



The study of heavy metals leaching from foundry dusts in terms of their impact on the environment

Marta BOŻYM¹, Kamila ZALEJSKA²

¹ Politechnika Opolska, Wydział Mechaniczny, Katedra Inżynierii Środowiska, Opole 45-271, ul. Mikołajczyka 5, tel.: +48 77 449 84 74, +48 77 449 83 81 e-mail: m.bozym@po.opole.pl

² Politechnika Opolska, Wydział Mechaniczny, Katedra Inżynierii Środowiska, Opole 45-271, ul. Mikołajczyka 5, e-mail: k.zalejska@gmail.com

Abstract

The study investigated the leachability of heavy metals from foundry dusts. Samples were taken from the dust collectors of arc furnace from two steel plants (A and B), pneumatic cleaner of casts, lattice vibration, reclamation of moulding sands yard. From waste water extracts were prepared. The total and dissolved content of heavy metals in dusts was analyzed. The results were compared with current law, in order to determine the effects of the waste on the environment. In the dusts from both the steel plants was found high leachability of chromium and cadmium. Dust from lattice vibration characterized by high nickel and zinc, also in aqueous extracts. Therefore, dusts from steel plants A and B and dust from lattice vibration were classified as hazardous waste. The remaining dusts contained low level of leachable heavy metal forms. On the basis of these results, it was found that dusts from the foundry should not be stored in company dump area, due to the loose, dusty character and content of heavy metals in the water extracts. A good solution to the problem of dust in foundries can be recycle them into the production process or other utilization.

Keywords: foundry dusts, heavy metals, leachability

Streszczenie

Badanie wymywalności metali ciężkich z pyłów odlewniczych pod kątem ich wpływu na środowisko

W pracy zbadano wymywalność metali ciężkich z pyłów odlewniczych. Próbki pochodziły z odpylaczy pieców łukowych dwóch stalowni (A i B), z oczyszczania pneumatycznego odlewów, krat wstrząsowych oraz z hali do regeneracji mas formierskich. Z odpadów sporządzono wyciągi wodne. W pyłach oznaczono zawartość całkowitą metali ciężkich i formy rozpuszczone w wodzie. Wyniki badań porównano z obowiązującym prawem, w celu określenia wpływu badanych odpadów na środowisko. W pyłach pochodzących z obu stalowni stwierdzono dużą wymywalność chromu i kadmu. Pył z krat wstrząsowych charakteryzował się wysoką zawartością niklu i cynku, także w wyciągach wodnych. Z tego względu pyły ze stalowni A i B oraz krat wstrząsowych zaklasyfikowano do odpadów niebezpiecznych. Pyły z oczyszczania pneumatycznego odlewów i hali do regeneracji mas zawierały nieznaczny udział wymywalnych form metali ciężkich. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdzono, że pyły pochodzące z badanej odlewni nie powinny być składowane na przykładowych hałdach, z uwagi na sypki, pyłący charakter i obecność metali ciężkich w wyciągach wodnych. Rozwiązaniem problemu pyłów w odlewniach może być zwracanie ich do procesu produkcyjnego lub powtórne wykorzystanie do innych celów.

Słowa kluczowe: pyły odlewnicze, metale ciężkie, wymywalność

1. Wstęp

Pyły należą do najbardziej uciążliwych odpadów odlewniczych [1]. Mogą powstawać na różnych etapach produkcji odlewów, głównie podczas wytapiania metalu, przygotowywania mas formierskich, oczyszczania i wybijania odlewów oraz w procesach suchej regeneracji mas [2]. W zależności od miejsca powstawania pyły różnią się właściwościami fizycznymi i chemicznymi oraz stopniem zagrożenia dla zdrowia ludzi i środowiska. Pyły pochodzące z odpylaczy pieców odlewniczych są zaliczane do najbardziej niebezpiecznych, ponieważ mogą zawierać znaczne ilości metali ciężkich [3-5]. Największa ilość tych pyłów powstaje w żeliwiakach,

najmniejsza w piecach lukowych. Innym procesem o zwiększonej emisji pyłów jest oczyszczanie odlewów. Pyły powstają także w procesie regeneracji piasków formierskich, zwłaszcza w odlewniach stosujących suchą regenerację zużytych mas, gdzie udział pyłów stanowi 5-10% masy poddanej regeneracji [5-7].

Preferowanym kierunkiem zagospodarowania pyłów odlewniczych jest ich powtórne wykorzystanie. Może się ono odbywać poprzez zawracanie w procesie odlewniczym lub stosowanie do innych celów. Znajomość składu pyłów warunkuje sposób ich zagospodarowania [8]. Pod względem technicznym wykorzystanie powtórne pyłów w odlewniach może być problematyczne głównie z uwagi na ich pylisty charakter. Do pieca dozowane są przez bezpośrednie wdmuchiwanie lub ze wsadem, w postaci brykietów. Pyły powstające na etapie mechanicznej, suchej regeneracji mas formierskich zawierają zwykle duże ilości spoiw. W przypadku stosowania w odlewni spoiw organicznych, pyły posiadają wysoką wartość opałową i mogą być wykorzystywane termicznie. Pyły z regeneracji mas ze spoiwami nieorganicznymi mogą być zagospodarowywane jako materiał obojętny, na przykład w nieczynnych kopalniach węgla [3].

Pyły nie nadające się do powtórnego wykorzystania, przed składowaniem powinny zostać odpowiednio przetworzone, w celu zabezpieczenia przed pyleniem i wymywaniem zanieczyszczeń [8]. Pyły o dużej zawartości metali ciężkich, zgodnie z ustawą z dnia 14 grudnia 2012 o odpadach (Dz. U. 2013 nr 0 poz. 21) [10], traktowane są jako odpady niebezpieczne i powinny być zestalone lub składowane na odpowiednio przygotowanych składowiskach. Z uwagi na wysokie koszty składowania odlewnie podejmują działania zmierzające do zagospodarowania wszystkich rodzajów pyłów we własnym zakresie.

Celem pracy było zbadanie pyłów pochodzących z różnych etapów produkcji odlewów i ocena ich wpływu na środowisko.

2. Opróbowanie i metodyka badań

Próbki pyłu pochodziły z wybranej odlewni na Opolszczyźnie. Odlewnia zajmuje się produkcją odlewów stalowych oraz walców hutniczych. Produkuje głównie odlewy surowe i obrobione, ze staliwa oraz żeliwa, części maszyn i urządzeń przemysłowych, koła jezdne suwnic, stalowe walce hutnicze i osprzęt walcowniczy. Odpady powstające podczas produkcji, od początku funkcjonowania do lat 80-tych XX-wieku, trafiały na przykładowe składowiska odpadów. Deponowano tam zużyte masy formierskie i rdzeniowe, żużle stalownicze, szlamy z odpylaczy, szlamy z piaskowników, materiały ogniotrwałe czy pyły z odpylaczy. Obecnie w odlewni pyły powstają na kilku etapach produkcji: w stalowniach, instalacjach oczyszczania pneumatycznego odlewów, krat wstrząsowych oraz regeneracji mas. Z uwagi na wysoki udział metali ciężkich w pyłach pochodzących ze stalowni, krat i oczyszczania pneumatycznego, odpady te są ponownie wykorzystywane w procesie produkcji. Odbiorcą pyłów jest producent surowcowych wsadów hutniczych, tak zwanych zasypek do kadzi. Pyły z regeneracji mas formierskich lub krat są odbierane przez firmę, która wykorzystuje je jako materiał obojętny, do wypełniania wyrobisk kopalnianych.

Próbki pyłów zostały pobrane jednorazowo przez pracownika odlewni z odpylaczy workowych (stalownia A i B, oczyszczanie pneumatyczne, kraty wstrząsowe) oraz filtra pulsacyjno – strumieniowego (regeneracja mas formierskich). Pobrane próbki pyłów, każda o masie około 10 kg, zostały zmieszane i zmniejszone metodą kwartowania, w celu przygotowania próbki laboratoryjnej. Masa próbek laboratoryjnych wynosiła około 1 kg.

Z pyłów sporządzono wyciągi wodne w stosunku masowym 1:10 wytrząsane w temperaturze pokojowej przez 24h, zgodnie z normą PN-EN 12457-2:2006 „Charakteryzowanie odpadów -- Wymywanie -- Badanie zgodności w odniesieniu do wymywania ziarnistych materiałów odpadowych i osadów -- Część 2: Jednostopniowe badanie porcjowe przy stosunku cieczy do fazy stałej 10 l/kg w przypadku materiałów o wielkości cząstek poniżej 4 mm (bez redukcji lub z redukcją wielkości)”.

W celu oznaczenia ogólnej zawartości metali ciężkich wykonano mineralizację pyłów w wodzie królewskiej techniką mikrofalową, zgodnie z normą PN-EN 13657:2006 „Charakteryzowanie odpadów -- Roztworzenie do dalszego oznaczenia części pierwiastków rozpuszczalnych w wodzie królewskiej”. W wyciągach wodnych oraz mineralizatach oznaczono zawartość metali ciężkich (Cd, Pb, Cu, Zn, Ni, Cr) metodą absorpcyjnej spektrometrii atomowej, techniką płomieniową (FAAS), z wykorzystaniem spektrometru Solaar6M.

W celu oceny wpływu badanych pyłów na środowisko, uzyskane wyniki porównano z Rozporządzeniem Ministra Gospodarki z dnia 8 stycznia 2013 r. w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu (Dz. U. 2013 nr 0 poz. 38) [11]. Dodatkowo wyniki badań porównano z danymi literaturowymi, dotyczącymi składu pyłów odlewniczych, w celu określenia kierunków ich dalszego wykorzystania.

3. Omówienie wyników badań

Próbkom nadano oznaczenia:

- 1 – pył ze stalowni A,
- 2 – pył ze stalowni B,
- 3 – pył z oczyszczania pneumatycznego,
- 4 – pył z krat wstrząsowych,
- 5 – pył z regeneracji piasków formierskich.

Wyniki badania wymywalności metali ciężkich z pyłów przedstawia tabela 3.1. W tabeli 3.2 podano zawartość ogólną metali ciężkich w próbkach i porównano z danymi literaturowymi. W tabelach podano wartości średnie obliczone dla trzech powtórzeń oraz odchylenie standardowe podane za znakiem „±”. Wartości podawane z poprzedzającym znakiem „<” oznaczają uzyskanie wyniku poniżej granicy oznaczalności.

Tabela 3.1. Zestawienie wyników wymywalności zanieczyszczeń z odpadów w porównaniu z granicznymi wartościami dla składowisk odpadów różnego typu (Dz. U. 2013 nr 0 poz. 38) [11]

Metal	Jednostka	Numer próbki					Dz. U. 2013 nr 0 poz. 38		
		1	2	3	4	5	obojętne	inne	niebezpieczne
Cd	[mg/kg]	<0,05	6,62±0,44	<0,05	0,17±0,02	<0,05	0,04	1	5
Pb		<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,5	10	50
Cu		<0,2	<0,2	<0,2	0,4±0,01	<0,2	2	50	100
Zn		0,2±0,01	32,4±1,5	<0,1	95,0±2	8,9±0,1	4	50	200
Ni		<0,2	1,2±0,1	<0,2	24,1±0,3	3,2±0,01	0,4	10	40
Cr		101±1	0,37±0,1	<0,1	0,21±0,02	0,11±0,01	0,5	10	70

Najwięcej kadmu zawierał wyciąg wodny z pyłu pochodzącego ze stalowni B (nr 2) (6,62mg/kg). Udział tego pierwiastka przekroczył wartości dopuszczalne dla wszystkich rodzajów składowisk. Z tego powodu pył ten nie może być składowany na składowisku żadnego typu i musi być uznany za odpad niebezpieczny. Podobna sytuacja wystąpiła w przypadku pyłu ze stalowni A (nr 1), gdzie w wyciągu wodnym zostały przekroczone wartości graniczne dla chromu (101mg/kg) (tabela 3.1). Odpad ten należy uznać za odpad niebezpieczny, zagrażający środowisku podczas ewentualnego składowania. Jedynym rozwiązaniem jest powtórne wykorzystanie tych pyłów lub ich zestalenie, w celu związania metali ciężkich. Zawartość chromu w pozostałych pyłach nie przekraczała 0,5 mg/kg (tabela 3.1). Z uwagi na wysoki udział niklu i cynku w wyciągach wodnych z pyłu z krat wstrząsowych (nr 4), odpowiednio 24,1 i 95mg/kg, odpad ten powinien także zostać zaklasyfikowany do odpadów niebezpiecznych. Zawartość ołowiu i miedzi w wyciągach wodnych badanych pyłów była niewielka, w większości przypadków poniżej granicy oznaczalności.

Podsumowując, z uwagi na podwyższony udział niektórych metali ciężkich (Cd, Cr, Ni, Zn) w wyciągach wodnych, pyły ze stalowni A i B (nr 1 i 2) oraz z krat wstrząsowych (nr 4) należy uznać za odpady niebezpieczne. Odpady te nie powinny być składowane na składowiskach odpadów żadnego typu. Pozostałe pyły (nr 3 i 5) nie stwarzają zagrożenia dla środowiska, z punktu widzenia wymywalności metali ciężkich. Problemem w składowaniu pyłów na składowiskach nadpowierzchniowych, zwłaszcza na hałdach, jest możliwość rozwiewania ich na znaczne odległości. Dlatego obecnie zakład nie składowuje pyłów odlewniczych na przykładowych hałdach, tylko sprzedaje odpady do powtórnego wykorzystania.

Tabela 3.2. Zestawienie wyników oznaczania ogólnego udziału metali ciężkich w badanych pyłach z danymi literaturowymi

Metal	Jedn.	Numer próbki					Pył z produkcji stali wysokostopowej [12]	Pył z regeneracji [3]	Pył odlewniczy z różnych źródeł [13]
		1	2	3	4	5			
Cd		95±5	128±5	<0,3	5,9±0,1	3,6±0,2	100-800	25	<0,1
Pb		7602±111	7575±20	86,1±1,5	95,3±0,4	<2,5	5-20×10 ³	67	16-20
Cu	[mg/kg]	1019±5	1199±1	863±11	265±2	148±1	100-300	23	28-40
Zn		29625±108	35471±175	427±2	934±5	103±1	20-100×10 ³	49	52-63
Ni		370±1	290±3	1599±24	104±4	29±1	20-40×10 ³	3	5,3-7,5
Cr		3972±29	3794±8	3 058±1	949±1	548±1	-	351	31-37

Największy udział metali ciężkich stwierdzono w pyłach z obu stalowni (nr 1 i 2) (tabela 3.2). Pyły te były najbardziej zasobne w cynk, ołów, chrom i miedź. Udział tych pierwiastków w pyłach z odpylania pieców odlewniczych zależy od składu odlewanej stali czy żeliwa. Wysoki udział metali stwierdzono także w pyłach z oczyszczania pneumatycznego (nr 3). W metodzie tej skład pyłu zależy od rodzaju oczyszczanej powierzchni oraz składu śrutu czyszczącego. W badanych pyłach (nr 3) stwierdzono najwyższy udział chromu (3058mg/kg), następnie niklu (1599mg/kg) i miedzi (863mg/kg) (tabela 3.2). W pyłach z krat wstrząsowych (nr 4) także oznaczono wysoki udział metali, zwłaszcza chromu (949mg/kg) i cynku (934 mg/kg). Na kratkach wstrząsowych oddzielany jest mechanicznie odlew od masy formierskiej, dlatego skład pyłu powinien zależeć od rodzaju osnowy masy formierskiej, nie zaś od składu odlewu. Okazuje się jednak, że oczyszczanie na kratkach może powodować uwalnianie cząstek metalicznych z oczyszczanego materiału. Dodatkowy wpływ na skład pyłu z krat ma ogólne zapylenie hali, w której znajdują się kratki wstrząsowe. Najmniejszy udział metali ciężkich stwierdzono w przypadku pyłów z regeneracji mas formierskich (nr 5).

Porównując badany pył z regeneracji (nr 5) i przebadany przez Holtzera i innych [3] można zauważyć większy udział metali w pyłach pochodzących z badanej odlewni. Mimo, iż oba rodzaje pyłów pochodziły z tego samego typu instalacji do mechanicznej regeneracji, rozbieżności w wynikach mogą być związane z różnym rodzajem i składem regenerowanego materiału. Pozostali autorzy podają zawartość metali ciężkich w pyłach pochodzących z różnych etapów produkcji. Opracowane przez Ministerstwo Gospodarki wytyczne BAT (*Best Available Techniques*) dla odlewni [12] podają wyniki badań pyłu z produkcji stali wysokostopowej. Rozrzut wyników zawartości metali w tym przypadku jest bardzo duży, od 100 mg/kg (Cd) do 100 000 mg/kg (Zn) (tabela 3.2). Według tych danych wysoki udział metali jest charakterystyczny dla pyłów pochodzących ze stalowni i stosowanych powtórnie w procesie produkcyjnym. Zakres udziału metali podany przez Bobrowskiego [13] jest znacznie niższy od uzyskanych dla badanych pyłów. W swoim zestawieniu autor nie uwzględnił pyłów stalowniczych, w których udział metali jest największy. Na rozbieżności w zawartości metali ciężkich w pyłach odlewniczych badanych przez cytowanych autorów (tabela 3.2) wpływa przede wszystkim rodzaj produkcji realizowanej w danym zakładzie. Dodatkowo różnice mogą wynikać z typu stosowanych pieców oraz wielkości i charakteru produkcji. Zestawianie i porównywanie danych literaturowych może tylko pomóc w określeniu rzędu wielkości danego zanieczyszczenia. Znajomość składu pyłów pozwala na zaplanowanie dalszego sposobu ich zagospodarowania.

Na podstawie uzyskanych wyników obliczono procentowy udział form metali wmywanych wodą w stosunku do ich zawartości ogólnej (tabela 3.3).

Tabela 3.3. Udział procentowy form wymywalnych w stosunku do zawartości ogólnej.

Metal	Jednostka	Numer próbki				
		1	2	3	4	5
Cd	[%]	<0,1	5,17	-	2,87	<1,4
Pb		<0,01	<0,01	<0,58	<0,52	-
Cu		<0,02	<0,02	<0,02	0,15	<0,14
Zn		0,01	0,09	<0,02	10,2	8,6
Ni		<0,1	0,41	<0,01	23,2	10,9
Cr		2,54	0,01	<0,003	0,02	0,02

Z tabeli 3.3 wynika, że udział procentowy rozpuszczalnych form metali ciężkich w pyłach jest niewielki. Jedynie dla niklu wyniósł 23%. Udział formy rozpuszczalnej kadmu oznaczono na poziomie 5,17% dla pyłu z pieca ze stalowni B (nr 2). Natomiast w pyłe z krat wstrząsowych udział formy rozpuszczalnej tego metalu wyniósł 2,87%. Udział form rozpuszczalnych kadmu w pozostałych pyłach był nieznaczny lub trudny do oszacowania (nr 3). Nie oznaczono udziału form rozpuszczalnych ołowiu w badanych pyłach, gdyż zawartość tego metalu w wyciągach wodnych znajdowała się poniżej granicy oznaczalności. Miedź i chrom w badanych pyłach występowały głównie w formach nierozpuszczalnych. Jedynie w przypadku pyłu ze stalowni A (nr 1) udział rozpuszczonej formy chromu wyniósł 2,54% w stosunku do zawartości ogólnej (tabela 3.3). Największy udział niklu i cynku stwierdzono w wyciągach wodnych pyłów z krat wstrząsowych (nr 4): Ni 23,2% i Zn 10,2% oraz z regeneracji piasków formierskich (nr 5): Ni 10,9% i Zn 8,6%. Holtzer i inni [3] także oznaczyli w pyłach odlewniczych wysoki udział form rozpuszczalnych w wodzie dla tych metali: Ni 62% i Zn 41%. Autorzy stwierdzili także, że udział innych badanych metali w roztworach wodnych nie przekroczył 0,1%.

Na podstawie uzyskanych wyników badań nasuwa się pytanie: dlaczego uzyskano różne stopnie wymycia kadmu i chromu z pyłów pochodzących z pieca A i B, przy zbliżonej zawartości ogólnej tych metali? Do wyjaśnienia tego zjawiska konieczne będzie przeprowadzenie dodatkowych badań właściwości fizykochemicznych pyłów oraz uwzględnienie składu mieszanki surowcowej dla obu pieców. Kolejnym etapem badań będzie określenie wymywalności metali z badanych pyłów przy wykorzystaniu wybranych ekstrahentów, symulujących zmiany warunków środowiska. Zostaną wykorzystane techniki ekstrakcji pojedynczej i sekwencyjnej, w celu dokładniejszej oceny wpływu badanych odpadów na środowisko. Planuje się także zastosowanie wybranych testów wymywalności zanieczyszczeń zalecanych w literaturze dla odpadów odlewniczych, np. TCLP, SPLP oraz ASTM D 3987.

Mimo niewielkiego udziału form wymywanych metali w stosunku do zawartości ogólnej w badanych pyłach, nie należy wykluczyć ewentualnego zwiększenia rozpuszczalności w trakcie ekspozycji na czynniki atmosferyczne (powietrze i woda). Rozwiązaniem problemu jest zagospodarowanie tych odpadów, z pominięciem składowania, zwłaszcza na hałdach.

4. Podsumowanie

Badane pyły charakteryzowały się zróżnicowanym składem i zawartością metali, w zależności od miejsca powstawania. Pyły z odpylania pieców łukowych w stalowni A i B charakteryzowały się wysoką ogólną zawartością metali ciężkich (Zn, Pb, Cr i Cu). Z uwagi na podwyższony udział niektórych metali w wyciągach wodnych z tych pyłów, niemożliwe jest ich składowanie. Zgodnie z prawem odpady te zakwalifikowano do kategorii odpadów niebezpiecznych. Z uwagi na podwyższony udział niklu i cynku w wyciągach wodnych, pył z krat wstrząsowych także został zaklasyfikowany do odpadów niebezpiecznych. Wymywalność zanieczyszczeń z pyłu pochodzącego z instalacji do regeneracji mas była niewielka, co pozwoliło na zaklasyfikowanie tych odpadów do kategorii odpadów innych niż obojętne i niebezpieczne. Pyły z instalacji do oczyszczania pneumatycznego odlewów zaklasyfikowano do odpadów obojętnych. Zgodnie z obowiązującymi przepisami prawa w zakresie ochrony środowiska, odpady pochodzące z instalacji do oczyszczania pneumatycznego oraz z regeneracji mas nie stwarzają zagrożenia dla środowiska.

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że badane pyły nie powinny być składowane na przykładowych hałdach. Niektóre z badanych próbek, zawierały wysoki udział wymywalnych form metali ciężkich, przekraczający graniczne wartości określone w polskim prawie. Pozostałe pyły, mimo niskiego udziału

zanieczyszczeń w wyciągach wodnych, nie powinny być składowane z uwagi na możliwość pylenia i rozwiewania na dalsze odległości. Właściwym rozwiązaniem wydaje się ich ponowne wykorzystanie, co obecnie realizuje właściciel odpadów.

Literatura

1. Kabsch P.: Odpylanie i odpylacze, t. 1, Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, Warszawa, 1992.
 2. Perzyk M., Waszkiewicz S., Kaczorowski M., Jopkiewicz A.: Odlewnictwo, Wydawnictwo Naukowo – Techniczne, Warszawa, 2000.
 3. Holtzer M., Aslanowicz M., Jurczyk A.: Sposoby zagospodarowania pyłów powstających w procesie regeneracji mechanicznej mas formierskich z żywicą furanową, *Przegląd Odlewnictwa*, 9, 2006, 472 – 477.
 4. Holtzer M., Bobrowski A., Drożyński D., Bigaj A., Kirchner D., Żuchliński R.: Zagospodarowanie pyłów z odpylania stacji przerobu mas z bentonitem, *X Konferencja Odlewnicza Technical*, 2007, 29 – 35.
 5. Holtzer M., Niesler M., Podrzucki C., Rupniewski M.: Wykorzystanie żeliwiaka do recyklingu pyłów odlewniczych, *Archiwum Odlewnictwa*, rocznik 6, nr 20, 2006, 111–121.
 6. Makhniashvili I., Szewczyńska M., Ekiert E., Pośniak M.: Szkodliwe substancje chemiczne i pyły w odlewniach żeliwa, *Odlewnictwo – Nauka i Praktyka*, 3 – 4, 2006, 46 – 47.
 7. Latała-Holtzer M., Moniowski W., Wicher K., Żmudzińska M.: Aktualny poziom oddziaływania krajowego przemysłu odlewniczego na środowisko oraz uregulowania prawne w zakresie odpadów obowiązujące w Unii Europejskiej i w Polsce, *Archiwum Odlewnictwa*, rocznik 2, nr 3, 2002, 82 – 84.
 8. Zych J., Smyksy K., Postuła J., Rudziński R.: Recykling pyłów w odlewni żeliwa średniej wielkości, *Przegląd Odlewnictwa*, 12, 2008, 626 – 634.
 9. Bożym M., Dąbrowska I. „Kierunki zagospodarowania odpadów odlewniczych”, *Materiały konferencji naukowej „Ekoforum 2”*, 22-23.10.2012r., Kamień Śląski, Monografia „Problemy w ochronie środowiska w województwie opolskim – odpady i ścieki”, 24-41.
 10. Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 o odpadach (Dz. U. 2013 nr 0 poz. 21)
 11. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 8 stycznia 2013 r. w sprawie kryteriów oraz procedur dopuszczania odpadów do składowania na składowisku odpadów danego typu (Dz. U. 2013 nr 0 poz. 38)
 12. Ministerstwo Środowiska.: Zintegrowane zapobieganie i ograniczenie zanieczyszczeń. Dokument Referencyjny BAT dla najlepszych dostępnych technik w produkcji żelaza i stali, Warszawa, 2004.
 13. Bobrowski A.: Rozprawa doktorska, Charakterystyka pyłów z suchego odpylania stacji przerobu mas z bentonitem w aspekcie ich użytkowego wykorzystania, Kraków, 2009.
-