i zwiększenie wydajności żeliwiaka, a także zmniejszenie zgaru składników wsadu metalowego.

Dmuch jest podgrzewany w rekuperatorach różnej konstrukcji, kosztem ciepła gazów żeliwiakowych. Ponieważ jednak konsekwencją podwyższania temperatury dmuchu jest na ogół zmniejszenie zużycia koksu, co prowadzi do zmniejszenia zawartości CO w gazach odlotowych, a więc do zmniejszenia wartości opałowej tych gazów na wejściu do rekuperatora. W celu uzyskania wyższej temperatury przegrzania żeliwa wykorzystuje się w całości wartość opałową gazów odlotowych, z uzupełniającym spalaniem przed rekuperatorem paliwa „obcego". Wysokie wartości temperatury dmuchu uzyskuje się zazwyczaj w podgrzewaczach, w których nie wykorzystuje się energii gazów żeliwiakowych, lecz energię spalin pochodzących ze spalania innego paliwa, najczęściej gazu ziemnego lub paliwa ciekłego (olej opałowy, mazut).

Rekuperatory dzielą się na: konwekcyjne i radiacyjne. W *rekuperatorze konwekcyjnym* spaliny przechodzą zazwyczaj przez rury grzejne, natomiast powietrze w kierunku prostopadłym (wymiana ciepła w prądzie krzyżowym). Stopień zanieczyszczenia wnętrza rur jest znacznie mniejszy niż w przypadku, gdy spaliny opływają elementy grzejne z zewnątrz. Z uwagi na dużą szybkość przepływu obu mediów wymiana ciepła: spaliny - powietrze odbywa się przez konwekcję.

Znacznie prostszą konstrukcją oraz mniejszą wrażliwością na zanieczyszczenia gazów żeliwiakowych niż rekuperatory konwekcyjne, lecz zarazem mniejszą sprawnością cieplną, odznaczają się *rekuperatory radiacyjne*. Rekuperator jest zazwyczaj instalowany jako jednostka wspólna dla baterii złożonej z dwóch żeliwiaków.

Zaletą rekuperatorów radiacyjnych jest prostota ich budowy, mała wrażliwość na zapylenie spalin i małe zapotrzebowanie powierzchni odlewni. Ich wadą jest mniejsze, niż w przypadku rekuperatorów konwekcyjnych, wykorzystanie ciepła spalin, które, opuszczając rekuperator, mają temperaturę ok.650^{o}C. W celu wyeliminowania tej wady wprowadza się do odlewni kombinowane, dwustopniowe *rekuperatory radiacyjno-konwekcyjne*. Temperatura spalin na wlocie i wylocie z rekuperatora wynosi odpowiednio 1000 - 1100^{o}C i 550 - 700^o C, a na

wylocie z rekuperatora konwekcyjnego - 200 - 300^{o}C. Temperatura dmuchu sięga 600^{o}C. W odlewniach polskich pracuje kilkadziesiąt żeliwiaków z gorącym dmuchem, należące do grup opisanych powyżej..

W odlewniach krajów uprzemysłowionych stosowane są zazwyczaj rurowe rekuperatory konwekcyjne. Przed rekuperatorem tego rodzaju instaluje się komorę spalania, w której spala się nie ochłodzony gaz żeliwiakowy, oczyszczony wstępnie w cyklonach. Dodatkowy palnik na gaz ziemny gwarantuje założoną temperaturę dmuchu w warunkach niewystarczającej podaży gazów żeliwiakowych, np. po zakłóceniach biegu pieca. Rury rekuperatora są stale oczyszczane urządzeniem śrutowym.

Zastosowanie takiego rekuperatora wraz z odpowiednim systemem sterowania zapewnia podgrzewanie dmuchu do 600^{o}C i uzyskiwanie w sposób ustabilizowany temperatury żeliwa (na rynnie spustowej) na poziomie ok. 1540^{o}C przy zużyciu koksu 10 - 11%. Temperatura dmuchu jest niezależna od zawartości CO w gazach odlotowych, podobnie jak w przypadku podgrzewania dmuchu z wyłącznym zastosowaniem paliwa obcego.

Podobne efekty jak podgrzewanie dmuchu przynosi jego dotlenianie. *Zwiększenie zawartości tlenu w dmuchu* przyczynia się przede wszystkim do podwyższania temperatury przegrzania żeliwa oraz zwiększeniem wydajności żeliwiaka;

Tlen doprowadza się do żeliwiaka bądź w mieszaninie z dmuchem, bądź bezpośrednio do dysz; ten drugi sposób zapewnia pełne wykorzystanie tlenu, stwarzając poza tym korzystniejsze warunki dla penetracji mieszanki dmuch - tlen w głąb szybu żeliwiaka, co ma szczególne znaczenie w żeliwiakach o dużej średnicy; tlen wprowadza się zwykle z prędkością naddźwiękową poprzez lance chłodzone wodą. Tlen do odlewni dostarczany jest zazwyczaj w postaci ciekłej.

Mimo podobieństwa między podgrzewaniem dmuchu i wzbogacaniem go w tlen, jeśli idzie o wpływ tych czynników na wyniki pracy żeliwiaka, występują między tymi dwoma nowoczesnymi metodami technologicznymi różnice w zakresie możliwości i celowości ich stosowania.

Koszt instalacji urządzeń do podgrzewania dmuchu amortyzuje się stosunkowo szybko, jednak tylko w przypadku wielogodzinnej pracy żeliwiaka w ciągu doby. Wtedy można korzystnie przeciwstawić metodę podgrzewania dmuchu metodzie wzbogacania dmuchu w tlen ze względu na koszty procesu. W przypadku kilkugodzinnej pracy żeliwiaka w ciągu doby, a tym bardziej niecodziennej pracy w ciągu tygodnia, co występuje w małych odlewniach - stosowanie urządzeń do podgrzewania dmuchu jest nieopłacalne, szczególnie przy stosowaniu instalacji działającej na zasadzie wykorzystania ciepła gazów odlotowych. Stosowanie natomiast w takich przypadkach dmuchu tlenowego - w celu uzyskania wyższej temperatury przegrzania, daje lepsze wyniki, tym bardziej, że istnieje możliwość okresowego wprowadzania tlenu do żeliwiaka przy utrzymaniu w ten sposób średniej temperatury żeliwa na odpowiednio wysokim poziomie.

Wprowadzenie do żeliwiaka - przez kilkanaście (10 -15) minut, tuż po jego uruchomieniu - dmuchu wzbogaconego w tlen (do ok. 24 %) pozwala na otrzymanie wysoko przegrzanego metalu już z pierwszego spustu.

Doskonałe wyniki uzyskuje się przy równoczesnym wprowadzaniu dmuchu podgrzanego i wzbogaconego w tlen.

Inną, lansowaną w ostatnich dziesiątkach lat metodą intensyfikacji procesu żeliwiakowego, a zwłaszcza uzyskiwania odpowiednio wysokiej temperatury przegrzania żeliwa w żeliwiaku przy oszczędnym jednak wydatkowaniu energii, jest stosowanie dwupoziomowego układu dysz. Uzasadnione jest połączenie dwurzędowego systemu z dotlenianiem dmuchu, doprowadzanego do głównego rzędu dysz. Stosowanie natomiast w podobnych przypadkach gorącego dmuchu ma sens tylko wówczas, gdy do jego podgrzewania nie wykorzystuje się

żeliwiakowych gazów odlotowych; dopalanie CO zmniejsza bowiem radykalnie wartość opałową gazów.

Żeliwiaki bezkoksowe (żeliwiaki gazowe)

Żeliwiaki bezkoksowe stanowią istotny postęp w rozwoju technologii wytapiania z wykorzystaniem paliwa gazowego. Wprowadzone przed ok. 25 laty w Anglii różnią się od żeliwiaków koksowych obecnością palników gazowych o dużej intensywności spalania w miejscu dysz. Nad palnikami jest usytuowany chłodzony wodą ruszt z rur stalowych pokrytych węglowym materiałem ogniotrwałym (kształtki rurowe), na którym ułożono warstwę podłoża, składającego się z kul, wykonanych ze specjalnego węglowego materiału ceramicznego ($Al_2O_3.SiO_2$,C). Podłoże to zastępuje koks wypełniający, stosowany w żeliwiaku koksowym i spełnia rolę wymiennika ciepła względem kropel ciekłego metalu, spływającego do kotliny. Na podłożu wspiera się nagrzewany i topiący się wsad metalowy wraz z odpowiednią ilością topnika. Wysokość słupa wsadu jest tak dobrana, aby w piecu znajdowała się zawsze ilość wsadu, odpowiadająca godzinowej wydajności żeliwiaka.

Wydajność pieca zależy wyłącznie od szybkości topnienia kawałków wsadu metalowego, a tę z kolei określa przede wszystkim rzeczywista ilość dmuchu doprowadzana do palników, odniesiona do 1 m^2 przekroju szybu na poziomie rusztu..

Zwiększenie ilości energii wprowadzonej do pieca przez zwiększoną ilość gazu spalanego w jednostce czasu, bądź podwyższenie temperatury spalania przez podgrzanie lub dotlenienie dmuchu, przyspieszają topnienie wsadu, w małym tylko stopniu przyczyniają się jednak do podwyższania temperatury przegrzania żeliwa. Ta ostatnia zależy głównie od grubości warstwy podłoża ceramicznego; dla uzyskania temperatury przegrzania na poziomie 1480-1500^o należałoby dysponować warstwą kul o wysokości 600-650 mm. W żeliwiakach bezkoksowych występują trudności w uzyskaniu żeliwa o odpowiednio dużej zawartości węgla.

Dlatego rezygnuje się obecnie na ogół z przegrzewania żeliwa w omawianym piecu przenosząc tę operację do pieca indukcyjnego kanałowego. W takich przypadkach temperatura przegrzania żeliwa, opuszczającego część szybową wynosi 1370-1400^{o}C. W części płomiennej następuje przegrzanie żeliwa do 1520-1540^{o}C, jeśli do spalania gazu ziemnego stosuje się powietrze podgrzane do temperatury 500-600^{o}C.

Bilans cieplny uruchomionego ostatnio w Japonii żeliwiaka gazowego o wydajności 5,5 t/h, przegrzewającego metal do temperatury 1380^{o}C i współpracującego z dwoma piecami indukcyjnymi średniej częstotliwości, wykazał, iż jego sprawność cieplna osiąga wartość 54%.

Zużycie gazu ziemnego w żeliwiaku gazowym wynosi 50-70 bądź 70-90 m^3/t żeliwa w zależności od tego czy przegrzewanie prowadzi się w piecu czy poza nim. Porównanie kosztów wytapiania, obejmujących materiały wsadowe, pomocnicze i nośniki energii wykazuje, że są one większe o 9 % w żeliwiaku koksowym i o 20 % w piecu indukcyjnym sieciowej częstotliwości.

Najważniejszą jednak zaletą żeliwiaków gazowych jest ich niemal zupełna nieszkodliwość dla środowiska: mniejsza jest ogólna emisja gazów, pozbawionych praktycznie CO i SO_2; emisja pyłu nie przekracza na ogół 50 mg/m^3, emisja CO_2 jest ok. 3-krotnie mniejsza niż w przypadku żeliwiaka koksowego, mała jest też ilość powstającego żużla.

Warto podkreślić, że sprawność cieplna żeliwiaków gazowych, sięgająca (bez uwzględnienia przegrzewania) 50 - 55%, jest zarazem sprawnością odniesioną do paliwa pierwotnego; przekracza to znacznie wartości charakteryzujące żeliwiaki koksowe oraz szczególnie, piece indukcyjne.

Z uwagi na małą zawartość siarki w wytapianym metalu omawiane żeliwiaki nadają się szczególnie do wytapiania żeliwa wyjściowego przy wytwarzaniu odlewów z żeliwa z grafitem kulkowym i wermikularnym.

Wady omawianego rodzaju pieca to, poza wspomnianymi powyżej trudnościami z przegrzewaniem i nawęglaniem, występujące ograniczenia w udziale złomu stalowego we wsadzie (maks. 30 %).

Żeliwiaki o długotrwałym działaniu (żeliwiaki kampanijne)

Szczególną grupę żeliwiaków z gorącym dmuchem stanowią żeliwiaki, których nie opróżnia się po jedno- do dwuzmianowej pracy w celu dokonania rutynowej naprawy wykładziny, zwane żeliwiakami kampanijnymi. Są to z reguły jednostki duże, o wydajności 15 - 100 t/h. Pracują zwykle z zastosowaniem dmuchu, podgrzewanego do stosunkowo wysokiej temperatury, sięgającej 700^{o}C, w osobno stojących rekuperatorach wykorzystujących obce źródło ciepła. Znane są jednak również żeliwiaki tego rodzaju, wykorzystujące do podgrzewania dmuchu ciepło gazów odlotowych, bądź pracujące z zastosowaniem zimnego dmuchu.

Piece tego rodzaju są instalowane, w przeciwieństwie do baterii 2-żeliwiakowych, w zwykłych wytapialniach, jako pojedyncze jednostki, pozostawiane „pod ogniem" (tj, bez dostępu powietrza, z pozostawieniem w piecu koksu kotlinowego i wypełniającego a w niektórych przypadkach wsadu metalowo-koksowego, wypełniającego szyb) na okres przerw nocnych bądź weekendowych.

Wytapianie żeliwa w piecu kampanijnym charakteryzuje się znacznymi oszczędnościami w porównaniu z żeliwiakami, opróżnianymi po każdym wytopie. Składają się na nie oszczędności na:

- uproszczonym systemie ładowania wsadu,
- uproszczonym systemie oczyszczania gazów odlotowych,
- uproszczonym systemie doprowadzania dmuchu i ewentualnie tlenu.

Oszczędność na koksie może dochodzić do 1 Mg dziennie. W przypadku kampanii 4-tygodniowej, przy pracy 5-dniowej w tygodniu oszczędza się w ten sposób do 20 Mg koksu.

Coraz częściej odchodzi się obecnie od zasady bezwykładzinowych żeliwiaków kampanijnych; wynika to ze zwiększonego w tym przypadku zużycia koksu.

Żeliwiaki kampanijne znajdują zastosowanie w dużych odlewniach, wytwarzających w skali masowej rury bądź odlewy motoryzacyjne.

W kraju pracują 2 żeliwiaki tego rodzaju, lecz o średnicy 1200 mm i wydajności 10 Mg/h. Są one wyposażone w rekuperator do podgrzewania dmuchu kosztem gazów odlotowych oraz instalacje do wprowadzania tlenu do żeliwiaków za pomocą lanc chłodzonych wodą. Pracują w kampaniach tygodniowych. Żeliwiak jest wyposażony w instalację suchego oczyszczania gazów żeliwiakowych.

Problemy ekologiczne procesu żeliwiakowego

Gazy emitowane z żeliwiaków są zanieczyszczone pyłami i szkodliwymi składnikami gazowymi, pochodzącymi z procesów fizycznych i chemicznych, właściwych omawianym piecom.

Ilość emitowanych gazów w odniesieniu do wielkości produkcji wytapialni zwiększa się, jeśli będziemy rozpatrywali żeliwiaki w kolejności: żeliwiak z gorącym dmuchem bez chłodzenia płaszcza, żeliwiak kampanijny z wykładziną, żeliwiak kampanijny bezwykładzinowy, żeliwiak z zimnym dmuchem. Dotlenianie dmuchu powoduje zmniejszenie zawartości azotu oraz, zazwyczaj zmniejszenie zużycia koksu, czemu odpowiada zmniejszenie się ilości powstających gazów. Przeciętnie ilość powstających gazów w przypadkach żeliwiaków (przy O_2 = 21%) wynosi:

- z gorącym dmuchem, nie chłodzonych zewnętrznie - 550 m^3/Mg,
- kampanijnych z wykładziną - 560 m^3/Mg,

- kampanijnych bez wykładziny - 675 m^3/Mg,
- z zimnym dmuchem, nie chłodzonych zewnętrznie - 770 m^3/Mg.

Wielkość emisji CO w niedopalonych gazach odlotowych z żeliwiaków koksowych wynosi 50-100 kg/t.

Średnia ilość gazów emitowanych z żeliwiaków gazowych wynosi 660 m^3/t; w odróżnieniu od przypadku żeliwiaków koksowych gazy te składają się jedynie z CO_2 i H_2O.

Problematyka ekologiczna obejmuje coraz częściej *emisję CO_2* do atmosfery Uwzględniając ilości CO_2, wytwarzane w procesach przetwarzania paliwa pierwotnego na nośniki energii (koks, energia elektryczna), można podać następujące średnie wartości emisji CO_2:

- żeliwiak koksowy - 400 kg CO_2/Mg żeliwa;
- piec indukcyjny - 640 kg CO_2/Mg żeliwa;
- piec gazowy obrotowy - 350 kg CO_2/Mg żeliwa;
- żeliwiak gazowy - 150 kg CO_2/Mg żeliwa

Wartość *emisji siarki* z żeliwiaka jest głównie funkcją zużycia i jakości koksu. Na ogół jej udział w gazach odlotowych zwiększa się proporcjonalnie do zwiększenia zużycia koksu. Występuje w nich zazwyczaj w postaci SO_2. Do zmniejszenia emisji siarki prowadzą wszelkie technologie i zabiegi, które umożliwiają zmniejszenie zużycia koksu. Wynika stąd również jedna ze wspomnianych powyżej zalet żeliwiaka bezkoksowego, wykorzystującego paliwo bezsiarkowe, jakim jest gaz ziemny.

Badań *emisji NO_x* dotychczas nie prowadzono w sposób systematyczny, gdyż wszelkie pomiary wykazują występowanie tych tlenków w ilości dalekiej od wartości granicznej.

Stałymi odpadami procesu żeliwiakowego są *pył i żużel*. Pył jest w sposób ciągły odprowadzany z pieca w strumieniu gazów odlotowych, a żużel jest odprowadzany w stanie ciekłym z kotliny (okresowo lub ciągle) bądź z rynny syfonowej (w sposób ciągły).

Wartości emisji *pyłu* z żeliwiaków zawierają się w szerokim przedziale; najczęściej wynosi ona 8 - 10 kg/Mg żeliwa (dla porównania: przeciętne wartości emisji pyłu w odlewniach brytyjskich wynoszą dla: żeliwiaków koksowych - 8,5 kg/Mg, pieców łukowych - 5 kg/t, pieców indukcyjnych - 0,75 kg/Mg, pieców obrotowych gazowych - 1 kg/Mg). Duży udział w pyle mają cząstki koksu (tzw. koksik), powstałe w wyniku ścierania się koksu wsadowego, schodzącego w dół szybu pieca; stąd wynika proporcjonalność emisji pyłu do zużycia koksu; podobnie jak w przypadku emisji siarki uwidacznia się tu kolejna zaleta żeliwiaka gazowego.W składzie chemicznym gazów występują również składniki szkodliwe dla otoczenia, jednak w ograniczonych ilościach. Tak np. tlenki pierwiastków metali ciężkich ZnO i PbO występują na ogół tylko w przypadku stosowania niepożądanego złomu. Ostatnio jednak zagrożenie nimi zwiększa się w związku z wykorzystywaniem w procesach wytapiania żeliwa złomu motoryzacyjnego, a zwłaszcza ocynkowanej blachy karoserii samochodowych. W takich przypadkach powstałe podczas topienia wsadu pary cynku utleniją się do ZnO. Szkodliwe mogą się również okazywać krzemiany i tlenki metali alkalicznych, rozpuszczalne w wodzie; te ostatnie pochodzą z popiołu koksu i dlatego wartość ich emisji jest proporcjonalna, podobnie jak w przypadku siarczanów, do zużycia koksu.

Metody oczyszczania gazów żeliwiakowych

Zaostrzające się przepisy, dotyczące dopuszczalnej wartości emisji pyłów i gazów żeliwiakowych, wymagają instalowania przy żeliwiakach odpowiednio sprawnych urządzeń oczyszczających, z czym związane są dodatkowe koszty inwestycyjne i operacyjne. Najprostsze metody odpylania, stosowane dotychczas w żeliwiakach o mniejszej wydajności, tzw. chwytacze iskier, instalowane u wylotów kominów żeliwiaków (suche i mokre) nie spełniają już wymagań, stawianych przez odpowiednie przepisy.

Nowoczesne urządzenia odpylające można podzielić na 2 grupy: suche i mokre. Suche urządzenie odpylające obejmują cyklony i komory filtracyjne. W *cyklonach* (odpylaczach

odśrodkowych) oddzielanie cząstek stałych od gazu odbywa się wskutek działania siły odśrodkowej, wywoływanej ruchem odśrodkowym gazu.

Cyklony są stosowane zazwyczaj do wstępnego odpylania gazu, odprowadzanego bezpośrednio z żeliwiaków. Oddzielane są w nich od gazu najgrubsze frakcje; sprawność odpylania wynosi 80 - 90 %.

Bardzo dużą sprawność odpylania (98,0 - 99,8%) wykazują *filtry tkaninowe (workowe*) rozwieszone w komorach filtracyjnych. Są one wykonywane z różnych materiałów, wytrzymujących temperaturę do 300^{o}C, charakteryzujących się przy tym odpowiednią wytrzymałością, odpornością na ścieranie i chemiczne działanie kwasów bądź ługów.

Znane są 3 podstawowe rodzaje filtrów, różniące się przepływem oczyszczonego gazu i sposobami oddzielania pyłu z ich ścianek. W pierwszym przypadku zanieczyszczone spaliny wchodzą do wnętrza filtrów przez ich ściankę; pył odkłada się na zewnętrznej powierzchni rękawów w kierunku przeciwnym do kierunku przepływu zanieczyszczonych gazów fali uderzeniowej sprężonego powietrza (ciśnienie 400 - 700 kPa) powodujące chwilowe rozszerzenie się filtra, co wywołuje odpadanie spieczonego pyłu. Fala jest wprowadzana równocześnie do kolejnych rzędów worków, a czas jej przepływu wynosi zwykle 0,1 s.

Zalety: mały stosunek powierzchni worków do objętości oczyszczonego gazu i w związku z tym małe rozmiary komory filtracyjnej, małe koszty inwestycyjne; *wadą* jest duże zużycie sprężonego powietrza.

W drugim przypadku pył osadza się na wewnętrznych powierzchniach worków, które są z niego oczyszczane przez mechaniczne ich wstrząsanie w ustalonym rytmie. W czasie oczyszczania poszczególnych rzędów worków wstrzymywany jest dopływ zanieczyszczonego gazu do nich. Niekiedy oczyszczanie przez wstrząsanie bywa wspomagane przez równoczesne, przeciwprądowe przedmuchiwanie worków powietrzem. *Zalety*: najbardziej dynamiczna metoda czyszczenia filtrów, stosunkowo duża sprawność odpylania, małe zapotrzebowanie na powierzchnię. *Wady*: duże koszty inwestycyjne i operacyjne, awarie mechanizmu wstrząsającego.

W trzecim rozwiązaniu pył, gromadzący się jak w poprzednim przypadku, jest usuwany strumieniem powietrza, wprowadzanego do worków przez ich ścianki z zewnątrz. Jest to najspokojniejszy sposób usuwania pyłu z filtrów workowych. W czasie oczyszczania komora jest odizolowana od dopływu zanieczyszczonego gazu. Wszystkie filtry są oczyszczane równocześnie. *Zalety*: spokojne oczyszczanie, sprzyjające zwiększeniu trwałości worków, duża sprawność oczyszczania, małe koszty operacyjne. *Wady*: duży koszt inwestycyjny, konieczność wyłączania podczas oczyszczania filtrów z pyłu, duży stosunek powierzchni worków do objętości oczyszczonego gazu.

Gazy, wprowadzane do komory filtracyjnej muszą być ochładzane do temperatury z zakresu 150 - 260^{o}C; dolny zakres wynika z zapobiegania korozji, a górny - z odporności na temperaturę większości materiałów, z których wykonuje się worki. Zakres taki może zapewnić wykorzystywanie ciepła spalin do podgrzewania dmuchu.

Szczególną odmianą filtrów suchych są *elektrofiltry (filtry elektrostatyczne)*, działające na zasadzie sił przyciągania elektrostatycznego. Sprawność odpylania dochodzi do 99%. Elektrofiltry jednak są rzadko tylko stosowane do ostatecznego oczyszczania gazów żeliwiakowych.

Systemy *mokrego odpylania* umożliwiają czystą eksploatację rekuperatorów, włączanych poza nimi w instalację żeliwiakową. Podstawową ich wadą jest znaczny nakład kosztów na gospodarkę wodną. Są stosowane głównie do oczyszczania gazów żeliwiakowych, odciąganych
z czerpni ulokowanej pod poziomem załadowczym.

Znane są 3 rodzaje takich odpylaczy: płuczki wieżowe (skrubbery), odpylacze ze zwężkami Venturi'ego i dezintegratory.

Płuczki wieżowe (skrubery) są to cylindryczne zbiorniki przez, które przepuszcza się zapylone gazy z małą prędkością. Gazy są zraszane wodą, rozpyloną ze specjalnych dysz, umieszczonych na różnych poziomach; zależnie od wymiarów urządzenia zawiera ono do 100 takich dysz dla zapewnienia równomiernego rozprowadzania wody w odpylaczu. Stosowane są też płuczki z kilkoma zaledwie dużymi dyszami, które są wprawdzie nieco mniej sprawne, ale - z drugiej strony - niewrażliwe na czystość wody chłodzącej (dysze się nie zatykają). Zużycie wody w płuczkach wieżowych wynosi 1 - 5 l/m^3 gazu. Woda pozostaje zwykle w obiegu zamkniętym. Sprawność odpylania wynosi 50 - 80% .

Z uwagi na częste dławienie się przepływu gazów skrubery są coraz rzadziej stosowane przy żeliwiakach.

Dość szerokie zastosowanie znajdują natomiast *odpylacze ze zwężkami Venturi'ego*. Pracują one z wykorzystaniem zjawiska kondensacji mgły wodnej przy gwałtownym jej rozprężaniu, przy czym ośrodkami kondensacji są najdrobniejsze cząsteczki pyłu, które mają być wytrącone; cząsteczki te są usuwane w postaci szlamu. Sprawność odpylania tych urządzeń wynosi 97-98%.

Odpylacze mokre odśrodkowe, tzw. *dezintegratory*, należą do najprostszych odpylaczy typu mechanicznego. Istotną częścią dezintegratora jest wirnik w postaci wału z nasadzoną nań tarczą. Do tarczy, w jej środku, jest przymocowany perforowany stożek (rozdzielacz wody) i kilka współśrodkowo rozmieszczonych sworzni, prostopadłych do płaszczyzny tarczy. Do wnętrza centralnego stożka doprowadza się wodę pod ciśnieniem. Przy ruchu wirnika następuje rozbijanie jej na drobniutkie krople, zwilżające i unoszące ze sobą cząstki pyłu, czemu sprzyja duża różnica prędkości przepływu wody i gazu, szczególnie przy przepływie między rzędami sworzni. Odpylacz można instalować przed rekuperatorem lub poza nim. Przy jego użyciu można osiągać sprawność odpylania ok. 98%.

Podstawową wadą wszystkich systemów oczyszczania mokrego jest generowanie w nich wody z dużą ilością szlamu. Dla celów transportowych szlam ten jest przetwarzany na odwodnione "placki" w specjalnych prasach filtracyjnych. Woda znajduje się w obiegu zamkniętym, wzbogacając się z upływem czasu w rozpuszczalne w niej sole - produkty neutralizacji kwaśnych składników gazów. Zawracając do obiegu wody z pras filtracyjnych zwiększa częstotliwość odświeżania wody obiegowej. Woda odpadowa zawiera zwykle metale toksyczne w ilościach, przekraczających dopuszczalne normy. Obróbka odpowiednimi reagentami pozwala na wytrącenie z wody wystarczającej ilości metali toksycznych i umożliwić odprowadzanie jej do ścieków.

Koszty inwestycyjne i operacyjne mokrych odpylaczy obciążają w dużym stopniu koszty procesu wytapiania żeliwa. Również zużycie energii do oczyszczenia tej samej ilości gazów jest znacznie większe niż przy stosowaniu filtrów tkaninowych bądź elektrostatycznych. Wadę tę osłabia ta okoliczność, że ilość gazów oczyszczanych w tych systemach jest na ogół mniejsza (odbiór spod okna wsadowego) niż w przypadkach odpylaczy suchych (zwiększona ilość gazów w wyniku, głównie ich dopalania).

Ostatnio zaczęto zwracać dużą uwagę na możliwość występowania *polichlorodibenzodioksyn (PCDD) i polichlorodibenzofuranów (PCDF)* w gazach opuszczających instalację żeliwiakową. Badania warunków tworzenia się takich organicznych związków chlorowcowych wykazały istotną rolę obecnych w gazach cząstek węgla, chlorków nieorganicznych i jonów metalu, np. Cu^{+2}, dla ich syntezy w temperaturze 250 -650^oC. Reakcje, zachodzące w wyższej temperaturze, nie odgrywają większej roli w tworzeniu się PCDD i PCDF. Uprzywilejowanymi miejscami przebiegu powyższej syntezy są powierzchnie cząstek pyłu i atmosfera o odpowiedniej zawartości tlenu. Wynikają stąd konsekwencje dla doboru rodzaju odpylacza. Oczyszczanie gazów odlotowych w odpylaczach mokrych przed ich dopalaniem w komorach spalania pozwala na wyeliminowanie niebezpieczeństwa tworzenia się dioksyn. Gazy silnie zapylone, opuszczające żeliwiak z temperaturą 200-350^oC, stwarzałyby dogodne warunki do

syntezy dioksyn, gdyby nie brak tlenu w tym obszarze. Niska temperatura gazów przed komorą spalania i wysoka w komorze spalania oraz w rekuperatorze wykluczają tę syntezę i na tych odcinkach instalacji. Przed odprowadzaniem gazów do atmosfery przechodzą one przez chłodnicę, gdzie możliwość syntezy jest ograniczona z powodu małej już zawartości pyłu.

W systemie oczyszczania suchego gazów wcześniej dopalanych występuje odcinek instalacji, w którym panują warunki sprzyjające syntezie dioksyn i furanów: jest to strefa między rekuperatorem a filtrem, w której mamy do czynienia z odpowiednią temperaturą gazów, dużą zawartością w nich pyłu i wystarczającą zawartością tlenu. W przypadku wprowadzania w tym ostatnim systemie mokrego odpylacza w miejsce filtra tkaninowego z ochładzalnikiem gazów czas przebywania gazów w niebezpiecznej strefie jest zbyt krótki, aby do ww. syntezy mogło dojść w znaczącym wymiarze.

W przypadku oczyszczania gazów przed ich dopalaniem woda, opuszczająca odpylacz mokry, zawiera produkty niecałkowitego spalania, w związku z czym wymagana jest bardziej złożona instalacja wodna. Typowymi zanieczyszczeniami wody są: cyjanki, fenole, aldehydy, merkaptany, oleje, węglowodory pierścieniowe, estry glikolowe, benzeny oraz zwykle w gazach odlotowych występujące koksik, metale i sole nieorganiczne. Typowa obróbka takiej wody polega na doprowadzeniu jej w zbiorniku neutralizacyjnym do pH = 9,0 przez dodatek wapna i wodorotlenku magnezu, rzadziej sody kaustycznej. Tego rodzaju obróbka chemiczna wody zapewnia konieczną przemianę cyjanków i destrukcję innych substancji toksycznych. Ostateczne oczyszczenie wody odbywa się zwykle w złożu filtracyjnym z węgla aktywnego.

Utylizacja produktów ubocznych żeliwiaka

Ubocznymi produktami procesu żeliwiakowego są: pył (w postaci ziarnistej bądź w postaci szlamu) i żużel. Koszty składowania pyłu i szlamu stają się coraz większe. W związku z tym rozwijają się technologie, umożliwiające wdmuchiwanie pyłu do żeliwiaków. Pyły, wprowadzane do żeliwiaka, można podzielić na 4 grupy:

a) nośniki węgla, opłacalne ekonomicznie jako paliwo zastępujące koks, bądź jako nawęglacz,
b) pył żeliwiakowy gruboziarnisty, pochodzący z wstępnego odpylania,
c) pył żeliwiakowy drobnoziarnisty, pochodzący z końcowego odpylania,
d) pyły regeneracyjne z mas furanowych itp.

Ad a). Z powodu coraz wyższej ceny koksu odlewniczego wdmuchiwanie pyłu, tańszego antracytu bądź podziarna koksu znajduje obecnie zastosowanie w kilku odlewniach. Metoda jest prosta, problemy występują jednak w dozowaniu i równomiernym rozdzielaniu pyłu pomiędzy poszczególne dysze.

Ad b) Efektem wstępnego odpylania, np. w cyklonie jest pył gruboziarnisty, składający się w przeważającej części z koksiku; ta część pyłu po jego wdmuchiwaniu do pieca jest spalana, a zawarte w pyle tlenki przechodzą do żużla wraz z popiołem koksiku.

Ad c) W obieg pyłu żeliwiakowego, wprowadzanego do procesu żeliwiakowego, włącza się obecnie również drobny pył z końcowego odpylania w odpylaczach suchych. Pył taki prawie nie zawiera węgla, zawiera natomiast tlenki żelaza i innych metali. Obydwa rodzaje pyłu mogą być mieszane w dowolnym stosunku, a mieszanka jest dostarczana do zasobników pośrednich w pobliżu pieca, skąd jest zasysana - poprzez urządzenie, rozdzielające pył pomiędzy poszczególne dysze - do dysz żeliwiakowych. Głównym celem zwrotnego wprowadzania pyłu pofiltracyjnego do żeliwiaka jest przetworzenie go na produkt praktycznie stosowalny (np. w budownictwie drogowym), bądź na produkt bezpieczny do składowania (żużel). Chodzi również o umożliwienie wykorzystania we wsadzie żeliwiakowym złomu motoryzacyjnego, zawierającego Zn i (lub) Pb. W żeliwiaku następuje wówczas stopniowe wzbogace-

nie pyłu w ZnO i PbO, tak iż po osiągnięciu odpowiedniej ich zawartości pył okazuje się ekonomicznie przydatny do procesu metalurgicznego w hutnictwie metali nieżelaznych.

Przechodzenie części składników pyłu, do żużla związane jest, oczywiście, ze zwiększeniem zużycia energii, kompensowanym zwiększonym zużyciem koksu. Jednak wzrost zużycia koksu jest nieznaczny.

Ad d). Obecnie są w przemyśle prowadzone próby wdmuchiwania do strefy spalania żeliwiaka pyłów z mas formierskich, wiązanych za pomocą żywic syntetycznych, a więc substancji organicznych, w celu rozwiązania w ten sposób problemu ich składowania. Podczas spalania żywicy wydziela się ciepło w ilości 15500 kJ/kg, co w pewnym stopniu rekompensuje wydatkowanie ciepła na przeprowadzenie w stan żużla znacznej ilości piasku, wprowadzanego wraz z żywicą do pieca; z rozszczepianiem się węglowodorów w wysokiej temperaturze (proces krakowania) związane jest również dodatkowe zużycie ciepła.

Ilość powstającego *żużla* zawiera się zwykle w przedziale 4 - 8%, tj. 40 - 80 kg/t żeliwa. Zależy ona od warunków procesu żeliwiakowego. Składniki, tworzące żużel (materiał zużywającej się wykładziny, zanieczyszczenie piaskowe wsadu, popiół koksu, produkty utleniania pierwiastków wsadu), mają kwaśny charakter chemiczny i dlatego konieczne jest wprowadzenie we wsadzie topnika zwykle w postaci kamienia wapiennego $CaCO_3$, dysocjującego w szybie pieca na CaO i CO_2.

Typowy skład chemiczny kwaśnego żużla żeliwiakowego świadczy o tym, że zawartość krzemionki (SiO_2) wynosi w nim ok. 50%. Żużel taki jest bezpieczny, jeśli idzie o jego składowanie, nadaje się też dobrze jako materiał dla budownictwa dróg. Należy zwrócić uwagę na bardzo małe zawartości siarczanów i tlenków metali alkalicznych, rozpuszczalnych w wodzie.

W żeliwiaku gazowym żużel tworzy się z materiału zużywających się kul ogniotrwałych zawierających głównie Al_2O_3, z materiału wykładziny i produktów utleniania się wsadu metalowego; skład chemiczny takiego żużla różni się od składu żużla z żeliwiaka koksowego większymi zawartościami FeO i MnO, co nie przeszkadza także jego stosowaniu jako materiału budowlanego.

Nowocześniejszym sposobem jest granulowanie żużla w strumieniu wody. Woda znajduje się w obiegu z zastosowaniem jej neutralizacji. Granulowanie żużla jest metodą dogodniejszą w całej jego gospodarce, ale procesowi granulowania towarzyszy wydzielanie się siarkowodoru, co należy uwzględnić przy projektowaniu tych stanowisk.

Piece bębnowe obrotowe

Piece bębnowe obrotowe należą do grupy paliwowych pieców płomiennych. Piece te są wyposażone w palniki tlenowo-paliwowe. Piece obrotowe bębnowe można stosować zarówno do wytapiania żeliwa szarego, jak i żeliwa wyjściowego do wytwarzania odlewów z żeliwa sferoidalnego bądź ciągliwego i żeliwa stopowego.

Ogólnie biorąc, piece bębnowe obrotowe wykazują w porównaniu z żeliwiakami następujące *zalety*: mniejsze koszty inwestycyjne; mniejsze koszty eksploatacyjne (tańsze materiały wsadowe, w tym np. zaoliwione wióry i złom żeliwny, mniejsze zużycie materiałów ogniotrwałych itp.); dużą sprawność cieplną, szczególnie w odniesieniu do paliwa pierwotnego; łatwość wytapiania żeliwa o różnym składzie chemicznym; łatwość zmiany składu chemicznego dzięki rozpoczynaniu każdego wytopu w piecu, całkowicie opróżnionym z metalu z poprzedniego wytopu; możliwość wysokiego przegrzania metalu (nawet do 1600^{o} C) przy łatwej zarazem automatyzacji sterowania tą temperaturą; mniejsze zanieczyszczenie atmosfery (mała ogólna emisja spalin, mniejsza ilość emitowanego pyłu, pomijalnie mała emisja SO_2).

Wady pieców bębnowych są w dużej części związane z tym, że należą one do grupy pieców typu naczyniowego (podobnie jak piece elektryczne). Wymienić zatem można okre-

sowy charakter pracy i małą wydajność godzinową. Wady te łagodzi się instalując kilka pieców tego rodzaju.

Zużycie energii i wydajność pieca bębnowego obrotowego zależą od następujących czynników: wymaganej temperatury przegrzania żeliwa; kawałkowatości wsadu; udziału złomu stalowego we wsadzie; szybkości obrotowej pieca; stopnia wypełnienia pieca; temperatury i długości płomienia; rodzaju paliwa; czasu nawęglania metalu. Zużycie zarówno paliwa jak i tlenu zmniejszają się w miarę zwiększania pojemności pieca. Równocześnie zwiększa się sprawność cieplna, pozostająca na wysokim poziomie 50-64%. Porównanie pod tymi względami z piecami indukcyjnymi tyglowymi i żeliwiakami z gorącym dmuchem jest sensowne pod warunkiem uwzględnienia sprawności energetycznej procesów wytwarzania koksu, prądu elektrycznego i tlenu (gaz ziemny jest paliwem pierwotnym). Otóż tak wyznaczona sprawność cieplna (odniesiona do paliwa pierwotnego) wynosi:

- dla pieca bębnowego obrotowego: ok. 40 %,
- dla żeliwiaka z gorącym dmuchem: ok. 30 %,
- dla pieca indukcyjnego tyglowego: ok. 22 %.

Opuszczające piec gorące spaliny o temperaturze 1500-1600^{o}C zostają wstępnie schłodzone powietrzem z atmosfery, zasysanym przez szczeliny między korpusem pieca a przesuwnym przewodem spalinowym. Ostateczne ich schłodzenie do poziomu, uwarunkowanego odpornością termiczną materiału filtra tkaninowego, następuje w specjalnym ochładzalniku albo przez wprowadzenie powietrza do komory mieszania. Ciepło spalin bywa też wykorzystywane do socjalnych celów grzewczych.

Przeciętna emisja pyłu z pieca bębnowego może być na poziomie 0,80-1,5 kg/t; pył ten odznacza się bardzo małymi rozmiarami cząstek: 5,4 - 8,9 μm, średnio 7,3 μm. Gazy opuszczające piec, przy prawidłowo nastawionym palniku, nie powinny zawierać innych składników poza CO_2 i H_2O. Pod koniec okresu topienia i w okresie przegrzewania, może wystąpić CO w ilości do 5%, który musi być usuwany przez dopalanie gazów. Spalanie gazu ziemnego może wprowadzić do gazów również niewielkie ilości tlenków azotu NO_x. Badania wykazały jednak, że przy odpowiednim doborze palnika zawartość NO_x nie przekracza 2kg/t.

Zestawienie kosztów wytapiania żeliwa w żeliwiaku z zimnym dmuchem i w piecu bębnowym z palnikiem olejowo-tlenowym, wykazuje, że w tym zakresie różnice są nieznaczne. Przy uwzględnieniu kosztów składowania odpadów (szczególnie dotyczy to odpadów pofiltracyjnych i żużla) wystąpią tu istotne różnice na korzyść pieca bębnowego. Jeszcze większe różnice w tym kierunku wystąpią przy uwzględnieniu odpisów amortyzacyjnych związanych z kosztami inwestycji obu rodzajów pieców.

Piece elektryczne

Piece indukcyjne tyglowe

Żeliwo wytapia się w piecach elektrycznych dwóch zasadniczych rodzajów: łukowych i indukcyjnych. O ile jednak stosowanie pieców indukcyjnych rozszerza się bardzo dynamicznie, to piece łukowe znikają, praktycznie, z odlewni żeliwa. Niemniej jednak należy stwierdzić, że stosowanie łukowej techniki topienia żliwa jest nadal uważane z technikę NDT jezeli spełnione są warunki dotyczace dopuszczalnej emisji pyłów i gazów. Bliższa charakteryustyka pieców łukowych znajduje sie w rozdziale 3.2.1.1 przy omawianiu technik topienia staliwa, gdzie piece te sa używane znacznie częściej niż przy topieniu żeliwa.

Ze względu na częstotliwość prądu przemiennego zasilającego piece indukcyjne, dzielimy je na dwie grupy:

a) piece sieciowej częstotliwości (f = 50 Hz, w USA i Kanadzie - 60 Hz);

b) piece średniej częstotliwości (zwykle 150 - 2000 Hz).

Ze względu na konstrukcję i zasadę działania piece indukcyjne dzielą się na:

- piece indukcyjne tyglowe,
- piece indukcyjne kanałowe.

Stosowanie pieców indukcyjnych tyglowych sieciowej częstotliwości jest korzystne w przypadkach:

- średniej do dużej produkcji żeliwa o stałym składzie chemicznym;
- pracy kilkuzmianowej;
- możliwości korzystania z okresów obniżonej taryfy na energię elektryczną.

Stosowanie pieców średniej częstotliwości jest natomiast celowe w przypadkach:

- produkcji małej do średniej żeliwa o często zmienianym składzie chemicznym,
- pracy jednozmianowej,
- stosowaniu wsadu wilgotnego lub (i) zaoliwionego.

Znane są jednak odlewnie, które decydują się na stosowanie pieców średniej częstotliwości przy dużym zapotrzebowaniu na ciekłe żeliwo; przyczyny tego są następujące:

- duża różnorodność rodzajów wytapianego żeliwa wymagająca pieca elastycznego metalurgicznie, pozwalającego przetopić m. in. wióry,
- eliminacja operacji suszenia i podgrzewania wsadu,
- mniejsze zapotrzebowanie na powierzchnię roboczą.

Przy wyraźnej tendencji wzrostowej procesów wytapiania żeliwa w piecach indukcyjnych oraz innowacji wprowadzanych do budowy pieców sieciowej częstotliwości istotny impuls w rozwoju tej dziedziny metalurgii wniosły *piece indukcyjne średniej częstotliwości*. Piece tego rodzaju z tyrystorowymi przemiennikami częstotliwości, pozwalają na istotną poprawę wskaźników ekonomicznych i ekologicznych, a także na zwiększenie elastyczności procesów wytapiania w ich powiązaniu z formiernią.

Powyższe względy spowodowały wyraźne zwiększenie w ostatnich latach mocy właściwej. Np. w przypadku pieców o pojemności 4-8 t, moc właściwa zwiększyła się do 1000 kW/t. Największy wytwarzany obecnie piec ma pojemność 12 t i moc 9,5 MW. Zawartość pieca może zostać stopiona w ciągu 35 - 45 min.

Sprawność cieplna pieców tyglowych średniej częstotliwości może osiągnąć wartość 70%. Zakłada się przy tym przegrzewanie żeliwa do temperatury 1500^{o}C i stosunkowo nieduże straty cieplne, mniejsze niż w przypadkach pieców sieciowej częstotliwości dzięki szybszemu topieniu i większej elastyczności procesu. Odpowiada temu zużycie właściwe energii równe 553 kWh/t. Praktycznie zużycie to wynosi 550 - 750 kWh/t; uważa się, że przekroczenie wartości zużycia równej 600 kWh/t świadczy o niedoskonałości koordynacji pracy wytapialni i formierni.

Problemy ekologiczne procesów wytapiania żeliwa w piecach indukcyjnych

Emisja gazów i pyłów z pieców indukcyjnych tyglowych (PIT) jest bardzo mała, w porównaniu z emisją z żeliwiaków. Technologia wytapiania żeliwa w tych piecach wyklucza w zasadzie powstawanie strumieni gazowych.

Jeśli idzie o gazy, to problem ich emisji jest w przeważającej części przeniesiony z odlewni do elektrowni cieplnych. Tu powstają SO_2 i CO_2, co ilustruje poniższe zestawienie równoważnych ilości CO_2, tworzących się w elektrowni przy wytwarzaniu energii elektrycznej, potrzebnej do stopienia 1 t żeliwa w piecu indukcyjnym tyglowym (600 kWh), w żeliwiaku koksowym z gorącym dmuchem i w żeliwiaku gazowym:

<u>źródło tworzenia się CO_2 - ilość CO_2 w kg/Mg żeliwa</u>

elektrownia cieplna	- 560
żeliwiak koksowy z gorącym dmuchem	- 310

żeliwiak bezkoksowy - 180

Głównym źródłem pyłu są zanieczyszczenia materiałów wsadowych, a istotny udział ma tutaj nieoczyszczony zlom obiegowy.

W przypadku pieców indukcyjnych tyglowych sieciowej częstotliwości, w których stały wsad ładuje się do ciekłej zawartości pieca, może dochodzić do eksplozji w wyniku parowania wody, towarzyszącej wsadowi. Niebezpieczeństwo to można wyeliminować stosując podgrzewacze wsadu, opalane gazem lub olejem; stwarzają one jednak nowe źródła emisji z ich problemami.

Piece średniej częstotliwości, a szczególnie piece dużej mocy właściwej (rzędu 1000 kW/Mg), odznaczają się dużą szybkością topienia, wynoszącą zwykle 5 - 12 Mg/h dla zainstalowanej mocy odpowiednio 5 - 12 MW. Niebezpieczeństwo eksplozji nie istnieje, gdyż wsad jest ładowany do pustego pieca i poddawany suszeniu przez promieniowanie kąpieli o stopniowo podnoszącym się poziomie, w warunkach ciągłego ładowania.

Typowy układ zasypowo-odciągowy pieca PIT średniej częstotliwości składa się z wózka wsadowego, dozownika wibracyjnego i obudowy, izolującej całość akustycznie oraz z pokrywy pieca, okapu nad pokrywą i przegubowo się rozkładającego rurociągu, umożliwiającego odsysanie gazów z pieca w różnych etapach procesu. Cały wsad jest wprowadzany na zewnątrz układu do zasobnika załadowczego i wysypywany do pieca w sposób ciągły w miarę jego topienia się. Gazy są odciągane w pełnej ich ilości przez cały okres topienia. W czasie załadowywania pokrywa pieca jest podniesiona pod kątem 45^o. Okap nad pokrywą i okap wózka wsadowego tworzą kompletną obudowę pieca i urządzenia załadowczego, zapewniając 100-procentowy odciąg gazów (10000-15000 m^3/h dla pieca 12 t, 9 MW). Po całkowitym stopieniu wsadu wózek wsadowy wraca na stanowisko namiarowania. W czasie przegrzewania kąpieli piec pozostaje zamknięty pokrywą; natężenie odsysania gazów zmniejsza się w tym okresie do 5000 m^3/h w celu ograniczenia ewentualnego utleniania kąpieli.

Podczas opróżniania pieca pozostaje on nadal zamknięty pokrywą w sposób umożliwiający pełne odsysanie gazów; natężenie odsysania zwiększa się w tym okresie do 25000 m^3/h.

Zapylone gazy są zwykle kierowane do filtra tkaninowego. Przeciętny skład oczyszczonych gazów podaje tabela 3.1.

Tabela 3.1. Przeciętny skład oczyszczonych gazów, pochodzących z pieców indukcyjnych średniej częstotliwości

Składnik gazów	**Wartości rzeczywiste**
	mg/m^3
Pył	2-10
SO_2	50-100
NO_x	20-100
CO	100
Węglowodory	< 20

Praca PIT średniej częstotliwości jest głośna. Przy tym *poziom hałasu* jest zdominowany przez dźwięk, odpowiadający dwukrotnej wartości częstotliwości prądu.

Piece indukcyjne kanałowe

Piece indukcyjne kanałowe (PIK) służą do przegrzewania i przetrzymywania żeliwa szarego i wyjściowego do sferoidyzowania. Pojemność PIK zawiera się obecnie z przedziale 20 - 150 Mg, zazwyczaj stosuje się jednak piece o pojemności 30 - 40 Mg.

W nowoczesnych odlewniach stosuje się podwójne układy pieców PIT - PIK w celu ograniczenia do minimum zużycia energii na wytapianie żeliwa.

Szczególne, a przy tym coraz szersze, zastosowanie znajdują piece indukcyjne kanałowe, spełniające rolę *automatycznych pieców dozujących* instalowanych przy automatycznych liniach formierskich. Pozwalają ona na pełne wykorzystanie wydajności nowoczesnych formierni. Dodatkowymi korzyściami ze stosowania prawidłowo działających indukcyjnych urządzeń dozujących są:

- oszczędność robocizny,
- oszczędność metalu równoznaczna ze zwiększeniem uzysku dobrych odlewów, osiągana dzięki zmniejszeniu masy metalu krzepnącego w układzie wlewowym, rozpryskującego się przy odlewaniu klasycznym, przelewającego się z formy i zlewanego do różnych pojemników, dzięki zmniejszeniu o 30 - 50% udziału braków, a także zwiększeniu stopnia dokładności odlewów,
- poprawa warunków pracy przez zmniejszenie urazowości nielicznej wówczas obsługi,
- możliwość gromadzenia ciekłego metalu, co eliminuje szkodliwe oddziaływanie zaburzeń w pracy formierni na proces metalurgiczny i na odwrót,
- odlewanie metalu pozbawionego żużla,
- stała regulowana w pewnym przedziale, temperatura odlewania; ma to podstawowe znaczenie np. przy modyfikowaniu i sferoidyzowaniu żeliwa w formie odlewniczej,
- utrzymywanie stałego składu chemicznego metalu kierowanego do kolejnych form.

Wszystko to prowadzi, ostatecznie do zwiększenia uzysku dobrych odlewów, co się przekłada, w odpowiednim stopniu, na zmniejszenie obciążenia środowiska.
Piece indukcyjne dozujące buduje się obecnie w przedziale pojemności użytecznej od 2,4 do 20 Mg (pojemność całkowita: 2,9-25 Mg). Moc induktora wynosi 130-599 kW a moc doprowadzana przy przetrzymywaniu żeliwa - 70 - 210 kW.

Piece indukcyjne dozujące, jak w ogóle piece indukcyjne kanałowe, są urządzeniami cieplnymi typu zamkniętego. W związku z tym problematyka, dotycząca emisji gazów i pyłów ma tu mniejsze znaczenie niż w przypadku pieców indukcyjnych tyglowych. W nowych wytapialniach, zwłaszcza w odlewniach żeliwa sferoidalnego, instaluje się okapy odciągowe nad wszystkimi urządzeniami, przez które przeprowadza się ciekły metal po jego wylaniu z pieca topiącego, a więc nad: stanowiskiem do ewentualnego odsiarczania, piecami przetrzymującymi, stanowiskiem do sferoidyzowania i syfonami wlewowymi pieców dozujących.

3.1.1.3 Podstawowe rodzaje obróbki pozapiecowej ciekłego żeliwa

3.1.1.3.1 Wiadomości ogólne

Żeliwo jest materiałem stosowanym najczęściej do wykonywania odlewów. Dominującym stopem w produkcji odlewów pozostaje nadal żeliwo szare zwykłe i modyfikowane (około 2/3 produkowanego żeliwa).

Spośród różnych wytwarzanych obecnie rodzajów żeliwa na szczególne podkreślenie zasługuje żeliwo wysokojakościowe, którego właściwości kształtuje rodzaj eutektyki grafitowej z wydzieleniami grafitu kulkowego (żeliwo sferoidalne) bądź wermikularnego. Udział produkcji żeliwa sferoidalnego w ogólnej produkcji odlewów ze stopów żelaza jest obecnie traktowany jako niewątpliwy wskaźnik nowoczesności przemysłu odlewniczego w danym kraju. W krajach wysoko uprzemysłowionych produkcja odlewów z żeliwa sferoidalnego w stosunku do innych gatunków żeliwa jest znaczna i w tym zakresie obserwuje się tendencję wzrostową.

W takich krajach, jak np. Francja, Japonia, USA bądź Niemcy, stosunek produkcji odlewów z żeliwa sferoidalnego do ogólnej masy produkowanego żeliwa (wskaźnik nowoczesności odlewnictwa) wynosi 45-50%. Natomiast w Polsce wskaźnik ten jest niekorzystny i wynosi ok. 15% (wg stanu na 2002 r.). Udział odlewów z żeliwa sferoidalnego w przemyśle krajowym wykazuje jednak od kilku lat tendencję wzrostową. Kulkowa postać grafitu, występującego w żeliwie sferoidalnym, sprzyja dalszemu zwiększaniu wskaźników właściwości

mechanicznych żeliwa poprzez korzystną zmianę osnowy metalowej w wyniku odpowiedniej obróbki cieplnej. W ten sposób rozwija się ostatnio żeliwo sferoidalne o osnowie ausferrytycznej (ADI), konkurujące swymi wszechstronnymi właściwościami użytkowymi ze stalą i staliwem.

Poniżej zostaną wskazane najistotniejsze zagadnienia i kierunki związane z nowoczesnymi technologiami pozapiecowego przygotowywania ciekłego żeliwa do wytwarzania odlewów z ww. gatunków żeliwa wysokojakościowego niestopowego: *szarego modyfikowanego, sferoidalnego i żeliwa z grafitem wermikularnym*. Z technologiami tymi wiążą się, zarówno bezpośrednio jak i pośrednio, problemy ekologiczne. *Zabiegi sferoidyzowania* należą bowiem w wielu przypadkach do procesów niezbyt przyjaznych otoczeniu, wymagają zatem odpowiednich ulepszeń. Z drugiej strony, ulepszenia modernizacyjne technologii sprzyjają zwiększeniu uzysku ciekłego metalu, co nie pozostaje bez wpływu na zużycie energii, odniesione do jednostki masy odlewów dobrych, a więc i na obciążenie ekologiczne środowiska.

3.1.1.3.2 Otrzymywanie żeliwa modyfikowanego

Spośród różnych gatunków żeliwa, żeliwo wysokojakościowe modyfikowane ma obecnie w kraju wysoką i ugruntowaną pozycję pod względem masy produkowanych odlewów. Zabieg modyfikowania polega na wprowadzeniu do ciekłego żeliwa o odpowiednim składzie chemicznym i odpowiedniej temperaturze niewielkich ilości substancji zwanych modyfikatorami, w wyniku czego poprawiają się właściwości fizykochemiczne ciekłego metalu oraz struktura i właściwości otrzymywanych z niego odlewów

Charakterystyczną cechą wsadu metalowego na żeliwo modyfikowane jest znaczny w nim udział złomu stalowego. Stąd bardzo istotnym elementem w produkcji żeliwa modyfikowanego jest zapewnienie dostaw odpowiedniej ilości i jakości złomu stalowego. Można oszacować, iż w największej masie produkowanego żeliwa szarego na poziomie ok. 600 tys. Mg rocznie, około 70% stanowi żeliwo modyfikowane, pozostałe 30% to żeliwo zwykłe szare, tzw. "handlowe".

3.1.1.3.3 Otrzymywanie żeliwa sferoidalnego

Bardzo istotnym zagadnieniem w procesie wytwarzania odlewów z żeliwa sferoidalnego jest prawidłowy dobór składu chemicznego żeliwa wyjściowego, który musi zapewnić uzyskanie postaci kulkowej grafitu oraz odpowiedniej osnowy metalowej w zależności od gatunku żeliwa. Podstawową rolę w procesie krystalizacji grafitu kulkowego odgrywają pierwiastki powierzchniowo aktywne w żeliwie, a szczególnie *siarka i gazy (tlen, wodór*). Dlatego w końcowym etapie procesu należy zmniejszyć np. zawartość S w żeliwie poniżej 0,01-0,02 %. Dopiero po zmniejszeniu jej zawartości do wymaganego poziomu żeliwo jest wzbogacane w pierwiastek sferoidyzujący do wymaganej zawartości, np. w żeliwie sferoidalnym zaleca się zawartość Mg > 0,04 %. Drugim istotnym elementem tej technologii jest wprowadzenie do żeliwa odpowiedniej dawki sferoidyzatora w postaci: stopu cerowego (w warunkach produkcyjnych nie wykorzystuje się samego ceru) lub magnezu bądź jego stopów oraz przeprowadzenie odpowiedniego zabiegu modyfikowania grafityzującego.

Spośród dwóch tych metod wytwarzania żeliwa sferoidalnego zasadnicze znaczenie w skali przemysłowej znajduje obecnie metoda opierająca się o wprowadzanie do ciekłego żeliwa magnezu i jego stopów. Przy znacznych walorach ekonomicznych tej metody wprowadzanie magnezu powoduje duże trudności natury ekologicznej, wywołane małymi wartościami temperatur topnienia (650°C) i wrzenia (1107°C) magnezu; przy przeciętnej temperaturze ciekłego żeliwa w końcowym okresie jego obróbki ciśnienie pary magnezu wynosi ok. 4,5 at. Poza tym gęstość Mg wynosi zaledwie 1,74 g/cm^3, tj. ok. 4 razy mniej niż gęstość ciekłego żeliwa, wskutek czego magnez wypływa z łatwością na powierzchnię obrabianej kąpieli, tworząc drobną, rozproszoną mieszankę tlenków i siarczków Mg, trudno przechodząca do żużla. Dodany do ciekłego żeliwa magnez z łatwością się topi, paruje i zapala, co jest związa-

ne z niekorzystnymi i niebezpiecznymi dla obsługi zjawiskami dynamicznymi i optycznymi (burzenie się kąpieli, oślepiający blask).

Najbardziej odpowiedzialną i najtrudniejszą operacją jest wprowadzanie magnezu lub jego stopów do odpowiednio przygotowanego ciekłego żeliwa.

Z analizy różnych czynników, wpływających na skuteczność poszczególnych metod sferoidyzowania wynika, że najkorzystniejsza jest metoda INMOLD. Wymaga ona jednak bardzo małej zawartości siarki w metalu wyjściowym, który musi być wytapiany w piecu indukcyjnym albo poddawany odsiarczaniu poza piecem; dlatego metoda ta nie jest zbytnio rozpowszechniana, w przeciwieństwie do metody PE, którą cechuje przede wszystkim uniwersalność, jeśli idzie o technologię wytapiania żeliwa wyjściowego, a także nieszkodliwość dla środowiska.

3.1.1.3.4 Otrzymywanie żeliwa z grafitem wermikularnym

Do otrzymywania w warunkach przemysłowych odlewów z *żeliwa z grafitem wermikularnym* można stosować następujące metody:

a) obróbkę ciekłego żeliwa specjalnymi zaprawami, zawierającymi pierwiastki sprzyjające sferoidyzacji grafitu (Mg,Ce), jak i pierwiastki utrudniające ją (tzw. *desferoidyzatory*: Ca, Ti, Al),

b) obróbkę ciekłego żeliwa pierwiastkami ziem rzadkich, głównie miszmetalem,

c) obróbkę ciekłego żeliwa regulowaną ilością magnezu lub zaprawy magnezowej.

Do produkcji odlewów z omawianego żeliwa stosuje się najczęściej metody b i c.

3.1.1.3.5 Odsiarczanie ciekłego żeliwa

Żeliwo, wytapiane w żeliwiaku "kwaśnym" (tj. pracującym z zastosowaniem żużla kwaśnego) zawiera zwykle 0,08 - 0,12 % S. Mniejszą zawartość siarki można zapewnić żeliwu wytapianemu w żeliwiaku zasadowym (tj. pracującym z zastosowaniem żużla zasadowego), bądź w żeliwiaku bezkoksowym. Pierwszy ze wspomnianych powyżej rodzajów żeliwiaków został, praktycznie, całkowicie wycofany z odlewni z uwagi na jego dużą energochłonność i dużą ilość odpadu metalurgicznego w postaci żużla. Drugi rodzaj jest perspektywicznym, powoli jednak wdrażanym typem pieca; problem siarki w żeliwie wytapianym w takim piecu przestaje być istotny, podobnie jak to ma miejsce w przypadku wytapiania żeliwa w piecu indukcyjnym.

Od żeliwa wyjściowego do zabiegu sferoidyzowania wymaga się jak najmniejszej zawartości siarki. Proces odsiarczania ciekłego żeliwa polega na dodawaniu do niego pierwiastków, tworzących siarczki trwalsze niż FeS i MnS, praktycznie nierozpuszczalne w metalu, a rozpuszczalne w żużlu. Obecnie do odsiarczania stosuje się CaC_2 (karbid) i CaO (wapno palone).

Odsiarczanie ciekłego żeliwa przeprowadza się metodami obróbki pozapiecowej. Należą do nich metody oparte na przedmuchiwaniu kąpieli metalowej gazami, Gaz obojętny, zwykle azot, jest wprowadzany do kąpieli za pomocą odpowiedniej lancy, bądź przez porowatą kształtkę ceramiczną, umieszczaną w dnie kadzi zabiegowej. Szczególnie chętnie jest stosowana ta druga metoda. Metodę tą stosuje się też do przepływowego (półciągłego) odsiarczania żeliwa. Środkiem odsiarczającym jest karbid (72 - 80% CaC_2, reszta CaO), wprowadzany do kąpieli w ilości ok. 1 % w sposób ciągły; zużycie karbidu powinno być możliwie najmniejsze z uwagi na znaczną ilość powstającego wówczas żużla. Dzięki intensywnemu mieszaniu kąpieli i małemu spadkowi temperatury osiąga się duży stopień odsiarczania.

Ostatnim osiągnięciem w dziedzinie metod obróbki pozapiecowej ciekłego żeliwa (a także stali) jest metoda HTM (High Turbulence Mixing - mieszanie o dużej turbulencji), w której wykorzystuje się siły elektrodynamiczne, występujące w ciekłym żeliwie objętym działaniem pola magnetycznego. Charakter powstających w kąpieli sił elektrodynamicznych

powoduje wznoszenie się kąpieli przy ścianach reaktora i jego wciąganie w dół w strefie środkowej; owocuje to bardzo intensywnym mieszaniem kąpieli. Dzięki temu można wprowadzać do kąpieli substancje ziarniste o małej gęstości. Reaktor HTM jest również stosowany w wersji z pojedynczym induktorem (HTM-Uno). Wersja HTM-Uno jest przewidywana do obróbki metalu w ilości do 500 kg, natomiast wersja HTM-Duo - w ilości do 2 Mg.

Karbid jest obecnie podstawowym reagentem odsiarczającym karbid, wykazuje on bowiem dużą zdolność odsiarczającą (4-krotnie większą niż CaO), co zapewnia krótki czas zabiegu i mały spadek temperatury metalu; stosowanie karbidu jest jednak związane z ujemnymi konsekwencjami dla środowiska: nie przereagowany karbid może bowiem reagować z wodą tworząc gaz palny acetylen C_2H_2, nadając cechę zapalności żużlowi pokarbidycznemu. Stosowanie wapna palonego CaO napotykało dotychczas trudności z powodu znacznie mniejszej skuteczności odsiarczania. Okazuje się jednak, że dzięki intensywnemu mieszaniu, zachodzącemu w reaktorze HTM-Duo osiąga się dużą sprawność odsiarczania, stosując drobnoziarnisty CaO: już po 4 minutach osiąga się stopień odsiarczania równy 70%, przy zużyciu 2% CaO; w reaktorze HTM-Uno uzyskuje się w tych samych warunkach stopień odsiarczania rzędu 60%.Należy wreszcie zaznaczyć, że w reaktorze HTM przeprowadza się również nawęglanie żeliwa oraz przeprowadza zabieg sferoidyzowania, rafinowania stali i stopów metali nieżelaznych a także przetwarza pyły z żeliwiaka i z oddziałów oczyszczania odlewów.

3.1.1.4 Podsumowanie

3.1.1.4.1 Piece i stosowane technologie wytapiania żeliwa

Przy analizie aktualnego stanu i światowych tendencji rozwojowych w zakresie technologii otrzymywania ciekłego żeliwa w zakresie problemów związanych z ochroną środowiska należy zwrócic uwage na następujące zagadnienia:

a. Największe ilości gazów, najbardziej przy tym zanieczyszczonych (pyłem, SO_2, CO, CO_2), emitują żeliwiaki koksowe; wielkość emisji zmniejsza się wraz ze zmniejszaniem się zużycia koksu; w tym kierunku na emisję gazów wpływa zatem podgrzewanie dmuchu oraz jego dotlenianie bądź stosowanie dwurzędowego systemu dysz.
b. Opracowane w ostatnich latach i normalnie już wdrażane do wytapialni urządzenia odpylające (suche; cyklony, filtry workowe i elektrostatyczne oraz wilgotne: ze zwężkami Venturi'ego, płuczki wodne, dezintegratory) zostały rozwinięte w stopniu, zapewniającym całkowite spełnianie wymagań ekologicznych.
c. Opracowano i wdrożono metody zwrotnego kierowania do żeliwiaków pyłów, osadzonych w cyklonach (pył gruby, zawierający głównie koksik) i w komorach filtracyjnych (pył drobny, zawierający m.in. ZnO i PbO); pył ten jest częściowo spalany, częściowo przechodzi do żużla, a częściowo (pył zawierający ZnO i PbO przechodzi sukcesywnie do komór filtracyjnych, wzbogacając się w tlenki metali ciężkich, aż do zawartości czyniących pył zdatnym do obróbki metalurgicznej w hutach metali nieżelaznych.
d. Koszty inwestycyjne i operacyjne odpylaczy mokrych są większe niż w przypadku stosowania odpylaczy suchych. Bardziej kłopotliwe jest także zagospodarowywanie szlamu - produktu odpadowego tych urządzeń - w porównaniu z pyłem ziarnistym.
e. W przypadku stosowania filtrów workowych w pewnych okolicznościach (duża zawartość pyłu, obecność chloru, atmosfera utleniająca, temperatura rzędu 300 - 700^oC)

mogą powstawać rakotwórcze dioksyny i furany (odcinek w instalacji odpylającej między rekuperatorem a komorą filtracyjną).

f. W pewnych okolicznościach opłaca się wykorzystywać żeliwiak do przetwarzania w nim pyłów poregeneracyjnych z mas formierskich i rdzeniowych na żużel, który po granulowaniu jest łatwo transportować; dotyczy to również powstających na stanowiskach oczyszczania i wykańczania odlewów pyłów oraz wiórów żeliwnych;.

g. Oczyszczanie z pyłu spalin, emitowanych z pieców bębnowych obrotowych, odbywa się zwykle, po ich ochłodzeniu, w komorach filtracyjnych,

h. Głównym źródłem pyłu, emitowanego z indukcyjnych pieców tyglowych są zanieczyszczenia materiałów wsadowych, a szczególnie złomu obiegowego. Podstawowy problem emisji szkodliwych gazów (SO_2, CO, CO_2) jest przeniesiony z odlewni do elektrowni cieplnych.

i. Ostatnio zwraca się uwagę nie tylko na takie szkodliwe składniki gazów opuszczających piece odlewnicze, jak: CO, SO_2 i ew. NO_x, lecz również na zawartość w nich CO_2 (z uwagi na tzw. efekt cieplarniany).

j. Do odciągania zapylonych gazów stosuje się pierścieniowe czerpnie, opasujące pokrywy (piece sieciowej częstotliwości), bądź specjalne okapy, stanowiące elementy systemów załadowczo-odciągowych (piece średniej częstotliwości). Gazy, emitowane z pieców indukcyjnych, są kierowane na ogół do komór filtracyjnych.

3.1.1.4.2. Obróbka pozapiecowa ciekłego żeliwa

Uzyskanie optymalnych właściwości odlewów, wykonywanych z wysokojakościowych rodzajów żeliwa, przeanalizowanych powyżej, wymaga zarówno prawidłowego przeprowadzenia odpowiednich pozapiecowych zabiegów metalurgicznych (modyfikowania, sferoidyzowania, wermikularyzowania), jak i możliwie daleko idącego przygotowania ciekłego metalu wyjściowego do tych zabiegów, a przede wszystkim zabiegu odsiarczania żeliwa, wytapianego w żeliwiakach koksowych, w przypadku przeznaczenia go na odlewy z żeliwa z grafitem kulkowym lub wermikularnym. W tych wszystkich obszarach technicznych zarysowują się odpowiednie kierunki rozwoju.

3.1.2 Porównanie technologii stosowanych w kraju z poziomem światowym

3.1.2.1 Piece i stosowane technologie wytapiania żeliwa

a) Żeliwiaki

- Czynne w ok. 100 odlewniach krajowych żeliwiaki to przede wszystkim piece o średnicy 700-900 mm; największą jednostką jest żeliwiak o średnicy 1400 mm. W coraz większej liczbie przypadków żeliwiaki są wyposażane w instalację do podgrzewania dmuchu, niemal wyłącznie z wykorzystaniem ciepła gazów odlotowych, bądź w instalacje pozwalające na dotlenianie dmuchu, zwykle przez wdmuchiwanie tlenu przez lance wprowadzane do dysz żeliwiakowych; źródłem tlenu jest wyłącznie tlen ciekły. W jednej odlewni jest czynny żeliwiak kampanijny z gorącym i dotlenianym dmuchem; jest to żeliwiak o nieporównywalnie (w stosunku do zachodnich żeliwiaków kampanijnych) małej średnicy. Spośród omówionych powyżej typów żeliwiaków, będących przejawem nowoczesnej myśli technicznej ostatnich 30 lat, brak jest u nas żeliwiaków dwurzędowych, ale ten typ pieca nie znalazł szerszego uznania w odlewnictwie światowym. Nie znalazł też miejsca w żadnej z krajowych odlewni żeliwiak bezkoksowy, choć jego popularność w świecie, a szczególnie w Europie, stale się powiększa. Nie należy się temu dziwić, zważywszy na narastające trudności w zaopatrywaniu odlewni w dobry koks odlewniczy oraz na problemy ekologiczne. Ogólnie jednak stwierdzić należy, że w zakresie instalacji żeliwiakowych odlewnictwo polskie nie odbiega w licznych przypadkach od poziomu światowego.

- Zastosowanie techniki komputerowej do sterowania procesem żeliwiakowym ogranicza się, w niezbyt jednak licznych przypadkach, do wyznaczania namiarów wsadowych, do prowadzenia ogólnej gospodarki materiałowej oraz sterowania instalacjami oczyszczania gazów żeliwiakowych; brak jest systemu komputerowego sterowania procesem żeliwiakowym; system taki jednak nie jest na razie standardem światowym, nawet bowiem odlewnicy USA, mimo ponad 10 lat pracy nad skutecznym i uniwersalnym modelem, nie osiągnęli dotychczas pełnego sukcesu.

- Duży postęp osiągnięto w zakresie ochrony środowiska odlewni żeliwa przed emisjami szkodliwych pyłów i gazów żeliwiakowych; w kilku odlewniach wyposażono żeliwiaki w nowoczesne instalacje do oczyszczania spalin, powstających po dopaleniu gazów żeliwiakowych, przy czym najczęściej zastosowano metody oczyszczania suchego. Jednak w tym zakresie krajowe odlewnie odbiegają od poziomu światowego, głównie ze względu na stosunkowo małą liczbę żeliwiaków posiadających skuteczne systemy oczyszczania gazów odlotowych.

b. Piece bębnowe obrotowe z palnikami tlenowo-paliwowymi

- Piece tego typu stosowane są jeszcze sporadycznie w polskich odlewniach (w 2 odlewniach). Przy zainstalowaniu odpowiednich systemów oczyszczania gazów odlotowych, np. filtrów workowych piece te spełniają wymagania w zakresie ochrony środowiska. Przy prawidłowo prowadzonym procesie topienia gazy opuszczające piec nie powinny zawierać innych składników poza CO_2 i H_2O. Przeciętna emisja pyłu z pieca bębnowego może być na poziomie 0,80 - 1,5 kg/Mg. Piece obrotowe bębnowe można stosować zarówno do wytapiania żeliwa szarego, jak i żeliwa wyjściowego do wytwarzania odlewów z żeliwa sferoidalnego bądź ciągliwego i żeliwa stopowego. Piece bębnowe obrotowe wykazują w porównaniu z żeliwiakami szereg zalet. Wadą tych pieców jest: okresowy charakter pracy; małą wydajność godzinową. Wady te łagodzi się jednak, instalując kilka pieców tego rodzaju.

c. Piece indukcyjne

- W zakresie instalowania w krajowych odlewniach żeliwa pieców indukcyjnych zaznaczył się ostatnio największy rozwój ilościowy i jakościowy. Jest to zgodne z niepisaną regułą, w myśl której przy małym godzinowym zapotrzebowaniu odlewni na ciekłe żeliwo (w USA stanowi to poniżej 5 Mg/h) racjonalne jest instalowanie pieców indukcyjnych (tyglowych), przy dużym (w USA powyżej 25Mg/h) żeliwiaki (w Europie owe granice są znacznie mniejsze); przy zapotrzebowaniu pośrednim – oba rodzaje pieców są jednakowo uprzywilejowane.

- Przy nowoczesnych, automatycznych liniach formowania i odlewania zainstalowano w kilku odlewniach kanałowe piece dozujące, niemal wyłącznie do przetrzymywania i porcjowego odlewania do form żeliwa sferoidyzowanego; są to z reguły piece z ochronną atmosferą gazu obojętnego nad kąpielą.

- Nowo instalowane piece indukcyjne tyglowe są wyposażane w urządzenia do odciągania gazów i pyłu.

- Piece indukcyjne tyglowe topiące, jak i piece kanałowe dozujące są sterowane za pomocą programów komputerowych.

- Wytapialnie elektryczne indukcyjne pracujące w krajowych odlewniach żeliwa w jeszcze większym stopniu niż wytapialnie żeliwiakowe są porównywalne swym poziomem z odpowiednimi jednostkami w gospodarkach zachodnich.

3.1.2.2 Obróbka pozapiecowa

a. *Modyfikowanie*

Zabieg modyfikowania należy do zwykłych procedur technologicznych przy wytwarzaniu odlewów części maszyn i urządzeń z najwyższych gatunków żeliwa szarego i w tym zakresie krajowe odlewnie żeliwa spełniają wszelkie światowe wymagania jakościowe, stosując najnowocześniejsze metody technologiczne i wykorzystując najkorzystniejsze, dla danego rodzaju produkowanych odlewów, modyfikatory dostępne na rynku.

b. *Sferoidyzowanie i wemikularyzowanie*

Podobnie, jak w przypadku zabiegów modyfikowania, do obróbki ciekłego metalu, mającej na celu uzyskiwanie odlewów z żeliwa szarego z grafitem kulkowym bądź wermikularnym, wykorzystuje się w krajowych odlewniach żeliwa najnowsze osiągnięcia w tej dziedzinie, słusznie preferując metodę przewodu elastycznego, której niewątpliwą zaletą jest wszechstronność, pozwala bowiem, za pomocą tej samej instalacji, wytwarzać żeliwo sferoidalne i wermikularne, a także przetwarzać żeliwo wyjściowe o różnej zawartości siarki (a więc z pieca indukcyjnego lub z żeliwiaka koksowego).

c. *Odsiarczanie ciekłego żeliwa*

Brak jest w kraju urządzenia typu reaktora HTM do wspomagania procesu pozapiecowego odsiarczania żeliwa wyjściowego do zabiegów sferoidyzowania bądź wermikularyzowania. Kadzie zabiegowe z porowatymi kształtkami w dnie były swego czasu stosowane w kilku odlewniach, technika ta została jednak zarzucona; z reguły bowiem do wytwarzania odlewów z żeliwa sferoidalnego stosuje się żeliwo wyjściowe, pochodzące z pieców indukcyjnych tyglowych albo z procesów dupleks: żeliwiak – piec indukcyjny (kanałowy, rzadziej tyglowy).

3.1.3 Identyfikacja istotnych aspektów środowiskowych

3.1.3.1 Żeliwiaki

Gazy emitowane z żeliwiaków są zanieczyszczone pyłami i szkodliwymi składnikami gazowymi. Składnikami szkodliwymi tych gazów są: SO_2, CO, NO_x, CO_2, LZO. Dodatkowo, w niektórych przypadkach, mogą pojawić się dioksyny i furany (ich obecność w gazach zależy od zanieczyszczeń obecnych w złomie, zawartości NaCl w koksie, występowania sprzyjającego tego typu syntezie zakresu temperatury przy dostatecznie długim czasie przebywania w niej gazów odlotowych, oraz od zawartości tlenu w gazach).

Stałymi odpadami w procesie żeliwiakowym są pył i żużel. Wartość emisji pyłu z żeliwiaka wynosi 8 – 10 kg/Mg ciekłego żeliwa. Duży udział w pyle mają cząstki koksu (tzw. koksik). W pyle mogą wystąpić składniki szkodliwe (w ograniczonych ilościach) np. tlenki ZnO i PbO, pochodzące ze stosowania złomu ocynkowanego (złom motoryzacyjny lub z artykułów gospodarstwa domowego).

3.1.3.2 Piece obrotowe bębnowe

W przeciwieństwie do żeliwiaków (koksowych) piece obrotowe emitują w gazach odlotowych małą ilość pyłów, wynoszącą 0,8-1,0 kg/Mg żeliwa. Filtry tkaninowe pozwalają ograniczyć emisję pyłu z takich pieców do atmosfery do poziomu poniżej 6 mg/m^3. Spaliny z pieca obrotowego składają się głównie z CO_2 i H_2O; inne ewentualne składniki (H_2 i CO) ulegają całkowitemu spaleniu w dopływającym z tyłu piecu tzw. fałszywym powietrzu. Mogą być natomiast wydzielane tlenki azotu NO_x, jednak za pomocą odpowiedniej regulacji można zmniejszyć ich zwartość w spalinach do poziomu poniżej 500 mg/m^3 (bądź 2 kg/Mg).

3.1.3.3 Piece indukcyjne

Emisja gazów i pyłów z pieców indukcyjnych jest bardzo mała w porównaniu z emisją z żeliwiaków. Głównym źródłem pyłu są zanieczyszczenia zawarte w materiałach wsadowych, a szczególnie nieoczyszczony złom obiegowy. Technologia wytapiania żeliwa w tych piecach wyklucza w zasadzie powstawanie strumieni gazowych.

Jeśli idzie o gazy, to problem ich emisji jest w przeważającej części przeniesiony z odlewni do elektrowni cieplnych. Tu powstają gazy SO_2 i CO_2.

3.1.3.4 Obróbka pozapiecowa

Modyfikowanie

Zabieg modyfikowania nie niesie z sobą żadnych zagrożeń ekologicznych (pod warunkiem oddzielenia frakcji pyłowej od frakcji ziarnistej modyfikatora).

Sferoidyzowanie i wermikularyzowanie

Zabieg sferoidyzowania za pomocą ceru i jego stopów nie niesie z sobą żadnych zagrożeń ekologicznych. Natomiast wprowadzanie do ciekłego żeliwa magnezu lub jego stopów jest związane z efektem pirotechnicznym (skutek silnego burzenia się kąpieli od wpływem znacznego ciśnienia par magnezu tworzących się w obrabianym metalu) i oślepiającym blaskiem (skutek gwałtownego utleniania się pary magnezu w otaczającym powietrzu). Występuje emisja MgO w postaci pyłu.

Odsiarczanie ciekłego żeliwa

Odsiarczaniu żeliwa przy zastosowaniu karbidu może towarzyszyć wydzielanie się gazu palnego, acetylenu C_2H_2. Reakcji tej sprzyja wysoka temperatura oraz duży stopień rozdrobnienia karbidu; dotyczy ona zarówno operacji z karbidem przed przeprowadzeniem zabiegu, jak i resztkowego, nie przereagowanego karbidu zawartego ew. w żużlu pokarbidycznym. Wymaga to zachowywania odpowiednich środków ostrożności przy stosowaniu karbidu jako środka odsiarczającego. Wdychany karbid w postaci pyłu jest szkodliwy dla organizmu, powodując podrażnienie płuc. Wydziela się przy tym wyraźny, nieprzyjemny zapach. Ponieważ zaś acetylen jest gazem bezwonnym, wspomniany efekt mogą powodować śladowe domieszki emitowanych gazów, takich jak fosforowodór, arsenowodór bądź siarczki.

Stosowanie CaO (pozbawionego frakcji pyłowej) jest pod tym względem bezproblemowe.

3.1.4 Charakterystyka emisji do poszczególnych komponentów środowiska

3.1.4.1 Żeliwiaki

Ilość pyłu powstającego w żeliwiaku koksowym wynosi 4 - 15 kg/t wytapianego żeliwa (czyli 6 - 30 kg/t dobrych odlewów) i jest tym większa im większe jest zużycie koksu (zależy więc od typu pieca i od rodzaju procesu żeliwiakowego), im gorsza jest jakość stosowanego koksu, im krótsza jest jednorazowa kampania pieca oraz im większy jest stopień zanieczyszczenia wsadu metalowego. W skład tego pyłu mogłyby również wchodzić bardzo drobne cząstki (0,01-3 μm) ZnO i PbO, gdyby we wsadzie metalowym stosowano większe ilości złomu stalowego w postaci blachy ocynkowanej (np. karoseryjnej). W gazach, oczyszczonych w filtrze np. tkaninowym, zawartość pyłu zmniejsza się 400-500-krotnie.

Skład chemiczny i ziarnowy pyłów zależy od miejsca ich powstawania. Pył żeliwiakowy można pod tym względem podzielić na pył gruby (z wstępnego odpylania, np. w cyklonach) i pył drobny (np. zatrzymywany przez odpylacze suche); pierwszy zawiera większe ilości tlenków żelaza (przeciętnie 25% Fe_3O_4) i węgla 20-25% C, przy ok. 30% SiO_2), podczas gdy drugi – ok. 4% Fe_3O_4 i ok. 1% C przy ok. 60% SiO_2. Pyły tego rodzaju nie zawierają

nieutlenionego żelaza. Przeciętne wymiary ziaren pyłu z wstępnego oczyszczania gazu żeliwiakowego wynoszą 100-460 μm.

Ilość gazów żeliwiakowych, przeprowadzanych przez instalacje dopalania, podgrzewania dmuchu i oczyszczania od pyłu zależy od różnych czynników, głównie od ilości dmuchu i zużycia koksu oraz ilości powietrza stosowanego do dopalania gazów. Wartość emisji CO w niedopalonym gazie odlotowym wynosi ok. 50 -100 kg/Mg żeliwa.
Problematyka ekologiczna obejmuje coraz częściej *emisję* CO_2 do atmosfery (wiąże się to z tzw. efektem cieplarnianym).

Wielkość emisji siarki z żeliwiaka jest głównie funkcją zużycia i jakości koksu. Siarka koksu rozkłada się w różnych proporcjach pomiędzy żeliwo, żużel i gazy żeliwiakowe. Na ogół jej udział w gazach odlotowych zwiększa się proporcjonalnie do zwiększenia zużycia koksu. Występuje w nich zazwyczaj w postaci SO_2, a zawartość tego tlenku wynosi przeciętnie ok. 350 g/Mg.

Z nielicznych przeprowadzonych dotychczas badań *emisji* NO_x wynika, że tlenki te dotychczas nie były mierzone w sposób systematyczny, gdyż wszelkie pomiary wykazują bardzo małe stężenie tych tlenków w gazach żeliwiakowych.

3.1.4.2 Piece bębnowe obrotowe

Przeciętna emisja pyłu z pieca bębnowego na poziomie mieści się w przedziale 0,80-1,5 kg/Mg; pył ten odznacza się bardzo małymi rozmiarami cząstek: 5,4 - 8,9 μm, średnio 7,3 μm. Gazy opuszczające piec nie powinny, przy prawidłowo nastawionym palniku zawierać innych składników poza CO_2 i H_2O. Spalanie gazu ziemnego może wprowadzić do gazów również niewielkie ilości tlenków azotu NO_x. Przy odpowiednim doborze palnika zawartość NO_x nie przekracza 2kg/Mg.

3.1.4.3 Piece indukcyjne

Emisja gazów i pyłów z pieców indukcyjnych tyglowych jest bardzo mała, w porównaniu z emisją z żeliwiaków. Głównym źródłem pyłu są zanieczyszczenia materiałów wsadowych, a istotny udział ma tutaj nie oczyszczony złom obiegowy. Skład chemiczny pyłu (tabela 3.2) różni się istotnie od składu pyłu żeliwiakowego większą zawartością tlenków żelaza przy mniejszej zawartości SiO_2 i C. Większa jest w nim też frakcja drobnoziarnista.

Największa ilość pyłu jest unoszona w gazach odlotowych w okresie ładowania pieca; w okresie topienia zanieczyszczenie atmosfery jest znacznie słabsze, w czasie spustu wydziela się obficie dym. Wskazuje to na konieczność wychwytywania gazów i pyłów również w przypadku indukcyjnych pieców tyglowych i kierowania ich do odpowiednich urządzeń oczyszczających (zwykle filtrów workowych).

Tabela 3.2. Charakterystyka pyłu i gazów emitowanych z pieca indukcyjnego tyglowego

Wyszczególnienie	Dane liczbowe	
Emisja pyłu	0.06-1 kg/t żeliwa	
Skład chemiczny pyłu	Tlenki żelaza (FeO, Fe_3O_4 i in.)	30-50 %
	SiO_2 (też w postaci Fe_2SiO_4)	ok. 25 %
	C (w tym straty prażenia)	3-10 %
	MnO	do 5 %
	Al_2O_3, MgO	3-10 %
	CaO	< 1 %
	ZnO	do 5 %
	PbO i inne metale ciężkie	< 1 %

Wyszczególnienie	Dane liczbowe
Ziarnistość	< 10 μm do 5 % < 20 μm 50-70 % ZnO 0,01-3 μm
Gazy odlotowe	13000 m^3/h – dla pieca o poj. 22 t, wydajności 8 t/h, przy braku powietrza „dzikiego”; 20000 m^3/h – w przypadku wsadu zaoliwionego i silniejszego zasysania (większy okap) CO_2 – nieznaczna ilość
Hałas (w odległości 1 m od pieca)	PIT sieciowej częstotliwości 80 dB PIT średniej częstotliwości 85 dB
Ilość żużla	1-3 %
Skład chemiczny żużla	40-70 % SiO_2, 10-30 % FeO, 2-10 % MnO, do 3 % CaO, 2-15 % Al_2O_3, do 3 % MgO; inne tlenki poniżej 1 %

3.1.5 Odpady i ich zagospodarowanie

3.1.5.1 Pył żeliwiakowy

Pył żeliwiakowy jest magazynowany w odpowiednich silosach a następnie transportowany na składowisko poza zakładem. Koszty deponowania pyłów stają się coraz większe, obciążając w coraz istotniejszym stopniu koszty wytwarzania odlewów, co znajduje swe odbicie w wynikach walki konkurencyjnej na rynku odlewów. Istnieją dwie możliwości wprowadzania pyłu do żeliwiaka:

a) wprowadzanie pyłu w postaci brykietów wraz ze wsadem metalowym,
b) wdmuchiwanie lub inżekcyjne zasysanie pyłu bezpośrednio do strefy spalania żeliwiaka przez jedną lub kilka dysz powietrznych.

Głównym celem wprowadzania pyłu żeliwiakowego do procesu żeliwiakowego jest uniknięcie uciążliwego i kosztownego transportu pyłu na składowisko i deponowania go tam. Przeważająca część pyłu zostaje w żeliwiaku przetworzona na łatwy w operowaniu żużel granulowany, znajdujący nabywców w drogownictwie i budownictwie. Znaczna część węgla zawartego w pyle zostaje spalona, a ciepło reakcji spalania przyczyni się do ograniczenia niezbędnego zwiększenia zużycia koksu na przeprowadzenie w stan żużla (ożużlenie) części pyłu (tlenków różnego rodzaju – w żeliwiaku panuje bowiem atmosfera utleniająca w stosunku do Fe, Si, Mn itp.). Część węgla zawartego w pyle żeliwiakowym, może zostać wykorzystana do redukcji obecnych tam tlenków żelaza, dzięki czemu możliwy będzie częściowy odzysk żelaza.

Poza pyłem żeliwiakowym możliwe jest wykorzystanie w mieszankach, poddawanych brykietowaniu bądź bezpośredniemu wdmuchiwaniu do żeliwiaków, pyłu powstającego na stanowiskach śrutowego oczyszczania odlewów oraz wykańczania odlewów. Podstawowym składnikiem chemicznym tych pyłów jest żelazo metaliczne, które w znacznym stopniu może być odzyskiwane w procesie żeliwiakowym. Istnieje szczególnie możliwość zastosowania pyłu z oczyszczalni jako spoiwa przy wytwarzaniu brykietów z pyłu żeliwiakowego.

Stosowanie pyłu w postaci brykietów wymaga badań optymalizacyjnych w celu określenia najkorzystniejszych składów mieszanek pyłu różnego rodzaju, doboru spoiwa, ciśnienia prasowania itp. warunków technologicznych, natomiast stosowanie pyłu luzem wymaga także doboru składu mieszanek m.in. z punktu widzenia uzyskania niezbędnej “płynności” strumienia pyłowo-powietrznego.

Obecnie są za granicą prowadzone próby wprowadzania do strefy spalania żeliwiaka pyłów, powstających na stanowiskach przygotowywania mas formierskich, wiązanych za pomocą żywic syntetycznych, a szczególnie na stanowiskach regeneracji zużytych mas formierskich w celu rozwiązania problemu deponowania pyłowych odpadów tego rodzaju. W odlew-

niach stosujących proces regeneracji zużytych mas formierskich (tj. oczyszczania osnowy kwarcowej ziaren masy ze spoiwa żywicznego) otrzymuje się niebagatelną ilość pyłów, rzędu 100-200 kg/t dobrych odlewów, które dotychczas musiały być deponowane poza terenami odlewni, wraz z innymi rodzajami pyłu odlewniczego, opisanego powyżej. O ile jednak tamten pył ma określony związek z procesem żeliwiakowym (pył z cyklonów lub komór iskrowych i pofiltracyjny), bądź zawiera opłacalne dla odzysku ilości żelaza, o tyle w tym przypadku jest to pył zupełnie nie związany z procesem żeliwiakowym, a jego wprowadzanie do pieca może się okazywać opłacalne dla odlewni jako całości: następuje w tym przypadku przetworzenie uciążliwych w magazynowaniu, transporcie i deponowaniu pyłów tego rodzaju (wraz z pyłami innych rodzajów) w żużel, którym – szczególnie w postaci granulowanej – łatwo jest operować, a wielu przypadkach znajduje on chętnych nabywców. Poza tym warto zauważyć, że pył ten ma określoną wartość opałową, wynikającą z obecności w nim spoiwa żywicznego, co minimalizuje zwiększenie zużycia koksu wsadowego niezbędne dla ożużlenia jego składników mineralnych. W przypadku niektórych gatunków mas pył ten może spełniać rolę spoiwa przy produkcji brykietów.

3.1.5.2 Gazy żeliwiakowe

Ciepło gazów żeliwiakowych jest wykorzystywane do podgrzewania dmuchu bądź do celów ogrzewania pomieszczeń socjalnych (w przypadkach braku rekuperatorów).

3.1.5.3 Żużel żeliwiakowy

Żużel otrzymywany z żeliwiaków, nie wyposażonych w instalacje do jego granulowania, musi być składowany. Z reguły nie stanowi on niebezpieczeństwa ze względu na ew. zanieczyszczanie wód gruntowych.

W coraz większej liczbie przypadków żużel ten poddawany jest granulowaniu i, pomijając poprawę wówczas warunków BHP na stanowiskach pracy przy żeliwiakach, stanowi łatwo zbywalny materiał uboczny.

Wytwarzanie żużla może być zminimalizowana przez następujące działania:

- stosowanie czystego złomu,
- stosowanie niższej temperatury metalu,
- zapobieganie przegrzaniu (chwilowa wysoka temperatura),
- zapobieganie długiemu wytrzymywaniu ciekłego metalu w piecu topialnym,
- właściwe stosowanie topników,
- właściwe stosowanie/dobór wyłożenia ognioodpornego
- stosowanie wody do chłodzenia ścian pieca, aby uniknąć zużywania się wyłożenia ogniotrwałego.

3.1.5.4 Pyły z pieców bębnowych obrotowych i z pieców indukcyjnych

W przypadkach, gdzie w odlewni pracują równocześnie żeliwiaki, pyły takie mogą być wprowadzane do mieszanek pyłowych wdmuchiwanych do żeliwiaków.

3.1.5.5 Żużel z pieców bębnowych obrotowych i z pieców indukcyjnych

Żużel tego rodzaju jest traktowany podobnie jak niegranulowany żużel żeliwiakowy.

3.1.5.6. Złom obiegowy

Złom obiegowy pochodzi z części układu wlewowego, z wybrakowanych odlewów itp. Jego nazwa wskazuje na to, że powinien on być w jak największej ilości wykorzystywany we własnym zakresie jako cenny materiał wsadowy, o znanym składzie chemicznym i niskiej cenie. Powinien on być jednak sortowany wg rodzajów i gatunków żeliwa, z którego pochodzi, powinien też być czyszczony, przede wszystkim z przywartej masy formierskiej i rdze-

niowej, gdyż obecność w złomie tego rodzaju zanieczyszczeń zwiększa zużycie energii (koksu), co, ostatecznie znajduje swe konsekwencje w ekologicznym obciążeniu środowiska.
Te same uwagi dotyczą złomu obiegowego, pochodzącego z pieców innych rodzajów.

3.1.6 Emisja hałasu

3.1.6.1 Żeliwiaki

Wyniki pomiarów w krajowych wytapialniach żeliwiakowych wskazują na duży poziom *hałasu* w najbliższym otoczeniu pieców, rzędu 82-97 dB(A). W odległości 50 m od baterii żeliwiaków hałas zmniejsza się do poziomu ok. 50 dB(A).

3.1.6.2 Piece bębnowe obrotowe

Poziom hałasu w najbliższym otoczeniu pieca wynosi 80-90 dB.

3.1.6.3 Piece indukcyjne średniej częstotliwości

Praca PIT średniej częstotliwości jest głośna ((80-85 dB(A)). Przy tym poziom hałasu jest zdominowany przez dźwięk, odpowiadający dwukrotnej wartości częstotliwości prądu; z taką właśnie częstotliwością drga cewka wzbudnika pieca dużej mocy. Dźwięk, wynikający z drgań własnych cewki jest potęgowany przez drgania połączonych z cewką części konstrukcji pieca.

3.1.7 Charakterystyka materiałochłonności i energochłonności stosowanych w Polsce technologii

3.1.7.1 Wytapianie żeliwa w żeliwiakach

Materiałochłonność

W wyniku procesów metalurgicznych, przebiegających w żeliwiaku, charakteryzującym się utleniająca atmosferą względem podstawowych pierwiastków wsadu metalowego, występują straty metalu, tzw. *zgar*. Jego wartość zawiera się w przedziale 2-5 %, może jednak dochodzić nawet do 10% w przypadku „zimnego biegu" pieca. Wartość zgaru zmniejsza się wraz ze zwiększeniem zużycia koksu wsadowego (jednak kosztem jego sprawności cieplnej), zwiększa się natomiast w miarę zwiększania stopnia rozwinięcia powierzchni kawałków wsadu metalowego (zgar jest więc mniejszy w przypadku zwartych kawałków surówki wielkopiecowej, a większy w przypadku rozgałęzionych i cienkościennnych kawałków złomu obiegowego i stalowego).

W szerszym ujęciu zagadnienia rozważa się *uzysk ciekłego metalu* jako stosunek masy odlewów dobrych do masy ciekłego metalu zużytego na ich wykonanie. Ta wielkość zależy m. in. od masy jednostkowej odlewów oraz od stopnia rozbudowania układów: wlewowego i zasilającego; drobne odlewy charakteryzują się mała wartością uzysku, nie przekraczająca 50% nawet w przypadku żeliwa szarego, przy czym tego samego typu odlewy z żeliwa szarego charakteryzują się większym uzyskiem niż odlewy z żeliwa sferoidalnego.

Zużycie koksu, odnoszone do masy wsadu metalowego, zawiera zwykle się w przedziale 9-15%. Stosowane wartości większe, nawet przekraczające 20%, świadczą o nieprawidłowym sterowaniu piecem.

Energochłonność

Analiza zużycia energii w przeciętnej odlewni żeliwa wykazuje, że niemal w 50% jest ono związane z procesami wytapiania. Zaskakująco duże jest bezwzględne zużycie energii, odniesione do jednostki masy dobrych odlewów żeliwnych: dla odlewni niemieckich wynosi ono przeciętnie 9-10 MJ/kg, co stanowi wartość ponad 7-krotnie większą od pojemności cieplnej żeliwa, przegrzanego do temperatury 1500°C. Świadczy to o dużych możliwościach ograniczania zużycia energii w oddziałach wytapiania żeliwa.

Uwzględniając różnice wartości sprawności cieplnej w okresach podgrzewania wsadu metalowego do temperatury topnienia i samego topienia oraz przegrzewania metalu można stwierdzić, że najkorzystniej - pod względem energetycznym - przedstawia się układ dupleks: żeliwiak, zwłaszcza bezkoksowy (podgrzewanie i topienie) - piec indukcyjny (przegrzewanie); jako niekorzystne z omawianego punktu w dalszej kolejności należy wymienić układy: żeliwiak - piec łukowy i piec łukowy - piec indukcyjny.

Przy dokładnym rozważaniu zużycia energii w związku z procesem żeliwiakowym należy uwzględnić pracę urządzeń pomocniczych, w tym: wentylatorów dostarczających dmuch do pieca, pomp, przetłaczających w obiegu zamkniętym wodę chłodzącą piec i ew, dysze, palniki dopalające gaz żeliwiakowy, urządzenia wyprowadzające oczyszczone spaliny do atmosfery itp.

3.1.7.2 Wytapianie żeliwa w piecach bębnowych obrotowych

Zgar metalu jest większy niż w żeliwiakach i wynosi najczęściej 4-8%.

Zużycie gazu ziemnego zawiera się w przedziale 62-75 m^3/Mg (620-750 kWh/Mg) i zwiększa się wraz ze zwiększeniem się pojemności pieca (w przedziale 12-20 Mg). Sprawność cieplna wynosi 50-60 % (dla tych samych pojemności).

3.1.7.3 Wytapianie i przegrzewanie żeliwa w piecach indukcyjnych

Zgar metalu jest bliski zeru (0-2 %).

Zużycie energii zawiera się w szerokim przedziale: od 550-580 kWh/t dla pieców średniej częstotliwości do 550-750 kWh/t dla pieców sieciowej częstotliwości; zmniejsza się ono w miarę zwiększania pojemności pieca i wielkości dziennej produkcji ciekłego metalu. Na zmniejszenie zużycia energii wpływają ponadto nowoczesne rozwiązania organizacyjno-konstrukcyjne. Moc pieców kanałowych dozujących i przetrzymujących (przegrzewających) wynosi 130-600 kW przy pojemności czynnej wynoszącej 2,4-20 Mg.

3.1.7.4 Procesy pozapiecowe

Zużycie modyfikatora grafityzującego zależy od gatunku wytwarzanego żeliwa, masy jednostkowej (grubości ścianki) wytwarzanych odlewów, rodzaju i sposobu wprowadzania modyfikatora; zawiera się w szerokim zakresie wartości 0,2-1,0 %.

Zużycie sferoidyzatora na bazie magnezu zależy od podobnych czynników, a ponadto od zawartości siarki w żeliwie wyjściowym i zawiera się w przedziale 0,1% (czysty technicznie magnez) do 2 % (zaprawa o zawartości 6 % Mg).

Zużycie energii jest związane jedynie z transportem kadzi z żeliwem wyjściowym do stanowiska zabiegowego, z ew. mechanizmami wprowadzającymi przewód sferoidyzujący, przechylającymi kadzie itp., co można pominąć w zestawieniu z podstawowym wydatkowaniem energii na procesy wytapiania żeliwa.

Zużycie środka odsiarczającego CaC_2 wynosi 0,75-1,4 %, zależnie od wymaganego stopnia odsiarczenia żeliwa wyjściowego oraz metody odsiarczania. Zużycie CaO, np. przy stosowaniu konwertora HTM wynosi ok. 2 %.

3.1.8 Sposoby zapobiegania i/lub ograniczania oddziaływania technologii na środowisko

3.1.8.1 Wytapianie żeliwa w żeliwiakach

Nie istnieją technologie, które by mogły całkowicie zapobiec *emisji szkodliwych pyłów i gazów*, będących nieuniknionym wynikiem procesu żeliwiakowego. Ograniczaniu natężenia tej emisji służą nowoczesne technologie (podgrzewanie i dotlenianie dmuchu, stosowanie dwurzędowego systemu dysz itp.), które prowadzą bezpośrednio do redukcji zużycia koksu wsadowego, oraz technologie, które całkowicie eliminują koks z procesu (żeliwiaki bezkok-

sowe). Możliwe jest natomiast, nieraz ze skutkiem bliskim 100%, eliminować pyły z gazów emitowanych do atmosfery.

Uciążliwość pracy na stanowiskach przy żeliwiakach, wynikająca z nadmiernego *hałasu,* jest łagodzona przez stosowanie osłon akustycznych tam, gdzie to jest możliwe.

3.1.8.2 Wytapianie żeliwa w bębnowych piecach obrotowych

Zagrożenie środowiska zewnętrznego przez emitowane z pieców *pyły*, choć mniej uciążliwe niż w przypadku żeliwiaków, jest eliminowane w podobny sposób. *Emisja* CO_2, której ujemne znaczenie w skali globalnej coraz bardziej narasta, nie ma żadnego znaczenia dla środowiska odlewni. *Z hałasem* powinno się walczyć podobnie jak w przypadku żeliwiaków.

3.1.8.3 Wytapianie i przegrzewanie żeliwa w piecach indukcyjnych

Procesów wytapiania żeliwa w piecach indukcyjnych dotyczą podobne uwagi jak te, związane z pracą pieców bębnowych obrotowych. Różnica polega na tym, że gazy emitowane z pieców indukcyjnych, nie stanowią żadnego zagrożenia nawet w skali globalnej; w tym bowiem przypadku szkodliwość pracy pieców indukcyjnych dla środowiska w skali globalnej zostaje przeniesiona do elektrowni cieplnych, gdzie przy produkcji energii elektrycznej, wykorzystywanej m. in. w elektrycznej wytapialni żeliwa tworzą się, i to w znacznej ilości spalin zawierające CO_2.

3.1.8.4 Procesy pozapiecowe

Przeciwdziałanie wpływowi efektu pirotechnicznego, jaki towarzyszy wprowadzaniu nośników magnezu do ciekłego żeliwa, polega na zamykaniu kadzi i zbiorników zabiegowych. Praktycznie, nie stosuje się obecnie kadzi otwartych,

W przypadku odsiarczania za pomocą karbidu CaC_2 należy wyeliminować możliwość kontaktu z wodą żużla pokarbidycznego, mogącego zawierać resztki nie przereagowanego karbidu, w celu uniknięcia tworzenia się palnego acetylenu. Nad stanowiskami zabiegowymi powinny być instalowane okapy z odciąganiem oparów.

W przypadku stosowania CaO w charakterze środka odsiarczającego szkodliwy jest tylko pył.

3.1.9 Zestawienie minimalnych wymagań charakteryzujących NDT z przykładami rozwiązań technicznych, które pozwolą na spełnienie tych wymagań

3.1.9.1 Żeliwiaki

Doświadczenia ostatnich dziesiątków lat i skutecznie podejmowane próby doskonalenia procesu żeliwiakowego pod względem technologicznym i ekologicznym pozwalają na zaproponowanie przedstawionej poniżej charakterystyki żeliwiaka, typowego dla warunków polskich (w aktualnych warunkach, jeżeli idzie o zapotrzebowanie odlewni na ciekłe żeliwo), który by odpowiadał zarazem zasadzie NDT:

- żeliwiak z gorącym dmuchem, z wykorzystywaniem ciepła gazów odlotowych do podgrzewania dmuchu w osobno stojącym rekuperatorze konwekcyjnym lub radiacyjno-konwekcyjnym, z ewentualnym wykorzystywaniem dodatkowego, obcego źródła ciepła w komorze spalania przed rekuperatorem w celu ułatwienia regulacji temperatury przegrzania żeliwa;
- dmuch żeliwiakowy dotleniany za pomocą lanc wprowadzanych przez dysze; w zależności od wymagań, dotyczących temperatury przegrzania żeliwa dotlenianie dmuchu może być traktowane jako postępowanie równoczesne z podgrzewaniem dmuchu bądź jako postępowanie uzupełniające; źródło tlenu: ciekły tlen gromadzony w specjalnych zbiornikach;

- średnica żeliwiaków (w strefie dysz): 700 do 1400 mm (o wydajności od 3 do 13 Mg/h);
- dla żeliwiaków o średnicy mniejszej niż 800 mm alternatywę do instalacji podgrzewania bądź dotleniania dmuchu (jednak znacznie mniej korzystną) jest konstrukcja pieca z dwurzędowym systemem dysz;
- dolna część żeliwiaków o konstrukcji, umożliwiającej granulowanie (mokre lub suche) żużla żeliwiakowego;
- górna część żeliwiaka o konstrukcji umożliwiającej 100-procentowe kierowanie gazów żeliwiakowych do instalacji podgrzewania dmuchu i oczyszczania gazów;
- w skład instalacji żeliwiakowej wchodzi urządzenie odpylające spaliny gazów żeliwiakowych, najkorzystniej suchy filtr tkaninowy (włókninowy);
- wstępne odpylanie gazów odbywa się w cyklonie;
- pyły z odpylania wstępnego i ostatecznego są gromadzone w oddzielnych zbiornikach i kierowane, w ramach recyklingu, do żeliwiaka;
- system recyklingu pyłów może się opierać na brykietowaniu pyłów (brykiety stają się składnikami wsadu żeliwiakowego) lub na przygotowywaniu mieszanek pyłów różnego rodzaju (także koksiku ze składowisk koksu oraz pyłów z oczyszczalni odlewów i z oddziałów obróbki mechanicznej odlewów); Mieszanki te mogą być wdmuchiwane do żeliwiaka
- żeliwiaki powinny być wyposażone w minimalny, ale niezbędny system sterowania komputerowego, obejmujący: kontrolę stanu magazynów materiałów wsadowych pod względem ilościowym i jakościowym (skład chemiczny), wyznaczanie namiarów optymalnych pod względem technologicznym i ekonomicznym, zużycie materiałów wsadowych, zużycie energii innej niż energia koksu, nastawianie optymalnej ilości dmuchu, nastawianie temperatury przegrzania żeliwa (sterowanie temperaturą dmuchu i/lub stopniem dotlenienia dmuchu), rejestracja i ocena innych parametrów pracy żeliwiaka (skład chemiczny wytapianego żeliwa, wydajność godzinowa, ilość gromadzonego pyłu, ilość pyłu zwracanego do obiegu, skład chemiczny gazów opuszczających żeliwiak itp.).

3.1.9.2 Piece indukcyjne

W odlewnictwie polskim jest na ogół uwzględniana niepisana zasada odlewników amerykańskich w myśl, której dla małego godzinowego zapotrzebowania odlewni na ciekłe żeliwo (w USA 5 Mg) racjonalne jest stosowanie pieców indukcyjnych, przy dużym zapotrzebowaniu (w USA powyżej 25 Mg) – żeliwiaki, a przy wartościach pośrednich oba rodzaje są w równym stopniu racjonalne. W warunkach krajowych granice owe wynoszą zapewne ok. 3 i 10 Mg/h. Potwierdzają to poniższe przykłady nowoczesnych krajowych wytapialni indukcyjnych.

3.1.9.3. Zabiegi sferoidyzowania i wermikularyzowania

Przykłady stanowisk zabiegowych, odpowiadających w dużym stopniu NDT

Krajowe odlewnie żeliwa, wytwarzające odlewy z żeliwa sferoidalnego i żeliwa z grafitem wermikularnym, przechodzą coraz częściej z prostej metody zalewania ciekłym żeliwem zapraw magnezowych, umieszczanych w specjalnych kieszeniach w dnach kadzi zabiegowych, na nowoczesną i ekonomiczną metodę przewodu elastycznego.

3.1.10 Określenie minimalnych wymagań w zakresie monitoringu (por. tabela 7.14.)

3.2 Wytapianie i obróbka stali na odlewy

3.2.1 Analiza stosowanych technik i technologii oraz ich porównanie z poziomem światowym

Proces wytapiania staliwa w krajowych odlewniach jest realizowany w piecach elektrycznych łukowych o wyłożeniu zasadowym oraz piecach indukcyjnych bezrdzeniowych sieciowej i średniej częstotliwości o wyłożeniu kwaśnym. Charakter pracy pieców jest okresowy i wynika głównie z wielkości posiadanych zamówień oraz ze względów organizacyjnych. Czas pracy pieców łukowych w poszczególnych odlewniach krajowych jest dość zróżnicowany i zawiera się w granicach od 50-500 godzin/m-c, natomiast pieców indukcyjnych od 70-150 godzin/m-c. Asortyment produkcji odlewni obejmuje praktycznie wszystkie rodzaje staliw: węglowe, niskostopowe, wysokomanganowe odporne na ścieranie, narzędziowe, wysokostopowe chromowe i chromo-niklowe, żaroodporne, żarowytrzymałe i odporne na korozję.

Wsad do wytapiania staliwa jest uzależniony od gatunku wytapianego stopu oraz rodzaju posiadanych jednostek piecowych. W przypadku wytapiania staliwa węglowego i niskostopowego w piecach łukowych wytopy wykonuje się głównie ze złomu obcego w procesie ze świeżeniem. Wytapianie gatunków staliwa średnio i wysokostopowych prowadzi się przeważnie metodą odzyskową przy użyciu własnego złomu obiegowego, lub w procesie ze świeżeniem kąpieli i uzupełnieniem składu chemicznego kąpieli w końcowej fazie wytopu poprzez dodatek żelazostopów. W piecach indukcyjnych, ze względu na brak warunków do prowadzenia zabiegów rafinacji stali, stosuje się wsad odpowiednio wyselekcjonowany o składzie chemicznym odpowiadającym wymaganemu składowi chemicznemu wytopu. Oprócz selekcji pod względem składu chemicznego, złom stalowy stosowany w odlewniach podlega wstępnemu przygotowaniu polegającemu na jego rozdrabnianiu. Niekiedy stosowane jest także podgrzewanie żelazostopów oraz dodatków żużlotwórczych przed wprowadzeniem ich do kąpieli metalowej.

3.2.1.1 Elektryczne piece łukowe

Elektryczne piece łukowe są stosowane głównie w odlewniach wytwarzających ciężkie jednostkowe odlewy staliwne (tabela 3.3). Są to piece zasilane prądem trójfazowym o łuku bezpośrednim, wytwarzanym przez układ trzech elektrod grafitowych. Właściwości fizyczne elektrod grafitowych stosowanych w piecach łukowych zestawiono w tabeli 3.4. Stosowane elektrody charakteryzują się przede wszystkim niską opornością elektryczną, małą zawartością popiołu, wysoką wytrzymałością mechaniczną oraz dużą odpornością na nagłe zmiany temperatury.

Tabela 3.3. Podstawowe parametry elektrycznych pieców łukowych stosowanych do wytapiania stali w krajowych odlewniach

Parametr pieca	Wartość parametru
Pojemność [Mg]	3 – 30
Moc transformatora [kVA]	2000 – 7500
Czas topienia [min]	60 – 110
Zużycie energii [kWh/Mg]	600 – 900
Średnica pieca [mm]	1500- 4500
Średnica elektrod grafitowych [mm]	120 - 500

Zużycie elektrod grafitowych [kg/Mg]	4 – 8

Wskaźnik zużycia elektrod grafitowych zależy nie tylko od ich właściwości, ale także od rodzaju wytapianego stopu, stosowanych zabiegów metalurgicznych podczas wytapiania, od jakości wsadu oraz wymaganej maksymalnej temperatury przegrzania metalu w piecu.

Podstawowym wsadem do wytapiania stali w piecu łukowym jest złom dostarczany z zewnątrz. Ze względu na fakt, że złom ten charakteryzuje się dużą ilością zanieczyszczeń oraz jest zróżnicowany pod względem składu chemicznego, około 70-80% wszystkich wytopów w piecach łukowych jest prowadzonych z pełnym świeżeniem kąpieli metalowej. W większości odlewni stal świeży się lancą zasilaną tlenem pobieranym z instalacji doprowadzającej gaz ze zbiornika zlokalizowanego na zewnątrz hali produkcyjnej. Zużycie tlenu w procesie świeżenia wynosi od 6-20 m^3/Mg ciekłej stali. Alternatywnie proces świeżenia stali przeprowadza się rudą żelaza, wprowadzaną w ilości 25-40 kg/Mg ciekłej stali.

Tabela 3.4. Parametry techniczne typowych elektrod grafitowych stosowanych w elektrycznych piecach łukowych

Parametr	**Jednostka miary**	**Wartość parametru**
Opór elektryczny właściwy	Ω mm^2/m	6,5 – 9,0
Wytrzymałość na zginanie	MPa	6,0– 14,0
Moduł sprężystości	GPa	9,0– 14,0
Zawartość popiołu	%	0,30 – 0,50
Gęstość pozorna	g/cm^3	1,50 – 1,70

Wytopy odzyskowe w piecach łukowych wykonuje się w przypadku stosowania złomu obcego lub złomu obiegowego o znanym, zbliżonym do założonego składzie chemicznym. Wynika to z faktu ograniczonego do minimum okresu świeżenia kąpieli metalowej i braku warunków do usunięcia gazów ze stali podczas wytapiania.

Rodzaj materiałów stosowanych na wyłożenia ogniotrwałe pieców łukowych jest zróżnicowany w zależności od strefy wymurówki. Wyłożenia trzonu pieców łukowych wykonuje się zazwyczaj z mas ogniotrwałych dolomitowych i magnezytowych lub z kształtek chromitowo-magnezytowych. Ściany pieca muruje się z kształtek magnezytowych i chromitowo-magnezytowych. Natomiast sklepienia pieców łukowych przeważnie wykonuje się w całości z kształtek andaluzytowych. Spotykanym w wielu odlewniach rozwiązaniem jest ubijanie środka sklepienia z betonu wysoce ogniotrwałego niskocementowego.

Zasadowy charakter wyłożenia pieców łukowych oraz duża powierzchnia kontaktu ciekłego metalu z żużlem pozwala na przeprowadzanie zabiegów metalurgicznych istotnych z punktu widzenia jakości wytapianej stali takich, jak: usuwanie fosforu i siarki, odtlenienie metalu oraz redukcja powstających tlenków metali (głównie tlenków manganu i tlenków chromu). Świeżenie kąpieli metalowej w obecności żużla o odczynie zasadowym powoduje tworzenie się tlenków fosforu, które przechodzą następnie do żużla wraz z innymi tlenkami metali i zanieczyszczeniami. W tym samym okresie wytapiania zachodzi utlenianie węgla. Po zakończeniu procesu świeżenia powstały żużel jest w całości usuwany z pieca. W drugiej fazie wytopu w wyższej temperaturze ciekłej stali przeprowadza się utlenianie siarki. Ponowny dodatek wapna (kamienia wapiennego) sprzyja powstawaniu CaS, który przechodzi do żużla. Następnie, w celu zmniejszenia strat manganu i chromu, przeprowadza się redukcję

tlenków chromu i manganu z żużla poprzez dodatek FeSi lub czystego aluminium. Pozostałe tlenki i zanieczyszczenia niemetaliczne są usuwane w trakcie końcowego ściągania żużla. Po zakończeniu procesu rafinacji dokonuje się kontroli i ewentualnej korekty składu chemicznego staliwa, wykonuje pomiar temperatury ciekłej stali, a następnie przeprowadza się spust stali do kadzi odlewniczej.

3.2.1.2 Piece indukcyjne

Piece elektryczne indukcyjne sieciowej i średniej częstotliwości wykorzystuje się przede wszystkim do wytwarzania gatunków staliwa stopowego metodą przetapiania wsadu metalowego. Ograniczeniem w stosowaniu ubijanych tygli kwaśnych z mas kwarcytowych jest brak możliwości wytapiania gatunków staliwa manganowego oraz stopów zawierających większe dodatki Ti i Al. Załadunek wsadu do pieców indukcyjnych odbywa się głównie ręcznie oraz przy wykorzystaniu suwnic z elektromagnesem.

Wyłożenia ogniotrwałe kadzi do odlewania staliwa wykonuje się zazwyczaj z kształtek magnezytowo-chromitowych lub andaluzytowych. Wymurówki małych kadzi (do 3 Mg), kadzi przeznaczonych do odlewania staliwa wysokomanganowego oraz do argonowania ciekłej stali wykonuje się przeważnie z betonów ogniotrwałych niskocementowych. Wygrzewanie kadzi przed spustem jest prowadzone przy zastosowaniu palników gazowych (gaz ziemny lub koksowy) lub palników tlenowych.

Niektóre odlewnie stosują systemy chłodzenia pieców łukowych i pieców indukcyjnych wykorzystujące własne wymienniki ciepła pracujące w obiegu zamkniętym, z okresowym uzupełnianiem niedoboru wody chłodzącej. Z reguły jednak obieg zamknięty wody ograniczony jest do chłodzenia wzbudników pieców indukcyjnych. Także systemy chłodzenia złącz elektrod grafitowych, środkowej części sklepienia oraz okolic okna wsadowego pieców łukowych generalnie są układami otwartymi z odprowadzeniem wody do przemysłowych oczyszczalni ścieków.

3.2.1.3 Obróbka pozapiecowa ciekłej stali

Wszystkie krajowe odlewnie staliwa prowadzą obróbkę pozapiecową ciekłego metalu. Podstawowym zabiegiem obróbki pozapiecowej jest rafinacja ciekłej stali argonem podawanym lancą lub poprzez gazoprzepuszczalną kształtkę zabudowaną w dnie kadzi odlewniczej. Najczęściej wkładki porowate wykonane są z magnezytu, mulitu, szamotu lub korundu. Średnie zużycie argonu podawanego pod ciśnieniem 0,2 - 0,5 MPa jest uzależnione od czasu rafinacji metalu w kadzi i wynosi 0,5 - 6 m^3/Mg ciekłej stali. Czas rafinacji metalu w kadzi wynosi w granicach 3-15 minut. Rafinacji poddaje się głównie staliwo wytopione w elektrycznych piecach łukowych. W niektórych odlewniach, szczególnie w przypadku wykonywania odlewów o podwyższonych wymaganiach jakościowych, prowadzi się dodatkowe przedmuchiwanie argonem ciekłej stali w formie odlewniczej.

Innym powszechnie stosownym zabiegiem obróbki pozapiecowej jest proces odtlenianie stali poprzez dodatek aluminium w ilości około 0,2 – 0,4 kg/Mg ciekłej stali.

W celu zwiększenia stopnia czystości stali (zmniejszenie zawartości siarki i wtrąceń niemetalicznych) i dodatkowego jej odtlenienia do kadzi wprowadza się dodatki FeTi w ilości 0,8 – 1,5 kg/Mg, ciekłe żużle syntetyczne w ilości 2-5% masy metalu, sproszkowane mieszanki odsiarczająco-odtleniające zawierające głównie CaO i CaF_2 lub CaSi.

3.2.1.4 Instalacje odpylające i oczyszczające gazy

W większości odlewni staliwa piece elektryczne do wytapiania wyposażone są w instalacje i urządzenia oczyszczające gazy odlotowe. Najczęściej instalacje odpylające piece łukowe posiadają zabudowane filtry tkaninowe workowe o sprawności odpylania powyżej 90%.

Część pieców łukowych zabudowana jest obudowami typu ‘’dog house’’, wyposażonymi w ruchome zasuwy umożliwiające załadunek i spust metalu przy wykorzystaniu suwnic transportowych. Ruchome zasuwy wyposażone są dodatkowo w kurtyny powietrzne uruchamiane w czasie załadunku wsadu i spustu metalu do kadzi, znacznie ograniczające emisję niezorganizowaną. Główny strumień emisji jest wychwytywany przez odciąg pyłów zainstalowany w górnej części obudowy pieców. Zanieczyszczenia emitowane ze rejonu elektrod i pokrywy pieca są przejmowane przez dodatkowe jednopunktowe bądź wielomiejscowe odciągi połączone z głównym odciągiem gazów. Filtry tkaninowe instalacji odpylających piece elektryczne są zazwyczaj oczyszczane impulsami powietrza dostarczanego z instalacji sprężonego powietrza lub dostarczanego przez zabudowane w filtrach wentylatory niskociśnieniowe zasilane powietrzem atmosferycznym.

W przypadku pieców indukcyjnych stopień zabezpieczenia środowiska przed zanieczyszczeniami jest zróżnicowany. Duża liczba pieców indukcyjnych nie posiada odciągów i urządzeń redukujących ilość zanieczyszczeń i stanowi źródło emisji niezorganizowanej. Część pieców indukcyjnych posiada jedynie okapy wyciągowe niewyposażone w odpylacze. Pozostałe piece indukcyjne wyposażone są głównie w instalacje odciągowo-odpylające z zabudowanymi filtrami tkaninowymi o sprawności odpylania powyżej 90% lub w mokre filtry przewałowe o sprawności poniżej 80%.

3.2.1.5. Techniki i technologie stosowane w świecie

Tendencje światowe w zakresie technik i technologii stosowanych w odlewniach staliwa ukierunkowane są na poprawę jakości i efektywności poprzez optymalizację procesów wytapiania oraz obróbki pozapiecowej ciekłej stali przeznaczonej na odlewy. Stale rosnące wymagania w zakresie parametrów eksploatacyjnych odlewów staliwnych, szczególnie przeznaczonych do pracy w obniżonych temperaturach, spowodowały zastosowanie w szerszym zakresie rafinacji ciekłej stali w piecach łukowych i piecach indukcyjnych. W piecach łukowych rafinacja stali odbywa się poprzez kształtki gazoprzepuszczalne zabudowane w trzonie pieca. Argonowanie metalu w piecach indukcyjnych tyglowych odbywa się przy użyciu lanc wyposażonych w końcówki rozpraszające gaz oraz ewentualne pulsatory zmieniające prędkość przepływu argonu. W szerszym zakresie, w porównaniu do krajowych odlewni, stosuje się tlen zarówno do świeżenia stali w piecach łukowych, jak i do intensyfikacji procesu roztapiania złomu dzięki zastosowaniu stacjonarnych palników tlenowych (piece łukowe) oraz wysokowydajnych palników tlenowo-paliwowych do wspomagania topienia wsadu metalowego (piece indukcyjne).

W zakresie rozwoju nowoczesnych technologii obróbki pozapiecowej ciekłej stali na szczególną uwagę zasługują stosowane coraz częściej pieco-kadzie, umożliwiające rafinację ciekłej stali i ustalanie jej składu chemicznego metodą wtórnej metalurgii. Najczęściej stosowane konstrukcje pieco-kadzi wyposażone są w wyłożenia monolityczne z betonów ogniotrwałych oraz w system podgrzewania ciekłego metalu łukiem elektrycznym wytwarzanym przez elektrody grafitowe. W trakcie obróbki pozapiecowej ciekła stal jest rafinowana argonem podawanym przez gazoprzepuszczalne kształtkę umieszczoną w dnie pieco-kadzi. Zapewnia to równomierne nagrzanie oraz ujednorodnienie składu chemicznego metalu, poprzez dokładne wymieszanie wprowadzanych dodatków stopowych. Alternatywnym rozwiązaniem spotykanym w odlewniach europejskich jest zastosowanie w miejsce argonowania systemu mieszania ciekłej stali w pieco-kadzi polem indukcyjnych wytwarzanym przez cewki zasilane prądem średniej częstotliwości. Pieco-kadzie wyposażone są w instalację odciągową usuwającą gazy odlotowe powstające w trakcie podgrzewania metalu.

W obszarze stosowanych w europejskich odlewniach technik kontrolno-pomiarowych w szerszym zakresie w stosunku do krajowych odlewni staliwa stosuje się elektroniczne systemy pomiarowe do szybkiej analizy aktywności tlenu oraz zawartości azotu w stali. Pomiary

aktywności tlenu w kąpieli metalowej dają możliwość kontroli procesów utleniania i redukcji w trakcie wytapiania stali w piecu oraz w kadzi odlewniczej. Bezpośredni pomiar stężenia azotu w stali po spuście jest szczególnie istotne podczas wytapiania stali o bardzo niskiej zawartości węgla oraz stali o ograniczonej zawartości azotu. W gatunkach staliwa z dodatkiem tytanu, pomiar stężenia azotu umożliwia ponadto uzyskanie znacznych oszczędności Ti.

3.2.2. Identyfikacja istotnych aspektów środowiskowych

Wytapianie ciekłej stali na odlewy jest jednym z tych procesów, który w istotny sposób wpływa na środowisko naturalne. Źródłem negatywnego oddziaływania na środowisko są: procesy przygotowania kadzi i pieców do wytapiania, topienie metalu w piecach elektrycznych oraz spust ciekłego metalu i jego obróbka pozapiecowa. Najbardziej znaczące dla środowiska aspekty środowiskowe związane z wymienionymi procesami ujęto w tabeli 3.5.

Tabela 3.5. Znaczące aspekty środowiskowe związane z realizacją procesów przygotowania kadzi i pieców do wytapiania, topienia metalu w piecach elektrycznych oraz spustem ciekłej stali i jej obróbką pozapiecową

L.p.	Proces	Aspekt środowiskowy
1.	Przygotowanie kadzi i pieców do wytopu i załadunek wsadu	▪ niezorganizowana emisja pyłów do powietrza podczas załadunku wsadu metalowego do pieców elektrycznych ▪ powstawanie odpadowych materiałów ogniotrwałych wskutek wymiany wymurówki kadzi i pieców do topienia metalu ▪ emisja pyłowo-gazowa do powietrza wskutek wygrzewania kadzi przed spustem ciekłego metalu ▪ zużycie gazu ziemnego i koksowego lub tlenu do wygrzewania wymurówki kadzi ▪ emisja pyłowo-gazowa do powietrza w procesie suszenia zatyczek kadzi odlewniczych ▪ emisja pyłowo-gazowa do powietrza suszenia dodatków stopowych i żużlotwórczych
2.	Wytapianie staliwa w piecach elektrycznych	▪ zużycie energii elektrycznej przez piece podczas wytapiania staliwa ▪ pobór wody do chłodzenia pieców elektrycznych ▪ emisja pyłów do powietrza podczas topienia metalu w piecach elektrycznych ▪ wprowadzanie gazów do powietrza wskutek reakcji metalurgicznych zachodzących w piecu ▪ emisja lotnych związków organicznych na skutek obecności w wytapianym wsadzie zanieczyszczeń olejowych i pokryć lakierniczych ▪ powstawanie odpadów stałych z oczyszczania gazów odlotowych w urządzeniach odpylających ▪ powstawanie odpadów żużla odlewniczego ▪ powstawanie odpadów opakowań metalowych i palet drewnianych po zużytych dodatkach stopowych i materiałach ogniotrwałych ▪ powstawanie odpadów zużytych filtrów tkaninowych urządzeń odpylających ▪ emisja hałasu podczas wytapiania metalu w piecach łukowych i indukcyjnych ▪ emisja hałasu podczas załadunku wsadu metalowego do pieców ▪ zużycie energii elektrycznej i sprzężonego powietrza przez instalację odpylającą piece elektryczne ▪ potencjalny wybuch pieca na skutek obecności we wsadzie metalowym materiałów wybuchowych

		▪ niekontrolowane wyciek metalu z pieca wskutek przepalenia wymurówki i pancerza pieca ▪ potencjalna niezorganizowana emisja pyłów do powietrza w przypadku nieszczelnych przewodów wentylacyjnych pieców ▪ potencjalny wyciek płynnego staliwa podczas wytapiania ▪ niekontrolowany wyciek wody chłodzącej piece elektryczne ▪ niekontrolowana emisja pyłowo-gazowa podczas świeżenia stali w piecu łukowym
3.	Spust oraz obróbka pozapiecowa ciekłego metalu	▪ niezorganizowana emisja gazowa do powietrza podczas spustu metalu z pieca do kadzi ▪ niezorganizowana emisja zanieczyszczeń do powietrza podczas obróbki pozapiecowej ciekłej stali w kadzi ▪ emisja niezorganizowana podczas pobierania prób wytopowych oraz kontrolnego pomiaru temperatury ciekłego metalu w kadzi

3.2.3. Charakterystyka emisji do poszczególnych komponentów środowiska

Wielkość emisji zanieczyszczeń pyłowo-gazowych podczas wytapiania staliwa w piecach elektrycznych uzależniona jest głównie od takich czynników jak: rodzaj stosowanych materiałów wsadowych, stopień czystości złomu stalowego, czas roztapiania wsadu i świeżenia węgla oraz zastosowany system odpylania jednostek piecowych (por. tabela 7.2; 7.3; 7.4;).

W czasie procesu przygotowania płynnego staliwa emisja pyłowo-gazowa nie przebiega równomiernie w ciągu całego wytopu. Podczas wstępnego załadunku wsadu do pieców występuje emisja związana z unoszeniem się do powietrza zanieczyszczeń pyłowych zgromadzonych na powierzchni złomu stalowego w wyniku jego transportu i magazynowania. Po załadowaniu wsadu do rozgrzanego pieca następuje rozkład zanieczyszczeń pochodzenia olejowego i resztek powłok lakierniczych oraz wydzielanie się powstałych produktów w wyniku ruchów cieplnych gorących gazów powstających w piecu. Największa ilość zanieczyszczeń emitowana jest w czasie roztapiania wsadu oraz świeżenia stali. Ze względu na intensywny przebieg świeżenia oraz reakcji utleniania gazy wydzielane z pieca w tym okresie procesu są mocno zapylone i zawierają dużą ilość stałych produktów reakcji metalurgicznych, głównie tlenków żelaza oraz drobnych cząstek żużla unoszonego przez gazy odlotowe. W przypadku, gdy do roztapiania wsadu oraz świeżenia ciekłej stali wykorzystywany jest tlen gazowy, emisja pyłowa może być znaczna i dochodzić do 10 kg/Mg ciekłej stali. W trakcie wykańczania oraz spustu staliwa do kadzi emisja zanieczyszczeń jest zdecydowanie mniejsza i zazwyczaj nie przekracza 2 kg/Mg ciekłej stali. Pył emitowany w trakcie procesu wytapiania stali w elektrycznych piecach łukowych jest bardzo drobnoziarnisty. Średnia wielkość ziaren powstających pyłów mieści się w granicach 0,01 – 1,2 μm. W wyniku zachodzących procesów koagulacji i zlepiania się ziaren, pył wychwytywany w urządzeniach odpylających ma średnicę w zakresie mieszczącym się od poniżej 1 do 100 μm.

Frakcja główna wychwytywanych pyłów wynosi 3 – 5 μm. Szczególnie drobny pył emitowany jest podczas świeżenia tlenem, gdzie 90% ziaren pyłów ma średnicę poniżej 5 μm.

Ze względu na ograniczony zakres zabiegów metalurgicznych zachodzących w piecu indukcyjnym emisja pyłów podczas wytapiania staliwa w piecach indukcyjnych jest minimalna, a jej wielkość wynosi zazwyczaj od 0,04–3 kg/Mg ciekłej stali. Frakcja główna pyłów z oczyszczania gazów odlotowych mieści się w zakresie 10-20 μm.

Istotnym aspektem dla środowiska związanym z eksploatacją pieców elektrycznych jest pobór wody do chłodzenia wymurówki pieców i elektrod grafitowych oraz wody wykorzystywanej przez mokre urządzenia do oczyszczania gazów odlotowych. Zużycie wody chłodzącej jest uzależnione od zastosowanego systemu obróbki wody pochłodniczej i częstości uzupełniania obiegu wody chłodzącej ze źródeł zewnętrznych.

Mokre systemy, w porównaniu do suchych urządzeń oczyszczających gazy odlotowe, posiadają wiele zalet, do których należy zaliczyć przede wszystkim dużą skuteczność redukcji substancji rozpuszczalnych w wodzie (związki chloru, SO_2), szybkie schładzanie gazów odlotowych zapobiegające tworzeniu się dioksyn, niskie koszty inwestycyjne, czy mała wrażliwość na temperaturę odpylanych gazów. Jednakże niekorzystnymi czynnikami zastosowania skruberów są głównie: mała skuteczność odpylania (zazwyczaj poniżej 80%), duża energochłonność procesu odpylania, a przede wszystkim powstawanie szlamów wymagających dalszej obróbki.

3.2.4. Odpady i ich zagospodarowanie

Rodzaje odpadów związanych z procesem przygotowania staliwa pochodzą z dwóch zasadniczych źródeł: z procesu wytapiania metalu w piecach elektrycznych oraz z realizowanych prac konserwacyjno-remontowych urządzeń wykorzystywanych w procesie przygotowania płynnego metalu. Podstawowe rodzaje odpadów z wymienionych źródeł zestawiono w tabeli 3.6. Najbardziej znaczącymi odpadami ze względu na powstające ilość i dalsze zagospodarowanie są pyły z oczyszczania gazów odlotowych, żużle odlewnicze oraz materiały ogniotrwałe z pieców i kadzi zużywane w procesie metalurgicznym (tabela 3.7). Zasady gospodarki tymi odpadami omówiono w Rozdziale 11.

Tabela 3.6. Podstawowe rodzaje odpadów powstających w odlewni w procesie wytapiania staliwa i jego obróbki pozapiecowej

L.p.	Rodzaj odpadu	Kod odpadu*	Źródło Powstawania	Podstawowe sposoby zagospodarowania
ODPADY NIEBEZPIECZNE				
1.	Oleje smarowe, hydrauliczne i przekładniowe	13 02 05 13 02 08 13 01 10	Obsługa i remonty urządzeń transportowych (reduktory suwnic do załadunku pieców i transportu kadzi, mechanizmów przechyłu pieców)	Przekazywane do wykorzystania gospodarczego
2.	Sorbenty, materiały filtracyjne, czyściwo, tkaniny do wycierania zanieczyszczone substancjami niebezpiecznymi	15 02 02	Konserwacja suwnic załadowczych i suwnic lejniczych oraz pieców do topienia	Przekazywane do wykorzystania lub do utylizacji
3.	Transformatory i kondensatory zawierające PCB	16 02 09	Oleje zanieczyszczone PCB pochodzące z zużytych kondensatorów i wyłączników urządzeń zasilających piece elektryczne do topienia	Przekazywane do utylizacji
ODPADY INNE NIŻ NIEBEZPIECZNE				

4.	Żużle odlewnicze	10 09 03	Produkty uboczne procesów metalurgicznych zachodzących podczas wytapiania stali w piecach elektrycznych	Przekazywane do wykorzystania gospodarczego
5.	Pyły z gazów odlotowych inne niż wymienione w 10 09 09	10 09 10	Zanieczyszczenia stałe wychwycone w urządzeniach odpylających zabudowanych w instalacjach odciągowych pieców elektrycznych i urządzeń do wtórnej metalurgii	Przekazywane do wykorzystania gospodarczego
6.	Materiały ogniotrwałe	16 11 04	Zużyte okładziny pieców do wytapiania staliwa oraz kadzi odlewniczych	Przekazywane do wykorzystania gospodarczego
7.	Skrzepy staliwne	10 09 12	Pozostałości metalu (skrzepy staliwne) usunięte po procesie metalurgicznym z wymurówki pieców i kadzi	Przekazywane do wykorzystania gospodarczego

* kod odpadu zgodnie z rozporządzeniem MŚ z dnia 27.09.2001 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz. U. Nr 112, poz. 1206 z dnia 8.10.2001 r.)

Ilość powstających odpadów pyłów z gazów odlotowych uzależniona jest głównie od sprawności zastosowanych urządzeń odpylających oraz od rodzajów wytapianego gatunku stali i zawartości w wytapianych stopach metali o dużych ciężarze właściwym (Cr, W, V, Mo). Skład pyłów uzależniony jest od gatunku przetapianego złomu stalowego i wprowadzanych do wsadu żelazostopów (por. tabela 11.3). Ponadto na skład pyłów wpływ ma jakość oraz czystość złomu stalowego obcego i złomu obiegowego. Wykorzystanie złomu ocynkowanego może być źródłem emisji związków cynku, oraz w mniejszym stopniu ołowiu i kadmu.

Na ilość powstającego żużla oraz szybkość zużycia wymurówki ogniotrwałej pieców wpływa przede wszystkim stopień zanieczyszczenia złomu stalowego i jego udział we wsadzie metalowym, a także zakres i częstość zabiegów metalurgicznych podczas wytapiania staliwa (głównie ilość wprowadzanych dodatków żużlotwórczych i czas świeżenia stali).

Tabela 3.7. Ilość podstawowych odpadów powstających w krajowych odlewniach staliwa w procesie wytapiania metalu w piecach elektrycznych

Rodzaj odpadu	**Średnia ilość [kg/Mg ciekłej stali]**
Pyły z gazów odlotowych	4 - 12
Żużle odlewnicze	75 – 150
Materiały ogniotrwałe	6 - 20

Obecnie wszystkie odpady, za wyjątkiem odpadów zawierających PCB, są wykorzystywane do celów gospodarczych. Odpady niebezpieczne w postaci zużytych olejów oraz tkanin zanieczyszczonych substancjami ropopochodnymi są przekazywane do specjalistycz-

nych firm, zajmujących się ich przerobem. Żużle odlewnicze oraz zużyte materiały ogniotrwałe z procesów metalurgicznych zazwyczaj wykorzystuje się budownictwie do utwardzania dróg i niwelacji terenu w miejscach do tego wyznaczonych (por. tabela 11.2. i 11.3.). Sposoby zagospodarowania pyłów z oczyszczania gazów odlotowych są zróżnicowane. Odpad ten jest wykorzystywany w hutnictwie jako dodatek żelazonośny do aglomeratu, przy produkcji kostki brukowej, a także składnik surowca do produkcji suchego paliwa ekologicznego do opalania pieców obrotowych w przemyśle cementowym. W przypadku znacznej zawartości cynku (powyżej 12 - 15%) istnieje możliwość przerabiania tych pyłów w hutach cynku dla odzysku Zn. Pyły o mniejszej zawartości Zn można zawracać do procesu stalowniczego, prowadzonego w piecu łukowym, w celu wzbogacenia ich w cynk. Jednak jest to proces dosyć skomplikowany i nie zawsze przynoszący pożądane efekty. Z tego też powodu jest tylko sporadycznie stosowny
w świecie.

3.2.5 Emisja hałasu

Elektryczne piece łukowe są jednym z największych źródeł emisji hałasu do środowiska. Stosowanie transformatorów o coraz większej mocy skraca czas roztapiania wsadu, ale jednocześnie zwiększa częstotliwość i natężenie emisji hałasu. Podstawowym źródłem hałasu emitowanego przez piece jest oddziaływanie łuku elektrycznego na roztapiany wsad metalowy. Zaburzenia łuku elektrycznego (zrywanie się i ponowne zajarzanie łuku) są szczególnie częste w początkowej fazie wytopu. Natężenie hałasu emitowanego przez piece łukowe w momencie roztapiania wsadu w krajowych odlewniach może sięgać do 105 dB(A), a średni poziom ekspozycji hałasu na hałas odniesiony do 8-godzinnego dobowego wymiaru czasu pracy mieści się zazwyczaj w zakresie 85-92 dB(A). Hałas z pieców łukowych emitowany jest głównie przez otwory w sklepieniu wokół elektrod, otwór do odprowadzania gazów odlotowych, przez szczelinę wokół sklepienia i okna wsadowego oraz przez sam otwór spustowy pieca.

Poziom hałasu emitowanego przez piece indukcyjne jest znacznie niższy w porównaniu z piecami łukowymi. Wynika to zarówno z samej konstrukcji pieca (hermetyczna zwarta budowa), jak i sposobu nagrzewania wsadu. Dostępne dane wskazują, że równoważny poziom ekspozycji hałasu w obrębie stanowisk topienia wyposażonych w piece indukcyjne mieści się w zakresie 80 – 86 dB(A), a maksymalny poziom dźwięku nie przekracza 90 dB(A).

Źródłem emisji hałasu do środowiska w procesie przygotowania stali na odlewy jest nie tylko sam proces topienia. Dodatkowymi czynnikami mającymi wpływ na emitowany hałas są operacje załadunku pieca wsadem metalowym, wygrzewanie kadzi palnikami gazowymi oraz eksploatacja instalacji odciągowo-odpylających piece elektryczne. Na poziom hałasu wytwarzanego przez instalacje odciągowo-odpylające wpływa głównie praca wentylatorów odciągowych oraz systemy oczyszczania filtrów workowych impulsami sprężonego powietrza.

Średnie wartości natężenia hałasu emitowanego podczas operacji załadunku pieca i wygrzewania kadzi oraz przez urządzenia instalacji odciągowo-odpylających ujęto w tabeli 3.8.

Tabela 3.8. Poziom hałasu wytwarzanego w wyniku operacji załadunku pieców elektrycznych, wygrzewania kadzi oraz podczas pracy urządzeń odciągowo-odpylających

Źródło hałasu	Równoważny poziom hałasu w dB(A)
Załadunek pieca wsadem metalowym	84 – 85
Wygrzewanie kadzi odlewniczych przed spustem	81 – 85
Praca wentylatorów instalacji wyciągowych pieców elektrycznych	80 – 87
Pneumatyczne oczyszczanie filtrów tkaninowych	86 – 90

3.2.6 Charakterystyka materiałochłonności i energochłonności stosowanych technologii wytapiania stali

Wytapianie staliwa w piecach elektrycznych oraz związane z nim operacje techniczno-technologiczne są procesami o dużej energochłonności i materiałochłonności (tabela 3.10). Dane literaturowe wskazują, że w procesie wytapiania staliwa zużywa się ponad 40% ogólnej energii pobieranej przez odlewnię staliwa.

Przygotowanie staliwa w piecach indukcyjnych charakteryzuje się mniejszą materiałochłonnością w stosunku do pieców łukowych (tabela 3.9). Wynika to ze znacznie niższego zgaru pierwiastków stopowych w trakcie przetapiania wsadu wskutek ograniczonego zakresu zabiegów metalurgicznych prowadzonych w piecu indukcyjnym. Znaczny zgar pierwiastków stopowych w piecu łukowym ma miejsce głównie w czasie świeżenia stali oraz podczas oddziaływania na ciekły metal łuku elektrycznego o wysokiej temperaturze. Bardzo duży wpływ na efektywne topienie ma czystość i wielkość wsadu metalowego. Zastosowanie wsadu przestrzennego zawierającego dużą ilość zanieczyszczeń wydłuża czas wytopu, a tym samym wpływa na wzrost wskaźnika zużycia energii. Przetapianie drobnego, nie zabrudzonego złomu o znanym składzie chemicznym eliminuje lub ogranicza do minimum zużycie dodatków żużlotwórczych oraz tlenu i rudy żelaza.

Nie bez znaczenia jest też zużycie drogich elektrod grafitowych pieców łukowych na skutek ich utleniania, rozpuszczania oraz mechanicznego zużycia (pękania i łamania się elektrod). Stopień zużycia elektrod grafitowych uzależniony jest od wielu czynników, z których najważniejsze to: parametry prądowe zasilania, rodzaj żużla metalurgicznego, atmosfera w piecu, średni czas trwania wytopu, właściwości elektrod, sprawność działania automatyki ruchu elektrod, czy rodzaj i ułożenie wsadu w piecu.

W trakcie wytapiania stali oraz spustu i transportu wewnętrznego ciekłego metalu zużyciu ulega wyłożenie ogniotrwałe pieców i kadzi odlewniczych. Materiały ogniotrwałe stykając się z ciekłą stalą i żużlem narażone są na działanie korozyjne metalu i gazowych składników atmosfery pieca, erozję, uszkodzenia mechaniczne oraz szoki cieplne. W celu ograniczenia zużycia materiałów ogniotrwałych istotny jest zatem właściwy dobór rodzaju wyłożenia zapewniającego maksymalną trwałość wymurówki w określonych warunkach eksploatacji pieców i kadzi odlewniczych. Istotny wpływ na zużycie energii podczas przygotowania ciekłego metalu ma proces wygrzewania kadzi odlewniczych przed spustem stali. Energochłonność tej operacji jest uzależniona głównie od rodzaju zastosowanego paliwa (gaz ziemny, gaz koksowy, tlen) oraz od sposobu wygrzewania kadzi mającego znaczny wpływ na sprawność cieplną procesu.

Procesy zachodzące podczas wytapiania staliwa w piecach łukowych mają znacznie bardziej negatywny wpływ na środowisko niż przygotowanie ciekłej stali w piecach indukcyjnych. Z tego względu piece łukowe wyposażone są w wysokosprawne instalacje odciągo-

wo-odpylające o dużym natężeniu przepływu gazów odlotowych. Wymaga to zastosowania w instalacjach odciągowych wentylatorów zasilanych silnikami o mocy do kilkuset kW. Szacunkowe zużycie energii elektrycznej przez instalacje odpylającą piece łukowe wynosi 50-80 kWh/Mg ciekłej stali i jest uzależnione od wydajności pieców oraz mocy i sprawności zainstalowanych urządzeń. Proces impulsowego oczyszczania filtrów workowych związany jest z poborem sprężonego powietrza wytwarzanego w stacjach sprężarkowych zasilanych elektrycznie lub pobieranego z sieci.

Tabela 3.9. Wskaźniki zużycia podstawowych materiałów w procesie wytapiania stali w piecach łukowych

L.p.	Materiał/Surowiec	Średnie zużycie [kg/Mg ciekłej stali]
1.	Złom stalowy obcy	300 - 700
2.	Złom własny obiegowy	300 - 600
3.	Surówka odlewnicza (złom żeliwny)	50 - 100
4.	Żelazostopy	25 - 70
5.	Ruda żelaza	6 – 40
6.	Wapno	10 - 60
7.	Fluoryt	3 - 15
8.	Elektrody grafitowe	4 - 8
9.	Materiały ogniotrwałe (piec)	20 - 65
10.	Pozostałe materiały i surowce	8 - 30

W przypadku mokrego systemu odpylania pieców elektrycznych zużycie energii, w porównaniu do suchych odpylaczy, jest znacznie wyższe. Wynika to z dużej energochłonności samego procesu odpylania mokrego, a także zabiegów obróbki szlamów pofiltracyjnych.

3.2.7 Sposoby zapobiegania i/lub ograniczania oddziaływania technologii na środowisko

Działania związane z zapobieganiem bądź ograniczaniem negatywnego wpływu procesu wytapiania staliwa i jego obróbki na środowisko ukierunkowane są przede wszystkim na osiągnięcie następujących celów:

- zmniejszenie wielkości emisji substancji do powietrza (zorganizowanej i niezorganizowanej),
- minimalizację ilości powstających odpadów lub ich recykling,
- obniżenie wskaźników zużycia materiałów i surowców,
- racjonalne wykorzystanie energii i paliw,
- ograniczenie emisji hałasu.

Na wielkość emisji zanieczyszczeń wprowadzanych do powietrza wpływa głównie jakość stosowanych materiałów wsadowych i rodzaj zabudowanych urządzeń i instalacji odciągowo-odpylających. Jakość wsadu metalowego uzależniona jest od selekcji dostaw złomu

zewnętrznego pod kątem obecności szkodliwych zanieczyszczeń, składowania złomu stalowego w warunkach zapobiegających jego zabrudzeniu, korozji lub zawilgoceniu. W celu usunięcia wilgoci oraz ewentualnych związków organicznych zalecane jest wstępne podgrzewanie złomu oraz dodatków stopowych i żużlotwórczych. Wewnętrzny recykling powstającego w odlewni złomu powinien uwzględniać konieczność jego oczyszczenia z pozostałości masy formiersko-rdzeniowej oraz powłok lakierniczych. Zmniejszenie ilości emitowanych zanieczyszczeń uzyskuje się jednak głównie poprzez wyposażenie jednostek piecowych w skuteczne urządzenia wychwytujące i oczyszczające gazy odlotowe. Dodatkowe ograniczenie emisji niezorganizowanej i hałasu podczas załadunku, roztapiania i spustu ciekłej stali uzyskuje się w wyniku hermetyzacji jednostek piecowych (stosowanie obudowy pieców).

W celu ograniczenia ilości żużla powstającego w procesie wytapiania staliwa, oprócz odpowiedniej czystości złomu stalowego, należy unikać nieuzasadnionego przegrzewania metalu w piecu, zbyt długiego przetrzymywania ciekłej stali w piecu oraz nadmiernego wprowadzania dodatków żużlotwórczych. Ilość powstającego żużla uzależniona jest ponadto od prawidłowego doboru i zabezpieczenia ogniotrwałego wyłożenia pieców elektrycznych i kadzi przed przyspieszonym zużyciem.

Wskaźniki zużycia materiałów wsadowych są uzależnione głównie od stosowanej technologii wytapiania i jakości zabiegów metalurgicznych mających wpływ na zgar pierwiastków oraz tworzenie się żużla usuwanego w trakcie procesu. Dotyczy to także zużycia materiałów ogniotrwałych stosowanych w piecach i kadziach oraz elektrod grafitowych. Dlatego istotną kwestią jest, aby proces wytapiania staliwa realizowany był przez personel posiadający odpowiednie kwalifikacje i doświadczenie, zapewniające przeprowadzenie procesu w sposób efektywny ekonomiczne.

Na energochłonność procesu wytapiania staliwa w piecach elektrycznych wpływają głównie: czas wytapiania, rodzaj stosowanego wsadu metalowego i jego czystość oraz parametry samych jednostek piecowych i stosowanych instalacji odpylających. Istotne jest więc stosowanie technik skracających czas wytopu (wspomaganie roztapiania wsadu tlenem, argonowanie metalu w piecu, świeżenie tlenem, wtórna metalurgia), a także prowadzenie wstępnej segregacji wsadu metalowego w celu maksymalnego eliminowania złomu zanieczyszczonego lub zawierającego nadmierne ilości fosforu czy siarki. Konieczność usunięcia tych niepożądanych zanieczyszczeń w trakcie świeżenia i wykańczania stali wydłuża bowiem czas wytopu i wpływa na większe zużycie energii elektrycznej. W przypadku pieców indukcyjnych na racjonalne zużycie nośników energii wpływa głównie rodzaj posiadanych jednostek (piece sieciowej lub średniej częstotliwości) oraz prawidłowy dobór wsadu startowego pod względem fizyko-chemicznym (ograniczenie zużycia energii podczas rozruchu pieca). W celu uniknięcia nieuzasadnionego nadmiernego zużycia energii w procesie wytapiania staliwa parametry instalacji odpylających (wydajność, rodzaj i ilość filtrów) dla poszczególnych jednostek piecowych powinny być zaprojektowane w oparciu o rzeczywiste pomiary i oczekiwane wielkości docelowe emisji do powietrza.

Działania ograniczające rozprzestrzenianie się hałasu wytwarzanego przez jednostki piecowe (głównie przez piece łukowe) polegają na maksymalnej hermetyzacji pieców, a także stosowaniu zabiegów metalurgicznych stabilizujących pracę łuku elektrycznego podczas nagrzewania wsadu.

3.2.8 Zestawienie minimalnych wymagań charakteryzujących NDT z przykładami rozwiązań, które pozwolą na spełnienie tych wymagań

W trakcie procesu wytapiania staliwa w piecach elektrycznych i jego obróbki pozapiecowej należy uwzględnić następujące minimalne wymagania charakteryzujące najlepsze dostępne techniki (NDT):

3.2.8.1 Piece łukowe

Nadzorowanie i prowadzenie procesu wytapiania w sposób zapewniający maksymalne skrócenie czasu topienia i obróbki staliwa

Wsad do wytapiania powinien być optymalnie dobrany pod kątem składu chemicznego, konsystencji i ułożenia w piecu. Waga wsadu metalowego oraz ilość wprowadzanych dodatków żużlotwórczych powinna być dokładnie kontrolowana. Wszystkie dodatki stopowe przed wprowadzeniem do pieca powinny być zważone. Efektywny i szybki przebieg reakcji chemicznych wymaga dokładnego pomiaru temperatur w trakcie wytapiania, co pozwala uniknąć nieuzasadnionego przegrzewania stali.

Przykładowymi rozwiązaniami pozwalającymi na skrócenie czasu wytapiania stali w piecu łukowym są:

- zastosowanie palników tlenowych do wspomagania roztapiania wsadu,
- argonowanie stali w piecu łukowym przy użyciu lancy lub poprzez kształtki gazoprzepuszczalne zabudowane w trzonie pieca,
- wykorzystanie tlenu do świeżenia ciekłego metalu,
- zastosowanie wyposażenia zapewniającego szybką analizę składu chemicznego stali w trakcie wytapiania (próbniki zanurzeniowe, nowoczesne spektrometry, poczta pneumatyczna),
- prowadzenie zabiegów wykańczania stali w pieco-kadzi lub konwertorze AOD (wtórna metalurgia).

W przypadku nieodpowiednio dobranego składu wsadu oraz przy zastosowania zbyt przestrzennego złomu wydłużeniu ulega czas topienia. Brak informacji w zakresie wagi ciekłego metalu oraz możliwości szybkiej analizy składu chemicznego w trakcie wytopu uniemożliwia przeprowadzenie skutecznej korekty składu chemicznego wytopu.

Wykorzystanie procesu obróbki ciekłej stali żużlami spienionymi

Technologia ta polega na jednoczesnym świeżeniu stali tlenem i wprowadzaniu do kąpieli metalowej pyłu węglowego. Spieniony żużel tworzy się w wyniku wydzielania się pęcherzyków CO powstających na skutek utleniania węgla podczas świeżenia i reakcji FeO zawartego w żużlu z pyłem węglowym. Ze względu na endotermiczny charakter tej reakcji pył węglowy powinien być dodawany po uprzednim podgrzaniu metalu w piecu (na gorący żużel). Zastosowanie żużli spienionych stabilizuje pracę elektrod (łuku elektrod) oraz poprawia warunki do przenoszenia ciepła wpływając przede wszystkim na ograniczenie zużycia wyłożenia ogniotrwałego pieca, elektrod grafitowych, energii elektrycznej oraz zwiększa wydajność procesu. Jest to szczególnie istotne dla pieców łukowych o dużej mocy.

Zastosowanie instalacji wychwytujących gazy odlotowe

W celu ograniczenia do minimum emisji niezorganizowanej i maksymalnego wychwycenia oraz oczyszczenia gazów odlotowych zaleca się stosowanie następujących wymienionych technik:

- odciągi sklepieniowe wychowujące gazy odlotowe emitowane z rejonu sklepienia, okna wsadowego, rynny spustowej oraz elektrod,
- boczne miejscowe odciągi gazów odlotowych emitowanych przez otwór przelotowy elektrod,

- okapy wyciągowe zlokalizowane ponad piecem łukowym i polem załadowczym kosza wsadowego,
- bezpośredni odciąg gazów poprzez dodatkowy czwarty otwór w sklepieniu pieca,
- częściowa lub całkowita hermetyzacja pieców (systemy „dog-house").

Odciągi sklepieniowe charakteryzują się masywną i podatną na odkształcenia cieplne konstrukcją. Ponadto zwiększają one dość znacznie obciążenie konstrukcji pieca łukowego oraz mechanizmów podnoszenia i obracania sklepienia pieca.

Wykorzystanie bocznych odciągów w porównaniu do odciągów sklepieniowych wymaga zastosowania instalacji odciągowych o większej intensywności. Zastosowanie wymienionej techniki wpływa na szybsze zużycie elektrod grafitowych.

Stosowanie okapów wyciągowych ponad piecem i polem załadowczym nie zapewnia dostatecznej hermetyzacji procesu ze względu na zbyt dużą odległość pomiędzy piecem a okapturzeniem instalacji wyciągowej. Objawia się to występowaniem niezorganizowanej emisji pyłowo-gazowej nawet w przypadku zastosowania intensywnego odciągu gazów odlotowych.

Bezpośrednie odprowadzenie gazów poprzez tzw. „czwarty otwór" wymaga zastosowania przewodów odciągowych chłodzonych wodą lub zabezpieczonych materiałami ogniotrwałymi. Dopalenie dużej ilości CO zawartego w odciąganych gazach wymaga podawania powietrza atmosferycznego do przewodu odciągowego w celu uniknięcia potencjalnej eksplozji. Wysoka temperatura odciąganych gazów stwarza konieczność zastosowania skomplikowanych systemów schładzania spalin dla ochrony filtrów tkaninowych prze uszkodzeniem. Rozwiązanie to charakteryzuje się niską wydajnością oraz przyspiesza utlenianie elektrod grafitowych.

Najbardziej efektywnym rozwiązaniem pozwalającym na wychwycenie ponad 98% emitowanych gazów odlotowych jest zastosowanie hermetyzacji jednostek piecowych poprzez wyposażenie ich w ruchome lub stałe obudowy typu „dog-house". Oprócz pieców łukowych zabudowa obejmuje także dół spustowy. Ruchomy strop i ściany boczne obudów umożliwiają załadunek pieca oraz odbiór ciekłej stali przy użyciu suwnicy. Emitowane gazy odlotowe są ujmowane przez główny odciąg zlokalizowany w górnej części obudowy ponad piecem, który wyposażony jest w wentylatory wyciągowe. Omawiane rozwiązanie może być udoskonalone poprzez zastosowanie dodatkowego miejscowego odciągu gazów emitowanych spod sklepienia pieca oraz wyposażenie stropu i ścian bocznych obudów „dog-house" w kurtyny powietrzne uruchamiane w trakcie załadunku i spustu metalu do kadzi. Zastosowanie pełnej hermetyzacji pracy pieców pozwala ograniczyć do minimum emisję niezorganizowaną oraz natężenie hałasu na stanowiskach zlokalizowanych w obrębie oddziałów topienia do poziomu około 85 dB(A). Zużycie energii przez instalację typu „dog-house" jest około 30-50% niższe od energii wykorzystywanej przez systemy odciągowe wyposażone w okapy wyciągowe.

Schładzanie gazów odlotowych w instalacjach suchego odpylania

Zastosowanie w szerokim zakresie wysokosprawnych filtrów tkaninowych do odpylania gazów odlotowych emitowanych przez piece łukowe wymaga stosowania urządzeń do schładzania wychwytywanych gazów. Najbardziej korzystnymi rozwiązaniami w tym zakresie są: ochładzanie gazów poprzez ich rozcieńczanie nadmuchem powietrza atmosferycznego, wykorzystanie wymienników ciepła lub zastosowanie długich przewodów odciągowych.

Recykling pyłów z odpylania suchego pieców łukowych

W celu ograniczenia ilości pyłu odpadowego wywożonego na zewnątrz odlewni zaleca się wdrożenie wewnętrznego recyklingu (odzysku) pyłów z odpylania suchego gazów odlotowych. Proces polega na wstępnej granulacji lub brykietowaniu pyłu i ponownym jego wykorzystaniu w procesie wytapiania w piecu łukowym. W celu maksymalnego odzysku składników żelazonośnych pył powinien być dodawany w początkowej fazie wytopu.

Zastosowanie recyklingu pyłów wpływa na obniżenie wydajności topienia, zwiększa zużycie energii elektrycznej o około 20-30 kWh/Mg oraz zwiększa ilość powstającego żużla. Dlatego udział dodawanego pyłu powinien być optymalnie dobrany w zależności od warunków danej odlewni.

3.2.8.2 Piece indukcyjne

Wykorzystanie czystego złomu stalowego

Ograniczone warunki do przeprowadzania zabiegów metalurgicznych w piecu indukcyjnym wymagają wykorzystania w procesie wytapiania stali odpowiednio wyselekcjonowanych materiałów wsadowych. Selekcja materiałów powinna uwzględniać:

- eliminowanie ze wsadu zardzewiałego i zanieczyszczonego złomu,
- wykorzystanie zwartego złomu o małych rozmiarach,
- użycie czystych, nie zawilgoconych i nie zawierających nadmiernej ilości szkodliwych domieszek dodatków stopowych i nawęglających.

Przestrzeganie wymienionych zasad pozwala skrócić do minimum czas topienia, ograniczyć zużycie energii elektrycznej oraz zminimalizować ilość powstającego żużla.

Stosowanie odpowiednich zasad podczas załadunku pieca oraz w trakcie wytapiania

Prawidłowy załadunek pieca indukcyjnego tyglowego ma istotny wpływ na trwałość wyłożenia ogniotrwałego i efektywność energetyczną procesu topienia. W celu ograniczenia uszkodzenia mechaniczno-cieplnego wymurówki zaleca się stosowanie automatycznych systemów załadunku (np. podajników wibracyjnych), unikanie zasypu materiałów ze zbiorników pionowych i zrzucania kawałków wsadu metalowego z dużej wysokości. Czas załadunku powinien być skrócony do minimum w celu ograniczenia utleniania ciekłej stali w trakcie otwarcia pokrywy pieca.

W czasie procesu wytapiania staliwa w piecach indukcyjnych zaleca się przestrzeganie następujących zasad:

- ograniczanie czasu otwarcia pokrywy pieca do niezbędnego minimum,
- stosowanie atmosfery ochronnej w piecu (na przykład N_2),
- zapewnienie dostatecznej szczelności pokrywy pieca,
- unikanie nieuzasadnionego przetrzymywania ciekłego metalu w tyglu,
- ograniczenie startu pieca na zimnym wsadzie (piece o częstotliwości 50 Hz),
- wykorzystanie automatycznego sterowania procesem topienia,
- unikanie nieuzasadnionego przegrzewania staliwa.

Zastosowanie pieców indukcyjnych średniej częstotliwości

Piece indukcyjne średniej częstotliwości powinny być stosowane ze względu na wyższą o około 10% sprawność cieplną w stosunku do jednostek o częstotliwości sieciowej (50 Hz). Piece te charakteryzują się około trzykrotnie wyższą gęstością mocy w stosunku do pieców sieciowej częstotliwości. Dodatkowo piece średniej częstotliwości nie wymagają specjalnych bloków startowych lub ciekłych zaczynów i mogą pracować na zimnym wsadzie startowym. W przypadku planowanych przez odlewnie działań inwestycyjnych w zakresie jednostek topialnych, piece sieciowej częstotliwości powinny być zastępowane piecami indukcyjnymi średniej częstotliwości o wyższej wydajności i sprawności cieplnej.

Wykorzystanie ciepła powstającego w procesie chłodzenia pieców elektrycznych

W uzasadnionych ekonomicznie przypadkach należy rozważyć możliwość odzysku ciepła odprowadzanego przez układy chłodzenia pieców indukcyjnych do innych zastosowań w odlewni. Dzięki zastosowaniu wodnych lub powietrznych wymienników odzyskane ciepło może być wykorzystane do podsuszania materiałów wsadowych do pieców indukcyjnych, do ogrzewania pomieszczeń lub wody grzewczej centralnego ogrzewania.

W niektórych odlewniach staliwa do chłodzenia wzbudników pieców indukcyjnych wykorzystuje się olej opałowy. Zastosowanie wymienników ciepła zlokalizowanych na zewnątrz hali produkcyjnej umożliwia odzysk ciepła zawartego w oleju i wykorzystanie go do ogrzewania pomieszczeń produkcyjnych.

Wykorzystanie instalacji odciągowo-odpylających wyposażonych w suche systemy odpylania

Podobnie jak w przypadku pieców łukowych, w trakcie wytapiania stali w piecach indukcyjnych należy zapewnić warunki do maksymalnego odciągu gazów odlotowych i ich oczyszczenia. Zaleca się zastosowanie jednej z następujących technik:

- wykorzystanie systemu ogólnej wentylacji oddziału wytapiania,
- użycie okapów wyciągowych ponad piecem,
- zastosowanie stałych i ruchomych odciągów bocznych,
- wykorzystanie odciągów pierścieniowych zabudowanych bezpośrednio przy pokrywie pieca.

Instalacje odciągowe powinny być wyposażone w urządzenia oczyszczające gazy odlotowe. Zastosowanie suchych systemów odpylania w stosunku do mokrych odpylaczy eliminuje konieczność obróbki powstających szlamów i wody zużytej do oczyszczania gazów.

Szczególnie istotnymi aspektami związanymi z wykorzystaniem suchych odpylaczy są: czystość złomu stalowego oraz temperatura gazów na wlocie do filtra. Zanieczyszczenia olejowe obecne we wsadzie w początkowej fazie wytapiania ulegają odparowaniu i unoszone są przez gazy odlotowe, a następnie kondensują na powierzchni filtrów tkaninowych. Powoduje to obniżenie wydajności instalacji odciągowej oraz trudności z usuwaniem pyłów nagromadzonych na powierzchni filtrów. Obecność oparów pochodzenia olejowego w wyniku ich spalania w przewodach odciągowych może spowodować wzrost temperatury spalin, a tym samym konieczność zastosowania systemów schładzania gazów odlotowych przed ich wprowadzeniem do odpylacza.

3.2.8.3 Obróbka pozapiecowa stali

Zastosowanie systemów odciągowych podczas obróbki pozapiecowej stali w procesie AOD lub w pieco-kadzi

W przypadku wykorzystania w odlewni procesu obróbki pozapiecowej stali w konwertorze AOD lub w pieco-kadzi należy uwzględnić możliwość odprowadzenia gazów odlotowych powstających głównie w trakcie świeżenia tlenem oraz podczas podgrzewania ciekłego metalu łukiem elektrycznym. Zaleca się, aby powstające gazy były odprowadzane przez okapy wyciągowe do instalacji oczyszczających.

3.2.9 Określenie minimalnych wymagań w zakresie monitoringu

Zapewnienie prawidłowego przebiegu wytapiania stali na odlewy w piecach elektrycznych wpływa na racjonalne zużycie materiałów, surowców i energii, a także ogranicza negatywny wpływ procesu na środowisko. Efektywne zarządzanie procesem przygotowania stali i jej obróbki wymaga monitorowania podstawowych parametrów. Minimalne wymagania w tym zakresie powinny obejmować:

- bieżącą kontrolę odbiorczą dostaw złomu stalowego pod względem obecności szkodliwych zanieczyszczeń,
- monitorowanie czystości złomu obiegowego (obecność pozostałości masy formierskiej i rdzeniowej, powłok lakierniczych, zanieczyszczeń olejowych),
- okresową kontrolę dostarczanych żelazostopów (sprawdzenie zawartości podstawowych składników na zgodność z atestem),
- przeprowadzanie przeglądów i okresowych konserwacji jednostek piecowych (stan pancerza, wymurówki pieca, szczelność układu chłodzenia)
- przeglądy instalacji odciągowo-odpylających pod względem sprawności technicznej (szczelność przewodów odciągowych)
- monitorowanie wskaźników zużycia energii elektrycznej w procesie wytapiania w przeliczeniu na 1 Mg wytapianej stali dla poszczególnych jednostek piecowych (poszczególnych grup staliw),
- okresowe pomiary emisji zanieczyszczeń wprowadzanych do powietrza (pył, SO_2, NO_2, CO, WWA) oraz skuteczności zainstalowanych urządzeń odpylających,
- bieżącą ewidencję w zakresie ilości odpadów powstających w procesie wytapiania stali i jej obróbki pozapiecowej,
- okresowe badania pyłów z gazów odlotowych i żużla odlewniczego (wymywalność, skład chemiczny)
- ewidencję w zakresie wskaźników zużycia podstawowych materiałów, surowców i paliw w przeliczeniu na 1 Mg wytapianej stali (materiały wsadowe, materiały ogniotrwałe, elektrody grafitowe, tlen, argon),
- analizę statystyczną jakości przeprowadzanych wytopów w zakresie zgodności składu chemicznego stali z wymaganiami,
- pomiary temperatur ciekłej stali w trakcie procesu wytapiania (przegrzania, spustu, zalewania) oraz temperatury wygrzania wymurówki kadzi przed spustem.

3.3 Wytapianie i obróbka metali nieżelaznych

3.3.1. Analiza stosowanych technologii i technik oraz ich porównanie z poziomem światowym

Technologie i techniki stosowane przy przetapianiu stopów metali nieżelaznych zależne są zarówno od rodzaju stopu, jak i od wielkości odlewni. Porównując stan odlewni polskich z zagranicznymi zaobserwować należy tendencję do równania średnich i dużych przedsiębiorstw krajowych do standardów światowych. Stosowana w wielu odlewniach technologia zalewania z wykorzystaniem maszyn ciśnieniowych wymusiła przestrzeganie norm zarówno technologicznych, jak i odnoszących się do ochrony środowiska. Nieco odmienna sytuacje dotyczy małych odlewni. Szczególne różnice występują w tym przypadku w jakości instalacji odpylających i w gospodarce odpadami stałymi.

3.3.1.1. Stopy aluminium

Do topienia aluminium stosowane są piece różnych typów (indukcyjne, obrotowe, trzonowe, szybowe, z promieniującym sklepieniem, tyglowe). Dobór pieca jest oparty na kryteriach technicznych (tj. warunki pracy, wydajność, rodzaj linii zalewania). W jednej odlewni może być stosowanych kilka rodzajów pieców. Praktyka wskazuje ze scentralizowane topie-

nie w piecach o wyższej wydajności charakteryzuje się lepszą sprawnością energetyczna, niż topienie w małych tyglach. Stosowanie czystych materiałów wsadowych oraz pieców elektrycznych lub opalanych gazem daje stosunkowo niską emisję podczas topienia. W` procesie topienia aluminium na ogół nie ma parowania metalu, a straty aluminium występują w przypadku tworzenia się zgarów. Koszt tych strat może być bardzo wysoki, czasami wyższy niż koszt energii.

Piece indukcyjne

W przypadku topienia aluminium w *piecach indukcyjnych* zazwyczaj stosuje się jednostki o pojemności 500 kg do 2 Mg, i częstotliwości 250 – 1000 Hz. Piece indukcyjne są energetycznie bardzo efektywne. Zużycie energii w procesie topienia zależy od gęstości wsadu i stosowanej praktyki topienia. Piece o działaniu okresowym są mniej wydajne niż piece z zaczynem ciekłym. Ciekły zaczyn jest bardziej wydajny nawet o 50%. Zużycie energii waha się od 5400 kWh/Mg przy stosowaniu wsadu gęsto upakowanego (małe kawałki złomu i wlewki) do 600 kWh/Mg przy luźnym upakowaniu wsadu (układy wlewowe z odlewów ciśnieniowych). W tabeli 3.10 podano charakterystykę typowych pieców stosowanych do topienia aluminium oraz emisję z nich (dotyczy to odlewni europejskich; dane odnośnie odlewni krajowych zawarte są w tabelach 7.11 i 7.12).

Piece trzonowe

Stosowane są piece tego typu różnej wielkości i kształtu. Duże piece trzonowe pozwalają na uzyskiwanie dużych szybkości topienia. Jednak bezpośredni kontakt płomienia z materiałem wsadowym może prowadzić do wysokich strat metalu, wychwytywania gazów przez metal i powstawanie zanieczyszczeń tlenkowych. Również utrudniona jest kontrola temperatury. Piece tego typu są stosunkowo rzadko stosowane ze względu na małą efektywność cieplną (około 1100 kWh/Mg). W tabeli 3.11 podano dane odnośnie emisji z pieca trzonowego opalanego olejem stosowanego do topienia aluminium.

Tabela 3.10. Charakterystyka i wielkość emisji dla typowych pieców stosowanych do topienia aluminium w odlewniach europejskich

	Jednostki	Piec obrotowy	Piec trzonowy	Piec szybowy	Piec tyglowy		
Podtyp			jedna komora		ogrzewany paliwem	ogrzewany oporowo	indukcyjny
Źródło energii		Paliwa (ciekłe, gazowe)	Paliwa (ciekłe, gazowe)	Paliwa (ciekłe, gazowe)	Paliwa (ciekłe, gazowe)	Elektryczność	Elektryczność
Wydajność cieplna[1]	%	15 - 40	<30 - 57	35 - 60	15 - 40	65	65 - 70
Pierwotna wydajność cieplna[2]	%	15 - 40	<30 - 57	35 - 60	15 - 40	22	22 - 25
Zużycie energii	kWh/t A1[4]	600 - 1250	975 - 1150	580 - 900	900 - 1200	750	475 - 640
Praca okresowa/ciągła		Okresowa	Okresowa	Ciągła	Okresowa	Okresowa	Okresowa
Pojemność przy topieniu	t	3-10	0.5 - 30	0.5 - 4(-15)	0.1-1.2	0.1 - 0.4	0.2 - 25
Pojemność przy wytrzymywaniu.	t	n.a	n.a	1.5 -	0.1-1.5	0.1 - 1.5	0.15 - 6
Czas wytopu		2 - 4	3 - 4	0.5	0.5 - 1	4 - 5	0.2 - 0.5
Możliwość świeżenia		mała	mała	mała	dobra	bardzo dobra	mała
Strata w wyniku wypapalania	%	n.d	n.d	1- 3	1 - 2	1 - 2	1 - 2
Emisja pyłu	kg/t Al[4]	n.d	<1	<1	<1	średnia	średnia
NO_x[5]	kg/t Al[4]	n.d	<1 - 6	<1- 6	<1 - 6	n.a	n.a
Koszty inwestycji[6]	EUR `000	ad	n.d	190 - 370	20 - 50	12 - 100	190 - 500
Koszty eksploatacji	EUR `000	ad	n.d	20 - 100	3 - 20	15 - 45	35 - 150
Techniki oczyszczania		Filtry workowe dla większych instalacji	Filtry workowe dla większych instalacji	Filtry workowe dla większych instalacji	Przeważnie nie konieczne, ze względu na małe wielkości pieców	Nie konieczne	Nie konieczne

[1] Definicja: zależność pomiędzy ciepłem zawartym w kąpieli metalowej a ciepłem dostarczonym przez paliwo; wskazane wartości obra-

	Jednostki	Piec obro-towy	Piec trzonowy	Piec szybo-wy	Piec tyglowy
zują rząd wielkości, ale w dużym stopniu zależą od warunków eksploatacji, takich jak temperatura metalu [2] Wydajność wytwarzania energii elektrycznej (paliwa) przyjęto 35% [3] Zależy od pomiarów odzysku ciepła; ważne tylko dla etapu topienia; [4] Jednostka „na tonę Al" odnosi się do tony ciekłego stopu aluminium [5] Zależy od projektu komory spalania i charakterystyki pracy [6] Zależy od pomiarów odzysku ciepła; ważny tylko dla etapu topienia					

Tabela 3.11. Dane odnośnie wielkości emisji z pieca trzonowego opalanego olejem przy topieniu Al

Składnik	Poziom emisji (mg/Nm^3)	Masowe natężenie przepływu (g/h)	Roczne masowe natężenie przepływu (tona/rok)
O_2	17.6		
CO_2	2.2		
CO	<4	<24	<0.0438
NO_x	45	270	0.4928
SO_2	13	78	0.1424
pył	1	6	0.011
OWO	5	30	0.0548
A1	0.092	0.552	0.001
Przepływ gazów spalinowych: 6000 Nm^3/h (suchych); czas pracy: 1825 h/rok			

Piece tyglowe (opalane paliwem lub oporowe)

Piece tyglowe są nagrzewane bezpośrednio palnikami paliwowymi lub elektrycznie oporowo. Piece nagrzewane palnikami nie są tak skutecznie cieplnie jak inne piece topialne, ponieważ trudno jest w pełni wykorzystać ciepło ze spalania. Ale są one stosunkowo niedrogie. Ze względu na fakt, że płomień nie ma bezpośredniego kontaktu z ciekłym metalem, straty metalu są małe, a jakość ciekłego metalu wysoka.

Obróbka ciekłego aluminium

Do równoczesnego odgazowania (usuwania głównie rozpuszczonego wodoru) i rafinacji aluminium stosuje się mieszankę argonu lub azotu z 3% Cl_2 . Dla samego usuwania gazów z ciekłego metalu stosowane są gazy Ar i N_2 bez dodatku chloru. Gazy obojętne działają na drodze fizycznej, rozpuszczając w sobie wodór i wynosząc go do atmosfery, gazy aktywne dodatkowo jeszcze wiążą chemicznie wodór, np. chlor w chlorowodór, który jest nierozpuszczalny w ciekłym metalu i wypływa na powierzchnię. Działanie za pomocą samych gazów obojętnych jest mało skuteczne, bo wypływające z lancy pęcherze są duże i nie maja wystarczającego powierzchniowego kontaktu z ciekłym metalem, wskutek czego proces przedmuchiwania trwa długo (nawet do 30 min), a stopień odgazowania może być niepełny. Gazy aktywne przyśpieszają proces i dają lepsze odgazowanie.

Zużycie modyfikatorów i topników zależy od rodzaju stopu, ale na ogół jest rzędu 100 g – 1 kg/ 50 kg ciekłego metalu.

3.3.1.2 Stopy miedzi

Topienie

Do topienia stopów miedzi stosowane są piece indukcyjne lub tyglowe. Wybór opiera się na kryteriach technicznych. Piece indukcyjne są średniej częstotliwości z wyłożeniem SiO_2 lub Al_2O_3. W tabeli 3.12. zamieszczono bilans materiałowy dla odlewni mosiądzu. Dane odnoszą się dla łączonego procesu topienia i odlewania niskociśnieniowego (bez operacji wykańczania i wytwarzania rdzeni). Odlewnia ta stosuje piec tyglowy opalany gazem o wydajności 1 Mg/h.

Tabela 3.12. Bilans materiałowy dla odlewni mosiądzu niskociśnieniowej (operacje topienia i odlewania kokilowego)

Materiały wejściowe	
Energia elektryczna	1360 kWh
Propan	14
Sprężone powietrze	48 kWh
Woda	85.7 1
Tabletki odgazowujące	0.6 jedn.
Odtleniacz	0.9 jedn.
Stop miedzi	0.44
Topniki pokrywające	0.31
Rdzenie	286
Powłoka grafitowa	3.4
Materiały wyjściowe	
Niezalana masa	101
Zalana masa	6.7
Powłoka grafitowa	61.41
Pył cynkowy	0.075
Żużel	36.3
Mosiężny złom	57.1
Mosiężne wióry	18.4
Emisje (bez oczyszczania gazów spalinowych)	
Pył	3.9
LZO	3.3
SO_2	0.1
NO_x	0.03
Miedź	0.081
Cynk	26.3
Wszystkie dane w przeliczeniu na tonę sprzedanego odlewu; dane w kg jeśli nie podano innych jednostek	

Produkcja żużla i szlamów wynosi około 60 kg/Mg ciekłego metalu. Skład żużla zależy od gatunku wytapianego stopu. Stałość jakości żużla można uzyskać poprzez odpowiednie mieszanie różnych rodzajów żużli pochodzących z danej odlewni. Jest to niezbędne dla wykorzystania żużla poza odlewnią.

Ilość odpadów wyłożenia ogniotrwałego wynosi 8 – 9 kg/Mg ciekłego metalu w przypadku pieców indukcyjnych i 7,5 kg/Mg przy topieniu w piecach trzonowych opalanych paliwem ciekłym.

Obróbka ciekłego metalu

Dla usunięcia gazów z ciekłej miedzi stosuje się gazy obojętne (Ar, N_2) w ilości 50 – 70 litrów/ 100 kg metalu. Można również stosować w tym celu pastylki lub brykiety. Czas odgazowania trwa zazwyczaj 3 – 10 minut, w zależności od wielkości wytopu.

3.3.1.3. Stopy magnezu

Topienie

Stopy magnezu odznaczają się dużym powinowactwem chemicznym w stosunku do składników atmosferycznych, dużą skłonnością do niejednorodności dendrytycznej, ponadto zachodzą w nich intensywne procesy starzenia. Wszystkie te zjawiska wymagają konieczności stosowania różnorodnych, często drogich i pracochłonnych zabiegów technologicznych podczas topienia. Jako gaz ochronny, zapobiegający utlenianiu (lub wypalaniu) Mg przy topieniu magnezu i jego stopów stosuje się SF_6 i SO_2. Ponieważ SF_6 jest łatwiejszy i bezpieczniejszy przy stosowaniu niż toksyczny SO_2, to staje się on bardziej preferowany, jako gaz ochronny. Z drugiej jednak strony SF_6 należy do tzw. gazów cieplarnianych. W praktyce stosuje się atmosferę ochronną o składzie np. 99,4% CO_2, 0,6% SF_6. Natomiast w przypadku stosowaniu dwutlenku siarki, mieszanka powietrzna lub argonu zawiera 1 - 2% SO_2. W celu zoptymalizowania bezpieczeństwa i minimalizacji zużycia gazu ochronnego procesy topienia i zalewania prowadzi się przy pełnej hermetyzacji. Zużycie SF_6 wynosi od 0,1 d0 11 kg/tonę gotowego odlewu. Średnie zużycie wynosi 0,9 kg/Mg odlewów.

Ze względu na obecność tlenków i innych wtrąceń, ilość złomu magnezowego, która może być poddana recyklingowi jest ograniczona. Złom jest poddawany obróbce i recyklingowi w oddzielnej instalacji. W odlewni tylko układy wlewowe mogą być bezpośrednio topione w piecu topialnym. Niezbędne jest specjalistyczne wyposażenie dla dokładnej analizy i kontroli metalograficznej. Zaleca się dwie techniki:

- przetapianie bez udziału topników: przetapianie złomu Mg prowadzone jest pod gazem ochronnym w piecu trzonowym (tylko do złomu klasy 1).
- przetapianie z udziałem soli: złom Mg przetapiany jest pod warstwą soli ochronnych (do przeróbki wszystkich klas złomu).

Obróbka ciekłego metalu

Stopy magnezu zawierające aluminium są poddawane działaniu sześciochloroetanu w celu rozdrobnienia ziarna. Stosuje się około 2 kg sześciochloroetanu na 1 Mg magnezu zawierającego aluminium.

W Polsce do topienia magnezu i jego stopów stosowane są tylko piece tyglowe.

3.3.1.4 Stopy ołowiu i stopy cynku

Do topienia ołowiu oraz jego stopów, stosowane są piece indukcyjne lub tyglowe opalane gazem. Wybór opiera się na kryteriach technicznych. Z uwagi na specyfikę stopów ołowiu zaleca się stosowanie atmosfer ochronnych podczas topienia. Szczególne znaczenie ma utrzymywanie możliwie niskiej temperatury technologicznej, jak również stosowanie bardzo wydajnych odciągów. Zalecane jest rozlewanie bezpośrednio z pieca poprzez systemy dozujące lub chronione rynny rozlewnicze. Do topienia stopów cynku stosowane są piece indukcyjne lub tyglowe opalane gazem. Wybór opiera się na kryteriach technicznych. Podczas topienie należy bezwzględnie przestrzegać zalecanych temperatur i nie dopuszczać do przegrzewania. Zaleca się stosowanie żużlotwórczych powłok ochronnych i koniecznie pokrywy na tyglu lub piecu. Gazy odlotowe powstające podczas topienia powinny być zbierane i oczyszczane w systemie suchym.

3.3.2 Identyfikacja istotnych aspektów środowiskowych

Przy przetapianiu stopów aluminium i stopów miedzi do najistotniejszych elementów technologicznych wpływających na środowisko zaliczyć należy procesy rafinacyjne i stosowane środki modyfikujące strukturę pierwotną. Z uwagi na wydzielające się gazy wymienione procesy technologiczne należy uznać za zagrażające zarówno bezpośrednio pracownikom, jak i przyrodzie. Ważną składową procesów produkcji wlewków i odlewów jest również składowanie wymienionych powyżej środków. Ważnym elementem jest również etap rozle-

wania do form. Z uwagi na zagrożenie dla dróg oddechowych pracowników należy również podkreślić szkodliwość procesu śrutowania wsadu metalowego. Szczegółową analizę przedstawiono poniżej:

– Przy rafinacji stopów aluminium stosowane są mieszanki gazów Ar/Cl_2 , N_2/Cl_2 lub Ar/SF_6. chlor i jego związki uznaje się za niekorzystne dla środowiska, natomiast SF_6 jest gazem cieplarnianym o wysokim potencjale ocieplenia klimatu i jest uwzględniany w protokole z Kyoto jako szkodliwy. Podczas zabiegów rafinacyjnych miedzi i jej stopów stosuje się również powszechnie związki chloru i fluoru, często w powiązaniu z węglem.

– Przy modyfikacji stopów aluminium stosuje się: związki sodu, zaprawy Ti-B, stront, antymon lub związki z fluorem lub chlorem. W metalurgii miedzi i jej stopów stosowany jest często bor, tytan, wapń, lit, jak również węgliki, azotki i związki międzymetaliczne. Wymienione składniki nie są obojętna dla środowiska.

– W przypadku chwilowego składowania żużli z fluorkami lub chlorkami występuje tzw. zanieczyszczenie rozproszone (pylenie, rozmywanie przez deszcz itp.). Występuje wymywalność odpadów szacunkowo wynosząca od 0,5-2 procent. W odniesieniu do żużli największym zagrożeniem jest wymywalność związków sodu, chloru i potasu, jak również metali szczególnie takich jak nikiel, chrom, kadm, ołów i cynk. Pozostałą zawartość stanowią tlenki, których szkodliwość dla otoczenia jest niska. Przeliczeniowa łączna ilość odpadów w odlewniach metali nieżelaznych waha się od 5-40% masy gotowych odlewów, z czego około 30-50% stanowią łączne odpady z procesów topienia. Istotną składową odpadów, oprócz wymienionych, jest wymurówka pieców i zużyte tygle.

Zabrania się spalania worków po substancjach niebezpiecznych a szczególnie opakowań foliowych lub foliowanych, ktore same w sobie są nośnikiem niebezpiecznych i trujacych gazów wydzielających się podczas procesu spalania czy pirolizy.

– Podczas rozlewania wydobywają się dymy zawierające nie tylko pary stopów, ale również pary stosowanych środków rafinacyjnych i modyfikacyjnych (opisano powyżej). Łączna emisja pyłów nie powinna przekraczać 0,2-0,25 kg/godz. i 2,5-3,0 mg/Nm^3.

W procesach topienia stopów magnezu szczególnym zagrożeniem dla środowiska jest możliwość wybuchowych reakcji egzotermicznych, przy braku odpowiednich instalacji eliminujących dostęp tlenu, jak również emisja SF_6 stosowanego jako gaz ochronny. Szkodliwe jest stosowanie w procesie topienia dwutlenku siarki (SO_2), który jest gazem toksycznym i należy brać pod uwagę wartości graniczne narażenia pracowników). Ponadto należy się liczyć z osadzaniem się w instalacji odpadów zawierających siarkę i tlen. W niesprzyjających okolicznościach osady te mogą zanurzać się w płynnym metalu i wówczas mogą wywoływać reakcje prowadząca do erupcji metalu z powierzchni kąpieli.

Podczas topienia stopów ołowiu i cynku szczególnie niebezpieczne dla środowiska są pary ołowiu i pary cynku. Zagrożenie występuje dla zdrowia pracowników w przypadku źle prowadzonych zabiegów technologicznych (silne przegrzewanie stopów, zła wentylacja, brak lub niedoskonałość odciągów spod pieca). Uciążliwe są również pyły osadzające się wokół tego typu odlewni, stanowiące zagrożenie dla środowiska.

3.3.3 Charakterystyka emisji do poszczególnych komponentów środowiska

W procesach topienia stopów metali nieżelaznych wyróżnić należy następujące rodzaje emisji:

- emisję do atmosfery – głównie par topionych metali i stopów, środków rafinacyjnych oraz odpadów (żużle i zgary),
- emisję do gleby – głównie odpady żużli i szlamów.

W przypadku stopów aluminium i stopów miedzi, z uwagi na obecność w odpadach żużlowych związków zawierających fluor lub chlor należy stosować specjalne środki zabezpieczające przed tzw. zanieczyszczeniem rozproszonym, a wszelkie odpady z procesu topie-

nia powinny być utylizowane lub wykorzystane przez specjalistyczne przedsiębiorstwa. Zgary z procesów produkcji aluminium powinny być poddawane recyklingowi w celu odzysku Al. Przed ostatecznym zagospodarowaniem, powinny one być odpowiedni zabezpieczone, aby nie stwarzać zagrożenia dla środowiska. Opakowania po środkach rafinujących i modyfikujących powinny być selekcjonowane i gromadzone we wskazanych miejscach – ich usuwanie przeprowadza wyspecjalizowana firma
Istotnym problemem przy topieniu stopów aluminium, miedzi, cynku i ołowiu są zgary odlewnicze. Prawidłowe sterowanie procesami topienia, szczególnie dbałość o pomiar temperatury i właściwy dobór środków rafinujaco-ochronnych przyczynia się do minimalizowania ilości zgarów, a tym samym strat metalu.

3.3.4 Sposoby zapobiegania i ograniczania oddziaływania technologii na środowisko

W procesach topienia stopów aluminium szczególnie stosować należy następujące sposoby zapobiegania negatywnym oddziaływaniom na środowiska:

- konieczność stosowania pokryw na tyglach bądź kotlinach pieców topialnych,
- przy rafinacji konieczne są instalacje odgazowujące, szczególnie przy stosowaniu rafinacji gazowej z ruchomym lub stałym wirnikiem,
- z względów bezpieczeństwa i ekologię powinno się ograniczać w procesach modyfikacji stosowanie związków z fluorem lub chlorem,
- w przypadku chwilowego składowania żużli z fluorkami lub chlorkami stosować należy specjalne środki zabezpieczenia przed tzw zanieczyszczeniem rozproszonym. Wszelkie odpady z procesu topienia powinny być utylizowane lub wykorzystane przez specjalistyczne przedsiębiorstwa,
- zalecane jest rozlewanie bezpośrednio z pieca lub z tygla albo przy pomocy kadzi przelewowej z pokrywą. Korzystne jest stosowanie osłony gazowej podczas procesu rozlewania,
- należy stosować odpowiednie instalacje odpylające podczas czyszczenia wsadu poprzez śrutowanie,

W procesach topienia stopów miedzi szczególnie należy przestrzegać następujących zasad, aby zapobiegać negatywnym oddziaływaniom na środowiska:

- topienie z zastosowaniem pokrywy na tyglu lub kotlinie pieca (konieczne systemy odpylające),
- rozlewanie bezpośrednio z pieca lub tygla albo z zastosowaniem kadzi z pokrywą lub poprzez specjalny dozownik,
- stosować odpowiednią strukturę wsadu (zależnie od odpowiedzialności odlewów):
  - stopy lub zaprawy od ok. 50 – 100%,
  - złom własny od ok. 10 – 80%,
  - złom kupny (obcy) od 40 - 60% (stosowanie tego gatunku złomu zalecane tylko w przypadku posiadania urządzeń do selekcji i identyfikacji),
- stosować środki rafinacyjne o żużlowej charakterystyce i z chemicznie czynnymi reagentami – możliwość eliminacji technologii opartych na środkach rafinacyjnych na bazie chlorków lub fluorków. Zalecane jest dozowanie środków rafinacyjnych bezpośrednio na zimny wsad metalowy, a w szczególnych przypadkach (podanych w instrukcjach topienia producenta) dozowanie na ciekły metal.
- stosować środki rafinująco-modyfikujące, przez co skraca się czas zabiegów topienia i zmniejsza emisja par do atmosfery (z uwagi na konieczność wielokrotnego otwierania pokrywy),
- konieczne staranne selekcjonować złomy, zalecane wstępne podgrzewanie,

- w przypadku chwilowego składowania żużli z fluorkami lub chlorkami stosować należy specjalne środki zabezpieczenia przed tzw. zanieczyszczeniem rozproszonym. Wszelkie odpady z procesu topienia powinny być utylizowane lub wykorzystane przez specjalistyczne przedsiębiorstwa. Podobne, jak w przypadku żużli należy stosować zabezpieczenie w odniesieniu do zgarów.

Przy topieniu magnezu, ze względu na specyfikę tego metalu, w szczególności jego wysokie powinowactwo do tlenu, według nowoczesnych technologii (NDT) zalecane jest:

- stosowanie SO_2 jako gazu ochronnego lub zastępowanie SF_6 przez SO_2 (dotyczy to instalacji o rocznej wydajności 500 ton lub większej). W przypadku zastosowania pieca z nieruchomą kąpielą możliwe jest stosowanie SO_2 rozcieńczonego w azocie w ilości 1-2% przy przepływie 5 do 10 l/min.;
- minimalizacja zużycia i emisji SF_6 oraz SO_2;
- stosowanie wewnętrznego recyklingu złomu;
- rozlewanie za pośrednictwem systemów dozujących lub izolowanych od otoczenia rynien rozlewniczych.

Podczas topienia stopów ołowiu zaleca się - z uwagi na ich specyfikę -stosowanie atmosfer ochronnych. Szczególne znaczenie ma utrzymywanie możliwie niskiej temperatury technologicznej, jak również stosowanie bardzo wydajnych odciągów. Zalecane jest rozlewanie bezpośrednio z pieca poprzez systemy dozujące lub chronione rynny rozlewnicze.

Podczas topienia stopów cynku należy bezwzględnie przestrzegać zalecanych temperatur i nie dopuszczać do przegrzewania. Zaleca się stosowanie żużlotwórczych powłok ochronnych i koniecznie pokrywy na tyglu lub piecu. Gazy odlotowe powstające podczas topienia powinny być zbierane i oczyszczane w systemie suchym

3.3.5. Zestawienie minimalnych wymagań charakteryzujących NDT z przykładami rozwiązań technicznych, które pozwolą na spełnienie tych wymagań

W procesach topienia stopów metali nieżelaznych zasadnicze rozwiązania techniczne związane są z konstrukcjami pieców topialnych i sposobami rozlewania ciekłego metalu do form.

Przy stosowaniu pieców indukcyjnych konieczne jest:

- stosowanie właściwej praktyki przy załadunku i pracy pieca, a szczególnie:

  - *optymalizacje warunków załadunku wsadu* (unikaniem ładowaniem wsadu skorodowanego i zanieczyszczonego, wykorzystywanie wsadu o odpowiedniej wielkości/rozdrobnieniu i gęstości),

  - *zamykanie pieca pokrywą*, *unikanie stosowania źle dopasowanych pokryw i niepotrzebnego/przedwczesnego ich otwierania*, (szybki załadunek wsadu, stosowania atmosfery ochronnej (N_2), zminimalizowany czas otwarcia pokrywy tak, aby zapobiegać stratom energii i ograniczyć oddziaływanie czynników atmosferycznych na ciekły metali i żużel),

  - *ograniczenie do minimum czasu przetrzymywania ciekłego metalu* (optymalizacja pobierania próbek, ściągania żużla, stosowanych zabiegów rafinacyjnych, badań i korekt składu chemicznego),

  - *praca z maksymalną mocą* (optymalizacja programu produkcyjnego, sterowanie komputerowe mocą pieca),

  - *unikanie nadmiernych temperatur i niepotrzebnego przegrzania metalu* (wymagana temperatura technologiczna powinna być osiągnięta bezpośrednio przed zalaniem form),

  - *optymalizacja wysokiej temperatury kąpieli w celu ściągnięcia żużla - szczególnie istotne w odniesieniu do omawianej grupy pieców,*

- *zapobieganie narastaniu żużla (*zaleca się ograniczanie do minimum zabiegów „topnikowania" na rzecz wcześniejszych zabiegów zapobiegawczych np. poprzez odpowiednią czystość wsadu),
- *minimalizacja i kontrola zużycia wyłożenia ogniotrwałego (*dobór materiału i temperatury roboczej, wykorzystanie automatycznych systemów załadunku wsadu, używanie złomu sprasowanego i suchego),

- ocena możliwości odzysku ciepła odpadowego i wdrożenie systemu odzysku ciepła jeżeli da się to zastosować. W szczególności należy zwrócić uwagę na:
  - *opłacalność wykorzystania ciepła odpadowego* przy założeniu, że dostępne ciepło jest gorszego gatunku (temperatura wody chłodzącej nie może przekraczać 70^0C ,
  - *wielkość wymienników ciepła* (muszą być znacznie większe, niż się zwykle stosuje),
  - *temperaturę wody powrotnej* do cewek (min. 30^oC);
- stosowanie połączenia co najmniej dwóch technik wychwytywania gazów odlotowych. Zaleca się wychwycenie co najmniej 95% gazów odlotowych w całym cyklu pracy. Opracowano kilka metod, z których każda jest możliwa do zastosowania we wszystkich nowych i istniejących piecach indukcyjnych. W NDT wyróżnia się:
  - *ogólną wentylację miejsca pracy* (naturalna konwekcja dymów i oparów wykorzystująca połączenie szczelin wentylacyjnych zamontowanych na ścianach i wentylatorów w okapie usytuowanym nad poziomem pieców -. skuteczność tej techniki jest mała i może być łatwo zakłócona przez ciągi powietrza,
  - *okap odciągowy* (instalowane zawsze powyżej urządzenia załadowczego sprzyjają tworzeniu dużej przerwy pomiędzy piecem, a systemem odciągowym, przez co trudno jest kontrolować wzrost ilości dymów i pyłów, nawet kiedy stosuje się duże szybkości odciągania gazów),
  - *okapy boczne wahadłowe i okapy odchylające się na bok (*skuteczne kiedy stosuje się je z zasilaczami wibracyjnymi szczególnie zalecane do kadzi);
  - *okapy z odciągiem bocznym* (umożliwiają łatwy dostęp do pieca i nie kolidują z systemem załadowczym, wydajność systemu jest dobra, szczególnie wtedy, gdy okap jest umieszczony na zewnątrz pomostu pieca);
  - *systemy usuwania gazów poprzez dziób (*szczególnie korzystne podczas rozlewania).

Zaleca się stosowanie pieców średniej częstotliwości i wymianę istniejących pieców sieciowej częstotliwości na piece średniej częstotliwości. Piece średniej częstotliwości (250 Hz) posiadają wyższą gęstość mocy (do 1000 kW/tonę), niż piece o częstotliwości sieciowej (50 Hz – 300 kW/tonę). Pozwala to na używanie mniejszych tygli (nawet trzykrotnie), co daje ogólnie mniejsze straty ciepła. Wyższa jest ich sprawność cieplna (o 10%). Oprócz tego piece sieciowej częstotliwości musza pracować przy wypełnieniu ciekłym metalem do 2/3 pojemności tygla, aby zużycie energii elektrycznej było optymalne i wymagają również specjalnych bloków startowych do uruchomienia gdy są zimne. Piece średniej częstotliwości mogą być łatwo uruchamiane z zimnym wsadem i mogą być opróżniane do końca po każdej zmianie roboczej lub po każdym cyklu topienia

<u>Przy stosowaniu pieców obrotowych konieczne jest:</u>

- wdrożenie sposobów optymalizacji pracy pieca,
- stosowanie palników tlenowych,
- wychwytywanie gazów odlotowych blisko wylotu paleniska i usuwanie ich przez komin,

W niektórych przypadkach może być konieczna instalacja do oczyszczania gazów odlotowych; w tym przypadku NDT zaleca stosowanie suchych metod odpylania. Na ogół do tego

celu stosuje się filtry workowe, ale technicznie możliwe jest wykorzystanie również mokrych technik odpylania. Aby obniżyć temperaturę gazów odlotowych stosuje się rozcieńczanie ich otaczającym powietrzem. Można to zrealizować powietrzem wlatującym przez szczelinę pomiędzy wylotem z pieca, a zagiętym przewodem odciągowym. Zastosowanie dopalacza umożliwia redukcję emisji substancji organicznych i cząstek palnych. Powyższa technika może również być zastosowana dla zmniejszenia zagrożenia tworzenia się dioksyn podczas ochładzania gazów.

Przy stosowaniu pieców trzonowych konieczne jest :

- stosowanie palników tlenowych,
- wychwytywanie gazów odlotowych i usuwanie ich przez komin,
- wychwytywanie emisji niezorganizowanej i emisji widzialnej zgodnie z zasadami NDT odnośnie emisji niezorganizowanej i stosowanie okapów,
- w niektórych przypadkach może być konieczne instalowanie instalacji do oczyszczania gazów odlotowych; w tym przypadku NDT zaleca stosowanie suchych metod odpylania (opisano przy piecach obrotowych).

Przy stosowaniu pieców szybowych konieczne jest:

- wychwytywanie gazów odlotowych z pieca stosując ruchomy okap nad gardzielą pieca i umożliwienie skutecznego odciągania gazów podczas przechyłu pieca,
- w niektórych przypadkach może być konieczna instalacja do oczyszczania gazów odlotowych; w tym przypadku NDT zaleca stosowanie suchych metod odpylania.

Odrębnym zagadnieniem jest magazynowanie i składowanie surowców do topienia stopów metali nieżelaznych. W odniesieniu do obróbki ciekłych stopów metali nieżelaznych bardzo istotne jest przechowywanie i przygotowanie wsadu i materiałów pomocniczych (szczególnie środków rafinacyjnych). Stąd konieczne jest magazynowanie pod przykryciem i na utwardzonym placu złomowym. Miejsce do składowania złomu jest zbudowane i zarządzane tak, aby uwzględniało następujące elementy:

- oddzielne składowanie metali lub stopów różnego rodzaju (stosowanie na składowisku lub w miejscu składowania oddzielnych pomieszczeń lub pojemników);
- suszenia materiału wsadowego, ze względu na bezpieczeństwo podczas ładowania oraz względy technologiczne – szczególnie z uwagi na szkodliwe oddziaływanie atmosfery składającej się z H_2, O_2 i H_2O (składowisko powinno być szczelnie odizolowane od warunków otoczenia, powinno być miejsce z możliwością wstępnego osuszania lub nawet podgrzewania złomu);
- możliwość czyszczenia złomu z pozostałości po masach formierskich, tlenkach, farbach, warstwach ochronnych itp.);
- możliwość transportu do pieca materiałów wsadowych i pomocniczych pod zadaszeniem i w izolacji od warunków atmosferycznych;
- odizolowania substancji chemicznych (szczególnie dotyczy rafinatorów) zgodnie z obowiązującymi normami w tym zakresie;

3.3.6 Określenie minimalnych wymagań w zakresie monitoringu

W procesach topienia metali nieżelaznych monitoring zawęzić można do oceny składu chemicznego pyłów i gazów wydostających się poza urządzenia wentylacyjne oraz doraźnej oceny gruntów przy składowiskach żużli i zgarów. Ważnymi miejscami podlegającymi kontroli powinny być kanały odlotowe zarówno w instalacjach odpylających, jak i w wymiennikach ciepła. Bardzo ważnym fragmentem monitoringu zagrożenia środowiska jest, selekcja wsadu do pieca obejmująca ocenę składu chemicznego zakupionych obcych złomów. Zmniej-

sza to emisję podczas topienia niektórych metali np. cynku. Założeniem priorytetowym powinno być zagospodarowywanie i utylizacja pyłów, zgarów oraz żużli przez uprawnione firmy.

4. PRZYGOTOWANIE MAS FORMIERSKICH I RDZENIOWYCH ORAZ WYKONYWANIE FORM I RDZENI

4.1. Analiza stosowanych technologii i technik oraz porównanie ich z poziomem światowym

4.1.1 Formowanie w masach wilgotnych

Technologia wytwarzania form w masach wilgotnych jest niewątpliwie najbardziej popularną w aspekcie wykonywania odlewów ze stopów żelaza. Przygotowanie mas wilgotnych z lepiszczem bentonitowym lub gliną rozpoczyna się od wymieszania osnowy ziarnowej, lepiszcza, lub gliny oraz innych dodatków. Typowe składy i właściwości mas formierskich z lepiszczem bentonitowym, dla wybranych odlewni krajowych, przedstawia tabela 4.1.

Tabela 4.1. Typowe składy i właściwości mas formierskich z bentonitem stosowanych w odlewniach krajowych

Składnik masy formierskiej	Masa przymodelowa	Masa wypełniająca
Piasek kwarcowy (%) o frakcji głównej: 0,16/0,20/0,32; 0,16/0,32/0,20; 0,20/0,32/0,40; 0,200,40/0,32; 0,40/0,32/0,20; 0,40/0,63/0,80 J = 78 do >80%, W = 0 do 4,5%	24 do 100	1, 0 do 5,0
Piasek regenerowany, %	do 45	do 1,0
Masa obiegowa, %	do 70	94,1 do 100
Bentonit, % [1)]	3,0 do 7,0	do 1,6
Pył węglowy, % [1)]	1,2 - 4,0	do 0,5
Inne dodatki	Bentonol do 0,9% Melasa buraczana do 4,2%	Mieszanka bentonit - Kormix: 0,48 - 2,9% Ekobent: do 1,1 % Olej mineralny: do 0,04% Dekstryna żółta
Wilgotność masy, %	2,5 do 4,2	3,2 do 3,8
Średnie wartości właściwości technologicznych mas formierskich	R_c = 0,09 - 0,18 MPa P = 150 - 250 10^{-6} m^2/Pa·s Płynność do 75%	n.b.

Uwaga: Bentonit i pył weglowy sa coraz częściej zastepowane przez gotowe mieszanki bentonitu z nosnikami węgla błyszczacego; przykładem takiej mieszanki jest np. Kormix czy Policarbon

Są one zbliżone do składów i właściwości mas stosowanych w odlewniach krajów rozwiniętych. Można stwierdzić, że odlewnie krajowe stosują piaski kwarcowe o różnej wielkości frakcji głównej, (a tym samym piaski o różnej wartości średniej wielkości ziaren). Stosowane piaski posiadają wilgotność najczęściej od 0 do 0,2%, aczkolwiek występują również przypadki stosowania piasku kwarcowego o wilgotności do 4,5%. Zarówno rodzaj piasku, stosowane dodatki, wymagania technologiczne stawiane masom z lepiszczem bentonitowym oraz masa i tworzywo odlewów, sprawiają że skład stosowanych mas jest bardzo różnorodny, a tym samym różna jest emisja gazów tworzących się w poszczególnych operacjach wykonywania odlewów. Udział bentonitu dodawanego do osnowy ziarnowej zależy także od właściwości samego bentonitu i osnowy ziarnowej, jak i wymaganej wytrzymałości i przepuszczalności formy. W przypadku dodatku pyłu węglowego do masy formierskiej, ogólną zasadą jest wprowadzenie go w ilości od 2 - 3% (w przypadku małych odlewów) do 7 - 8% (w przypadku dużych odlewów). Zbyt duży dodatek pyłu węglowego może spowodować powstanie wady nakłuć w odlewach. Stosowane są także różne zamienniki pyłu węglowego i dodatki

będące nośnikiem węgla błyszczącego. Są one na ogół dodawane w nieco innych ilościach niż pył węglowy. Dodatki skrobiowe (np. skrobia i dekstryny) stosowane są głównie do mas formierskich przeznaczonych do wykonywania odlewów staliwnych. Poprawiają one wytrzymałość masy formierskiej i zmniejszają jej skłonność do powodowania wad odlewów związanych z rozszerzalnością masy formierskiej. Skuteczny dodatek spoiwa zbożowego do masy świeżej wynosi zwykle 0,5 - 0,75%. Część tego dodatku ulega rozkładowi termicznemu w procesie zalewania, dlatego też zaleca się dodatek spoiwa skrobiowego w ilości 0,1 - 0,25% po każdym cyklu odlewania.

Proces wytwarzania mas formierskich jest prowadzony w mieszarkach pracujących w większości pod ciśnieniem atmosferycznym lub w tzw. mieszarkach próżniowych, czyli w warunkach obniżonego ciśnienia. W przypadku przygotowania masy w procesie mieszania i chłodzenia w warunkach obniżonego ciśnienia, proces mieszania i chłodzenia są połączone w jednym etapie. Jest to możliwe dzięki temu, że w tego rodzaju mieszarkach ochłodzenie masy formierskiej jest spowodowane wzmożonym, kontrolowanym parowaniem wody. Mieszarki takie muszą być szczelnie zamknięte i posiadać obudowę ciśnieniową. Układ mieszający jest połączony z instalacją pomp próżniowych. Dodatkowym warunkiem jest to, aby wydajność wytwarzania masy formierskiej była wyższa niż 60 t/godzinę. W porównaniu do tradycyjnej mieszarki, nie jest wymagana oddzielna chłodziarka i związane z nią wyposażenie. Instalacja próżniowa ma bardziej zwartą budowę, całkowity przepływ powietrza jest zmniejszony, a w związku z tym cała instalacja ma mniejszy centralny filtr powietrza. Jego wymiary oraz zużycie energii związane z działaniem filtra są o około 50% mniejsze, niż w przypadku mieszarki konwencjonalnej. Zmniejszenie przepływu powietrza powoduje zmniejszenie ilości usuwanego z pyłem aktywnego bentonitu. Zastosowanie pary wodnej prowadzi do szybkiej aktywacji bentonitu (pęcznienia), dzięki czemu masa formierska uzyskuje znacznie szybciej wymaganą wytrzymałość na ściskanie. W tego rodzaju mieszarkach, woda jest dodawana w dwóch oddzielnych etapach. Etap pierwszy, to nawilżenie masy zwrotnej (obiegowej), dla uzyskania wymaganej wilgotności. W drugim etapie, woda jest dodawana w celu ochłodzenia masy zwrotnej (w wyniku intensywnego parowania wody) do temperatury 38^0C – 40^0C. Technologia ta ma jednak swoje wady. Podstawową wadą jest konieczność utrzymywania obniżonej wartości ciśnienia i sterowanie pompami próżniowymi. Inna wada wynikająca z tej technologii wytwarzania mas wilgotnych, jest związana z ich właściwościami technologicznymi. Jest to tzw. „efekt 72 godzin", polegający na zmniejszeniu po 72 godzinach wytrzymałości na ściskanie i rozciąganie oraz przepuszczalności próbek masy formierskiej. Można temu zapobiegać przez ponowne wymieszanie składników masy przez około 90 sekund. Przy intensywnej produkcji przypadki przerw w mieszaniu masy przez 72 godziny występują jednak niezwykle rzadko. Instalacje takie, o wydajności około 100 m^3 masy formierskiej na godzinę, pracują od 1993 roku w Japonii. Podobne instalacje pracują we Włoszech, Francji, Niemczech i W. Brytanii.

4.1.2 Masy ze spoiwami chemoutwardzalnymi i termoutwardzalnymi

Decyzja o zastosowaniu danego układu lub układów chemicznych spoiwo – utwardzacz do wytwarzania form i rdzeni, zależy od wielu czynników. Są one związane z wymaganą wielkością produkcji oraz jakością odlewów, ekonomiką procesu, dostępnym oprzyrządowaniem (modele i rdzennice), rodzajem dostępnej osnowy ziarnowej i wreszcie uwarunkowaniami dotyczącymi warunków pracy i ochrony środowiska. Można stwierdzić, że wszystkie te zasady sprowadzają się do stworzenia warunków produkcji umożliwiających uzyskanie odlewu o wymaganej jakości, przy jak najmniejszych kosztach produkcji, przy równoczesnym zapewnieniu wymaganych warunków BHP i ochrony środowiska. Koszty wytwarzania są stosunkowo trudne do określenia ze względu na to, że istnieje wiele czynników mających istotny wpływ na ich wielkość. Zależą one nie tylko od stosowanych materiałów, pracochłon-

ności i energochłonności procesu technologicznego, ale także od kosztów związanych z oczyszczaniem odlewów, kontrolą ich jakości, naprawą, transportem itp. Większość technologii, w których są stosowane te układy wiążące, umożliwia uzyskanie form i rdzeni o dobrych właściwościach technologicznych, a szczególnie wytrzymałościowych w temperaturze otoczenia (tabela 4.2). Ogranicza to w istotny sposób uszkodzenia form i rdzeni podczas ich transportu i magazynowania, a tym samym przyczynia się do zwiększenia uzysku. Odpowiednia sztywność i dokładność wymiarowa form i rdzeni umożliwia także stosowanie technologii formowania bezskrzynkowego. Każdy z dostępnych układów wiążących może być zastosowany do produkcji odlewów o wymaganej jakości, ale równocześnie każdy z nich jest potencjalnym źródłem wad odlewów i w różnym stopniu stwarza zagrożenie dla środowiska naturalnego.

Z uwagi na to, że kształt form i rdzeni musi być zachowany aż do momentu zakrzepnięcia odlewu, dużą wagę przywiązuje się do uzyskania odpowiednich właściwości wytrzymałościowych mas, zarówno w temperaturze otoczenia, jak i w temperaturze odlewania. Jeżeli wytrzymałość połączeń w masie formierskiej jest zbyt duża, rozszerzalność termiczna formy lub rdzenia może spowodować ich pękanie i w konsekwencji tworzenie wad odlewów związanych z tym zjawiskiem.

Istotny wpływ na wybór odpowiedniej technologii ma wielkość i wydajność produkcji oraz wymiary form i rdzeni. Duża wydajność produkcji wymaga stosowania technologii zapewniającej szybki przyrost wytrzymałości masy i równocześnie możliwość jej kontroli. W przypadku wykonywania dużych form i rdzeni, celowe jest zastosowanie technologii zapewniającej możliwość regulacji czasu utwardzania masy.

W procesie zalewania ciekłego stopu następuje rozkład termiczny spoiwa organicznego. Powoduje to powstanie we wnęce formy atmosfery redukującej, przeciwdziałającej powstawaniu tlenków metali, zmniejszenie penetracji metalu oraz ograniczenie wad odlewów związanych z przywieraniem masy do ich powierzchni. Z szybkością rozkładu termicznego spoiwa jest ściśle związana szybkość wydzielania się gazów z formy i rdzeni. Zbyt duża ilość gazów wydzielających się w pierwszym momencie po zalaniu formy, może doprowadzić do powstania wad odlewów pochodzenia gazowego. Szczególnie niebezpieczna jest obecność wodoru i azotu w gazach pochodzących z rozkładu termicznego spoiwa. Gazy te powodują powstawanie nakłuć w odlewach, szczególnie staliwnych. Jeżeli spoiwo zawiera węgiel, siarkę, lub fosfor, możliwe jest adsorbowanie tych pierwiastków na powierzchni odlewów. Wpływ ten jest uzależniony od rodzaju stosowanego tworzywa odlewu, a także od rodzaju powłoki ochronnej na formę i rdzeń. Jeszcze inną istotną cechą, którą powinien posiadać układ wiążący, jest zdolność jego rozkładu pod wpływem temperatury krzepnącego odlewu. Decyduje to o pracy usuwania odlewu z formy i rdzeni z odlewu.

4.1.2.1 Masy chemoutwardzalne ze spoiwami organicznymi

Masy z żywicą furanową

W procesie tym żywica ulega polimeryzacji (reakcja egzotermiczna) w temperaturze otoczenia pod wpływem kwaśnego utwardzacza. Masy furanowe mogą być wytwarzane we wszelkiego rodzaju mieszarkach. Przebieg procesu utwardzania jest bardzo charakterystyczny dla tego rodzaju mas. Można go podzielić na trzy okresy. W pierwszy okresie reakcja polimeryzacji jest bardzo wolna i masa posiada doskonałą płynność. Rdzenie wykonane w tym okresie posiadają największy stopień zagęszczenia i cechują się największą wytrzymałością końcową. W drugim okresie płynność masy nieco maleje, natomiast w trzecim okresie polimeryzacji zdecydowanie pogarsza się płynność masy, co nie gwarantuje uzyskania rdzeni i form o wymaganej jakości. Doskonała wytrzymałość masy na gorąco pozwala zmniejszyć wartość stosunku masa/metal, w porównaniu do tradycyjnych mas wilgotnych. W masach furanowych można odlewać wszystkie rodzaje stopów, z zastrzeżeniem, że wykonanie odlewów staliw-

nych wymaga użycia żywic o małej zawartości azotu i wody. Wszystkie żywice furanowe zawierają alkohol furfurylowy w postaci monomeru lub polimeru. Można do niej wprowadzać inne związki chemiczne, takie jak mocznik, formaldehyd, fenol i jego pochodne, w zależności od żądanych właściwości żywicy. Im wyższa zawartość alkoholu furfurylowego w żywicy, tym mniejsza jest jej lepkość. Żywice modyfikowane mocznikiem wprowadzają do układu azot w ilości proporcjonalnej do koncentracji mocznika. W przypadku wprowadzania mocznika, w żywicy zwykle znajduje się formaldehyd, którego obecność poprawia jej własności. W tego rodzaju układzie może występować również wolny formaldehyd. Zawartość wody w żywicy jest wynikiem zastosowanego procesu produkcyjnego i może być regulowana do żądanego poziomu. Im wyższa zawartość wody w żywicy, tym wolniejszy jest czas jej utwardzania i mniejsza wytrzymałość na rozciąganie. Żywice furanowe mogą być wytwarzane bez wolnego formaldehydu, bez wody i bez mocznika. Często do żywicy wprowadza się aminosilany w celu poprawienia jej odporności na oddziaływanie wilgoci oraz właściwości adhezji do powierzchni osnowy ziarnowej. Wybór odpowiedniego rodzaju żywicy zależy od wymaganych parametrów technologicznych masy, jakości rdzenia, rodzaju odlewanego stopu, kształtu odlewu, grubości jego ścianek i możliwości regeneracji osnowy ziarnowej. Masa stosowana na formy wymaga zwykle mniejszej ilości wprowadzanej żywicy, niż masa na rdzenie. Optymalny udział żywicy w masie zależy głównie od rodzaju stosowanej osnowy ziarnowej (w tym jej czystości i kształtu ziaren) oraz wymaganej wytrzymałości.

Drugą częścią układu jest kwaśny utwardzacz. Dwa główne rodzaje utwardzaczy wytwarzane są z udziałem kwasu fosforowego i kwasów sulfonowych. Utwardzacz fosforowy stanowi zwykle 70 – 80% roztwór wodny kwasu fosforowego. Utwardzacze typu sulfonowego są roztworami kwasu benzenosulfonowego, toluenosulfonowego lub innych kwasów sulfonowych. Do kwasu fosforowego lub sulfonowego może być wprowadzona mała ilość (poniżej 10%) kwasu siarkowego, jako przyspieszacz utwardzania. Katalizator taki stwarza jednak problemy z uwagi na zjawisko korozji.

W technologii mas furanowych najczęściej są stosowane piaski kwarcowe, cyrkonowe i chromitowe. Piaski oliwinowe, z uwagi na ich alkaliczność nie mają zastosowania. Inne rodzaje osnowy, jak piaski glinokrzemianowe są stosowane bardzo rzadko.

W procesie sporządzania mas stosowane są mieszarki okresowe i o działaniu ciągłym. W każdym przypadku do osnowy ziarnowej wprowadza się najpierw utwardzacz, a następnie dozowana jest żywica.

Podczas procesu utwardzania masy wydziela się woda. Układ furanowy toleruje do 0,25% wilgotności, bez drastycznego spadku właściwości technologicznych mas. Na rdzennice i modele można stosować drewno, aluminium, żeliwo, tworzywa epoksydowe, mocznikowe i polietylenowe. Korzystne jest stosowanie oprzyrządowania o temperaturze 18 – 25^{o}C.
Czas, po którym można zalewać forme i rdzeń, zależy głównie od schematu produkcyjnego, wielkości form i rdzeni, rodzaju zalewanego metalu, zdolności erozyjnych układu formy, itp. Mniejsze formy mogą być zalewane już po 15 minutach od momentu usunięcia oprzyrządowania z form i rdzeni z rdzennic. Większe formy i rdzenie wymagają zwykle dłuższego czasu przetrzymywania ich przed zalaniem. W tablicy 4.2 przedstawiono typowe zużycie spoiw, katalizatorów oraz dodatków do mas.

Masy z żywicą fenolową

Układ fenolowy bazuje na polimerach kompleksowych, powstających w reakcji kondensacji fenolu i formaldehydu w podwyższonej temperaturze. Reakcja polimeryzacji jest egzotermiczna i powoduje wydzielenie pewnej ilości wody. Reakcja ta zachodzi pod wpływem zmniejszenia wartości pH układu, w wyniku zastosowania kwaśnego katalizatora.

Tabela 4.2 Zużycie spoiw, utwardzaczy, katalizatorów i dodatków do mas w odlewniach krajowych

Metoda utwardzania	Rodzaj spoiwa	Udział spoiwa w stosunku do masy osnowy ziarnowej, %	Rodzaj katalizatora/ utwardzacza	Udział katalizatora/ utwardzacza w stosunku do masy osnowy ziarnowej, %	Rodzaj dodatku	Udział dodatku w stosunku do masy osnowy ziarnowej, %
Na zimno	Żywica furanowa	do 2,0	Kwas sulfonowy	25 - 60	-	-
	Zywica fenolowa	do 2,0	Kwas sulfonowy	25 - 60	-	-
	Żywica poliuretanowa	do 1,5	Pochodna pirydyny	2,0 - 6,0	-	-
	Żywica fenolowa rezolowa	do 1,8	Ester	25 - 40	-	-
	Cement portlandzki	3,5 - 10,0	-	-	-	-
	Żywica alkidowa	0,45 - 2,0	Izocjanian	18 - 20	katalizator	0,002 - 0,2
	Szkło wodne	2,1 - 2,5	Ester	15	-	-
Gazem	Żywica furanowa, poliuretanowa (cold-box)	do 1,8	Amina	0,1 - 0,15	-	-
	Szkło wodne (CO_2)	4,0 - 6,0	CO_2			
Termicznie	Olej	1,1 - 3,0	-	-	-	-
	Żywica fenolowa,	1,1 - 3,0	Sole amonowe	10 -25	-	-
	furanowa (hot-box)	1,5 - 5,0	Heksometylenotetramina	15	-	-

Szybkość reakcji może być regulowana rodzajem i ilością katalizatora. Powstały polimer posiada dobrą wytrzymałość w temperaturze otoczenia oraz w temperaturach odlewania. Żywice te zawierają mało azotu lub są bezazotowe. Zawartość wody wynosi w nich zwykle 10 – 25%.

Masa formierska i rdzeniowa z żywicą fenolową posiada dobrą płynność, ale zaleca się mechaniczne jej zagęszczanie. Czas usuwania oprzyrządowania modelowego jest regulowany rodzajem i ilością utwardzacza. Z uwagi na bardzo dużą zależność czasu usuwania oprzyrządowania od jego temperatury, zaleca się stosowanie systemów ogrzewających, bądź oziębiających osnowę ziarnową. Rodzaj i temperatura materiału na modele i rdzennice ma istotny wpływ na czas usuwania oprzyrządowania. Osnowa ziarnowa, model i skrzynka formierska powinny posiadać taką samą temperaturę. Wytrzymałość układu fenolowego w wysokich temperaturach jest większa w porównaniu do innych układów wiążących. Dobór odpowiedniej żywicy zależy od wymaganego czasu utwardzania, procesu formowania, sposobu zalewania ciekłego metalu i ekonomiki procesu. Dla odlewów staliwnych wymagana jest żywica zawierająca poniżej 12% wody, podczas gdy odlewy żeliwne mogą być zalewane w masach wykonanych z udziałem żywicy, w których ilość wody nie przekracza 25%.

Temperatura osnowy ziarnowej i jej skład chemiczny bardzo silnie wpływają na dobór utwardzaczy. Nie zaleca się stosowania kwaśnych utwardzaczy mineralnych (fosforowych, siarkowych). Najczęściej stosowanymi utwardzaczami są kwasy toluenosulfonowe, benzenosulfo-

nowe i ich mieszanki (tabela 4.2). Ponieważ w reakcji polimeryzacji żywicy wydziela się pewna ilość wody, kwas rozpuszczony w wodzie powoduje spowolnienie reakcji, odwrotnie niż kwas rozpuszczony w rozpuszczalniku bezwodnym (np. metanolu). Zwiększenie szybkości reakcji utwardzania powodują w kolejności następujące kwasy: toluenosulfonowy+woda, toluenosulfonowy+metanol, benzenosulfonowy+woda, benzenosulfonowy+metanol. Nadmierny wzrost udziału utwardzacza w masie powoduje jego oddziaływanie na spolimeryzowaną żywicę i w konsekwencji osłabienie wytrzymałości powstałych wiązań.

Zawartość substancji alkalicznych w osnowie ziarnowej jest bardzo istotnym parametrem. Osnowa ziarnowa o odczynie alkalicznym wymaga większej ilości utwardzacza dla uzyskania takiej samej wartości czasu niezbędnego do usunięcia oprzyrządowania, w porównaniu do osnowy o mniejszej alkaliczności.

Żywice fenolowe są bardziej wrażliwe na zmiany temperatury osnowy ziarnowej i otoczenia, w porównaniu do żywic furanowych. Można temu przeciwdziałać przez dobór odpowiedniego utwardzacza oraz regulowanie jego ilości w masie. Sposób sporządzania mas jest taki sam, jak w przypadku żywic furanowych.

Czas, po którym można zalewać formy zależy od rodzaju metalu, wielkości i konfiguracji odlewu, układu wlewowego, charakterystyki masy. Ogólnie można stwierdzić, ze im krótszy czas, po którym można usunąć oprzyrządowanie, tym krócej można przetrzymywać formę do momentu jej zalania ciekłym metalem.

Masy z żywicą fenolową utwardzaną estrem

Układ chemiczny jest stosunkowo prosty – w reakcji biorą udział rezolowa żywica fenolowa i ester (tabela 4.2). Połączenie tych składników powoduje polimeryzację żywicy, w wyniku której powstaje nierozpuszczalny żel oraz sole metali i alkohol, będące produktami ubocznymi procesu utwardzania. Żywica rezolowa ma odczyn alkaliczny i zwykle zawiera poniżej 0,5% wolnego formaldehydu, poniżej 2% wolnego fenolu i składniki nieorganiczne. Ilość możliwych do zastosowania estrów lub ich mieszanin jest bardzo duża. Ważną ich cechą jest stosunkowo mała toksyczność. Ilość i rodzaj estru zależy od typu stosowanej żywicy. Reakcja pomiędzy żywicą i estrem jest równowagowa, dlatego też istotna jest ich odpowiednia proporcja. Ilość składników wiążących decyduje o wytrzymałości końcowej rdzenia i formy.

Zanieczyszczenia osnowy ziarnowej nie wpływają na szybkość utwardzania masy. Wszystkie rodzaje piasków, w tym również oliwinowych, umożliwiają taka samą prędkość utwardzania masy formierskiej i rdzeniowej. Jak w każdych, tego rodzaju układach mas formierskich i rdzeniowych, istotną role odgrywa powierzchnia właściwa osnowy ziarnowej. Z jej wzrostem, wytrzymałość masy na rozciąganie maleje, co wymaga stosowania większej ilości składników wiążących. Wzrost temperatury osnowy ziarnowej lub otoczenia, powoduje przyspieszenie reakcji utwardzania, natomiast wzrost wilgotności osnowy ziarnowej zmniejsza wytrzymałość masy formierskiej i rdzeniowej, ale nie wpływa na szybkość procesu jej utwardzania.

Ponieważ stosowane w procesie żywice posiadają zwykle większą lepkość, do sporządzania mas formierskich i rdzeniowych wymagane są sprawne układy mieszające, zapewniające równomierne i jednolite rozprowadzenie żywicy na powierzchni ziaren osnowy. Kolejność dozowania żywicy i estru jest dowolna.

Wymagana jest dobra jakość oprzyrządowania modelowego. Usuwanie modelu z formy, lub rdzenia z rdzennicy jest łatwe, pod warunkiem, że czynność ta odbywa się wówczas, gdy masa jest w stanie plastycznym.

Masy z żywicą alkidową

Spoiwem jest żywica modyfikowana olejem w celu umożliwienia utworzenia wiązań uretanowych podczas reakcji z izocyjanianem i katalizatorem. Katalizator jest połączeniem amin i substancji wysycających, dzięki czemu umożliwia wywołanie reakcji uretanizacji i utleniania.

Układ żywica alkidowa – katalizator (tabela 4.2) utwardza się w 3 etapach. Pierwszy, określający czas przydatności do formowania oraz usuwania oprzyrządowania, polega na oddziaływaniu grup hydroksylowych żywicy z grupami NCO, znajdującymi się w katalizatorze (współreagencie), czyli izocyjanianie. Powstaje wówczas słabe wiązanie metanowe, które w drugim etapie ulega wzmocnieniu pod wpływem reakcji nienasyconej żywicy alkidowej z tlenem. Szybkość utwardzania można zwiększyć stosując ogrzewanie układu, co wpływa korzystnie na ograniczenie wad powierzchniowych odlewu, związanych z erozją masy przez ciekły metal. Trzeci etap utwardzania zachodzi w temperaturze 205^0C, kiedy tworzą się dodatkowe wiązania.

Układ jest stosunkowo mało wrażliwy na zmiany temperatury i wilgotności otoczenia oraz skład chemiczny osnowy ziarnowej. Masa może być wykonywana w każdego rodzaju mieszarkach. Posiada dobra płynność, ale zaleca się dodatkowe jej zagęszczenie. Dwuetapowość utwardzania w temperaturze otoczenia sprawia, że forma i rdzeń posiadają plastyczność, ułatwiającą usuwanie oprzyrządowania modelowego z formy i rdzenia z rdzennicy. Może być stosowane oprzyrządowanie o minimalnej zbieżności (jak w przypadku mas olejowych). W porównaniu do innych technologii, rodzaj osnowy ziarnowej, jej temperatura, dodatki i zanieczyszczenia, mają bardzo mały wpływ na czas, po którym można usunąć oprzyrządowanie modelowe z formy, lub rdzeń z rdzennicy.

Wyposażenie modelowe może być wykonane z drewna, aluminium, tworzyw sztucznych, przy czym zaleca się, aby temperatura modeli i rdzennic wynosiła $18 – 25^0$C.

Proces odlewania można przeprowadzać po upływie 4 godzin od momentu utwardzenia formy i rdzenia. Im krótszy czas wstępnego utwardzenia, tym wcześniej można prowadzić proces zalewania. W wielu przypadkach stasuje się zalewania po czasie krótszym od 0,5 godziny po usunięciu modelu z formy, lub rdzenia z rdzennicy.

Z zastosowaniem tej technologii można wykonywać odlewy ze wszystkich rodzajów stopów metali. W przypadku wykonywania odlewów staliwnych, zaleca się wprowadzenie do masy formierskiej lub rdzeniowej 2 – 3% (w stosunku do osnowy ziarnowej) tlenków żelaza, w celu uzyskania lepszej powierzchni odlewu i eliminacji porowatości.

4.1.2.2 Masy chemoutwardzalne ze spoiwami nieorganicznymi

Masy cementowe

Zastosowano je w odlewnictwie przed kilkudziesięciu laty, jako pierwsze masy samoutwardzalne, eliminujące konieczność kłopotliwego suszenia form i rdzeni. Najczęściej podkreślanymi zaletami tych mas jest ich wysoka wytrzymałość po utwardzeniu i dokładność wymiarowa uzyskiwanych odlewów. Podstawowe wady mas cementowych to długi czas utwardzania, obniżona wytrzymałość w podwyższonych temperaturach oraz przywieranie masy do drewnianego oprzyrządowania modelowego. Jako spoiwo stosowny jest najczęściej cement portlandzki (krzemianowy) (tabela 4.2), a w niektórych przypadkach znacznie droższe cementy glinowe, które są korzystniejsze w aspekcie czasu utwardzania i ognioodporności. Wartość modułu krzemianowego cementów krzemianowych powinna wynosić 1,7 – 2,3. Przy wzrastającym module, wartość wytrzymałości mas w początkowym okresie utwardzania jest wyższa, jak również wzrasta skłonność masy do zwiększenia objętości. Ze względów praktycznych (suszenie form) dąży się maksymalnego obniżenia zawartości wody w masie formierskiej. Stosunek wodno-cementowy powinien jednak zapewniać prawidłowy proces utwardzania mas i powinien wynosić latem około 0,8, a w miesiącach zimowych około 0,6. Zbyt mała ilość wody powoduje osypliwość form i rdzeni, natomiast zbyt duża wyraźnie

opóźnia proces wiązania mas. Mogą być stosowane dodatki aktywujące proces wiązania cementu. Są to przyspieszacze o działaniu mechanicznym (grafit o dużym stopniu rozdrobnienia), termicznym (pył aluminiowy) i chemicznym $CaCl_2$, $MgCl_2$, K_2SO_4, K_2CO_3, LiCl, $AlCl_3$, $FeCl_3$, szkło wodne, cement glinowy, melasa, dekstryna). Dodatek do masy cementowej wodnych roztworów soli przyspiesza wiązanie i pozwala na uzyskanie wyższych (nawet o 100%) własności mechanicznych. Przebieg reakcji utwardzania mas cementowych zależy także od temperatury otoczenia, stąd stosowany jest także zabieg powierzchniowego podsuszania form i rdzeni.

Masy można sporządzać w każdego rodzaju mieszarkach, mieszając składniki suche i dodając wodę i aktywatory.

Oprzyrządowanie modelowe powinno mieć gładkie powierzchnie, co zapobiega uszkodzeniu ścian formy podczas jego usuwania. Korzystne jest wykonywanie rdzeni z wewnętrznymi wnękami wypełnionymi koksem lub zużytą masą. Zapewnia to dobrą przepuszczalność rdzenia, nie hamuje skurczu odlewu i ułatwia usuwanie rdzeni z odlewów.

W masach cementowych nie aktywowanych, uzyskanie wytrzymałości wystarczającej do usunięcia oprzyrządowania modelowego następuje praktycznie po czasie powyżej 24 godzin. Dodatek aktywatorów pozwala na skrócenie tego czasu do kilku godzin. Formy zalewa się zwykle po kilku, lub kilkudziesięciu godzinach, a w przypadku dużych form po 72 godzinach. Formy skomplikowane można również podsuszyć w temperaturze 100 do 150^{o}C, co pozwala na skrócenie czasu do ich zalania metalem o 8 – 12 godzin.

Masy ze szkłem wodnym utwardzanym estrami

Spoiwem w tych masach jest szkło wodne sodowe o module 2,0 – 2,5, utwardzane dodatkiem nieaktywowanych, lub aktywowanych estrów (tabela 4.2), produkowanych w Polsce w pięciu odmianach, zapewniających uzyskanie różnych czasów utwardzania mas (od 10 minut do 3 godzin). Masy można stosować do wykonywania form i rdzeni dla odlewów ze stopów żelaza i metali nieżelaznych.

Przy doborze utwardzacza należy brać pod uwagę takie czynniki, jak temperatura otoczenia, wymagana zdolność masy do formowania, rodzaj stosowanej mieszarki, a także wielkość wykonywanych form i rdzeni

Wzrost zawartości w masie szkła wodnego powoduje zwiększenie jej wytrzymałości, ale równocześnie pogorszenie wybijalności, czyli zdolności usuwania odlewu z formy i rdzenia z odlewu. W celu poprawy wybijalności mas stosowane są pewne ilości materiałów organicznych i nieorganicznych, a także procesy wytwarzania szkła wodnego, poprawiające jego strukturę koloidalną i charakterystykę wiązań chemicznych.

Do wykonywania form i rdzeni można stosować modele i rdzennice drewniane, metalowe i z tworzyw sztucznych. Usuwanie oprzyrządowania następuje po upływie 15 do 60 minut od wykonania formy lub rdzenia (w zależności od zastosowanego utwardzacza estrowego), natomiast proces zalewania można rozpocząć po 4 do12 godzin od wykonania formy lub rdzenia (w zależności od ich wielkości).

4.1.2.3 Masy utwardzane aktywnymi gazami

Proces cold-box

W procesie cold-box (tabela 4.2) pary katalizatora są przedmuchiwane przez masę formierską lub rdzeniową, wykonaną z udziałem żywicy. Powodują one natychmiastowe jej utwardzenie w temperaturze otoczenia. Mała lepkość żywicy umożliwia wykorzystanie wszystkich rodzajów mieszarek do wytwarzania masy. Masa może być zagęszczana ręcznie,

wibracyjnie, lub za pomocą strzelarek i nadmuchiwarek. Pary katalizatora (trójetyloaminy, dwumetyloaminy, lub dwumetyloizopropyloaminy), są wytwarzane w urządzeniach o konstrukcji umożliwiającej uzyskanie dużej prężności aminy w gazie obojętnym lub powietrzu. Nadmiar aminy jest usuwany przez przedmuchiwanie rdzenia powietrzem. Usunięta amina jest poddana procesowi odzysku i kierowana do następnego cyklu utwardzania. Rdzenie po utwardzeniu posiadają dużą wytrzymałość i mogą być transportowane, wykańczane, łączone ze sobą.

Jakość stosowanej osnowy ziarnowej ma bardzo istotny wpływ na jakość uzyskanych rdzeni, a tym samym na jakość odlewów. Zaleca się stosowanie osnowy o takiej ziarnistości, która umożliwia uzyskanie dobrej powierzchni rdzeni i odpowiedniej przepuszczalności masy. Zanieczyszczenia alkaliczne osnowy ziarnowej, działając jak utwardzacz żywicy, powodują często skrócenie czasu przydatności masy do formowania. Temperatura osnowy ziarnowej powinna wynosić 20 – 25^{o}C. Niższa lub wyższa temperatura może stwarzać problemy z wykonaniem rdzeni. Zaleca się stosowanie wilgotności osnowy na poziomie 0,1%. Wzrost wilgotności osnowy ziarnowej powyżej 0,25% powoduje znaczny spadek wytrzymałości masy i skrócenie czasu jej przydatności do formowania.

Jako oprzyrządowanie modelowe można stosować żeliwo, aluminium, żywice epoksydowe i uretanowe.

Masy ze szkłem wodnym utwardzane CO_2

Masy te maja zastosowanie do wykonywania form i rdzeni dla odlewów żeliwnych, staliwnych i ze stopów metali nieżelaznych (nie są zalecane do wykonywania odlewów ze stopów Al). Osnowę ziarnową stanowią najczęściej piaski kwarcowe o zawartości lepiszcza do 0,5%. Nie jest wskazana zawartość w nich węglanów i skaleni. Stosowane są również masy z osnową chromomagnezytową, cyrkonową i korundową. Wzrost zawartości w masie szkła wodnego powoduje zwiększenie jej wytrzymałości, ale równocześnie pogorszenie wybijalności, czyli zdolności usuwania odlewu z formy i rdzenia z odlewu. W celu poprawy wybijalności mas stosowane są dodatki materiałów organicznych i nieorganicznych, a także procesy wytwarzania szkła wodnego, poprawiające jego strukturę koloidalną i charakterystykę wiązań chemicznych.

Masy mogą być wykonywane we wszystkich typach mieszarek, z wyjątkiem mieszarek pobocznicowych. Czas mieszania składników masy ma duży wpływ na jej własności technologiczne. Przedłużenie czasu mieszania powoduje podwyższenie wytrzymałości masy w stanie surowym i jej obniżenie po utwardzeniu CO_2 Technologia jest jedna z tańszych technologii wykonywania rdzeni, jeżeli bierzemy pod uwagę koszt samej masy. Ekonomikę pogarsza zła wybijalność masy, co w konsekwencji powoduje wzrost kosztów oczyszczania odlewów.

4.1.3 Masy formierskie i rdzeniowe utwardzane termicznie

Proces form skorupowych

W Polsce proces ten jest znany pod kilkoma nazwami – formy skorupowe, piaski otaczane, piaski powlekane. Najkorzystniejsza temperatura do otaczania piasków metodą „na zimno" wynosi 18 – 32^{o}C. Powlekanie piasków „ma gorąco" przeprowadza się po uprzednim nagrzaniu piasku do temperatury około 120 – 150^{o}C, a następnie wprowadza się żywicę, która ulega stopieniu i w trakcie mieszania otacza ziarna piasku. W procesie mieszania masy dodawana jest wodny roztwór urotropiny (jako utwardzacz) oraz stearynian wapnia (jako oddzielacz). Po obniżeniu temperatury do około 40^{o}C, żywica krzepnie i masa rozpada się na ziarnisty piasek pokryty warstewką żywicy. Temperatura utwardzania piasków otaczanych wynosi 240 – 300^{o}C, natomiast czas utwardzania zależy od wielkości i rodzaju rdzenia. Piaski otaczane mają nieograniczony czas przydatności do formowania, jeżeli temperatura ich przetrzymywania nie przekracza 48^{o}C.

Proces może być stosowany do wytwarzania form rdzeni dla wszelkiego rodzaju stopów metali.

Korzyści wynikające ze stosowania tej technologii polegają na eliminacji suszarek i pieców, dużej gładkości powierzchni form i rdzeni, dobrej stabilności wymiarowej, dobrej wybijalności i przepuszczalności w przypadku stosowania rdzeni skorupowych, łatwości wykonania skomplikowanych rdzeni (dzięki bardzo dobrej wytrzymałości powierzchniowej) oraz małej ilości braków wynikających z operacji związanych ze składowaniem.

Proces „hot-box"

Został wprowadzony do odlewni metali nieżelaznych w 1959 roku, a jako spoiwo wykorzystano niemodyfikowaną żywicę formaldehydową. W późniejszym okresie, gdy zaczęto stosować proces do wytwarzania rdzeni dla odlewów ze stopów żelaza, okazało się konieczne wprowadzenie do żywicy modyfikatorów (m.in. alkohol furfurylowy), poprawiających właściwości masy w podwyższonej temperaturze. Obecnie stosuje się żywice typu fenolowego, furanowego i ich mieszanki. Żywica typu furanowego jest kompozycją alkoholu furfurylowego i polimeru mocznikowo-formaldehydowego (tablica 4.2). Żywica fenolowa jest natomiast polimerem fenolowo-formaldehydowym, zawierającym zwykle dodatek polimeru mocznikowo-formaldehydowego w celu zwiększenia wytrzymałości masy na rozciąganie i zwiększenia reaktywności żywicy. Powoduje on wprawdzie wzrost szybkości utwardzania masy, ale równocześnie podwyższa zawartość azotu. Jest to niekorzystne z uwagi na powstawanie w odlewach wad pochodzenia gazowego. Czas utwardzania masy jest funkcją temperatury rdzennicy. Pod wpływem temperatury (180 – 200^{o}C dla żywic mocznikowych i 220 – 240^{o}C dla żywic fenolowych) oraz utwardzacza, następuje aktywacja połączeń polimerowych, które powstały jeszcze w ciekłej żywicy w wyniku reakcji fenolu lub alkoholu furfurylowego z formaldehydem. Duża wytrzymałość masy umożliwia usuwanie gotowego rdzenia po czasie wynoszącym zwykle 20 – 40 sekund. Masy stosowane w procesie mogą być używane do wytwarzania rdzeni dla odlewów ze stopów żelaza i metali nieżelaznych. Uzyskane rdzenie posiadają dużą wytrzymałość w podwyższonej temperaturze, a równocześnie doskonałą wybijalność. Wzrost wilgotności osnowy ziarnowej powoduje niekorzystny przebieg utwardzania, spowodowany wydzielaniem się wody.

W typowym procesie gorącej rdzennicy, przeprowadza się mieszanie osnowy ziarnowej z utwardzaczem, a następnie dodaje się żywicę. Niektóre odlewnie stosują odwrotną kolejność mieszania. Można stosować również mieszarki szybkoobrotowe, ale podwyższenie temperatury masy może spowodować skrócenie czasu jej przydatności do formowania.

4.1.4 Technologia pełnej formy

Alternatywną technologią wykonywania form i rdzeni jest technologia pełnej formy. Modele są wykonywane z polistyrenu spienionego EPS, lub polimetakrylanu metylu. Ponieważ EPS i pentan są czystymi węglowodorami, podczas pirolizy powstaje węgiel organiczny. Stwierdzono, że wielkość emisji określonej masowym przepływem węgla organicznego w funkcji czasu, od momentu zalania formy ciekłym żeliwem szarym do około 2 godzin, są podobne w technologii pełnej formy i formy tradycyjnej, wykonanej z masy ze spoiwem w postaci żywicy furanowej, przy wartości stosunku „masa:odlew" = 1,9 do 1,0. Emisja całkowitego węgla organicznego w całym procesie chłodzenia jest prawie równa dla obydwóch rodzajów form. W przypadku tradycyjnej formy podobny jest przebieg emisji dla benzenu, etylobenzenu, fenolu i alkoholu furfurylowego, natomiast w przypadku pełnej formy, maksimum emisji dla styrenu i toluenu występuje po 15 – 30 minutach. Jest to spowodowane początkową kondensacją cząsteczek tych związków na zimniejszych częściach formy. Ponieważ w technologii pełnej formy nie stosuje się spoiwa, ilość odpadów, jak i wielkość emisji jest mniejsza w porównaniu do form wykonanych z zastosowaniem organicznych układów wiążących.

Technologia ta umożliwia produkcję odlewów o dobrej dokładności wymiarowej i jakości oraz stosowania mniejszych nadlewów i układów wlewowych. Uzyskany odlew wymaga mniejszej obróbki mechanicznej i skraca się czas jego wykańczania.

4.2 Lista aspektów środowiskowych szczególnie istotnych

Wytwarzanie form i rdzeni obejmuje mieszanie osnowy ziarnowej (piasku kwarcowego, oliwinowego, cyrkonowego, chromitowego, chromito-magnetyzowego, itp.) z różnego rodzaju materiałami i związkami chemicznymi - zarówno organicznymi, jak i nieorganicznymi. W niektórych procesach utwardzania mas rdzeniowych stosowane jest nagrzewanie termiczne. W procesie tym emitowane są gazowe lub lotne produkty reakcji oraz nadmiar reagentów. W tabeli 4.3 podano przegląd najbardziej prawdopodobnych rodzajów emitowanych związków oraz ich wpływ na środowisko podczas operacji mieszania, utwardzania oraz składowania form i rdzeni wykonanych w najczęściej stosowanych procesach technologicznych.

Emisję w procesach, w których utwardzanie masy zachodzi w temperaturze otoczenia (na zimno), można opisać następująco:

Spoiwo fenolowe: ze względu na prężność par formaldehydu i fenolu może zachodzić ich emisja. Podczas utwardzania (polimeryzacji spoiwa) masy w temperaturze pokojowej prężności par tych substancji są niskie i w przypadku stosowanych zwykle cykli produkcyjnych mogą być nieznaczne.

Spoiwo furanowe: może zachodzić emisja formaldehydu, fenolu, alkoholu furfurylowego ze względu na dużą prężność ich par. Podczas utwardzania (polimeryzacji spoiwa) masy w temperaturze pokojowej prężności par tych substancji są niskie i w przypadku stosowanych zwykle cykli produkcyjnych mogą być nieznaczne.

Spoiwo poliuretanowe: najczęściej zachodzi emisja formaldehydu, fenolu, izocyjanianu i rozpuszczalników aromatycznych. Podczas utwardzania (polimeryzacji spoiwa) masy w temperaturze pokojowej prężności par tych substancji są niskie i w przypadku stosowanych zwykle cykli produkcyjnych mogą być nieznaczne.

Żywica rezolowa (zasadowa) utwardzana estrem: żywica zawiera nieprzereagowany fenol i formaldehyd. Ich emisja jest bardzo mała.

Spoiwo alkidowe: podczas wytwarzania form i rdzeni, zwykle nie występuje problem uciążliwej dla otoczenia emisji. Wyjątkiem są masy utwardzane cieplnie - może wówczas wystąpić problem powstawania nieprzyjemnych zapachów.

Szkło wodne utwardzane estrem: nie występują żadne problemy związane z emisją, aczkolwiek w pewnych przypadkach (zbyt duża ilość estru lub zbyt wysoka temperatura osnowy ziarnowej) możliwa jest nieznaczna emisja kwasu octowego, powstającego w procesie dehydratacji szkła wodnego.

Emisję w procesach, w których utwardzanie masy zachodzi w temperaturze otoczenia (na zimno) w wyniku działania gazów, można opisać następująco:

Proces zimnej rdzennicy (cold - box): emitowane są w małych ilościach pary fenolu, formaldehydu, izocyjanianu i rozpuszczalników organicznych, pomimo ich niskiej prężności par. Najbardziej znacząca jest emisja amin, które posiadają niski próg zapachowości. Aminy są również bardzo niebezpieczne dla zdrowia (niska wartość NDS).

Żywice rezolowe utwardzane estrem: chociaż żywica zawiera nieprzereagowany fenol i formaldehyd, poziomy ich emisji są bardzo niskie. W przypadku stosowania gazowego mrówczanu metylu, nie jest on toksyczny i nie posiada nieprzyjemnego zapachu. Ponadto, jego dopuszczalne stężenie w powietrzu jest stosunkowo wysokie.

Tabela 4.3. Typowy wpływ na środowisko różnych technologii wykonywania form i rdzeni

Nazwa technologii i składniki układów wiążących	Metoda utwardzania/ wymagania energetyczne	Emisje do atmosfery podczas mieszania i utwardzania	Inny wpływ na środowisko
Masa wilgotna Lepiszcze Pył węglowy Nośniki węgla błyszczącego Woda	Mechanicznie / niskie	Cząstki stałe	Powinno się unikać rozsypywania masy wokół przenośników, w celu uniknięcia lub zmniejszenia emisji niezorganizowanej. Zmniejszenie emisji z procesu mieszania jest nieistotne.
Masa na formy skorupowe Żywica fenolowo-formaldehydowa (np. Novolak)	Termicznie / wysokie	Formaldehyd, Amoniak * Fenol Związki aromatyczne	Nieprzyjemne zapachy mogą się wydobywać z linii produkcyjnej, jeżeli jest podłączona bezpośrednio do atmosfery.
Masy samoutwardzalne z alkaliczną żywicą utwardzaną estrami. Alkaliczna żywica fenolowo-formaldehydowa.	Utwardzanie gazami - pary / niskie Utwardzanie estrami / niskie	W przypadku utwardzania gazami: Formaldehyd Fenol * Nadmiar gazu utwardzającego (np. mrówczan metylu) / niskie W przypadku utwardzania estrami: Formaldehyd Fenol * Estry / niskie	
Masy samoutwardzalne ze spoiwem uretanowym	W przypadku utwardzania gazem: Pary aminy / niskie W przypadku utwardzania dodatkami chemicznymi: Pochodne pirydyny / niskie	Izocjanian Amina *	Poziom nieprzyjemnych zapachów wzrasta w przypadku stosowania dwumetyloaminy. Można stosować spalanie lub oczyszczanie w płuczkach z zastosowaniem kwasu siarkowego lub fosforowego. Stosowanie płuczek generuje powstanie specyficznych odpadów ciekłych.
Masy z żywicą furanową Żywice zawierające fenol, mocznik, alkohol furfurylowy, formaldehyd	Utwardzanie kwasem / niskie	Formaldehyd Fenol * Alkohol furfurylowy Siarkowodór Opary kwasów	Żywice i utwardzacze muszą być przechowywane oddzielnie do momentu ich wymieszania z osnową ziarnową (reakcja żywica - utwardzacz kwaśny jest egzotermiczna)
Proces "Hot - box" Żywice zawierające fenol, mocznik, alkohol furfurylowy, formaldehyd	Termicznie / wysokie	Formaldehyd * Kwasy Alkohol furfurylowy* Fenol * Amoniak	Nieprzyjemne zapachy mogą się wydobywać z linii produkcyjnej, jeżeli jest ona podłączona bezpośrednio do atmosfery
Masa olejowa Oleje i spoiwa olejowe	Termicznie / wysokie	Akroleina * Kompleksy organiczne	Nieprzyjemne zapachy mogą się wydobywać z suszarni, jeżeli jest ona podłączona bezpośrednio do atmosfery
Masy ze szkłem wodnym Uwodniony krzemian sodu	Utwardzanie gazem CO_2 / niskie Utwardzanie estrami / niskie	W przypadku utwardzania estrami: estry	
Substancje oznaczone * są najbardziej prawdopodobną przyczyną nieprzyjemnych zapachów w procesie wytwarzania form i rdzeni			

Żywice fenolowe i furanowe utwardzane SO_2: jak wszystkie tego rodzaju żywice, są one źródłem emisji fenolu i formaldehydu. Jednakże głównym problemem emisji jest tok-

syczny i bardzo niebezpieczny SO_2. Dlatego też konieczna jest dokładna hermetyzacja urządzeń do wytwarzania rdzeni.

Szkło wodne utwardzane CO_2: nie występują żadne problemy związane z emisją podczas wykonywania form i rdzeni.

Emisje w procesach wytwarzania form i rdzeni z mas utwardzanych cieplnie można opisać następująco:

Proces gorącej rdzennicy (hot - box): jeżeli modele są nagrzewane otwartymi palnikami powietrzno-gazowymi, występuje wówczas emisja gazów spalinowych, nie związana z rodzajem stosowanego spoiwa. Gazy odlotowe z masy mogą zawierać fenol, formaldehyd i amoniak.

Proces warm - box: w porównaniu do procesu hot - box, emisja jest znacznie mniejsza ze względu na stosowanie niższej temperatury. Zwykle nie stwierdza się emisji fenolu i amoniaku, natomiast emisja formaldehydu jest przeważnie czterokrotnie mniejsza.

Proces skorupowy: w porównaniu do procesu hot - box i warm - box, zużycie utwardzonej masy jest znacznie mniejsze. Nie rekompensuje to jednak w pełni problemu emisji gazów, ponieważ piaski powleczone zawierają zwykle 2 - 3 razy więcej żywicy. W związku z tym, wpływ tej technologii na warunki pracy jest porównywalny z procesem hot - box.

Masy z olejem lnianym: oleje są często rozpuszczane w rozpuszczalnikach organicznych, takich jak ciężka benzyna i nafta. Podczas ich utwardzania, a szczególnie zalewania formy ciekłym metalem uwalniane są duże ilości par tych rozpuszczalników. Stwarzają one duże problemy środowiskowe.

4.3 Charakterystyka emisji do poszczególnych komponentów środowiska, w tym gospodarka odpadami oraz emisja hałasu

Stosowanie spoiw chemicznych powoduje wydzielanie się różnych związków podczas mieszania składników mas, wykonywania form i rdzeni, ich składowania i chłodzenia odlewów oraz masy zużytej.

Proces produkcji odlewów, związany z dystrybucją materiałów sypkich (w tym osnowy ziarnowej), wytwarzaniem mas formierskich i rdzeniowych, suszeniem form i rdzeni, usuwaniem odlewów z form i rdzeni z odlewów, transportem masy (zarówno świeżej, jak i zużytej), czy też chłodzeniem masy obiegowej, generuje znaczne ilości pyłów. Dane przedstawione w tabeli 4.4 ilustrują przykładowe, średnie wartości emisji pyłów z procesu dystrybucji piasków oraz wytwarzania form i rdzeni z zastosowaniem mieszarek o działaniu okresowym i ciągłym, dla typowych mas formierskich i rdzeniowych. Największym źródłem emisji gazów z form i rdzeni jest proces usuwania odlewów z form i rdzeni z odlewów, z zastosowaniem krat wstrząsowych, proces suszenia form i rdzeni oraz proces zalewania gotowych form.

W tabeli 4.5 przedstawiono wyniki pomiarów emisji charakterystycznych związków gazowych, emitowanych podczas przygotowania mas rdzeniowych, wykonywania form i rdzeni, ich suszenia, zalewania form oraz usuwania odlewów z form i rdzeni z odlewów. Dane te dotyczą charakterystycznych mieszanin mas formierskich i rdzeniowych, stosowanych w odlewniach krajowych (por. tabela 7.17; 7.18; 7.19 i 7.20).

Analiza niezorganizowanej emisji zanieczyszczeń gazowych w zasadzie w odlewniach krajowych nie jest prowadzona. Dane dotyczące tej emisji przedstawiono w tabelach 4.6, 4.7 i 4.8. Wskazują one, że wszystkie badane masy formierskie i rdzeniowe mają swój udział w emisji zanieczyszczeń (lub zanieczyszczenia) gazowych.

Amoniak:

a) masa ze spoiwem w postaci żywicy furanowej utwardzanej termicznie w procesie „hot-box”,

b) masa ze spoiwem w postaci żywicy fenolowej utwardzanej termicznie w procesie „hot-box”,
c) piasek powlekany.

Siarkowodór:

a) masa samoutwardzalna ze spoiwem w postaci żywicy fenolowej,
b) masa z lepiszczem bentonitowym.

Tlenki azotu:

a) piasek powlekany,
b) masa ze spoiwem w postaci żywicy fenolowej utwardzanej termicznie w procesie „hot-box”,
c) masa samoutwardzalna ze spoiwem w postaci żywicy furanowej o średniej zawartości azotu, utwardzana kwasem toluenowym,
d) masa ze spoiwem w postaci żywicy alkilowej utwardzanej izocjanianem.

Dwutlenek siarki:

a) masa samoutwardzalna ze spoiwem w postaci żywicy fenolowej,
b) masa samoutwardzalna ze spoiwem w postaci żywicy furanowej o średniej zawartości azotu, utwardzana kwasem toluenowym,
c) piasek powlekany.

Benzen:

a) masa samoutwardzalna ze spoiwem w postaci żywicy fenolowej,
b) masa ze spoiwem w postaci żywicy fenolowo-uretanowej,
c) masa ze spoiwem w postaci żywicy alkidowej utwardzanej izocyjanianem,
d) masa samoutwardzalna ze spoiwem w postaci żywicy furanowej o średniej zawartości azotu, utwardzana kwasem toluenowym,
e) masa ze spoiwem w postaci oleju,

Tabela 4.4. Przykładowe, średnie wartości emisji pyłów z procesu wytwarzania form i rdzeni, dla wybranych odlewni krajowych

Podstawowe składniki mas formierskich i rdzeniowych	**Operacja technologiczna**	**Emisja pyłów**					
		Odpylanie suche		**Odpylanie mokre**		**Bez odpylania**	
		kg/h	**mg/Nm^3**	**kg/h**	**mg/Nm^3**	**kg/h**	**mg/Nm^3**
Piasek kwarcowy	Dystrybucja piasku	-	-	-	-	0,15	29,9
Piasek kwarcowy Szkło wodne Żywica alkidowa	Usuwanie odlewów na kracie wstrząsowej	0,04	2,60	-	-	-	-
Piasek kwarcowy Bentonit Pył węglowy Nośnik węgla błyszczącego Żywica fenolowo-formaldehydowa Melasa	Przerób mas formierskich	-	-	0,022 - 1,540	0,505 - 39,910	-	-
	Wykonanie form (mieszarko-nasypywarka)					0,67 - 5,29	23,98 - 118,23
	Wykonanie form (automatyczna linia formowania)			do 0,78	n.b.	-	-
	Przenośnik zalanych form	-	-	do 3,15	n.b.	-	-
	Usuwanie odlewów na kracie wstrząsowej	do 0,10	do 4,18	0,30 - 0,86	do 24,82	do 3,08	do 222,95
	Wentylacja kanałów spod kraty wstrząsowej	-	-	-	-	do 0,3	do 11,36
	Przenośniki taśmowe masy formierskiej wraz ze zsypem	-	-	0,122 - 4,990	0,58 - 243,80	-	-
	Przenośniki taśmowe masy obiegowej	-	-	do 0,780	n.b.	-	-
Piasek kwarcowy Żywica alkidowa Cement Bentonit	Przerób mas rdzeniowych	-	-	0,0635 - 0,0610	4,50 - 8,87	-	-
	Przenośnik mas formierskich	1,14 - 2,55	44,30 - 70,30				

Tabela 4.4. c.d

	Suszarnia rdzeni	-	-	do 3,088	n.b.	-	-
	Przenośnik zalanych form	-	-	do 3,15	n.b.	-	-
	Usuwanie odlewów na kracie wstrząsowej	0,12 - 0,62	2,0 - 6,0	5,2 - 6,9	100,0 - 112,0	-	-
	Chłodzenie masy formierskiej	-	-	do 1,37	n.b.	-	-
Piasek kwarcowy Bentonit Żywica fenolowo-formaldehydowa Dekstryna Olej	Usuwanie odlewów na kracie wstrząsowej	do 0,14	n.b.	-	-	-	-
Piasek kwarcowy Bentonit Pył węglowy Żywica fenolowo-formaldehydowa Szkło wodne	Przerób mas formierskich	do 0,45	do 50,0	-	-	-	-
	Usuwanie odlewów na kracie wstrząsowej	0,11 - 0,26	10,0 - 23,0	do 0,8	do 24,5	-	-
	Zalewanie form	-	-	do 0,54	n.b.	-	-

Tabela 4.5. Przykładowe, średnie wartości emisji gazów w procesie zalewania form i rdzeni dla wybranych odlewni krajowych.

Podstawowe składniki mas formierskich i rdzeniowych	**Operacja tech-nologiczna**	**Emisja gazów**
Piasek kwarcowy Bentonit Pył węglowy Nośniki węgla błyszczącego Żywica fenolowo-formaldehydowa melasa	Zalewanie form	CO - do 10,11 mg/Nm^3
Piasek kwarcowy Bentonit Pył węglowy Nośniki węgla błyszczącego Żywica fenolowo-formaldehydowa Żywica fenolowa Żywica alkidowa	Przygotowanie mas rdzeniowych i formowanie	Fenol - 0,0006 - 0,0192 kg/h Formaldehyd - 0,0001 - 0,0150 kg/h Izocjaniany - do 0,0001 kg/h Dwumetyloamina - do 0,0068 kg/h WWA - do 0,0007 kg/h
	Zalewanie form, chłodzenie form, usuwanie odlewów na kracie wstrzą-sowej	CO - 3,05 mg/Nm^3 Fe_xO_y - 0,052 mg/Nm^3 Benzen - 0,17 mg/Nm^3 Formaldehyd - 0,0053 mg/Nm^3 (0,0001 - 0,0150 kg/h) Fenol - 0,0022 - 0,0024 kg/h WWA - 0,13 mg/Nm^3
	Usuwanie odlewów na kracie wstrzą-sowej	CO - 0,266 mg/Nm^3
	Wykonywanie rdzeni z zastoso-waniem strzelarek	Aldehyd - 0,001 kg/h
	Suszenie form i rdzeni	SO_2 - 0,005 - 0,07 kg/h (do 75,0 mg/Nm^3) NO_2 - 0,003 - 0,04 kg/h (do 45,0 mg/Nm^3) WWA - 0,001 - 0,005 kg/h
Piasek kwarcowy Bentonit Pył węglowy Żywica fenolowo-formaldehydowa Dekstryna Olej	Zalewanie form	SO_2 - do 0,26 kg/h CO - do 0,26 kg/h NO_2 - do 0,00054 kg/h
Piasek kwarcowy Bentonit Pył węglowy Nośniki węgla błyszczącego Żywica fenolowo-formaldehydowa Żywica fenolowa	Zalewanie form	Fenol - do 0,0011 kg/Mg odlewów Formaldehyd - do 0,035 kg/Mg odlewów
	Usuwanie odlewów na kracie wstrzą-sowej	Fenol - do 0,0012 kg/Mg odlewów Formaldehyd - do 0,0027 kg/Mg odlewów
Piasek kwarcowy Bentonit Pył węglowy Nośniki węgla błyszczącego Żywica fenolowo-formaldehydowa Żywica furanowa	Zalewanie form	SO_2 - do 9,94 kg/h NO_2 - do 0,08 kg/h CO - do 11,60 kg/h

Tabela 4.6. Niezorganizowana średnia emisja zanieczyszczeń gazowych w krajowych odlewniach

Związek chemiczny	Masy z lepiszczem bentonitowym, g/kg spoiwa	Masy z żywicą alkidową i izocyjanianem, g/kg spoiwa	Piasek powlekany na formy skorupowe, g/kg spoiwa	Masy ze spoiwem olejowym, g/kg spoiwa
Amoniak	0,065	0,037	3,860	0,038
Siarkowodór	0,832	0,007	0,094	0,057
Tlenki azotu	0,562	0,355	0,994	0,081
Dwutlenek siarki	0,253	0,040	3,509	0,115
Benzen	0,611	5,336	0,667	2,344
Formaldehyd	0,004	0,106	0,035	0,098
Cyjanowodór	0,118	0,175	10,526	0,086
m-ksylen	0,021	2,522	0,585	0,239
Naftalen	0,021	0,037	0,058	0,048
o-ksylen	0,021	3,838	0,117	0,287
Fenol	0,131	0,110	2,465	0,057
Toluen	0,063	1,535	2,907	0,478
Aminy aromatyczne	0,021	0,037	2,939	0,096

Tabela 4.7. Niezorganizowana średnia emisja zanieczyszczeń gazowych w krajowych odlewniach

Związek chemiczny	Masy samoutwardzalne ze spoiwem fenolowym, g/kg spoiwa	Masy ze spoiwem fenolowo-uretanowym, g/kg spoiwa	Masy ze spoiwem fenolowym (proces hot - box), g/kg spoiwa	Masy ze szkłem wodnym utwardzane estrem g/kg spoiwa
Amoniak	0,039	0,083	10,931	0,038
Siarkowodór	1,462	0,057	0,009	0,197
Tlenki azotu	0,029	0,044	0,638	0,028
Dwutlenek siarki	15,107	0,061	0,036	0,244
Benzen	11,209	5,351	1,002	1,41
Formaldehyd	0,01	0,022	0,006	0,169
Cyjanowodór	0,029	1,053	1,184	0,179
m-ksylen	0,097	0,439	0,121	0,094
Naftalen	0,049	0,022	0,03	0,005
o-ksylen	0,049	0,132	0,03	0,094
Fenol	0,975	3,904	0,203	0,273
Toluen	0,694	0,833	0,182	0,282
Aminy aromatyczne	0,049	0,351	1,275	0,094

Tabela 4.8. Niezorganizowana średnia emisja zanieczyszczeń gazowych w krajowych odlewniach

Związek chemiczny	Masy z żywicą furanową o niskiej zawartości azotu, g/kg spoiwa	Masy z żywicą furanową o średniej zawartości azotu, utwardzane kwasem toluenosulfonwym, g/kg spoiwa	Masy z żywicą furanową utwardzaną termicznie (proces hot - box), g/kg spoiwa
Amoniak	0,04	0,202	19,579
Siarkowodór	0,405	0,485	0,06
Tlenki azotu	0,012	0,372	0,411
Dwutlenek siarki	0,607	4,858	0,088
Benzen	0,648	4,534	0,537
Formaldehyd	0,257	0,065	0,009
Cyjanowodór	0,368	0,607	3,474
m-ksylen	2,227	0,243	0,032
Naftalen	0,04	0,04	0,032
o-ksylen	0,729	0,04	0,032
Fenol	0,024	0,101	0,016
Toluen	0,121	8,825	0,032
Aminy aromatyczne	0,081	0,364	3,032

Formaldehyd:

a) masa samoutwardzalna ze spoiwem w postaci żywicy furanowej o niskiej zawartości azotu, utwardzana kwasem toluenowym,
b) masa ze szkłem wodnym utwardzanym estrem,
c) masa ze spoiwem w postaci żywicy alkidowej utwardzanej izocyjanianem,
d) masa ze spoiwem w postaci oleju.

Cyjanowodór:

a) piasek powlekany,
b) masa ze spoiwem w postaci żywicy furanowej utwardzanej termicznie w procesie „hot-box”,
c) masa ze spoiwem w postaci żywicy fenolowej utwardzanej termicznie w procesie „hot-box”,
d) masa ze spoiwem w postaci żywicy fenolowo-uretanowej.

m-ksylen:

a) masa ze spoiwem w postaci żywicy alkidowej utwardzanej izocyjanianem,
b) masa samoutwardzalna ze spoiwem w postaci żywicy furanowej o niskiej zawartości azotu,

o-ksylen:

a) masa ze spoiwem w postaci żywicy alkidowej utwardzanej izocjanianem,
b) masa samoutwardzalna ze spoiwem w postaci żywicy furanowej o niskiej zawartości azotu,
c) masa ze spoiwem w postaci oleju,
d) masa ze spoiwem w postaci żywicy fenolowo-uretanowej.

Fenol:

a) masa ze spoiwem w postaci żywicy fenolowo-uretanowej,
b) piasek powlekany,
c) masa samoutwardzalna ze spoiwem w postaci żywicy fenolowej,

d) masa ze szkłem wodnym utwardzanym estrami,
e) masa ze spoiwem w postaci żywicy fenolowej utwardzanej termicznie w procesie „hot-box”,
f) masa z lepiszczem bentonitowym,
g) masa ze spoiwem w postaci żywicy alkidowej utwardzanej izocjanianem,
h) masa samoutwardzalna ze spoiwem w postaci żywicy furanowej o średniej zawartości azotu, utwardzana kwasem toluenowym.

Toluen:

a) masa samoutwardzalna ze spoiwem w postaci żywicy furanowej o średniej zawartości azotu, utwardzana kwasem toluenowym,
b) piasek powlekany,
c) masa ze spoiwem w postaci żywicy alkidowej utwardzanej izocjanianem.

Aminy aromatyczne:

a) masa ze spoiwem w postaci żywicy furanowej utwardzanej termicznie w procesie „hot-box”
b) piasek powlekany,
c) masa ze spoiwem w postaci żywicy fenolowej utwardzanej termicznie w procesie „hot-box”

Współczynniki emisji związków chemicznych powstających podczas procesu zalewania, chłodzenia i usuwania odlewu z formy oraz rdzeni z odlewu, przy zastosowaniu najbardziej popularnych, czyli mieszanych układów mas formierskich i rdzeniowych, zależą od zmian w składzie mas formierskich i rdzeniowych, lub zmian w parametrach procesu (np. czas chłodzenia odlewu, rodzaj urządzeń stosowanych do usuwania odlewów z form i rdzeni z odlewów). Najczęściej stosowanym układem jest masa formierska ze spoiwem bentonitowym oraz masa rdzeniowa ze spoiwem żywicznym. Zatem, każdy mieszany układ mas formierskich generuje odmienne wartości współczynników emisji substancji przedostających się do powietrza. Do emisji WWA przyczyniają się głównie takie związki chemiczne, jak naftalen i monometylowe naftaleny. Emisja metali z tego rodzaju mieszanych układów mas formierskich i rdzeniowych, stosowanych do wytwarzania odlewów ze stopów żelaza, zawiera głównie mangan, nikiel, miedź i chrom.

4.4. Sposoby zapobiegania i/lub ograniczania oddziaływania na środowisko

W tym celu zaleca się:

1). Stosowanie urządzeń zapobiegających emisji pyłów. W przypadku odpylania suchego istnieje konieczność stosowania cyklonów, odpylaczy tkaninowych i odpylników, natomiast w przypadku odpylania mokrego – przeważnie odpylaczy przewałowych. Można stwierdzić, że największym zagrożeniem zanieczyszczenia atmosfery pyłami są operacje związane z działaniem takich urządzeń, jak przenośniki taśmowe masy oraz kraty wstrząsowe służące do usuwania odlewów z form i rdzeni z odlewów.
2). Omawiając problem emisji pyłów i gazów generowanych przez masy formierskie i rdzeniowe w procesie wytwarzania odlewów, nie można pominąć zagadnienia związanego z koniecznością optymalizacji stosunku wagowego „masa formierska:odlew”. Zbyt duża ilość masy w systemie formowania pociąga za sobą nie tylko zwiększoną emisję pyłów i gazów (większa ilość zużywanych świeżych materiałów ziarnowych, spoiw i lepiszcza), ale również niepotrzebne nakłady finansowe. Przykładowo, w odlewniach żeliwa stosujących masy formierskie z lepiszczem bentonitowym, stosunek ten wynosi średnio 9:1, ale wiele odlewni stosuje zarówno niższe, jak i wyższe wartości. Niższe wartości stosunku „masa formierska-odlew” można zazwyczaj uzyskać w przypadku jednostkowej produkcji, dla której łatwiej jest zoptymalizować wielkość skrzynki formierskiej dla danego od-

lewu. Wartości wyższe są na ogół stosowane przy bardzo zróżnicowanym asortymencie produkcji odlewów, lub w produkcji małoseryjnej.

W odlewniach stopów miedzi, stosujących masy formierskie z lepiszczem bentonitowym, średnia wartość stosunku „masa formierska:odlew" wynosi zwykle 4:1. Ponadto, charakterystyczną cechą jest to, że większość odlewni stopów miedzi stara się optymalnie wykorzystać miejsce w skrzynce formierskiej.

W przypadku stosowania mas formierskich wiązanych chemicznie, wartość stosunku „masa formierska:odlew" wynosi dla odlewów żeliwnych od poniżej 1:1 do powyżej 6:1 (najczęściej 4:1), dla odlewów staliwnych od poniżej 1:1 do powyżej 6:1, dla odlewów ze stopów aluminium od poniżej 2:1 do powyżej 20:1, dla odlewów ze stopów miedzi od poniżej 1:1 do powyżej 8:1.

3). Na mniejsze zużycie masy formierskiej ma również wpływ uzysk metalu, czyli stosunek masy dobrych odlewów do masy metalu wytopionego. O wartości uzysku metalu decyduje wymagana jakość odlewu, wybór skrzynki formierskiej, wielkość układu wlewowego i nadlewów, skurcz metalu i oczywiście ilość wybrakowanych odlewów. Wzrost uzysku może wynikać ze stosowania mniejszych gabarytowo form, co oznacza także mniejsze zużycie masy formierskiej. Mniejszy uzyski towarzyszy zwykle bardziej skomplikowanym odlewom, od których wymagana jest wyższa jakość oraz konieczność zastosowania bardziej rozbudowanego układu wlewowego. Z kolei, mniejszy uzysk metalu może wskazywać na większą ilość złomowanych odlewów i nadmiernie rozbudowany układ wlewowy. Przyjmuje się, że w przypadku odlewów z żeliwa szarego, żeliwa sferoidalnego, stopów aluminium, stopów miedzi i staliwa, uzysk metalu powinien wynosić odpowiednio około 68%, 63%, 57%, 58% i 50%. W rzeczywistości zakres uzysku dla żeliwa szarego i sferoidalnego wynosi od 40% do ponad 90%, dla stopów aluminium od 40% do 80%, natomiast dla stopów miedzi od 50% do 60% (chociaż podawany jest też uzysk wynoszący od 30% do ponad 90%).

4). Ważnym zagadnieniem w aspekcie ograniczenia emisji szkodliwych substancji jest regeneracja zużytej osnowy ziarnowej. Zużyte masy formierskie nie poddawane regeneracji osnowy ziarnowej i przekazywane na składowiska, są źródłem zanieczyszczenia środowiska pierwiastkami chemicznymi i związkami chemicznymi, ulegającymi w różnym stopniu wypłukaniu przez wody opadowe oraz zanieczyszczające atmosferę w wyniku działania wiatru i parowania.

4.5. Zestawienie minimalnych wymagań charakteryzujących NDT

Obejmują one następujące działania

1). Minimalizacja zużycia spoiw i utwardzaczy oraz strat osnowy ziarnowej. Niezależnie od efektów ekologicznych, zmniejszenie zużycia spoiw i utwardzaczy ma duży wpływ na poprawę efektów ekonomicznych. W tonie masy formierskiej lub rdzeniowej, dodatek spoiwa stanowi zaledwie 1 – 3%, ale w aspekcie kosztów stanowi to 30 – 60% kosztów wszystkich surowców zastosowanych do sporządzenia masy. Dzięki minimalizacji materiałów wiążących, można uzyskać oszczędności kosztów od 5 do 10%. Nadmierne zużycie tych materiałów jest najczęściej wynikiem niedostatecznej kontroli procesu. Podstawowymi parametrami związanymi z dobrym gospodarowaniem spoiw, są:
   a) Stosowanie osnowy ziarnowej o takiej jakości, która jest odpowiednia dla danego spoiwa, lub układu „spoiwo-utwardzacz". Dotyczy to jej czystości (składu chemicznego), frakcji głównej (średniej wielkości ziarna), wskaźnika kształtu i wilgotności.
   b) Stosowanie osnowy ziarnowej o odpowiedniej, dopuszczalnej wilgotności i temperaturze. Temperatura osnowy ziarnowej musi być utrzymywana w stosunkowo wąskim zakresie wartości. Zastosowanie instalacji podgrzewającej osnowę ziarnowa pozwala na dokładną kontrolę jej temperatury.

c) Odpowiednia obsługa, czyszczenie mieszarki i jej neutralizacja jest niezbędne szczególnie w przypadku naprzemiennego wykonywania mas posiadających zróżnicowane wartości pH. Optymalizacja osiągów mieszarki, obejmująca monitoring i kontrolę jej działania.
d) Zapewnienie bieżącej kontroli jakości masy formierskiej i rdzeniowej umożliwia rozwiązanie problemów i zapobiega defektom formy rdzenia.

2. Wychwytywanie gazów odlotowych i pyłów z procesu przygotowania, przeładunku i magazynowania materiałów.
3. Stosowanie powłok ochronnych na formy i rdzenie i zastępowanie alkoholowych powłok wodnymi powłokami ognioodpornymi. Dotyczy to szczególnie odlewni wytwarzających średnie i duże serie odlewów. Powłoki alkoholowe powinno się stosować dla form i rdzeni dla dużych i skomplikowanych odlewów, a przy produkcji odlewów z magnezu i staliwa manganowego, z zastosowaniem MgO. Powinno się rozważyć możliwość mikrofalowego suszenia powłok ochronnych.
4. W przypadku mas z żywicami fenolowymi należy przestrzegać zasady utrzymywania temperatury masy na stałym poziomie (od około 15^oC do około 25^oC). Taki zakres temperatury jest również wystarczająco niski, aby zapobiec emisji gazów spowodowanych parowaniem.
5. Masy z żywicami furanowymi wymagają utrzymywania temperatury na stałym poziomie, od około 15^0C do około 25^0C. Umożliwia to kontrolę czasu utwardzania spoiwa i minimalizuje jego dodatek.
5. Temperatura mas w procesie poliuretanowym powinna wynosić od około 15^oC do około 25^oC. Najkorzystniejszym rozwiązaniem jest stosowanie trzech pomp i mieszanie katalizatora oraz żywicy i izocyjanianu z osnową ziarnową bezpośrednio w mieszarce.
6. W procesie alkalicznej żywicy fenolowej utwardzanej estrem, temperatura masy musi być kontrolowana i utrzymywana na stałym poziomie.
7. W klasycznym procesie „cold-box" stosowane są rozpuszczalniki organiczne. Jest to przyczyną uwalniania się szkodliwych i nieprzyjemnych zapachów podczas produkcji i przechowywania rdzeni. Dodatkowo, podczas zalewania form ciekłym metalem, ich chłodzenia i usuwania rdzeni z odlewów i odlewów z formy, zachodzi emisja benzenu, toluenu i ksylenu. Alternatywnymi rozpuszczalnikami w tym procesie, są rozpuszczalniki oparte na proteinach, lub tłuszczu zwierzęcym (np. estry metylowe kwasów tłuszczowych zawartych w olejach roślinnych), lub estry krzemianowe. Rozpuszczalniki te nie parują ze względu na ich wysoka temperaturę wrzenia, wynosząca około 300^0C, nie są szkodliwe dla człowieka oraz nie są palne. Wysoka polarność estrów metylowych kwasów tłuszczowych zawartych w olejach roślinnych, zwiększa możliwość magazynowania rdzeni w atmosferze wilgotnej i poprawia ich trwałość przy stosowaniu wodnych powłok ochronnych. Użycie rozpuszczalników niearomatycznych zwiększa reaktywność aminy, dzięki czemu można zmniejszyć jej zużycie i skrócić czas przegazowywania. W konsekwencji, rdzenie uzyskują wyższą wytrzymałość, masa ulega w mniejszym stopniu przywieraniu do powierzchni rdzennicy, a rdzenie posiadają lepszą wybijalność z odlewu.
8. W procesie „cold-box" pary amin muszą być wychwycone znad rdzeniarki. Ponieważ pewien nadmiar amin jest wychwytywany przez rdzenie, pomieszczenia, w których są one przechowywane, powinny być wentylowane. Zalecane jest stosowanie okapów nad instalacja wytwarzania form i rdzeni. Zużycie aminy powinno być zminimalizowane, ponieważ jej koszt i dalsza utylizacja są wysokie. Minimalizacja zużycia aminy jest także możliwa dzięki optymalizacji procesu jej rozprowadzania wewnątrz rdzenia. Podobnie, jak wiele lat temu, w przypadku procesu CO_2, dokonuje się tego przez symulację i optymalizacje przepływu gazu przez rdzeń o założonej konfiguracji. Temperatura masy powinna być utrzymywana na możliwie stałym poziomie (pomiędzy $20 – 25^0C$), ponieważ zbyt ni-

ska temperatura powoduje wydłużenie czasu przegazowywania rdzenia, co zwiększa zużycie aminy. Zbyt wysoka temperatura masy powoduje drastyczne skrócenie czasu jej przydatności do formowania. Woda jest składnikiem wysoce szkodliwym, dlatego wilgotność osnowy ziarnowej nie powinna przekraczać 0,1%, a powietrze będące nośnikiem aminy i służące do usuwania nadmiaru aminy z rdzenia, powinno być suche i czyste. Należy również zwracać uwagę na to, że aminy w pewnych proporcjach z powietrzem tworzą łatwopalne i wybuchowe mieszaniny.

9. Temperatura mas ze szkłem wodnym utwardzanym estrem powinna wynosić od około 15^0C do około25^0C. Dłuższe przetrzymywanie form i rdzeni jest możliwe tylko w atmosferze o niskiej wilgotności.

4.6. Zestaw minimalnych wymagań w zakresie monitoringu.

1. Bieżąca ocena jakości osnowy ziarnowej stosowanej do produkcji form i rdzeni.
2. Bieżąca kontrola temperatury oraz ustalanie optymalnych składów mas formierskich i rdzeniowych.
3. Optymalizacja osiągów mieszarek, obejmująca monitoring i kontrolę jej działania. Stosując nowoczesne systemy kontroli mieszania, w większości przypadków można łatwo osiągnąć zmniejszenie ilości spoiw nawet o 5% i ilości wybrakowanych form o 1%. Niektóre z odlewni informują o zmniejszeniu dodatku spoiwa nawet o 25% i całkowitym wyeliminowaniu wybrakowanych form. Przykładowo, zainstalowanie automatycznego systemu kontroli mieszarki w odlewni żeliwa stosującej technologie mas z żywicami utwardzanymi na zimno, pozwoliło na zmniejszenie dodatku żywicy z 1,22% do 1,09%, co równocześnie pozwoliło na zmniejszenie ilości utwardzacza o 10%.
4. Bieżąca kontrola podstawowych właściwości technologicznych mas (wytrzymałość, przepuszczalność). W przypadku mas z lepiszczem bentonitowym również płynność, zawartość gliny aktywnej i promotorów węgla błyszczącego.
5. Okresowa kontrola zdolności mas formierskich do wydzielania gazów.
6. Okresowa ocena emisji pyłów i gazów w szczególnie newralgicznych miejscach procesu technologicznego wykonywania odlewów. Ocena ta powinna obejmować charakterystyczne emisje dla stosowanych technologii wytwarzania form i rdzeni.
7. Okresowe badanie zużytych mas formierskich.

5. ODLEWANIE, CHŁODZENIE I WYBIJANIE ODLEWÓW

5.1 Analiza stosowanych technologii i technik oraz ich porównanie z poziomem światowym

Można wyróżnić odlewanie do form jednorazowych oraz form trwałych.

- Odlewanie do form jednorazowych obejmuje wytwarzanie form z mas wilgotnych lub wiązanych spoiwami chemicznymi i rdzeni wiązanych spoiwami chemicznymi. Na formy i rdzenie nanoszone są powłoki ochronne w celu stworzenia ogniotrwałej bariery na granicy faz masa – metal oraz dla uzyskania dobrej powierzchni odlewu. Formy i rdzenie są składane i ciekły metal jest wlewany do złożonej formy. W zależności od wielkości formy odlewanie odbywa się na stanowiskach zalewania (duże odlewy) przy użyciu kadzi pośrednich lub w zautomatyzowanych liniach do zalewania form (małe odlewy) bezpośrednio z pieca przy użyciu rynien. Stanowiska do zalewania dużych form rzadko wyposażone są w odciągi gazów i pyłów. Głównie linie do zalewania małych form posiadają odciągi. Po zalaniu formy odlew krzepnie i ochładza się przed wybiciem.
  Chłodzenie odlewów trwa od kilku minut do kilkunastu godzin, w zależności od masy odlewu. Stosuje się tu głównie chłodzenie naturalne zwłaszcza przy dużych tonażowo odlewach.
  Proces wybijania odlewów z form odbywa się na kratach wstrząsowych, wyposażonych w odciągi (duże odlewy), lub ręcznie (małe odlewy).
- Odlewanie do form trwałych obejmuje wtryskiwanie/wlewanie ciekłego metalu do formy metalowej. Po zakrzepnięciu odlewu forma jest otwierana i odlew jest usuwany oraz dalej przekazywany do wykończenia. W ograniczonym zakresie są stosowane rdzenie z mas wiązanych chemicznie. Formy trwałe wymagają stosowania powłok ochronnych i chłodzenia, aby zapewnić właściwe krzepnięcie i łatwe usuwanie odlewu z formy. W tym celu na formę wtryskuje się czynnik antyadhezyjny i wodę chłodzącą.
  Chłodzenie, podobnie jak w przypadku odlewów wykonywanych w formach jednorazowych może trwać od kilku minut do kilku godzin.

Możliwości zastosowania różnych technik formierskich i technik odlewniczych, w zależności od odlewanych stopów zebrano w tabeli 5.1.

5. 2 Identyfikacja istotnych aspektów środowiskowych

W procesie odlewania, chłodzenia i wybijania odlewów do istotnych aspektów środowiskowych zaliczyć można:

- emisję pyłów,
- emisję zanieczyszczeń organicznych pochodzących z pirolizy i termicznego rozkładu spoiwa, powłok ochronnych, czernienia formy itp. (fenol, formaldehyd, aminy, cyjanowodór, WWA, benzen, LZO),
- powstawanie odpadów,
- emisje odorów,
- hałas.

Tabela 5.1. Stosowane techniki formowania i odlewania przy wykonywaniu odlewów

Stop odlewniczy	Formy jednorazowe				Formy trwałe				
	Techniki formierskie				*Techniki odlewnicze*				
	Formy wilgotne	**Formy skorupowe**	**Fenolowa/furanowa**	**Pepset/ szkło wodne**	**Niskociśnieniowe odlewanie kokilowe**	**Ciśnieniowe odlewanie kokilowe (komora gorąca)**	**Ciśnieniowe odlewanie kokilowe (komora zimna)**	**Odlewanie odśrodkowe**	**Odlewanie ciągłe**
Żeliwo									
Żeliwo szare	X	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						
Staliwo									
Niestopowe	X	X	X	X				X	
Niskostopowe	X	X	X	X				X	
Wysokostopowe	X	X	X	X				X	
Manganowe									
Odporne na korozje i żaroodporne	X	X	X	X			O	X	
Stopy ciężkie									
Mosiądz	X	X	X	X	X				
Brąz	X	X	X						
Miedź	X	X	X	X	X		X	X	X
Stopy cynku				O	O		X	X	
Stopy lekkie									
Stopy aluminium	X	X	X	X	X		X		X
Stopy magnezu	X	O	X	X	X	X	X		
Tytan	O	O	X	X	O				
X- technologia może być stosowana O- technologia jest możliwa, ale nie często stosowana									

5.3. Charakterystyka emisji do poszczególnych komponentów środowiska

5.3.1 Emisja do powietrza

W trakcie zalewania form ciekłym metalem może mieć miejsce emisja:

- składników rozkładalnych termicznie, mogących reagować wydzielając dymy i/lub pary,
- związków chemicznych zawartych w spoiwach lub powłokach ochronnych mogących w wyniku rozkładu termicznego uwalniać i/lub wyparowywać np. gazy spalinowe, para wodna i lotne związki organiczne. Niektóre z produktów rozkładu mogą mieć nieprzyjemny zapach.

Praktyka wskazuje, że maksimum emisji (w odniesieniu do węgla całkowitego) ma miejsce po 10 minutach lub później od momentu zalania. Głównym składnikiem jest CO, dlatego tez poziom CO będzie wskazywał na uwalnianie się innych związków. W procesie zalewania dużych odlewów na stanowiskach zalewania występuje emisja niezorganizowana. W przypadku małych odlewów gdzie zalewanie odbywa się w liniach automatycznych stosowane są odciągi miejscowe.

Przy wybijaniu i chłodzeniu przebiegają procesy rozkładu termicznego podczas, których uwalniane są lotne związki, kontrolowane głównie przez szybkość dyfuzji i parowania.
Przy usuwaniu (wybijaniu) masy formierskiej i rdzeniowej z odlewu ma miejsce intensywne wydzielanie się pyłu, jako że formy, przynajmniej częściowo, muszą być kruszone (rozbijane).
Podczas wtórnego etapu chłodzenia wydziela się jedynie para wodna i to w tych przypadkach, kiedy do chłodzenia używana jest woda.

Charakter emisji występującej podczas zalewania form ciekłym metalem zależy od rodzaju stosowanego spoiwa. Poziomy emisji są porównywalne z tymi, jakie maja miejsce podczas mieszania mas, a dodatkowo występuje emisja produktów pirolizy związana z kontaktem masy z ciekłym metalem (tabela 5.2.).

Tabela 5.2. Wpływ na środowisko różnych technologii mas podczas zalewania

Nazwa technologii i składnik spoiw	Emisje do powietrza podczas zalewania	Uwagi
Masy wilgotne Lepiszcze Pył węglowy lub materiał zastępczy Woda	Cząstki stałe – sadza ze spalania węgla Tlenek węgla i dwutlenek węgla Benzen Toluen Ksylen	Możliwy zapach (może być związany z zawartością siarki w węglu)
Masa z form skorupowych Żywica fenolowo-formaldehydowa (Novolak)	Cząstki stałe – sadza z niecałkowitego spalania żywic na bazie węgla Tlenek węgla Fenol, krezole i ksylenole Amoniak Aldehydy Benzen WWA	Problemy z zapachem bardziej powszechne – obróbka może być potrzebna, chociaż dyspersja może wystarczać
Sypkie masy samoutwardzalne z żywicą fenolową utwardzane estrami Żywica rezolowa-alkaliczna Fenolowo-formaldehydowa 1. utwardzana gazem (alkaliczna fenolowa cold-box) 2. samoutwardzalna (alkaliczna fenolowa no bake)	Cząstki stałe – sadza z niecałkowitego spalania na bazie węgla Tlenek węgla Formaldehyd Fenol, krezole i ksylenole Związki aromatyczne	Zapach może stanowić problem
Sypkie masy samoutwardzalne ze spoiwem uretanowym 1. utwardzana gazem: cold-box 2. samoutwardzalna (fenolowo-mocznikowa no bake)	Cząstki stałe – sadza z niecałkowitego spalania na bazie węgla Tlenki węgla Tlenki azotu Monoizocyjaniany Formaldehyd Fenol, krezole i ksylenole Związki aromatyczne (włączając wielopierścieniowe) Aniliny Naftalen Amoniak	Zapach może stanowić problem

Nazwa technologii i składnik spoiw	Emisje do powietrza podczas zalewania	Uwagi
Proces furanowy Kombinacja żywic z: Fenolem Mocznikiem Alkoholem furfurylowym Formaldehydem	Cząstki stałe – sadza z niecałkowitego spalania na bazie węgla Tlenki węgla Fenol, krezole i ksylenole Formaldehyd Związki aromatyczne (włączając wielopierścieniowe) Dwutlenek siarki Amoniak Anilina	Zapach może stanowić problem
Metoda gorącej rdzennicy (hot-box) Kombinacja żywic z: Fenolem Mocznikiem Alkoholem furfurylowym Formaldehydem	Cząstki stałe – sadza z niecałkowitego spalania na bazie węgla Tlenki węgla Fenol, krezole i ksylenole Formaldehyd Związki aromatyczne (włączając wielopierścieniowe) Dwutlenek siarki Amoniak Anilina	
Masa olejowa Olej lniany i skrobia	Cząstki stałe – sadza z niecałkowitego spalania na bazie węgla Tlenki węgla Butadien Ketony Akroleina	Zapach może stanowić problem
Proces ze szkłem wodnym utwardzanym CO_2 Krzemian sodu	Tlenki węgla	
Proces ze szkłem wodnym utwardzanym estrem Krzemian sodu	Tlenki węgla Alkany Aceton Kwas octowy Akroleina	

W tabeli 5.3. podano przykłady substancji, które mogą być emitowane w procesach odlewania i wybijania.

Tabela 5.3. Substancje emitowane do powietrza z procesów odlewania i wybijania

Emisje	**Źródło**	
	Odlewanie	Wybijanie
Tlenki siarki	X	X
Tlenki azotu	X	X
Dwutlenek węgla	X	X
Tlenek węgla	X	X
Siarkowodór	X	X
Amoniak	X	X
Tlenki żelaza	X	X
Związki metali ziem alkalicznych	X	
Cząstki stałe metali żelaznych	X	X
Niemetaliczne cząstki stałe	X	X
Aminy/amidy	X	
Lotne związki organiczne	X	X
Opary kwasów	X	
Hałas		X
Przedstawione substancje występują z innymi związkami; jeżeli poza tym występują osobne związki to są zamieszczone. Emisja do powietrza może przedostawać się do gleby czy wody, w zależności od stosowanej technologii, np. poprzez gromadzenie pyłów, szlamów, czy odpadów ciekłych. Emisja niektórych substancji jest charakterystyczna dla określonych układów wiążących.		

Przykładowe wielkości emisji przy zalewaniu żeliwa do form podano w tabeli 5.4.

Tabela 5.4. Przykładowe współczynniki emisji przy odlewaniu żeliwa do form z masy z żywicą utwardzaną na zimno

Składnik	**Średnia kg/Mg wytopu**
CO	1,1
Alifatyczne heterocykliczne węglowodory	0,22
Węglowodory aromatyczne	0,05
HCN	0,03
Formaldehyd	0,02
Związki siarki (podczas stosowania kwasu p-toluenosulfonowego)	0,10
Lotne związki fosforoorganiczne podczas stosowania kwasu fosforowego)	0,11

Współczynniki emisji podczas zalewania, chłodzenia i wybijania dla układów mieszanych mas zostały określone w dwóch odlewniach motoryzacyjnych. Odlewnie te produkowały odlewy z żeliwa stosując na formy masę wilgotną, a na rdzenie masę wiązaną chemicznie. Współczynniki emisji bardzo zależały od zmian w składzie masy i rdzeni lub zmian w parametrach procesu takich, jak czas chłodzenia lub zmian w stosowanych technologiach,

np. rodzaj urządzeń stosowanych do wybijania. Niemniej uzyskane współczynniki dostarczają użytecznych informacji odnośnie emisji w poszczególnych etapach. Z danych wynika, że największa emisja ma miejsce podczas wybijania, a tylko niewielka emisja podczas zalewania. Naftalen i monometylowe naftaleny głównie przyczyniają się do emisji WWA. Przy dalszej analizie związków tej grupy nie wykryto wielu kancerogennych WWA, m.in. benzo(a)pirenu. Z przykładu zastosowania różnych technik oczyszczania gazów odlotowych, pochodzących z odlewni włoskiej, można stwierdzić iż jest możliwe osiągnięcie poziomu emisji < 20 mg/Nm^3.

5.3.2 Emisja do wód

W procesie odlewania, chłodzenia i wybijania powstają ścieki np. z mokrego odpylania lub przy odlewaniu ciśnieniowym w wyniku przedostawania się płynu hydraulicznego lub środka chłodzącego do układu wodnego.

5.3.3 Odpady i ich zagospodarowanie

Głównym źródłem odpadów podczas zalewania, chłodzenia i wybijania jest operacja wybijania odlewów, gdzie generowane są znaczne ilości odpadów w postaci zużytych mas formierskich i rdzeniowych. Analizy chemiczne zużytych mas formierskich wskazują, że zawartość związków metalicznych i szkodliwych związków organicznych w zużytych masach formierskich jest stosunkowo mała. Na ogół zawartość tych związków jest wyższa w masach wilgotnych w porównaniu z masami wiązanymi chemicznie. Masy ze spoiwami nieorganicznymi są zasadniczo bardzo czyste. Odpady te podlegają w znacznym stopniu regeneracji i powtórnemu użyciu przy produkcji świeżych mas oraz mogą być wykorzystane gospodarczo poza odlewnią. Możliwości wykorzystania tych odpadów są opisane szerzej w Rozdziale 11.

5.3.4 Emisja hałasu

Źródłem hałasu w odlewniach w procesach odlewania, chłodzenia i wybijania są automaty do odlewania ciśnieniowego oraz stanowiska wybijania odlewów, zwłaszcza te wyposażone w kraty wstrząsowe.

5.4 Charakterystyka materiałochłonności i energochłonności stosowanych technologii

Procesy zalewania form ciekłym metalem, chłodzenia odlewów oraz wybijania form charakteryzują się bardzo zróżnicowanym zużyciem materiałów i energii. Najbardziej materiałochłonna jest operacja zalewania. Zużycie materiałów zależy od następujących parametrów:

<u>Stosunek masa : ciekły metal</u>

Zbyt duża ilość masy w systemie formowania pociąga za sobą niepotrzebne nakłady finansowe. Przy mniejszym stosunku masa : ciekły metal uzyskamy mniejszą całkowitą objętość masy w układzie, a tym samym zmniejszy się ilość zużywanych świeżych materiałów. Z danych zebranych w brytyjskich odlewniach żeliwa, średni stosunek masa : ciekły metal wynosi 9 : 1, ale wiele odlewni pracuje powyżej lub poniżej tej wartości. Niższe wartości są zazwyczaj w przypadku niektórych form metalowych lub przy jednostkowej produkcji, gdzie łatwiej jest zoptymalizować wielkość skrzynki względem odlewu. Wartości wyższe są na ogół stosowane przy bardzo zróżnicowanym asortymencie produkcji lub produkcji małoseryjnej. W tym przypadku występuje bardzo duże zróżnicowanie ułożenia odlewów (a tym samym i modeli) i ułożenie to zmienia się znacznie w stosunku do zaplanowanego.
W odlewniach stopów miedzi średni stosunek masa : ciekły metal wynosi 4 : 1.

<u>Uzysk metalu</u>

Uzysk metalu jest to stosunek ciężaru gotowych dobrych odlewów do ilości metalu wytopionego. O wydajności metalu decyduje 5 czynników:

- wymagana jakość,
- wybór wielkości skrzynki formierskiej,
- wielkość układu wlewowego i nadlewów,
- skurcz metalu,
- ilość braków (złomowanych odlewów).

Wydajność metalu nie ma bezpośredniego wpływu na zużycie masy formierskiej. Jednak wzrost uzysku może powodować, że będzie się wytwarzać mniejsze formy, co oznacza mniejsze zużycie masy. Mniejszy uzysk metalu jest na ogół związany z bardziej skomplikowanym produktem, gdzie wymagane są wyższe standardy jakości, oraz konieczność zastosowania bardziej rozbudowanego układu wlewowego. Mniejszy uzysk może również wskazywać na większą ilość złomowanych odlewów (braków) i nadmiernie rozbudowany układ wlewowy. W tym przypadku powinno się zweryfikować technologie produkcji form i metody kontroli. W tabeli 5.5. podano średnie wartości uzysku metalu dla wybranych stopów odlewniczych w W. Brytanii.

Tabela 5.5 Średni uzysk metalu dla stopów odlewniczych

Stopy odlewnicze	**Średni uzysk metalu, (%)**
Żeliwo szare	68
Żeliwo sferoidalne	63
Aluminium	57
Miedź	58
Staliwo	50

W oparciu o dane zebrane z odlewni w zakresie uzysku metalu dla poszczególnych stopów odlewniczych można stwierdzić, że:

- zakres uzysku dla żeliwa szarego i sferoidalnego wynosi od 40% do ponad 90%,
- uzysk dla aluminium wynosi od 40% - 80%,
- uzysk dla miedzi wynosi średnio od 50% - 60%, chociaż podawane są również liczby od 30% - ponad 90%.

Odlewanie do kokil

Emisja i zużycie materiałów przy odlewaniu do kokil zależy od gatunku użytego stopu, pola powierzchni ciekłego metalu, jakości rdzeni, które są umieszczone w formie i stosunku pole powierzchni/objętość. Głównym źródłem emisji są rdzenie. Nie występują większe różnice pomiędzy technikami odlewania. Z powodu dużego zróżnicowania procesów odlewania do kokil, nie jest możliwe podanie średnich wartości odnośnie emisji.
Zużycie energii elektrycznej zależy od parametrów procesu, m.in. takich jak siła zamykania kokil.

5.5 Sposoby zapobiegania i/lub ograniczania oddziaływania technologii na środowisko

W celu zapobiegania lub ograniczenia emisji z procesów zalewania, chłodzenia i wybijania odlewów zaleca się stosowanie następujących metod:

Obudowa linii zalewania i chłodzenia (hermetyzacja).

Wychwytywanie emitowanych gazów podczas zalewania, chłodzenia i wybijania musi być z reguły bardziej intensywne w miarę, jak zwiększa się instalacja. Im bardziej proces zalewania może być ograniczony do określonego obszaru lub miejsca, tym mniejsza ilość powietrza musi być usunięta, i tym łatwiej jest wychwycić emisje przy pomocy wywietrzników i okapów, a proces oczyszczania gazów będzie bardziej skuteczny.

Przy zalewaniu seryjnym emisja staje się bardziej intensywna, ze względu na wzrost wydajności produkcji. Gdy nie stosuje się wychwytywania emisji, to w powietrzu na oddziale zalewania w pewnym momencie stężenie substancji toksycznych może osiągnąć niedopuszczalny poziom. Aby zmniejszyć zanieczyszczenie na stanowisku stosuje się wentylatory wyciągowe lub odciągi powierzchniowe, ale tak aby nie utrudniać operacji zalewania. Urządzenia wyciągowe są tak rozmieszczone, aby całą emisję występującą w czasie zalewania, usuwać ze stanowiska pracy do instalacji wyciągowej. Szybkość powietrza przy swobodnym odciągu w przekroju poprzecznym wynosi 0,5 – 1,0 m/s.

Dzięki temu uzyskuje się ograniczenie emisji niezorganizowanej WWA i innych organicznych produktów rozkładu składników mas. Jednak usuwanie powietrza z tych stanowisk powoduje dodatkowe zużycie energii elektrycznej. Technika ta jest możliwa do zastosowania w nowych i eksploatowanych instalacjach przy seryjnym zalewaniu i chłodzeniu.

Wychwytywanie gazów odlotowych z procesu wybijania

Technika stosowana do wychwytywania emisji z procesu wybijania zależy od stopnia mechanizacji, wielkości i rodzaju emisji oraz wielkości odlewów, szczególnie w przypadku gdy na tym samym urządzeniu wybijane są najmniejsze i największe odlewy. Najczęściej stosuje się system ograniczania emisji obejmujący zespół wentylatorów po stronie kraty wstrząsowej. Zwykle zestawy wentylatorów są instalowane po obu stronach wstrząsarki niezależnie od wielkości kraty. Jeżeli jest to możliwe, od tyłu krata jest zamknięta w ten sam sposób. Najczęściej punkt odbioru emitowanych gazów jest umieszczony nad kratą, a gazy są odprowadzane przez przewód. Może występować zagrożenie porywania wraz z gazami masy jeżeli przewód ssący umieszczony będzie zbyt blisko odlewu. Najlepszym sposobem uzyskania odpowiednio niskiej emisji przy stosunkowo małej wydajności wentylatorów jest prowadzenie operacji wybijania w zamkniętej instalacji. Otwierany dach, możliwie z ruchomym przesiewaczem, drzwi oraz rynny zsypowe umożliwiają stosowanie suwnic lub innych urządzeń transportujących. Ponadto prowadzenie wybijania w zamkniętej kabinie zmniejsza poziom hałasu.

W automatycznej linii formowania, zestaw form do zalewania jest często składany poza skrzynką formierską przy użyciu dźwignika hydraulicznego razem z zamontowaną płyta prasującą. Po zalaniu odlewy są oddzielane od masy na wstrząsarce, a stamtąd przenoszone do obrotowego bębna do wybijania lub ochładzalnika masy. Coraz częściej stosowane są bębny do wybijania, jako że są bardziej odpowiednie do wychwytywania emisji niż zwykłe kraty wstrząsowe, ale mają one tą niedogodność, że istnieje możliwość wydzielania się nieprzyjemnych zapachów.

Jakość usuwanego powietrza jest zdeterminowana nie tylko wymaganiami odnośnie dopuszczalnych stężeń zanieczyszczeń na stanowisku pracy, ale również wymaganiami odnośnie jego dalszej obróbki. Do chłodzenia i ochrony filtrów workowych mogą być wymagane duże objętości powietrza. Należy to zbilansować z wymaganiami technik stosowanych do usuwania zanieczyszczeń, które aby były skuteczne, zwykle potrzebują dużego ładunku gazów odlotowych z małą objętością strumienia powietrza.

Technikami stosowanymi do odpylania są cyklony w połączeniu z mokrymi skruberami lub suchymi filtrami. Również stosowane są biofiltry.

Przy odlewaniu kokilowym i odlewaniu odśrodkowym, w celu zmniejszenia emisji związków organicznych i nieprzyjemnych zapachów, stosuje się dopalanie, przemywanie chemiczne i adsorpcję na węglu aktywnym.

Najlepsza dostępna technika zapewnia poziom emisji pyłów rzędui 10 mg/Nm^3 jako średnia godzinowa. Równocześnie zapewnia ograniczenie emisji LZO i pyłów do powietrza. Równocześnie wychwytywanie pyłów generuje powstawanie odpadów. Techniki te mogą być zastosowane w odlewniach gdzie wybijane są formy z mas wiązanych glinką i występuje znaczna emisja pary. Połączenie pyłu i pary może prowadzić do dużych utrudnień w przewodach odpylających, jeżeli temperatura spadnie poniżej punktu rosy lub co gorsze poniżej punktu zamarzania. Dla uniknięcia tego problemu trzeba wdmuchiwać gorące powietrze do przewodów i izolować rury oraz stacje filtrów.

Minimalizacja zużycia środków antyadhezyjnych

Proste działania pozwalają na zmniejszenie zużycia środka zapobiegającego przywieraniu i wody. Działania te obejmują:

- *automatyzacja procesu natryskiwania*: zastosowanie automatów do natryskiwania pozwala na dokładną kontrolę ilości stosowanego środka antyadhezyjnego i przystosowanie używanej ilości do potrzeb danego odlewu,
- *optymalizacja stopnia rozcieńczenia*: stopień rozcieńczenia środka antyadhezyjnego powinien być tak dobrany, aby zachował on równowagę pomiędzy działaniem jako powłoka ochronna i jako czynnik chłodzący kokile,
- *zastosowanie chłodzenia wewnętrznego kokil*: może być częściowo przeprowadzone poprzez chłodzenie wewnętrzne z zastosowaniem obiegu wodnego.

Uzyskuje się w ten sposób minimalizacje zużycia wody i związków chemicznych, a w konsekwencji zapobiega i/lub redukuje emisję podczas zalewania kokil. Powyższe techniki stosowane są w odlewniach wykonujących odlewy kokilowe wysokociśnieniowe. Zakres, dla którego można uzyskać powyższe oszczędności zależy od rodzaju odlewów i stosowanych maszyn.

Poprawa uzysku metalu

Poprawa uzysku metalu jest możliwa do osiągnięcia jednym lub więcej z następujących sposobów:

- *efektywna technologia*: prawidłowo zaprojektowane nadlewy, układy wlewowe, wlewy, zbiorniki wlewowe i optymalizacja skrzynki formierskiej (prawidłowy stosunek odlew/metal zalewany do formy). Przydatnym narzędziem w opracowaniu poprawnej technologii jest symulacja komputerowa procesu zalewania i krzepnięcia.
- *poprawne prowadzenie procesu topienia i zalewania*: aby zmniejszyć straty metalu, ilość złomowanych odlewów itd.
- *poprawne prowadzenie procesu formowania i wykonywania rdzeni:* aby zmniejszyć ilość złomowanych odlewów spowodowaną wadami formy i rdzeni.

Poprawa uzysku metalu daje obniżenie zużycia energii, piasku i dodatków w przeliczeniu na jednostkowy dobry odlew. Wzrasta również efektywność samego procesu.

W celu ograniczenia emisji hałasu stosuje się obudowy urządzeń emitujących hałas do środowiska.

5.6 Propozycje granicznych wielkości emisji

Proponuje się poziom emisji pyłów dla instalacji wybijania odlewów równy 10 mg/Nm^3 jako średnia godzinowa

5.7 Zestawienie minimalnych wymagań charakteryzujących NDT

Aspektem znaczącym dla procesu odlewania, chłodzenia i wybijania jest emisja gazów i pyłów. Emisja ta jest zróżnicowana i znacznie różni się jakościowo i ilościowo w zależności od odlewni. Zasadniczo, ma miejsce emisja pyłów oraz gazowych związków organicznych i nieorganicznych. Są to głównie produkty reakcji zachodzących w wysokich temperaturach i wywołanych atmosferą redukującą w czasie zalewania i chłodzenia. Szczególnie stwierdza się obecność wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA) i benzenu. Wychwytywanie i obróbka gazów odlotowych z tych etapów procesu jest na ogół możliwa dla automatycznych instalacji formowania i zalewania.

Względne emisje (wyrażone w kg/tonę ciekłego metalu) rosną w kolejności: zalewanie – chłodzenie – wybijanie. Zmiany te należy uwzględnić przy projektowaniu instalacji do wychwytywania gazów.

NDT dla odlewania, chłodzenia i wybijania jest:

- obudowanie linii do zalewania i chłodzenia oraz zapewnienie usuwania gazów odlotowych z linii seryjnego zalewania,
- obudowanie instalacji do wybijania i obróbka gazów odlotowych przy zastosowaniu cyklonów, w połączeniu z odpylaniem mokrym lub suchym. Poziom emisji dla pyłów wynosi 10 mg/Nm^3 jako średnia godzinowa.

6. PROCES WYKAŃCZANIA ODLEWÓW

6.1 Analiza stosowanych technologii i technik oraz ich porównanie z poziomem światowym

Po wybiciu i ochłodzeniu odlewy surowe poddawane są wielu różnym procesom wykańczającym w celu uzyskania końcowego produktu. Stosowane metody wykańczania odlewów zależne są od odlewanych stopów, masy wykonywanych odlewów i stawianych im wymogów jakościowych. Najczęściej stosowanymi procesami wykańczania odlewów są:

- usuwanie układów wlewowych i nadlewów
- usuwanie resztek masy formierskiej i rdzeniowej
- usuwanie zalewek, nierówności powierzchni
- usuwanie wad odlewniczych
- naprawy wad odlewniczych
- przygotowanie odlewu do mechanicznej obróbki, montażu, obróbki cieplnej, malowania (pokrywanie ochronne) .

6.1.1 Usuwanie układów wlewowych i nadlewów

Usuwanie układów wlewowych, nadlewów, zalewek, nierówności powierzchni (generalnie nadmiaru metalu) wykonuje się najczęściej przy zastosowaniu następujących metod:

- odłamywania (utrącania): stosuje się w przypadku takich materiałów jak żeliwo szare. Dokonuje się tego ręcznie (młotek), przecinakiem pneumatycznym, w oczyszczarkach bębnowych lub wibracyjnych. W coraz większym stopniu wykorzystywany jest to tego sprzęt hydrauliczny.
- przecinanie (obcinanie, cięcie): wykorzystuje się tu piły mechaniczne, tarcze ścierne, cięcie gazowe (płomieniowe, tlenowo – proszkowe), cięcie łukowe. Spośród pił wykorzystuje się piły tarczowe, taśmowe, ramowe. Przecinanie tarczami ściernymi jest popularne w przypadku odlewów wykonanych ze stopów żelaza; wykorzystuje się szlifierko – obcinarki, przecinarki stacjonarne stołowe, wahadłowe lub ręczne. Przy produkcji seryjnej wykorzystuje się także automaty szlifierskie. W przypadku odlewów z metali nieżelaznych stosuje się najczęściej piłowanie: ręczne, pilnikiarki, nożyce, prasy mimośrodowe lub okrojnikowe. W przypadku dużych odlewów ze staliwa węglowego i niskostopowego wykorzystywane jest cięcie palnikiem acetylenowo – tlenowym. Cięcie tlenowo – proszkowe (wprowadzenie w strumień tlenu i gazu proszku żelaza) i cięcie lancą tlenową stosuje się w przypadku staliwa wysokostopowego.Do usuwania nadmiaru metalu (cięcie, usuwanie wad) stosuje się także cięcie łukowe, np. cięcie elektropowietrzne (z wydmuchiwaniem stopionego metalu nazywane także elektrożłobieniem).
- oczyszczanie odlewów z resztek masy formierskiej i rdzeni: stosowane są metody mechaniczne, fizykochemiczne i cieplne. Metoda oczyszczania dobierana jest w zależności od rodzaju i wielkości wytwarzanych odlewów.

  Najczęściej wykorzystywane jest oczyszczanie mechaniczne cechujące się uniwersalnością, możliwością zmechanizowania i zautomatyzowania. Pośród metod mechanicznych wykorzystuje się głównie oczyszczanie śrutowe pneumatyczne lub wirnikowe. W metodzie pneumatycznej zanieczyszczenia usuwa się strumieniem sprężonego powietrza będącego nośnikiem czyściwa (najczęściej śrutu, niekiedy innych jak szklane kulki, elektrokorundu, ziaren zmrożonego CO_2). Oczyszczanie wykonuje się w wydzielonych komorach lub pomieszczeniach, a w przypadku dużych odlewów w specjalnych kabinach gdzie dysze śrutujące mogą być prowadzone ręcznie lub z wykorzystaniem robotów. Resztki masy, cząstki metaliczne i czyściwo podlegają segregacji (separatory magnetyczne, przesiewacze) w celu odzysku czyściwa. Frakcje pyliste

powstające w trakcie procesu odciągane są do urządzeń odpylających (mokrych lub suchych).

Oczyszczarki wirnikowe (najczęściej śrutowe) wykorzystywane są powszechnie w wielu odlewniach ze względu na różnorodność rozwiązań konstrukcyjnych pozwalających dobrać je do charakteru produkcji. Stosowane są oczyszczarki bębnowe, komorowe, obrotnicowe, tunelowe, taśmowe, korytowe. Podobnie jak w metodzie pneumatycznej stosuje się w oczyszczarkach wirnikowych odzysk śrutu i odpylanie gazów odlotowych.

Rzadziej do oczyszczania stosuje się oczyszczanie wodne wykorzystujące strumień wody do usuwania z powierzchni odlewów resztek masy i wymywania rdzeni.

Ze stosowanych metod mechanicznych należy wymienić jeszcze oczyszczanie ocierne grawitacyjne lub wibracyjne polegające na wzajemnym ocieraniu się o siebie odlewów lub wykorzystaniu wprowadzanego dodatkowo czyściwa. Metody mechaniczne stosowane są także do usuwania resztek metalu – zalewek.

Wśród metod fizykochemicznych stosuje się do oczyszczania odlewów metody:

- chemiczne (trawienie w roztworach),
- elektrochemiczne (utlenianie, rozpuszczanie w elektrolitach),
- ultradźwiękowe,
- elektrodynamiczne (oddziaływanie na odlew wysokonapięciowych wyładowań elektrycznych).

Wśród metod cieplnych wykorzystuje się metody ogniowe (palniki acetylenowo – tlenowe, także z zastosowaniem proszku Fe, elektrożłobienie) i wybuchowe.

Usuwanie wad odlewniczych: dokonuje się tego metodami opisanymi przy usuwania nadmiaru metalu. Najczęściej wykorzystywane są wszelkiego rodzaju szlifierki, ścinaki pneumatyczne, cięcie elektropowietrzne (elektrożłobienie), frezowanie.

Naprawy wad odlewniczych: w zależności od wad spotykanych w odlewach stosuje się odpowiednie metody naprawy spośród, których jako najważniejsze należy wymienić:

- spawanie (spawanie elektryczne łukiem z zastosowaniem elektrod, drutu lub proszków, w atmosferze gazów obojętnych lub bez, na zimno lub po wstępnym podgrzaniu),
- szlifowanie (szlifierki, polerki, ręczne lub stacjonarne),
- obróbka cieplna,
- prostowanie,
- czopowanie,
- tulejowanie,
- metoda Metalock,
- kitowanie,
- metalizacja,
- uszczelnianie,
- nadlewanie.

6.1.2 Obróbka cieplna odlewów

Dla uzyskania odpowiednich właściwości użytkowych odlewy poddawane są obróbce cieplnej.

Celem obróbki cieplnej żeliwa (szarego, sferoidalnego, ciągliwego) jest :

- usuwanie naprężeń cieplnych (wyżarzanie odprężające),
- poprawa właściwości mechanicznych (wyżarzanie normalizujące, ulepszanie cieplne, hartowanie z przemianą izotermiczną),
- poprawa właściwości plastycznych (grafityzacja cementytu, wyżarzanie grafityzujące),

- poprawa właściwości warstwy powierzchniowej (zmiana składu i struktury),
- wprowadzenie dodatków,

W celu ulepszania stosuje się także obróbkę cieplno – chemiczną (azotowanie, siarkowanie, chromowanie).

W przypadku odlewów staliwnych obróbka cieplna może obejmować usuwanie naprężeń (wyżarzanie odprężające) oraz zmiany struktury i właściwości odlewów. W zależności od gatunku staliwa stosowanych jest wiele rodzajów obróbki cieplnej takich jak:

- wyżarzanie zupełne i niezupełne,
- wyżarzanie sferoidyzujące,
- wyżarzanie dyfuzyjne,
- przesycanie,
- hartowanie (stopniowe, z przemianą izotermiczną, z samoodpuszczaniem, objętościowe, powierzchniowe),
- odpuszczanie (wysokie, średni, niskie),
- wyżarzanie izotermiczne,
- wyżarzanie normalizujące.

W przypadku odlewów wykonanych ze stopów aluminium obróbkę cieplną prowadzi się w celu ujednorodnienia składu, usunięcia naprężeń wewnętrznych, ustabilizowanie wymiarów, utwardzenia, uzyskania ciągliwości. Obróbka cieplna aluminium może wymagać wyżarzania odprężającego, przesycania, hartowania, starzenia czy utwardzania.

W zależności od potrzeb (rodzaj i wielkość odlewów, stosowana obróbka cieplna) wykorzystuje się różne typy konstrukcyjne pieców do obróbki cieplnej odlewów. Jedną z najbardziej znanych i stosowanych konstrukcji są piece komorowe, wśród których mamy piece ze stałym, wysuwanym lub podnoszonym trzonem, piece z podnoszoną komorą, piece komorowe z przedsionkiem. Stosowane są piece kołpakowe, wgłębne, tyglowe. W przypadku produkcji ciągłej stosowane są piece przepychowe, rolkowe czy bębnowe.

W zależności od możliwości kontroli i regulacji atmosfery piecowej można wyróżnić piece o atmosferze nie kontrolowanej (zawierają CO_2, CO, O_2, parę wodną) i kontrolowanej (składają się z gazów, które nie powodują niekorzystnych zmian w składzie chemicznym obrabianych odlewów). Kryterium kwalifikacyjnym jest także osiągana temperatura, możemy wyróżnić piece nisko – (700^oC), średnio - ($700 – 1000^oC$) i wysokotemperaturowe (powyżej 1000^oC). Konstruowane i budowane obecnie piece do obróbki, obok zwiększania dokładności realizacji reżimu temperaturowego i zapewnienia wymaganej atmosfery, wykorzystują metody sterowania ze wspomaganiem komputerowym zapewniającym pełny i ciągły moinitoring parametrów procesu. Jako nośniki energii do ogrzewania wykorzystuje się energię elektryczną, gaz ziemny lub olej.

6.1.3 Hartowanie odlewów

Ten rodzaj obróbki wykonuje się w celu podwyższenia odporności odlewów na ścieranie, zmniejszenia naprężeń własnych, ustabilizowania wymiarów i zwiększenia twardości.
Proces hartowania polega na nagrzaniu odlewu w piecu do określonej temperatury (zależnej od rodzaju materiału i rodzaju jego obróbki), a następnie szybkim zanurzeniu w wodzie, oleju lub polimerze znajdującym się w wannie hartowniczej. Niekiedy do schładzania odlewu stosuje się intensywne dmuchanie powietrzem.

6.1.4 Malowanie i powlekanie odlewów

Ten rodzaj obróbki należy do końcowych operacji wykańczania odlewów, a jej głównym celem jest zabezpieczenie ich przed korozją.

Podstawowymi metodami są:

- malowanie (gruntowanie) metodą zanurzeniową bądź natryskową z wykorzystaniem różnych farb ochronnych i antykorozyjnych na bazie rozcieńczalników chemicznych i wody,
- smołowanie powierzchni odlewów,
- emaliowanie (metodą mokrą, pudrową),
- nanoszenie powłok ochronnych (np. fosforanowanie, metalizacja).

6.2 Oddziaływanie procesów wykańczania odlewów na środowisko

Procesy wykańczania odlewów oddziaływają na środowisko poprzez:

- emisję do atmosfery pyłów, (zawierających także tlenki Fe i innych metali), gazów, LZO powstających w trakcie oczyszczania odlewów (np. śrutowanie), usuwania układów wlewowych i nadlewów (np. cięcie palnikiem acetylenowo – tlenowym), usuwania wad (np. metodą elektropowietrzną), naprawiania wad (np. spawanie), cięcia i szlifowania materiałami ściernymi, obróbki cieplnej odlewów, hartowania zabezpieczania przed korozją (np. malowanie).
- emisję hałasu do środowiska zewnętrznego i środowiska pracy powstającego w takich procesach jak: usuwanie układów wlewowych, nadlewów czy zalewek, usuwanie z odlewów resztek masy i rdzeni w oczyszczarkach, usuwanie naddatków materiału lub wad (dłutowanie, cięcie, szlifowanie, elektrożłobienie). Dodatkowo emisja hałasu może być powodowana pracą instalacji wentylacyjnych i odpylających, sprężarkowni, transportem odlewów.
- emisję odpadów**,** którymi są głownie pyły lub szlamy z odpylania, resztki masy formierskiej i rdzeniowej, zużyte tarcze i kamienie ścierne, odpady po spawaniu, zużyte materiały ogniotrwałe z pieców do obróbki cieplnej, odpady po malowaniu lub powlekaniu ochronnym, złom odpadowy (nadlewy, ścinki)
- emisję ścieków występującą w przypadku stosowania mokrych metod odpylania gazów odlotowych, oczyszczania odlewów z zastosowaniem wody czy innych cieczy, hartowania, stosowania powłok (np. powłoki elektrochemiczne)
- pobór nośników energii, szczególnie duży w przypadku prowadzenia procesu obróbki cieplnej (gaz, energia elektryczna), szerokiego wykorzystywania sprężonego powietrza (np. śrutowanie pneumatyczne) czy gazów technicznych (tlen, acetylen do przepalania układów wlewowych czy nadlewów).

6.3 Emisja zanieczyszczeń do atmosfery

6.3.1. Wychwytywanie pyłów i gazów odlotowych z procesów wykańczania odlewów

Przy stosowaniu do wykańczania technik termicznych (cięcie palnikiem acetylenowo – tlenowym, elektrożlobienia, spawalni, itp.) mogą być wychwycone i usunięte znaczne ilości pyłów i dymów. Stanowisko pracy może być tak obudowane, aby zapewnić pracownikowi swobodę ruchu i dopływ świeżego powietrza (np. kabiny).

Techniki wychwytywania pyłów w czasie cięcia ściernicą i szlifowania zależne są od używanego oprzyrządowania. W przypadku urządzeń stacjonarnych zazwyczaj stosuje się okapy częściowo obudowane pozwalające odciągać zanieczyszczenia do komina odciągowego. W przypadku użycia narzędzi ręcznych (np. przy obróbce odlewów wielkogabarytowych) usuwanie pyłów jest utrudnione. Wówczas sporadycznie stosuje się odciągi przyłączone do osłony tarczy (metoda mało popularna ze względu na rosnący ciężar narzędzia i utrudnione możliwości manewrowania nim).

Odciąganie pyłów może odbywać się także poprzez wyciągi w ścianach, sklepieniach dachu czy poprzez ruchome okapy.

Wychwytywania zanieczyszczeń z powietrzna nie stosuje się generalnie w przypadku cięcia piłą, odbijania, dłutowania czy frezowania.

Emisja z pieców do obróbki cieplnej odlewów obejmuje głównie gazy spalinowe powstające w piecach opalanych gazem lub olejem. Poziom emisji uzależniony jest głownie od ilości zużytego paliwa, rodzaju palników i systemu sterowania pracą pieca. Wychwytywane gazy usuwane są przez komin; w zasadzie nie stosuje się dalszego oczyszczania gazów. Podstawowym działaniem w zakresie ograniczania emisji z pieców do obróbki cieplnej nagrzewanych palnikami jest stosowanie czystych paliw – gazu ziemnego lub olejów o niskiej zawartości siarki. Zastosowanie nowoczesnych palników i zautomatyzowanie pracy pieca pozwala na pełną kontrolę warunków pracy i temperatury oraz obniżenie zużycia energii.

W procesie hartowania, w zależności od stosowanego czynnika chłodzącego mogą występować emisje dymów, pary wodnej lub mgły olejowej. Na ogół hartowanie jest procesem okresowym i w większości przypadków emisja z wanien hartowniczych jest nie istotna dla środowiska. Ponieważ wanny hartownicze najczęściej ładowane są przy pomocy suwnicy okapy odciągowe muszą być instalowane wysoko nad podłożem (wywietrzniki dachowe, kokopuły wyciągowe, wyciągi krawędziowe).

6.3.2 Techniki oczyszczania wychwyconego powietrza

Do oczyszczania gazów odlotowych stosuje się następujące techniki:

- oczyszczanie odlewów (oczyszczarki pneumatyczne, wirnikowe, inne): proces prowadzony w zamkniętych kabinach, gdzie generowana jest duża ilość pyłów. Wychwycone powietrze oczyszczane jest metodami mokrymi lub suchymi, często z cyklonem jako wstępnym etapem oczyszczania.
- przecinanie, cięcie: powstająca w procesach cieplnych emisja (pyły, dymy) jest wychwytywana najczęściej z obudowanych stanowisk (kabin). Ważne jest aby instalacje wychwytujące umieścić możliwie blisko źródła emisji. Przy prawidłowym rozmieszczeniu wyciągów powietrze zawierające pyły jest usuwane bezpośrednio z przestrzeni, którą oddycha pracownik. Zwykle do oczyszczania usuniętych gazów stosuje się metody mokre lub suche.
  Stacjonarne urządzenia do cięcia ściernicą są podłączone do instalacji wyciągowej; powietrze oczyszczane jest za pomocą cyklonów, odpylaczy mokrych lub suchych.
  W przypadku cięcia piłą i odbijania powstają małe emisje pyłów i nie stosuje się urządzeń oczyszczających.
- dłutowanie, igłowanie: w tych procesach powstają głównie cząstki gruboziarniste, trudne do usunięcia w wyniku odciągania. W przypadkach kiedy usuwane są resztki masy powstający pył może być odciągany przez ramię odciągowe i odbierany przez cyklony, suche lub mokre filtry.
- szlifowanie odlewów: w przypadku stosowania urządzeń stacjonarnych wykorzystuje się odciągi; przy ręcznym szlifowaniu stosuje się zazwyczaj obudowane stanowiska pracy z zastosowaniem ścian odciągowych. Zanieczyszczone powietrze oczyszczane jest za pomocą cyklonów, mokrych lub suchych odpylaczy.
- kucie, frezowanie: wykonywane ręcznie powodują małą emisję i nie wymagają urządzeń redukujących.
- spawanie: w zależności od rodzaju produkowanych odlewów i stosowanych technik spawalniczych może zachodzić większa lub mniejsza emisja, która najlepiej wychwytywana jest przez ruchome ramię odciągowe. Do oczyszczania odciągniętego powietrza stosuje się metody odpylania mokrego, suchego oraz filtry elektrostatyczne
- malowanie: do oczyszczania gazów odlotowych stosowane są kurtyny i płaszcze wodne

- hartowanie: najczęściej stosuje się wyłącznie wychwytywanie emisji (szczególnie gdy stosuje się hartowanie w oleju), rzadko stosowane są elektrofiltry do oczyszczania odciąganego powietrza.

Generalnie do oczyszczania gazów odlotowych wykorzystywane są odpylacze mokre (skrubery) i suche (filtry tkaninowe). Stosowanie do wykańczania odlewów kabin wyposażonych w wysokiej skuteczności instalacje odpylające pozwala eliminować emisję do powietrza (emitory), a oczyszczone powietrze zawracane jest do hali.
Stosując filtry tkaninowe można uzyskać poziom emisji pyłów poniżej 10 mg/Nm^3. Przy mokrych systemach można uzyskać poziom emisji poniżej 20 mg/Nm^3.

6.4 Charakterystyka emisji do poszczególnych komponentów środowiska

6.4.1 Emisja pyłów i gazów

W tabeli 6.1. podano przykładowe wskaźniki emisji pyłów z procesów wykańczania odlewów uzyskiwane w krajowych odlewniach.

Tabela 6.1. Przykładowe wskaźniki emisji pyłów z procesów wykańczania odlewów

Rodzaj tworzywa	Jednostka	Wartość
Żeliwo szare	kg/Mg dobrych odlewów	0.27
Żeliwo szare	kg/Mg odlewów	0.807
Żeliwo sferoidalne	kg/Mg odlewów	0.3
Staliwo węglowe, niskostopowe	kg/Mg odlewów	0.46
Staliwo węglowe, niskostopowe	kg/Mg odlewów	1.2
Staliwo węglowe, niskostopowe	kg/Mg odlewów	1.43
Staliwo, żeliwo	kg/Mg odlewów	2.33

W odlewniach krajowych w procesach wykańczania odlewów w równym stopniu stosuje się metody mokrego i suchego odpylania. Przykładowe zakresy poziomów stężeń pyłów oraz gazów dla poszczególnych operacji przedstawiono w tabeli 6.2.

Tabela 6.2. Poziomy emisji pyłów i gazów w operacjach oczyszczania odlewów uzyskane w krajowych odlewniach

Proces/ urządzenie	Zanieczyszczenie	Stężenie mg/Nm^3	Emisja kg/h	Metoda oczyszczania	Sprawność oczyszczania
Wybijanie na kracie wstrząsowej	Pył całkowity	4.2 – 610.0	0.11 – 6.9	mokra	85 – 97%
		2.0 – 7.0	0.12 – 0.34	filtry tkaninowe	94 – 99%
Oczyszczarki mechaniczne	Pył całkowity	5.2 – 420.0		mokra	64.7 – 96.0%
		2.0 – 320.0	0.024 – 4.6	sucha	82 – 98%
	Pył całkowity	2.9 – 45.0	-	sucha, mokra	87 – 88%

	Pył całkowity	2.9 – 45.0	-	sucha, mokra	87 – 88%
Cięcie układów	Tlenek węgla	3.2 – 11.3	-	-	-
Spawanie odlewów	Dwutlenek azotu	4.1 – 20.2	-	-	-
Szlifowanie odlewów	Pył całkowity	3.2 – 210.0	-	sucha , mokra	67 – 83%
Szlifowanie odlewów – szlifierki wahadłowe, dwutarczowe	Pył całkowity	3.2 – 210.0	-	sucha, mokra	67 – 94%
Szlifowanie odlewów – szlifowanie ręczne	Pył całkowity	2.6 – 240.0	-	sucha	70 – 95%
Elektrożłobienie	Pył całkowity	6.9 – 17.0	-	filtry tkaninowe	90%
Piece do obróbki cieplnej	Dwutlenek azotu	3.7 – 197.0	-	-	-
	Tlenek węgla	0.01 – 357.5	-	-	-
	Dwutlenek siarki	0.94 – 136.0	-	-	-
	Ksylen	-	0.96 – 1.88	-	-
	Toluen	-	0.75	-	-
	Etylobenzen	-	0.75	-	-
	Propylo-benzen	-	0.06	-	-
	Mezytylen	-	0.75	-	-
	Alkohol butylowy	-	0.19 – 0.27	-	-
	Aceton	-	0.34	-	-
	Octan butylu	-	1.06	-	-
	Octan etylu	-	0.96 – 1.88	-	-

W odlewniach krajowych operacjami procesu wykańczania odlewów, w których powstaje emisja niezorganizowana są najczęściej (por. tabela 7.28; 7.29; 7.30; 7.31 i 7.32):

- spawanie odlewów (pyły, gazy, związki metaliczne zawarte w pyle);
- cięcie palnikiem acetylenowo – tlenowym (pyły, gazy, związki metaliczne zawarte w pyle);
- szlifowanie odlewów (pyły);
- hartowanie odlewów w oleju (akroleina);
- malowanie odlewów (ksylen, toluen, itp.).

W zakresie emisji pyłów i gazów z procesów wykańczania odlewów stosowanych w krajowych odlewniach wynikają następujące wnioski:

1. W procesie wybijania odlewów z zastosowaniem krat wstrząsowych w wielu odlewniach stężenie pyłów w gazach odlotowych przekracza 20 mg/Nm^3, co ma miejsce w przypadku większości krat odpylanych metodami mokrymi. W przypadku zastosowania filtrów tkaninowych – stężenie nie przekracza 10 mg/m^3. Sprawność przy redukcji emitowanych pyłów technikami mokrymi waha się w granicach 85 – 97%, a dla filtrów tkaninowych 94 – 99%.

2. W procesie oczyszczania odlewów metodami mechanicznymi (oczyszczarki śrutowe, bębnowe, itp.) przy zastosowaniu mokrych technik odpylania stężenie pyłów w gazach odlotowych w 70% przypadków przekracza 20 mg/Nm^3. Zastosowanie samych

cyklonów także nie zapewnia skutecznego odpylenia. Zastosowanie filtrów tkaninowych daje stężenia poniżej 20 mg/Nm^3. Sprawność w redukcji emitowanych pyłów technikami mokrymi waha się w granicach 65 – 93% a dla filtrów tkaninowych 94 – 97%.

3. W przypadku spawania odlewów, cięcia gazowego palnikami, elektrożłobienia czy szlifowania odlewów stężenia pyłów w gazach odlotowych są wyższe w przypadku zastosowania mokrych metod odpylania niż przy zastosowaniu suchych filtrów tkaninowych. Sprawność instalacji odpylających wahają się od 67 do 95%. W wielu przypadkach w tych właśnie operacjach wykańczania odlewów brak jest wychwytywania i oczyszczania gazów odlotowych - występuje emisja niezorganizowana, przede wszystkim do środowiska pracy.
4. W przypadku obróbki cieplnej mamy do czynienia z bardzo szerokim przedziałem stężeń NO_2, CO czy SO_2 w gazach odlotowych. Należy to wiązać z różnorodnością stosowanych rodzajów obróbki cieplnej, różnymi materiałami poddawanymi obróbce oraz z dużym zróżnicowaniem konstrukcyjnym pieców. W tym przypadku w odlewniach stosuje się odprowadzanie spalin, ale nie stosuje się ich oczyszczania.
   Najczęściej stosowane są piece opalane gazem ziemnym lub zasilane energią elektryczną. Sporadycznie stosuje się gaz koksowniczy. W większości przypadków stosuje się sterownie automatyczne pracą pieca i kontrolę procesu.
5. W około 30% odlewni prowadzony jest proces hartowania odlewów, najczęściej w wodzie. Stosowane są także oleje hartownicze i polimer. W przypadku hartowania w wodzie czy polimerze nie stosuje się okapów i instalacji wyciągowych; instalacje takie stosowane są w przypadku hartowania w oleju.
6. W niektórych operacjach (cięcie gazowe i elektrożłobkowanie w wydzielonych kabinach, szlifowanie ręczne odlewów, spawanie) dla ochrony pracowników przed zapyleniem i innymi związkami stosowane są specjalne ochrony – zestawy filtrowentylacyjne czy podawanie kondycjonowanego powietrza do strefy oddychania.

6.4.2. Emisja hałasu

W wielu operacja związanych z wykańczaniem odlewów powstaje znaczny hałas. Przykładowe poziomy emisji hałasu występujące w tych operacjach w krajowych odlewniach przedstawiono w tabeli 6.3.

Tabela 6.3. Poziomy emisji hałasu w procesach wykańczania odlewów

Źródło hałasu	**Poziom emisji w dB(A)**
Wybijanie odlewów – kraty wstrząsowe	84.6 – 101.0
Oczyszczarki śrutowe i inne	80.7 – 93.0
Cięcie układów wlewowych i nadlewów - palnik acetylenowo - tlenowy	90.0 – 100.0
Odbijanie układów wlewowych	92.7
Usuwanie naddatków, cięcie metodą elektropowietrzną	95.0 – 110.0
Szlifowanie odlewów – narzędzia ręczne pneumatyczne, elektryczne	86.0 – 100.0

Dłutowanie odlewów – młotek pneumatyczny	85.0 - 105
Szlifierki, przecinarki stacjonarne	90.0 – 99.7
Spawanie	80.0 – 89.0
Hartowanie powietrzne	83.3

Przy stosowaniu metod opisanych w Rozdziale 12, omawiających zagadnienia dotyczące emisji hałasu, można w dużym stopniu ograniczyć jego oddziaływanie na środowisko zewnętrzne, tak aby poziom jego emisji nie przekraczał dopuszczalnych wartości. Dużo więcej problemów wiąże się z efektywnym ograniczaniem poziomu hałasu na stanowiskach pracy. W większości operacji poziom ekspozycji 8 godzinnej na stanowiskach wykańczania odlewów przekracza dopuszczalną wartość 85 dB(A). Podstawową przyczyną wysokiej emisji hałasu są ograniczenia natury technologicznej i technicznej (np. konieczność ręcznego wykonywania wielu operacji, hałas emitowany przez ręczne szlifierki pneumatyczne, młotki pneumatyczne, oczyszczarki, itp.). Stosowanie metod ograniczania emisji hałasu przytoczonych w Rozdziale 12 ma bardzo duże znaczenie dla poprawy warunków pracy na stanowiskach wykańczania odlewów.

6.4.3 Generowanie odpadów

W trakcie procesów wykańczania odlewów powstaje szereg odpadów stałych związanych przede wszystkim z oczyszczaniem i szlifowaniem odlewów oraz usuwaniem i naprawą wad odlewniczych. W ogólnym bilansie odpadów odlewni, odpady z wykańczania odlewów nie przekraczają zazwyczaj kilkuprocentowego udziału. W tabeli 6.4. przedstawiono przykładowe wskaźniki wytwarzania odpadów podczas operacji wykańczania odlewów w odlewniach produkujących odlewy staliwne i żeliwne.

Tabela 6.4. Wskaźniki ilości odpadów powstających w procesach wykańczania odlewów

Rodzaj odpadów	**Odlewy staliwne kg/Mg dobrych odlewów**	**Odlewy żeliwne kg/Mg dobrych odlewów**
Materiały szlifierskie	2.4 – 4.5	0.3 – 4.9
Odpady spawalnicze	0.2 – 2.9	-
Pyły z elektrożłobkowania	2.9	-
Pyły szlifierskie	-	11.2
Pyły z oczyszczarek	-	1.36
Odpady z obróbki mechanicznej	154 - 168	2.2 – 51.5

Oprócz odpadów wymienionych powyżej w procesach wykańczania odlewów powstają także odpady w postaci szlamów z instalacji mokrego odpylania gazów odlotowych. Instalacje takie są dosyć powszechnie stosowane w oczyszczarkach mechanicznych oraz na stanowiskach szlifowania odlewów. Ponieważ instalacje mokrego odpylania najczęściej pracują w jednym obiegu wody, podłączone są tam również inne urządzenia takie jak na przykład kraty

wstrząsowe, co utrudnia określenie ilości szlamów powstających w trakcie wykańczania odlewów. W odlewniach, w których nanosi się na odlewy zabezpieczenia antykorozyjne powstają także odpady lakiernicze (resztki farb, itp.)
Duże zróżnicowanie stosowanych technologii odlewniczych, wielkości produkowanych odlewów czy stawianych wymagań jakościowych nie pozwala na porównywanie ilości wytwarzanych odpadów stałych w poszczególnych odlewniach.

Odpady z wykańczania odlewów powstające w krajowych odlewniach są najczęściej przekazywane do firm wyspecjalizowanych w ich recyklingu, składowaniu czy utylizacji. Postępuje się tak ze zużytymi ściernicami, odpadami lakierniczymi, pyłami i szlamami z mokrego odpylania, pyłami szlifierskimi, odpadami spawalniczymi i z końcówkami elektrod, z tym że te ostatnie sa zużywane często jako nawęglacz przy wytopie metalu. Odpady po obróbce mechanicznej (wióry) są wykorzystywane przez odlewnie jako materiał wsadowy do pieców lub przekazywane do firm skupujących złom. Zużyte materiały ogniotrwałe z pieców do obróbki cieplnej wykorzystywane są najczęściej jako materiał do wyrównywania nierówności czy utwardzania gruntu. Możliwości wykorzystania typowych suchych odpadów odlewniczych są opisane szerzej w Rozdziale 11.

6.4.4 Zrzut ścieków

W procesach wykańczania odlewów wytwarzana jest stosunkowo niewielka ilość ścieków. Powstają one głównie podczas:

- hartowania odlewów (zużyta woda, oleje, polimer),
- oczyszczania mechanicznego odlewów w hydrooczyszczarkach,
- oczyszczania gazów odlotowych w odpylaczach mokrych,
- chłodzenia urządzeń.

W większości odlewni stosowane są zamknięte obiegi wody (chłodzenie, mokre odpylanie). Powstające w krajowych odlewniach ścieki odprowadzane są najczęściej do publicznej kanalizacji komunalnej i dalej oczyszczalni ścieków lub do kanalizacji deszczowej. Część odlewni posiada własne oczyszczalnie lub systemy podczyszczania ścieków, które następnie odprowadzane są do zbiorników naturalnych. W jednej z odlewni ścieki rozprowadzane są na specjalne „poletko" gdzie ulegają odparowaniu.

6.4.5 Zużycie nośników energii

W niektórych z odlewni prowadzony jest monitoring zużycia nośników energii w procesach wykańczania odlewów. Przykładowe wartości ich zużycia przedstawione są w tabeli 6.5. Bardzo trudno jest porównywać wskaźniki zużycia energii elektrycznej czy gazu ziemnego w różnych odlewniach.
Ich wielkość zależna jest od:

- rodzaju produkowanych stopów,
- charakteru produkcji (seryjna, jednostkowa),
- wielkości odlewów,
- zastosowanych urządzeń,
- wymaganej przez klienta jakości (szlifowanie, obróbki cieplne, spawanie itp.),
- sposobu monitorowania.

Tabela 6.5. Zużycie nośników energii w operacjach wykańczania odlewów

Proces	Odlewnie staliwa	Odlewnie żeliwa
Wykańczania odlewów – ogólnie:		
- energia elektr. w kWh / 1 Mg odlewów	313 – 1381	72 – 150
- tlen w m^3/1 Mg odlewów	18 – 49	
- acetylen w m^3/1 Mg odlewów	2.4 – 3.4	
Obróbka cieplna:		
- energia elektr. w kWh/ 1 Mg/odlewów		100 – 148
- gaz ziemny w m^3/1 Mg odlewu	168 - 383	30

W ostatnich latach wiele krajowych odlewni przeprowadziło działania w zakresie ograniczania zużycia nośników energii w procesach wykańczania odlewów. Dotyczyło to przede wszystkim:

- modernizacji pieców do obróbki cieplnej (wymiana wymurówki, palników, instalacja automatyki),
- modernizacji sprężarkowi,
- redukcja zużycia sprężonego powietrza (nowe narzędzia pneumatyczne, wymiana narzędzi pneumatycznych na elektryczne),
- wymiany spawarek,
- poprawa jakości odlewów (mniej usuwania wad, mnie napraw).

6.5 Minimalne wymagania dotyczące emisji pyłów i gazów w wykańczania odlewów

Zgodnie z zasadami NDT, w celu ograniczenia lub wyeliminowania emisji do środowiska w procesach obróbki i wykańczania odlewów, należy (por. tabela 7.32; 7.33 i 7.35):

- wychwytywać gazy odlotowe z procesu i stosować odpowiednie metody oczyszczania gazów odlotowych, jak opisano to powyżej,
- w przypadku procesów wykańczania odlewów, przy zastosowaniu wymienionych technik odpylania jako NDT uznawany jest poziom emisji pyłów mieszczący się w przedziale 5 – 20 mg/Nm^3,
- stosowanie czystych paliw w piecach do obróbki cieplnej,
- stosowanie zautomatyzowanych pieców z kontrolą spalania i rekuperacją,
- wychwytywanie i usuwanie gazów odlotowych z pieców do obróbki cieplnej,
- wychwytywanie i usuwanie oparów znad kąpieli hartujących, przy użyciu okapów lub kopuł.

6.6 Minimalne wymagania dotyczące monitoringu procesów wykańczania odlewów

Procesy wykańczania odlewów powinny być systematycznie monitorowane w zakresie następujących elementów oddziaływania środowiskowego (por. tabela 7.36):

- emisji zanieczyszczeń do atmosfery,
- poziomu hałasu na granicy zakładu oraz emisji hałasu do środowiska pracy,
- ilości wytwarzanych odpadów stałych,
- zużycia nośników energii.

7. WYCHWYTYWANIE PYŁÓW I GAZÓW ORAZ ICH OBRÓBKA

7.1 Emisje pyłów i gazów w procesie magazynowania i przeładunku surowców

7.1.1 Stan istniejący w zakresie emisji pyłów i gazów w procesach magazynowania i przeładunku surowców

7.1.1.1 Źródła i poziomy emisji pyłów i gazów

Proces magazynowania i przeładunku surowców w odlewni jest źródłem zorganizowanej, a przede wszystkim niezorganizowanej emisji zanieczyszczeń do powietrza. Operacje stanowiące główne źródła emisji:

Rozładunek bezpośredni i magazynowanie dostaw na zewnętrznych placach magazynowych

- dotyczy: surowców i materiałów dostarczanych luzem takich jak: złomy metali, surówka, piasek formierski itp.,
- źródło: rozładunek ze środków transportu kolejowego i samochodowego przy użyciu wagonów i naczep samowyładowczych lub urządzeń dźwignicowych zaopatrzonych w elektromagnesy lub czerpaki,
- emisja: niezorganizowana pyłów na zewnątrz obiektów produkcyjnych - poziom emisji nie określony.

Rozładunek bezpośredni dostaw i magazynowanie w otwartych silosach i bunkrach wewnątrz obiektów produkcyjnych

- dotyczy: surowców i materiałów luzem takich jak: ruda żelaza, fluoryt, wapno, boksyt, koks odlewniczy, surówka, złomy metali, piasek formierski,
- źródło: rozładunek ze środków transportu kolejowego i samochodowego w postaci wagonów i naczep otwartych za pomocą kolejowych kubłów samowyładowczych, samochodowych naczep samowyładowczych lub urządzeń dźwignicowych zaopatrzonych w czerpaki,
- emisja: niezorganizowana pyłów wewnątrz obiektów produkcyjnych - poziom emisji nie określony.

Rozładunek pneumatyczny dostaw i magazynowanie w zamkniętych silosach i bunkrach wolnostojących lub zlokalizowanych wewnątrz obiektów produkcyjnych

- dotyczy: surowców i materiałów luzem takich jak: piasek, bentonit, sypkie dodatki formierskie,
- źródło: rozładunek ze środków transportu kolejowego i samochodowego zaopatrzonego w cysterny przy użyciu transportu pneumatycznego,
- emisja: zorganizowana pyłów - poziom emisji monitorowany przez niektóre odlewnie.

Transport wewnętrzny materiałów sypkich z miejsc magazynowania do miejsc ich stosowania

- dotyczy: surowców i materiałów luzem takich jak: piasek, regenerat, bentonit, sypkie dodatki formierskie itp.,
- źródło: transport pneumatyczny, taśmowy, kubełkowy, wibracyjny itp. (np. piasek, bentonit) oraz transport w pojemnikach otwartych (np. piasek suszony) przy użyciu wózków platformowych, widłowych, paletowych (spalinowych i akumulatorowych i ręcznych),
- emisja: niezorganizowana i zorganizowana pyłów - poziom emisji zorganizowanej monitorowany przez niektóre odlewnie.

Rozpakowywanie materiałów sypkich w miejsc ich stosowania

- dotyczy: materiałów luzem dostarczonych w workach papierowych i big-bagach tj.: piasek suszony, bentonit, sypkie dodatki formierskie, zaprawy ogniotrwałe itp.),
- źródło: rozpakowywanie ręczne oraz przy użyciu rozworkowywaczy i zasypów mechanicznych,
- emisja: niezorganizowana i zorganizowana pyłów - poziom emisji zorganizowanej monitorowany przez niektóre odlewnie.

Ręczne rozlewanie i dozowanie materiałów ciekłych

- dotyczy: materiałów ciekłych takich jak żywice, oddzielacze, pokrycia, farby itp.,
- źródło: rozlewanie z opakowań transportowych do pojemników na stanowiskach pracy,
- emisja: niezorganizowana gazów wewnątrz obiektów produkcyjnych - poziom emisji nie określony.

W krajowych odlewniach rzadko monitorowane są poziomy emisji z urządzeń transportowych i magazynowych. Tylko niektóre duże odlewnie wykonują pomiary emisji pyłu z tych urządzeń i pomiary sprawności urządzeń odpylających te źródła. W tabeli 7.1 zamieszczono osiągane poziomy emisji pyłów za urządzeniami odpylającymi pracującymi w odlewniach polskich. Poziom emisji wynosi od 5 do 636 mg/Nm^3. Wartości te zależą od sposobu transportu, sposobu odpylania i warunków użytkowania odpylaczy (remonty, usuwanie pyłów) oraz stopnia ich wyeksploatowania.

Tabela 7.1. Poziomy zorganizowanej emisji pyłów z operacji rozładunku oraz transportu pneumatycznego mechanicznego sypkich materiałów formierskich

Transportowany materiał	**Operacja**	**Rodzaj urządzenia odpylającego**	**Sprawność odpylania (średnia), %**	**Poziom emisji [mg/Nm^3]**
Piasek świeży	Rozładunek pneumatyczny	cyklon + odpylacz mokry (przewałowy)	46 - 92	33 - 636
		cyklon + filtr tkaninowy (workowy)	99	10 - 31
	Transport pneumatyczny	odpylacz mokry (zraszany)	62	11 - 96
	Transport taśmowy	filtr tkaninowy	99	30
		odpylacz mokry (przewałowy)	90	5
	Odpylanie zbiorników	cyklon + odpylacz mokry (zraszany)	83	2 - 28
Dodatki formierskie	Rozładunek pneumatyczny	filtr tkaninowy (kasetowy)	b.d.	5
	Zasyp mechaniczny i transport taśmowy	odpylacz mokry (przewałowy)	75	7 - 244
	Rozworkowywanie	filtr tkaninowy (kasetowy)	87	31 - 213
Inne materiały formierskie (cement)	Transport pneumatyczny	filtr tkaninowy (workowy)	95	149-336

b.d. – brak danych

7.1.1.2 Stosowane techniki ograniczania emisji pyłów i gazów

Krajowe odlewnie wykorzystują przy rozładunku i transporcie materiałów sypkich typowe urządzenia transportowe tj. wagony kolejowe, samochody, wózki widłowe i platformowe, suwnice czerpakowe itp., a przy magazynowaniu zewnętrzne place składowe, silosy i bunkry otwarte. W zdecydowanej większości nie stosują żadnych metod ograniczania emisji niezorganizowanej pyłów z tych operacji. Nie prowadzone są również pomiary wielkości tej emisji i nie prowadzona jest ewidencja w tym zakresie.

Odlewnie stosujące przy rozładunku i transporcie materiałów sypkich urządzenia pneumatyczne lub mechaniczne (zasypy mechaniczne, rozworkowywacze oraz przenośniki taśmowe

i kubełkowe), a przy magazynowaniu silosy zamknięte, z reguły ujmują zapylone gazy odlotowe przy użyciu odciągów i kierują je na pojedyncze lub zespołowe urządzenia odpylające suche lub mokre. Z danych w tabeli 7.1 wynika, że pomiarowa sprawność redukcji pyłów emitowanych z tych operacji waha się od 46-99%.

Odlewnie stosujące materiały ciekłe zawierające lotne związki organiczne (np. spoiwa ciekłe, pokrycia, oddzielacze, farby i rozcieńczalniki), w większości posiadają wydzielone pomieszczenia magazynowe do ich przechowywania. Nieliczne z nich posiadają pomieszczenia magazynowe zaopatrzone w wentylację mechaniczną, która nie jest traktowana przez te zakłady jako źródło emisji. Odlewnie nie ewidencjonują zanieczyszczeń lotnych związków organicznych z operacji magazynowania.

7.1.2. Minimalne wymagania dotyczące emisji pyłów i gazów w procesach magazynowania i przeładunku surowców

7.1.2.1. Zalecane techniki zapobiegania emisji pyłów i gazów

Na podstawie dokumentu BREF dla Kuźni i Odlewni, w ramach zapobiegania emisjom niezorganizowanym pyłów i gazów (o ile jest to możliwe w warunkach funkcjonowania danej odlewni) zaleca się:

- unikać rozładowywania i składowania sypkich materiałów i odpadów luzem na zewnątrz obiektów,
- magazynować sypkie materiały i odpady wewnątrz pomieszczeń produkcyjnych w zamkniętych silosach najlepiej w bezpośrednim sąsiedztwie instalacji w których będą stosowane,
- ograniczać ilość czynności przeładunkowych do niezbędnego minimum,
- zamykać lub przykrywać pojemniki do przechowywania materiałów ciekłych zawierających lotne związki organiczne (np. ciekłe spoiwa, powłoki ochronne, oddzielacze, farby i rozcieńczalniki),
- rozważyć możliwość wprowadzenia pneumatycznego lub mechanicznego rozładunku, transportu i dozowania materiałów sypkich,
- rozważyć możliwość wprowadzenia automatycznego dozowania materiałów ciekłych do sporzadzania mas formierskich i rdzeniowych.

7.1.2.2 Zalecane techniki ograniczania emisji pyłów i gazów

Na podstawie dokumentu BREF dla Kuźni i Odlewni, w ramach ograniczania emisji niezorganizowanej pyłów i gazów zaleca się:

- zewnętrzne place składowe dla materiałów sypkich luzem, zaopatrzyć w zadaszenia, osłony wiatrowe, przykrycia itp. - jeśli jest to możliwe w warunkach funkcjonowania danej odlewni,
- zraszać pryzmy materiałów sypkich składowanych luzem na zewnątrz i wewnątrz pomieszczeń,
- wydzielone pomieszczenia magazynowe do przechowywania materiałów ciekłych zawierających lotne związki organiczne (np. spoiwa ciekłe, pokrycia, oddzielacze, farby i rozcieńczalniki) zaopatrzyć w wentylację mechaniczną,
- transport wewnętrzny materiałów sypkich luzem przy użyciu samochodów, wózków spalinowych i akumulatorowych itp. prowadzić stosując przykrycia (pokrywy, plandeki itp.),
- transport pneumatyczny i mechaniczny (taśmowy, kubełkowy) materiałów sypkich zaopatrzyć w odciągi i urządzenia odpylające suche lub mokre.

7.1.3. Minimalne wymagania dotyczące monitoringu emisji pyłów i gazów w procesach magazynowania i przeładunku surowców

Instalacje do pneumatycznego i mechanicznego rozładunku oraz transportu materiałów sypkich w odlewni zwykle pracują okresowo przez krótki odcinek czasu niezbędny do rozładunku dostawy kierowanej w obręb instalacji wewnętrznej. Wielkość emisji z tych. urządzeń nie może powodować przekraczania dopuszczalnego poziomu stężenia pyłu w powietrzu poza odlewnią. W tym celu tam gdzie jest to niezbędne należy ograniczać emisję pyłów poprzez stosowanie instalacji redukujących opartych o mokre lub suche metody odpylania.

Należy monitorować wielkość emisji pyłów z instalacji do pneumatycznego i mechanicznego rozładunku oraz transportu materiałów sypkich w odlewni oraz sprawność urządzeń odpylających zgodnie z obowiązującą w tym zakresie metodyką, z częstotliwością co najmniej 1 raz na 5 lat.

7.2 Emisje pyłów i gazów w procesach wytapiania metalu

7.2.1 Stan istniejący w zakresie emisji pyłów i gazów w procesach wytapiania metalu

7.2.1.1 Źródła i poziomy emisji pyłów i gazów

Wytapianie stopów żelaza w piecach łukowych, indukcyjnych, obrotowych i żeliwiakach

Proces wytapiania stopów żelaza jest źródłem zorganizowanej oraz niezorganizowanej emisji zanieczyszczeń do powietrza w postaci pyłów i gazów nieorganicznych oraz organicznych. Rodzaj, wielkość i charakter tej emisji jest uzależniony od rodzaju topionego metalu, składników wsadu oraz stosowanej instalacji do topienia. Poniżej opisano operacje stanowiące źródła emisji zanieczyszczeń do powietrza w tym procesie.

Przygotowanie wsadu do pieców topialnych

- źródło: czyszczenie złomu obiegowego z masy formierskiej, przepalanie złomów metali przy użyciu palników plazmowych i acetylenowo-tlenowych, podgrzewanie złomu i dodatków stopowych przy użyciu palników gazowych (sporadycznie pieców grzewczych do obróbki cieplnej),
- emisja: zorganizowana i niezorganizowana pyłów metalicznych oraz gazów (SO_2, NO_2, CO) - poziom emisji nie monitorowany.

Załadunek wsadu do pieca

- źródło: zrzut wsadu (złom, surówka, koks, topniki i innych w zależności od typu pieca) do gardzieli pieca przy użyciu wózków samozaładowczych (żeliwiaki) oraz koszy wsadowych i suwnic,
- emisja: zorganizowana i niezorganizowana emisja pyłów - poziom emisji nie monitorowany

Topienie wsadu

- źródło: roztapianie wsadu, rafinacja, odżużlanie, korygowanie składu i inne procesy fizyczne i chemiczne charakterystyczne dla danego rodzaju pieca (np. spalanie koksu w żeliwiakach), spalanie gazu w piecach obrotowych, świeżenie tlenem w piecach łukowch) itp.,
- emisja: zorganizowana i niezorganizowana - poziomy emisji monitorowane przez niektóre odlewnie
    - z żeliwiaków - emisja pyłów metalicznych, SO_2, NO_2, CO, HF, HCl, lotnych związków organicznych, dioksyn,
    - z pieców łukowych - emisja pyłów (także metali w pyle i odparowujących tlenków metali (np. ZnO), SO_2, NO_2, CO, HCl, NH_3 , lotnych związków organicznych, dioksyn,
    - z pieców indukcyjnych - emisja pyłów (także metali w pyle), NO_2, CO, (czasami SO_2),
    - z pieców obrotowych - emisja pyłów (metali w pyle), SO_2, NO_2, CO, dioksyn,

Spust metalu do kadzi

- źródło: parowanie i ulatnianie się składników kąpieli,
- emisja: niezorganizowana emisja pyłów (metali w pyle) i gazów - poziom emisji nie monitorowany.

Wygrzewanie kadzi

- źródło: wygrzewanie przy użyciu palników gazowych, palników olejowych, koksu (odlewnie żeliwa),
- emisja: niezorganizowana emisja pyłów i gazów ze spalania paliw (NO_2 , SO_2, CO) - poziom emisji nie monitorowany (emisja zorganizowana gdy stanowiska wygrzewania maja odciągi).

Obróbka pozapiecowa stopów metali

- źródło: świeżenie tlenem i argonowanie ciekłej stali (w konwertorze lub kadzi), sferoidyzacja żeliwa (w tyglu lub kadzi),
- emisja: zorganizowana i niezorganizowana emisja - poziom emisji nie monitorowany
  - dla staliwa - emisja pyłów i gazów jak w operacji topienia wsadu,
  - dla żeliwa – emisja pyłów (także metali w pyle) oraz tlenków metali np. MgO,
  - (emisja zorganizowana gdy stanowiska do obróbki mają odciągi).

W procesie wytapiania metalu monitorowany jest tylko poziom emisji zorganizowanej z operacji topienia. Jeśli odlewnia stosuje system obudowy pieców topialnych, to częściowo jest także ujmowana emisja z operacji załadunku wsadu i spustu metalu, która jest monitorowana łącznie z emisją z topienia. Emisja z pozostałych operacji nie jest wychwytywana i monitorowana (wyjątek stanowią stanowiska do wygrzewania kadzi i obróbki pozapiecowej w niektórych odlewniach posiadające odciągi). Tylko niektóre duże odlewnie wykonują pomiary emisji zanieczyszczeń z instalacji do topienia metali (i to w niepełnym zakresie) oraz pomiary sprawności urządzeń odpylających te źródła. Czasami są to pomiary wyłącznie jednorazowe. Zebrane dane z krajowych odlewni przedstawiono w tabelach 7.2 – 7.9.

Tabela 7. 2. Poziomy emisji zorganizowanej pyłów z operacji wytapiania stopów żelaza w elektrycznych piecach łukowych

Rodzaj pieca	Pojemność [Mg/wsad]	Wytapiane stopy	Sposób i skuteczność ujęcia gazów odlotowych	Rodzaj urządzenia odpylającego	Sprawność odpylania (średnia), %	Poziom emisji	
						mg/Nm^3	kg/Mg metalu
2 Piece łukowe	10 Mg 15 Mg	staliwo	obudowa pieców typu „dog-house" (niepełne ujęcie gazów)	filtr tkaninowy (kieszeniowy)	97,5	1 – 2,5	0,11 - 0,235 *
3 Piece łukowe	3 x 6 Mg	staliwo	okap na pokrywie (niepełne ujęcie gazów)	filtr tkaninowy (workowy)	96	1 - 13	0,07– 0,68 *
Piece łukowe	5 Mg	staliwo	b.d.	filtr tkaninowy	90	2 - 21	0,06 - 0,54 *
Piec łukowy	8,5 Mg	staliwo i żeliwo	obudowa pieców typu „dog-house" (pełne ujęcie gazów)	filtr tkaninowy (workowy)	99	2,7 - 2,8	0,12
2 Piece łukowe 1 Pieco-kadź	2 x 30 Mg 1 x 60 Mg	staliwo	obudowa pieców typu „dog-house" (pełne ujęcie gazów)	filtr tkaninowy (kieszeniowy)	99	2 - 7	0,117-0,137
2 Piece łukowe	2 x 8 Mg	żeliwo	b.d	filtr tkaninowy (workowy)	90	1,4	0,012
2 Piece łukowe	2 x 6 Mg	staliwo	b.d	filtr tkaninowy (workowy)	94	b.d	0,375

* wskaźnik wyliczony w oparciu o emisję w kg/h i średnią wydajność pieców w Mg/h podaną przez odlewnie.

Tabela.7. 3. Poziomy emisji zorganizowanej gazów z operacji wytapiania staliwa i żeliwa w elektrycznych piecach łukowych

Rodzaj pieca	Pojemność [Mg/wsad]	Wytapiane stopy metali	Poziom emisji													
			CO		NO_2		SO_2		HCl		NH_4		H_2S		VOC	
			mg/Nm^3	kg/Mg metalu	mg/Nm^3	kg/Mg metalu	mg/Nm^3	kg/Mg metalu	mg/Nm^3	kg/Mg metalu	mg/Nm^3	kg/Mg metalu	mg/Nm^3	kg/Mg metalu	mg/Nm^3	kg/Mg metalu
Piece łukowe (2 szt.) **	10 Mg 15 Mg	staliwo	4,1-6,56	2,74 – 4,42 *	0 – 0,31	0 – 0,34 *	0 - 0	0 -0	3,4	0,32 *	b.d	b.d.	b.d	b.d.	b.d	b.d.
Piece łukowe (3 szt.)	3 x 6 Mg	staliwo	2,81-58,44	0,17 – 3,16 *	0 – 2,32	0 – 0,14 *	0 - 0,15	0 – 0,01 *	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Piece łukowe	5 Mg	staliwo	20,31	0,59 *	4,61	0,13 *	1,43	0,04 *	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Piec łukowy 1 szt.	8,5 Mg	staliwo i żeliwo	b.d.	b.d.	7 - 9	0,08	8 - 10	0,11	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Piece łukowe (2 szt.) *** Pieco-kadź (1 szt.)	2 x 30 Mg 1 x 60 Mg	staliwo	17,5 – 297,5	4,89 - 5,72	6,2 – 72,9	1,464 – 1,710	b.d	0,128	b.d	b.d.	b.d.	0,065	b.d.	0,014	b.d.	0,011
Piece łukowe (2 szt.)	2 x 8 Mg	żeliwo	0	0	3	0,025	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.
Piece łukowe (2 szt.)	2 x 6 Mg	staliwo	b.d	7,5	b.d	0,625	b.d	0,575	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.

* wskaźnik wyliczony w oparciu o emisję w kg/h i średnią wydajność pieców w Mg/h podane przez odlewnie
** wykonano także badania zawartości HF w gazach odlotowych nie stwierdzono obecności tych gazów
*** wykonano także badania zawartości HCN w gazach odlotowych i nie stwierdzono obecności tych gazów

Tabela 7. 4. Poziomy emisji zorganizowanej metali zawartych w pyle z operacji wytapiania staliwa w elektrycznych piecach łukowych

Rodzaj pieca	Pojemność [Mg/wsad]	Wytapiane stopy metali	Poziom emisji													
			Mn		Cr		Cu		Ni		Pb		Zn		Cd	
			mg/Nm^3	g/Mg metalu	mg/Nm^3	g/Mg metalu	mg/Nm^3	g/Mg metalu	mg/Nm^3	g/Mg metalu	mg/Nm^3	g/Mg metalu	mg/Nm^3	g/Mg metalu	mg/Nm^3	g/Mg metalu
Piece łukowe (2 szt.) *	10 Mg 15 Mg	staliwo	0,0087	0,810	0,00074	0,070	0,016	1,49	b.d.	b.d.	0,00074	0,070	0,0213	1,985	0,00012	0,011
Piece łukowe (2 szt.) Pieco-kadź (1 szt.)	2 x 30 Mg 1 x 60 Mg	staliwo	b.d.	0,087-0,10	b.d.	0,021 – 0,025	b.d.	0,070– 0,082	b.d.	0,110 – 0,120	b.d.	0,170	b.d.	0,052	b.d.	b.d.

* wskaźnik wyliczony w oparciu o emisję w kg/h i średnią wydajność pieców w Mg/h podaną przez odlewnię – pomiary wykonano jednorazowo

Tabela 7.5. Poziomy emisji zorganizowanej pyłów z operacji wytapiania staliwa i żeliwa w elektrycznych piecach indukcyjnych

Rodzaj pieca indukcyjnego	Pojemność [Mg/wsad]	Wytapiane stopy	Sposób i skuteczność ujęcia gazów odlotowych	Rodzaj urządzenia odpylającgo	Sprawność odpyla-nia (średnia)%	Poziom emisji	
						mg/Nm^3	kg/Mg metalu
2 piece indukcyjne średniej częstot.	2.5 Mg 0,75 Mg	staliwo i żeliwo	Okap ruchomy	filtr tkaninowy	93	1 – 11,5	0,012
3 piece indukcyjne sieciowej częstot.	b.d.	żeliwo	Brak odciągu	_	-	13,2 *	0,0573
4 piece indukcyjne sieciowej. częstot.	2 x 6 Mg 2 x 1,6 Mg	żeliwo	b.d.	filtr tkaninowy	97	b.d.	0,185
Piec indukcyjny średniej częstot.	2,5 Mg			(pulsacyjny)			
3 piece indukcyjne sieciowej. częstot.	2 x 6 Mg 8 Mg	żeliwo	b.d.	filtr tkaninowy	95	4	0,04
2 piece indukcyjne średniej częstot.	2 x 6 Mg	żeliwo	b.d.	filtr tkaninowy	98	b.d.	0,064
Piec indukcyjny dwutyglowy średniej częstot.	5 Mg 26 Mg	żeliwo	b.d	cyklon + filtr tkaninowy	97,3	b.d.	0,021

* dane wyliczone w oparciu o emisje w kg/h i natężenie przepływu w Nm^3/h podanych przez odlewnię

Tabela 7.6. Poziomy emisji zorganizowanej gazów z procesu wytapiania staliwa i żeliwa w elektrycznych piecach indukcyjnych

Rodzaj pieca	Pojemność [Mg/wsad]	Wytapiane stopy	Poziom emisji					
			CO		NO_2		SO_2	
			mg/Nm^3	kg/Mg metalu	mg/Nm^3	kg/Mg metalu	mg/Nm^3	kg/Mg metalu
2 piece indukcyjne średniej częstot.	2.5 Mg 0,75 Mg	staliwo i żeliwo	7,70	0,047**	1,87	0,012**	0	0-
3 piece indukcyjne Sieciowej częst.	b.d.	żeliwo	6,3 *	0,0275	4,1*	0,0179	-	-
4 piece indukcyjne sieciowej. częstot.	2 x 6 Mg 2 x 1,6 Mg	żeliwo	b.d.	2,723	b.d.	0,315	b.d.	0,3
Piec indukcyjny średniej częstot.	2,5 Mg							

* dane wyliczone w oparciu o emisje w kg/h i natężenie przepływu w Nm3/h podanych przez odlewnię
* * wskaźnik wyliczony w oparciu o emisję w kg/h i średnią wydajność pieców w Mg/h podane przez odlewnie

Tabela 7.7. Poziomy emisji zorganizowanej metali zawartych w pyle z procesu wytapiania żeliwa w piecach indukcyjnych

Rodzaj pieca	Pojemność [Mg/wsad]	Wytapiane stopy	Poziom emisji [g/Mg metalu]							
			Mn	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn	Cd	Al
3 piece indukcyjne sieciow. częst.	b.d.	żeliwo	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	0,199	b.d.	6,746	b.d.
2 piece indukcyjne średniej częst.	2 x 6 Mg	żeliwo	0,54	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.	b.d.

Tabela 7.8. Poziom emisji zorganizowanej pyłów z procesu wytapiania żeliwa w żeliwiakach

Rodzaj żeliwiaka	Średnica pieca [mm]	Wydajność [Mg/h]	Sposób ujęcia gazów odlotowych	Rodzaj urządzenia odpylającego	Sprawność odpylania (średnia), %	Poziom emisji	
						mg/Nm^3	kg/Mg metalu **
Z zimnym dmuchem i wtryskiem tlenu	1100	10	b.d.	Mokry łapacz iskier	85	616	4,1
Z gorącym dmuchem wtryskiem tlenu i rekuperacją	700	4	Powyżej okna wsadowego	Mokry łapacz iskier	b.d.	1142 - 2241	1,21 -1,83
Z gorącym dmuchem i rekuperacją	b.d.	5	Powyżej okna wsadowego	Mokry łapacz iskier	66 - 70	14,4 - 835	0,058 - 2,76
Z gorącym dmuchem i rekuperacją	b.d.	5		Mokry łapacz iskier	61 - 81	9,9 – 87	0,036 – 0,32
Z gorącym dmuchem i rekuperacją	b.d.	5		Mokry łapacz iskier	b.d.	1627 - 1744	5,46 -5,11

* * wskaźnik wyliczony w oparciu o emisję zmierzoną w kg/h i średnią wydajność pieców w Mg/h podane przez odlewnie

Tabela 7. 9 Poziom emisji zorganizowanej gazów z operacji wytapiania żeliwa w żeliwiakach

Rodzaj żeliwiaka	Średnica pieca [mm]	Wydajność [Mg/h]	Poziom emisji					
			CO		NO_2		SO_2	
			mg/Nm^3	kg/Mg metalu **	mg/Nm^3	kg/Mg metalu **	mg/Nm^3	kg/Mg metalu **
Z zimnym dmuchem i wtryskiem tlenu	1100	10	4200	28,21	1,39	0,009	46,83	0,314
Z gorącym dmuchem wtryskiem tlenu i rekuperacją	700	4	1928 - 5317	1,04 – 8,54	30 -125	0,048- 0,070	86 - 472	O,138- 0,255
Z gorącym dmuchem i rekuperacją	b.d.	5	1262 - 4296	4,74 – 10,8	33,8 – 100,6	0,11 - 0,40	25,7 - 50	0,096- 0,2
Z gorącym dmuchem i rekuperacją	b.d.	5	1253 - 1345	3,9 - 4,21	71 -90-	0,238 - 0,264	87 - 184	0,292- 0,538

* * wskaźnik wyliczony w oparciu o emisję zmierzoną w kg/h i średnią wydajność pieców w Mg/h podane przez odlewnie

Odlewnie stosujące elektryczne piece łukowe, piece indukcyjne i żeliwiaki w zasadzie monitorują poziom emisji pyłów (jednak w niektórych przypadkach wartość emisji pyłów jest określana w oparciu o wskaźniki teoretyczne). Zakres rejestrowanych poziomów emisji pyłów w mg/Nm^3 zebrano w tabeli 7.10. Wartości te są charakteryzują się dużym rozrzutem, co uzależnione jest od rodzaju pieca, fazy jego pracy podczas wykonywania pomiarów emisji, sposobu odpylania i warunków użytkowania odpylaczy (remonty, ewakuacja pyłów) oraz stopnia ich wyeksploatowania.

Nie wszystkie odlewnie monitorują emisję gazów z procesu wytapiania. Większość mierzy emisję NO_2, CO i SO_2. Jedna odlewnia monitoruje HCl i jedna (inna) monitoruje emisje NH_3, H_2S i lotne związki organiczne (LZO). Dwie odlewnie monitorują poziom metali w emitowanych pyłach. Osiągane poziomy emisji gazów w mg/Nm^3 podaje tabela 7.10. Wartości te uzależnione są od rodzaju pieca i sposobu dostarczania energii do pieca (energia elektryczna, koks), warunków prowadzenia wytopu oraz pojemności pieca i fazy jego pracy podczas wykonywania pomiarów emisji.

W tabeli 7.10 podano także osiągane poziomy emisji w przeliczeniu na 1 Mg wytapianego metalu. Na wartość tego wskaźnika duży wpływ ma sposób ewidencjonowania przez odlewnię emisji z procesu wytapiania (np. w oparciu o wskaźniki literaturowe, własne wskaźniki ustalone na podstawie pomiarów lub zmierzoną wartość emisji godzinowej i czas pracy pieców) oraz od sposobu jego wyliczenia (wskaźnik globalny dla topialni za dany okres np. rok lub wskaźnik indywidualny dla pieca odniesiony do ilości wytapianego w nim metalu). Ze względu na brak informacji o sposobie ustalania wskaźnika, dane dotyczące poziomów emisji w kg/Mg metalu należy traktować jako niepewne.

Analiza wielkości poziomów emisji osiąganych przez polskie odlewnie w procesie wytapiania stopów żelaza i ich porównanie z zalecanymi poziomami emisji NDT pozwala stwierdzić, że:

- poziomy emisji pyłów i gazów z topienia staliwa i żeliwa w piecach łukowych i indukcyjnych są zbliżone do poziomów emisji NDT i nie będą wymagać istotnego obniżenia,
- poziomy emisji pyłów i gazów z topienia żeliwa w piecach żeliwiakowych znacznie odbiegają od poziomów emisji NDT i będą wymagać drastycznego obniżenia poprzez zastosowanie zalecanych działań zapobiegawczych i redukujących emisję omówionych w dalszej części rozdziału.

Tabela 7.10. Poziom emisji pyłów i gazów do powietrza osiągane podczas wytapiania stopów żelaza w krajowych odlewniach oraz ich wartości referencyjne NDT

Rodzaj pieca /wytapiany metal/		**Zanieczyszczenie**	**Osiągany poziom emisji (za urządzeniami odpylającymi)**		**Zalecane poziomy emisji NDT**
			kg/Mg metalu	mg/Nm^3	mg/Nm^3
Piece łukowe (staliwo i żeliwo)		Pył	0,012 – 0,375	1-21	5-20
		SO_2	0 – 0,575	0 - 10	n. o.
		NO_x	0 – 1,71	0 – 72,9 5	10 – 50
		CO	0 – 5,72	4,1 – 297,5	200
		HCl	0,32	3,4	n.o.
		NH_3	0,065	b.d.	n.o.
		H_2S	0,014	b.d.	n.o.
		HF	0	0	n.o.
		HCN	0	0	n.o.
		LZO	b.d.	0,011	n.o.
		Mn *	0,000087- 0,00081	? - 0,0087	n.o.
		Ni *	0,00011 – 0,00012	b.d.	n.o.
		Zn *	0,000052 – 0,00198	? - 0,0213	n.o.
		Cu *	0,00007 – 0,00149	? - 0,016	
		PCDD/PCDF	b.d.	b.d.	≤0.1 ng TEQ/Nm^3
Piece indukcyjne (staliwo i żeliwo)		Pył	0,012 – 0,185	1 – 13,2	5-20 i < 0,2 kg/Mg metalu
		SO_2	0 – 0,3	0 - ?	n.o.
		NO_x	0,012 – 0,315	1,87 – 4,1	n.o.
		CO	0,047 – 2,723	6,3 – 7,7	n.o.
		Pb **	0,000199	b.d.	n.o.
		Cd **	0,00675	b.d.	n.o.
		Mn *	0,00054	b.d.	n.o.
Piece obrotowe		Pył	b.d.	b.d.	5-20
		SO_2	b.d.	b.d.	70 - 130
		NO_x	b.d.	b.d.	50 – 250
		CO	b.d.	b.d.	20 -30
		PCDD/PCDF	b.d.	b.d.	≤0.1 ng TEQ/Nm^3
Żeliwiaki (żeliwo)	Gorący dmuch	Pył	0,036 – 5,46	9,9 - 2241	5-20
		SO_2	0,096 – 0,538	25,7 - 472	20 – 100
		NO_x	0,009 – 0,264	1,39 - 125	10 – 200
		CO	1,04 – 8,54	1253 - 5317	20 – 1000
		PCDD/PCDF	b.d.	b.d.	≤0.1 ng TEQ/Nm^3
	Zimny dmuch	Pył	4,1	616	5-20
		SO_2	0,314	46,83	100 – 400
		NO_x	0,009	1,39	20 – 70
		CO	28,21	4200	n.o.
		NM – LZO	b.d.	b.d.	10 – 20
		PCDD/PCDF	b.d.	b.d.	≤0.1 ng TEQ/Nm^3

Uwaga! Stężenia NO_x przeliczone na NO_2

* - metale stanowiące składnik złomu lub dodatków stopowych

** – metale istotne dla środowiska (normowane w opadzie pyłu)

n.o. - nie określono poziomu emisji dla NDT; b.d. - brak danych

NM-LZO niemetanowe lotne związki organiczne

Wytapianie stopów metali nieżelaznych (miedzi, aluminium) w piecach indukcyjnych; obrotowych, trzonowych i szybowych oraz w piecach tyglowych (oporowych i opalanych paliwem)

Proces wytapiania stopów metalu nieżelaznych jest źródłem zorganizowanej oraz niezorganizowanej emisji do powietrza pyłów i gazów nieorganicznych i organicznych. Rodzaj, wielkość i charakter tej emisji jest uzależniony głównie od rodzaju stosowanej instalacji do topienia. Na podstawie praktyki, danych zebranych z 4 polskich odlewni oraz danych literaturowych poniżej opisano operacje stanowiące źródła emisji zanieczyszczeń do powietrza w tym procesie.

Przygotowanie wsadu do pieców topialnych

- źródło: czyszczenie złomu obiegowego z masy formierskiej, podgrzewanie złomu obiegowego, wlewków i dodatków stopowych przy użyciu palników gazowych,
- emisja: zorganizowana i niezorganizowana pyłów i tlenków metali oraz gazów (SO_2, NO_2, CO) - poziom emisji nie monitorowany.

Topienie wsadu

- źródło: roztapianie wsadu, korygowanie składu, odgazowanie i rafinacja oraz inne operacje charakterystyczne dla danego rodzaju pieca (np. spalanie paliw ciekłych lub gazowych w piecu obrotowym, szybowym i trzonowym lub tyglowym opalanym paliwem ciekłym lub gazowym),
- emisja: zorganizowana i niezorganizowana - poziomy emisji monitorowane przez niektóre odlewnie:
  - z pieców indukcyjnych (topienie miedzi i aluminium) - emisja pyłów (metali w pyle), NO_2, CO,
  - z pieców obrotowych (topienie aluminium) - emisja pyłów (metali w pyle), SO_2, NO_2, dioksyn,
  - z pieców trzonowych i szybowych (topienie aluminium) - emisja pyłów (metali w pyle), SO_2, NO_2, CO i lotnych związków organicznych,
  - z pieców tyglowych opalanych gazem ziemnym lub olejem (topienie aluminium, miedzi) - emisja pyłów (metali w pyle), SO_2, NO_2, CO

Obróbka pozapiecowa (dotyczy aluminium i magnezu)

- źródło: odgazowanie i rafinacja przy użyciu SF_6 lub mieszanin gazów Ar/Cl_2 , N_2/Cl_2 ,
- emisja: zorganizowana i niezorganizowana emisja SF_6 lub chlorków - poziom emisji nie monitorowany.

Informacje uzyskane z odlewni wskazują, że generalnie nie monitoruje się poziomów emisji pyłów i gazów w procesie wytapiania metali nieżelaznych. Tylko niektóre duże odlewnie wykonują pomiary emisji zanieczyszczeń z tych instalacji (i to w niepełnym zakresie) oraz pomiary sprawności urządzeń odpylających. Czasami są to pomiary jednorazowe. Udostępnione dane przedstawiono poniżej w tabelach 7.11 i 7.12. Osiągane poziomy emisji pyłów i gazów w mg/Nm^3 porównano z zalecanymi poziomami NDT (tabela 7.13).

Tabela 7.11. Poziom emisji zorganizowanej pyłów z operacji wytapiania stopów metali nieżelaznych w piecach elektrycznych indukcyjnych i oporowych oraz w piecach gazowych

Rodzaj pieca	**Pojemność [Mg/wsad]**	**Wytapiane stopy metali**	**Sposób i skuteczność ujęcia gazów odlotowych**	**Rodzaj urządzenia odpylającego**	**Sprawność odpylania (średnia), %**	**Poziom emisji**	
						mg/Nm^3	**kg/Mg metalu**
Piec gazowy tyglowy	1 x 0,2 Mg	Stopy miedzi	Wentylacja grawitacyjna i mechaniczna	-	-	b.d.	b.d.
Piec gazowy tyglowy	1 x 0,6 Mg	Stopy aluminium					
4 piece indukcyjne sieciowej. częst.	15 Mg, 25 Mg 2 x 2 Mg	Stopy miedzi	Okapy ruchome nad tyglami	Odpylacz mokry Venturiego	23	2,8 –12	0,373 – 0,759
Piece gazowe wannowe przechylne	? x 1 Mg	Stopy aluminium	Odciąg z pod tygli i	Filtr	98	b.d.	b.d.
Piece elektryczne tyglowe oporowe	? x 0 , 6 Mg	I magnezu	z nad tygli	workowy			
4 piece elektryczne tyglowe oporowe	2 x 0,2 Mg 0,10 i 0,08 Mg	Stopy aluminium	Odciąg z nad tygli	Filtr mokry	96	b.d.	b.d.

Tabela 7.12. Poziom emisji zorganizowanej gazów oraz metali z operacji wytapiania stopów metali nieżelaznych w piecach elektrycznych indukcyjnych

Rodzaj pieca	**Pojemność [Mg/wsad]**	**Wytapiane stopy metali**	**Poziom emisji gazów**			
			CO		**NO_2**	
			mg/Nm^3	**kg/Mg metalu**	**mg/Nm^3**	**kg/Mg metalu**
4 piece indukcyjne sieciowej często.	15 Mg, 25 Mg 2 x 2 Mg	Stopy miedzi	8,7-15,8	0,371-0,506	4,1 – 8,2	0,186-0,253
			Poziom emisji metali [g/Mg metalu]			
			Mn	**Cu**	**Ni**	**Al**
			0,61 – 0,83	17,7 – 24,1	1,72 - 2,3	21 - 28

Tabela 7.13. Poziomy emisji pyłów i gazów do powietrza osiągane podczas wytapiania stopów metali nieżelaznych przez krajowe odlewnie oraz ich wartości referencyjne NDT

Rodzaj pieca /wytapiany metal/	**Zanieczyszczenie**	**Osiągane poziomy emisji (za urządzeniami odpylającymi)**		**Zalecane poziomy emisji NDT**
		kg/Mg metalu	**mg/Nm^3**	**mg/Nm^3**
Piece indukcyjne (stopy miedzi)	Pył	0,373 –0,759	2,8 –12	1 - 20
	NO_2	0,186-0,253	4,1 – 8,2	n.o.
	CO	0,371-0,506	8,7-15,8	n.o.
Piece tyglowe: indukcyjne, oporowe i opalane gazem (aluminium)	Pył	b.d.	b.d.	1-20 0,1 - 1 kg/Mg metalu
	Chlorki	b.d.	b.d.	3
Piece szybowe (aluminium)	Pył	b.d.	b.d.	1-20 0,1 - 1 kg/Mg metalu
	Chlorki			3
	SO_2	b.d.	b.d.	30 – 50
	NO_2	b.d.	b.d.	120
	CO	b.d.	b.d.	150
	LZO	b.d.	b.d.	100 - 150
Piece trzonowe (aluminium)	Pył	b.d.	b.d.	1-20 0,1 - 1 kg/Mg metalu
	Chlorki			3
	SO_2	b.d.	b.d.	15
	NO_2	b.d.	b.d.	50
	CO	b.d.	b.d.	5
	OWO	b.d.	b.d.	5

n.o. - nie określono poziomu emisji dla NDT;
b.d. - brak danych;
OWO – ogólny węgiel organiczny

7.2.1.2. Stosowane techniki ograniczania emisji pyłów i gazów

Z danych udostępnionych przez odlewnie wytapiające stopy żelaza i stosujące elektryczne piece łukowe, piece indukcyjne i żeliwiaki ujęte w tabelach 7.2 – 7.9 wynika, że wszystkie analizowane odlewnie wychwytują zapylone gazy z ww. instalacji. Zwykle jedna instalacja odpylająca ujmuje kilka jednostek piecowych. Gazy odciągane z pieców elektrycznych są odpylane przy użyciu filtrów suchych tkaninowych (workowych lub kieszeniowych) o pomiarowej sprawności redukcji pyłów od 90-99%. Gazy odciągane z pieców żeliwiakowych są głównie odpylane przy użyciu mokrych łapaczy iskier jedno- lub dwustopniowych o pomiarowej sprawności 61- 85 %. Tylko kilka odlewni w kraju posiada suche systemy odpylania obejmujące filtry tkaninowe.

Z danych udostępnionych przez odlewnie wytapiające stopy metali nieżelaznych i stosujące piece indukcyjne do wytopu miedzi, piece tyglowe gazowe do wytopu miedzi i aluminium oraz piece tyglowe oporowe do wytopu miedzi i aluminium ujętych w tabelach 7.11 i 7.12 wynika, że odlewnie posiadające piece o większych pojemnościach wychwytują zapylo-

ne gazy z ww. instalacji. Zwykle jedna instalacja ujmuje kilka jednostek piecowych. Odciągane gazy są odpylane przy użyciu filtrów suchych (workowych) lub mokrych o pomiarowej sprawności redukcji pyłów od 23-96 %.

7.2.2 Minimalne wymagania dotyczące emisji pyłów i gazów w procesach wytapiania metalu

7.2.2.1 Zalecane techniki zapobiegania emisji pyłów i gazów

Na podstawie dokumentu BREF dla Kuźni i Odlewni, o ile jest to możliwe w warunkach funkcjonowania danej odlewni, proponuje się stosować następujące techniki zapobiegania emisji pyłów i gazów z procesu do wytapiania stopów żelaza i metali nieżelaznych:

Ogólne techniki zapobiegania emisji z procesu wytapiania

zapobieganie emisj niezorganizowanej pyłów i gazów poprzez:

- doszczelnianie pieców do topienia metali lub stosowanie pieców szczelnych,
- ujmowanie gazów odlotowych z przestrzeni pieców topialnych i pieców do przetrzymywania metalu poprzez instalowanie okapów, obudów i odciągów,
- ujmowanie gazów odlotowych z operacji opalania złomu i wygrzewania kadzi za pomocą odciągów,
- ujmowanie gazów odlotowych z operacji obróbki metali (argonowania i sferoidyzacji) za pomocą odciągów,

zapobiegania emisjom zorganizowanym pyłów i gazów poprzez:

- stosowanie wsadu o jak najmniejszej zawartości zanieczyszczeń i składników, które mogą wpływać na skład gazów odlotowych,
- optymalizowanie pracy pieców,
- kontrolowanie procesu topienia,
- stosowanie wymurówki o wydłużonej trwałości,
- stosowanie mniej zanieczyszczonego paliwa do opalania pieców i wygrzewania kadzi (np. mniej zanieczyszczony koks, gaz zamiast koksu),
- stosowanie technik sferoidyzacji nie powodujących emisji (np. w formie),

Techniki zapobiegania emisji pyłów SO_2, NO_2, CO, lotnych związków organicznych i metali z procesu wytapiania staliwa i żeliwa w piecach łukowych

- kontrolowanie procesu topienia oraz stosowanie obróbki pozapiecowej argonem dla skrócenia czasu wytopu i obróbki metalu (zmniejszenie czasu emisji i ładunku zanieczyszczeń),
- stosowanie technologii żużli spienionych tj. wdmuchiwanie tlenu i pyłu węglowego do pieca (zmniejszenie objętości gazów odlotowych).

Techniki zapobiegania emisjom pyłu, SO_2, NO_2, CO i metali z procesu wytapiania staliwa, żeliwa oraz aluminium i miedzi w piecach indukcyjnych .

- optymalizowanie pracy pieców dla skrócenia czasu topienia poprzez: topienie czystego i suchego złomu, zamykanie pokrywy pieca, ograniczanie czasu przetrzymywania metalu (zmniejszenie czasu emisji i ładunku zanieczyszczeń).

Techniki zapobiegania emisjom pyłu, SO_2, NO_2, CO i lotnych związków organicznych z procesu wytapiania żeliwa w żeliwiakach

- optymalizowanie pracy pieców poprzez dobór i kontrolę wielkości wsadu koksu, wielkości dmuchu, równomierne wprowadzanie wsadu, ograniczanie strat powietrza np. przez zamykanie otworów żużlowych (poprawa parametrów spalania i zmniejszenie zużycia koksu),
- stosowanie koksu o znanych właściwościach i kontrolowanej jakości tj.: wartość opałowa, zawartość popiołu i siarki, wilgotność, granulacja,

- stosowanie dzielonego dmuchu powietrza w żeliwiakach z zimnym dmuchem, tj. dodatkowy dopływ powierza powyżej strefy spalania (dopalenie CO, zmniejszenie zużycia koksu),
- wzbogacenie dmuchu powietrza w tlen – palniki tlenowe (zmniejszenie zużycia koksu),
- stosowanie palników powietrzno-gazowych w żeliwiakach koksowych (zmniejszenie zużycia koksu),
- stosowanie dmuchu ciągłego lub topienia kampanijnego (zmniejszenie zużycia koksu),
- rozważenie dla nowoprojektowanych odlewni stosowania żeliwiaków bezkoksowych opalanych gazem (brak zużycia koksu, niska emisja SO_2 i CO) – w Polsce nie przewiduje się w najbliższym czasie stosowania tego typu żeliwiaków,

Techniki zapobiegania emisji pyłu, SO_2, NO_2, CO przy wytapianiu żeliwa oraz aluminium w piecach obrotowych

- optymalizowanie pracy pieców poprzez dobór i kontrolę pracy palnika gazowego (olejowego), kontrolę wprowadzania wsadu, kontrolę składu metalu (zmniejszenie ilości pyłów),
- stosowanie palników tlenowych (zmniejszenie ilości gazów odlotowych i emisji NO_2 i CO),

Techniki zapobiegania emisji pyłu, SO_2, NO_2, CO przy wytapianiu aluminium w piecach trzonowych

- stosowanie palników tlenowych (zmniejszenie ilości gazów odlotowych i emisji NO_2 i CO),

Techniki zapobiegania emisji z procesu pozapiecowej obróbki aluminium

- stosowanie do odgazowania i rafinacji mieszanin gazów Ar/Cl_2 , N_2/Cl_2 i wirników stałych lub ruchomych,

Techniki zapobiegania emisjom PCDD/F z procesu wytapiania żeliwa i staliwa w żeliwiakach, piecach łukowych i obrotowych

- kontrola jakości złomu
- utrzymanie stężenia pyłu w gazach odlotowych < 20 mg/Nm^3.
- szybkie schładzanie gazów odlotowych w zakresie temperatur 250 ^oC – 650 ^oC
- skuteczne dopalanie gazów odlotowych (np. poprzez dodatkowy wdmuch tlenu),
- wdmuchiwanie pyłu węglowego do strumienia gazów odlotowych.

7.2.2.2. Zalecane techniki redukcji emisji pyłów i gazów

Na podstawie dokumentu BREF dla Kuźni i Odlewni, o ile jest to możliwe w warunkach funkcjonowania danej odlewni, proponuje się stosować następujące techniki ograniczania emisji pyłów i gazów (SO_2, NO_2, CO, HF, HCl, związków organicznych) z procesu wytapiania stopów żelaza i metali nieżelaznych:

Ogólne techniki redukcji emisji z procesu wytapiania

- stosowanie suchych lub mokrych metod wychwytywania pyłów i gazów dobieranych w zależności od składu, koncentracji i właściwości cząstek stałych oraz wielkości przepływu gazów odlotowych,
- stosowanie wspólnego systemu odprowadzania gazów odlotowych dla kilku jednostek piecowych (sumowanie strumieni) przed wprowadzeniem do urządzeń odpylających i emitorów.

Techniki redukcji emisji z procesu wytapiania staliwa i żeliwa w piecach łukowych

- ujmowanie gazów odlotowych z pieców przy zastosowaniu następujących technik: okap zamontowany na pokrywie pieca, okap z odprowadzeniem bocznym, odpro-

wadzanie gazów poprzez czwarty otwór i okapy boczne, częściowa obudowa pieca - stała lub ruchoma, pełna obudowa pieca - stała lub ruchoma,
- ochładzanie gazów odlotowych,
- oczyszczanie gazów odlotowych przy użyciu filtrów workowych.

Techniki redukcji emisji z procesu wytapiania staliwa i żeliwa w piecach indukcyjnych

- stosowanie co najmniej 2 techniki ujmowania gazów odlotowych spośród następujących: ogólna wentylacja stanowiska, okapy odciągowe instalowane ponad urządzeniami załadowczymi, okapy odchylające się na boki, okapy boczne, odciąganie poprzez pierścień zasysający poruszający się wraz z pokrywą pieca,
- stosowanie metod odpylania: suchych (filtr workowy) i mokrych (płuczki wodne).

Techniki redukcji emisji z procesu wytapiania żeliwa w żeliwiakach

- ujmowanie gazów odlotowych powyżej lub poniżej otworu wsadowego,
- schładzanie gazów odlotowych np. za pomocą: rozcieńczania powietrzem wprowadzonym do szybu pieca, ochładzalników rurowych, wymuszoną wymianę ciepła - chłodnice powietrzne (dla żeliwiaka z gorący dmuchem – odzysk ciepła spalin do wstępnego podgrzania dmuchu powietrza), nasycanie wodą,
- odpylanie gazów odlotowych przy użyciu filtrów workowych (lepsza skuteczność odpylenia, wychwycenie koksiku) lub mokrych skruberów (dla żeliwiaków zasadowych w celu ograniczenie emisji gazów kwaśnych SO_2 , HF, HCl),
- dopalanie gazów odlotowych w szybie pieca (dopalenie CO i związków organicznych - w powietrzu wdmuchiwanym do górnej części wsadu lub przy użyciu palników gazowych) lub dopalanie w oddzielnej komorze dopalania dla żeliwiaków z gorącym dmuchem.

Techniki redukcji emisji podczas wytapiania żeliwa w piecach obrotowych

- ujmowanie gazów odlotowych blisko wylotu palnika,
- dopalanie gazów odlotowych w dopalaczu (dopalenie CO i związków organicznych),
- schładzanie gazów odlotowych np. za pomocą: rozcieńczania powietrzem wprowadzonym przez szczelinę pieca i/lub wymuszoną wymianę ciepła (chłodnice powietrzne - odzysk ciepła spalin do wstępnego podgrzania dmuchu powietrza),
- odpylanie gazów odlotowych przy użyciu metod suchych,

Techniki redukcji emisji podczas wytapiania aluminium w piecach indukcyjnych

- stosowanie co najmniej 2 technik ujmowania gazów odlotowych spośród następujących: ogólna wentylacja stanowiska, okapy odciągowe instalowane ponad urządzeniami załadowczymi, okapy odchylające się na boki, okapy boczne, odciąganie poprzez pierścień zasysający poruszający się wraz z pokrywą pieca,
- utrzymanie maksymalnej emisji pyłów na poziomie 0,1 - 1 kg/Mg metalu (tam gdzie jest to konieczne ograniczać emisję pyłów przy użyciu suchych metod odpylania).

Techniki redukcji emisji podczas wytapiania aluminium w piecach obrotowych

- ujmowanie gazów odlotowych blisko wylotu palnika i usuwanie ich poprzez emitor,
- utrzymanie maksymalnej emisji pyłów na poziomie 0,1 - 1 kg/Mg metalu (tam gdzie jest to konieczne ograniczać emisję pyłów przy użyciu suchych metod odpylania).

Techniki redukcji emisji podczas wytapiania aluminium w piecach trzonowych i szybowych

- wychwytywanie gazów odlotowych przy użyciu okapów i usuwanie ich za pośrednictwem emitora,

- utrzymanie maksymalnej emisji pyłów na poziomie 0,1 - 1 kg/Mg metalu (tam gdzie jest to konieczne ograniczać emisję pyłów przy użyciu suchych metod odpylania).

Techniki redukcji emisji podczas wytapiania i przetrzymywania aluminium i miedzi w piecach tyglowych

- wychwytywanie gazów odlotowych przy użyciu okapów i instalacji odciągowych oraz usuwanie ich za pośrednictwem emitora,
- utrzymanie maksymalnej emisji pyłów z topienia aluminium na poziomie 0,1 – 1,0 kg/Mg metalu.

Techniki redukcji emisji PCDD/F z procesu wytapiania metali w żeliwiakach i piecach łukowych

- wdmuchiwanie węgla aktywnego do strumienia gazów odlotowych (adsorbcja dioksyn),
- utlenianie katalityczne – warstwy katalityczne w filtrach tkaninowych (rozkład dioksyn),

Techniki redukcji emisji pyłu i metali z procesu pozapiecowej obróbki stopów żelaza

- przy obróbce (rafinacji) ciekłego staliwa tlenem i argonem (konwertor AOD, kadzie) ujmowanie gazów odlotowych za pomocą okapu bezpośredniego nad konwertorem AOD lub okapów dachowych,
- przy sferoidyzacji żeliwa w kadzi
    - wychwytywanie gazów odlotowych poprzez zastosowanie pokryw z instalacją odciągową lub użycie ruchomych okapów,
    - odpylenie gazów odlotowych zawierających MgO przy użyciu filtrów workowych.

7.2.3 **Poziomy emisji NDT,** propozycje granicznych wielkości emisji **i minimalne wymagania dotyczące monitoringu emisji pyłów i gazów w procesach wytapiania metalu**

W oparciu o zalecane poziomy emisji zanieczyszczeń dla NDT ujęte w BREF dla Kuźni i Odlewni, dane pomiarowe wielkości emisji pyłów i gazów do powietrza udostępnione przez polskie odlewnie oraz na podstawie przyjętych w Polsce rozwiązań prawnych w zakresie ustalania wielkości emisji (np. nie ustalanie wielkości emisji dla CO, emisja ustalona jako graniczna ≥ emisji wynikającej z NDT), proponuje się ustalić graniczne wielkości emisji dla procesów wytapiania stopów żelaza i metali nieżelaznych, z podziałem na poszczególne rodzaje stosowanych instalacji do wytapiania z wyszczególnieniem instalacji istniejących (oddanych do użytkowania przed 31.10.2000 r.) oraz instalacji nowych (oddanych do użytkowania po 30.10.2000). Propozycje granicznych wielkości emisji przedstawiono poniżej w tabelach 7.14 i 7.15.

Tabela 7.14. Zalecane poziomy emisji NDT i propozycje granicznych wielkości emisji zanieczyszczeń do powietrza oraz minimalnego zakresu monitoringu emisji dla wytapiania stopów metali nieżelaznych

Rodzaj pieca /wytapiany metal/	**Rodzaj zanieczyszczenia**	**Propozycje monitorowania emisji**	**Propozycje granicznych wielkości emisji dla instalacji istniejących (oddanych do użytkowania przed 31.10.2000 r.)**	**Zalecane poziomy emisji NDT oraz propozycje granicznych wielkości emisji dla instalacji nowych (oddanych do użytkowania po 30.10.2000 r.)**
			[mg/Nm^3]	**[mg/Nm^3]**
Wszystkie rodzaje pieców (metale nieżelazne bez aluminium)	Pył	Pomiar 1 x rok	30	1 - 20
	NO_2	Pomiar 1 x rok	n.o.	n.o.
	CO	Przy składaniu wniosku i jego weryfikacji	n.o.	n.o.
	Wytapiany metal		n.o.	n.o.
Wszystkie rodzaje pieców za wyjątkiem szybowych i trzonowych (aluminium)	Pył	Pomiar 1 x rok	20	1-20 0,1 - 1 kg/Mg metalu
	Chlorki	Pomiar 1 x rok	5	3
	Al	Przy składaniu wniosku i jego weryfikacji	n.o.	n.o.
Piece szybowe (aluminium)	Pył	Pomiar 1 x rok	30	1-20 0,1 - 1 kg/Mg metalu
	Chlorki	Pomiar 1 x rok	3	3
	SO_2	Pomiar 1 x rok	50	30 – 50
	NO_2	Pomiar 1 x rok	300	120
	CO	Pomiar 1 x rok	250	150
	Al	Przy składaniu wniosku i jego weryfikacji	n.o.	n.o.
	LZO		n.o.	100 - 150
Piece trzonowe (aluminium)	Pył	Pomiar 1 x rok	30	1-20 0,1 - 1 kg/Mg metalu
	Chlorki	Pomiar 1 x rok	5	3
	SO_2	Pomiar 1 x rok	35	15
	NO_2	Pomiar 1 x rok	300	50
	CO	Pomiar 1 x rok	10	5
	Al	Przy składaniu wniosku i jego weryfikacji	n.o.	n.o.
	OWO		n.o.	5

n.o. - nie określono poziomu emisji dla NDT

Tabela 7.15. Zalecane poziomy NDT i propozycje granicznych wielkości emisji zanieczyszczeń do powietrza oraz minimalnego zakresu monitoringu emisji dla wytapiania stopów żelaza

Rodzaj pieca /wytapiany metal/		**Rodzaj zanieczyszczenia**	**Propozycje monitorowania emisji**	**Propozycje granicznych wielkości emisji dla instalacji istniejących (oddanych do użytkowania przed 31.10.2000 r.)**	**Zalecane poziomy emisji NDT oraz propozycje granicznych wielkości emisji dla instalacji nowych (oddanych do użytkowania po 30.10.2000 r.)**
				[mg/Nm^3]	**[mg/Nm$^{3]}$]**
Piece łukowe (staliwo i żeliwo)		Pył	Pomiar 1 x rok	40	5-20
		SO_2	Pomiar 1 x 2 lata	n.o.	n. o.
		NO_2	Pomiar 1 x 2 lata	100	10 – 50
		CO	Pomiar 1 x 2 lata	300	200
		HCl	Przy składaniu wniosku i jego weryfikacji	n.o.	n.o.
		HF		n.o.	n.o.
		NH_4		n.o.	n.o.
		Mn		n.o.	n.o.
		Ni		n.o.	n.o.
		Zn		n.o.	n.o.
		Cu		n.o.	n.o.
		LZO		n.o.	n.o.
		PCDD/PCDF	- *	n.o.	≤0.1 ng TEQ/Nm^3
Piece indukcyjne (staliwo i żeliwo)		Pył	Pomiar 1 x rok	30	5-20 i < 0,2 kg/Mg metalu
		NO_2	Pomiar 1 x 2 lata	n.o.	n.o.
		CO	Pomiar 1 x 2 lata	n.o.	n.o.
		Mn	Przy składaniu wniosku i jego weryfikacji	n.o.	n.o.
		Ni		n.o.	n.o.
		Cu		n.o.	n.o.
Piece obrotowe		Pył	Pomiar 1 x rok	40	5-20
		SO_2	Pomiar 1 x 2 lata	150	70 - 130
		NO_2	Pomiar 1 x 2 lata	300	50 – 250
		CO	Pomiar 1 x 2 lata	50	20 -30
		PCDD/PCDF	- *	n.o.	≤0.1 ng TEQ/Nm^3
Żeliwiaki (żeliwo)	Gorący dmuch	Pył	Pomiar 1 x rok	300	5-20
		SO_2	Pomiar 1 x rok	400	20 – 100
		NO_2	Pomiar 1 x rok	200	10 – 200
		CO	Pomiar 1 x rok	3000	20 – 1000
		PCDD/PCDF	- *	n.o.	≤0.1 ng TEQ/Nm^3
	Zimny dmuch	Pył	Pomiar 1 x rok	300	5-20
		SO_2	Pomiar 1 x rok	400	100 – 400
		NO_2	Pomiar 1 x rok	200	20 – 70
		CO	Przy składaniu wniosku i jego weryfikacji	n.o.	n.o.
		NM – LZO**		n.o.	10 – 20
		PCDD/PCDF	- *	n.o.	≤0.1 ng TEQ/Nm^3

* - pomiary w ramach monitoringu państwowego na wybranych instalacjach reprezentatywnych dla sektora
** - NM – LZO niemetanowe lotne związki organiczne
LZO – lotne związki organiczne
n.o. – standard nie określony dla NDT

Dla instalacji nowych graniczne wielkości emisji ustalono w wysokości zalecanych poziomów emisji NDT. Dla instalacji istniejących (tzn. oddanych do użytkowania przed 31.10.2000), które nie są w stanie spełnić zalecanych wymagań NDT bez nakładów inwestycyjnych na dokonanie zmiany technologii lub budowę instalacji chroniących środowisko, proponowane graniczne wielkości emisji ustalono na poziomie wyższym niż NDT. Przy czym dla instalacji istniejących czas dochodzenia do granicznych wielkości emisji określono na 30.10.2007

Wartość emisji zanieczyszczeń z istniejących instalacji do wytapiania stopów żelaza i metali nieżelaznych nie może powodować przekraczania dopuszczalnego poziomu stężeń w powietrzu poza odlewnią. W tym celu tam gdzie jest to niezbędne, należy emisję ograniczać do poziomu wymaganego lokalnymi warunkami środowiskowymi, a więc należy stosować przede wszystkim metody zapobiegania zanieczyszczeniom i redukcji emisji zalecane przez NDT.

W oparciu o rodzaje i wielkości emisji zanieczyszczeń zidentyfikowane i ujęte w BREF dla Kuźni i Odlewni, dane o emisji pyłów i gazów do powietrza udostępnione przez polskie odlewnie, zaproponowano minimalny zakres monitoringu emisji pyłów i gazów do powietrza w procesie wytapiania stopów żelaza i metali nieżelaznych. Jest on dostosowany do przewidywanego zakresu pozwoleń na emisję zanieczyszczeń lub pozwoleń zintegrowanych, o które ubiegać się będą odlewnie. Najprawdopodobniej większość odlewni w ww. pozwoleniu będzie miała ustalone wielkości emisji dla zanieczyszczeń podstawowych (pył, SO_2 , NO_2 , CO) i zanieczyszczeń charakterystycznych dla danej technologii (np. HCl, HF, NH_3 dla pieców łukowych). Proponuje się wykonywać pomiary z częstotliwością podaną w tabelach 7.14 i 7.15. Proponuje się odstąpić od monitorowania dioksyn i furanów z pieców żeliwiakowych, łukowych i obrotowych, o ile dana odlewnia stosuje metody zapobiegania PCDD/F ujęte w poprzednich rozdziałach. Pomiary emisji zanieczyszczeń należy wykonywać zgodnie z obowiązującą metodyką w tym zakresie.

7.3 Emisje pyłów i gazów w procesach wytwarzania form i rdzeni

7.3.1. Stan istniejący w zakresie emisji pyłów i gazów w procesach wytwarzania form i rdzeni

7.3.1.1. Źródła i poziomy emisji pyłów i gazów

Wykonywanie form jednorazowych

Wytwarzanie odlewów z zastosowaniem form jednorazowych jest najbardziej rozpowszechnioną metodą w przypadku stopów żelaza. Proces wykonywania form jednorazowych z piasku jest źródłem zorganizowanej oraz niezorganizowanej emisji zanieczyszczeń do powietrza w postaci pyłów i gazów nieorganicznych i organicznych. Na rodzaj, wielkość i charakter tej emisji mają wpływ między innymi takie czynniki jak: stopień przygotowania piasku (piasek wilgotny wymagający suszenia, piasek suchy, regenerat wymagający schłodzenia itp.), rodzaj stosowanych mas formierskich i rdzeniowych (ze spoiwami organicznymi, nieorganicznymi czy bez spoiw itp.), sposób przygotowania mas (w mieszarkach, w mieszarkonasypywarkach itp.), sposób formowania (ręczny, maszynowy, automatyczny), rodzaj i sposób nakładania powłok ochronnych (alkoholowe lub wodne; nanoszone: pędzlem, natryskowo, zanurzeniowo itp.), obecność instalacji do regeneracji mas zużytych.

Czynnikiem decydującym o uciążliwości dla środowiska procesu przygotowania mas i formowania w masach jednorazowych są wykorzystywane do mas spoiwa i utwardzacze oraz stosowane do powlekania form powłoki ochronne. Materiały te zawierają różnorodne łatwo lotne substancje w postaci składnika podstawowego lub rozpuszczalnika. Substancje te podczas mieszania z piaskiem reagują ze sobą, a ich nadmiar oraz lotne reagenty ulatniają się powodując emisję. Z uwagi na rodzaj stosowanych materiałów do formowania, emitowane zanieczyszczenia to głównie pył i lotne związki organiczne. Poniżej scharakteryzowano sto-

sowane w odlewniach rodzaje mas pod względem emitowanych przez nie zanieczyszczeń. Analizę wykonano w oparciu o informacje zawarte w BREF-ie dla Kuźni i Odlewni oraz dane producentów żywic (Karty Charakterystyk). Emisja zanieczyszczeń do środowiska związana z rozkładem spoiw pod wpływem temperatury ciekłego metalu zostanie omówiona przy analizowaniu procesu odlewania i chłodzenia.

Masy do formowania na wilgotno - na formy

- spoiwa - masy nie zawierają spoiw, czynnikiem wiążącym jest bentonit lub glinka i woda,
- utwardzacze - masy nie zawierają utwardzaczy, ale dodatki skrobiowe (np. dekstrynę) i pył węglowy i/lub organiczne nośniki węgla błyszczacego,
- emisja - pył (emisja lotnych związków organicznych nie występuje).

Masy wiązane chemicznie ze spoiwami organicznymi i nieorganicznymi (utwardzane na zimno, utwardzane gazami, utwardzane na gorąco)

- spoiwa – spoiwa nieorganiczne oraz żywice organiczne ciekłe (z rozpuszczalnikiem) lub stałe,
- utwardzacze – utwardzacze i/ lub katalizatory, ciekłe lub gazowe,
- emisja - pył, lotne związków organiczne charakterystyczne dla danego rodzaju masy (tabela 7.16), także odory w przypadku niektórych mas.

Tabela 7.16 Zanieczyszczenia emitowane do powietrza podczas procesu przygotowania mas i formowania w masach wilgotnych oraz wiązanych chemicznie ze spoiwami organicznymi i nieorganicznymi

Nazwa technologii	**Rodzaj żywicy/spoiwa**	**Rozpuszczalnik i/ lub dodatkowe reagenty**	**Rodzaj utwardzacza / katalizatora**	**Emitowane związki**
Masy wilgotne	Bentonit/glinka	Pył węglowy, organiczne nośniki węgla błyszczacego woda	-	Pył
Masy utwardzane na zimno	Furanowa	Alkohol furfurylowy formaldehyd, fenol* mocznik,	Kwasy sulfonowe (np. kwas paratoluenosulfonowy	Formaldehyd, fenol alkohol furfurylowy, H_2S, kwasy
	Fenolowa	Wodorotlenek potasu fenol*, formaldehyd	Kwasy sulfonowe	Formaldehyd fenol, H_2S, kwasy
	Poliuretanowa	Izocyjanian (i rozpuszczalniki aromatyczne)	Pochodna pirydyny	Formaldehyd, fenol, izocyjaniany, węglowodory aromatyczne
	Rezolowa	Wodorotlenek potasu fenol*, formaldehyd	Estry (np. octan glikolu etylenowego)	Formaldehyd fenol, estry

Nazwa technologii	**Rodzaj żywicy/spoiwa**	**Rozpuszczalniki/ lub dodatkowe reagenty**	**Rodzaj utwardzacza / katalizatora**	**Emitowane związki**
	Alkidowa	Butanol, Ksylen benzyna do lakierów	Izocyjanianу	Węglowodory aromatyczne, (odory przy utwardzaniu na gorąco)
	Szkło wodne	-	Estry (np. kwasu octowego)	Brak emisji
Masy utwardzane gazami	Fenolowa Furanowa	Alkohol furfurylowy, formaldehyd, fenol*	SO_2	Formaldehyd SO_2
	Fenolowa (typu rezolowego)	Wodorotlenek potasu fenol*, formaldehyd	CO_2	Formaldehyd fenol
	Poliuretanowa (proces cold-box)	Izocyjanian (i rozpuszczalniki aromatyczne)	Aminy (np. dwuetyloamina)	Formaldehyd, fenol, izocyjaniany, aminy, (węglowodory aromatyczne.., odory)
	Rezolowa	Wodorotlenek potasu fenol*	Mrówczan metylu	Formaldehyd, fenol mrówczan metylu
	Akrylowa Epoksydowa	b.d.	SO_2	Emisja minimalna nie zidentyfikowana
	Szkło wodne	-	CO_2	brak emisji
Masy utwardzane na gorąco	Olej	Benzyna, nafta	**	Akroleina (odory) weglowodory alifatyczne węglowodory. aromatyczne
	Warm-Box (z alkoholem furfurylowy)	Alkohol furfurylowy formaldehyd	Sole miedzi z kwasami sulfonowymi	Formaldehyd, alkohol furfurylowy
	Hot-box Fenolowa lub furanowa (nagrzewanie gazem)	Alkohol furfurylowy formaldehyd, mocznik, fenol*	Sole amonowe lub kwas paratoluenosulfonowy	Formaldehyd, fenol, alkohol furfurylowy HCN,amoniak (odory) oraz ze spalania gazu: SO_2 , NO_2 , CO ;
	Fenolowo-formaldehydowa (Proces Croninga - formy skorupowe)	Żywice w postaci stałej	heksametylenoczteroamina	Formaldehyd, amoniak fenol, węglowodory. aromatyczne HCN

Uwaga: zanieczyszczenia tj; formaldehyd, fenol, amoniak, aminy, akroleina dają zapach; gdy jego uciążliwość jest znaczna dodano określono to jako odory
*fenol jako domieszka < 1 % masy żywicy, a w niektórych przypadkach < 0,1 %,

Masy bez spoiwa – na formy

- spoiwa - masy nie zawierają spoiw,
- utwardzacze – masy nie zawierają utwardzaczy (utwardzanie pod próżnią lub zamrażanie),
- emisja - pył,

Masy ze spoiwami organicznymi są stosowane w technologii form jednorazowych zarówno na formy, jak i do wytwarzania rdzeni. Emisja z mas ze spoiwami organicznymi utwardzanymi na zimno - dzięki stosowaniu reżimu technologicznego (całkowite związanie reagentów), nowoczesnych spoiw niskofenolowych (fenol < 1% i mniej) oraz mieszarko-nasypywarek (hermetyczne mieszanie składników mas tuż przed operacją formowania) - są małe i nie wykazują większego oddziaływania na środowisko. Emisje z niektórych mas utwardzanych gazami ze względu na swoją specyfikę wymagają kontroli. Emisje z mas utwardzanych na gorąco są źródłem odorów i w związku z tym charakteryzują się większą uciążliwością. Ze względu na to, że masy utwardzane na gorąco i utwardzane gazami są stosowane głównie do wytwarzania rdzeni istotne jest trafne zidentyfikowanie i monitorowanie emisji gazów z rdzeniarni.

Na podstawie praktyki i danych zebranych z polskich odlewni stosujących technologię form jednorazowych opisano operacje stanowiące źródła emisji zanieczyszczeń do powietrza w procesie wykonywania form jednorazowych ze wskazaniem możliwych zanieczyszczeń.

Przygotowanie piasku

- źródło: suszenie przy użyciu suszarek obrotowych, fluidalnych itp. opalanych gazem ziemnym, olejem, koksem; odpylanie piasku,
- emisja: zorganizowana pyłów oraz gazów (SO_2, NO_2, CO) - poziom emisji monitorowany przez niektóre odlewnie.

Przygotowanie mas

- źródło: dozowanie i mieszanie składników mas w mieszarkach krążnikowych, pobocznicowych; skrzydełkowych itp. oraz mieszarko-nasypywarkach, transport mas na stanowiska formierskie,
- emisja: zorganizowana i niezorganizowana emisja pyłów oraz lotnych związków organicznych charakterystycznych dla danego rodzaju masy (tabela 7.16) - poziom emisji pyłów jest monitorowany przez niektóre odlewnie, poziom emisji gazów nie jest monitorowany.

Formowanie

- źródło: dozowanie mas bezpośrednio z ciągów transportowych, z zasobników lub mieszarko-nasypywarek, formowanie ręczne (narzucarki i ubijaki pneumatyczne), maszynowe (formierki), formowanie automatyczne na liniach formierskich, suszenie form np. w suszarkach opalanych gazem.
- emisja: zorganizowana i niezorganizowana pyłów, lotnych związków organicznych charakterystycznych dla danego rodzaju masy (tabela 7.16), także gazów spalinowych SO_2, NO_2, CO (w przypadku suszenia form) - poziom emisji (za wyjątkiem emisji spalin) nie jest monitorowany.

Wykonywanie rdzeni

- źródło: dozowanie i mieszanie składników mas w mieszarkach krążnikowych, skrzydełkowych i korytkowych, wykonywanie rdzeni ręcznie z suszeniem oraz maszynowo przy użyciu strzelarek rdzeni,

- emisja: zorganizowana i niezorganizowana głównie lotnych związków organicznych (tabela 7.16) i w niewielkiej ilości pyłów - poziom emisji monitorowany przez niektóre odlewnie,

Powlekanie form i rdzeni

- źródło: rozcieńczanie powłok, nanoszenie (pędzlem, natryskowo i zanurzeniowo) oraz suszenie powłok (w sposób naturalny lub wymuszony),
- emisja: niezorganizowana lotnych związków organicznych stanowiących rozcieńczalniki powłok (izopropanol, metanol, etanol i inne alkohole, węglowodory alifatyczne i aromatyczne) - poziom emisji nie monitorowany.

Przerób i regeneracja mas zużytych

- źródło: transport mas zużytych, kruszenie mas i rdzeni, przesiewanie, chłodzenie, odświeżanie i zawracanie do obiegu; regenerowanie mas metodami: mechaniczną, termiczną, mokrą itp.
- emisja: zorganizowana pyłów, a przy regeneracji termicznej emisja gazów spalinowych (SO_2, NO_2, CO), oraz związków organicznych - poziom emisji pyłu i gazów spalinowych jest monitorowany przez niektóre odlewnie.

W procesie wykonywania form i rdzeni w technologii form jednorazowych, monitorowany jest głównie poziom emisji pyłów, a tam gdzie ma miejsce działanie podwyższonej temperatury (np. suszenie piasku, wykonywanie rdzeni metodą hot-box, suszenie rdzeni i form) mierzona jest także emisja gazów (SO_2, NO_2, CO). Tylko niektóre duże odlewnie wykonują pomiary emisji lotnych związków organicznych z urządzeń do produkcji rdzeni (rdzeniarki, strzelarki rdzeni, stoły do chłodzenia, suszarki rdzeni). Nie monitoruje się w ogóle zanieczyszczeń z instalacji do wykonywania form (stanowiska do formowania, formierki, linie formierskie). Ma to swoje uzasadnienie w specyfice tej operacji – urządzenia są rozproszone, ujęcia gazów nie mogą być zamontowane z uwagi na urządzenia transportowe (suwnice, taśmociągi itp.), zanieczyszczenia są rozrzedzone. Odlewnie posiadają urządzenia odpylające gazy odlotowe z suszenia piasku, z przygotowania mas oraz przerobu i regeneracji mas zużytych i wykonują pomiary sprawności urządzeń odpylających te źródła. Dane pomiarowe udostępnione przez odlewnie z tych. operacji zebrano w tabelach. 7.17 - 7.20. Zanieczyszczenia z pozostałych operacji nie są ujmowane i monitorowane.

Tabela 7.17. Poziomy emisji zorganizowanej zanieczyszczeń z procesu suszenia piasku

Rodzaj instalacji	**Paliwo**	**Rodzaj urządzenia odpylającego**	**Sprawność odpylania (średnia), %**	**Nazwa zanieczyszczenia**	**Poziom emisji**	
					mg/Nm^3	**kg/Mg piasku ***
Suszarka fluidyzacyjna	Gaz ziemny	Filtr mokry przewałowy	67	Pył	53 – 242	0,025-0,123
				NO_2	28- 62	-
				SO_2	0 - 3	-
				CO	1 - 296	-
Suszarka	b.d.	Cyklon	85	Pył	98	0,3
Suszarka pneumatyczna	Gaz ziemny	Multicyklon	b.d.	Pył	20	b.d.
				NO_2	2	-
				SO_2	0	-
				CO	10	-

Suszarnia obrotowa	Gaz koksowy	Cyklon	74	Pył	220	0,304
				NO_2	235	-
				SO_2	194	-
Suszarko-chłodziarka fluidyzacyjna	Gaz ziemny	3 cyklon cyklon specjalny	80	Pył	b.d.	0,041
				NO_2	b.d	-
				SO_2	b.d.	-

* wskaźnik wyliczony w oparciu o emisję w kg/h i wydajność suszarek w Mg/h podaną przez odlewnie

Tabela 7.18. Poziomy emisji zorganizowanej zanieczyszczeń z procesu przygotowania mas (technologia form jednorazowych)

Rodzaj instalacji	Rodzaj wytwarzanej masy	Rodzaj urządzenia odpylającego	Sprawność odpylania, %	Rodzaj zanieczyszczenia	Poziom emisji	
					mg/Nm^3	kg/Mg masy *
Dozowniki taśmowe piasku	Masy bentonitowe	Filtr mokry zraszany	97	Pył	18 - 20	0,008 – 0,011
Mieszarki i urządzenia przygotowania masy	Masy na żywicach	Filtr mokry przewałowy	53	Pył	3 – 40	0,03 –1,25
Mieszarka masy	Masy bentonitowe	Filtr mokry zraszany	40 – 96	Pyl	5 - 217	0,001 – 0,044
Urządzenia przerobu mas	Masy bentonitowe	cyklony	85	Pył	50	O,009
Przerób mas formierskich (mieszarki)	Masy bentonitowe obiegowe	Filtry mokre przewałowe	90	Pył	24 - 78	b.d.
Mieszarka pobocznicowa	Masy bentonitowe	Filtr mokry przewałowy	b.d.	pyl	b.d.	0,68
Gniazdo otaczania piasku żywicą (i spalanie gazu)	Fenolowa (do procesu Croninga)	Filtr mokry przewałowy	b.d.	Pył	130	b.d.
				NO_2	15	b.d
				SO_2	10	b.d.
Mieszarki mas, transport mas, transport regeneratu	Masa cementowa i alkidowa oraz masa zużyta	Filtr mokry zraszany	75 - 78	Pył	27 – 108	~ 0,042 – 0,342
				NO_2	0,3	~
				CO	0,15	~
				Ksylen	0,25 – 0,68	~0,001-0,0032
				Toluen	0,12 – 0,65	~0,0005-0,0031
				Etylobenzen	0,086 - 0,32	~0,0004-0,0014
				Węglowod. alifatyczne	0,09 - 0,96	~0,0004-0,0043

* wskaźnik wyliczony w oparciu o emisję w kg/h i wydajność urządzeń w Mg/h podaną przez odlewnie

Tabela 7.19. Poziomy emisji zorganizowanej pyłów z operacji przerobu i regeneracji mas (technologia form jednorazowych)

Rodzaj instalacji	Rodzaj przerabianej masy	Rodzaj urządzenia odpylającego	Sprawność odpylania (średnia), %	Rodzaj zanieczyszczenia	Poziom emisji	
					mg/Nm^3	kg/Mg masy *
Przenośniki elewatorowe i taśmowe masy zwrotnej	Masy zużyte bentonitowe	Filtr mokry zraszany	59 – 72	Pył	3 - 235	0,004 – 0,013
Przesiewacze masy zwrotnej	Masy zuzyte bentonitowe	Filtr mokry zraszany	31 - 84	Pył	24 - 274	0,011 – 0,258
Regeneratory pneumatyczno-mechaniczne	Masy zuzyte bentonitowe	Cyklony, filtr mokry Filtr workowy	87	Pył	1 - 20	b.d.
Przerób i regeneracja mas (suszarki piasku, wibradery do mas piec do regeneracji term.	Masy cementowe i alkidowe (gaz ziemny)	Cyklon, Odpylacze mokre zraszane, Filtr tkaninowy	85 – 96	Pył	87 - 256	p.
				NO_2	2 - 4	p.
				CO	20 - 23	p.
Urządzenia do przerobu mas	Masy zużyte bentonitowe	Bateria cyklonów	85	Pył	50	0,009
Regeneracja mechaniczna masy formierskiej	Masy zużyte z bentonitem	Cyklon filtr mokry przewałowy	95	Pył	105	0,100
Przerób mas rdzeniowych (przenośniki i przesiewacze)	Masy rdzeniowe zużyte	Odpylacze mokre przewałowe	85	Pył	44 - 71	p.
Przenośniki i linia przerobu mas zużytych	Masy zużyte bentonitowe z rdzeniami	Filtr tkaninowy	b.d.	Pył	191	p.
				Formaldeh.	5,5	p.
				Amoniak	0,6	p.

p. – pominięto ze względu na różne typy urządzeń
b.d. – brak danych

Tabela 7.20. Poziomy emisji zorganizowanej zanieczyszczeń z procesu wykonywania rdzeni

Rodzaj instalacji	Rodzaj stosowanej masy	Rodzaj urządzenia odpylającego	Sprawność odpylania (średnia)	Nazwa zanieczyszczenia	Poziom emisji	
					kg/h	kg/Mg piasku
Rdzeniarka	Fenolowa (do procesu Croninga) tzw. piasek otaczany	-	-	Fenol	0,0078 - 0,0192	0,06
				Formaldehyd	0,002 - 0,015	0,047
Stół do chłodzenia rdzeni	Fenolowa (do procesu Croninga)	-	-	Fenol	0,003	b.d.
				Formaldehyd	0,0002	b.d.
					kg/h	mg/Nm^3 **
Rdzeniarka	Masa poliuretanowa (cold-box)	-	-	Dwumetylo-etyloamina	0,00620	3,688
				Fenol	0,00055	0,327
				Formaldehyd	0,00011	0,066
				Izocyjaniany	0,00002	0,011
				Węglowodory aromatyczne	0,00065	0,388
Maszyna rdzeniarska do utwardzania na zimno	Masa poliuretanowa (cold-box)	-	-	Pył	0,0776	6,8
				Amoniak	0,0496	4,4
				Fenol	0,0007	0,06
				Formaldehyd	0,0173	1,5
				Cyjanowodór	0,0	0,0
				Węglowodory aromatyczne	0,0	0,0
Maszyna rdzeniarska do utwardzania na gorąco (ogrzewana gazem)	Masy typu hot-box	-	-	Pył	0,0912	4,7
				SO_2	0,0557	2,9
				NO_2	0,1406	7,2
				CO	0,5831	30
				Fenol	0,0114	0,6
				Formaldehyd	0,089	4,6
				Cyjanowodór	0,0001	0,005
				Węglowodory aromatyczne	0,00276	1,4
Suszarki elektryczne (podsuszanie rdzeni)	Masy rdzeniowe wymagające podsuszania: z piasku otaczanego olejowe, i inne	-	-	Pył	p.	2,1 – 3,3
				SO_2	p.	0 – 0,03
				NO_2	p.	0 – 9,2
				CO	p.	1,9 – 12,5
				Fenol	p.	0,9 – 1,2
				Formaldehyd	p.	3,4 – 12,5
				amoniak	p.	1 – 2,5
				Cyjanowodór	p.	0,02 – 0,06
				Węglowodory aromatyczne	p.	1,5 – 2,5
				Węglowodory alifatyczne	p.	0,3 - 0,6

* wskaźnik podany przez odlewnie lub wyliczony w oparciu o emisję w kg/h i średnią wydajność pieców w Mg/h podaną przez odlewnie

** stężenie podane przez odlewnie lub wyliczone w oparciu o emisję w kg/h i wartość przepływu

p. – pominięto ze względu na różne typy urządzeń

W tabeli 7.21. zebrano poziomy emisji pyłów i gazów w odlewniach stosujący technologie form jednorazowych, a dotyczące osiąganych w trakcie użytkowania instalacji do wykonywania form. Wartości te charakteryzują się dużym rozrzutem, co uzależnione jest od rodzaju stosowanej technologii i warunków pracy urządzeń podczas wykonywania pomiarów emisji, a w przypadku pyłów także od sposobu odpylania i warunków użytkowania odpylaczy (remonty, ewakuacja pyłów) oraz stopnia ich wyeksploatowania.

Tabela 7.21. Poziomy emisji pyłów i gazów osiągane podczas wykonania form jednorazowych przez polskie odlewnie oraz wartości referencyjne NDT

Operacja		**Rodzaj zanieczyszczenia**	**Osiągane poziomy emisji (za urządzeniami odpylającymi)**		**Zalecane poziomy emisji NDT**
			kg/ Mg piasku lub masy	**[mg/Nm^3]**	**[mg/Nm^3]**
Wykonywanie form	Suszenie piasku	Pył	0,025 - 0,304	53 - 242	5 - 20
		SO_2	-	0 - 194	n.o.
		NO_x	-	2 – 235	n.o
		CO	-	1 - 296	n.o
	Przygotowanie mas	Pył	0,001 – 1,25	3 - 217	5 - 20
Wykonywanie rdzeni		Pył	b.d.	2,1 – 6,8	5 - 20
		Aminy (dwumetyloetyloamina)	0,0353 *	3,7 *	5
		Fenol	b.d.	0,06-1,2 *	n.o
		Formaldehyd	b.d.	1,5 – 12,5 *	n.o
		Amoniak	b.d.	1 – 4,4 *	n.o
		Cyjanowodór	b.d.	0,0 – 0,06 *	n.o
		Węglowodory arom.	b.d.	0, - 2,5 *	n.o
		Węglowodory alifatyczne	b.d.	0,3 – 0,6 *	n.o
Regeneracja zużytych mas formierskich		Pył	b.d.	3 – 256 *	5 - 20
		SO_2	b.d.	b.d.	120
		NO_x	b.d.	2 – 4 *	150

* dane z jednej odlewni

Analiza wielkości poziomów emisji osiąganych przez polskie odlewnie stosujące technologię form jednorazowych i ich porównanie z zalecanymi poziomami emisji NDT pozwala stwierdzić, że:

- poziomy emisji pyłów z procesów suszenia piasku i przygotowania mas oraz przerobu i regeneracji mas zużytych bardzo znacznie odbiegają od zalecanych poziomów emisji NDT,
- poziomy emisji pyłów i amin z procesów wykonywania rdzeni są zbliżone do poziomów emisji NDT (dla emisji pozostałych związków organicznych brak zalecanych wartości NDT).

Dla pozostałych operacji wykonywania form jednorazowych i rdzeni nie ustalono zalecanych poziomów NDT.

Przygotowanie form trwałych

Przy wytwarzaniu odlewów z zastosowaniem form trwałych (metalowych) mamy do czynienia z gotową formą metalową, którą jedynie należy odpowiednio przygotować. Na rodzaj, wielkość i charakter emisji w tym procesie ma wpływ rodzaj stosowanego materiału do powlekania formy i sposób jego nanoszenia. Źródłem emisji w tym procesie są następujące operacje:

Powlekanie form do odlewania ciśnieniowego (aluminium - odlewy < 5 kg)
- źródło: nanoszenie powłoki wodnej na bazie spoiw organicznych metodą spryskiwania ręcznego na otwarte kokile, przedmuchiwanie maszyn po odlaniu,
- emisja: niezorganizowana emisja pyłów i lotnych związków organicznych - poziom emisji nie monitorowany.

Powlekanie form do odlewania grawitacyjnego - kokilowego (aluminium - odlewy do 3 kg)
- źródło: nanoszenie powłoki wodnej na bazie szkła wodnego oraz talków metodą spryskiwania ręcznego na otwarte kokile, przedmuchiwanie maszyn po odlaniu,
- emisja: niezorganizowana emisja pyłów - poziom emisji nie monitorowany.

Powlekanie form do odlewania grawitacyjnego - kokilowego (żeliwo – odlewy < 20 kg)
- źródło: nanoszenie powłoki wodnej na bazie szkła wodnego oraz koloidalnego chromitu metodą spryskiwania ręcznego na otwarte kokile, nanoszenie warstwy sadzy acetylenowej, przedmuchiwanie kokil po odlaniu,
- emisja: niezorganizowana emisja pyłow - poziom emisji nie monitorowany.

Przygotowanie form do odlewania grawitacyjnego - kokilowego (staliwo - odlewy 5-12 kg)
- źródło: przygotowanie warstwy ogniotrwałej (ubijane masy ze szkłem wodnym utwardzane estrami),
- emisja: niezorganizowana emisja pyłów - poziom emisji nie monitorowany.

Odlewnie nie stosują smarów do tłoków w związku z powyższym nie występują aerozole mgły olejowej. W odlewniach polskich emisje z powyższych operacji nie są monitorowane i nie jest znany ich poziom. Wobec powyższego nie jest możliwa ocena spełniania zalecanych przez BREF EC dla Kuźni i Odlewni poziomów emisji pyłów i mieszaniny olejów.

7.3.1.2. Stosowane techniki ograniczania emisji pyłów i gazów

Wykonywanie form jednorazowych

Z danych udostępnionych przez odlewni stosujące technologie form jednorazowych zebranych w tabelach 7.17 – 7.20 wynika, że odlewnie wychwytują zapylone gazy i redukują emisje pyłowe w następujących operacjach:
- suszenie piasku - przy zastosowaniu odpylaczy mokrych o średniej pomiarowej sprawności 67%. osiągnięte emisje pyłowe są w granicach 53 – 242 mg/Nm^3; przy zastosowaniu suchych cyklonów i multicyklonów o sprawności 74 – 85% emisje pyłowe są w granicach 20 – 220 mg/Nm^3,
- przygotowanie mas - przy zastosowaniu odpylaczy mokrych o pomiarowej sprawności 40 – 96% osiągnięte emisje pyłowe są w granicach 5 – 217 mg/Nm^3, przy zastosowaniu suchego cyklonu o sprawności 85% emisje pyłowe są w granicach 50 mg/Nm^3,
- przerób i regeneracja mas - przy zastosowaniu odpylaczy mokrych o pomiarowej sprawności 31 – 95% osiągnięte emisje pyłowe są w granicach 3 – 274 mg/Nm^3; przy zastosowaniu zespołów odpylających składających się z cyklonów, filtra mokrego i filtra suchego o sprawności 85 – 96% emisje pyłowe są w granicach 3 – 256 mg/Nm^3.

Wychwytywane są także gazy odlotowe z urządzeń rdzeniarni, ale zawarte w nich zanieczyszczenia nie są redukowane. Nie są wychwytywane ani redukowane pyły z operacji formowania, a także gazy odlotowe z operacji nanoszenia powłok ochronnych na formy.

Przygotowanie form trwałych

Odlewnie stosujące technologie form trwałych nie wychwytuje gazów z instalacji lub stanowisk do odlewania tą metodą (odlewanie kokilowe i ciśnieniowe).

7.3.2. Minimalne wymagania dotyczące emisji pyłów i gazów w procesach wytwarzania form i rdzeni

7.3.2.1. Zalecane techniki zapobiegania emisji pyłów i gazów

Na podstawie dokumentu BREF dla Kuźni i Odlewni, o ile jest to możliwe w warunkach funkcjonowania danej odlewni, proponuje się uwzględnić niżej wymienione techniki zapobiegania emisjom pyłów i gazów z procesu wytwarzania form i rdzeni.

Wykonywanie form jednorazowych

Proponuje się wziąć pod uwagę stosowanie następujących technik zapobiegania emisjom pyłów i gazów z procesu wykonywania form jednorazowych:

- zastosowanie mieszarek próżniowych do sporządzania mas wilgotnych w nowo budowanych instalacjach o wydajności > 60 Mg/h (zmniejszenie ilości gazów odlotowych i ilości pyłów)
- minimalizacja zużycia spoiwa i utwardzacza w operacji sporządzania mas wiązanych chemicznie (zmniejszenie emisji lotnych związków organicznych) poprzez kontrolę procesu:
  - kontrola parametrów piasku (czystość, wielkość i kształt ziarna, wilgotność, temperatura),
  - dostosowanie ilości żywicy do parametrów piasku, a także dostosowanie danego rodzaju spoiwa do powierzchni właściwej piasku i wielkości odlewu (w efekcie zmniejszenie zużycia żywicy i emisji),
- kontrola parametrów mieszarki masy (np. natężenie przepływu żywicy i utwardzacza, temperatura piasku) i jej czyszczenie, a także dostosowanie danego rodzaju spoiwa do powierzchni właściwej piasku i wielkości odlewu (w efekcie zmniejszenie zużycia żywicy i emisji),
- kontrola i optymalizacja procesu sporządzania mas wiązanych chemicznie (ograniczanie parowania spoiw i utwardzaczy),

masy utwardzane na zimno (z żywicami fenolowymi, furanowymi, poliuretanowymi, rezolowymi i ze szkłem wodnym utwardzanym estrami):

- kontrola temperatury mas i jej utrzymywanie na poziomie 15-25^{o}C (zapobiega parowaniu),
- odpowiednie przechowywanie spoiw i utwardzaczy (zamknięte pojemniki i oddzielne przechowywanie żywicy i katalizatora dla uniknięcia reakcji egzotermicznej),
- dozowanie spoiwa i katalizatora pompami do mieszarki i bezpośrednie mieszanie z piaskiem (ograniczenie kontaktu z powietrzem i zmniejszenie parowania),

masy utwardzane gazami

- masy poliuratanowe utwardzane aminami (cold-box) – minimalizacja zużycia aminy poprzez utrzymywanie temperatury mas na poziomie 20-25^{o}C i stosowanie piasku o wilgotności <0,1 %,

- masy rezolowe utwardzane mrówczanem metylu - minimalizacja zużycia mrówczanu metylu poprzez utrzymywanie temperatury mas na poziomie < 20^oC (unikanie kondensacji par i wzrostu zużycia tego gazu),
- masy fenolowe i furanowe lub epoksydowe i akrylowe utwardzane SO_2 - minimalizacja zużycia SO_2 do ilości niezbędnej w procesie,

- utwardzanie mas ze szkłem wodnym metodą suszenia zamiast utwardzania przy pomocy CO_2 (ograniczenie emisji CO_2),
- stosowanie niearomatycznych rozpuszczalników (do żywic) przy produkcji rdzeni metodą cold- box (zastąpienie benzenu ksylenu, toluenu rozpuszczalnikami opartymi na oleju roślinnym np. estrami metylowymi kwasów tłuszczowych lub estrami krzemianowymi - brak parowania rozpuszczalników niearomatycznych, brak emisji lotnych związków organicznych (benzenu ksylenu, toluenu)),
- stosowanie wodnych powłok ochronnych w zamiast powłok alkoholowych – dla dużych i średnich serii oraz małych i nieskomplikowanych form i rdzeni oraz odlewów o mniejszych wymaganiach (ograniczenie emisji lotnych związków organicznych),
- wspomaganie stosowania wodnych powłok ochronnych przez suszenia mikrofalowe w odlewniach chcących stosować powłoki wodne do małych serii rdzeni o bardziej złożonych kształtach (ograniczenie emisji lotnych związków organicznych),
- minimalizacja uciążliwości zapachowej (głównie z operacji przygotowania rdzeni) poprzez:
  - wentylację stanowisk mieszania mas na rdzenie oraz urządzeń do wstrzeliwania masy i suszenia rdzeni,
  - zastępowanie spoiw i rozpuszczalników do spoiw innymi nie wytwarzającymi odorów.

Przygotowanie form trwałych

Proponuje się wziąć pod uwagę stosowanie następujących technik zapobiegania emisjom pyłów i gazów z procesu przygotowania form trwałych:

- dla odlewania ciśnieniowego:
  - minimalizacja ilości zużywanego środka antyadhezyjnego w odlewaniu ciśnieniowym poprzez:
  - automatyzację procesu natryskiwania środka lub optymalizację stopnia rozcieńczenia środka antyadhezyjnego wodą (ograniczenie emisji lotnych związków organicznych),
  - nanoszenie środka antyadhezyjnego w postaci pary do wnętrza zamkniętej kokili (ograniczenie emisji lotnych związków organicznych),
  - dla odlewania grawitacyjnego (kokile z warstwą ogniotrwałą i /lub rdzeniami z masy wiązanej chemicznie)
  - techniki zapobiegania emisji, jak przy wykonywaniu form jednorazowych z mas wiązanych chemicznie

Alternatywne metody wytwarzania form i rdzeni

Zapobieganie emisjom w procesie wytwarzania form i rdzenie może polegać na zastosowaniu działań opisanych powyżej, ale także może polegać na zastosowaniu alternatywnych metod wykonywania form i rdzeni, w których nie stosuje się spoiw i utwardzaczy. Technologie te to:

- technologia pełnej formy z masy bez spoiwa (model z polistyrenu spienionego lub polimetakrylanu metylu z pokryciem mineralnym, formowanie w piasku) - do produkcji małych i średnich odlewów o złożonych kształtach (brak emisji lotnych związków organicznych z odparowania spoiwa oraz minimalizacja emisji pyłów)

- technologia formy ceramicznej (model styropianowy lub woskowy powleczony powłoką ceramiczną z ortokrzemianu etylu i piasku ognioodpornego (mączki kwarcowej, cyrkonowej, mullitowej), utwardzanie formy poprzez wyżarzenie powłoki i wypalenie lub roztopienie modelu - dla produkcji odlewów o wysokiej jakości powierzchni, wykonywanych ze stali odpornych na korozję o ultraniskiej zawartości C i stopów niklu (brak emisji lotnych związków organicznych z odparowywania spoiwa oraz minimalizacja emisji pyłów).

7.3.2.2. Zalecane techniki redukcji emisji pyłów i gazów

Na podstawie dokumentu BREF dla Kuźni i Odlewni, o ile jest to możliwe w warunkach funkcjonowania danej odlewni, proponuje się uwzględnić niżej wymienione techniki zapobiegania emisjom pyłów i gazów z procesu wytwarzania form i rdzeni.

<u>Wykonywanie form jednorazowych</u>

Proponuje się wziąć pod uwagę stosowanie następujących technik redukcji emisji pyłów i gazów z procesu przygotowania form jednorazowych:

- wychwytywanie gazów odlotowych z operacji przygotowania piasku (z przesiewania, suszenia, odpylania i chłodzenia) poprzez obudowanie urządzeń i ich odpylanie (przy użyciu metod suchych jeśli jest to niezbędne dla osiągnięcia zalecanego poziomu NDT dla emisji pyłu),
- wychwytywanie gazów odlotowych z operacji przygotowania mas wilgotnych (z przesiewania, odpylania i chłodzenia, mieszania) poprzez obudowanie urządzeń i ich odpylanie (przy użyciu metod suchych jeśli jest to niezbędne dla osiągnięcia zalecanego poziomu NDT dla emisji pyłu),
- wychwytywanie gazów odlotowych z operacji przygotowania mas wiązanych chemicznie, (z operacji przygotowania, przeładunku i magazynowania) w szczególności:
  - mas utwardzanych na zimno (z żywicami fenolowymi, furanowymi, poliuretanowymi, rezolowymi); niewielka ilość żywicy w stosunku do piasku powoduje, że redukowanie emisji nie jest konieczne, jeśli stosowane są metody zapobiegania omówione poprzednio,
  - mas utwardzanych gazami:
    - mas z żywicami poliuratanowymi utwardzanymi aminami (cold-box) – wychwytywanie par amin znad rdzeniarki, miejsc transportu i przechowywania rdzeni poprzez instalowanie okapów; obróbka par amin dla utrzymania zalecanego poziomu emisji amin przy użyciu następujących metod: adsorbcja na węglu aktywnym, spalanie w komorze dopalającej (także w szybie żeliwiaka), absorbcja par w płuczce wodnej z H_2SO_4 lub z H_3PO_4 ; biofiltracja; oraz odzysk amin z płuczki wodnej (o ile jest opłacalny),
    - mas z żywicami rezolowymi utwardzanymi mrówczanem metylu oraz utwardzanymi CO_2 - usuwanie par mrówczanu metylu i spoiwa poprzez wentylowanie miejsca wykonywania rdzeni,
    - mas z żywicami fenolowymi i furanowymi lub epoksydowymi i akrylowymi utwardzanymi SO_2 - wentylowanie miejsca pracy oraz wychwytywanie gazu z instalacji do wytwarzania rdzeni przy użyciu okapów, usuwanie SO_2 przy użyciu płuczki wodnej z NaOH,
  - mas ze spoiwami utwardzanymi na gorąco (olejowe, warm-box z alkoholem furfurylowym, hot-box z żywicami fenolowymi i furanowymi, mas do procesu Croninga z żywicą fenolową).

- usuwanie wychwyconych lotnych związków organicznych z mas - zalecenie jest możliwe do zastosowania, ale z uwagi na duże objętości gazów odlotowych z wentylacji stanowisk, trudne do realizacji,
- zmniejszenie uciążliwości zapachowej (głównie z operacji przygotowania rdzeni) poprzez usuwanie wychwyconych lotnych związków organicznych przy użyciu biofiltrów - możliwe, ale trudne do realizacji.

Przygotowanie form trwałych

Proponuje się wziąć pod uwagę stosowanie następujących technik redukcji emisji pyłów i gazów z procesu przygotowania form trwałych:

- wychwytywanie emisji środka antyadhezyjnego, mgły olejowej i pyłu poprzez okapy i urządzenia odciągowe (zastosowanie odpylania tylko gdy jest niezbędne dla osiągnięcia zalecanego poziomu NDT dla emisji pyłu).

7.3.3. **Propozycje** granicznych wielkości emisji **i minimalne wymagania dotyczące monitoringu emisji pyłów i gazów w procesach wytwarzania form i rdzeni**

W oparciu o rodzaje i zalecane poziomy emisji zanieczyszczeń dla NDT ujęte w BREF dla Kuźni i Odlewni, dane pomiarowe wielkości emisji pyłów i gazów do powietrza udostępnione przez polskie odlewnie oraz na podstawie przyjętych w Polsce rozwiązań w zakresie ustalania wielkości emisji (np. nie ustalanie wielkości emisji dla CO, emisja ustalona jako graniczna ≥ emisji wynikającej z NDT), proponuje się ustalić graniczne wielkości emisji z podziałem na wielkości dla wytwarzania form jednorazowych i form trwałych z wyszczególnieniem instalacji istniejących (oddanych do użytkowania przed 31.10.2000 r.) oraz instalacji nowych (oddanych do użytkowania po tej dacie). Propozycje granicznych wielkości emisji przedstawiono poniżej w tabeli 7.22.

Dla instalacji nowych graniczne wielkości emisji ustalono w wysokości zalecanych poziomów emisji NDT. Dla istniejących instalacji wytwarzania form i rdzeni, które nie są w stanie spełnić zalecanych wymagań NDT dla emisji pyłów bez nakładów inwestycyjnych na budowę instalacji odpylających, proponowane wielkości ustalono na poziomie wyższym niż poziom emisji NDT.

Wielkość emisji zanieczyszczeń z istniejących instalacji do wytwarzania form i rdzeni nie może powodować przekraczania dopuszczalnego poziomu stężenia w powietrzu poza odlewnią. W tym celu tam gdzie jest to niezbędne należy ograniczać emisję do poziomu wymaganego lokalnymi warunkami środowiskowymi, np. poprzez stosowanie metod zapobiegania zanieczyszczeniom i redukcji emisji zalecanych przez NDT.

W oparciu o zidentyfikowane rodzaje i wielkości emisji zanieczyszczeń i ujęte w BREF oraz dane o emisji pyłów i gazów do powietrza udostępnione przez polskie odlewnie, zaproponowano minimalny zakres monitoringu emisji pyłów i gazów do powietrza w procesie wytwarzania form i rdzeni i podano go w tabeli 7.22. Najprawdopodobniej większość odlewni w pozwoleniu na emisję będzie miała także ustalone wielkości emisji dla zanieczyszczeń charakterystycznych dla danej technologii mas (patrz tabeli 7.16), dlatego też proponuje się emisję zanieczyszczeń ujętych w tabeli 7.22 oraz zanieczyszczeń charakterystycznych dla danej technologii mas mierzyć przy składaniu wniosku o pozwolenie zintegrowane oraz w momencie jego weryfikacji np. co 5 lat. Pomiary emisji zanieczyszczeń wykonywać zgodnie z obowiązującą metodyką w tym zakresie.

Tabela 7.22. Zalecane poziomy emisji NDT i propozycje granicznych wielkości emisji zanieczyszczeń do powietrza oraz minimalnego zakresu monitoringu emisji dla instalacji wytwarzania form i rdzeni

Rodzaj formowania	**Operacja**	**Rodzaj zanieczyszczenia**	**Propozycje monitorowania emisji**	**Propozycje granicznych wielkości emisji dla instalacji istniejących (oddanych do użytkowania przed 31.10.2000 r)**	**Zalecane poziomy emisji NDT oraz propozycje granicznych wielkości emisji dla instalacji nowych (oddanych do użytkowania po 30.10.2000 r.)**
				[mg/Nm^3]	**[mg/Nm^3]**
Wykonywanie form jednorazowych	Wykonywanie form	Pył	Przy składaniu wniosku o pozwolenie zintegrowane oraz w momencie jego weryfikacji	100	5 - 20
	Wykonywanie rdzeni	Pył		20	5 - 20
		Aminy		5	5
	Regeneracja zużytych mas formierskich	Pył		100	5 - 20
		SO_2*		120	120
		NO_x*		150	150
Odlewanie w formach trwałych		Pył		20	5 - 20
		Mgła olejowa jako C całkowity		10	5 - 10

* dotyczy regeneracji termicznej

7.4. Emisje pyłów i gazów w procesach odlewania, chłodzenia i wybijania form

7.4.1. Stan istniejący w zakresie emisji pyłów i gazów w procesach odlewania, chłodzenia i wybijania form

7.4.1.1. Źródła i poziomy emisji pyłów i gazów

W procesie zalewania form ciekłym metalem, na skutek działania wysokiej temperatury metalu oraz atmosfery redukującej, składniki mas i powłok ochronnych ulegają rozkładowi termicznemu, w wyniku którego tworzą się różnorodne gazowe związki chemiczne. W procesie chłodzenia form oraz wybijania odlewów związki te w postaci gazów, par i dymów są uwalniane do powietrza. Dodatkowo w procesie wybijania na skutek rozbijania i kruszenia form tworzą się duże ilości pyłów. Dzięki tym przemianom fizyko-chemicznym składników mas, proces odlewania, chłodzenia i wybijania jest źródłem zorganizowanej oraz niezorganizowanej emisji zanieczyszczeń do powietrza w postaci pyłów i gazów nieorganicznych i organicznych.

Na rodzaj, wielkość i charakter tej emisji mają wpływ głównie takie czynniki jak: rodzaj stosowanych mas formierskich i rdzeniowych (ze spoiwami organicznymi, nieorganicznymi czy bez spoiw itp.), rodzaj nakładanych powłok (alkoholowe lub wodne), sposób zalewania i wybijania (zautomatyzowany, ręczny) oraz obecność odciągów i urządzeń odpylających. Występująca emisja jest porównywalna z tą jaka ma miejsce podczas mieszania mas, ale dodatkowo ma miejsce uwalnianie się produktów pirolizy spoiw i powłok. Maksimum emisji ma miejsce podczas wybijania odlewów, gdy masy ulegają spulchnieniu.

W tabeli 7.23 przedstawiono stosowane w odlewniach rodzaje mas i możliwe emitowane zanieczyszczenia gazowe podczas zalewania, wybijania i chłodzenia. Analizę wykonano w oparciu o informacje zawarte w BREF-ie dla Kuźni i Odlewni. Oprócz zanieczyszczeń gazowych emitowany jest także pył, który może zawierać sadzę ze spalania węgla zawartego w masach (z pyłu węglowego, żywic, pokryć z grafitem). Wyjątek stanowią masy ze szkłem wodnym nie zawierające węgla. Operacje stanowiące źródła emisji to:

Zalewanie

- źródło: zalewanie form przy użyciu urządzeń dozujących ciekły metal w automatycznych liniach formierskich, ręcznie przy użyciu kadzi lejniczych na stanowiskach i polach zalewania
- emisja: pyłów oraz gazów organicznych i nieorganicznych charakterystycznych dla danego rodzaju masy (tabela 7.23) - niezorganizowana przy zalewaniu ręcznym, zorganizowana przy zalewaniu automatycznym - poziom emisji nie monitorowany (wyjątek linie automatycznego zalewania).

Chłodzenie

- źródło: stygnięcie zalanych form na liniach do studzenia oraz na polach i stanowiskach zalewania,
- emisja: zorganizowana i niezorganizowana pyłów oraz lotnych związków organicznych charakterystycznych dla danego rodzaju masy (tabela 7.23) - poziom emisji nie monitorowany (wyjątek linie automatycznego studzenia odlewów zaopatrzone w odciągi).

Wybijanie

- źródło: wybijanie odlewów na kratach lub w bębnach wstrząsowych zainstalowanych w obrębie linii automatycznego zalewania lub w obrębie pól zalewania, na kratach wolnostojących oraz wybijanie odlewów na stanowiskach wybijania ręcznego,
- emisja: zorganizowana i niezorganizowana pyłów i lotnych związków organicznych charakterystycznych dla danego rodzaju masy (tabela 7.23) - poziom emisji monitorowany tylko dla pyłów.

Tabela 7.23. Zanieczyszczenia gazowe emitowane do powietrza podczas procesu odlewania, chłodzenia i wybijania przy stosowaniu mas wilgotnych i mas wiązanych chemicznie ze spoiwami organicznymi i nieorganicznymi

Nazwa technologii	**Rodzaj żywicy**	**Rozpuszczalnik lub dodatkowe reagenty**	**Rodzaj utwardzacza / katalizatora/**	**Emitowane związki**
Masy wilgotne		Pył węglowy; organiczne nośniki węgla błyszczącego	-	CO, CO_2, benzen, toluen, ksylen, WWA
Masy ze spoiwami utwardzane na zimno	Furanowa	Alkohol furfurylowy formaldehyd, fenol (mocznik)	Kwasy sulfonowe (np. kwas paratoluenosulfo-nowy	CO, CO_2 , SO_2 ,,NO_2 fenol, krezole i ksylenole, formaldehyd, anilina, amoniak, węglowodory aromatyczne (w tym WWA) HCN *, metyloizocyjanian *
	Fenolowa	Wodorotlenek potasu fenol, formaldehyd	Kwasy sulfonowe	SO_2 , H_2S, benzen, toluen, ksylen, fenol, formaldehyd (***)
	Poliuretanowa	Izocyjanian (rozpuszczalniki aromatyczne)	Pochodna pirydyny	CO, CO_2 ,NO_2 , monoizocyjaniany , formaldehyd, fenol, krezole i ksylenole, anilina, naftaleny, amoniak, węglowodory aromatyczne (w tym WWA) (uciążliwość związana z odorem)
	Rezolowa	Wodorotlenek potasu, fenol , formaldehyd	Estry (np. octany glikolu etylenowego)	CO, CO_2 ,NO_2 ,, formaldehyd, fenol, krezole i ksylenole, węglowodory aromatyczne, (uciążliwość związana z odorem)
	Alkilowa	Butanol, ksylen benzyna do lakierów	Izocyjaniany	NO_2 benzen, toluen, ksylen, HCN, fenol, formaldehyd (***)
	Szkło wodne	-	Estry (np. kwasu octowego)	CO, CO_2 , alkany, aceton, kwas octowy, akroleina
Masy ze spoiwami utwardzane gazami	Fenolowa Furanowa	Alkohol furfurylowy, formaldehyd, fenol	SO_2	*b.d. (prawdopodobnie jak dla procesu utwardzania na zimno)*
	Fenolowa (typu rezolowego)	Wodorotlenek potasu fenol *, formaldehyd	CO_2	*b.d. (prawdopodobnie jak dla procesu utwardzania na zimno)*
	Poliuretanowa (proces cold-box)	Izocyjanian (i rozpuszczalniki aromatyczne)	Aminy (np. dwuetylo amina)	CO, CO_2 ,NO_2 , monoizocyjaniany , formaldehyd, fenol, krezole i ksylenole, anilina, naftaleny, amoniak , węglowodory aromatyczne (w tym WWA) (uciążliwość związana z odorem)

Nazwa technologii	Rodzaj żywicy	Rozpuszczalnik lub dodatkowe reagenty	Rodzaj utwardzacza / katalizatora/	Emitowane związki
	Rezolowa	Wodorotlenek potasu Fenol	Mrówczan metylu	CO, CO_2 ,NO_2 , formaldehyd fenol, krezole i ksylenole (odory), węglowodory aromatyczne,
	Akrylowa Epoksydowa	b.d.	SO_2	b.d.
	Szkło wodne	-	CO_2	CO, CO_2 ,
Masy ze spoiwami utwardzane na gorąco	Olej	Benzyna, nafta		CO, CO_2 butadien, ketony, akroleina, (uciążliwość związana z odorem)
	Warm-Box (z alkoholem furfurylowym)	Alkohol furfurylowy formaldehyd	Sole miedzi z kwasami sulfonowymi	b.d.
	Hot-box Fenolowa lub furanowa (nagrzewanie gazem)	Alkohol furfurylowy formaldehyd, fenol (mocznik)	Sole amonowe lub kwas paratoluenosulfonowy	CO, CO_2 ,NO_2 fenol, krezole i ksylenole (odory) formaldehyd, amoniak, anilina węglowodory aromatyczne, (w tym WWA) HCN *, metyloizocyjanian *
	Fenolowo-formaldehydowa (proces Croninga - formy skorupowe)	żywice w postaci stałej	Heksametylenoczteroamina	CO, CO_2 ,, fenol, krezole i ksylenole (odory) amoniak , aldehydy, benzen i inne węglowodory aromatyczne (w tym WWA) (uciążliwość związana z odorem)

* dla żywic zawierających azot np. w postaci mocznika ** lepiszcze w postaci bentonitu
*** –podstawowe zanieczyszczenia zidentyfikowane na podstawie Aneksu do BREF EC dla Kuźni i Odlewni

Informacje uzyskane z odlewni wskazują, że postępowanie z zanieczyszczeniami emitowanymi w procesie odlewania, chłodzenia i wybijania odlewów jest następujące:

Są wychwytywane: z operacji zalewania i chłodzenia - gdy zalewanie odbywa się przy użyciu automatycznych linii do zalewania oraz z operacji wybijania – gdy wybijanie odbywa się przy użyciu krat wstrząsowych i w obrębie automatycznych linii do formowania i/lub zalewania odlewów. Ujmowanie gazów odlotowych z tych instalacji odbywa się poprzez obudowanie instalacji do zalewania i wybijania (hermetyzacja) lub za pomocą okapów i odciągów. Gazy ujmowane z wybijania (z nad i/lub spod kraty) zwykle są odpylane.

Nie są wychwytywane: z operacji zalewania i chłodzenia - gdy zalewanie odbywa się ręcznie (przy użyciu kadzi i tygli) na otwartych polach i stanowiskach zalewania oraz z operacji wybijania – gdy wybijanie odbywa się ręcznie za pomocą narzędzi pneumatycznych, suwnic itp. (wybijanie ręczne stosuje się w przypadku mas trudno wybijalnych oraz odlewów wielkogabarytowych i jednostkowych). Ma to swoje uzasadnienie w specyfice tej operacji – stanowiska i pola zalewania form są rozległe, zanieczyszczenia są rozrzedzone w dużej ilości powietrza, a ujęcia gazów nie mogą być zamontowane z uwagi na urządzenia transportowe (suwnice itp.). Niektóre odlewnie minimalizują emisję niezorganizowaną z tych stanowisk przez montaż bocznych ujęć odciągowych lub wentylację ogólną.

W tabelach 7.24 i 7.25 zebrano dane pomiarowe z krajowych odlewni dotyczące emisji zanieczyszczeń emitowanych w procesie odlewania, chłodzenia i wybijania odlewów.

Tabela 7.24. Poziomy emisji zorganizowanej zanieczyszczeń z operacji odlewania i chłodzenia odlewów

Rodzaj instalacji (odlewany metal)	**Rodzaj stosowanej masy**	**Rodzaj zanieczyszczenia**	**Poziom emisji**	
			kg/h	**kg/Mg odlewów**
Automatyczna linia formierska - zalewanie (żeliwo)	Masa z bentonitem i z rdzeniami hot-box i cold-box)	Pył	0,231	0,1155
		Fenol	0,0022	0,0011
		Formaldehyd	0,0069	0,0035
Automatyczna linia formierska – transport fom zalanych (żeliwo)	Masa z bentonitem i z rdzeniami (hot-box i cold-box)	Pył	0,792	0,3960
		Fenol	0,0024	0,0012
		Formaldehyd	0,0053	0,0027
			kg/h	**mg/Nm^3 ***
Linia zalewania (żeliwo)	Masa z bentonitem i z rdzeniami (hot-box i cold-box)	Pył	0,259	1,7
		CO	1,479	38,8
		Fenol	0,0082	0,22
		Formaldehyd	0,083	2,2
		amoniak	0,0475	1,25
		Cyjanowodór	0,0001	0,002
		SO_2	0,0	0,0
		NO_2	0,0	0,0
		Węglowodory aromatyczne	0,020	0,52
Linia studzenia i wybijania form (żeliwo)	Masa z bentonitem i z rdzeniami (hot-box i cold-box)	Pył	1,071	17,6
		Formaldehyd	0,1548	2,5
		Węglowodory aromatyczne	0,0964	1,6
		Węglowodory alifatyczne	0,0150	0,25
Linia studzenia form i sferoidyzacji (żeliwo)	Masa z bentonitem i z rdzeniami (hot-box i cold-box)	Pył	0,8226	16,3
		Formaldehyd	0,1065	2,1
		Węglowodory aromatyczne	0,0936	1,9
		Węglowodory alifatyczne	0,0123	0,2

***** stężenie podane przez odlewnie lub wyliczone w oparciu o emisję w kg/h i wartość przepływu

Tabela 7.25. Poziom emisji zorganizowanej zanieczyszczeń z operacji wybijania odlewów

Rodzaj instalacji (odlewany metal)	Rodzaj stosowanej masy	Rodzaj urządzenia odpylającego	Sprawność odpylania (średnia), %	Nazwa zanieczy-szczenia	Poziom emisji	
					kg/h	mg/Nm^3
Krata zabudowana do wybijania odlewów (staliwo, miedź)	Masy cemento we i alkidowe	Odpylacz suchy	97- 98,7	Pył	0,12 – 0,62	2 - 6
Krata zabudowana do wybijania odlewów (staliwo, miedź)	Masy cementowe I alkidowe	Odpylacz mokry	87- 90	Pył	5,2– 6,9	100 -120
Krata zabudowana do wybijania odlewów (żeliwo i stali-wo)	Masy furanowe, rezolowe i ze szkłem wodnym	Filtr workowy	93,8	Pył	0,04	2,6
Krata wstrząsowa zmechanizowa-nej linii formier-skiej (żeliwo)	Masy z bentonitem	Odpylacz mokry przewałowy	95	Pył	0,8	24,
Formiernia maszynowa – krata wstrzą-sowa (żeliwo)	Masy z bentonitem	Cyklon	85	Pył	0,26	23,0
Formiernia ciężka– krata wstrząsowa (żeliwo)	Masy z bentonitem	Cyklon	85	Pył	0,11	10,0
Krata wstrząsowa z odciągiem (staliwo)	Masy furanowe i ze szkłem wodnym	Cyklon i odpylacz mokry przewałowy	94	Pył	0,1 – 0,86	4 - 25
Krata wstrząsowa z odciągiem (staliwo)	Masy z bentonitem	Cyklon i odpylacz mokry przewałowy	65	Pył	0,31 – 1,0	24 - 82
Linia automa-tycznego formowania - krata wstrząsowa (staliwo)	Masy z bentonitem	Filtr mokry zraszany	88	Pył	2,1	29
Krata wstrząsowa (staliwo)	Masy furanowe	-	-	Pył	3,0	223

Udostępnione dane pomiarowe wskazują, że w procesie odlewania, chłodzenia i wybijania odlewów monitorowane są głównie zanieczyszczenia pyłowe emitowane z operacji wybijania. Odlewnie posiadające urządzenia odpylające dla instalacji wybijania zwykle wykonują także pomiary sprawności tych urządzeń, ale nie jest to regułą. Nie są monitorowane emisje lotnych związków organicznych z operacji zalewania i chłodzenia. Tylko niektóre duże odlewnie wykonują takie pomiary, gdy te operacje prowadzone są na liniach automatycznych. Nie praktykuje się szacowania wielkości niezorganizowanej emisji lotnych związków organicznych (np. w oparciu o wskaźniki teoretyczne).

Dane o poziomach emisji pyłów i gazów w mg/Nm^3 osiąganych w trakcie użytkowania instalacji do zalewania, chłodzenia i wybijania zebrano w tabeli 7.26. Nie są one reprezentatywne gdyż pochodzą zaledwie z 1 – 4 odlewni. Niemniej analiza osiąganych wielkości poziomów emisji i ich porównanie z zalecanymi poziomami emisji NDT pozwala stwierdzić, że:

- poziomy emisji pyłów z zalewania i chłodzenia nie odbiegają od zalecanych poziomów emisji NDT,
- poziomy emisji pyłów z wybijania nie odbiegają od zalecanych poziomów emisji NDT z wyjątkiem operacji wybijania prowadzonych bez urządzeń odpylających.

Dla pozostałych zanieczyszczeń emitowanych podczas zalewania, chłodzenia i wybijania nie ustalono zalecanych poziomów NDT.

Tabela 7.26. Poziomy emisji pyłów i gazów do powietrza podczas odlewania, chłodzenia i wybijania w krajowych odlewniach oraz ich wartości referencyjne NDT

Operacja	**Zanieczyszczenie**	**Osiągane poziomy emisji (za urządzeniami odpylającymi)**		**Zalecane poziomy emisji NDT**
		kg/Mg odlewów	**[mg/Nm^3]**	**[mg/Nm^3]**
Zalewanie i chłodzenie	Pył	0,1155 – 0,396	1,7	5 - 20
	CO *	b.d.	38,8	n.o
	SO_2 *	b.d.	0,0	n.o
	NO_2 *	b.d.	0,0	n.o
	Fenol	~ 0,0012	0,22	n.o
	Formaldehyd	0,0027 - 0035	2,1 – 2,5	n.o
	Amoniak *	b.d.	1,25	n.o
	Cyjanowodór *	b.d.	0,002	n.o
	Węglowodory aromatyczne. *	b.d.	0,52 – 1,9	n.o
	Węglowodory alifatyczne *	b.d.	0,2 – 0,25	n.o
Wybijanie	Pył	b.d.	2 - 223	5 - 20

*dane z jednej odlewni,
n.o. – standard nie określony
b.d. – brak danych

7.4.1.2 Stosowane techniki ograniczania emisji pyłów i gazów

Wszystkie analizowane odlewnie (z kilkoma wyjątkami) wychwytują zapylone gazy i redukują emisje pyłowe z operacji wybijania odlewów, przy użyciu metod suchych i mokrych lub ich kombinacji. Z danych ujętych w tabeli 7.25 pochodzących z krajowych odlewni, wynika, że przy zastosowaniu odpylaczy cyklonowych o średniej sprawności 85% można osiągnąć emisje pyłowe w granicach 10 – 25 mg/Nm^3, a przy zastosowaniu odpylaczy

suchych workowych stężenie pyłu spada poniżej 5 mg/Nm^3. Odlewnie stosujące odpylacze mokre o sprawności 87 – 95% osiągają poziom emisji 24 – 120 mg/Nm^3, a użytkujące zespoły odpylające składające się z cyklonów i filtra mokrego o sprawności 65 – 94% osiągają emisje pyłowe w granicach 4 – 82 mg/Nm^3.

Odlewnie eksploatujące linie automatycznego formowania i/lub zalewania wychwytują także gazy odlotowe z zalewania i chłodzenia odlewów. Zawarte w nich zanieczyszczenia znajdują się na bardzo niskim poziomie i nie wymagają redukowania.

7.4.2. Minimalne wymagania dotyczące emisji pyłów i gazów w procesach odlewania, chłodzenia i wybijania form

7.4.2.1. Zalecane techniki zapobiegania emisji pyłów i gazów

Na podstawie dokumentu BREF, o ile jest to możliwe w warunkach funkcjonowania danej odlewni, proponuje się uwzględnić niżej wymienione techniki zapobiegania emisjom pyłów i gazów z procesu zalewania, chłodzenia i wybijania odlewów:

Minimalizacja zużycia masy formierskiej na 1 Mg ciekłego metalu poprzez optymalizację projektowania formy i optymalny dobór skrzynek formierskich (mniejsza ilość masy to mniejsze zużycie materiałów: piasku i spoiwa) - mniejsza emisja pyłów i gazów w trakcie zalewania i wybijania.

Maksymalizacja uzysku metalu poprzez prawidłowe projektowanie nadlewów, układów wlewowych, wlewów; poprawne prowadzenie procesu topienia i zalewania; poprawne prowadzenie procesu formowania i wykonywania rdzeni (większy uzysk oznacza między innymi mniejszą ilość braków i mniejsze zużycie materiałów, a więc mniejszą emisję pyłów i gazów).

7.4.2.2 Zalecane techniki redukcji emisji pyłów i gazów

Na podstawie dokumentu BREF, o ile jest to możliwe w warunkach funkcjonowania danej odlewni, proponuje się uwzględnić niżej wymienione techniki redukcji emisji pyłów i gazów z procesu zalewania, chłodzenia i wybijania odlewów:

- wychwytywanie gazów odlotowych z nowych i istniejących zautomatyzowanych linii formowania, zalewania i chłodzenia przy seryjnej produkcji odlewów, poprzez ich obudowanie (hermetyzację),
- instalowanie urządzeń wyciągowych lub wentylacji ogólnej na stanowiskach zalewania i chłodzenia,
- wychwytywanie gazów odlotowych z krat wstrząsowych poprzez ich obudowanie (obudowy odejmowane lub przesuwne) lub instalowanie odciągów nad i/lub pod kratą,
- odpylanie wychwyconych gazów odlotowych z krat wstrząsowych przy użyciu cyklonów w połączeniu z mokrymi skruberami lub suchymi filtrami,
- wychwytywanie gazów odlotowych ze stanowisk do odlewania metodą pełnej formy - przy użyciu ruchomych okapów.

7.4.3. Poziomy emisji NDT, propozycje granicznych wielkości emisji i minimalne wymagania dotyczące monitoringu emisji pyłów i gazów w procesach odlewania, chłodzenia i wybijania form

W oparciu o rodzaje i zalecane poziomy emisji zanieczyszczeń dla NDT ujęte w BREF, dane pomiarowe wielkości emisji pyłów i gazów do powietrza udostępnione przez polskie odlewnie oraz na podstawie przyjętych w Polsce rozwiązań w zakresie wielkości emisji zakresie ustalania wielkości emisji (np. emisja ustalona jako graniczna może być ≥ emisji wynikającej z NDT) proponuje się ustalić graniczne wielkości emisji, z wyszczególnieniem instalacji istniejących (oddanych do użytkowania przed 30.10.2000 r.) oraz instalacji nowych (od-

danych do użytkowania po tej dacie). Propozycje granicznych wielkości emisji przedstawiono w tabeli 7.27.

Dla instalacji nowych graniczne wielkości emisji ustalono w wysokości zalecanych poziomów emisji NDT. Dla instalacji istniejących, które nie są w stanie spełnić zalecanych wymagań NDT dla emisji pyłów bez nakładów inwestycyjnych na budowę instalacji odpylających, proponowane graniczne wielkości emisji ustalono na poziomie wyższym niż poziom emisji NDT.

Wielkość zorganizowanej emisji zanieczyszczeń z istniejących instalacji do zalewania, chłodzenia i wybijania nie może powodować przekraczania dopuszczalnego poziomu stężenia w powietrzu poza odlewnią. W tym celu, tam gdzie jest to niezbędne, należy ograniczać emisję do poziomu wymaganego lokalnymi warunkami środowiskowymi, np. poprzez stosowanie metod zapobiegania zanieczyszczeniom i redukcji emisji zalecanych przez NDT, a podanych wcześniej.

Tabela 7.27. Zalecane poziomy emisji NDT i propozycje granicznych wielkości emisji zanieczyszczeń do powietrza oraz minimalnego zakresu monitoringu emisji dla instalacji odlewania, chłodzenia i wybijania

Operacja	**Zanieczyszczenie**	**Propozycje monitorowania emisji**	**Propozycje granicznych wielkości emisji dla instalacji istniejących (oddanych do użytkowania przed 31.10.2000 r.)**	**Zalecane poziomy emisji NDT oraz propozycje granicznych wielkości emisji dla instalacji nowych (oddanych do użytkowania po 30.10.2000 r.)**
			[mg/Nm^3]	**[mg/Nm^3]**
Zalewanie i chłodzenie	Pył	Przy składaniu wniosku i jego weryfikacji	20	5 - 20
Wybijanie	Najbardziej charakterystyczne zanieczyszczenia dla danego rodzaju mas formierskich i rdzeniowych (ujęte w pozwoleniu na emisję)	Przy składaniu wniosku i jego weryfikacji	n.o	n.o
	Pył	Przy składaniu wniosku i jego weryfikacji	100	5 - 20

n.o. - nie określono

W oparciu o zidentyfikowane rodzaje i wielkości emisji zanieczyszczeń ujęte w BREF, zaproponowano minimalny zakres monitoringu emisji pyłów i gazów do powietrza w procesie zalewania, chłodzenia i wybijania odlewów i podano go w tabeli 7.27. Najprawdopodobniej odlewnie wprowadzające pyły i gazy do powietrza, w pozwoleniu na emisję będą miały ustalone wielkości emisji dla głównych zanieczyszczeń charakterystycznych dla danej technologii mas (patrz tabela 7.23), dlatego też proponuje się mierzyć emisję pyłu i tych zanieczyszczeń. Pomiary emisji zanieczyszczeń należy wykonywać zgodnie z obowiązującą metodyką w tym zakresie.

7.5. Emisje pyłów i gazów w procesach oczyszczania i wykańczania odlewów

7.5.1 Stan istniejący w zakresie emisji pyłów i gazów w procesach oczyszczania i wykańczania odlewów

7.5.1.1 Źródła i poziomy emisji pyłów i gazów

Rodzaj, wielkość i charakter emisji przy wykonywaniu powyższych czynności są uzależnione od stopnia usunięcia masy formierskiej podczas wybijania, wielkości układów wlewowych, nadlewów itp. koniecznych do usunięcia, rodzaju i ilości wad odlewniczych, wymaganej jakości powierzchni, stosowania gazów technicznych, obecności odciągów i urządzeń odpylających. Podstawowe operacje stanowiące źródła emisji w procesie oczyszczania i wykańczania odlewów to:

Oczyszczanie

- źródło: usuwanie resztek masy formierskiej i polerowanie powierzchni: w oczyszczarkach pneumatycznych (śrutownicach), w oczyszczarkach bębnowych obrotowych lub w wibracyjnych bębnach czyszczących itp. (możliwe także ręczne oczyszczenie poprzez dłutowanie),
- emisja: zorganizowana pyłów - poziom emisji monitorowany (podczas oczyszczania ręcznego występuje emisja niezorganizowana nie monitorowana).

Szlifowanie i cięcie mechaniczne

- źródło: szlifowanie przy użyciu szlifierek stacjonarnych (wahadłowych, dwutarczowych, trzpieniowych) i ręcznych oraz szlifierkopolerek z zastosowaniem tarcz i kamieni szlifierskich oraz cięcie ściernicą, pilarką, przecinarką itp.,
- emisja: pyłów zorganizowana lub niezorganizowana (gdy brak odciągów) - poziom emisji zorganizowanej jest monitorowany prze niektóre odlewnie.

Upalanie i cięcie plazmowe

- źródło: upalanie plazmowe i acetylenowo-tlenowe, cięcie lancą tlenową,
- emisja: pyłów, NO_2 , CO i tlenków metali np. MgO, FeO; zorganizowana lub niezorganizowana (gdy brak odciągów) - poziom emisji zorganizowanej jest monitorowany prze niektóre odlewnie.

Spawanie i elektrożłobienie

- źródło: spawanie ręczne elektrodami otulonymi i drutem spawalniczym oraz w osłonach gazowych elektrodami topliwymi, oraz elektrożłobienie,
- emisja: pyłów, NO_2, CO i tlenków metali MnO, FeO; zorganizowana lub niezorganizowana (gdy brak odciągów) - poziom emisji zorganizowanej jest monitorowany prze niektóre odlewnie.

Pozostałe operacje wykonywane w procesie oczyszczania i wykańczania odlewów tj.: piłowanie, obijanie, dłutowanie, igłowanie, kucie, tłoczenie, frezowanie nie stanowią źródeł emisji zanieczyszczeń do powietrza

W tabelach 7.28 - 7.31 zebrano udostępnione przez krajowe odlewnie dane pomiarowe dotyczące emisji zanieczyszczeń w procesie oczyszczania i wykańczania odlewów.

Informacje uzyskane z krajowych odlewni wskazują, że zanieczyszczone pyłem gazy odlotowe z operacji oczyszczania oraz operacji szlifowania są wychwytywane i redukowane. Gazy odlotowe z oczyszczarek są ujmowane bezpośrednio ze zhermetyzowanego urządzenia, a ze szlifierek poprzez okapy i odciągi stanowiskowe. Zanieczyszczenia pyłowo-gazowe z operacji upalania i spawania w większości odlewni są wychwytywane za pośrednictwem okapów i odciągów stanowiskowych oraz odprowadzane na zewnątrz bez odpylania, za pośrednictwem emitorów lub kierowane są na suche filtry stanowiskowe z odprowadzeniem powietrza do wnętrza hali produkcyjnej. Wyjątek stanowią stanowiska, gdzie ze względu na charakter i intensywność operacji (upalanie, elektrożłobienie), odciągane powietrze wymaga odpylenia za pośrednictwem urządzeń odpylających.

Dane pomiarowe wskazują, że w procesie oczyszczania i wykańczania odlewów monitorowane są głównie zanieczyszczenia pyłowe emitowane z operacji czyszczenia i szlifowania oraz mierzona jest sprawność urządzeń odpylających. Z reguły nie są monitorowane emisje zanieczyszczeń z pozostałych operacji. Tylko niektóre duże odlewnie wykonują pomiary pyłów i gazów ze spawania i upalania. Nie praktykuje się szacowania wielkości niezorganizowanej emisji zanieczyszczeń z procesu oczyszczania i wykańczania odlewów.

Dane o poziomach emisji pyłów i gazów w mg/Nm^3 osiąganych w trakcie użytkowania urządzeń do oczyszczania i wykańczania odlewów zebrano w tabeli 7.32.

Analiza wielkości poziomów emisji pozwala stwierdzić, że:

- poziomy emisji pyłów z oczyszczania i szlifowania odbiegają znacznie od zalecanych poziomów emisji NDT,
- poziomy emisji pyłów z upalania i spawania nie odbiegają od zalecanych poziomów emisji NDT.

Dla pozostałych zanieczyszczeń z operacji spawania i upalania brak zalecanych poziomów NDT.

Tabela 7.28. Poziomy emisji zorganizowanej pyłów z operacji oczyszczania odlewów

Nazwa instalacji	Czynnik czyszczący	Rodzaj urządzenia odpylającego	Sprawność odpylania (średnia), %	Poziom emisji	
				mg/Nm^3	kg/Mg odlewów
Śrutownica	Śrut stalowy	Cyklon i filtr tkaninowy kasetowy	95 – 97	2 - 5	0,46
Oczyszczarka komorowa	Śrut stalowy	Skruber mokry zraszany	85	19 –50	1,2
Oczyszczarka tunelowa Wirnikowa OWTO	Śrut stalowy	Cyklon i filtr tkaninowy	92	0,13 – 0,15	1,4
Oczyszczarka komoro-wa wirnikowa OWPK	Śrut stalowy	Cyklon i filtr tkaninowy	95	86 - 118	
Oczyszczarka komorowa pneumatyczna OPK	Śrut stalowy	Separator, cyklon i filtr tkaninowy	95	15 - 40	
Oczyszczarka bębnowa GN	-	Cyklon i filtr tkani-nowy	95	0,12 - 10	
Oczyszczarka GOWG	Śrut stalowy	Filtr tkaninowy	85	32	0,27
Oczyszczarka OWT	Śrut stalowy	Cyklony	83	11	0,52
Oczyszczarka OWTP	Śrut stalowy	Odpylacz mokry przewałowy	91	31	1,43
Oczyszczarka bębnowa	-	Filtr tkaninowy	82	182	b.d.
Oczyszczarka komorowa OWPK	Śrut stalowy	Skruber mokry zraszany	65	205	
Oczyszczarka bębnowa typu kołyskowego PNB	Śrut stalowy	Cyklon i filtr tkani-nowy	95	3,9	0,27
Oczyszczarka przeloto-wo-wirnikowa OWZ	Śrut stalowy	Cyklon i filtr tkani-nowy	95	9,7	
Oczyszczarka komorowa OWPK	Śrut stalowy	Cyklon i filtr mokry przewałowy	91	17 - 167	2,33
Oczyszczarka OWP	Śrut stalowy	Cyklon i filtr mokry przewałowy	96	5 - 207	
Oczyszczarka OWD	Śrut stalowy	Cyklon i filtr mokry przewałowy	92	18 - 254	

Tabela 7.29. Poziomy emisji zorganizowanej pyłów z operacji szlifowania odlewów

Nazwa instalacji	Materiał czyszczący	Rodzaj urządzenia odpylającego	Sprawność odpylania (średnia), %	Poziom emisji	
				mg/Nm^3	kg/Mg odlewów
Szlifierki stacjonarne	Ściernice	Cyklon	85	15	b.d.
Szlifierki pneumatyczne ręczne	Ściernice	Cyklon i odpylacz mokry przewało-wy	95	5,5	
Szlifierki stacjonarne	Ściernice	Skruber mokry	70	67	b.d.
Szlifierki wahadłowe	Ściernice	Skruber mokry	71	210	
Szlifierki stacjonarne dwutarczowe	Ściernice	Cyklon	66	10	0,09
Szlifierki pneumatyczne ręczne	Ściernice	Cyklon	81	50	0,49
Szlifierki dwutarczowe	Ściernice	Cyklon i odpylacz mokry przewało-wy	85	5 - 52	b.d.
Szlifierki dwutarczowe i wahadłowe	Ściernice	Cyklon i odpylacz mokry przewało-wy	62	13 - 45	

Tabela 7.30. Poziomy emisji zorganizowanej zanieczyszczeń z operacji upalania

Nazwa instalacji	Stop metalu	Rodzaj urządzenia odpylające-go	Sprawność odpylania (średnia), %	Rodzaj zanieczysz-czenia	Poziom emisji	
					mg/Nm^3	kg/Mg odlewów
Kabina upalania	Staliwo, stopy miedzi	Skruber mokry zraszany	87 – 88	Pył	31 – 38	b.d.
				NO_2	4 – 21	
				CO	3 – 12	
				Fe	0,13 – 14	
				Cu	0,04 – 1,14	
				Cr	0,12 – 1,18	
				Mn	0,05 –0,18	
Stanowisko upalania nadlewów	Żeliwo	-	-	Pył	30	b.d.
				NO_2	16,4	
Stanowisko upalania nadlewów	Staliwo	-	-	Pył	8	b.d.
Stanowiska cięcia plazmą	Staliwo	Odpylacz mokry przewałowy	91	Pyl	3 - 49	

Tabela 7.31. Poziomy emisji zorganizowanej zanieczyszczeń z operacji spawania i elektrożłobienia

Nazwa instalacji	Materiał	Rodzaj urządzenia odpylającego	Sprawność odpylania (średnia), %	Rodzaj zanieczyszczenie	Poziom emisji	
					mg/Nm^3	kg/Mg odlewów
Kabina do elektrożłobienia (elektryczne)	Elektrody	Skruber mokry zraszany	89 – 90	Pył	6,9 - 17	b.d.
				NO_2	8,2	
				CO	23,8	
				Cu	0,099 – 0,153	
				Cr	0,0023 – 0,005	
				Mn	0,044 – 0,074	
Stanowisko spawania (gazowe i elektryczne)	Elektrody, drut, proszki metali	-	-	Pył	20	b.d.
				NO_2	3,5	
				SO_2	4,2	
Stanowiska spawania (elektryczne)	Elektrody rutylowe	-	-	Pył	b.d.	0,009
				NO_2	b.d.	0,001
				CO	b.d.	0,0005
				Fluorki	b.d.	0,0008
				Fe	b.d.	0,0036
				Mn	b.d.	0,0004
Kabiny spawalnicze	Elektrody	-	-	Pył	1 - 5	b.d.

Tabela 7.32. Poziomy emisji pyłów i gazów do powietrza osiągane w procesie oczyszczania i wykańczania odlewów przez krajowe odlewnie oraz wartości referencyjne NDT

Operacja	Zanieczyszczenie	Osiągane poziomy emisji (za urządzeniami odpylającymi)		Zalecane poziomy emisji NDT
		kg/Mg odlewów	[mg/Nm^3]	[mg/Nm^3]
Oczyszczanie	Pył	0,27 – 2,33	0,2 - 254	5 - 20
Szlifowanie	Pył	0,09 – 0,49	5 - 210	5 - 20
Upalanie	Pył	b.d.	3 - 49	5 - 20
	NO_2	b.d.	4 – 21	n.o
	CO	b.d.	3 – 12 *	n.o
	Fe	b.d.	0,13 – 14 *	n.o
	Cu	b.d.	0,04 – 1,14 *	n.o
	Cr	b.d.	0,12 – 1,18 *	n.o
	Mn	b.d.	0,05 –0,18 *	n.o
Spawanie	Pył	b.d.	6,9 – 20 **	5 - 20
	NO_2	b.d.	3,5 - 8,2 **	n.o
	SO_2	b.d.	4,2 *	n.o
	CO	b.d.	23,8 *	n.o
	Cu	b.d.	0,099 – 0,153 *	n.o
	Cr	b.d.	0,0023 – 0,005 *	n.o
	Mn	b.d.	0,044 –0,074 *	n.o

* dane z jednej odlewni, ** dane z dwóch odlewni

7.5.1.2. Stosowane techniki ograniczania emisji pyłów i gazów

Wszystkie analizowane odlewnie redukują emisje pyłowe z operacji oczyszczania i szlifowania odlewów, przy użyciu metod suchych i mokrych lub ich kombinacji. Z danych ujętych w tabeli 7.28, pochodzących z krajowych odlewni, wynika, że przy zastosowaniu odpylaczy suchych o średniej sprawności 82-97% osiągane są emisje pyłowe w granicach 2 – 182 mg/Nm^3. Odlewnie stosujące odpylacze mokre o sprawności 65 – 91% osiągają poziom emisji 31 – 205 mg/Nm^3, a użytkujące zespoły odpylające składające się z cyklonów i filtra mokrego, o sprawności 91 – 96% rejestrują emisje pyłowe w granicach 5 – 254 mg/Nm^3.

7.5.2. Minimalne wymagania dotyczące emisji pyłów i gazów w procesach oczyszczania i wykańczania odlewów

7.5.2.1. Zalecane techniki zapobiegania emisji pyłów i gazów

Na podstawie dokumentu BREF, o ile jest to możliwe w warunkach funkcjonowania danej odlewni, proponuje się w ramach zapobiegania emisji pyłów z procesu wykańczania i oczyszczania uwzględnić jedną z technik wymienionych poprzednio tj.: maksymalizację uzysku metalu poprzez prawidłowe projektowanie nadlewów, układów wlewowych, wlewów; poprawne prowadzenie procesu topienia i zalewania; poprawne prowadzenie procesu formowania i wykonywania rdzeni (większy uzysk oznacza między innymi mniejszą ilość braków i ograniczenie czynności związanych z upalaniem nadlewów, naprawą wad przez spawanie itp., a więc także mniejsze emisje pyłów i gazów w procesie wykańczania odlewów).

7.5.2.2. Zalecane techniki redukcji emisji pyłów i gazów

Na podstawie dokumentu BREF, o ile jest to możliwe w warunkach funkcjonowania danej odlewni, proponuje się uwzględnić niżej wymienione techniki redukcji emisji pyłów i gazów z procesu wykańczania i oczyszczania odlewów (techniki te zalecane są głównie dla odlewni stopów żelaza):

wychwytywanie gazów odlotowych z oczyszczania odlewów oraz redukcja pyłów poprzez 2 lub 3 stopniowe odpylanie przy użyciu separatorów (komory osadcze) i cyklonów jako odpylania wstępnego oraz filtrów mokrych i suchych jako stopnia drugiego,

wychwytywanie gazów odlotowych ze stanowisk szlifowania przy użyciu sztywnych lub ruchomych okapów i wyciągów stanowiskowych (odpylanie przy użyciu metod suchych lub mokrych tylko jeśli jest to niezbędne dla spełnienia wymagań dotyczących poziomu emisji pyłów),

wychwytywanie gazów odlotowych ze stanowisk upalania i spawania przy użyciu sztywnych lub ruchomych okapów, wyciągów ściennych i wentylacji ogólnej dachowej.

7.5.3. Poziomy emisji NDT, propozycje granicznych wielkości emisji i minimalne wymagania dotyczące monitoringu emisji pyłów i gazów w procesach oczyszczania i wykańczania odlewów

W oparciu o rodzaje i zalecane poziomy emisji zanieczyszczeń dla NDT ujęte w BREF, dane pomiarowe wielkości emisji pyłów i gazów do powietrza udostępnione przez polskie odlewnie oraz na podstawie przyjętych w Polsce rozwiązań w zakresie wielkości emisji zakresie ustalania wielkości emisji (np. emisja ustalona jako graniczna może być ≥ emisji wynikającej z NDT) proponuje się ustalić dla procesu oczyszczania i wykańczania tylko graniczną wielkości emisji pyłów, z wyszczególnieniem instalacji istniejących (oddanych do użytkowania przed 30.10.2000 r.) oraz instalacji nowych (oddanych do użytkowania po tej dacie). Propozycje granicznych wielkości emisji przedstawiono w tabeli 7.33.

Tabela 7.33. Zalecane poziomy emisji NDT i propozycje granicznych wielkości emisji zanieczyszczeń do powietrza oraz minimalnego zakresu monitoringu emisji dla operacji oczyszczania i wykańczania odlewów

Operacja	Zanieczyszczenie	Propozycje monitorowania emisji	Propozycje granicznych wielkości emisji dla instalacji istniejących (oddanych do użytkowania przed 31.10.2000 r.)	Zalecane poziomy emisji NDT oraz propozycje granicznych wielkości emisji dla instalacji nowych (oddanych do użytkowania po 30.10.2000 r.)
			[mg/Nm^3]	[mg/Nm^3]
Oczyszczanie	Pył	Przy składaniu wniosku i jego weryfikacji	100	5 - 20
Szlifowanie	Pył	Przy składaniu wniosku i jego weryfikacji	50	5 - 20

Dla instalacji nowych ustalono w wysokości zalecanych poziomów emisji NDT. Dla istniejących instalacji, które nie są w stanie spełnić zalecanych wymagań NDT dla emisji pyłów bez nakładów inwestycyjnych na budowę instalacji odpylających, proponowane graniczne wielkości emisji ustalono na poziomie wyższym niż poziom emisji NDT. Zaproponowano także minimalną częstotliwość monitorowania emisji pyłów do powietrza dla dwóch operacji: oczyszczania oraz szlifowania odlewów (tabela 7.33). Pomiary emisji zanieczyszczeń należy wykonywać zgodnie z obowiązującą metodyką w tym zakresie.

Wielkość zorganizowanej emisji zanieczyszczeń z istniejących instalacji do oczyszczania i szlifowania odlewów nie może powodować przekraczania dopuszczalnego poziomu stężenia w powietrzu poza odlewnią. W tym celu tam gdzie jest to niezbędne należy ograniczać emisję do poziomu wymaganego lokalnymi warunkami środowiskowymi, np. poprzez stosowanie metod zapobiegania zanieczyszczeniom i redukcji emisji zalecanych przez NDT.

7.6. Emisja pyłów i gazów w procesach obróbki cieplnej odlewów

7.6.1. Stan istniejący w zakresie emisji pyłów i gazów w procesach obróbki cieplnej odlewów

7.6.1.1. Źródła i poziomy emisji pyłów i gazów

Proces ten może być źródłem emisji zanieczyszczeń do powietrza. Rodzaj, wielkość i charakter tej emisji jest uzależniony od rodzaju stosowanego paliwa i cieczy hartującej oraz od powierzchni wanien do hartowania i ich zaopatrzenia w odciągi. Podstawowe zanieczyszczenia emitowane w procesie obróbki cieplnej odlewów to:

wyżarzanie odlewów

- źródło: spalanie paliw (np. gazu ziemnego),
- emisja: zorganizowana gazów spalinowych zawierających: pył ze spalania, SO_2, NO_2, CO - poziom emisji monitorowany przez niektóre odlewnie,

hartowanie w oleju lub emulsji

- źródło: odparowywanie oleju/emulsji pod wpływem temperatury odlewów, uwalnianie produktów rozkładu i starzenia się oleju/emulsji,
- emisja: zorganizowana lub niezorganizowana oparów olejowych (węglowodorów alifatycznych i aromatycznych) oraz akroleiny - poziom emisji nie monitorowany.

W tabeli 7.34 zebrano dane pomiarowe z krajowych odlewni dotyczące emisji zanieczyszczeń w procesach obróbki cieplnej odlewów.

Tabela 7.34. Poziomy emisji zorganizowanej zanieczyszczeń z operacji obróbki cieplnej odlewów

Nazwa instalacji (moc MW)	Paliwo / ciecz ilość nominalna Nm^3/h	Zanieczyszczenie	Poziom emisji	
			mg/Nm^3	kg/Mg odlewów
Żarzak (> 5 MW)	Gaz ziemny 600	NO_2	6 - 51	b.d.
		CO	0,01 - 183	
Żarzak (< 5 MW)	Gaz ziemny 400	NO_2	4 -33	
		CO	1,25 - 235	
Żarzak (< 5 MW)	Gaz ziemny 300	NO_2	4,1- 33	
		CO	1,25 - 235	
Piece żarzalnicze (< 1 MW)	Gaz ziemny 80	NO_2	197	b.d.
		SO_2	136	
Żarzak komorowy z wysuwanym trzonem (< 1 MW)	Gaz ziemny 60	NO_2	28,7	0,072
		SO_2	0,94	0,001
		CO	15,2	0,015
Piece grzewcze komorowe (< 1 MW)	Gaz ziemny 65	NO_2	11	
		SO_2	0	
		CO	0 - 127	
Piec żarzalny z wysuwanym trzonem (< 5 MW)	Gaz ziemny 230	NO_2	13 - 82	0,648
		SO_2	0 –20	0,008
		CO	0 - 357	0,116
Piece żarzalne z wysuwanym trzonem (< 5 MW)	Gaz ziemny 140	NO_2	4 - 179	
		SO_2	0	
		CO	3,7 – 5,4	
Wanna hartownicza	Olej	Akroleina	b.d.	0,002
		Weglow. alifat.	b.d.	0,001

Dane te wskazują, że gazy odlotowe z pieców grzewczych do wyżarzania odlewów i z wanien hartowniczych z cieczą w postaci oleju są ujmowane i odprowadzane za pośrednictwem emitorów. Zanieczyszczenia gazowe z tych urządzeń są na niskim poziomie i nie wymagają redukowania. Tylko niektóre duże odlewnie wykonują pomiary emisji gazów z pieców grzewczych. Emisja związków organicznych z hartowania w oleju nie jest monitorowana.

Dane zbiorcze o poziomach emisji gazów w mg/Nm^3 osiąganych w trakcie użytkowania pieców żarzalnych zebrano i ujęto poniżej w tabeli 7.35. Dla zanieczyszczeń emitowanych z procesu obróbki cieplnej brak jest zalecanych poziomów NDT, wobec powyższego dane pomiarowe porównano ze standardami emisyjnymi dla energetycznego spalania gazu ziemnego. Analizowane poziomy emisji gazów nie odbiegają znacznie od standardowych poziomów emisji i w przypadku kontroli oraz optymalizacji procesu spalania możliwe jest dotrzymanie tych standardów.

Tabela 7.35. Poziomy emisji pyłów i gazów do powietrza osiągane w procesie obróbki cieplnej odlewów przez krajowe odlewnie

Operacja	Zanieczyszczenie	Osiągane poziomy emisji mg/Nm^3]
Wyżarzanie odlewów	Pył	b.d.
	NO_2	4 –1 97
	SO_2	0 - 136
	CO	0 - 357

n.o. – nie określono

7.6.1.2. Stosowane techniki ograniczania emisji pyłów i gazów

W procesie obróbki cieplnej odlewów nie stosuje się żadnych technik redukcji zanieczyszczeń.

7.6.2. Minimalne wymagania dotyczące emisji pyłów i gazów w procesach obróbki cieplnej odlewów

7.6.2.1. Zalecane techniki zapobiegania emisji pyłów i gazów

Na podstawie dokumentu BREF, o ile jest to możliwe w warunkach funkcjonowania danej odlewni, proponuje się uwzględnić niżej wymienione techniki zapobiegania emisji pyłów i gazów z procesu obróbki cieplnej odlewów:
stosowanie czystych paliw (o niskiej zawartości siarki) do opalania pieców żarzalnych (np. gaz ziemny),
kontrola i automatyzacja procesu spalania w piecach do obróbki cieplnej.

7.6.2.2. Zalecane techniki redukcji emisji pyłów i gazów

Na podstawie dokumentu BREF, o ile jest to możliwe w warunkach funkcjonowania danej odlewni, w procesie obróbki cieplnej odlewów zaleca się redukowanie zanieczyszczeń wyłącznie z hartowania w oleju lub emulsji. Zalecenia te to:
wychwytywanie oparów kąpieli hartowniczych w postaci oleju lub emulsji poprzez instalowanie kopuł sztywnych i regulowanych, wyciągów krawędziowych lub wentylacji dachowej.

7.6.3. Propozycje granicznych wielkości emisji i minimalne wymagania dotyczące monitoringu emisji pyłów i gazów z procesów obróbki cieplnej odlewów

W oparciu o zalecenia NDT ujęte w BREF-ie, dane pomiarowe wielkości emisji pyłów i gazów do powietrza w krajowych odlewniach oraz na podstawie przyjętych w Polsce rozwiązań w zakresie granicznych wielkości emisji (np. brak wielkości emisji dla procesów spalania technologicznego), proponuje się nie ustalać granicznych wielkości emisji dla procesu obróbki cieplnej odlewów. Proponuje się natomiast minimalną częstotliwość monitorowania emisji gazów do powietrza dla operacji wyżarzania odlewów (tabela 6.36). Pomiary emisji zanieczyszczeń należy wykonywać zgodnie z obowiązującą metodyką w tym zakresie.

Tabela 7.36. Zalecany minimalny zakres monitoringu emisji dla instalacji do obróbki cieplnej odlewów

Operacja	Zanieczyszczenie	Propozycje monitorowania emisji	Propozycje granicznych wielkości emsiji i zalecane poziomy emisji NDT [mg/Nm^3]
Wyżarzanie	NO_2	Przy składaniu wniosku i jego weryfikacji	n.o.
	SO_2		n.o
	CO		n.o.

n.o. - nie określono

Wielkość zorganizowanej emisji zanieczyszczeń z instalacji do obróbki cieplnej odlewów nie może powodować przekraczania dopuszczalnego poziomu stężenia w powietrzu poza odlewnią. W tym celu, tam gdzie jest to niezbędne, należy ograniczać emisję do poziomu wymaganego lokalnymi warunkami środowiskowymi, np. poprzez stosowanie metod zapobiegania zanieczyszczeniom i redukcji emisji zalecanych przez NDT.

7.7. Uwagi i wnioski końcowe

Niniejsze rozdział został opracowany w oparciu o informacje i dane zawarte w ankietach pochodzących z krajowych odlewni oraz o informacje i dane zawarte w BREF-ie dla Kuźni i Odlewni.

Większość odlewni nie wykonuje pomiarów emisji zanieczyszczeń do powietrza, dlatego udostępnione dane pomiarowe były fragmentaryczne, rozproszone i niekompletne, a niektóre pozostawiały wątpliwość co do ich pochodzenia (niekoniecznie z pomiarów). Dlatego też niniejsze opracowanie w części dotyczącej diagnozy stanu istniejącego w odlewniach należy traktować jako orientacyjne. Niemniej jednak już nawet przybliżona analiza zawartych w nim informacji pozwala stwierdzić, że w zakresie ochrony powietrza polskie odlewnictwo znacznie odstaje od poziomu europejskiego. W szczególności:

- wiele instalacji nie posiada urządzeń odpylających
- w większości odlewni stosowane są mokre urządzenia odpylające nie spełniające oczekiwań w zakresie redukcji emisji pyłów do poziomu zalecanego **< 20 mg/Nm^3** (jak wiadomo mokre metody odpylania pozwalają osiągnąć poziom stężeń pyłu w wysokości **50 – 100 mg/Nm^3);**
- wiele odlewni źle eksploatuje swoje urządzenia odpylające nie osiągając ich sprawności katalogowych ani gwarantowanych poziomów emisji.

Rodzaje emisji podlegające kontroli i monitorowaniu ujęte w dokumencie referencyjnym BREF nie zawsze są spójne z polskimi wymaganiami prawnymi. Polskie prawo wymaga od przedsiębiorców użytkujących instalacje uciążliwe dla powietrza posiadania pozwoleń na emisję pyłów i gazów, w których ujmuje się zanieczyszczenia wymienione w rozporządzeniu MŚ z dnia 5.12.2002 r. w sprawie wartości odniesienia dla niektórych substancji w powietrzu (Dz. U. Nr 1/2003, poz. 12). Na liście zawierającej 167 pozycji ujęte są pojedyncze substancje lub ich grupy, ale nie ma tam niektórych grup związków ujętych w BREF tj.: LZO, NM-LZO, WWA itp. Dlatego też istotne jest ustalenie jakie substancje powinny być monitorowane w ramach tych. grup związków, tak aby zapewnić porównywalność wyników między odlewniami. Podobna trudność pojawia się przy interpretacji zanieczyszczenia określonego jak OWO (ogólny węgiel organiczny). Brak metodyki pomiarowej dla monitorowania poziomu zanieczyszczeń wyrażonych jako OWO utrudni interpretację ewentualnych wyników pomiarów. Rodzaj monitorowanych związków będzie zależał od technologii stosownych w danej odlewni. W zakresie substancji organicznych dotyczy to szczególnie technologii wykonywania form i rdzeni oraz zanieczyszczeń obecnych w złomie. Pomocne przy tym bedą informacje zawarte w tabelach 7.14, 7.15, 7.22, 7.27, 7.33 i 7.36.

8. ZAPOBIEGANIE POWSTAWANIU ŚCIEKÓW ORAZ ICH OBRÓBKA

8.1. Analiza stanu istniejącego w zakresie gospodarki wodno-ściekowej

8.1.1. Zużycie wody

W procesie produkcji odlewów woda stosowana jest do:

- sporządzania mas formierskich i rdzeniowych, powłok ochronnych,
- płukania układów mieszających agregatów czy mieszarek,
- obróbki odlewów,
- chłodzenia pieców metalurgicznych, form metalowych,
- mokrego odpylania gazów odlotowych z poszczególnych etapów procesu produkcyjnego,
- zraszania hal produkcyjnych, wewnętrznych dróg transportowych.

Ponadto w odlewniach woda jest zużywana do celów socjalno-bytowych.

W krajowych odlewniach woda dodawana jest głównie do mas syntetycznych, naturalnych i cementowych. Ilość wody dodawanej do mas waha się w szerokim zakresie od 0,5% do %, zależności od stosowanej technologii wykonywania formy lub rdzeni. Wodne powłoki ochronne zawierają od 40% do 60% wody.

Wielkość zużycia wody przy wodnym oczyszczaniu odlewów, w zależności od rodzaju odlewów i stosowanych oczyszczarek, waha się w granicach od 140 do 320 dm^3/min. Zapotrzebowanie wody dla niektórych mokrych urządzeń odpylających podano w tabeli 8.1.

Tabela 8.1. Zapotrzebowanie wody dla niektórych mokrych urządzeń ` odpylających

Rodzaj instalacji	**Zapotrzebowanie wody dm^3/min.**
Mokry łapacz iskier	130 - 350
Odpylacz fluidalny	70 - 110
Odpylacz cyklonowy	2,5 - 10

Zapotrzebowanie wody chłodzącej piece metalurgiczne przedstawia tabela 8.2.

Tabela 8.2. Zapotrzebowanie wody chłodzącej piece metalurgiczne

Rodzaj pieca	**Zapotrzebowanie wody**
Żeliwiak Φ 900 z podgrzanym dmuchem i mokrym łapaczem iskier	100 - 230 dm^3/min.
Żeliwiak Φ 700 z podgrzanym dmuchem i suchym łapaczem iskier	100 - 170 dm^3/min.
Żeliwiak z zimnym dmuchem o wydajności 10 Mg/h	45 dm^3/min.
Żeliwiak bezkoksowy	0,4 m^3/Mg ciekłego metalu
Piec indukcyjny	230-400 dm^3/min.

Roczne zużycie wody do celów przemysłowych i socjalno-bytowych w krajowych odlewniach ilustruje tabela 8.3.

Tabela 8.3. Roczne zużycie wody do celów przemysłowych i socjalno-bytowych w krajowych odlewniach

Rodzaj stopu	Ilość wytapiane-go metalu Mg/rok	Produkcja dobrych odlewów Mg/rok	Zużycie wody [m^3]			Wskaźnik zużycia wody m^3/1 Mg dobrych odlewów
			Cele przemysłowe	Cele socjalno-bytowe	Ogółem	
Żeliwo	20 477	12 438	36 000	6 000	42 000	3,4
Żeliwo szare	3 000	1 800	----	----	19 140	10,6
Żeliwo stopy Al.-Si	13 686 7,7	9 179 7,0	8 120	538	8 658	0,9
Żeliwo szare i sferoidalne	20 000	10 000	----	----	27 000	2,7
Staliwo aluminium brązy	4 200 200 60	2 200 100 30	----	----	63 000	27,0
Staliwo żeliwo szare i sferoidalne	7 872 21 385	3 936 19129	732 800	32 618	765 418	33,2
Żeliwo sferoidalne	32 000	16 000	2 000	1 500	3 500	0,2
Staliwo żeliwo	23 113 394	10 262 167	8 774	36 197	44 971	4,3
Żeliwo	20 000	10 000	20 184	8 629	28 813	2,9
Staliwo Żeliwo	2 360 159	1 040 75	120	680	800	0,7
Żeliwo szare i sferoidalne	12 962	7 467	----	----	36 000	4,8

Zużycie wody w jednej z krajowych odlewni w rozbiciu na poszczególne procesy produkcyjne przedstawiono w tabeli 8.4.

Tabela 8.4. Zużycie wody w jednej z krajowych odlewni w rozbiciu na poszczególne procesy produkcyjne

Rodzaj stopu	Ilość wytapianego metalu Mg/rok	Produkcja dobrych odlewów Mg/rok	Roczne zużycie wody do celów przemysłowych [m^3]				
			Topienie	Wykonywanie form	Odlewanie	Wykańczanie odlewów	Sprężarkownia
Żeliwo szare	20 477	12 438	16 724	10 846	1 085	----	1 240

Zużycie wody w wybranych odlewniach europejskich przedstawiono w tabeli 8.5.

Tabela 8.5. Zużycie wody w wybranych odlewniach europejskich dla poszczególnych operacji (BREF)

Odlewnia		Rodzaj procesu	Zużycie wody dm^3/1Mg dobrych odlewów
Odlewnia mosiądzu niskociśnieniowa		Topienie i odlewanie kokilowe	85,7
Odlewnie aluminium	A	Odlewanie	802
		Wykańczanie (polerowanie)	490
	B	Odlewanie	935
	C	Odlewanie	1709

Roczną wielkość produkcji i zużycie wody w przykładowej odlewni w Niemczech ilustruje tabela 8.6.

Tabela 8.6. Roczna wielkość produkcji i zużycie wody w odlewni w Niemczech (BREF)

Rodzaj stopu	Wielkość produkcji (dobre odlewy) [Mg]	Zużycie wody [m^3]	
		z instalacji miejskiej	z wód powierzchniowych
Żeliwo	46.710	59 630	64 998
Metale nieżelazne	2.355		

8.1.2 Powstawanie ścieków

Ścieki w odlewni generowane są głównie z procesów, w których stosowana jest woda. Mogą one również powstawać jako spływy z miejsc magazynowania surowców w przypadku braku zadaszenia czy nieszczelności zbiorników. Ponadto z odlewni odprowadzane są ścieki socjalno-bytowe. Średnia ilość wytwarzanych ścieków w odlewni wynosi 0,5 m^3/Mg dobrych odlewów. Gospodarkę wodno-ściekową w przykładowej odlewni krajowej podano poniżej:
Wytwarzane ścieki :
przemysłowo-opadowe z:

- hartowania odlewów w wodzie,
- przygotowania wody do celów przemysłowych i socjalnych,
- zbierania wód głębokiego odwadniania terenu siecią drenażową,
- zbierania wód opadowych siecią kanalizacji opadowej,

komunalne

8.1.3 Rodzaje i poziomy zanieczyszczeń w ściekach

W operacjach przygotowania mas formierskich i rdzeniowych, topienia, zalewania, chłodzenia, wybijania oraz wykańczania odlewów emitowane są zanieczyszczenia pyłowo-gazowe. W przypadku stosowania mokrych metod odpylania zanieczyszczenia te występują w generowanych ściekach. Rodzaje zanieczyszczeń w ściekach pochodzących z poszczególnych etapów procesu technologicznego ilustruje tabela 8.7.

Tabela 8.7. Rodzaje zanieczyszczeń w ściekach pochodzących z poszczególnych etapów procesu technologicznego

Źródło / Wskaźnik zanieczyszczeń	Przygotowa-nie form i rdzeni	Topienie	Odlewanie	Wybijanie	Wykańczanie i obróbka odlewów	Magazynowanie surowców
Zawiesina	X	X		X	X	X
Siarczany	X	X	X	X		X
Związki azotu	X	X	X	X		X
Metale ciężkie i ich związki		X	X	X	X	
Związki metali ziem alkalicznych		X	X	X	X	
Fenole	X		X	X		X
Formaldehyd	X		X			X
WWA		X	X	X		
Substancje ekstrahujące się eterem naftowym		X				X

8.1.3.1. Procesy wytwarzania form i rdzeni

W operacjach przygotowania mas formierskich emitowane są głównie frakcje pyliste mas (pył kwarcowy, bentonit, pył węglowy). W przypadku stosowania mokrego odpylania stanowisk zanieczyszczenia te występują w ściekach.

W rdzeniarniach do oczyszczania powietrza stosowane są skrubery chemiczne, wypełnione kwasem (proces cold-box) lub zasadą (proces SO_2 i Croninga). Ilość ścieków do oczyszczenia zależy od akumulacji zanieczyszczeń w cyrkulującej wodzie. W przypadku technologii cold-box, jeżeli amina nie jest odzyskiwana, to ścieki zawierają łatwo biorozkładalne aminy i fenole. Roztwór z płuczek stosowanych przy procesie SO_2 zawiera głównie siarczan sodu.

8.1.3.2. Procesy wytapiania metalu

Stosowane w procesach topienia metalu systemy chłodzenia i odpylania gazów odlotowych stanowią najczęściej obiegi zamknięte wód. Ubytek wody spowodowany parowaniem jest uzupełniany. Ponadto cyrkulacja wody w obiegu zamkniętym wymaga okresowego jej podczyszczania. Specyficzne warunki występujące w elementach chłodzących (podwyższona temperatura, brak światła, mniejsza zawartość tlenu) sprzyjają tworzeniu się obrostów biologicznych. Przyczyniają się one do obniżenia współczynnika wymiany ciepła w elementach chłodzących, a także do zwiększenia właściwości korozyjnych wody; przemiany metaboliczne prowadzą do lokalnego obniżenia pH wody obiegowej i powstawania składników stymulujących proces korozji. Obumieranie dużej masy glonów powoduje wtórne zanieczyszczenie wody w postaci zawiesiny organicznej, co może spowodować zatykanie się sit, rur i dysz. Ścieki z mokrych systemów odpylania w topialni zawierają: metale i ich związki, siarczany, chlorki, związki azotu, związki organiczne pochodzące z zanieczyszczonego złomu. Przykła-

dowe wartości stężeń zanieczyszczeń w odcieku z filtra pochodzącego z odwadniania szlamu z mokrego odpylania żeliwiaków podano w tabeli 8.8.

Tabela 8.8. Przykładowe wartości stężeń zanieczyszczeń w odcieku z filtra z odwadniania szlamu z mokrego odpylania żeliwiaków

Wskaźnik zanieczyszczeń	Jednostka stężenia	Wartość
Odczyn pH		7,2 - 9,9
Przewodnictwo elektrolityczne	µS/cm	1 400 – 18 400
Ołów	mg Pb/dm^3	<0,01 - 2,5
Kadm	mg Cd/dm^3	<0,01 - 0,03
Chrom	mg Cr/dm^3	<0,01 - 0,13
Miedź	mg Cu/dm^3	0,02 - 0,89
Nikiel	mg Ni/dm^3	0,04 - 0,23
Rtęć	mg Hg/dm^3	<0,001
Cynk	mg Zn/dm^3	1,8 - 27,9
Siarczany	mg SO_4/dm^3	430 – 1 550
Chlorki	mg Cl/dm^3	1 330 – 3 947
ChZT	mg O_2/dm^3	154 – 7 580

8.1.3.3 Procesy odlewania

System mokrego odpylania gazów odlotowych znad stanowisk zalewania form piaskowych ciekłym metalem, jeżeli jest stosowany, generuje ścieki, które zawierają siarczany, azotany, metale i ich związki oraz węglowodory aromatyczne.

W przypadku odlewania ciśnieniowego oddzielacze na bazie wody są rozpylane na otwartą formę, po rozcieńczeniu 1:50 - 1:200. Poza nakładaniem powłoki ochronnej natryskiwanie jest stosowane do chłodzenia formy. Praktyka ta powoduje straty i rozlewanie wody, nawet w ilości do 40% wody, która przedostaje się do systemu odprowadzającego ścieki z odlewni. Przykładową analizę ilościową ścieków z dwóch włoskich odlewni wykonujących odlewy ciśnieniowe z aluminium podano w tabeli 8.9.

Tabela 8.9. Przykładowa analiza ilościowa ścieków z dwóch włoskich odlewni wykonujących odlewy ciśnieniowe z aluminium (BREF)

Wskaźnik zanieczyszczeń	Jednostka	Odlewnia A	Odlewnia B*
Odczyn pH		7,5	7,5
ChZT	mg/dm^3	18 000	126
Zawiesina	mg/dm^3	1 300	1
Oleje	mg/dm^3	3 000	1
BZT_5	mg/dm^3	2 000	78
Aluminium	mg/dm^3	5	0,6
* jakość ścieków po obróbce obejmującej destylację i ochładzanie par			

8.1.3.4 Procesy wybijania

Stosowanie metod mokrego odpylania w tym procesie powoduje powstawanie ścieków zawierających zawiesinę, związki metali, węglowodory. Mogą one również zawierać siarczany i związki azotu.

8.1.3.5 Wykańczanie i obróbka odlewów

Ścieki z wykańczania i obróbki odlewów zawierają zawiesinę, związki metali i węglowodory.

8.1.3.6 Ścieki stanowiące spływy z miejsc magazynowania surowców

W przypadku braku zadaszenia miejsc magazynowania surowców, czy nieszczelności stosowanych zbiorników do ich przechowywania, ścieki będące spływami wód opadowych zawierają substancje wchodzące w skład surowców (spoiw, utwardzaczy i.t.p.) bądź zawarte w składowanym złomie (związki chloroorganiczne, fosforany, grafit, oleje, smary).

8.1.3.7 Analiza ilościowa ścieków pochodzących z wybranej odlewni krajowej

W tabeli 8.10. przedstawiono wyniki badań zawartości zanieczyszczeń w ściekach wytwarzanych przez jedną z krajowych odlewni.

Tabela 8.10 Wyniki badań zawartości zanieczyszczeń w ściekach wytwarzanych przez jedną z krajowych odlewni

Wskaźnik zanieczyszczenia	**Jednostka**	**Określona wartość**
Odczyn pH		7,3
BZT_5	mg O_2/dm^3	5,5
$ChZT_{Cr}$	mg O_2/dm^3	21,0
$ChZT_{Mn}$	mg O_2/dm^3	6,4
Zawiesina	mg/dm^3	49,5
Fenole	mg/dm^3	0,083
Chlorki	mg Cl/dm^3	20,2
Siarczany	mg SO_4/dm^3	102,5
Żelazo ogólne	mg Fe/dm^3	1,4
Substancje ekstrahujące się eterem naftowym	mg/dm^3	18,0
Ołów	mg Pb/dm^3	0,005
Kadm	mg Cd/dm^3	0,001
Chrom ogólny	mg Cr/dm^3	0,005
Arsen	mg As/dm^3	0,001
Miedź	mg Cu/dm^3	0,004
Cynk	mg Zn/dm^3	0,250
Nikiel	mg Ni/dm^3	0,007
Rtęć	mg Hg/dm^3	0,000

8.2 Techniki zapobiegania generowaniu ścieków lub ograniczania ich ilości

Stosowanie suchych metod odpylania: Suche metody odpylania mogą być stosowane przez większość odlewni do oczyszczania gazów odlotowych. Eliminuje to tworzenie się ścieków. Jednak w wyjątkowych przypadkach może być konieczne stosowanie mokrych skruberów dla usuwania bardzo drobnej frakcji pyłu zawierającej żelazo. Jeśli jednak zastosowane zostaną odpowiednie metody oczyszczania ścieków i zawracania ich do obiegu, zrzut ścieków nie będzie konieczny. Dopóki cząstki stałe są usuwane do poziomu akceptowanego przez skrubery, to związki rozpuszczalne mogą osiągać stan nasycenia bez żadnych niekorzystnych efektów.

Biologiczne skrubery lub filtry kompostowe do oczyszczania gazów odlotowych: Zastosowanie biologicznych skruberów może być brane pod uwagę, jeżeli gaz poddawany obróbce zawiera substancje łatwo biorozkładalne, np. fenol. Biologiczne skrubery generują mniej ścieków niż tradycyjne skrubery wodne, ponieważ oczyszczane biologicznie ścieki mogą być zawracane częściej do obiegu. Filtry kompostowe (biofiltry) nie generują żadnych ścieków, mimo że materiał kompostowy musi być dostatecznie wilgotny.

Stosowanie obiegów zamkniętych: Recykling wody wymaga stosowania instalacji oczyszczającej. Obejmuje ona zbiornik sedymentacyjny (najlepiej z flokulacją) i urządzenie filtrujące. W zależności od procesu, może być konieczne stosowanie schładzania.

Wykorzystanie ciepła odpadowego dla odparowania ścieków: Ta technika nie jest generalnie zalecana. Konieczna jest każdorazowa ocena możliwości jej zastosowania w poszczególnych przypadkach.

Zapobieganie powstawaniu ścieków ze składowiska złomu: Generowaniu ścieków z miejsc magazynowania zanieczyszczonego złomu można zapobiegać poprzez zadaszenie miejsca składowania i utwardzenie podłoża. Zastosowanie takiego rozwiązania umożliwia zbieranie wód odpływowych i w ten sposób zabezpieczenie przed niekontrolowaną emisją zanieczyszczeń do wód i gleby. Bezpośrednia emisja zanieczyszczeń do gleby jest również minimalna, ponieważ nie dochodzi do wymieszania materiału z glebą.

Rozdzielanie ścieków różnego rodzaju: Różne strumienie ścieków o wyraźnie zróżnicowanym poziomie zanieczyszczeń należy rozdzielać, aby zminimalizować konieczność oczyszczania dużej ilości ścieków i zoptymalizować wykorzystanie wody.

Przykładowy system gospodarki ściekowej w jednej z odlewni aluminium w Niemczech, składający się z 4 oddzielnych strumieni podano poniżej:

- spływy powierzchniowe: do kanalizacji deszczowej, zaopatrzonej w separator olejowy do pobliskiej rzeki,
- woda zużyta (zużyta woda przemysłowa z otwartych wanien chłodzących i ścieki sanitarne): poprzez otwarty kanał do kanalizacji komunalnej i do miejskiej oczyszczalni ścieków,
- woda chłodząca: pobierana z pobliskiej rzeki, przez filtr piaskowy, poprzez instalację w zamkniętym obiegu zraszania, wraca do rzeki (maksymalna temperatura 28^{o} C); woda opadowa wchodzi do obiegu wody chłodzącej.
- woda ze skrubera gazów odlotowych (masy wilgotne, wykonywanie odlewów) jest częściowo odparowywana, tylko szlam pozostaje w instalacji.

8.3 Techniki oczyszczania ścieków

Wybór sposobu obróbki ścieków zależy od rodzaju zanieczyszczeń. Techniki stosowane do oddzielania cząstek stałych występujących w ściekach to: sedymentacja, strącanie w postaci wodorotlenku, wieloetapowe strącanie, utlenianie, filtracja.
Nierozpuszczalne metale ciężkie usuwane są ze ścieków metodami fizycznymi (sedymentacja, filtrowanie). Zastosowanie tych metod umożliwia uzyskanie stężenia metali ciężkich w ściekach poniżej 0,5 mg/dm^3.
Rozpuszczone metale ciężkie w pierwszej kolejności muszą być przeprowadzone w związki słabo rozpuszczalne, przez zastosowanie odpowiedniego środka strącającego. Do strącania w postaci wodorotlenków stosowane są mocne zasady (mleko wapienne, roztwór sody kaustycznej). Jeżeli te środki nie są wystarczające, to stosuje się strącanie

w postaci siarczków, przy pomocy siarczków organicznych lub siarczków metali alkalicznych.
Fenole i cyjanki mogą być biologicznie rozkładane lub usuwane metodami fizykochemicznymi. Zazwyczaj są one obecne w tak małych stężeniach, że nie ma potrzeby poddawania ich wstępnej obróbce. Kombinowane metody stosowane w dużych biologicznych oczyszczalniach ścieków są wystarczające.
Obniżenie poziomu biogenności i aktywności mikrobiologicznej wody stosowanej do celów chłodzących przeprowadza się metodami chemicznymi i fizycznymi (dekarbonizacja, koagulacja, flokulacja, filtracja). Chemiczne metody przeciwdziałania obrostom biologicznym są znacznie efektywniejsze i tańsze niż mechaniczne czyszczenie i wymiana rurociągów.

Zastosowanie metod wytrącania wodorotlenków w zakresie pH 8,5 - 11 w ściekach zawierających cynk i żelazo z przykładowej odlewni umożliwiło obniżenie stężenia cynku poniżej 2 mg/dm^3 Należy zwrócić uwagę na fakt, że podany zakres pH musi być utrzymany, ponieważ przy wyższym pH amfoteryczny cynk ponownie rozpuszcza się tworząc cynkany.

Ścieki generowane z oczyszczania gazów odlotowych w procesie cold- box zawierają siarczan aminy. W przypadku, gdy odzysk aminy jest niemożliwy ze względu na wysokie koszty transportu lub brak odpowiedniej instalacji, istnieją dwie metody postępowania z roztworami ze skruberów:

- spalanie cieczy w specjalnych urządzeniach,
- neutralizacja ścieków i odprowadzanie do kanalizacji zakładowej; nadmiar kwasu siarkowego usuwany jest za pomocą alkaliów np. sody Na_2CO_3. Jedynym problemem jest wysoka zawartość siarczanów w ściekach, co może ograniczać możliwość ich odprowadzania.

Ścieki ze spływów powierzchniowych: do podczyszczania ścieków odprowadzanych z miejsc składowania surowców bez zadaszenia, zawierających zawiesinę stosowana jest sedymentacja. W przypadku składowania złomu stosowane są kolektory olejowe. Zbiorniki zbierające ścieki powinny być takich rozmiarów, aby mogły przejmować również wody burzowe.
Ścieki z odlewania ciśnieniowego zawierające glikol: systemy hydrauliczne przy odlewaniu ciśnieniowym stosują jako płyn hydrauliczny mieszaninę wody i glikolu. Nieszczelności w systemie hydraulicznym i w konsekwencji przechodzenie rozlanej cieczy do układu wodnego prowadzi do obecności glikolu w ściekach z odlewni. Usuniecie glikolu nie jest możliwe przy zastosowaniu filtrowania lub flotacji. Zalecanymi metodami obróbki tych ścieków są: destylacja lub odparowanie pod próżnią i biologiczna degradacja**.** Oczyszczone ścieki mogą być ponownie wykorzystane jako rozpuszczalnik dla środka zapobiegającego przywieraniu.

W przykładowej belgijskiej odlewni ciśnieniowej ścieki poddawane są obróbce w instalacji do destylacji pod próżnią (wydajność 3 m^3/dzień). Ścieki te zawierają: nadmiar środka antyadhezyjnego (zebranego pod maszyną do odlewania ciśnieniowego), wycieki płynu hydraulicznego z automatów odlewniczych (woda + glikol), wodę z oczyszczania filtra. W procesie destylacji pod próżnią powstaje osad do składowania i odciek o wysokim wskaźniku ChZT i niskiej twardości. Dzięki temu nadaje się do ponownego wykorzystania jako rozpuszczalnik do środków antyadhezyjnych.

8.4 Propozycje jakości odprowadzanych ścieków

Dostawca ścieków przemysłowych wprowadzając je do urządzeń kanalizacyjnych powinien:

- ograniczać i eliminować substancje szczególnie szkodliwe dla środowiska,
- przestrzegać równomierności odprowadzania ścieków, odpowiednio do przepustowości kanałów i dopuszczalnego obciążenia oczyszczalni ścieków,

Ścieki przemysłowe nie powinny być rozcieńczane wodą w celu uzyskania dopuszczalnych stężeń zanieczyszczeń.

Ścieki przemysłowe wprowadzane do wód nie powinny wywoływać w wodach takich zmian fizycznych, chemicznych i biologicznych, które uniemożliwiałyby prawidłowe funkcjonowanie ekosystemów wodnych i spełnianie przez wody określonych dla nich wymagań jakościowych.

8.5 Zalecane techniki w gospodarce wodno - ściekowej odlewni

W gospodarce wodno-ściekowej w odlewni należy przestrzegać następujących ogólnych zasad:

- optymalizowanie wykorzystywania wody,
- zbieranie wody ze spływów powierzchniowych i stosowanie kolektorów olejowych, w przypadku odprowadzania ścieków z miejsc składowania złomu,
- maksymalizowanie wewnętrznego recyklingu wody przemysłowej,
- oczyszczanie powstających ścieków i powtórne wykorzystywanie,
- minimalizowanie konieczności oczyszczania ścieków poprzez stosowanie zasady nie łączenia różnych strumieni ścieków o wyraźnie zróżnicowanym poziomie zanieczyszczeń,
- minimalizowanie niekontrolowanych wycieków zanieczyszczeń do wód (n.p. z uszkodzonej instalacji) poprzez:
  - określanie i opisywanie źródeł, kierunków i miejsc odprowadzania ścieków ze wszystkich instalacji,
  - opracowanie programu kontroli instalacji,
  - stosowanie uszczelnionych połączeń konstrukcyjnych.
- wdrażanie systemu zarządzania środowiskowego w celu zapobiegania, redukowania lub nadzorowania zanieczyszczeń, a tym samym zminimalizowania negatywnego wpływu na środowisko.

8.5.1 Magazynowanie i przeładunek surowców

Stosowanie zadaszenia i utwardzenie placu do magazynowania umożliwia zbieranie wód odpływowych i w ten sposób zabezpieczenie przed niekontrolowaną emisją zanieczyszczeń do wód i gleby.

8.5.2 Wytapianie i obróbka ciekłego metalu

Stosowanie obiegów zamkniętych wód chłodzących piece oraz suchych metod odpylania gazów odlotowych. Mokre metody odpylania wymagają niższych kosztów inwestycyjnych i eksploatacyjnych (ale wyższego wkładu energetycznego), aby osiągnąć wymaganą skuteczność odpylania. Stosowane w tych przypadkach instalacje są wysokoenergetyczne, ponieważ dymy metalurgiczne i węglonośne zawierają bardzo małe cząstki. Wymaga to stosowania wentylatorów o takiej mocy, aby wytworzyć w płuczce dostateczne turbulencje dla wychwycenia tych cząstek. Ponadto powstające ścieki muszą być oczyszczone, a szlamy składowane lub wykorzystane ponownie. Su-

che metody odpylania nie generują ścieków. Są one związane z wyższymi kosztami inwestycyjnymi, ale wymagają mniejszego zużycia energii. Suchy pył może być zawracany do żeliwiaka lub pieca łukowego. Jednak w niektórych przypadkach zalecane jest stosowanie mokrego odpylania. Dotyczy to żeliwiaków zasadowych, w których do poprawy płynności żużla stosowane są topniki na bazie CaF_2. Tylko mokre odpylanie pozwala na wychwytywanie, oprócz innych zanieczyszczeń, związków fluoru występujących w gazach odlotowych.

8.5.3 Wykonywanie form i rdzeni

Formowanie w masach wilgotnych

Przy stosowaniu suchych metod odpylania powietrza odciąganego z procesu przygotowania mas wilgotnych powstające pyły po separacji ziarnowej mogą być zawracane do mieszarki. Zalecane jest również stosowanie mokrych metod, które nie generują ścieków. Szlamy są zagęszczane i jeżeli zawierają wystarczającą ilość bentonitu, mogą być ponownie wykorzystywane do przygotowania mas. Stosowanie mokrych pochłaniaczy powoduje powstawanie ścieków, które muszą być poddane obróbce.

Wykonywanie form i rdzeni z mas wiązanych chemicznie

Zalecana obróbka ścieków powstających w procesie wykonywania rdzeni metodą cold-box to: odzysk z nich amin lub alternatywnie ich neutralizacja. Odzysk aminy jest ograniczony czynnikami ekonomicznymi, ponieważ musi być dostarczona odpowiednio duża ilość roztworu ze skrubera zawierającego aminę. Toteż odzysk aminy prowadzony jest w zbiorczych instalacjach. Technologię tę stosuje się w USA, Niemczech, Japonii, W. Brytanii, we Włoszech .Jednak nawet przy możliwości odzysku aminy, należy dążyć do zmniejszenia jej zużycia w procesie utwardzania, zarówno z punktu widzenia kosztów, jak i ochrony środowiska. Można to uzyskać poprzez zastosowanie rozpuszczalników roślinnych, które zwiększają reaktywność aminy, dzięki temu można zmniejszyć jej ilość. Jeżeli amina nie jest odzyskiwana, to ścieki mogą być oczyszczane w biologicznej oczyszczalni ścieków, w celu usunięcia związków azotu.

8.5.4 Odlewanie i wybijanie

Tam gdzie jest to uzasadnione względami technologicznymi, ekonomicznymi i ekologicznymi należy stosować suche metody odpylania gazów odlotowych. Suche metody odpylania nie generują ścieków.

Odlewanie do form trwałych

Zalecane:

- zbieranie wycieków cieczy z układów hydraulicznych do obiegu ścieków i ich neutralizacja,
- minimalizacja ilości zużywanego środka antyadhezyjnego i wody przy odlewaniu ciśnieniowym do kokil poprzez:
  - automatyzację procesu natryskiwania (kontrolę ilości stosowanego środka antyadhezyjnego i przystosowanie zużytej ilości do potrzeb danego odlewu),
  - optymalizację stopnia rozcieńczenia (stopień rozcieńczenia środka antyadhezyjnego powinien być tak dobrany, aby zachował on równowagę pomiędzy działaniem jako powłoka ochronna i jako czynnik chłodzący kokile),
  - zastosowanie chłodzenia wewnętrznego kokili (chłodzenie kokili może być częściowo przeprowadzone poprzez chłodzenie wewnętrzne z zastosowaniem obiegu wodnego).

8.6 Minimalne wymagania dotyczące monitoringu jakości ścieków

W przypadku odprowadzania *ścieków przemysłowych* do kanalizacji odbiorcy ścieków proponuje się prowadzić monitoring tych ścieków zgodnie z warunkami umowy pomiędzy odbiorcą ścieków, a odlewnią:

Ścieki przemysłowe odprowadzane do wód należy monitorować z częstotliwością:

- *1 raz na kwartał* na obecność podstawowych zanieczyszczeń: temperatura, odczyn pH, zawiesina, $ChZT_{Cr}$, BZT_5, siarczany, chlorki, żelazo, fenole lotne.

9. EFEKTYWNOŚĆ ENERGETYCZNA PROCESÓW

9.1 Analiza stanu istniejącego

Produkcja odlewnicza wiąże się z dużym zapotrzebowaniem na energię. W zależności od rodzaju produkowanych stopów, sposobu topienia i obróbki metalu, metod i urządzeń do przygotowania masy (regeneracji mas), procesów zastosowanych do wykańczania odlewów (obróbki cieplne) zużywane są w odlewniach różne nośniki energii, wśród których jako główne należy wymienić: energię elektryczną, gaz ziemny, gaz koksowniczy, koks, olej opałowy, energię cieplną, gazy techniczne (tlen, acetylen), sprężone powietrze czy woda.

W przypadku odlewni, procesy topienia i przetrzymywania ciekłego metalu mają największy udział w zużyciu energii. W zależności od rodzaju zastosowanych pieców (elektryczne piece łukowe, elektryczne piece indukcyjne, żeliwiaki, itp.) zużycie energii elektrycznej do wytapiania metalu może przekroczyć nawet 40% całości zapotrzebowania odlewni na energię elektryczną.

W wielu procesach odlewniczych zużywane są także duże ilości sprężonego powietrza (sprężarkowania - energia elektryczna). Innym poważnym odbiorcą energii elektrycznym są maszyny do odlewania ciśnieniowego. W odlewniach w których stosuje się gorące procesy wytwarzania rdzeni (np. proces skorupowy, hot – box) zużywa się duże ilości energii elektrycznej lub gazu. Znaczy udział w zużyciu energii maja także procesy obróbki cieplnej (gaz, energia elektryczna) i wygrzewania kadzi odlewniczych (gaz). Stosunkowo duża ilość systemów wentylacyjnych, instalacji odpylania, pomp wodnych (np. obiegi chłodzenia), jakie najczęściej zainstalowane są w odlewniach pobierają także znaczące ilości energii.
Energia zużywana jest także do ogrzewania budynków, oświetlenia pomieszczeń i ogrzewania wody na potrzeby socjalne. Przykładowe zużycie energii dla dwóch typów odlewni prezentuje tabela 9.1.

Tabela 9.1. Przykładowe zużycie nośników energii w odlewni

Czynność	Odlewnia metali nieżelaznych %	Odlewnia staliwa- elektryczny piec łukowy %
Wytop	30	44
Przetrzymywanie metalu	30	-
Rozruch instalacji	15	-
Sprężone powietrze	14	10
Urządzenia grzewcze	3	-
Obróbka cieplna - gaz	8	7
Różne/inne	-	39

W przypadku topienia metali, rodzaj używanych nośników energii i wielkość ich zużycia jest bardzo zróżnicowana i zależy głównie od stosowanych technik i technologii wytopu. Poniżej przytoczone zostały przykładowe poziomy zużycia energii w procesach topienia w oparciu o Dokument Referencyjny BREFF. Przedstawione poziomy zużycia energii należy traktować jako orientacyjne ze względu na niewielka ilość danych, często opartych na przykładzie pojedynczej odlewni. W przypadku procesu topienia, obok rodzaju pieca, ważnym jest także fakt czy piece pracują w ruchu ciągłym czy jak w wielu odlewniach okresowo. Praca okresowa powoduje większy stopień wychłodzenia wymurówki pieca, a co za tym idzie zwiększenie zużycia energii w procesie topienia.
Przykładowe zapotrzebowania na energię w procesie topienia metalu przedstawia się następująco:

- żeliwiaki z zimnym dmuchem: całkowite zużycie koksu waha się w granicach 110 – 140 kg/Mg wsadu, co odpowiada zapotrzebowaniu na 950 – 1200 kWh/Mg wsadu
- żeliwiaki z gorącym dmuchem: zużycie koksu 95 – 130 kg/Mg wsadu co odpowiada zapotrzebowaniu na 810 – 1100 kWh/Mg wsadu
- elektryczne piece łukowe: przy topieniu stali zapotrzebowanie na energię elektryczną waha się w granicach 500 – 700 kWh/Mg wsadu.
- indukcyjny piec bezrdzeniowy: przy topieniu żeliwa zapotrzebowanie na energię elektryczną waha się w granicach 520 – 800 kWh/Mg wsadu
- piec obrotowy: przy topieniu żeliwa zapotrzebowanie energetyczne waha się od 600 – 800 kWh/Mg wsadu.
- piec szybowy do wytopu aluminium: całkowite zapotrzebowanie na energię około 890 kWh/Mg dobrych odlewów (w tym energia elektryczna – 172 kWh, a gaz ziemny 717 kWh)
- piec indukcyjny do topienia aluminium: zużycie energii elektrycznej zmienia się do 540 – 600 kWh/Mg wsadu
- piec trzonowy do wytopu aluminium: zapotrzebowanie na energię waha się od 975 – 1150 kWh/Mg ciekłego metalu
- piec tyglowy do wytopu aluminium: całkowite zapotrzebowanie na energię wynosi około 952 kWh/Mg dobrych odlewów w tym gaz ziemny 538 kWh, a energia elektryczna 414 kWh
- piec tyglowy do odlewnia mosiądzu: pobór energii elektrycznej około 1360 kWh/Mg dobrych odlewów.

Danych dotyczących zużycie energii w pozostałych procesach odlewniczych jest w Dokumencie Referencyjnym BREF niewiele. W przypadku przygotowania form i rdzeni jako przykładowe podano dane z produkcji rdzeni metodą hot – box w odlewni mosiądzu, gdzie na 1 Mg dobrych odlewów zużywano przeciętnie 353 kWh energii elektrycznej, 7 kg propanu i 187,1 kWh energii sprężonego powietrza.
W przypadku trzech odlewni stosujących odlewanie ciśnieniowe aluminium (kokile) zużycie energii elektrycznej na 1 Mg dobrych odlewów wahało się od 652 do 1380 kWh.

9.2. Techniki zmniejszające zużycie nośników energii

Zmniejszenie oddziaływania na środowisko może być osiągane poprzez wdrożenie technik ograniczających zużycie energii i poprawę efektywności energetycznej. Ponieważ poprawa efektywności energetycznej może wiązać się ze zwiększaniem innych oddziaływań na środowisko należy dokonać oceny tych oddziaływań biorąc pod uwagę koszty i korzyści dla środowiska.

Redukcję zużycia nośników energii i poprawę efektywności energetycznej odlewni można osiągać poprzez różnorodne działania, zarówno ogólne jak i specyficzne dla branży odlewniczej.

Wśród działań ogólnych na rzecz poprawy efektywności energetycznej należy wymienić:
1. Skuteczny system zarządzania energią poprzez:
   - ustanowienie polityki energetycznej (może być elementem systemu zarządzania) zawierającej ramy dla właściwego podejścia do efektywności energetycznej,
   - monitorowanie i analizę zużycia energii i ustalanie celów,
   - kontrole zużycia nośników energii,
   - podnoszenie świadomości pracowników w zakresie poszanowania energii.
2. Spełnianie podstawowych wymagań energetycznych poprzez:

- optymalizację systemów grzewczych w celu zmniejszenia dodatkowego zużycia energii (nie ma przegrzewania, niepotrzebnego grzania),
- zarządzanie i planowanie pracy pieców w celu minimalizacji czasu przestojów (np. piece do wytopu metali, piece do obróbek cieplnych),
- regularne sprawdzanie i utrzymanie sprawności technicznej instalacji sprężonego powietrza (np. likwidacja nieszczelności, itp.),
- prawidłowe utrzymanie sieci dystrybucji pary wodnej w celu zminimalizowania strat ciepła (np. uszczelnienie zbiorników pary),
- regularne naprawy urządzeń chłodzących,
- regularne czyszczenie powierzchni grzewczych i urządzeń doprowadzających ciepło (np. wymienniki ciepła),
- wyłączanie urządzeń/oświetlenia kiedy nie są wykorzystywane,
- prawidłowa eksploatacja i serwisowanie napędów,
- optymalizacja doboru urządzeń oczyszczających, metod oczyszczania filtrów.

3. Realizację podstawowych, ogólnych działań technicznych poprzez:
   - izolację systemów przesyłu pary wodnej i wody,
   - zamontowanie szczelnych bram (drzwi), pokryw, kotar, uszczelnienie okien,
   - montowanie automatycznych czujników odcinających dopływ wody lub ciepła,
4. Prawidłową eksploatację budynków poprzez:
   - podjęcie działań modernizacyjnych jeżeli zużycie energii dla budynków przekracza 5% całego zużycia energii,
   - stosowanie energooszczędnego oświetlenia, systemów sterowania,
   - stosowanie energooszczędnych urządzeń grzewczych, lokalnych podgrzewaczy wody, termostatów, izolacji termicznych,
   - stosowanie wentylacji grawitacyjnej,

Wśród specyficznych metod poprawy efektywności energetycznej można, jako ogólne (dla każdego rodzaju działalności), wymienić następujące techniki :

- stosowanie napędów z regulacją prędkości obrotowej (pompy, wentylatory),
- stosowanie odzysku ciepła technologicznego,
- stosowanie zamkniętych obiegów wody (redukcja zużycia wody),
  stosowanie technologii energooszczędnych (np. ogrzewanie mikrofalowe, ogrzewanie prądem wysokiej częstotliwości),
- optymalizacja przebiegu procesów,
- uwzględnianie zużycia energii przy projektowaniu technologii,
- nadzór nad procesami i wyposażeniem pomiarowym.

Specyficzne metody poprawy efektywności energetycznej dla branży odlewniczej.

Podobnie, jak w innych gałęziach przemysłu także w odlewnictwie stosuje się szereg sposobów i działań technicznych dla uzyskania poprawy efektywności energetycznej procesów, a co za tym idzie redukcji zużycia nośników energii. Dotyczy to przede wszystkim procesu wytapiania metali gdzie zużycie nośników energii w wielu odlewniach sięga 50% całego zapotrzebowania energetycznego, ale także i innych procesów związanych z przygotowaniem formy czy wykańczania odlewów. Należy także zaznaczyć, że wiele działań technicznych mających na celu usprawnienie procesu wytapiania (wydajność, jakość metalu) wpływa również na polepszenie sprawności cieplnej pieca i redukcję zużycia nośników energii. W niektórych przypadkach usprawnienia związane są z dodatkowym poborem energii (np. podgrzewanie elektryczne dmuchu powietrza czy wzbogacenie dmuchu w tlen w żeliwiakach), więc dla prawidłowej oceny efektów energetycznych czy ekonomicznych należy dokonać porównania całkowitego zapotrzebowania na energię w danym procesie.

Jako rekomendowane NDT dla branży odlewniczej w zakresie poprawy efektywności energetycznej można wymienić działania w następujących obszarach :

1. złom wsadowy:

- stosowanie czystego złomu, bez resztek masy formierskiej, materiałów ogniotrwałych czy gruntu (na przykładzie jednej z odlewni określono, że zużycie koksu w żeliwiaku spadło o 10 – 20% po zastosowaniu czystego złomu),
- stosowanie suchego złomu,
- dobra jakość złomu i jego odpowiednio dobrana wielkość (tzw. złom „gruby'' pozwala efektywniej załadować wsad do większych pieców zmniejszając ilość doładunków wsadu w trakcie wytopu).

2. Wytapianie i obróbka ciekłego metalu:

a. żeliwiaki:

- optymalizacja pracy pieca (szybkość/wydatek dmuchu, szybkość topienia),
- unikanie nadmiernych temperatur,
- równomierne wprowadzenie wsadu,
- minimalizacja strat powietrza,
- zapobieganie zjawisku tworzenia się „mostków'' (zawieszanie się wsadu w piecu),
- stosowanie dobrych wymurówek pieców, stała kontrola i prowadzenie bieżących napraw pospustowych,
- kontrola jakości stosowanego paliwa (np. wartość kaloryczna koksu),
- instalacja drugiego rzędu dysz doprowadzania powietrza (zwiększenie sprawności cieplnej pieca, zmniejszenie zużycia koksu),
- wzbogacenie dmuchu powietrza w tlen (zwiększenie sprawności cieplnej pieca, zmniejszenie zużycia koksu ale zużycie dodatkowego nośnika energii – tlenu),
- podgrzewanie powietrza dmuchu w żeliwiakach z gorącym dmuchem, (zmniejszone zużycie koksu ale dodatkowe zużycie energii elektrycznej),
- ocena możliwości/wdrożenie wykorzystania ciepła odpadowego (np. wykorzystanie ciepła odpadowego do podgrzewania dmuchu, suszenia rdzeni, wytwarzania energii elektrycznej),

b. piec obrotowy – wytop żeliwa:

- stosowanie palników tlenowych,
- ocena możliwości/wdrożenie wykorzystania ciepła odpadowego,

c. elektryczne piece łukowe:

- skracanie czasu topienie i obróbki (np. dobra jakość złomu, dokładna kontrola składu oraz masy materiałów wsadowych i żużlotwórczych, kontrola temperatury, skuteczne metody poboru próbek i ściągania żużla),
- zastosowanie wtórnej metalurgii (obróbka ciekłego metalu w AOD, VOD),
- zastosowanie technologii spienionego żużla,
- minimalizacja i kontrola zużycia wyłożenia ogniotrwałego.

d. elektryczne piece indukcyjne:

- dopasowane i utrzymywanie w dobrym stanie technicznym pokrywy pieca,
- minimalizacja czasu otwierania pokryw (dla pieca o pojemności 10 Mg przy otwarciu pokrywy straty ciepła mogą wynosić 130 kWh/tone metalu),
- optymalizacja procesu topienia (np. unikanie nadmiernych temperatur i niepotrzebnego przegrzania),
- minimalizacja i kontrola zużycia wyłożenia ogniotrwałego,
- stosowanie pieców średniej (250 Hz) częstotliwości (sprawność cieplna pieców o średniej częstotliwości jest o około 10% wyższa niż pieców o częstotliwości sieciowej - 50 Hz),

- ocena możliwości (wdrożenie) wykorzystania ciepła odpadowego z układu chłodzenia (w jednej z odlewni zastosowano odzysk ciepła z instalacji chłodzącej, olejowej do ogrzewania pobliskich pomieszczeń).

3. Wykonywanie form i rdzeni:

- minimalizacja strat masy formierskiej i rdzeniowej - (np. przy produkcji dużych odlewów optymalny dobór skrzyń formierskich, optymalizacja osiągów mieszarek, monitoring zużycia masy dla danych asortymentów, usprawnianie technologii dla polepszenia stosunku masa formierska : ciekły metal),
- suszenie powłok ochronnych przy użyciu mikrofal (na razie nie znalazło zastosowania na skalę przemysłową, wysokie koszty inwestycyjne , redukcja zużycia energii 4 – 5 krotna w porównaniu z suszeniem gorącym powietrzem),
- odlewanie do form pełnych (alternatywne metody wykonywania form i rdzeni): mniejsze zużycie energii niż w przypadku tradycyjnych metod wykonania formy, zastosowanie metody ma głównie miejsce w odlewniach aluminium przy seryjnej produkcji małych i średnich odlewów.

4. Poprawa uzysku metalu (uzysk metalu jest definiowany jako stosunek ciężaru gotowego odlewu do ciężaru wytopionego metalu):

- efektywna technologia (prawidłowo zaprojektowane nadlewy, układy wlewowe, optymalizacja skrzynki formierskiej),
- stosowanie symulacji komputerowej procesu zalewania i krzepnięcia,
- zmniejszanie strat metalu poprzez poprawne prowadzenie procesu topienia i zalewania,
- poprawne prowadzenie procesu formowania i wykonywania rdzeni, aby zmniejszyć ilość wybrakowanych odlewów.

5. Transport ciekłego metalu:

- stosowanie czystych kadzi, podgrzanych do jasno czerwonego koloru,
- stosowanie możliwie największych kadzi do rozprowadzania i zalewania metalu wyposażonych w pokrywy zabezpieczające przed utratą ciepła,
- stosowanie pokryw na kadzie puste,
- minimalizowanie konieczności transportu metalu z kadzi do kadzi,
- maksymalnie szybkie, z zachowaniem zasad bezpieczeństwa przewożenie metalu.

6. Wykańczanie odlewów:

- stosowanie w procesie obróbki cieplnej odlewów zautomatyzowanych pieców z kontrolą spalania.
- redukcja zużycia sprężonego powietrza (nowe narzędzia pneumatyczne, wymiana narzędzi pneumatycznych na elektryczne),
- poprawa jakości odlewów (mniej usuwania wad, mnie napraw).

7. Wychwytywanie gazów odlotowych, instalacje odpylające:

- stosowanie suchych systemów odpylania powoduje mniejsze zużycie energii niż przy zastosowaniu systemów mokrych (np. piece łukowe, indukcyjne).

8. Zarządzanie środowiskowe (EMS):

- kontrola procesów (także pod względem efektywności energetycznej),
- monitorowanie zużycia nośników energii,
- ustanawianie celów poprawiających efektywność energetyczną.

Jako jeden ze szczególnie ważnych elementów EMS dla przemysłu odlewniczego uznane zostało między innymi zastosowanie benchmarkingu sektorowego (jeżeli to możliwe) dla ustalenia prawidłowych zasad dotyczących sprawności energetycznej i działań w zakresie zachowania energii

9.3. Problematyka energetyczna w odlewniach polskich

W tabeli 9.2., 9.3. i 9.4. przedstawiono ogólny poziom zużycia nośników energii w odlewniach krajowych.

Tabela 9.2. Zużycie nośników energii w krajowych odlewniach stopów żelaza

Nośnik energii	Produkcja staliwa	Produkcja żeliwa	Produkcja staliwa i żeliwa
Energia elektryczna: kWh/1Mg odlewu kWh /1Mg ciekłego metalu	 3288 – 3340 1458 - 2086	 609 – 2500 318 - 1300	 1144 – 2605 902 - 1304
Gaz ziemny: Nm^3/1Mg odlewu Nm^3/1Mg ciekłego metalu	 323 – 514 158 - 275	 9 – 123 5.5 – 46.2	 -
Energia cieplna: GJ/1Mg odlewu GJ/1Mg ciekłego metalu	 5.3 – 7.2 2.6 – 4.0	 -	 -
Sprężone powietrze: m^3/1Mg odlewu m^3/1Mg ciekłego metalu	 550 434	 139	 -
Tlen m^3/1Mg odlewu	 30.7 – 62.3	 -	 -
Koks Mg/1Mg odlewu Mg/1Mg ciekłego metalu	 -	 0.170 0.123	 -
Olej opałowy kg/1Mg odlewu kg/1Mg ciekłego metalu	 -	 2.0 1.0	 -

Tabela 9.3. Zużycie energii elektrycznej i paliwa przy wytapianiu stopów żelaza

Rodzaj stopu	Rodzaj pieca	Zużycie energii elektrycznej lub paliwa
Żeliwo szare i sferoidalne	żeliwiak żeliwiak + piec elektryczny piec płomienny piec elektryczny łukowy piec indukcyjne małej częstotliwości	12 – 16% koksu [1)] 12 – 14% koksu + 150 – 180 kWh/t 25 – 30% pyłu węglowego 650 – 850 kWh/t 500 – 600 kWh/t
Żeliwo ciągliwe białe	żeliwiak (zimny dmuch) żeliwiak (gorący dmuch) żeliwiak + piec elektryczny piec bębnowy (gaz) piec płomienny	16 – 20% koksu 10 – 13% koksu 12 – 15% koksu + 170 – 180 kWh/t 400 – 450 m^3/t 20 – 25% oleju opałowego
Żeliwo ciągliwe czarne	żeliwiak + piec elektryczny piec płomienny	12 – 15% koksu + 170 – 200 kWh/t 25 – 35% pyłu węglowego
Staliwo	piec elektryczny łukowy piec elektryczny łukowy piec bębnowy (olej) piec indukcyjny małej częstotliwości	700 – 800 kWh/t – wytop normalny 800 – 950 kWh/t - podwójny żużel 35 – 40% oleju opałowego 500 – 700 kWh/t

Staliwo kwaso- i żaroodporne	piec elektryczny wysokiej częstotliwości piec elektryczny łukowy promieniujący piec bębnowy (olej)	800 – 900 kWh/t 850 – 950 kWh/t 30 – 35% oleju opałowego
[1)] % w stosunku do masy wsadu		

Tabela 9.4. Zużycie energii i paliw w krajowych odlewniach

Rodzaj stopu	**Rodzaj pieca**	**Żużycie energii elektrycznej lub paliwa[1)]**				
		Energia elektryczna [kWh]	Gaz ziemny [Nm^3]	Koks [kg]	Olej opałowy [kg]	Tlen [m^3]
Żeliwo (szare, sferoidalne ciągliwe)	Żeliwiak – zimny dmuch	58 - 100	4.8 – 5.4	120 - 160	-	-
	Żeliwiak – gorący dmuch	80 - 128	-	-	29.4	-
	Piec indukcyjny – 50 Hz	640 – 900	-	-	-	-
	Piec indukcyjny – 250 Hz	657 - 690	-	-	-	-
	Piec łukowy	687 - 752	-	-	-	-
Staliwo	Piec łukowy	680 - 875	-	-	-	5.7 – 20.0
	Piec indukcyjny – 50 Hz	740	-	-	-	-
Brązy	Piec indukcyjny – 50 Hz	500 - 559	-	-	-	-
[1)] – dane na 1Mg ciekłego metalu						

W tabeli 9.5. przedstawiono przykładowe zużycie nośników energii w procesach i urządzeniach odlewniczych w krajowych odlewniach.

Tabela 9.5. Zużycie nośników energii w rożnych procesach odlewniczych

Proces	**Odlewnia żeliwa**	**Odlewnia staliwa**
Formowanie odlewów: - energia elektr. w kWh/ 1 Mg odlewu - gaz ziemny w m^3/1 Mg odlewu	65.8 – 162.0	432.0 – 702.0 29.5 – 36.8
Rdzeniarnia: - energia elektr. w kWh/ 1 Mg odlewu	1080.0	
Wykańczanie odlewów: - energia elektr. w kWh/ 1 Mg odlewu - tlen w m^3/1 Mg odlewu - acetylen w m^3/1 Mg odlewu	72.0 – 150.0 18.0 – 49.0	313.0 – 1381.0 2.4 – 3.4
Obróbka cieplna: - energia elektr. w kWh/ 1 Mg odlewu - gaz ziemny w Nm^3/1 Mg odlewu	168.0 – 383.0	100.0 – 148.0 30.0
Sprężarkownia: - energia elektr. w kWh/ 1 Mg odlewu	79.1 – 591.0	

Należy zaznaczyć, że przedstawione w powyższych tabelach wskaźniki zużycia nośników energii w odlewniach polskich nie są w pełni reprezentatywne z powodu niewielkiej ilości danych jakie można było uzyskać z odlewni. Porównanie poszczególnych odlewni, czy też odniesienie wskaźników do przykładów podanych w materiałach referencyjnych jest do-

datkowo utrudnione przez duże zróżnicowanie stosowanych w odlewniach technologii i technik topienia, przygotowania formy czy wykańczania odlewów.

Oceniając stan krajowych odlewni w zakresie efektywności wykorzystania energi można sformułować następujące wnioski:

1. W odlewniach brak jest szczegółowych danych (w odniesieniu do danego procesu) dotyczących zużycia nośników energii. Większość tych danych odnosi się do całkowite zużyciu energii elektrycznej i gazu ziemnego oraz zużyciu energii elektrycznej w procesach topienia metalu i formowania. Niewielka ilość informacji dotyczyła pozostałych procesów odlewniczych.
2. Zużycie nośników energii w procesie topienia metali nie odbiega zasadniczo od danych przytaczanych w dokumentach referencyjnych (w dokumentach referencyjnych nie określono wskaźników zużycia nośników energii dla procesu topienia). Uzyskane dane dotyczą głównie zużycia energii elektrycznej, niewiele danych uzyskano na temat poziomu zużycia innych nośników energii (koks, gaz ziemny, tlen, olej opałowy).
3. Zużycie nośników energii w pozostałych procesach/urządzeniach jest dosyć zróżnicowane
   i podane wartości należy traktować jako orientacyjne. Określenie wartości referencyjnych jest obecnie niemożliwe (w dokumentach referencyjnych praktycznie brak jest informacji
   o poziomach zużycia energii dla innych procesów) .
4. W wielu odlewniach piece do wytopu metalu pracują w ruchu ciągłym lub w dłuższych kampaniach, co jest korzystne z punktu widzenia oszczędności energii.
5. W wielu odlewniach zrealizowano lub realizuje się działania (programy) w zakresie redukcji zużycie energii lub poprawy efektywności energetycznej procesów. Osiągana jest zgodność z NDT w zakresie działań ogólnych czy specyficznych dla przemysłu odlewniczego.
   Jako główne działania można tu wymienić:

- modernizacja pieców do obróbki cieplnej (nowe typy palników, automatyka, kontrola procesu, wycofanie gazu koksowniczego),
- instalacja do pozapiecowej obróbki ciekłej stali,
- instalacja pieca indukcyjnego średniej częstotliwości,
- modernizacja/instalacja nowych sprężarek,
- redukcja zużycia sprężonego powietrza (nowe maszyny i narzędzia, wymiana narzędzi pneumatycznych na elektryczne),
- zastosowanie systemów symulacji komputerowej procesów zalewania i krzepnięcia,
- wymiana wentylatorów i napędów,
- działania ogólne: modernizacja oszklenia, instalacja nowych bram, modernizacja oświetlenia, modernizacja sieci ciepłowniczych, itp..

6. W kilku odlewniach stosowany jest odzysk ciepła odpadowego i wykorzystanie go do: podgrzewania wody użytkowej, suszenia materiałów wsadowych, ogrzewania pomieszczeń.
7. Kilka odlewni planuje podjęcie działań w zakresie wykorzystania ciepła odpadowego lub poprawy efektywności procesów. Jako przykładowe można podać:

- zastosowanie ciepła odpadowego z sprężarkowni do podgrzewania wody użytkowej,
- zastąpienie elektrycznych pieców łukowych elektrycznymi piecami indukcyjnymi średniej częstotliwości,

8. Odlewnie posiadające wdrożony (lub na etapie wdrażania) system zarządzania środowiskowego w lepszym stopniu monitorują zużycie nośników energii.

10. REGENERACJA ZUŻYTEJ MASY

10.1 Analiza stanu w zakresie regeneracji mas

10.1.1 Rodzaje mas stosowanych w odlewniach

Podstawowym rodzajem masy formierskiej jest klasyczna masa z bentonitem i pyłem węglowym lub z organicznymi nośnikami węgla błyszczącego określanymi skrótowo jako skladniki węglonośne, która jest stosowana w ponad 90% polskich odlewni.

W przypadku wytwarzania odlewów z żeliwa szarego oraz sferoidalnego stosuje się jednolite masy formierskie z bentonitem o przeciętnym składzie:

a). Masa sporządzana ze składników świeżych:

90 - 92% wagowych - piasek kwarcowy, 6-8% bentonit, 2,0 - 2,5 - pył węglowy lub składniki węglonośne. Coraz częściej są stosowane gotowe mieszanki bentonitowe zawierające 75-80% bentonitu i 20-25% nośnika węgla błyszczącego.

b) Masa sporządzana z wykorzystaniem masy używanej (obiegowej):

85 - 95% wagowych - masa używana, 5-10% wag. piasek kwarcowy, 1,5 - 3,0% bentonit, 1,0 - 1,5 - pył węglowy lub składniki węglonośne.

10.1.2 Zużycie piasku świeżego w odlewniach

W tabeli 10.1 zamieszczono dane dotyczące ilości zużywanego piasku oraz kosztów jego zakupu w krajowych odlewniach.

Ogółem w Polsce zużywa się rocznie do celów odlewniczych około 700 tys. Mg piasku świeżego. Do sporządzania mas formierskich wykorzystuje się około 10 -15%, natomiast do mas rdzeniowych i chemoutwardzalnych mas formierskich - ok. 85%.

Dla odlewów staliwnych zużycie świeżego piasku waha się od 3 Mg do 1,5 Mg na 1 Mg odlewów. Znacznie mniejsze jest zużycie świeżego piasku w odlewniach żeliwa i metali nieżelaznych, co powoduje że ogólny wskaźnik zużycia dla odlewni wynosi średnio 770 - 820 kg/1 Mg odlewów.

Zalecane średnie zużycie piasku formierskiego przeliczone na 1 Mg wszystkich odlewów nie powinno być w Polsce większe od ok. 1 Mg na 1 Mg odlewów.

Średnia wartość obciążenia cieplnego form jest uzależniona od rodzaju tworzywa i asortymentu odlewów (stosunku metal/forma). Wartość ta dla odlewów żeliwnych wynosi średnio 0.2 - 0,25, dla odlewów staliwnych 0,1 - 0,2. Wyjątek stanowią duże odlewy żeliwne wlewnic, wykonywane w formach z masy bentonitowej, dla których średnia wartość obciążenia cieplnego wynosi ok. 0,9 - 1,0.

10.1.3 Koszty zakupu świeżego piasku

Koszty zakupu świeżego piasku w poszczególnych odlewniach zamieszczono w tablicy 10.1. W polsce cena świeżego piasku wynosi w przeliczeniu 7-21,5 EUR, co stanowi 21- 66% przeciętnej ceny podanej w dokumencie BREF. Rozpiętość cen piasku jest związana z jego jakością i gatunkiem oraz z kosztami transportu, a także z tym, czy piasek jest suszony czy mokry.

10.1.4 Podstawowe urządzenia technologiczne do sporządzania i przerobu mas

Podstawowe urządzenia technologiczne w odlewni związanie z przygotowaniem bentonitowych mas formierskich obejmują stosowanie mieszarek krążnikowych oraz mieszarek wirnikowych tzw. turbinowych. Stosuje się także mieszarki pobocznicowe starszego typu wypierane stopniowo przez nowsze rozwiązania. Z punktu widzenia NDT najkorzystniejsze jest stosowanie mieszarek nowej generacji umożliwiających stosowanie mokrego piasku i eliminujących konieczność jego suszenia termicznego związanego z zapotrzebowaniem ciepła wynoszącego ok. 6000 kJ/kg Inną korzyścią jest zmniejszenie zapylenia w otoczeniu mieszarki dzięki pełnej jej hermatyzacji.

Tabela 10.1 Zestawienie wartości wybranych wskaźników obrazujących fluktuację zużycia świeżego piasku na tonę odlewów, koszty zakupu piasku oraz wpływ regeneracji i recyklingu wewnętrznego na ilość odpadów ~~kierowanych na wysypisko~~.

Odlewnia	Produkcja Odlewni Mg/rok	Zużycie piasku świeżego na 1 Mg odlewów [Mg/Mg]	Koszt piasku [PLN]	Ilość odpadów masy formierskiej i rdzeniowej [Mg/rok]		Udział osnowy odzyskanej w wyniku regeneracji i recyklingu [%]
				Wytworzona	Nie poddawana regeneracji	
1.	5000 - 8000	1,4 - 1,6	150	33074	9922	Regeneracja -70
2.	1800	0,78 (1,38)*	15**	1117 (2480)*	744	Regeneracja -70
3.	12438	0,14	50	1700	1700	-
4.	8800	0,395	64-74	3050	3050	-
5.	10000	0,18 (0,307)*	51	4470	3263	Regeneracja-27
6.	23065	1,8	35	55000	41250	Regeneracja -25
7.	2330	3,19	19	11200	6484	Regeneracja- 43
8.	9186	0.097	26,2	900	720	Recykling - 20
9.	16000	0,20	90	2615	2092	Recykling - 20
10.	10000	0.17 (0,34)*	117	3406	341	Recykling - 90
11.	10429	2,58	21	24729	6200	Regeneracja -75
12.	3100	0,64	-	2600	2080	Recykling - 20
13.	12103	0,38	116,4	8040	6270	Regeneracja -22
14.	35454,7	0,80	16	14326	14326	-
15.	13961	0,945	-	13196	1319,6	Regeneracja -90
16.	4937	0,355	27-mokry 86-suchy	1753	175,3	Regeneracja -90
średnia	Σ 173524	0,77(0,82)*	53,85 - 60,0	Σ 179 939	Σ 90 114	Śr. 25,1%

*) Wartości skorygowane w oparciu o dane zawarte w ankiecie

**) Kursywą zaznaczono piaski mokre, prawdopodobnie loco kopalnia

Do sporządzania mas rdzeniowych stosuje się mieszarki łopatkowe o pionowej osi mieszania tzw. skrzydełkowe, mieszarki krążnikowe (mniej zalecane), a dla dużych rdzeni i form wykonywanych z sypkich mas chemoutwardzalnych stosuje się mieszarko-nasypywarki, będące mieszarkami korytowymi z poziomą osią mieszadła.

Podstawowe urządzenia technologiczne w polskich odlewniach związanie z wykonywaniem form obejmują formierki wstrząsowo-prasujące, stopniowo wycofywane ze względu na wartość generowanego hałasu (pow. 85 dB(A)), a także nowsze formierki impulsowe oraz strumieniowe (proces SEIATSU). W kilku odlewniach stosuje się automatyczne linie formowania DISAMATIC oraz inne rozwiązania automatów formierskich. Praktycznie zostały wyeliminowane narzucarki do wykonywania form. Duże formy zagęszcza się za pomocą ręcznych ubijaków pneumatycznych z uwagi na brak odpowiednich rozwiązań np. duzych stołów wibracyjnych.

Urządzeniami związanymi z wybijaniem odlewów z form wykonanych z masy bentonitowej są kraty wstrząsowe, kraty samopodające i bębny do wybijania. Z punktu widzenia NDT najkorzystniejsze są bębny do wybijania, w których istnieje możliwość chłodzenia i homogenizacji masy oraz chłodzenia odlewów z jednoczesnym zmniejszeniem poziomu generowanego hałasu i zapylenia. Korzystne jest stosowanie krat wstrząsowych umieszczonych w pyło- i dźwiękoszczelnych obudowach. Duże formy z sypkich mas chemoutwardzalnych wybija się ręcznie oraz na kratach wstrząsowych oddzielonych przegrodami od innych części hal produkcyjnych. .

Przygotowanie mas bentonitowych do odświeżania obejmuje rozbrylenie grud i bloków masy, przesianie, oddzielenie zanieczyszczeń metalowych i niemetalowych, chłodzenie i nawilżanie masy oraz mieszanie z dodatkami odświeżającymi (piasek, bentonit, nośnik węgla błyszczącego). W nowoczesnych obiegach masy stosuje się ponadto urządzenia do homogenizacji masy zwrotnej pozwalające na ujednorodnienie jej wilgotności oraz ochłodzenie poniżej tzw. "temperatury masy gorącej". Rolę homogenizatora spełnia także bęben do wybijania odlewów z masy, wyposażony w system dozowania wody i pomiaru temperatury oraz wilgotności masy.

Do regeneracji kieruje się zużyte masy z bentonitem i/lub nadmiar masy używanej, a także wybite masy ze spoiwami chemoutwardzalnymi, masy ze szkłem wodnym, masy rdzeniowe i uszkodzone formy i rdzenie. Korzystne i zalecane jest stosowanie selekcji mas według ich gatunków w celu wyodrębnienia mas jednolitych (*ang.* monosand), co prowadzi do znacznego uproszczenia i potanienia systemów regeneracji. Przy braku selekcji mamy do czynienia z mieszaniną mas zużytych (*ang.* mixed sands), z których odzyskanie osnowy piaskowej jest znacznie bardziej złożone i kosztowne.

Oczyszczalnia stanowi wyodrębnioną część odlewni wyposażoną w stosowną sieć wentylacyjną oraz zabudowę stanowisk zmniejszającą propagację fal akustycznych generowanych podczas oczyszczania. Oczyszczanie powierzchniowe małych odlewów całkowicie jest realizowane w komorowych oczyszczarkach śrutowych, a odlewów większych w oczyszczarkach przelotowych. Są to rozwiązania spełniające wymogi NDT. Jedynie bardzo duże pojedyncze odlewy są oczyszczane ręcznie, z zastosowaniem odpowiednich narzędzi. Nie jest zalecane stosowanie oczyszczarek bębnowych starszego typu, które nie mają wyłożenia wyciszającego hałas.

10.1.5 Ilość i rodzaj generowanych odpadów mas formierskich i rdzeniowych

Zamieszczone w tabeli 10.1 dane wskazują, że średnia ilość odpadów masy formierskiej i rdzeniowej przypadająca na 1 Mg wyprodukowanych odlewów wynosi 1,036 Mg. Całkowita roczna masa wytworzonych w Polsce odpadów z technologii odlewniczych wynosi około 600.000 Mg. Można przyjąć, że ok. 70 % tych odpadów stanowią zużyte masy bentonitowe, a pozostałe 30% to odpady masy i rdzenie z pozostałych technologii, na które składają się:

- masy utwardzane w temperaturze otoczenia (np. masy furanowe, alkidowe, z zasadową żywicą fenolową utwardzane CO_2),
- masy rdzeniowe z technologii cold-box oraz nieutwardzone lub uszkodzone rdzenie.
- krzemianowe i masy ze szkłem wodnym utwardzane CO_2,
- masy cementowe,
- mieszaniny zużytej masy z bentonitem oraz mas ze spoiwami organicznymi.

10.1.6 Rodzaje i ilość masy zużytej kierowanej do wykorzystania poza odlewnią lub na składowisko

Jak wynika z tabeli 10.1 odlewnie kierują do wykorzystania gospodarczego poza odlewnią lub na wysypiska do 80% wytwarzanej masy formierskiej, w zależności od tego czy jest stosowana regeneracja czy też prosty recykling masy, zwany w dokumentach UE regeneracją wstępną, a w Polsce jako odświeżanie. Można przyjąć na podstawie uzyskanych danych, że odlewnie, w których funkcjonuje regeneracja określonego rodzaju masy zużytej, kierują do wykorzystania gospodarczego poza odlewnią lub na wysypisko średnio około 50% wytworzonych odpadów.

W grupie odlewni nie stosujących regeneracji udział odpadów masy wynosi około 80-85%, pozostałe 15-20% jest zawracane do obiegu na zasadzie prostego recyklingu. Średnio wszystkie odlewnie kierują na składowiska ok. 426.000 Mg (71%) odpadów, pozostałe

174.000 Mg (29%) jest zawracane do obiegu mas formierskich w wyniku regeneracji oraz recyklingu.

Istnieją jednak udowodnione przypadki, że recykling połączony z dobrze opanowanym procesem regeneracji wstępnej (odświeżania) i ciagłym procesem monitoringu właściwości masy pozwala na uzyskanie współczynnika wtórnego odzysku masy obiegowej na poziomie 90%. Zasady dobrej praktyki regenracji wstepnej podano w rodziale następnym. Pogląd, że w odlewniach wykonujących skomplikowane odlewy z dużą ilością rdzeni, ktore wymagaja stosowania innych mas niż podstawowa masa formierska, regeneracja właściwa masy bentonitowej jest nieopłacalna i nieuzasadniona również z ekologicznego punktu widzenia zaczyna przeważać także w państwach Unii Europejskiej. Dlatego należy szukać raczej sposobów zagospodarowania mas odwałowych poza odlewnią o czym mówią zapisy w branżowym BREF. Regenaracja właściwa jest oczywiście nadal bardzo zalecana, ale tylko tam gdzie mamy do czynienia z masami jednorodnymi (patrz – Rozdział. 10.2.2).

10.1.7 Selekcja mas zużytych (sposoby oddzielania i usuwania z obiegu mas zużytych)

Masy zużyte bentonitowe są usuwane najczęściej z miejsca powstawania odpadów np. grudy i nieprzepalone rdzenie oddzielone na sicie, odpady masy rdzeniowej i złom rdzeni w rdzeniarni, pyły z odpylania oczyszczarek w oczyszczalni, rozsypy spod krat do wybijania odlewów, rozsypy spod stanowisk formowania. Drugim sposobem jest gromadzenie masy zużytej i nadmiarowej w zasobnikach i systematyczne lub okresowe ich przekazywanie transportem wewnętrznym odlewni do stacji regeneracji lub do wykorzystania gospodarczego poza odlewnią albo na składowisko odpadów wewnętrzne (zakładowe), czy też zewnętrzne (komunalne). W przypadku regeneracji z mas odpadowych można maksymalnie odzyskać do 70% osnowy kwarcowej. Odpady mogą być bezpośrednio zabierane przez firmy zewnętrzne zajmujące się utylizacją i zagospodarowywaniem odpadów.

Zużyte masy chemoutwardzalne z technologii mas sypkich mas samoutwardzalnych SMS) oraz przepalone rdzenie z tych technologii w całości mogą stanowić materiał do regeneracji.

W wyniku regeneracji można z nich odzyskać do 90% osnowy kwarcowej. Jeżeli regeneracja nie jest stosowana, to odpady w całości są usuwane z obiegu i kierowane na składowiska, przy czym najczęściej wymagane jest ich częściowe uzdatnienie polegające na oddzieleniu zanieczyszczeń metalowych oraz rozkruszeniu dużych brył.

Trzeba zaznaczyć, iż warunki NDT powinny uwzględniać to, że wszystkie rodzaje masy zużytej przeznaczone do regeneracji wymagają odrębnego składowania, eliminującego zanieczyszczanie masy innymi odpadami technologicznymi (kamienie, oleje, drewno, śmieci, tworzywa sztuczne i pyły z cyklonów).

10. 2 Metody odzysku składników z mas zużytych

Jednym z podstawowych sposobów odzysku składnikow zawartych w masach zużytych formierskich i rdzeniowych jest proces regeneracji tych mas. Pozwala on na odzysk w pierwszej kolejności piasku, jak również bentonitu aktywnego i pyłu węglowego.

10.2.1 Rodzaje regeneracji i typy stosowanych instalacji regeneracyjnych

W zakresie procesu regeneracji osnowy z zużytych mas formierskich i rdzeniowych można wyodrębnić dwa podstawowe pojęcia obejmujące regenerację wstępną (*ang.* primary) oraz regenerację właściwą (*ang.* secondary). Odzuskany piasek w wielu przypadkach może mieć porównywalne, a czasami nawet lepsze właściwości od piasku świeżego.

Regeneracja wstępna jest najczęściej stosowana do uzdatnienia obiegowych mas formierskich przed procesem ich odświeżania. Umożliwia poprawę właściwości technologicznych mas sporządzanych na osnowie uzdatnionej w wyniku rozdrobnienia brył masy, usunięcia z

masy zanieczyszczeń metalowych i niemetalowych oraz oczyszczenia masy przez częściowe starcie z powierzchni ziaren zużytego materiału wiążącego i jej odpylenie. Regeneracja wstępna obejmuje rozbrylenie wybitych form i rdzeni do wielkości pojedynczych ziaren w wyniku kruszenia, przesiewania i klasyfikacji w celu wyodrębnienia osnowy o wymaganym składzie granulometrycznym. Zużyta masa przed skierowaniem do mieszarki podlega chłodzeniu połączonemu najczęściej z nawilżaniem oraz homogenizacji.
W tym stadium regeneracji ziarna tracą część zużytego materiału wiążącego, zachowując jednocześnie na swojej powierzchni część aktywnego lepiszcza. Od stopnia oczyszczenia masy obiegowej zależy ilość regeneratu, którym można zastąpić w masie świeży piasek przy zachowaniu na założonym poziomie wytrzymałości form i jakości odlewów. Osnowa wstępnie zregenerowana nie ma wystarczającej czystości kwalifikującej ją do wykonywania rdzeni, co wymagałoby jej dodatkowej obróbki polegającej na usunięciu z powierzchni ziaren pozostałości materiału wiążącego, stąd jest przeznaczona głównie do sporządzania masy formierskiej. Regenerację wstępną realizuje się głównie przez obróbkę w urządzeniach wibracyjnych, bębnach obrotowych i przy wybijaniu form za pomocą strumienia śrutu.
Aktualnie stosowane rozwiązania regeneratorów wibracyjnych - jednostopniowych i młyny bębnowe do suchej regeneracji mechanicznej są w świetle obecnego stanu wiedzy o regeneracji klasyfikowane bardziej jako urządzenia do rozdrabniania brył masy niż do jej właściwej regeneracji. Temu należy przypisać ich stosunkowo małą efektywność regeneracyjną w przypadku mieszaniny różnych rodzajów masy zużytej i konieczność ich wspomagania przez układy wielostopniowe.
Regeneracja właściwa obejmuje dalszą obróbkę wstępnie przygotowanej msy w celu usunięcia
z powierzchni ziaren osnowy pozostałości materiału wiążącego. W wyniku tej obróbki osnowa uzyskuje właściwości zbliżone lub korzystniejsze od wykazywanych przez świeży piasek formierski, pozwala na praktycznie pełną zamienność technologiczną piasku i regeneratu. W celu uwolnienia ziaren osnowy z pozostałości otoczek zużytego materiału wiążącego konieczne jest zastosowanie bardziej intensywnej obróbki regeneracyjnej w porównaniu z regeneracją wstępną. Do podstawowych sposobów technicznej realizacji regeneracji właściwej należą:

- obróbka mechaniczna realizowana w temperaturze otoczenia z zastosowaniem urządzeń:
  - *o małej intensywności* ścierania otoczki: procesy tarcia ściernego, kruszenie udarowe (dla mas sypkich samoutwardzalnych),
  - *o dużej intensywności* ścierania otoczki: pneumatyczne ścieranie, mielenie, tarcie pod działaniem siły odśrodkowej,
- regeneracja (obróbka) termiczna, zazwyczaj realizowana w złożu fluidalnym,
- regeneracja wodna z systemem płuczek.

Sypkie masy z żywicami utwardzanymi w temperaturze otoczenia można regenerować w prostych instalacjach mechanicznych ze względu na kruchość otoczek żywicy na ziarnach. Systemy regeneracji mechanicznej np. w złożu fluidalnym wykorzystują zjawiska tarcia międzyziarnami osnowy (ocieranie) lub kruszenia otoczki pod działaniem udaru.

Masy z żywicami utwardzanymi przez przedmuchiwanie gazowego utwardzacza, a także masy do technologii hot-box wymagają obróbki regeneracyjnej o większej intensywności w celu usunięcia z ziaren warstwy żywicy. W tych przypadkach mają zastosowanie urządzenia o działaniu kruszącо-mielącym, ścieranie pneumatyczne oraz ścieranie pod działaniem siły odśrodkowej.

Głównym sposobem regeneracji mas ze szkłem wodnym jest obróbka mechaniczno-pneumatyczna w regeneratorze pneumatycznym lub połączenie regeneracji w kruszarce młotkowej lub kruszarce wibracyjnej z regeneracją ścierno-udarową w urządzeniu odśrodkowym.

Regeneracja termiczna mas zużytych polega na spalaniu otoczek organicznej żywicy na ziarnach. Bentonit w wysokiej temperaturze regeneracji traci aktywność. Regeneracja mieszaniny mas, w której znajduje się masa z bentonitem powinna być prowadzona w sposób kombinowany, łączący regenerację termiczną z regeneracją mechaniczną.

Regeneracja mokra powoduje usuwanie otoczki lepiszcza z powierzchni ziarn za pomocą wzajemnego ocierania się i szlifowania ziarn w środowisku wodnym. W tym sposobie stosuje się system płuczek do usunięcia produktów ścierania. Regenerację mokrą można stosować tylko do zużytych mas z bentonitem, do mas z krzemianem sodu oraz do mas ze szkłem wodnym utwardzanych CO_2. Jej stosowanie w odlewnictwie jest ograniczone ze względów na wysoki koszt otrzymanego regeneratu.

10.2.2 Obszary zastosowania systemów regeneracji

Obszary zastosowania różnych systemów regeneracji dla jednolitych rodzajów zużytej masy formierskiej przedstawiono w tabeli 10.2, natomiast tabela 10.3 zawiera dane dotyczące obszarów zastosowania systemów regeneracji dla mieszaniny różnych rodzajów zużytej masy formierskiej.

Tabela 10.2 Obszary zastosowania różnych systemów regeneracji dla jednolitych rodzajów zużytej masy formierskiej

Rodzaj masy	Sposób regeneracji	Urządzenie do regeneracji	Zastosowanie regeneratu	Warunki ograniczające	Minimalna wydajność (Mg/h)
Masy jednolite ze spoiwami organicznymi					
Masy SMS (utwardzane w temp. otoczenia)	Mechaniczna lub termiczna	Mechaniczne: tarcie, kruszenie udarowe, ścieranie pneumatyczne. Termiczne: złoże turbulentne, złoże fluidalne, lub piec obrotowy	- do wykonywania form z masy SMS, - jako zamiennik dodatku 20-25% świeżego piasku do rdzeni i form z masy SMS	R. mechaniczna jedynie wtedy, gdy otoczki spoiwa uzyskują kruchość po zalaniu formy metalem. Należy osiągnąć docelową jakość regeneratu.	1,5
Masy rdzeniowe: cold-box, SO_2, process Croninga	Mechaniczna lub termiczna	Mechaniczne, ścieranie pneumatyczne, ścieranie od siły odśrodkowej, ścieranie w złożu fluidalnym Termiczne: złoże turbulentne lub, piec obrotowy bębnowy	-do wykonywania rdzeni jako zamiennik dodatku świeżego piasku	R. mechaniczna jedynie wtedy, gdy otoczki spoiwa uzyskują kruchość po zalaniu formy metalem. Należy osiągnąć odpowiednią jakość regeneratu. Odzysk pyłów.	0,75
Masy z żywicą .rezolowo – estrową utwardzane mrówczanem metylu (MF).	Mechaniczna	Mechaniczne: tarcie, kruszenie udarowe, ścieranie pneumatyczne.	Ograniczenie ilości dodatku regeneratu do form z masy z żywicą rezolowo–estrową (MF)	Regenerat do ma-sy rezolowo– estrowej (MF), przy mniejszym udziale. Koniecz-ne nadanie kru-chości otoczkom spoiwa.	
Masy jednolite ze spoiwami nieorganicznymi					
Masa klasyczna	Mechaniczna	Ścieranie pneumatyczne, mielenie.	Osnowa do odświeżania masy	Przed regeneracją wymagane susze-nie. Od-	0,75

Rodzaj masy	Sposób regeneracji	Urządzenie do regeneracji	Zastosowanie regeneratu	Warunki ograniczające	Minimalna wydajność (Mg/h)
z bentonitem			obiegowej.	zysk frakcji pyłowych	
Masa z krzemianem sodu	Mechaniczna	Ścieranie pneumatyczne, ścieranie od siły odśrodkowej,	Osnowa tylko do wykonywania form i rdzeni z masy z krzemianem sodu.	Konieczne nadanie kruchości otoczkom spoiwa w temp. 200^0C.	0,5

Tabela 10.3. Obszary zastosowania systemów regeneracji dla mieszaniny różnych rodzajów zużytej masy formierskiej

Rodzaj masy	Sposób regeneracji	Urządzenie do regeneracji	Zastosowanie regeneratu	Warunki ograniczające	Minimalna wydajność (Mg/h)
Mieszanina mas ze spoiwami organicznymi	Mechaniczna lub termiczna	Mechaniczne, ścieranie pneumatyczn,. ścieranie od siły odśrodkowej, ścieranie w złożu fluidalnym Termiczne: złoże turbulentne, złoże fluidalne lub piec obrotowy	Do wykonywania rdzeni jako zamiennik dodatku świeżego piasku.	R. mechaniczna jedynie wtedy, gdy otoczki spoiwa uzyskują kruchość po zalaniu formy metalem. Należy osiągnąć odpowiednią jakość regeneratu.	0,75
Mieszanina mas zawierających bentonit	Mechaniczna lub termiczna	Mechaniczne, Mielenie, ścieranie pneumatyczne, ścieranie w złożu fluidalnym Termiczne: złoże turbulentne, złoże fluidalne lub piec obrotowy	Do wykonywania rdzeni jako zamiennik dodatku świeżego piasku. Osnowa do odświeżania masy obiegowej.	Przed regeneracją wymagane suszenie. Kombinowana regeneracja cieplna wymaga uprzedniej efektywnej regeneracji mechanicznej do oddzielenia aktywnego bentonitu. Odzysk frakcji pyłowych	0,75

10.2.3 Rodzaje aktualnie stosowanych w kraju urządzeń do odzysku i regeneracji osnowy z mas zużytych

Urządzenia do regeneracji mas z bentonitem eksploatowane aktualnie różnią się od rozwiązań eksponowanych w poprzednich latach praktycznym zaniechaniem stopni regeneracji cieplnej. Stwierdzono, że straty aktywnego bentonitu, podczas nagrzewania masy do temperatury 600 - 900^{o}C są zbyt znaczne i zmniejszają ekonomiczne wskaźniki regeneracji. W niektórych amerykańskich regeneratorach cieplno-mechanicznych jest stosowana niskotemperaturowa regeneracja cieplna (400-500^{o}C). Z kolei w rozwiązaniu niemieckim jest stosowany proces parowo-ciśnieniowy w celu wyeliminowania niekorzystnego wpływu na regenerację tworzących się pyłów, co w przypadku słabego odpylenia regeneratu sprzyja oolityzacji ziarn osnowy.

W Polsce, niezależnie od klasycznych rozwiązań regeneracji, obserwuje się wyraźną tendencję do budowy regeneratorów o działaniu ścierająco - ocierającym. W odmianach regeneratorów mechanicznych lub pneumatycznych o działaniu ścierającym dominuje uwalnianie

osnowy w wyniku oddziaływania na cząstki masy ruchomych elementów regeneratora (tarcze, misy, dyski) lub tarcia o powierzchnie kształtowe (regeneratory pneumatyczne). Jeżeli dominującym dla uwalniania ziarn osnowy jest efekt tarcia ziarn o siebie, na przykład w regeneratorach ze złożem fluidalnym, lub w regeneratorach pneumatycznych z przeciwsobnym wypływem strumieni masy, wówczas mówi się o ocieraniu otoczki materiału wiążącego.

W tabeli 10.4 zestawiono dane z odlewni krajowych odnośnie do metod regeneracji i recy-klingu zużytych mas formierskich i rdzeniowych z uwzględnieniem terminologii stosowanej w dokumencie BREF.

10.3 Zalecane zakresy stosowania regeneratu jako zamiennika świeżego piasku

Zregenerowane piaski formierskie powinny charakteryzować się następującymi parametrami:

- jakość masy sporządzona na nich musi być taka sama jak na osnowie piasku świeżego,
- jakość odlewów taka sama jak podczas otrzymywania w świeżych masach,
- w procesie wielokrotnej regeneracji piasków nie mogą sumować się komponenty obniżające sanitarno-higieniczne warunki pracy.

Zakresy stosowania regeneratu są następujące:

1) regeneraty otrzymane z jednolitych sypkich mas utwardzalnych chemicznie ze spoiwami organicznymi, poddane regeneracji termicznej mogą być stosowane w ilości do 100% do kompatybilnych mas formierskich i rdzeniowych dla wszystkich rodzajów stopów odlewniczych,
2) osnowa kwarcowa regenerowana mechanicznie z mas utwardzanych chemicznie może być bezpiecznie stosowana do sporządzania mas chemicznie utwardzalnych tego samego rodzaju (kompatybilnych) w proporcjach:
   do 90% - do form i do 70% do rdzeni, — dla żeliwa i metali nieżelaznych,
   do 70% - do form i do 50% do rdzeni, — dla staliwa.

Tabela 10.4. Zestawienie danych dotyczących metod regeneracji i recyklingu zużytych mas formierskich i rdzeniowych stosowanych w odlewniach

Odlewnia	Metoda regeneracji/ rodzaj urządzenia	Udział regeneratu w masie [%]]	Ilość oraz udział osnowy odzyskanej w wyniku regeneracji lub recyklingu		Kategoria regeneracji i rodzaj masy wg. klasyfikacji BREF - urządzenie (intensywność obróbki regeneracyjnej)
			Ilość Mg/rok	Udział [%]	
1.	a). Regeneracja mechaniczno-termiczna - 3 Mg/h b) Regeneracja. mechaniczna 7 Mg/h	a) 80-85 b) 85-90	23152	70	Secondary regeneration • Monosand cold setting resin (Alkyde) - (thermal fluidised bed unit) • Cement monosands - Vibrader (low energy attrition)
2.	Regeneracja mecha-niczna w kruszarce 5 Mg/h	70	373 (1736)*	70	Secondary regeneration Core monosands - AKA 50x100 (low energy attrition)
3.	Regeneracja udarowo-ścierna (odśrodkowa) 10 Mg/h	45	1207	27	Secondary regeneration Mixed bentonite sands - RTL 10 (impact, centrifugal friction)
4.	Reg. mechaniczna wibracyjna + udarowo-ścierna 5 Mg/h	50-70 - masa formierska 20-30% masa rdzeniowa	13750	25	Secondary regeneration Mixed cold setting (floster) sands - RTL 10 (impact, centrifugal friction)
5.	Reg. mechaniczna. wibra-	50-60% -	4716	43	Secondary regeneration

	cyjna + udarowo-ścierna 5 Mg/h	tylko masa formierska			Mono cold setting (floster) sand - RTL 10 (impact, centrifugal friction)
6.	Rozbrylanie, separ. zan., przesiewanie	20	180	20	Primary regeneration (simple recycling)
7.	Rozbrylanie, separ. zan., przesiewanie	20	523	20	Primary regeneration (simple recycling)
8.	Rozbrylanie, separ. zan., przesiewanie	90	3065	90	Primary regeneration (simple recycling)
9.	Regeneracja udarowo-ścierna (pneumatyczna) 45 Mg/h.	ok. 75	18529	75	Secondary regeneration Mono bentonite sand - Simpson RS 6x4 (impact, pneumatic chafing)
10.	Rozbrylanie, separ. zan., przesiewanie	20	520	20	Primary regeneration (simple recycling)
11.	Regeneracja ścierna w kruszarce wibracyjnej 2 Mg/h	22	1770	22	Secondary regeneration Monosand cold setting resin (Ascuran) sand - RTL 10 (low energy attrition)
12.	Rozbrylanie, separ. za-n.,przesiewanie)	40	14000	40	Primary regeneration (simple recycling)
13.	Reg. mechaniczna. Wibracyjna + uda-rowo-ścierna 5 Mg/h	90	11876,4	90	Secondary regeneration Monosand cold setting resin (furan) - IMF (low energy atrition)
14.	Reg. kombinowana me-chananiczna + termiczna 1 Mg/h	90	1577,7	90	Secondary regeneration Monosand cold setting resin (Pepset) - HPG 1000 (thermal fluidised bed unit)

*) Wartości skorygowane w oparciu o dane zawarte w ankiecie

3) regenerat z mas z lepiszczem gliniastym - po suszeniu (w temp. ok. 150^{o}C) i regeneracji mechanicznej może być stosowany do 100% do sporządzania takiej samej masy na formy dla wszystkich tworzyw, natomiast nie jest zalecany do sporządzania rdzeni.
4) regenerat z sypkich mas samoutwardzalnych ze szkłem wodnym po regeneracji mechanicznej poprzedzonej suszeniem w temperaturze ok. 200^{o}C może być stosowany do sporządzania takich samych mas w proporcjach: do 70% - do form i do 50% - dla rdzeni przeznaczonych do odlewów żeliwnych i staliwnych oraz bez ograniczeń dla odlewów z metali nieżelaznych.

10.4. Powtórne wykorzystanie mas zużytych lub ich komponentów

Pyły gromadzone w cyklonach urządzeń technologicznych znajdujących się w ciągu przygotowania mas formierskich z bentonitem takich jak: mieszarki, homogenizatory, chłodziarki fluidyzacyjne do masy, kruszarki i urządzeń do regeneracji wstępnej powinny być wykorzystywane jako domieszka do mas bentonitowych, gdyż zawierają znaczne ilości pyłu węglowego i aktywnego bentonitu. W odlewniach polskich praktycznie nie stosuje się przedstawionego sposobu zagospodarowania pyłów. Pewne ilości zużytych mas mogą być wykorzystane do wewnątrzzakładowej utylizacji odpadów, utwardzania dróg lokalnych, budowy dróg oraz w budownictwie do wytwarzania wyrobów betonowych i ceramicznych. Możliwości wykorzystania odpadów mas formierskich i rdzeniowych poza odlewnią są opisane szerzej w Rozdziale 11.

10.5 Wysokość opłat za korzystanie z wysypiska

Przeciętny koszt deponowania odpadów masy formierskiej w krajowych odlewniach na składowiskach waha się w przedziale od 12,5 EUR do 61, wynosi zatem od 85% do ponad 400% przeciętnych kosztów przytoczonych w dokumencie BREF (14,56 EUR). Wysokość opłat za korzystanie ze składowiska jest uzależniona od rodzaju odpadów i od formy własnościowej składowiska (składowiska komunalne, zakładowe lub własne odlewni). Najbardziej

kosztowne jest korzystanie ze składowisk komunalnych w przypadku deponowania odpadów zaliczonych do wysokiej klasy szkodliwości. Jeżeli odpady masy z bentonitem są wykorzystywane do przesypywania śmieci oraz jako warstwy izolacyjne na składowiskach odpadów komunalnych wówczas wysokość opłat za korzystanie z wysypiska. jest najmniejsza. Największym rygorom powinny podlegać pyłowe produkty regeneracji, w których są zgromadzone substancje szkodliwe w znacznie większym stężeniu niż w masie odpadowej.

10.6 Koncepcja zmniejszenia ilości odpadów

Koncepcja zmniejszenia ilości odpadów masy z technologii odlewniczych może być realizowana poprzez:

- wprowadzenie w technologii wytwarzania odlewów rozwiązań bardziej przyjaznych dla środowiska,
- wprowadzenie regeneracji mas zużytych i wyboru sposobu oraz rodzaju instalacji do regeneracji (mechaniczna, pneumatyczna, cieplna, kombinowana).

Pierwszy ze sposobów polega na wyborze alternatywnych sposobów wytwarzania odlewów
w formach trwałych obejmujących odlewanie kokilowe i ciśnieniowe. Wymagałoby to analizy asortymentu produkowanych odlewów i takiej organizacji procesu produkcyjnego, który pozostawałby niezmienny co najmniej przez okres czasu konieczny do zamortyzowania urządzeń wymaganych w danej technologii. Odlewanie w formach trwałych eliminuje masy formierskie i w sposób istotny ogranicza także ilość odpadów masy rdzeniowej. Innym sposobem zastosowania rozwiązań bardziej przyjaznych dla środowiska jest ograniczenie ilości rodzajów mas w danej odlewni co pozwoli na wyeliminowanie występowania mas wzajemnie „niekompatybilnych" i wprowadzenie układu mas jednolitych o większym stopniu odzysku osnowy. W przypadkach, gdy system obiegu masy jest zorganizowany w ten sposób, że różne masy zużyte są rozdzielone według technologii, z których powstały, wówczas regeneracja zachodzi w uproszczonych systemach wyposażonych w autonomiczne urządzenia regeneracyjne.

Rozwiązania w zakresie procesu regeneracji stosowane w polskich odlewniach odpowiadają standardom europejskim dla odlewni o porównywalnej wielkości. Zużyte, jednolite masy z bentonitem są regenerowane w systemie „monosand reclamation", natomiast mieszaniny mas zużytych w systemie „mixed sand reclamation".

Aktualnie, udział zregenerowanej osnowy w ogólnej masie odpadów wynosi około 15%. Wprowadzenie regeneracji mas zużytych w celu odzysku osnowy w ilości na poziomie 30 – 40% oznaczałoby zmniejszenie ilości odpadów o dalsze 90 000 Mg rocznie.

NDT w odniesieniu do zużytych mas formierskich i rdzeniowych utwardzanych chemicznie
w temperaturze otoczenia (SMS - sypkie masy samoutwardzalne) - zarówno jednolite, jak i ich mieszaniny - polega na zmniejszeniu ilości masy zużytej kierowanej na składowiska i wyborze strategii regeneracji i/lub recyklingu. W ramach strategii wyboru systemów regeneracji stosuje się następujące rozwiązania dla poszczególnych rodzajów masy zużytej:

- masy jednolite utwardzane w temperaturze otoczenia (np. masy furanowe) poddaje się regeneracji mechanicznej w prostych urządzeniach o działaniu krusząco - ściernym z wykorzystaniem sił tarcia zewnętrznego oraz wewnętrznego między ziarnami osnowy. Tego typu regeneracja może być stosowana do wszystkich rodzajów mas jednolitych SMS z wyjątkiem mas krzemianowych. Stopień wykorzystania regeneratu, jako zamiennika świeżego piasku wynosi 75-80%;
- masy rdzeniowe z technologii cold-box oraz nieutwardzone lub uszkodzone rdzenie są poddawane recyklingowi wewnętrznemu w ramach tej samej technologii w ilości 5-10%

po ich uprzednim przygotowaniu polegającym na rozdrobnieniu do odpowiedniej wielkości. Jednolite masy krzemianowe utwardzane estrami lub CO_2 są poddawane obróbce regeneracyjnej w urządzeniach pneumatycznych, poprzedzonej suszeniem w temperaturze powyżej 150^{o}C (zwykle 200-220^{o}C) w celu zwiększenia kruchości otoczki spoiwa krzemianowego. Przeciętny stopień wykorzystania regeneratu, jako zamiennika świeżego piasku, wynosi 45-85%. Zastosowanie regeneratu do mas z utwardzaczami estrowymi wolnodziałającymi podlega ograniczeniu do minimum;

- jednolite masy z technologii cold-box, hot-box, procesu Croninga, a także mieszaniny mas ze spoiwami organicznymi poddaje się obróbce z wykorzystaniem jednej z następujących technik: regeneracja mechaniczna w temperaturze otoczenia (np. mielenie, kruszenie w bębnie udarowym, ścieranie pneumatyczne) lub regeneracja termiczna. Sumaryczny uzysk regeneracji jest związany z ilością zużytych rdzeni. Do ponownego wykonania rdzeni można stosować 40-100% zregenerowanej osnowy, natomiast do produkcji form w ilości od 90 do 100%;
- mieszaniny zużytej masy z bentonitem oraz mas ze spoiwami organicznymi poddaje się regeneracji w systemach kombinowanych (np. 3 stopniowych) obejmujących obróbkę mechaniczno-termiczno-mechaniczną. Zamiennie może występować obróbka przez szlifowanie lub pneumatyczne ścieranie. Stopień wykorzystania regeneratu, jako zamiennika świeżego piasku wynosi 40 - 100% w procesach wytwarzania rdzeni i 90-100% w przypadku mas formierskich. Zregenerowana osnowa jest przeznaczona wyłącznie do technologii wzajemnie kompatybilnych., przy czym wpływ ilości dodawanego do masy regeneratu na jej właściwości powinien być monitorowany.

Metody regeneracji dla poszczególnych rodzajów masy zużytej zgodnie z zaleceniami NDT podano w tabelach 10.2 i 10.3.

11. ODPADY STAŁE I MOŻLIWOŚCI ICH ZAGOSPODAROWANIA

11.1 Analiza stanu istniejącego i uwarunkowania prawne

Odlewnie, podobnie jak inne zakłady przemysłowe, wytwarzają strumień różnorodnych odpadów. Jak wykazują dane z odlewni polskich jest to około 75 różnych kodów odpadów zgodnie z rozporządzeniem Ministerstwa Środowiska z dnia 27.09.2001 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz. U. Nr 112, poz. 1206 z dnia 8.10.2001 r.).

Prawidłowa segregacja odpadów stanowi istotny element do ich odzysku, recyklingu i ponownego wykorzystania. Odpady zawsze powinny być poddawane recyklingowi lub odzyskiwane, o ile nie ma wyraźnego zastrzeżenia ze strony obowiązujących przepisów, że odzysk jest „technicznie i ekonomicznie niemożliwy".

Ogólnie strumienie odpadów w odlewni obejmują:

- pyły pochodzące z surowców wychwycone w filtrach,
- żużel z odsiarczania ciekłego metalu,
- żużel i zgary z topienia,
- pyły i dymy z procesów topienia wychwycone w stacji filtrów,
- pyły i dymy z zalewania wychwycone w stacji filtrów,
- pyły z wykańczania odlewów wychwycone w stacji oczyszczania,
- wióry z procesu wykańczania,
- zużyte czyściwo z oczyszczarek śrutowych,
- ścieki i szlamy z płuczek oraz pozostałości z instalacji do obróbki ścieków,
- odpady materiałów ogniotrwałych z rynien spustowych i kadzi,
- zużyta masa formierska i rdzeniowa,
- pojemniki po substancjach chemicznych i olejach,
- inne obojętne odpady przemysłowe.

Odpady powinny być odzyskiwane, jeśli tylko to jest możliwe. Największy strumień odpadów (niekiedy nawet 90% odpadów powstających w odlewni) stanowi zużyta masa formierska i rdzeniowa. Innymi odpadami, poza zużytą masą, stanowiącymi znaczne obciążenie są:

- żużel z procesów topienia i obróbki metalu,
- pył wychwycony w instalacjach odpylających,
- zebrane szlamy,
- odpady materiałów ogniotrwałych .

To czy możliwe jest ponowne użycie, odzysk lub recykling odpadów w przypadku danej odlewni zależy szczególnie od użytego paliwa i surowców, wywarzanego produktu i stosowanych technologii w zakresie mas formierskich, rdzeniowych oraz technologii wytapiania. W wielu przypadkach, mimo technicznych możliwości wykorzystania danego odpadu, o jego praktycznym zastosowaniu decydują względy ekonomiczne.

Wśród nich jest kilka rodzajów odpadów stałych, które można nazwać typowymi odpadami odlewniczymi i które stanowią zazwyczaj ponad 95 % masy strumienia wszystkich odpadów z odlewni (tabela 11.1).

Tabela 11.1. Główne rodzaje odpadów powstających w odlewniach wraz z ich kodami

Lp.	Rodzaj odpadu	Kategoria wg Rozporządzenia Ministra Środowiska z 27.09.2001
1.	Odpadowe masy formiersko – rdzeniowe przed procesem zalewania z odlewni stopów żelaza	10 09 06
2.	Odpadowe masy formiersko – rdzeniowe po procesie zalewania z odlewni stopów żelaza	10 09 08
3.	Odpadowe masy formiersko – rdzeniowe przed procesem zalewania z odlewni stopów metali nieżelaznych	10 10 06
4.	Odpadowe masy formiersko – rdzeniowe po procesie zalewania z odlewni stopów metali nieżelaznych	10 10 08
5.	Żużle z odlewnictwa stopów żelaza	10 09 03
6.	Zgary i żużle z odlewnictwa stopów metali nieżelaznych [2)]	10 10 03
7.	Pyły z odpylania suchego odlewni stopów żelaza	10 09 12
8.	Pyły z odpylania suchego odlewni stopów nieżelaznych	10 10 12
9.	Ceramiczne okładziny piecowe i materiały ogniotrwałe z procesów metalurgicznych	16 11 04

11.2 Możliwości recyklingu niektórych odpadów odlewniczych

O możliwościach recyklingu niektórych odpadów wspomniano już w poprzednich rozdziałach. W tym rozdziale usystematyzowano poprzednie informacje i uszczegółowiono niektóre dane.

11.2.1 Ponowne użycie nieutwardzonej masy rdzeniowej w odlewni

W procesie produkcji rdzeni powstają resztki masy rdzeniowej z uszkodzonych lub wybrakowanych rdzeni oraz z nadmiaru masy w maszynach rdzeniarskich. Nadmiarowa masa może być utwardzona w specjalnym urządzeniu. Następnie cała ilość masy nadmiarowej oraz resztki rdzeni są poddawane kruszeniu. Otrzymana masa może być zmieszana ze świeżą i wykorzystana do produkcji nowych rdzeni. Można w ten sposób wykorzystać wewnętrznie 5 – 15% masy rdzeniowej, która w innym przypadku byłaby składowania. Ta technologia ma zastosowanie do mas z żywicami uretanowymi (cold – box) i furanowymi. Masy z innymi spoiwami nie nadają się do tej technologii.

11.2.2 Ponowne użycie pyłów z obiegu mas do formowania na wilgotno

Pyły gromadzone w cyklonach urządzeń technologicznych znajdujących się w ciągu przygotowania bentonitowych mas formierskich takich jak: mieszarki, homogenizatory, chłodziarki fluidyzacyjne do masy, kruszarki i urządzeń do regeneracji wstępnej powinny być wykorzystywane jako domieszka do mas bentonitowych, gdyż zawierają znaczne ilości np. pyłu węglowego i bentonitu. W odlewniach polskich praktycznie nie stosuje się przedstawionego sposobu zagospodarowania pyłów. Wykorzystywanie pyłów z cyklonów znajdujących się w ciągach przygotowania innych rodzajów mas formierskich i rdzeniowych jako dodatku do tych mas nie powinno mieć miejsca.

11.2.3 Wychwytywanie i recykling koksiku

Przy przeładunku, transporcie i załadunku koksu powstają pewne ilości koksiku. Można wykorzystać pewne specyficzne metody dla wychwytywania i recyklingu tego materiału np. poniżej taśmy przenośnika, w punktach załadunku. Zebrany materiał może być zawracany do procesu poprzez wdmuchiwanie do żeliwiaka lub wykorzystany do nawęglania.

11.2.4 Zawracanie pyłów żeliwiakowych do żeliwiaka

Pył z odpylania żeliwiaka może być ponownie wdmuchiwany do żeliwiaka. Celem tego procesu jest akumulacja cynku w pyle, do poziomu, przy którym możliwa jest przeróbka i odzysk Zn (>18%). Odzysk cynku prowadzony jest w procesie Waelza. Recyrkulacja pyłu może być prowadzona na drodze wdmuchiwania poprzez dysze lub ładowanie ze wsadem w postaci brykietów (grudek) przez otwór wsadowy. Obie techniki są stosowane na skalę przemysłową. Przeprowadzony bilans masowy wykazuje, że cynk sublimuje i pojawia się ponownie w odzyskanym pyle. Po kilku cyklach obiegu w pyle osiąga się wystarczającą zawartość cynku, aby był opłacalny jego odzysk. Odzysk jest technicznie możliwy przy zawartości Zn powyżej 18%.

Są dwa ograniczenia stosowania recyklingu pyłu:

- cynk występuje w znacznym stopniu w postaci $ZnSiO_4$, związku zawierającego 64% Zn, dlatego też nie jest możliwe osiągnięcie określonego poziomu wzbogacenia,
- pył jest również wzbogacony w alkalia, które powodują zanikanie płomienia w komorze spalania. Problem ten może być rozwiązany przez wdmuchiwanie pary wodnej do powietrza nadmiarowego.

Wdmuchiwanie pyłu poprzez dysze opiera się na kilku zasadach. Obecnie (stan na rok 2001) 15 odlewni w Europie stosuje recykling pyłu metodą wdmuchiwania przez dysze, 11 odlewni stosuje technikę podwyższonego ciśnienia, a 4 odlewnie stosują technikę zasysania przez zwężkę. Zaletą metody zwężkowej jest mniejsze zużycie wdmuchiwanego powietrza i stąd ochłodzenie strefy topienia jest niższe. Przy obu technikach pył staje się lepki po kolejnych cyklach obiegu. Dlatego też w przypadku techniki zwężkowej pył musi być mieszany z koksem naftowym, aby był możliwy jego transport w rurach.

Recykling pyłu metodą aglomeracji i ładowania ze wsadem jest znacznie rzadziej stosowany niż wdmuchiwanie przez dysze. Powodem tego jest fakt, że proces ten jest znacznie trudniejszy do zautomatyzowania. Ponadto proces ten wymaga dokładnej kontroli i znajomości procesu wytwarzania pelet, aby posiadały one wymagane właściwości. W celu uzyskania brykietów o odpowiednich właściwościach można dodawać do pyłu żelazokrzem. W praktyce, dla zapewnienia prawidłowego przebiegu procesu, stosuje się mieszankę 2/3 FeSi i 1/3 pyłu. Z drugiej strony metoda brykietowania może być wykorzystana do zagospodarowania dużych ilości pyłu. W przypadku żeliwiaków o dużej średnicy utrudnione jest wdmuchiwanie pyłu do środka płomienia i dlatego zaleca się stosowanie brykietów. Porównanie obu technik podano w tabeli 11.2.

Tabela 11.2. Charakterystyka technik wdmuchiwania i wprowadzania pelet przy recyklingu pyłów żeliwiakowych

Ponowne wykorzystanie pyłów zebranych w procesie oczyszczania gazów odlotowych z żeliwiaka	**Wdmuchiwanie przez dysze**	**Wprowadzenie jako pelety**	**Obserwacje**
Wpływ na odpady			
Ograniczenie ilości wprowadzanego pyłu	7 - 8 kg/tona metalu		Problem z zanikiem płomienia
Redukcja wytworzonej ilości pyłu	40 %	50 %	Wartości przybliżone[1)]
Wzrost zawartości cynku w pyle	30 %	20 %	Wartości przybliżone[1)]
Wzrost ilości powstającego żużla	?	?	

Wpływ na pracę żeliwiaków			
Ilość koksu potrzebna do wyrównania strat temperatury	0.5 - 0.6 %	0.2 - 0.3 %	Wartości przybliżone[1)]
Wpływ na skład gazów odlotowych	Brak	Brak	n.a
Wpływ na ciekły metal			
Wzrost zawartości metali (Zn, Pb) w żeliwie	Ograniczona	Nie	Rzędu tysięcznych części
Wpływ na straty płomienia	10 - 30 %	Nie	Wartości przybliżone[1) 2)]
Skuteczność dodatku innych produktów (C, FeSi) tą samą metodą	Tak	Nie	n.a
Koszty			
Redukcja kosztów składowania pyłów	60 %	50 %	Wartości przybliżone[1)]
Eksploatacja			
Możliwości automatyzacji procesu	Tak	Nie	n.a
Dodatkowe problemy	Nie	Tak	Odporność pelet na kruszenie
Wdrażanie technologii			
Istniejące instalacje	Tak	Tak	Preferowane żeliwiaki o dużych rozmiarach
Nowe instalacje	Tak	Tak	

[1)] W przybliżeniu, rzeczywista wartość zależy od wyjściowej zawartości tlenku cynku w pyle, od stopnia koniecznego wzbogacenia dla ponownego użycia, oraz od charakterystyki żeliwiaka
[2)] Funkcja ilości staliwa we wsadzie żeliwiaka
n.a: brak uwag

Osiągane korzyści środowiskowe

Główną korzyścią stosowania tej techniki jest zmniejszenie ilości pyłów wysyłanych poza odlewnię na składowisko lub do odzysku. Odlewnia zasadniczo wysyła wówczas mniejsze ilości pyłu, ale o wyższej zawartości metali. Możliwy jest odzysk Zn z pyłu żeliwiakowego. W wyniku stosowania tej techniki następuje wzbogacenie pyłu żeliwiakowego w Zn, natomiast zwiększa się udział Pb w żeliwie. Jeżeli Zn jest skutecznie odzyskany z pyłu, to stosowanie powyższej techniki powoduje zmniejszenie ładunku metali ciężkich w końcowym pyle przeznaczonym do składowania, jak również jego ilości. Z drugiej strony zwiększa się ilość wytwarzanego żużla.

Recykling pyłu żeliwiakowego prowadzony w duńskiej odlewni żeliwa (roczna produkcja żeliwa 30.000 ton) zmniejsza ilość pyłów o 156 ton rocznie, bez żadnego istotnego wpływu na środowisko i właściwości użytkowe (konstrukcyjne) żużla. [202, TWG, 2002]{the Netherlands 46}

Oddziaływanie na środowisko

Obie techniki recyklingu pyłu wymagają dodatkowego zużycia energii tj. koksu do topienia. Podaje się, że zużycie koksu wzrasta o 0,15 – 0,25 kg koksu/kg pyłu przy sprawności cieplnej pieca 40%. Ponadto wdmuchiwanie zimnego pyłu do gorącej strefy topienia będzie obniżało temperaturę płomienia, która musi być wyrównana poprzez wdmuchiwanie dodatkowej ilości tlenu. Będzie również wzrastała całkowita ilość żużla.

Obciążenie kilku wewnętrznych elementów instalacji lepkim pyłem, będzie powodować straty sprawności i możliwe problemy eksploatacyjne. Nie są one określone ilościowo.

Możliwości zastosowania

Odzysk cynku jest technicznie możliwy od poziomu powyżej 18% Zn. Pyły żeliwiakowe w przypadku stosowania wsadu bogatego w cynk zawierają > 20% Zn, bez recyklingu. Dla zbilansowania kosztów konieczna jest minimalna zawartość Zn na poziomie 40%. Nie jest możliwe wdmuchiwanie całego powstającego pyłu żeliwiakowego. Wdmuchiwanie więcej niż 8 kg pyłu/tonę metalu powoduje zanikanie płomienia.

Aspekty ekonomiczne

Odzysk jest technicznie możliwy przy zawartości Zn powyżej 18%. Podaje się, że proces jest opłacalny przy recyklingu i odzysku Zn w przypadku poziomu Zn > 40%.

W oparciu o dodatkowe dane z 2 odlewni francuskich, zostały wyliczone dodatkowo koszty eksploatacyjne: przy wdmuchiwaniu przez dysze dodatkowe koszty eksploatacyjne wynosiły 0,35 EUR/tonę ciekłego żeliwa, przy wprowadzaniu pelet 0,90 EUR/tonę ciekłego żeliwa. Wyliczenia te nie uwzględniają ekstra kosztów składowania żużla lub konserwacji.

W przypadku wdmuchiwania prze zwężkę Venturiego przyjmuje się następujące dane. W niemieckiej odlewni w okresie 5 lat średnio 7,5 kg pyłu cynkowego/tonę ciekłego żeliwa mogło być dostarczone do przemysłu przetwórczego. Stąd koszty składowania zostały zmniejszone o 1,97 EUR/tonę ciekłego żeliwa. Ponadto 20% koksu mogło być zastąpione przez koks naftowy. Pozwoliło to na obniżenie kosztów paliwa o 15%, co odpowiadało zmniejszeniu kosztów o 2,56 EUR/tonę ciekłego żeliwa. Obliczenia te nie uwzględniają ekstra kosztów składowania żużla i konserwacji.

W Niemczech istnieje zakaz składowania pyłów metalurgicznych o zawartości cynku > 10%. Powinny one być poddane procesowi recyklingu.

W Polsce, ze względu na stosunkowo mały udział we wsadzie żeliwiakowym złomu ocynkowanego, zawartość Zn w pyłach żeliwiakowych osiąga wartość do 2-3%. Stąd proces odzysku Zn z tych pyłów jest nieopłacalny. Jednak, w przyszłości, kiedy udział złomu ocynkowanego we wsadzie będzie się zwiększał, problem ten stanie się aktualny.

11.2.5 Recykling pyłów i szlamów z odpylania elektrycznego pieca łukowego

Suche pyły wychwycone podczas odpylania pieca, pod pewnymi warunkami, mogą być zawracane do pieca. Wskazane jest by pył wcześniej był odpowiednio przygotowany np. poddany paletyzacji lub brykietowaniu, jako że zmniejsza się wówczas udział pyłu, który przedmuchiwany jest przez piec. Celem recyklingu jest odzysk części metalicznych zawartych w pyle i stopienie części nieorganicznej do żużla. Na ogół pył jest dodawany na początku każdego cyklu topienia. Tak jak to opisano w przypadku żeliwiaków, również i dla pieców łukowych, w pewnych przypadkach, kiedy stosowane są znaczne ilości złomu zawierającego cynk, można prowadzić recykling cynku, poprzez wzbogacanie pyłu emitowanego z pieca do poziomu, który umożliwia wykorzystanie go w przemyśle cynkowym do odzysku cynku, w sposób opłacalny (zawartość cynku do 30-40%).

Osiągnięte korzyści środowiskowe

Główna korzyścią wynikającą ze stosowania tej techniki jest zmniejszenie ilości pyłów przekazywanych na zewnątrz przez odlewnię. Odlewnia przekazuje mniejsze ilości pyłów, o wyższej zawartości metali. Technika ta umożliwia odzysk Zn z pyłów z elektrycznych pieców łukowych. W wyniku stosowania tej techniki następuje wzbogacenie pyłu żeliwiakowego w Zn, natomiast zwiększa się udział Pb w stali. Jeżeli Zn jest skutecznie odzyskany z pyłu, to stosowanie powyższej techniki powoduje zmniejszenie ładunku metali ciężkich w końcowym pyle przeznaczonym do składowania, jak również jego ilości. Z drugiej strony zwiększa się ilość wytwarzanego żużla.

Dane eksploatacyjne

Dane eksploatacyjne ze stalowni stosującej elektryczne piece łukowe odnoszą się do instalacji,
w której poddaje się recyklingowi 75% pyłu, przy produkcji wyjściowej 20-22 kg pyłu/Mg stali, ale należy zachować ostrożność przy 50% pyłu, zawierającego średnio 35% cynku.

Oddziaływanie na środowisko
Recykling pyłu prawdopodobnie zmniejsza wydajność cieplną pieca i zwiększa zużycie energii elektrycznej (około 20-30 kWh/Mg). Technika ta powoduje wzrost ilości powstającego żużla.

Możliwości zastosowania
Metoda ta w zasadzie nadaje się do pyłów o dużej zawartości metali. Jej możliwość wdrożenia zależy od wielu czynników, które mogą być różne w różnych odlewniach.

11.2.6 Ponowne wykorzystywanie odpadów wymurówek ceramicznych kadzi i pieców

Wymurówka z pieców i kadzi wybite podczas remontów może być powtórnie wykorzystywana jago materiał do wykonywania nowych wymurówek ubijanych jako wypełniacz. Przygotowanie zużytych materiałów z wymurówek do tego celu wymaga ich oczyszczenia ze zgarów i zmielenia.

11.2.7 Ponowne wykorzystywanie odpadów elektrod grafitowych

Odpady elektrod grafitowych z pieców łukowych można wykorzystywać jako nawęglacz przy przygotowywaniu żeliwa lub staliwa.

11.2.8 Recykling zgarów i żużli z odlewni aluminium i magnezu poza odlewnią

Odpadami, które mogą być wykorzystywane na zasadzie recyklingu ale raczej poza odlewnią są zgary i żużle z odlewnictwa stopów aluminium magnezu, które pomimo że zawierają znaczne ilości substancji niebezpiecznych nie stanowią one problemu dla odlewni, gdyż są chętnie kupowane przez huty jako cenny surowiec produkcyjny i jest to właściwie rodzaj zewnętrznego recyklingu, gdyż odlewnie rozliczają się często za sprzedane zgary nabywanymi przez nie stopami aluminium czy magnezu. Transport tych odpadów do odbiorców musi się odbywać zachowaniem wszelkich przedmiotowych przepisów i jest dokonywany zazwyczaj przez licencjonowanych pośredników.

11. 3 Możliwości gospodarczego wykorzystania odpadów odlewniczych poza odlewnią

W niniejszym rozdziale opisano tylko możliwości i zalecane sposoby wykorzystania odpadów odlewniczych poza odlewnią zakwalifikowanych do odpadów nie niebezpiecznych (tabela 11.3). Wspólną cechą prawną tych odpadów jest to że są to odpady składające się większości z ceramicznych surowców mineralnych, nie muszą one być segregowane według podanych kodów i mogą być mieszane ze sobą w miarę potrzeb określonych danym sposobem wykorzystania. Postępowanie z tymi odpadami jak i z innymi podlega przepisom Ustawy z dnia 27 kwietnia 2001 r. o odpadach (Dz. U. Nr 62, poz. 628, 2001 r.) lecz z praktycznego punktu widzenia dla odlewni największe znaczenie mają postanowienia zawarte we wspomnianym powyżej rozporządzeniu Ministra Środowiska z 13 maja 2004, gdzie podane są graniczne zawartości substancji decydujące o tym czy odpad jest niebezpieczny czy też inny niż niebezpieczny, co decyduje o sposobie postępowaniu z odpadem i o możliwościach jego wykorzystania gospodarczego przy zachowaniu akceptowalnych kosztów.

11.3.1 Wstępna obróbka odpadów

Aby wykorzystać odpady poza odlewnią, materiał wymaga odpowiedniego przygotowania. W tabeli 11.4 podano niezbędne działania dla różnych (poza masą) stałych pozostałości i ograniczenia w zakresie ich ponownego wykorzystania. Większość zużytych mas formierskich i rdzeniowych może być z korzyścią zastosowana poza odlewnią pod warunkiem, że są one suche, składowane oddzielnie, a często wymagana jest określona wielkość ziarna.

W przypadku żużla żeliwiakowego, jego postać fizyczna, a tym samym zakres jego ponownego wykorzystania, zależy od stosowanej metody usuwania żużla. Przy stosowaniu metody suchej, tzn. spuszczaniu żużla do pojemników, w celu ochłodzenia i zakrzepnięcia, uzyskuje się krystaliczny nieporowaty minerał. Pod względem technologicznym żużel ten jest porównywalny z żużlem wielkopiecowym. Przy obróbce żużla na mokro powstają granulki w wyniku chłodzenia żużla strumieniem wody. Taka postać żużla jest znacznie bardziej korzystna, jeżeli chodzi o możliwości jego ponownego wykorzystania.

Koszty związane z ponownym wykorzystaniem odpadów obejmują głównie koszty przeróbki i transportu, ale mogą one być obniżone, jeżeli uwzględni się wpływy ze sprzedaży tych materiałów. Jednak wpływu te mogą być małe lub zerowe, natomiast koszty typowej obróbki mechanicznej wynoszą 8 EUR/tonę. Im dalej materiał ten ma być transportowany, tym większe są koszty. Aby ocenić stronę ekonomiczna różnych opcji ponownego wykorzystania odpadów, należy uwzględnić koszty składowania. Koszty te są zróżnicowane zależą od rodzaju odpadu.

Większość zużytych mas formierskich i rdzeniowych może być z korzyścią zastosowana poza odlewnią z zachowaniem warunków jakie są wymagane dla danego zastosowania lecz praktycznie dla podstawowych zastosowań jak budownictwo drogowe i inne prace z zakresu budownictwa lądowego nie wymagają one żadnych specjalnych wstępnych zabiegów poza wyeliminowaniem z nich ciał obcych (zalewki, druty ze zbrojenia rdzeni itp.). Należy jednak wyraźnie zaznaczyć, że wprowadzenie jakichkolwiek zabiegów dostosowujących dany odpad do określonych zastosowań stanowi dodatkową zaletę dla odpadu i umożliwia uznanie go za wyrób, co zdejmuje z niego ograniczenia jakie dotyczą odpadów. Przykładem może być postać fizyczna żużla zależna, od stosowanej metody usuwania żużla. Przy stosowaniu metody suchej, tzn. spuszczaniu żużla do pojemników, w celu ochłodzenia i zakrzepnięcia, uzyskuje się krystaliczny nieporowaty minerał.

Pod względem technologicznym żużel ten jest porównywalny z żużlem wielkopiecowym. Przy obróbce żużla na mokro powstają granulki w wyniku chłodzenia żużla strumieniem wody. Taka postać żużla jest znacznie bardziej korzystna, jeżeli chodzi o możliwości jego ponownego wykorzystania nie mówiąc już o możliwości utrzymania jednorodnego składu, pakowania, transportu i przechowywania. Podobnie jest z pyłami, które mogą być wykorzystywane w naturalnej postaci tylko w ograniczonym zakresie ze względu na pylenie i trudności transportowe. Po sprasowaniu lub zgranulowaniu ich zakres zastosowań staje się o wiele szerszy a operowanie takim materiałem nie nastręcza trudności. Wstępna obróbka odpadów wymaga jednak użycia energii i może sama generować pyłów lub być źródłem emisji hałasu czy ścieków.

Tabela 11.3. Możliwości wykorzystania stałych odpadów odlewniczych poza odlewnią

PODSUMOWANIE MOŻLIWOŚCI PONOWNEGO WYKORZYSTANIA ODPADÓW ODLEWNICZYCH	MASA ZUZYTA						ŻUŻLE					INNE	
Rodzaje konstrukcji	Masa wilgotna	Alkaliczna fenolowa	Fenolowo uretanowa	Furanowa	Żywica skorupowa	Krzemian sodu	Żeliwiak chłodzony powietrzem	Żeliwiak chłodzony wodą	Indukcyjny	Elektryczny piec łukowy	Odsiarczanie	Skorupa z odlewania metodą traconego wosku	Pył i szlam
Asfalt	x	x	+	O	+	O	x						
Podsypka							+			+			
Wyrób bloków	+	x	+	+	x	+		x					
Produkcja cegieł	x	x	+	+	+		+	+					
Cement	x	x	+		x	x							
Substytut kruszywa grubego							x		x	x		x	
Beton		x	+	+	+								
Substytut kruszywa drobnego	x	x	+	+	+	+							
Pianobeton, itp.	x	x	+										
Wełna izolacyjna/szklana/mineralna	+	+	+	+	+	+	+	+					+
Produkcja kruszywa lekkiego													+
Produkcja zaprawy						+							
Podłoże do konstrukcji dróg		x	+		+	x	x		x	x		x	
Papa				x									
Ponowne wykorzystanie w innej odlewni													
Jako dodatek świeżej masy do masy wilgotnej				x									
Zastosowanie jako rodzaj gruntu													
Sztuczne warstwy uprawne	x	+	+	x	+								+
Dekoracyjna warstwa gruntu							+	+					
Warstwa gruntu w stadninach								+					
Wypełniacz przy produkcji nawozu													x
Wysypiska – nadkład	x	x	+										+
Wysypiska – codzienne pokrywanie	x	x	+	x	x	x							
Wysypiska – wyłożenie	+												+
Modyfikacja/ulepszanie gleby	+	+	+	+	+	+		+			+		+
Inne													
Materiał ścierny		x	+				x	+					
Materiał absorbujący												+	
Produkcja cementu z żużla wielkopiecowego						+					+		
Zastosowania chemiczne/przemysłowe													x
Zamiennik wapna gaszonego											+		+
Topniki		+	+		+	+							
Zeszklenie odpadów	+	+	+		+	+							

x – potwierdzone zastosowanie ponownego użycia,,
+ - zastosowanie ponownego użycia, które zostało udowodnione w teorii, natomiast nie ma aktualnie prowadzonego projektu badawczego,
O – nie nadaje się do ponownego użycia w postaci nieobrobionej

Tabela 11.4 Konieczna obróbka i ograniczenia możliwości wykorzystania stałych pozostałości poza odlewnią

Rodzaj pozostałości	Obróbka	Ograniczenia
Żużel z żeliwiaka chłodzony powietrzem	Kruszenie	- wytwarzanie szklistego pyłu - spełnienie wymagań w zakresie przeładunku związanych z postacią szklistą
Żużel z żeliwiaka chłodzony wodą	Bez obróbki	- wytwarzanie szklistego pyłu - spełnienie wymagań w zakresie przeładunku związane z postacią szklistą
Żużel z topienia w piecu indukcyjnym	Kruszenie	- wytwarzanie szklistego pyłu - spełnienie wymagań w zakresie przeładunku związane ze szklistą postacią - mało dostępnych danych na temat wymywania
Żużel z elektrycznego pieca łukowego	Kruszenie	- wytwarzanie szklistego pyłu - spełnienie wymagań w zakresie przeładunku związane ze szklistą postacią - mało dostępnych danych na temat wymywania
Żużel z odsiarczania	Ekstrakcja metalu i innych grubszych cząstek	- spełnienie wymagań w zakresie przeładunku, zawartość CaC_2 wymaga zachowania ostrożności przy przeładunku, aby uniknąć obrażeń - może być to odpad specjalny (niebezpieczny)
Pyły i szlam	Prasowanie, suszenie i granulacja szlamu potrzebna w przypadku większości zastosowań	- dla niektórych pyłów istotne są wymagania w zakresie zdrowia i bezpieczeństwa - problemy z transportem materiałów pylistych -wysoka zdolność wymywania spowodowana charakterem produktu i dużą powierzchnia właściwą

11.3.2 Zasady kwalifikowania odpadów do grupy „ inne niż niebezpieczne”

Podstawą klasyfikacji odpadów do grupy „niebezpieczne” lub „inne niż niebezpieczne” jest wspomniane powyżej Rozporządzenia Ministra Środowiska w sprawie warunków uznawania odpadów za inne niż niebezpieczne z 13 maja 2004 r. (Dz. U. 128, poz. 1347, 2004 r.).

W przypadku odpadów powstających w procesie wykonywania odlewów należy rozważyć dwa aspekty, które mogą decydować o ich szkodliwości dla środowiska.

- związki wchodzące w skład składników, które są stosowane przy produkcji materiałów wyjściowych, a z których potem powstają odpady,
- związki, które mogą się tworzyć w wyniku procesów termicznych i będą przedostawać się do odpadów.

Zgodnie z wymienionym Rozporządzeniem jeżeli wyniki odpowiednich badań wskazuj, że stężenia tych substancji są niższe są niższe niż wymienione w załączniku 3 do Rozporządzenia, odpad uznaje się za nie posiadający składników i właściwości powodujących, że odpady te stanowią odpady niebezpieczne (§ 7) jeżeli zawartość niżej wymienionych substancji jest taka jak poniżej:

- substancje wysoce toksyczne (T+) – brak;
- substancje toksyczne (T) – łączne stężenie poniżej 3%;
- substancje szkodliwe (Xn) – łączne stężenie poniżej 25%;
- substancje żrące określone jako R35 (C) – brak;
- substancje żrące określone jako R34 (C) – łączne stężenie poniżej 5%;
- substancje drażniące określone jako R41 (Xi) – łączne stężenie poniżej 10%;
- substancje drażniące określone jako R36, R37 i R38 (Xi) – łączne stężenie poniżej 20%.

- wartość odczynu wyciągu wodnego, dla którego uznaje się, że odpad nie posiada właściwości drażniących (H4) wynosi 3,0 < pH < 11,5; wartość odczynu wyciągu wodnego, dla którego uznaje się, że odpad nie posiada właściwości żrących (H8) wynosi 2,0 < pH < 12,5.

Zgodnie z cytowanym rozporządzeniem warunkiem uznania, że odpady wymienione na liście odpadów niebezpiecznych nie posiadają składników i właściwości, z powodu których odpady te zostały umieszczone na tej liście, jest (§ 4):

1) brak przekroczeń stężenia składników określonych w Załączniku nr 3 do rozporządzenia

lub

2) brak przekroczeń parametrów granicznych określonych w Załączniku nr 1 do Rozporządzenia oraz brak cech określonych w § 2 ust. 1 – 6.

Natomiast § 5 mówi, że jeżeli wystąpi chociaż jedna z cech, o których mowa w § 2 ust. 1- 6, i przekroczenie parametrów, o których mowa w załączniku 1 do rozporządzenia, odpad jest odpadem niebezpiecznym.

Od lat wiadomo, że odpadami pochodzącymi z odlewni, które potencjalnie mogą oddziaływać najbardziej na środowisko są odpadowe masy rdzeniowe i masy odwałowe oraz pyły. Przeprowadzone ostatnio badania oraz analiza materiałów używanych w polskim odlewnictwie do wykonywania form i rdzeni wykazały, że odpady pochodzące z technologii opisanych w niniejszym przewodniku zaliczają się głównie do grupy odpadów innych niż niebezpieczne i stąd o ich wykorzystaniu gospodarczym decydują w zasadzie tylko względy technologiczne. Przykładowe wyniki badań wymywalności odpadów - na których opiera się to stwierdzenie - wykonane zgodnie z aktualnie obowiązująca metodyką przedstawiono w tabeli 11.5. Wyniki te mają szczególne znaczenie gdyż badania zostały wykonane już według aktualnie obowiązującej metodyki opisanej w Polskiej Normie PN-Z-15009 : 1997 Odpady stałe – Przygotowanie wyciągów wodnych, przywołanej w cytowanym Rozporządzeniu Ministra Środowiska z 13 maja 2004.

W poszczególnych przypadkach przed podjęciem decyzji o staraniu się o pozwolenie zintegrowane lub przed podpisaniem umowy o skierowaniu odpadów do wykorzystania odlewnia powinna jednak wykonać stosowna ekspertyzę, która jednoznacznie określi stopień wymywania się składników z odpadów.

Możliwości wykorzystania typowych odpadów odlewniczych opisano w tabeli 11.3. Jest to możliwe pod warunkiem, że istnieje lokalny rynek zbytu na te materiały, ale to zależy w znacznym stopniu od działań marketingowych odlewni i umiejętności współpracy z lokalnym biznesem lub władzami samorządowymi.

11.3.3 Wykorzystanie masy wybitej oraz pyłu z procesu regeneracji

W tabeli 11.3 przedstawiono możliwości ponownego wykorzystania zużytej masy formierskiej. Główne obszary zastosowania to:

- budownictwo drogowe,
- przemysł materiałów,
- wypełnianie wyrobisk górniczych,
- zagospodarowanie wysypisk.

Ograniczenie w tych zastosowaniach dotyczy zarówno kryteriów technicznych dla materiałów budowlanych, jak i kryteriów ochrony środowiska. Kryteria ochrony środowiska oparte są na skłonności mas do wymywania się z nich składników. Masa używana charakteryzuje się na ogół niskim potencjałem wymywania metali. Przekroczenie wartości granicznych może wystąpić w przypadku mas o wysokiej zawartości spoiw organicznych lub np. dodatku węgla. Z uwagi na dużą zawartość kwarcu i odpowiednią granulację wybita masa może być stosowana jako zamiennik świeżego piasku w konstrukcjach drogowych. Również stosowanie do

produkcji materiałów budowlanych jest technicznie możliwe, lecz wymaga wysokiego poziomu kontroli składu i sprawnej logistyki (terminowość i płynność dostaw). Generalnie masa przy utylizacji na zewnątrz nie wymaga wstępnej obróbki i transportowana jest z odlewni po nagromadzeniu i pośrednim przechowywaniu.

Tabela 11.5 Wyniki badania wymywalności odpadów odlewniczych
(wyciągi wodne 1 : 10 zgodnie z PN-Z-15009; 1997, Odpady stałe – Przygotowanie wyciągów wodnych).

Badany wskaźnik	Pochodzenie odpadów							
	Odlewnia żeliwa					Odlewnia żeliwa i aluminium	Odlewnia aluminium	
	Masa odwałowa	Masa z technologii hot-box: nieprzepalona	Masa z technologii cold-box nieprzepalona	Masa z technologii furanowej: nieprzepalona i przepalona	Pyły spod śrutownic	Pyły z odpylania odlewni	Masa odwałowa	Pyły poregeneracyjne z mas furanowych
Odczyn pH	7,9	3,6	5,2	x	9,7	9,9	4,8	3,9
ChZT - Cr mg O_2/	706,9	113,0	x	7,9	5,6	1349,3	699,9	x
OWO mg C/l	<5,0	38,00	x	x	x	x	<5,0	x
Fluorki mg F/l	20,74	x	x	x	x	1,26	149,40	173,7
Cyjanki wolne mg CN/l	0,45	x	x	x	x	0,005	1,93	x
Formaldehyd mg/l	0,003	0,88	<0,01	<0,01	0,03	<0,01	<0,002	0,004
Indeks fenolowy mg/l	0,05	4,3	0,22	0,007	0,012	0,68	0,61	0,86
Zasadowość mg $CaCO_3$/l	0,011	<20	<20	<20	x	x	0,54	0,11
Przewodność elektryczna właściwa µS/cm w 25°C	151,4	132	x	x	x	x	<20	<20
Fluorki mg F/l	x	x	x	x	x	8,79	x	x
Siarka mg S/l	0,178	x	x	x	x	11,5	0,243	x
Cynk mg Zn/l	0,010	x	1,139	<0,007	<0,007	x	0,007	x
Ołów mg Pb/l	x	x	0,038	<0,005	<0,005	x	x	x
Kobalt mg Co/l	0,008	0,0014	x	x	x	x	x	x
Nikiel mg Ni/l	0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	x	x	x
Chrom og. mg Cr/l	0,091	<0,002	1,46	<0,002	<0,002	x	x	x
Chrom +6 mg Cr/l	<0,001	<0,01	0,973	<0,01	<0,01	x	x	x
Mangan mg Mn/l	<0,01	x	0,005	<0,002	<0,002	x	x	x
Kadm mg Cd/l	137	x	<0,001	<0,001	<0,001	x	351	332
Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne (WWA)								
Naftalen µg/l	0,283	x	x	x	x	x	x	x
Acenaftylen µg/l	0,105	x	x	x	x	x	x	x
Acenaften µg/l	0,043	x	x	x	x	x	x	x
Fluoren µg/l	0,194	x	x	x	x	x	x	x
Fenantren µg/l	0,374	x	x	x	x	x	x	x
Antracen µg/l	0,239	x	x	x	x	x	x	x
Fluoranten µg/l	0,237	x	x	x	x	x	x	x
Piren µg/l	0,229	x	x	x	x	x	x	x
benzo(a)antracen µg/l	0,355	x	x	x	x	x	x	x
Chryzen µg/l	0,050	x	x	x	x	x	x	x
benzo(b)fluoranten µg/l	<0,018	x	x	x	x	x	x	x
benzo(k) fluoranten µg/l	<0,012	x	x	x	x	x	x	x
benzo(a)piren µg/l	<0,020	x	x	x	x	x	x	x
dibenz(ah)antracen + indeno(1,2,3-cd)piren µg/l	<0,040	x	x	x	x	x	x	x
benzo(ghi)perylen µg/l	<0,020	x	x	x	x	x	x	x

Uwaga: Przy porównywaniu wyników z tabeli z wymaganiami Rozporządzenia Ministra Środowiska z 13 maja 2004, powyższe wyniki należy przeliczyć na zawartości procentowe.

Pyły z procesu regeneracji (metodami mechanicznymi) masy zużytej wymagają szczególnej ostrożności w postępowaniu, ze względu na nagromadzone w nich związki organiczne w postaci resztek spoiwa usuniętego z ziaren.

11.3.4 Wykorzystanie żużli i zbędnych materiałów ceramicznych z wymurówek

Żużle i niewykorzystane materiały ceramiczne z wymurówek mogą być wykorzystywane również w budownictwie lądowym i nadają się ona szczególnie do takich celów jak budowa placów manewrowych lub nasypów, gdzie wymagane jest zasypanie nierówności i umocnienie spodniej warstwy palcu na niepewnym gruncie.

12. EMISJA HAŁASU DO ŚRODOWISKA

12.1 Analiza stanu istniejącego w zakresie emisji hałasu

W produkcji odlewów wykorzystywanych jest wiele procesów, operacji czy urządzeń będących źródłem emisji znacznego hałasu.
Spośród głównych źródeł należy wymienić:

- rozładunki / załadunki surowców i odpadów,
- załadunek wsadu,
- roztapianie metalu (np. elektryczne piece łukowe),
- wstrzeliwanie rdzeni lub form,
- wybijanie odlewów (np. kraty wstrząsowe),
- wykańczanie odlewów (np. oczyszczarki, cięcie, dłutowanie),
- instalacje do regeneracji masy,
- urządzenia wentylacyjne wyciągowe, nawiewne,
- stacje sprężarek,
- chłodnie powietrzne,
- obrabiarki do drewna i metalu.

Emisja hałasu powstającego w trakcie procesów odlewniczych ma wpływ zarówno na środowisko zewnętrzne, jak i na środowisko pracy.
Przykładowe poziomy emisji hałasu występującego w krajowych odlewniach w procesie produkcji odlewów przedstawia tabela 12.1.

Uciążliwość odlewni dla otoczenia zależy przede wszystkim od lokalizacji zakładu.

W przypadku usytuowania na terenach przemysłowych (wewnątrz terenów przemysłowych – np. na terenie huty) hałas emitowany przez odlewnię może nie wyróżniać się z tła. W sytuacji kiedy zakład graniczy lub znajduję się w pobliżu zabudowy mieszkalnej jego uciążliwość (szczególnie w porze nocnej) może być zauważalna.

W odlewniach polskich wykonujących pomiary na granicy zakładu poziom hałasu w porze dziennej waha się od 48,3 do 58,0 dB(A) a w porze nocnej od 38.0 do 54,1 dB(A). Obowiązujące w kraju przepisy dotyczące emisji hałasu określają jego poziom na granicy zakładu z terenem zabudowanym na 45 dB(A) w porze nocnej i 55 dB(A) w porze dziennej.
Należy podkreślić, że stosunkowo niewielka ilość odlewni prowadzi w sposób systematyczny pomiary hałasu na granicy zakładu. Niewiele jest także informacji o poziomie emitowanego hałasu ze źródeł znajdujących się poza halami produkcyjnymi (wentylatory, instalacje odpylania itp.). Wykonywane pomiary (głównie na stanowiskach pracy) mają związek z wymaganiami prawa pracy w zakresie monitorowania czynników szkodliwych w środowisku pracy.

W dokumentach referencyjnych BREF dla odlewni nie przedstawiono żadnych szczegółowych informacji dotyczących poziomów emisji hałasu z odlewni europejskich. Zaleca się opracowanie planu zmniejszania hałasu dla kompleksowej redukcji jego poziomu, kontrolowanie i ocenianie emisji hałasu z poszczególnych jego źródeł. Podawane są nieliczne przykłady specyficznych technik zmniejszających poziom emisji hałasu takich jak: palnik tlenowy w piecu obrotowym, stosowanie technologii spienionego żużla (elektryczne piece łukowe), obudowa kraty wstrząsowej do wybijania odlewów, wdmuchiwanie powietrza do hali odlewni co powoduje mały wzrost ciśnienia wewnątrz i utrzymywanie hałasu wewnątrz pomieszczenia. Do rozważenia poddaje się także obudowę budynku odlewni.

12.2. Techniki zapobiegające generowaniu i ograniczające emisję hałasu

Zawarte w dokumentach referencyjnych BREF dane odnośnie NDT dla przemysłu odlewniczego w zakresie ograniczania hałasu określają następujące działania:

Tabela 12.1. Poziom hałasu w operacjach procesu produkcji odlewów w odlewniach krajowych

Źródło hałasu	Poziom emisji , dB(A)
Rozładunek złomu na polu wsadowym	84.1
Załadunek wsadu	89.0 – 92.0
Cięcie złomu na polu wsadowym – palnik acetylenowo - tlenowy	90.2
Topienie metalu – elektryczne piece łukowe	80.0 – 110.0
Topienie metalu - żeliwiaki	82.6
Wygrzewanie kadzi odlewniczych	86.2
Formowanie maszynowe, formierki, agregaty formierskie, strzelarki do rdzeni	81.0 – 103.0
Ubijanie pneumatyczne masy	87.0 – 97.0
Wybijanie odlewów – kraty wstrząsowe	84.6 – 101.0
Przerób i regeneracja mas, mieszarki mas	74.6 – 93.0
Oczyszczarki śrutowe i inne	80.7 – 93.0
Cięcie układów wlewowych i nadlewów - palnik acetylenowo - tlenowy	90.0 – 100.0
Odbijanie układów wlewowych	92.7
Usuwanie naddatków, cięcie metodą elektropowietrzną	95.0 – 110.0
Szlifowanie odlewów – narzędzia ręczne pneumatyczne, elektryczne	86.0 – 100.0
Dłutowanie odlewów – młotek pneumatyczny	85.0 - 105
Szlifierki, przecinarki stacjonarne	90.0 – 99.7
Spawanie	80.0 – 89.0
Hartowanie powietrzne	83.3
Wentylatory nadmuchowe, wyciągowe	78.8 – 89.8
Chłodnia powietrzna	85.1
Sprężarkownia	94.7

- utrzymywanie drzwi zewnętrznych zamkniętych w czasie godzin nocnych,
- stosowanie zasłon wyciszających na wszystkie drzwi zewnętrzne,
- rozwijanie i wdrażanie strategii ograniczania hałasu przy pomocy metod ogólnych i specyficznych dla danego źródła,
- stosowanie obudów dla urządzeń emitujących wysoki poziom hałasu,
- właściwa konserwację wyposażenia zapobiegająca wzrostowi poziomu emitowanego hałasu,
- kontrola, pomiary i badania hałasu w zależności od ważności problemu.

Analiza stanu zagadnienia w zakresie emisji hałasu w krajowych odlewniach prowadzi do następujących wniosków:

- Emisja hałasu z wielu procesów i urządzeń odlewniczych jest wysoka i pomimo, że źródła emisji znajdują się głównie wewnątrz pomieszczeń produkcyjnych decydować będą one o poziomie hałasu na granicy zakładu. Poziomy emisji hałasu z różnych procesów i urządzeń przedstawione zostały w tabeli 12.1.

- W niektórych odlewniach notowane jest przekroczenie dopuszczalnego poziomu hałasu na granicy zakładu. Wiele odlewni położonych jest na terenach zaliczanych do przemysłowych. Tylko niektóre z odlewni prowadzą systematyczny monitoring poziomu hałasu na granicy zakładu, podobnie nieliczne zakłady prowadzą pomiary źródeł hałasu zlokalizowanych poza halami produkcyjnymi. W większości odlewni prowadzony jest monitoring poziomu hałasu na stanowiskach pracy – na wielu stanowiskach przekracza on dopuszczalny poziom ekspozycji 8 – godzinnej wynoszący 85 dB(A).
- Nieliczne procesy czy operacje technologiczne związane z emisją hałasu wykonywane są poza pomieszczeniami produkcyjnym. W większości odlewni jest to rozładunek złomu lub innych materiałów, załadunek odlewów lub odpadów. W niektórych odlewniach poza pomieszczeniami produkcyjnymi dokonuje się cięcia złomu palnikami gazowymi (tlen – acetylen). W wielu odlewniach jako znaczące źródła zewnętrzne hałasu wymienia się wentylatory instalacji nawiewnych czy wyciągowych. Do znacznych źródeł hałasu można zaliczyć także stacje sprężarek czy chłodnie powietrzne.
- Większość odlewni deklaruje, że oszklenie pomieszczeń produkcyjnych jest kompletne i w dobrym stanie technicznym. W niektórych odlewniach w miejsce szyb pojedynczych wstawia się szyby zespolone podwójne.
- Większość odlewni posiada szczelne drzwi i bramy do pomieszczeń produkcyjnych. W wielu odlewniach stosuje się bramy podwójne, dodatkowe kotary. W niektórych odlewniach bramy wykonane z blachy zastępowane są szczelnymi, o podwójnym oszkleniu bramami szybkozamykającymi się.

Wiele zakładów realizowało lub jest w trakcie realizacji działań obniżających emisję hałasu. W celu ograniczenia emisji hałasu krajowe odlewnie podejmują następujące działania:

- w zakresie zewnętrznych źródeł hałasu dotyczy to wykonania dźwiękochłonnych obudów wentylatorów, instalacji tłumików na wyrzutniach gazów,
- w przypadku wielu procesów czy urządzeń działania związane z redukcją hałasu na stanowiskach pracy przyczyniło się w sposób bezpośredni do obniżenia poziomu hałasu na granicy zakładu. Spośród najważniejszych działań można tu wymienić:
  - wykonanie obudowy elektrycznych pieców łukowych,
  - wykonanie specjalnej kabiny do cięcia palnikiem układów wlewowych i nadlewów,
  - wykonanie specjalnej kabiny do prowadzenia procesu elektrożłobienia,
  - wygradzanie stanowisk ręcznego szlifowania i młotkowania odlewów specjalnymi kurtynami/parawanami z folii,
  - wykonanie obudowy kraty wstrząsowej,
  - zastosowanie wykładzin tłumiących w kabinach krat wstrząsowych,
  - zastosowanie tłumików hałasu przy rozdzielaczach pneumatycznych,
  - zastosowanie tłumików sprężonego powietrza przy strzelarkach,
  - modernizacja procesu naważania i załadunku wsadu żeliwiakowego,
  - eliminacja ze stosowania ubijaków pneumatycznych,
  - zastępowanie ręcznych narzędzi pneumatycznych (szlifierki) narzędziami elektrycznymi,
  - stosowanie manipulatorów,

Przeprowadzone przez odlewnie działania skutkowały obniżeniem hałasu na granicy zakładu o 1 – 3 dB(A), emisję hałasu w pobliżu ich źródeł udawało obniżyć się o 7 – 25 dB(A), a na różnych stanowiskach pracy o 5 – 25 dB(A)..

Należy także zaznaczyć, że bardzo istotną rolę w ograniczeniu emisji hałasu odgrywa ciągle udoskonalanie procesów odlewniczych w celu poprawy jakości odlewu. Na przykład w

przypadku wykańczania odlewów, gdzie stosuje się w szerokim zakresie narzędzia pneumatyczne czy elektrożłobkowanie do usuwania wad odlewniczych, poprawa jakości odlewów zmniejsza pracochłonność, a co za tym idzie emisję hałasu (skrócenie czasu ekspozycji, rozrzedzenie stanowisk). Problem wysokiej emisji hałasu powstającej w wielu procesach odlewniczych (np. wykańczanie odlewów) jest bardzo ważny z punktu widzenia bezpieczeństwa pracy. Przekroczenia dopuszczalnego poziomu ekspozycji 8 godzinnej notowane jest w większości odlewni i na rożnych stanowiskach. Dlatego ważne jest oznaczanie stref hałasu, ograniczanie dostępu do nich oraz wyposażenie pracowników w właściwie dobrane ochrony osobiste. Generalnie w odlewniach prowadzi się systematyczne przeglądy i remonty urządzeń i instalacji odlewniczych co ma na celu m.in. ograniczeni hałasu.

12.3 Minimalne wymagania dotyczące monitoringu emisji hałasu

Monitorowanie emisji hałasu w środowisku poza zakładem co 2 lata.