

KRZYSZTOF GALOS*, ALICJA ULIASZ-BOCHEŃCZYK*

Źródła i użytkowanie popiołów lotnych ze spalania węgla w Polsce

Słowa kluczowe

Popioły lotne, podaż, materiały budowlane, podsadzka

Streszczenie

W pracy zostały przedstawione źródła popiołów lotnych ze spalania węgla w Polsce, jak również główne kierunki ich wykorzystania. Zaprezentowano charakterystykę jakościową popiołów lotnych, szczegółowej analizie poddając wielkość i strukturę ich wytwarzania w kraju. Omówiono podstawowe trendy w gospodarowaniu popiołami lotnymi na świecie oraz — w tym kontekście — przedstawiono kierunki ich użytkowania w Polsce. Najważniejsze kierunki wykorzystania tych popiołów poddano szczegółowej analizie zarówno pod względem ilości użytkowanych popiołów, jak i wymagań jakościowych względem nich stawianych przez te branże. W końcowej części przedstawiono perspektywy dalszego rozwoju użytkowania tych materiałów w warunkach polskich.

Wprowadzenie

W procesach wytwarzania energii elektrycznej i ciepłej w wyniku spalania węgla powstają różnorodne odpady energetyczne, takie jak: popioły lotne, żużle, mieszaniny popioło-wo-żużlowe, mikrosfery, popioły z kotłów fluidalnych, gips z odsiarczania spalin metodą moką wapienną, odpady z odsiarczania spalin metodami półsuchymi i suchymi itp. Odpady te przez dziesiątki lat stanowiły poważny problem środowiskowy, bowiem stopień ich gospodarczego wykorzystania był niezadowalający, a znaczna ich część była lokowana na skła-

* Dr inż., Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków.

Recenzował prof. dr hab. inż. Eugeniusz Mokrzycki

dowiskach. W okresie ostatnich 10—15 lat nastąpił w Polsce znaczny wzrost użytkowania tych odpadów. Równolegle krajowa energetyka próbowała zmienić wizerunek tych materiałów poprzez stosowanie w odniesieniu do nich terminu uboczne produkty spalania UPS.

Jednym z najważniejszych odpadów energetycznych są popioły lotne ze spalania węgla w paleniskach energetycznych, wychwytywane po procesie spalania węgla metodą elektrostatyczną lub mechaniczną. Od lat podejmowane są próby wielokierunkowego zastosowania gospodarczego tych odpadów, przy czym jednym z głównych ich użytkowników jest przemysł materiałów budowlanych. Zjawisko rosnącego wykorzystania popiołów lotnych ma miejsce także i w Polsce, szczególnie w ostatnich latach. Ze względu na stosunkowo niski udział czystych popiołów lotnych w strukturze otrzymywanych odpadów energetycznych w Polsce, stopień ich gospodarczego wykorzystania w kraju jest wyjątkowo wysoki (96%), znacznie wyższy niż np. w krajach Europy Zachodniej czy w Stanach Zjednoczonych Ameryki. Niepoślednią rolę w tym zakresie odgrywa przemysł materiałów budowlanych, użytkujący obecnie ponad 55% wytwarzanych popiołów lotnych. W tym świetle popioły lotne ze spalania węgla, szczególnie węgla kamiennych, jawią się w warunkach polskich jako pełnowartościowy surowiec mineralny dla przemysłu materiałów budowlanych, choć warunkowane jest to spełnieniem przez popioły pochodzące od poszczególnych dostawców wymagań w zakresie parametrów jakościowych surowców stosowanych do produkcji poszczególnych materiałów budowlanych (klinkier cementowy i cement, beton — w tym komórkowy, kruszywa lekkie, ceramika budowlana).

W pracy podjęto próbę kompleksowej charakterystyki zarówno źródeł i jakości popiołów lotnych generowanych w polskich elektrowniach i elektrociepłowniach węglowych, jak też kierunków ich gospodarczego wykorzystania. Szczególną uwagę poświęcono ich stosowaniu w przemyśle materiałów budowlanych oraz do podsadzania wyrobisk podziemnych, są to bowiem — i zapewne pozostaną — główne kierunki gospodarczego wykorzystania tych materiałów.

1. Charakterystyka jakościowa popiołów lotnych ze spalania węgla

Rozwój technik spalania węgla w paleniskach energetycznych oraz wymogi ochrony środowiska wpływają na rodzaj, ilość i jakość stałych odpadów spalania węgla i odsiarczania spalin, często ogólnie określanych terminem odpadów paleniskowych (energetycznych, elektrownianych). Do produktów spalania węgla, powstających w rezultacie obecności w węglu substancji niepalnych, zalicza się żużle i popioły lotne różnych odmian i granulacji. Ich szczegółową klasyfikację i terminologię uwzględniającą rodzaj stosowanego węgla i warunki jego spalania, precyzuje stara norma branżowa BN-79/6722-09 „Popioły lotne i żużle z kotłów opalanych węglem kamiennym i brunatnym. Podział, nazwy i określenia”. Norma ta nie obejmuje jednak produktów otrzymywanych w nowych rodzajach kotłów energetycznych, np. w kotłach fluidalnych. Poza produktami spalania węgla, do odpadów energetycznych zalicza się także produkty odsiarczania spalin, których ilość, rodzaj i jakość

zależą od stosowanej technologii odsiarczania (Hycnar 2002). Odpadami będącymi na pograniczu tych dwóch rodzajów odpadów energetycznych są popioły lotne ze wspomnianych już kotłów fluidalnych, zawierające poza stałymi odpadami ze spalania węgla także produkty odsiarczania spalin (Gawlicki, Roszczyniański 2000).

Popioły lotne ze spalania węgla otrzymywane są w wyniku spalania węgla kamiennych czy brunatnych w paleniskach konwencjonalnych. Są one zawarte w powstałej po spalaniu węgla mieszaninie pyłowo-gazowej, z której frakcja pyłowa (a więc właśnie popiół lotny) jest wytrącana głównie elektrostatycznie (w elektrofiltrach), niekiedy mechanicznie (np. filtry tkaninowe). Niestety, w warunkach polskich popioły lotne w dużej części są odprowadzane hydraulicznie wraz z powstającymi także w trakcie spalania żużłami spod kotłów energetycznych, tworząc mieszaniny popiołowo-żużłowe. Zgromadzone na składowiskach mieszaniny popiołowo-żużłowe, poza faktem zmieszania różnych frakcji materiałów i wynikającego z tego dużego zróżnicowania pod względem składu ziarnowego, posiadają także odmienne właściwości w stosunku do popiołów lotnych z bieżącej produkcji. Są one bowiem zazwyczaj dezaktywowane i nie wykazują dużej aktywności pucolanowej (Hycnar 2002). Popioły lotne mają zróżnicowany skład chemiczny. Z węgla kamiennego z reguły uzyskuje się popioły zasobne w SiO_2 i Al_2O_3 (rodzaj *k* i *g* wg normy BN-79/6722-09 — tab.1), a z węgla brunatnego na ogół bogatsze w CaO (rodzaj *w*, tab. 1). Skład chemiczny popiołu uzyskiwanego w danej elektrowni czy elektrociepłowni jest bezpośrednią pochodną jakości użytkowanego przez zakład węgla.

TABELA 1

Rodzaje popiołów lotnych ze spalania węgla (wg normy BN-79/6722-09)

TABLE 1

Types of fly ashes from coal combustion (acc. to standard BN-79/6722-09)

Rodzaj popiołu	Symbol	SiO_2 [%]	Al_2O_3 [%]	CaO [%]	SO_3 [%]
Krzemianowy	<i>k</i>	>40	<30	<10	<4
Glinowy	<i>g</i>	>40	>30	<10	<3
Wapniowy	<i>w</i>	>30	<30	>10	>3

W zależności od wielkości ziaren wyróżnia się sortymenty: popiół drobny (pozostałość na sicie $63 \mu\text{m}$ <30%), popiół średni (30—50%), popiół gruby (>50%). Cząstki popiołów są najczęściej kuliste o średnicy zwykle w przedziale 1—100 μm .

Skład fazowy popiołów jest bardzo zróżnicowany nawet w obrębie poszczególnych ziaren. Podstawowym składnikiem popiołów jest szkło, którego zawartość przekracza nawet 80%. Szkło w popiołach lotnych jest zbliżone do szkła krzemionkowego, a także krzemiano-wo-glinowego przypominającego szkło żużłowe (Kurdowski 1990). W składzie chemicznym fazy szklistej istotne znaczenie mają poza SiO_2 i Al_2O_3 także wapń, magnez, niewielkie ilości żelaza, alkalia i siarka. Wśród faz krystalicznych występują: kwarc, mullit, magnetyt,

hematyt, spinele Al-Mg, wüstyt, pirotyt (Kurdowski 1990; Bolewski i in. 1991, Ratajczak i in. 1999). Składnikami szkodliwymi są niespalony węgiel i związki siarki, których ilość zmniejsza się wraz ze wzrostem temperatury spalania. Niektóre popioły ze spalania węgla kamiennego mogą zawierać pierwiastki promieniotwórcze w ilościach przekraczających graniczne wartości dla materiałów budowlanych. Możliwości zastosowania popiołu lotnego z węgla kamiennego zależą także w dużym stopniu od jego fizycznych właściwości. Szczególnie istotna jest duża powierzchnia właściwa, rzędu 2000—3000, a niekiedy nawet do 6000 m²/kg, przez co materiał ten charakteryzuje się dobrą aktywnością pucolanową (niekiedy są one nazywane sztuczną pucolaną). Reasumując, o dobrej jakości popiołów decydują przede wszystkim: mała zawartość węgla, wysoka zawartość fazy szklistej, niska zawartość alkaliów oraz wysoka powierzchnia właściwa (Kurdowski 1990).

Właściwości pucolanowe są szczególnie istotne w takich kierunkach zastosowań, jak produkcja cementów, betonów czy spoiw niskocementowych. Z kolei w produkcji wyrobów ceramiki budowlanej dodawanie popiołów ma na celu przede wszystkim schudzenie masy ceramicznej. Należy tu jednak zastrzec, że o ile większość otrzymywanych w formie suchej (z bieżącej produkcji) popiołów lotnych znajduje zastosowanie do licznych wymienionych wyżej zastosowań, to popiół lotny z każdego zakładu wykazuje odmienną charakterystykę jakościową i jego stosowanie w poszczególnych kierunkach powinno być skorelowane z jego parametrami jakościowymi.

Popioły lotne otrzymywane w polskich elektrowniach mają zróżnicowany skład chemiczny. W elektrowniach użytkujących węgiel kamienny uzyskiwane są z reguły popioły zasobne w SiO₂ i Al₂O₃ (rodzaj *k*). Popioły otrzymywane ze spalania węgla brunatnych z rejonów Bełchatowa, Adamowa i Konina wykazują dużą zawartość CaO (nawet powyżej 30% dla węgla konińskich) i SO₃ odpowiadają rodzajowi *w* (wapniowemu). Jedynie popioły powstałe ze spalania węgla brunatnego ze złoża Turów reprezentują rodzaj *g* (glinowy), wykazując przy tym wysoką zawartość Fe₂O₃ (tab. 2). Właściwości pucolanowe wykazują głównie popioły rodzaju *k*, co stwarza największe możliwości ich wykorzystania w zastosowaniach gospodarczych. Z kolei popioły turoszowskie, reprezentujące rodzaj *g*, są dobrym surowcem do produkcji wyrobów ceramiki budowlanej i klinkierowych. Najniższą przydatność wykazują popioły lotne rodzaju *w*, cechujące się dużą zmiennością składu chemicznego, ale ich wytwarzanie w Polsce jest obecnie bardzo ograniczone (w elektrowniach Pątnów-Adamów-Konin i Bełchatów otrzymuje się głównie mieszanki popiołowo-żużłowe). Zdecydowana większość otrzymywanych obecnie popiołów lotnych w Polsce to popioły rodzaju krzemianowego *k*, wytwarzane w elektrowniach, gdzie spalane są węgle kamienne i wykorzystywane gospodarczo niemal w 100%.

2. Krajowe źródła popiołów lotnych ze spalania węgla

Polski przemysł energetyczny, zarówno energetyka zawodowa, jak i przemysłowa, tradycyjnie użytkuje jako główne paliwa węgle kamienne i brunatne, co wynika z posiadanej

TABELA 2

Skład chemiczny wybranych popiołów lotnych z elektrowni krajowych spalających węgiel kamienny i brunatny

TABLE 2

Chemical composition of selected fly ashes from domestic power plants based on hard and brown coal

Składnik	Elektrownie bazujące na węglu kamiennym						Elektrownie bazujące na węglu brunatnym		
	Dolna Odra	Łaziska	Opole	Rybnik	Siekierki	Wrocław	Bełchatów	Pątnów	Turów
SiO ₂	51—55	54,6	52,3	49,6	52,3	51,0	41,0	38,5	51,0
Al ₂ O ₃	25—29	24,4	28,5	26,4	25,0	24,0	19,2	4,0	33,0
Fe ₂ O ₃	6,7—7,4	7,7	6,4	8,1	8,1	6,8	6,6	10,2	6,8
CaO	2,7—3,6	0,1	4,1	4,1	3,4	0,3	23,4	32,6	1,5
SO ₃	0,3—0,6	0,2	0,4	—	1,0	0,5	2,1	7,2	0,5
Strata prażenia	<5,0	2,8	—	5,9	2,6	2,2	2,9	0,4	2,2

Źródło: VKN Polska, KE Dolna Odra, Puzskariowa i in. 2002, Bąk i in. 2001, Garbacik i in. 2001, Ratajczak i in. 1999, Peukert 1986.

bogatej bazy zasobowej tych paliw kopalnych. Aż 55% wytwarzanej energii elektrycznej pochodzi z elektrowni użytkujących węgiel kamienny, a dalsze 38% z elektrowni użytkujących węgiel brunatny (Gospodarka paliwowo-energetyczna 2003). Do generowania energii elektrycznej i ciepłej jest obecnie zużywane w Polsce 50—52 mln t/r. węgla kamiennych energetycznych oraz 57—59 mln Mg/r. węgla brunatnych (Bilans gospodarki... 2004). Wobec występowania w użytkowanych węglach znaczących ilości substancji niepalnych (11—17% w węglach kamiennych i 3—11% w węglach brunatnych), procesom spalania węgla towarzyszy powstawanie produktów odpadowych (odpadów energetycznych). Ilość powstających odpadów energetycznych w Polsce jest bardzo znacząca i przez lata przekraczała poziom 20 mln Mg/r. W ostatnim czasie uległa ona pewnemu ograniczeniu, co wiązało się ze zmniejszeniem produkcji energii elektrycznej w kraju oraz — w przypadku węgla kamiennych — pewną poprawą jakości stosowanego paliwa.

Odpady energetyczne były przez lata traktowane jako kłopotliwe odpady produkcyjne, do składowania których trzeba przeznaczać znaczne obszary, a także ponosić wysokie opłaty związane z ich składowaniem. Wystarczy wspomnieć, że jeszcze w latach osiemdziesiątych stopień ich wykorzystania gospodarczego w Polsce sięgał zaledwie 30%. Obecnie przekroczył on już 70% (73% w 2003 r.), przy czym jest bardzo zróżnicowany dla różnych grup odpadów: poniżej 50% dla mieszanin popiołowo-żuźlowych, 67% dla popiołów z kotłów fluidalnych, 88% dla żużli, 96% dla popiołów lotnych (tab. 3), 100% dla mikrosfer i gipsu

z odsiarczania. Z punktu widzenia prawa, a w szczególności Ustawy o odpadach, materiały te są odpadami (np. popioły lotne mają w Katalogu odpadów nr 10 01 02) i podlegają wszelkim rygorom stosowanym wobec odpadów, w szczególności w przypadku ich składowania i związanych z tym opłat.

TABELA 3

Wielkość produkcji i stopień gospodarczego wykorzystania popiołów lotnych ze spalania węgla w Polsce

TABLE 3

Level of generation and economic utilization of fly ashes from coal combustion in Poland

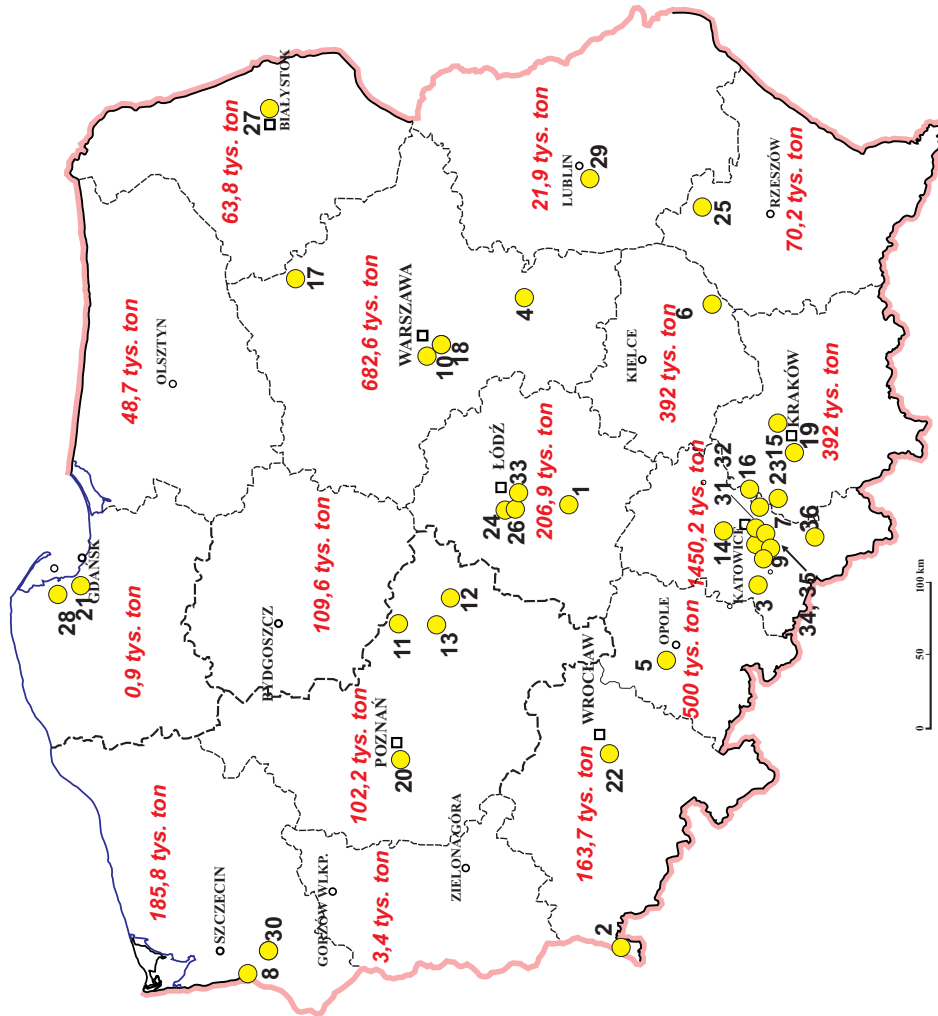
Wyszczególnienie	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Wytwarzanie [mln ton]	4,1	3,8	4,6	5,2	4,0	4,1
Poziom gospodarczego wykorzystania [%]	91,6	91,5	93,4	93,2	96,0	95,9

Źródło: Ochrona środowiska 2003

Pomimo faktu, że w Polsce czynnych jest kilkadziesiąt różnej wielkości elektrowni i elektrociepłowni zawodowych bazujących na węglu kamiennym lub brunatnym, liczba znaczących dostawców popiołów lotnych ze spalania węgla jest stosunkowo ograniczona (rys. 1). Wynika to stąd, że wiele elektrowni wobec stosowanej technologii otrzymuje głównie mieszanki popiołowo-żużłowe z mokrego odprowadzania odpadów paleniskowych (tak się dzieje np. w Elektrowni Bełchatów czy Zespole Elektrowni Pątnów-Adamów-Konin). Stąd łączna ilość generowanych popiołów lotnych ze spalania węgla oscyluje wokół 4 mln Mg/r., a w najbliższym czasie można wręcz oczekiwać jej dalszego ograniczenia. Poważnymi przesłankami są tu:

- wprowadzanie technologii spalania w kotłach fluidalnych, gdzie otrzymywana jest mieszanina popiołów lotnych i produktów odsiarczania (przykłady: Elektrownia Turów, EC Żerań, Elektrownia Siersza, EC Chorzów, EC Czechowice),
- wprowadzanie bloków gazowo-parowych w miejsce węglowych (np. EC Lublin-Wrotków, EC Nowa Sarzyna, EC Gorzów, na etapie realizacji ZEC Wybrzeże, EC Zielona Góra, EC Żyrardów, EC Rzeszów i inne).

Generowanie popiołów lotnych w Polsce jest z reguły skoncentrowane w głównych aglomeracjach miejskich: warszawskiej, krakowskiej, łódzkiej, wrocławskiej, szczecińskiej i poznańskiej (tab. 4). Ważnymi ich dostawcami są elektrownie Kozienice, Opole i Blachownia, a przede wszystkim liczne elektrownie i elektrownie bazujące na węglu kamiennym zlokalizowane na Górnym Śląsku. Zwraca uwagę brak wśród znaczących dostawców popiołów lotnych bardzo ważnych wytwórców energii elektrycznej w Polsce, takich jak bazujące na węglu brunatnym: Elektrownia Bełchatów, Elektrownia Turów, Zespół Elektrowni Pątnów-Adamów-Konin, a także bazujące na węglu kamiennym: Elektrownia w Połańcu czy Zespół Elektrociepłowni Wybrzeże w Trójmieście.



1. Elektrownia BEŁCHATÓW S.A.
2. Elektrownia TURÓW S.A.
3. Elektrownia RYBNIK S.A.
4. Elektrownia KOZIENICE S.A.
5. Elektrownia OPOLE S.A.
6. Elektrownia im. Tadeusza Kościuszki S.A. w Polatcu
7. Elektrownia JAWORZNO III
8. Elektrownia Dolna Odra
9. Elektrownia ŁAZISKA
10. Elektrociepłownia Śickierki
11. Elektrownia Pątnów
12. Elektrownia Adamów
13. Elektrownia Konin
14. PKE S.A. Elektrownia ŁAGISZA
15. Elektrownia SKAWINA S.A.
16. Elektrownia SIERSZA
17. Zespół Elektrowni OSTROŁĘKA S.A.
18. Elektrociepłownia Żerzeń
19. Elektrociepłownia KRAKÓW S.A.
20. Zespół Elektrociepłowni Poznańskich S.A.
21. Elektrociepłownia Gdańsk
22. Elektrociepłownia Wrocław
23. Elektrownia JAWORZNO II
24. Elektrociepłownia ŁÓDŹ EC-4
25. Elektrownia STALOWA WOLA S.A.
26. Elektrociepłownia ŁÓDŹ EC-3
27. Elektrociepłownia BIAŁYSTOK S.A.
28. Elektrociepłownia Odyńa
29. Elektrociepłownia Lublin-WROTKÓW Sp. z o.o.
30. Elektrownia Pomorzany
31. Elektrownia HALEMBA
32. Elektrociepłownia BĘDZIN S.A.
33. Elektrociepłownia ŁÓDŹ EC-2
34. Elektrownia BLACHOWNIA S.A.
35. Elektrownia CHORZÓW S.A.
36. Elektrociepłownia Bielsko-Biala Ec1

Rys. 1. Wytwarzanie popiołów lotnych w Polsce w 2002 r.
 Źródło: Opracowano na podstawie Tarkowski R., Uliasz-Misiak 2003

Fig. 1. Generation of fly ashes in Poland in 2002

TABELA 4

Wytwarzanie popiołów lotnych ze spalania węgla w Polsce [tys. ton]

TABLE 4

Generation of fly ashes from coal combustion in Poland

Województwo	Lata				Główne podmioty wytwarzające
	2000	2001	2002	2003	
OGÓŁEM	4 559,3	5 231,8	4 003,4	4 055,5	
Dolnośląskie	126,3	194,6	163,7	172,7	ZEW Kogeneracja Wrocław
Kujawsko-Pomorskie	117,1	101,6	109,6	129,0	ZEC Bydgoszcz
Lubelskie	50,8	53,9	21,9	38,0	EC Lublin-Wrotków
Lubuskie	3,0	2,5	3,4	2,3	EC Gorzów
Łódzkie	202,8	219,9	206,9	209,7	ZEC Łódź
Małopolskie	551,8	503,0	392,0	376,3	EC Kraków, Elektrownia Siersza, Elektrownia Skawina
Mazowieckie	690,1	721,0	682,6	676,1	Elektrownia Kozienice, EC Warszawskie, ZEC Ostrołęka
Opolskie	517,4	538,9	500,0	541,6	Elektrownia Opole, Elektrownia Błachownia
Podkarpackie	4,4	5,8	70,2	86,3	Elektrownia Stalowa Wola
Podlaskie	58,2	74,6	63,8	57,9	EC Białystok
Pomorskie	0,4	6,6	0,9	25,5	EC Wybrzeże
Śląskie	1 747,0	2 397,3	1 450,2	1 441,5	Elektrownia Rybnik, Elektrownia Jaworzno III, Elektrownia Łaziska, Elektrownia Łagisza, EC Tychy, ZEC Bielsko-Biała, ZEC Bytom
Świętokrzyskie	4,4	3,7	1,5	0,8	El. Połaniec
Warmińsko-mazurskie	49,7	50,5	48,7	48,0	EC Elbląg
Wielkopolskie	105,8	105,7	102,2	92,7	ZEC Poznań
Zachodniopomorskie	330,1	252,4	185,8	157,1	ZE Dolna Odra

Źródło: Ochrona Środowiska 2003, Raporty Wojewódzkich Inspektoratów Ochrony Środowiska

3. Użytkowanie popiołów lotnych ze spalania węgla w Polsce na tle tendencji światowych

Wielkość i struktura generowanych odpadów energetycznych, jak też stopień i kierunki ich gospodarczego wykorzystania, są w poszczególnych krajach bardzo zróżnicowane.

Są one pochodną struktury użytkowanych paliw w elektrowniach i elektrociepłowniach (jest ich więcej w krajach bazujących w dużym stopniu na spalaniu węgla), stosowanych procesów spalania paliw i sposobów odprowadzania odpadów energetycznych, a także tendencji w zakresie użytkowania tych odpadów w różnych zastosowaniach gospodarczych w różnych krajach.

Popioły lotne ze spalania węgla są tymi spośród odpadów energetycznych, których stopień wykorzystania jest z reguły stosunkowo wysoki, szczególnie w krajach rozwiniętych. Jest on jednak bardzo zmienny (tab. 5). Przykładowo łączny poziom użytkowania gospodarczego popiołów lotnych w 15 dotychczasowych krajach UE wynosił ostatnio około 88% (ale 42% było użytkowane do prac rekultywacyjnych, a tylko 46% do innych zastosowań gospodarczych), w Japonii 84% (bez bliższej specyfikacji), w USA 35% (bez prac rekultywacyjnych), w Kanadzie 20%, w Indiach 13%, w Korei Płd. tylko 5% (Kalyoncu 2003). Stopień wykorzystania gospodarczego popiołów lotnych w większości krajów systematycznie wzrasta. Przykładowo w Stanach Zjednoczonych stopień ich gospodarczego wykorzystania wzrósł z 8% w 1970 r. do 13% w 1980 r., 25% w 1990 r. i 35% w 2002 r. (Kalyoncu 2003). W 15 dotychczasowych krajach UE stopień gospodarczego wykorzystania popiołów wzrósł z 65% w 1997 r. do 88% w roku 2002, przy czym wyłączając prace rekultywacyjne udział ten wzrastał odpowiednio z 41% do 46% (ECOBA). W Polsce jest on wyjątkowo wysoki, wynosi według różnych ocen 82—96%, przy czym tylko niewielka część przypada na makroniwelacje oraz prace rekultywacyjne. Również w Polsce stopień wykorzystania gospodarczego popiołów lotnych w ostatnich latach wzrastał — według oficjalnych danych GUS — z 91,6% w 1998 r. do około 96% w latach 2002 i 2003 (tab. 3)¹.

W Polsce popioły lotne, pozyskiwane głównie z gazów spalinowych na elektrofiltrach w formie suchej, są jednymi z najbardziej cenionych odpadów energetycznych i słusznie zasługują na miano ubocznego produktu spalania. Świadczy o tym coraz szersze ich gospodarcze wykorzystanie i coraz mniejsze ilości popiołów lotnych deponowanych na składowiskach (tylko 4% popiołów wytworzonych w 2003 r.). Wynika to jednak w pewnej mierze ze stosunkowo niewielkiego udziału popiołów lotnych w strukturze wytwarzania odpadów energetycznych, wynoszącego tylko około 21—25%, podczas gdy średnio w dotychczasowych krajach Unii Europejskiej wskaźnik ten sięga 68%, a w USA niemal 60% (tab. 6). Zjawisko to wynika z rodzaju stosowanych w Polsce technik spalania, kotłów energetycznych i sposobów odprowadzania odpadów. Sprawia to, że udział mieszanek popiołowo-żuźlowych z mokrego odprowadzania zmieszanych odpadów paleniskowych przekracza w Polsce 45% łącznego tonażu odpadów energetycznych, podczas gdy w dotychczasowych krajach Unii Europejskiej wskaźnik ten nie przekracza 10%, a w USA oscyluje wokół 15% (tab. 6).

¹ Wcześniejszych oficjalnych danych brak, gospodarowanie popiołami lotnymi podawano łącznie z innymi odpadami energetycznymi.

TABELA 5

Struktura użytkowania gospodarczego popiołów lotnych w dotychczasowych krajach Unii Europejskiej (EU 15), USA i Polsce

TABLE 5

Structure of economic utilization of fly ashes in the European Union (EU 15), the USA and Poland

Wyszczególnienie	UE 15 rok 2001		USA rok 2001		Polska rok 2000	
	ilość [tys. ton]	udział [%]	ilość [tys. ton]	udział [%]	ilość [tys. ton]	udział [%]
Łączna ilość wytworzonych popiołów	40 585		61 788		5 737 ¹	
Łączne użytkowanie gospodarcze popiołów	18 745		19 958		4 698	
— produkcja klinkieru cementowego	4 465	23,8	936	4,7	346	7,4
— produkcja cementu	2 042	10,9	11 211	56,2	1 062	22,6
— dodatek do mieszanek betonowych	5 510	29,4			785	16,7
— betony komórkowe	746	4,0				
— inne wyroby betonowe	342	1,8				
— kruszywa lekkie	107	0,6	*	*	95	2,0
— ceramika budowlana	90	0,5	*	*	218	4,6
— wypełniacz do asfaltu	187	1,0	97	0,5	1	1
— budowa dróg	544	2,9	931	4,7	1	1
— wypełnianie wyrobisk, cementacja	1 968	10,5	2 778	13,9	1 781	37,9
— makroniwelacja	2 205	11,8	2 911	14,6	229	4,9
— inne	539	2,8	1 094	5,4	182	3,9

* W pozycji „inne”.

¹ Wielkość podawana przez PU UPS, znacznie wyższa od podawanej przez GUS.

Źródło: ECOBA, ACAA, PU UPS, SPCiW

4. Kierunki gospodarczego wykorzystania popiołów lotnych w Polsce

Wysoki stopień gospodarczego wykorzystania popiołów lotnych ze spalania węgla w Polsce wynika w dużej mierze ze znaczącego poziomu ich użytkowania w przemyśle materiałów budowlanych. Szacuje się, że udział tej branży w użytkowaniu popiołów wynosi obecnie około 55—57%. Specyficzną i odmienną niż w innych krajach cechą użytkowania popiołów w Polsce jest fakt, że znacznie ponad 30% otrzymywanych w elektrowniach

TABELA 6

Struktura wytwarzania odpadów energetycznych (UPS) w dotychczasowych krajach Unii Europejskiej (EU 15), USA i Polsce w 2002 r.

TABLE 6

Structure of generation of coal combustion products in the European Union (EU 15), the USA and Poland

Rodzaj UPS	UE 15		USA		Polska	
	ilość [mln ton]	udział [%]	ilość [mln ton]	udział [%]	ilość [mln ton]	udział [%]
Popioły lotne	43,0	68,3	76,5	59,4	4,0	23,0
Mieszanki żużlowo-popiołowe	6,0	9,5	19,8	15,4	8,1	46,7
Żużle	2,0	3,2	1,9	1,5	2,6	14,9
Popioły z kotłów fluidalnych	1,0	1,6	1,3	1,0	0,6	3,4
Gips syntetyczny	10,5	16,7	11,4	8,9	1,0	5,7
Inne produkty odsiarczenia spalin	0,5	0,7	17,8	13,8	1,1	6,3
Łącznie	63,0		128,7		17,4	

Źródło: ECOBA, ACAA, Ochrona Środowiska

popiołów służy jako składnik materiałów do wypełniania podziemnych wyrobisk górniczych w kopalniach węgla kamiennego na Górnym Śląsku.

4.1. Zastosowanie popiołów lotnych w przemyśle materiałów budowlanych

Do najważniejszych kierunków wykorzystania popiołów lotnych w przemyśle materiałów budowlanych zaliczyć należy obecnie produkcję: klinkieru cementu portlandzkiego, cementów, betonów, kruszyw lekkich oraz wyrobów ceramiki budowlanej.

4.1.1. Produkcja klinkieru cementu portlandzkiego

Popioły lotne są w znaczących ilościach wykorzystywane jako surowiec do produkcji klinkieru cementu portlandzkiego. Są tu stosowane popioły lotne ze spalania węgla kamiennego w funkcji jednego z surowców podstawowych lub jako dodatek korygujący (Brylicki i in. 1986).

W funkcji surowca podstawowego popioły lotne zastępują w zestawie surowcowym przede wszystkim surowiec „niski” (posiadający poniżej 67% CaO w przeliczeniu na substancje wyprażoną; Kurdowski 1990), będąc nośnikiem Al_2O_3 , Fe_2O_3 i SiO_2 . Ilość popiołów wprowadzanych do wsadu do produkcji klinkieru cementowego zależy od ich

składu chemicznego. Ocenę składu chemicznego popiołów stosowanych jako surowiec prowadzi się zawsze w odniesieniu do zespołu surowców, które są podstawowymi składnikami surowcowymi do produkcji klinkieru w danym zakładzie. Zestawy są przeważnie dwu-, trzy- lub czteroskładnikowe. Przy stosowaniu popiołów dokumentuje się możliwości zestawienia — z ich udziałem — mieszaniny surowcowej o wymaganym składzie chemicznym i wartości modułów chemicznych wsadu (Szczërba, Garbaciak 1998). W metodzie suchej popioły lotne stosowane są w ilości 6—16% w przypadku zestawu dwuskładnikowego, a w zestawie trójskładnikowym ich udział stanowi 5—13%. Zastosowanie popiołów lotnych jako surowca niskiego pozwala obniżyć temperaturę spiekania niekiedy nawet o 200—300°C, a tym samym zmniejszyć zużycie paliwa technologicznego nawet o 30%.

Popioły lotne w funkcji dodatku korygującego, w zależności od zawartości poszczególnych tlenków we wsadzie, mogą być stosowane jako dodatek krzemonośny, dodatek żelazonośny lub glinonośny (Brylicki i in. 1986).

W Polsce zużycie popiołów lotnych do produkcji klinkieru cementu portlandzkiego w latach dziewięćdziesiątych przekroczyło poziom 200 tys. Mg/r., kształtując się w ostatnich latach w przedziale 205—345 tys. Mg/r. Najwyższy poziom zużycia — 345,5 tys. ton — zanotowano w 2000 r., a w 2002 r. wyniosło 266,4 tys. ton (Informator.. 2004). Popioły lotne do produkcji klinkieru cementowego są obecnie stosowane m.in. w cementowniach Ożarów, Chełm i Nowa Huta.

4.1.2. Produkcja cementów

Popioły lotne ze względu na swoje właściwości pucolanowe stosowane są powszechnie do produkcji cementów. Kryteria jakościowe oraz ilość popiołów lotnych stosowanych do produkcji cementów w Polsce określa norma PN-EN 197-1:2002 „Cement. Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku”. Norma ta wyróżnia następujące rodzaje popiołów lotnych stosowanych do produkcji cementu: popioły krzemionkowe (wykazujące właściwości pucolanowe) oznaczane literą V i odpowiadające w przybliżeniu rodzajowi *k* według normy BN-79/6722-09, oraz popioły wapienne (wykazujące właściwości pucolanowe i hydrauliczne) oznaczane literą W i odpowiadające w przybliżeniu rodzajowi *w* według wspomnianej normy.

Zgodnie z normą PN-EN 197-1:2002, popioły lotne stosowane do produkcji cementu powinny charakteryzować się stratą prażenia poniżej 5%, zawartością reaktywnego tlenu wapnia poniżej 10% masy, a zawartość wolnego tlenu wapnia nie powinna przekraczać 1% masy. Zawartość reaktywnego dwutlenku krzemu powinna wynosić powyżej 25%. Popiół lotny wapienny wykazuje właściwości hydrauliczne i/lub pucolanowe. Powinien się on charakteryzować zawartością reaktywnego tlenu wapnia powyżej 10% oraz zawartością reaktywnego dwutlenku krzemu powyżej 25% w popiele zawierającym 10—15% reaktywnego tlenu wapnia. Jeżeli zawartość SO₃ w popiele lotnym przekracza górne dopuszczalne zawartości SO₃ w cemencie, musi zostać wykonana korekta składu poprzez

zmniejszenie udziału składników zawierających siarczan wapnia. Wspomniana norma wyróżnia cztery rodzaje cementów, w których stosowane są popioły lotne:

- 1) cement portlandzki popiołowy w czterech odmianach (CEM II/A-V, CEM II/B-V, CEM II/A-W i CEM II/B-W);
- 2) cement portlandzki wieloskładnikowy w dwóch odmianach (CEM II/A-M i CEM II/B-M);
- 3) cement pucolanowy w dwóch odmianach (CEM IV/A i CEM IV/B);
- 4) cement wieloskładnikowy w dwóch odmianach (CEM V/A i CEM V/B).

Mogą one zawierać zróżnicowane, w zależności od odmiany, ilości popiołu krzemionkowego V lub popiołu wapiennego W (6—35%, a w niektórych przypadkach nawet do 55%).

W Polsce zużycie popiołów lotnych do produkcji cementów w latach dziewięćdziesiątych systematycznie rosło, osiągając 1062,3 tys. ton w 2000 r. Związane to było między innymi z wprowadzeniem do stosowania nowych europejskich norm dotyczących cementu. W ostatnich latach, wobec ograniczenia krajowej produkcji cementów, zmniejszyło się także nieco zużycie popiołów w tym kierunku, do 927,0 tys. ton w 2002 r. (Informator..., 2004). Stosowane są w większości cementowni, a największe ilości są zużywane obecnie w cementowniach Góraždze, Ożarów, Kujawy, Chełm, Nowiny i Warta.

4.1.3. Produkcja betonów

Popioły lotne są materiałem od lat stosowanym do produkcji betonów w postaci mieszanek betonowych i betonowych elementów prefabrykowanych. Zastosowanie popiołów lotnych do betonu powoduje obniżenie zapotrzebowania na wodę i poprawia urabialność mieszanki. Pozytywny wpływ na urabialność mieszanki poprzez zastosowanie popiołów lotnych spowodowany jest kulistym kształtem cząstek, jednak inkluzja popiołów lotnych w mieszance ma fizyczny wpływ na modyfikowanie flokulacji cementu, z wynikającym stąd obniżeniem zapotrzebowania na wodę. Zmieniona dyspersja cząstek cementu wpływa na mikrostrukturę zaczynu, przede wszystkim na rozkład i wymiar porów. Zmniejsza się średni wymiar porów, w wyniku czego przepuszczalność zaczynu, a tym samym betonu obniża się. Podwyższenie wytrzymałości betonu dzięki zastosowaniu popiołów lotnych jest nie tylko wynikiem ich pucolanowości, ale również zdolności małych cząstek popiołu do „wpasowywania się” między cząstki cementu (Neville 2000). Zastosowanie popiołów lotnych powoduje również poprawę odporności betonów na działanie czynników agresywnych (Piasta, Piasta 1994) .

Norma PN-EN 450:1998 „Popiół lotny do betonu — definicje, wymagania i kontrola jakości” określa wymagania stawiane popiołom lotnym stosowanym jako dodatek typu II w betonach konstrukcyjnych produkowanych na placu budowy lub jako składnik mieszanki betonowej przeznaczonej do produkcji elementów prefabrykowanych. Zgodnie z tą normą, do betonów może być użytkowany popiół lotny ze spalania węgla wykazujący właściwości pucolanowe, przy czym zawartość reaktywnego SiO_2 wynosi co najmniej 25% masy. Powinien on także, zgodnie z normą, charakteryzować się stratą prażenia nie większą niż 5%

masy, zawartością chlorków nie większą niż 0,1% masy, zawartością związków siarki w przeliczeniu na SO_3 nie większą niż 3% masy, zawartością wolnego tlenku wapnia nie większą niż 1% masy, miążkością (pozostałością na sicie 0,045 mm) przy przesiewaniu na mokro do 40%, wskaźnikiem aktywności pucolanowej po 28 dniach nie mniejszym niż 75%, a po 90 dniach nie mniejszym niż 85%. Maksymalna ilość popiołu stosowana do wytwarzania betonu jest zdefiniowana przez normę PN-EN 206-1:2000. Powinna ona spełniać warunek: popiół lotny/cement $\leq 0,33$ (masowo).

Szacuje się, że w Polsce wykorzystuje się obecnie rocznie do produkcji betonów zwykłych około 200 tys. ton popiołów lotnych (Brylska i in. 2002). Są to praktycznie wyłącznie popioły krzemionkowe ze spalania węgla kamiennego, spełniające wymagania normy PN-EN 450:1998. Ze względu na wzajemną bliskość dostawców i użytkowników, znajdują one zastosowanie głównie w zakładach produkcji betonu towarowego w dużych aglomeracjach miejskich, takich jak cała aglomeracja górnośląska, Warszawa, Łódź, Kraków, Wrocław, Poznań oraz Bydgoszcz. Ich stosowanie w tym kierunku może systematycznie rosnąć ze względów ekonomicznych (ich stosowanie powoduje obniżenie zużycia cementu, a tym samym obniża koszt wytworzenia betonu), pod warunkiem zapewnienia odpowiedniego poziomu dostaw z pobliskich elektrowni i elektrociepłowni. Prowadzone są prace mające na celu wykazanie, że do produkcji betonów mogą być stosowane także popioły wapienne, pod warunkiem stabilności ich parametrów jakościowych (Garbacik i in. 2001).

Jednym z głównych użytkowników popiołów lotnych jest branża producentów betonów komórkowych. W produkcji tych wyrobów popioły lotne pełnią funkcje kruszywa oraz składnika spoiwa wiążącego. W Polsce betony komórkowe produkowane są przy wykorzystaniu jednej z trzech podstawowych technologii: piaskowo-wapiennej, popiołowo-gipsowej (PGS) i technologii UNIPOL, przy czym popioły lotne znajdują zastosowanie w dwóch ostatnich.

Popioły lotne stosowane do produkcji betonów komórkowych powinny spełniać podobne wymogi jak w przypadku ich stosowania do cementów. Wymagania te zostały zawarte w normie BN-87/6713-02 „Popioły lotne z węgla kamiennego do produkcji betonu komórkowego”. Zgodnie z nią zawartość siarki całkowitej w przeliczeniu na SO_3 nie powinna przekraczać 2,0%, zawartość krzemionki powinna wynosić co najmniej 40%, strata prażenia maksymalnie 7%, zawartość ziaren $<0,063$ mm powinna mieścić się w granicach 65—85%, aktywność sumaryczna pierwiastków promieniotwórczych $f_1 \leq 1$ Bq/kg, a stężenie radu $f_2 \leq 185$ Bq/kg.

Do produkcji betonów komórkowych wykorzystywano do tej pory wyłącznie popioły lotne ze spalania węgla kamiennych, choć podejmowane były lub są także próby zastosowania do tych celów popiołów lotnych ze spalania węgla brunatnych oraz popiołów lotnych z palenisk fluidalnych, zawierających produkty odsiarczania. Popioły lotne do produkcji betonów komórkowych wykorzystuje obecnie w Polsce dziewięć zakładów produkcyjnych (Bilans gospodarki... 2004), zlokalizowanych z reguły w pobliżu dostawcy tegoż popiołu, tj. elektrowni lub elektrociepłowni (Łągisza, Bielsko-Biała, Skawina, Kozienice, Łódź, Warszawa — dwa zakłady, Ostrołęka, Reda). Szacuje się, że w ostatnich

latach wykorzystywano do tych celów rocznie około 500 tys. ton popiołów lotnych (Brylska i in. 2002), co jest wielkością znacznie niższą niż 20—25 lat temu, gdy zużycie to sięgało 1 mln Mg/r (Hycnar 1985).

4.1.4. Produkcja kruszyw lekkich

Popioły lotne mogą być także stosowane do produkcji kruszyw lekkich. Produkcja ta może być prowadzona z zastosowaniem metody bezwypalowej, gdzie kruszywo otrzymywane jest bezpośrednio z popiołów lub na drodze granulacji mieszaniny popiołów i spoiwa mineralnego, oraz metody wypalowej, gdzie materiał jest granulowany, a następnie spiekany. Znanych jest kilka odmian każdej z tych metod, dostosowanych do popiołów lotnych z poszczególnych elektrowni. Są to między innymi otrzymywane metodą bezwypalową kruszywa Megran (Poznań), Cegran (Łódź), Pregran (Skawina), Epogran (Opole) o wytrzymałości na ściskanie rzędu 25 MPa i gęstości nasypowej w przedziale 700—1200 kg/m³, oraz otrzymywane metodą wypalową popiołoporyty czy kruszywa Pollytag o podobnej wytrzymałości na ściskanie i gęstości nasypowej w przedziale 700—900 kg/m³.

W Polsce produkuje się rocznie około 130—140 tys. t kruszyw lekkich z popiołów lotnych (Bilans gospodarki... 2004), co pozwala zagospodarować około 100—110 tys. t/r. popiołów (Jarema-Suchorowska 2001). Ten kierunek użytkowania popiołów jest zatem nadal stosunkowo słabo rozwinięty. Większość produkcji tego typu kruszyw stanowi Pollytag wytwarzany przez „Pollytag” S.A. Gdańsk (90—110 tys. t/r.), użytkujący popiół z ZEC Wybrzeże. Co najmniej o rząd wielkości mniejsza jest produkcja takich kruszyw, jak Pregran w Skawinie, Cegran w Łodzi, Megran w Poznaniu czy Epogran w Opolu.

4.1.5. Produkcja ceramiki budowlanej

Popioły lotne w przemyśle ceramiki budowlanej mogą być wykorzystywane jako dodatek schudzający lub surowiec podstawowy. W pierwszym przypadku dodatek popiołu w ilości około 20% powoduje zmianę właściwości reologicznych wsadu, zmniejszenie jego plastyczności i wrażliwości na suszenie (schudzenie). Stosowanie popiołów jako surowca podstawowego prowadzone jest w tzw. technologii popiołowej produkcji ceramiki budowlanej, gdzie stanowią one 60—80% masy ceglarskiej, zastępując naturalny surowiec ilasty. W tej technologii możliwość stosowania popiołów lotnych jest warunkowana stabilnością ich właściwości oraz spełnieniem następujących wymagań technologicznych: zawartość związków siarki w przeliczeniu na SO₃ poniżej 1%, strata prażenia <6%, uziarnienie — brak frakcji >0,5 mm i ponad 55% frakcji <0,06 mm, aktywność sumaryczna pierwiastków promieniotwórczych $f_1 \leq 1$ Bq/kg, a stężenie radu $f_2 \leq 185$ Bq/kg (Brylska i in. 2002).

Przemysł ceramiki budowlanej użytkuje niemal wyłącznie popioły lotne ze spalania węgla kamiennego. Wyjątkiem są popioły lotne glinowe z Elektrowni Turów, które bywają

stosowane jako dodatki technologiczne do mas ceramicznych do produkcji wyrobów klinierowych oraz ceramiki kanalizacyjnej i sanitarnej (Hycnar 2002). Stosowanie popiołów lotnych do wyrobów ceramiki budowlanej na większą skalę rozpoczęło się w Polsce w latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku. W latach osiemdziesiątych wykorzystywano do tych celów już ponad 400 tys. Mg/r. popiołów (Hycnar 1985). Obecnie użytkowanie to mieści się w przedziale 200—250 tys. Mg/r. (Pieńkowski 1999). Stosowanie popiołów lotnych do ceramiki budowlanej szczególnie rozwinięte jest na Górnym Śląsku oraz w aglomeracji krakowskiej, rejonie Rzeszowa i w Bydgoszczy. Przykładowo, około połowa popiołów wytwarzanych przez EC Kraków-Łęg znajduje zastosowanie w zakładach ceramiki budowlanej Biegonice-Kraków, Biegonice-Zesławice i Bonarka, przy czym udział popiołów w zestawie surowcowym często przekracza 50%, a niekiedy nawet ponad 70% (Pieńkowski 1999).

4.2. Zastosowanie popiołów lotnych w górnictwie podziemnym

Jednym z głównych kierunków zastosowania popiołów lotnych w Polsce jest górnictwo podziemne węgla kamiennego, gdzie są one stosowane od wielu lat. W chwili obecnej są one użytkowane w większości kopalń węgla kamiennego na Górnym Śląsku, przyczyniając się tym samym do zmniejszenia ilości piasku kwarcowego używanego do celów podsadzkowych.

Wśród najważniejszych zastosowań popiołów lotnych w górnictwie podziemnym należy wymienić m.in.: likwidację i wypełnianie starych zrobów, zrobów czynnych ścian i zbędnych wyrobisk korytarzowych; wykonywanie tam przeciwybuchowych i hamowanie wybuchów; likwidację zagrożenia pożarowego; a także wydzielanie pól metanowych celem odzysku metanu, przeciwdziałanie ucieczkom powietrza przez zroby itp. (Mazurkiewicz 1990; Mazurkiewicz, Piotrowski 1995; Mazurkiewicz i in. 1997).

Najczęściej w górnictwie podziemnym stosowane są popioły lotne w formie zawiesin popiołowo-wodnych charakteryzujących się m.in. gęstością objętościową zawartą w przedziale od 1,20 do 1,86 Mg/m³, stosunkiem masowym wody do popiołów lotnych (tzw. konsystencja masowa) w przedziale od 1:1 do 1:4, lepkością rzędu 0,006—0,125 Pa·s, rozlewnością w przedziale od 8 do 35 cm, czasem początku wiązania od 1,5 do 280 godzin, a końca wiązania od 3 do 430 godzin, wytrzymałością na ściskanie po zestaleniu do 3 MPa (Mazurkiewicz 1990; Mazurkiewicz, Piotrowski 1995; Mazurkiewicz i in. 1997).

Ilość popiołów lotnych i innych ubocznych produktów spalania węgla kamiennych stosowanych do sporządzania mieszanin popiołowo-wodnych do podsadzania wyrobisk podziemnych (niemal wyłącznie w górnośląskich kopalniach węgla kamiennego) systematycznie rosła w ostatnich 10—15 latach. Ocenia się, że obecnie łączna ilość użytkowanych w tym celu UPS sięga 4 mln Mg/r., przy czym wielkość zużycia samych popiołów lotnych sięga 1,5—1,7 mln Mg/r. Pochodzą one z licznych w regionie górnośląskim elektrowni użytkujących węgiel kamienny z pobliskich kopalń.

5. Perspektywy rozwoju wykorzystania popiołów lotnych ze spalania węgla w Polsce

Stopień gospodarczego wykorzystania popiołów lotnych ze spalania węgla w Polsce jest już w chwili obecnej wyjątkowo wysoki. Sięga on 96%, podczas gdy w 15 dotychczasowych krajach Unii Europejskiej wynosi obecnie 88%, a w USA 35%. Również stopień wykorzystania tych popiołów w zastosowaniach przemysłowych, a więc z wyłączeniem prac rekultywacyjnych, makroniwelacji, wypełniania wyrobisk górniczych itp. (w stosunku do ilości popiołów generowanych) jest w Polsce wyraźnie wyższy, przekracza 55%, podczas gdy w 15 dotychczasowych krajach Unii Europejskiej wskaźnik ten wynosi obecnie 46%, a w USA 22%. Dzieje się tak w głównej mierze dzięki poważnemu użytkowaniu tych popiołów do produkcji różnych materiałów budowlanych. Istnieją jednak w tym zakresie perspektywy dalszego rozwoju.

Popioły lotne ze spalania węgla stanowią ważny surowiec dla przemysłu cementowego i do produkcji betonów. Rosnące zainteresowanie popiołami lotnymi stosowanymi jako surowiec do produkcji klinkieru i cementu związane jest z poszukiwaniem przez przemysł możliwości obniżenia kosztów produkcji oraz modyfikacją, a zarazem poprawą właściwości produkowanych cementów. Oszczędności płynące z zastosowania popiołów lotnych związane są z obniżeniem kosztów wydobycia surowców naturalnych do produkcji klinkieru oraz ze zmniejszeniem kosztów wpału klinkieru poprzez zastąpienie części klinkieru. Wprowadzenie nowej normy cementowej PN-EN 197-1:2002 zwiększyło asortyment cementów z zastosowaniem popiołów lotnych z dwóch do czterech rodzajów, przy wyróżnieniu aż 10 różnych odmian cementu zawierających popioły lotne różnego rodzaju i w różnej ilości. Fakt ten niewątpliwie spowoduje dalsze zwiększenie popytu przemysłu cementowego na te odpady.

Popioły lotne od lat stosowane są jako dodatki do betonów, wpływając pozytywnie na wiele cech użytkowych tychże betonów. Równie duże znaczenie ma tu aspekt ekonomiczny, gdyż zastąpienie części cementu popiołami lotnymi obniża koszt wykonania betonu. W tym przypadku występuje pewnego rodzaju konflikt interesów pomiędzy przemysłem cementowym a branżą betoniarską, bo intensyfikacja użytkowania popiołów do betonów równocześnie obniża zapotrzebowanie tej branży na cementy. Wspólnym problemem w pozyskiwaniu popiołów lotnych do produkcji cementów i betonów, a także do produkcji innych materiałów budowlanych, jest rozbieżność pomiędzy okresem największej generacji popiołów lotnych w energetyce (zima — okres grzewczy) a okresem intensyfikacji produkcji cementów i betonów przypadającym na lato. Wynikają stąd trudności w pozyskiwaniu odpowiedniej jakości suchych popiołów w okresie letnim, gdy jest na nie wzmożone zapotrzebowanie. Korzystanie ze zdeponowanych w okresie zimowym wilgotnych popiołów jest w przypadku produkcji cementów i betonów utrudnione lub wręcz niemożliwe ze względu na obniżenie ich aktywności pucolanowej.

Bardzo ważnym kierunkiem zastosowania popiołów lotnych w przemyśle materiałów budowlanych pozostaje produkcja betonu komórkowego. W ostatnich latach systematycznie

rośnie popularność tego materiału. Należy więc spodziewać się także stopniowego wzrostu zapotrzebowania na popioły lotne ze strony tej branży. Ponieważ jednak zakłady produkcji betonu komórkowego bazujące na popiele lotnym jako surowcu są z reguły zlokalizowane w pobliżu elektrowni lub elektrociepłowni, możliwości rozwoju produkcji w tych zakładach będą limitowane możliwą podażą ze strony tychże elektrowni.

Ważnym kierunkiem zagospodarowania popiołów lotnych w produkcji materiałów budowlanych jest, a właściwie może stać się wytwarzanie kruszyw lekkich. Mimo opracowania licznych technologii produkcji takich kruszyw, do tej pory ich produkcja nie rozwinęła się na większą skalę, co prawdopodobnie jest spowodowane ich stosunkowo wysoką ceną oraz zbyt słabą promocją tych produktów i ich zalet. Wyjątkiem jest kruszywo wytwarzane przez Pollytag S.A. w Gdańsku. W przypadku zwiększenia możliwości zbytu takich kruszyw rozwój ich produkcji może nastąpić w zakładach posiadających technologie ich produkcji, m.in. w Skawinie, Łodzi, Poznaniu czy Opolu.

Stosowanie popiołów lotnych do wyrobów ceramiki budowlanej rozwijało się szczególnie szybko w latach osiemdziesiątych. Obecnie szczególnie rozwinięte jest w Małopolsce i na Górnym Śląsku. Dalszy ewentualny rozwój ich zużycia do ceramiki budowlanej mógłby być raczej związany z wprowadzaniem ich stosowania do wyrobów ceramiki budowlanej w innych regionach kraju, gdzie z jednej strony występuje odpowiednia podaż popiołów, z drugiej zaś rozwinięta produkcja takich wyrobów (np. rejon Warszawy czy Poznania).

Analiza użytkowania popiołów lotnych ze spalania węgla w gospodarce krajowej wykazuje, że są one w coraz wyższym stopniu traktowane jako pełnowartościowy surowiec. Należy jednak pamiętać o tym, że pozyskiwane są one w sposób wymuszony jako jeden z odpadów przemysłu energetycznego. Zmiana wizerunku tych materiałów poprzez określanie ich przez energetykę mianem: „uboczne produkty spalania” (bez używania terminu odpad) jest dla popiołów lotnych jak najbardziej uprawniona, zwłaszcza w warunkach polskich. Nie jest to co prawda, i nie będzie, surowiec standaryzowany, o ściśle sprecyzowanych parametrach jakościowych, jednakże elektrownie coraz powszechniej prowadzą tak procesy spalania węgla i odprowadzania odpadów energetycznych, by uzyskać jak największe ilości popiołu lotnego o stabilnej jakości. Jest to warunkiem wstępnym do dalszego wzrostu zastosowań przemysłowych tych popiołów, szczególnie w przemyśle materiałów budowlanych.

LITERATURA

- Bąk Z., Rucki J., Śliwińska-Serafin M., 2001 — Gospodarcze wykorzystanie ubocznych produktów spalania powstających w procesie produkcji energii elektrycznej w Elektrowni Opolu. Mat. Międzynar. Konf. „Ekologiczno-energetyczne kierunki rozwoju przemysłu materiałów budowlanych”. Łądek-Zdrój, 25—27.04.2001.
- Bilans gospodarki surowcami mineralnymi Polski i świata 1999—2003. Praca zbiorowa pod redakcją R. Neyana i T. Smakowskiego. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków 2004.

- Bolewski A., Budkiewicz M., Wyszomirski P., 1991 — Surowce ceramiczne. Wyd. Geol., Warszawa.
- Brylicki W. i in., 1986 — Technologia budowlanych materiałów wiążących. Część 2 — Cement. Wyd. Szkolne i Pedagogiczne, Warszawa.
- Brylska E., Dyczek J., Gawlicki M., 2002 — Wykorzystanie odpadów w przemyśle materiałów budowlanych. Karbo nr 3.
- Garbacik A., Chłędziński S., Baran T., 2001 — Właściwości betonu z cementów zawierających popioły lotne wapienne. Mat. Międzynar. Konf. „Ekologiczno-energetyczne kierunki rozwoju przemysłu materiałów budowlanych”. Łądek-Zdrój, 25—27.04.
- Gawlicki M., Roszczyniański W., 2000 — Nowe elementy w gospodarce odpadami energetycznymi. Mat. III Szkoły Gospodarki Odpadami, Ryto-Kraków.
- Gospodarka paliwowo-energetyczna 2003. Rocznik statystyczny GUS, Warszawa.
- Hycnar J., 1985 — Stan i perspektywy stosowania za granicą popiołów z elektrowni do produkcji wyrobów ceramicznych i silikatowych. Ceramika Budowlana nr 2.
- Hycnar J., 2002 — Technologie przetwarzania odpadów kompleksu paliwowo-energetycznego. Inżynieria Mineralna, Zeszyt Specjalny S1.
- Informator Stowarzyszenia Producentów Cementu i Wapna 2003. Wyd. Stowarzyszenie Producentów Cementu i Wapna, Kraków 2004.
- Jarema-Suchorowska S., Śliwińska-Serafin M., Bąk Z. 2001 — Epogran — nowe kruszywo dla budownictwa. Mat. VIII Międzynar. Konf. „Popioły z energetyki”, Międzyzdroje.
- Kalyoncu R., 2003 — Coal Combustion Products. Minerals Yearbook 2001, Vol. I, Metals & Minerals. U.S. Geological Survey.
- Kurdowski W., 1990 — Chemia cementu. PWN, Warszawa.
- Mazurkiewicz M., 1990 — Technologiczne i środowiskowe aspekty stosowania stałych odpadów przemysłowych do wypełniania pustek w kopalniach podziemnych. Zeszyty Naukowe AGH nr 152, Kraków.
- Mazurkiewicz M., Piotrowski Z., 1995 — Propozycja unormowania badań będących podstawą dopuszczenia odpadów drobnofrakcyjnych do deponowania w pustkach podziemnych. Bezpieczeństwo pracy i ochrona środowiska w górnictwie nr 3.
- Mazurkiewicz M., Piotrowski Z., Tajduś A., 1997 — Lokowanie odpadów w kopalniach podziemnych. cz. I. Wyd. CPPGSMiE PAN, Biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej nr 5, Kraków
- Neville A.M., 2000 — Właściwości betonu. Wyd. Polski Cement, Kraków.
- Ochrona Środowiska 2003. Rocznik statystyczny GUS Warszawa.
- Peukert S., 1986 — Wykorzystanie odpadów a modernizacja przemysłu cementowego. Cement-Wapno-Gips nr 10.
- Piasta J., Piasta W.G., 1994 — Beton zwykły. Wyd. Arkady, Warszawa.
- Pieńkowski B., 1999 — Ceramika z popiołów. Ceramika Budowlana nr 5, 6.
- Puszkariowa K., Gorzelak G., Domoślawski W., 2002 — Ocena aktywności pucolanowej aktywowanych popiołów konwencjonalnych i skuteczność ich wykorzystania do produkcji betonów specjalnych. Mat. XLVIII Konf. Nauk. Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i Komitetu Nauki PZiTB. Opole-Krynica.
- Ratajczak T., Gaweł A., Górniak K., Muszyński M., Szydłak T., Wyszomirski P., 1999 — Charakterystyka popiołów lotnych ze spalania niektórych węgla kamiennych i brunatnych. [W:] Masy popiołowo-mineralne i ich wykorzystanie w górnictwie węglowym. Polskie Towarzystwo Mineralogiczne, Prace Specjalne z. 13.
- Szczerba J., Garbacik A., 1998 — Technologiczne ograniczenia wykorzystania odpadów w produkcji klinkieru. Prace Instytutu Mineralnych Materiałów Budowlanych nr 23, Opole.
- Tarkowski R., Uliasz-Misiak B., 2003 — Emisja dwutlenku węgla w Polsce w aspekcie podziemnego opracowania. Gospodarka Surowcami Mineralnymi nr 2.

Inne źródła informacji

American Coal Ash Association ACAA (www.aca-a-usa.org)

European Coal Combustion Products Association ECOBA (www.ecoba.com)

KE Dolna Odra Sp. z o.o. (www.ke.com.pl)

Polska Unia Ubocznych Produktów Spalania PU UPS (www.popiol.pl)

Raporty Wojewódzkich Inspektoratów Ochrony Środowiska

Stowarzyszenie Producentów Cementu i Wapnia SPCiW (www.polskicement.com.pl)

VKN Polska Sp. z o.o. (www.vknpolska.pl)

KRZYSZTOF GALOS, ALICJA ULIASZ-BOCHEŃCZYK

SOURCES AND UTILIZATION OF FLY ASHES FROM COAL COMBUSTION IN POLAND

Key words

Fly ashes, supply, construction materials, filling materials

Abstract

The paper presents the main sources of fly ashes from coal combustion in Poland, as well as the principal directions of their utilization. The quality characteristics of fly ashes is discussed. Quantity and structure of fly ashes generation in Poland is characterized in detail. The main tendencies in fly ashes utilization — both in the world and in Poland — are shown. The main uses of fly ashes are discussed in detail, in respect of quantity and quality of fly ashes used by these industries. Finally, perspectives of further development of fly ashes utilization in Poland, are presented.