

ZBIGNIEW PIOTROWSKI*, ALICJA ULIASZ-BOCHEŃCZYK**

Możliwości gospodarczego wykorzystania odpadów z kotłów fluidalnych

Wprowadzenie

Kotły fluidalne zaczęto stosować w polskiej energetyce zawodowej w połowie lat dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku (Brożyna, Mazurkiewicz 2000). Od tego czasu liczba elektrowni i elektrociepłowni zaliczanych do energetyki zawodowej, stosujących kotły fluidalne wzrosła od 2 w 1998 r. do 12 w roku 2006 (tab. 1).

Stosowanie kotłów fluidalnych spowodowało pojawienie się nowych odpadów różniących się od tych powstających w „konwencjonalnych” kotłach pyłowych. W wyniku spalania paliw w kotłach fluidalnych powstają następujące produkty (Glossary... 2003): popioły lotne wychwytywane w elektrofiltrach i filtrach workowych, popioły denne, niespalony węgiel i nieprzereagowany sorbent. Popioły lotne wychwytywane w elektrofiltrach i filtrach workowych oraz popioły denne stanowią około 95% odpadów z kotłów fluidalnych.

Jak już wcześniej wspomniano popioły z kotłów fluidalnych różnią się od popiołów z kotłów konwencjonalnych. Popioły z kotłów konwencjonalnych składają się z kulistych, szklistych ziaren o zawartości szkła – 65–88%, mulitu – 1–17%, kwarcu – 1–9%, hematytu – 1–18%, magnetytu – 1–8%, anhydrytu – 1–3% i $\text{CaO}_{\text{całk.}}$ – 1–8% (Brandstetr i in. 1997; Giergiczny 2006). W popiołach fluidalnych nie stwierdzono zawartości szkła i mulitu, zawartość pozostałych składników kształtuje się następująco: kwarc – 2–12%, illit – poniżej 50%, hematyt – 4–15%, magnetyt – poniżej 1%, anhydryt – 10–20% i $\text{CaO}_{\text{całk.}}$ – 5–30% i kalcyt – 1–25% (Brandstetr i in. 1997; Giergiczny 2006).

* Dr inż., Katedra Ekologii Terenów Przemysłowych AGH, Kraków; e-mail: zpiotrow@agh.edu.pl

** Dr inż., Instytut Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią PAN, Kraków;
e-mail: aub@min-pan.krakow.pl

TABELA 1

Liczba zakładów energetyki zawodowej stosujących kotły fluidalne w Polsce w latach 1998–2005
(Emitor 1998, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006)

TABLE 1

Number of professional power industry plants using fluidized bed boilers in Poland in the period of time
from 1998–2005

Lata	Liczba zakładów
2006	12
2005	10
2004	10
2003	11
2002	7
2001	5
2000	5
1998	2

W tabeli 2 przedstawiono przykładowe składy chemiczne popiołów z kotłów fluidalnych i konwencjonalnych. Popioły fluidalne charakteryzują się dużą zawartością związków wapnia w porównaniu z mniejszą zawartością w popiołach konwencjonalnych (Havlica i in. 1998; Giergiczny 2006), co ilustruje tabela 2. Popioły z kotłów fluidalnych składają się

TABELA 2

Przykładowe składy chemiczne popiołów fluidalnych i konwencjonalnych (Uliasz-Bocheńczyk i in. 2007)

TABLE 2

Example chemical composition of Polish fluidized and conventional ash

Rodzaj popiołu	Zawartość [%]								
	straty praż.	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO wolne
Popioły lotne ze spalania węgla kamiennego w kotłach fluidalnych z Ec. Tychy	13,79	31,39	3,35	14,70	19,75	4,68	0,74	2,08	6,67
Popioły lotne ze spalania węgla kamiennego w kotłach fluidalnych z El. Siersza	5,55	40,43	6,82	21,52	11,52	6,13	1,58	1,96	1,48
Popioły lotne ze spalania węgla kamiennego z El. Jaworzno	2,91	47,86	7,65	28,75	4,94	0,58	1,28	2,33	0,0
Popioły lotne ze spalania węgla kamiennego z Ec. Lublin-Wrotków	10,75	58,46	3,99	14,00	5,31	0,77	0,59	1,24	1,25

głównie z nieregularnych ziaren zdehydratyzowanych minerałów ilastych, o dużej powierzchni właściwej i wysokiej aktywności pucolanowej (Roszczyniański, Gawlicki 2004).

2. Gospodarcze wykorzystanie odpadów z kotłów fluidalnych

Ze względu na właściwości, odpady z kotłów fluidalnych potencjalnie mogą być stosowane m.in. do produkcji cementu, produkcji betonu, wykonywania zapraw, w roli sorbentów, w rolnictwie, jako materiał do wykonywania robót inżynierskich i drogowych, produkcji kruszyw oraz stabilizacji odpadów.

2.1. Produkcja cementu

Jednym z potencjalnych kierunków gospodarczego wykorzystania popiołów z kotłów fluidalnych jest produkcja cementów.

Odpady z kotłów fluidalnych mogą pełnić rolę dodatku pucolanowego jak i regulatora czasu wiązania. Aktywność pucolanowa tych odpadów spowodowana jest występowaniem w nich dużych ilości zdehydratyzowanych minerałów ilastych, zawierających aktywne pucolanowo SiO_2 i Al_2O_3 . Występujący w odpadach anhydryt II jest efektywnym opóźniaczem czasu wiązania cementu (Roszczyniański, Gawlicki 2004).

Odpady z kotłów fluidalnych mogą być stosowane w technologii produkcji cementu w roli (Bland i in. 1997; Kabała i in. 2006; Roszczyniański, Nocuń-Wczelik, 2004):

- regulatora czasu wiązania,
- superpucolanu (typu pyłu krzemionkowego),
- kompleksowego dodatku pucolanowo-siarczanowego.

Popioły z kotłów fluidalnych jako regulatory czasu wiązania mogą być stosowane przy produkcji następujących cementów (Kabała i in. 2006):

- portlandzkich popiołowych (CEM II/A-V i CEM II/B-V),
- portlandzkich wieloskładnikowych (CEM II/A-M i CEM II/B-M),
- pucolanowych (CEM IV/A i CEM IV/B),
- wieloskładnikowych (CEM V/A i CEM V/B).

Popioły fluidalne mogą być stosowane w ilości do 5% jako drugorzędny dodatek mineralny do cementu (Kabała i in. 2006; Giergiczny 2006).

Zastosowanie popiołów fluidalnych jako pełnowartościowego składnika mączki surowcowej do wypalania klinkieru potwierdzają badania wykonane przez Staněk, Sulovský (2007).

Popioły z kotłów fluidalnych nie spełniają wymagań zawartych w normie PN-EN 197-1 dla dodatków mineralnych, które mogą być podstawowymi składnikami cementu (Giergiczny 2006).

Popioły fluidalne mogą nie spełniać wymagań normy PN-EN 197-1 dotyczących zawartości reaktywnego SiO_2 oraz strat prażenia, które w niektórych popiołach przekraczają dopuszczalną wartość 5% (Giergiczny 2006).

Jak wykazały badania wykonane przez różnych autorów (Giergiczny 2006; Kabała i in. 2006; Sheng i in. 2007; Staněk, Sulovský 2007) zastosowanie popiołów fluidalnych jako dodatku do cementu powoduje zwiększenie powierzchni właściwej, skrócenie czasu wiązania i zwiększenie wytrzymałości oraz korzystnie wpływa na kształtowanie się mikrostruktury. Negatywnym efektem zastosowania popiołów fluidalnych jest znaczne zwiększenie współczynnika wodożądności (Kabała i in. 2006; Giergiczny 2006; Sheng i in. 2007; Roszczynialski, Gawlicki 2004).

W Polsce pierwszą cementownią, w której wdrożono na skalę przemysłową stosowanie popiołów dennych jako regulatora czasu wiązania była Cementownia Wysoka (Brożyna, Mazurkiewicz 2000).

W przemyśle cementowym w Polsce popioły fluidalne złożowe są stosowane w Cementowni Rudniki w roli regulatora czasu wiązania (Kabała i in. 2006).

2.2. Produkcja betonów

Popioły lotne są od wielu lat stosowane w technologii betonów. Właściwości, jakimi powinny charakteryzować się popioły produkcji do betonu określa norma PN-EN 450-1.

Popioły otrzymywane w kotłach fluidalnych nie spełniają kryteriów określonych przez normę PN-EN 450-1, np. w zakresie występowania w postaci nieregularnych ziaren (Roszczynialski 2002).

Zastosowanie popiołów fluidalnych do betonu wpływa negatywnie na jego właściwości reologiczne (Kabała i in. 2006). Jednak zastosowanie odpowiednich plastyfikatorów może ograniczyć ten negatywny wpływ popiołów fluidalnych na właściwości betonów (Kabała i in. 2006).

Sposobem na ograniczenie negatywnego wpływu popiołów fluidalnych na beton jest ich wcześniejsze zmielenie, przed zastosowaniem jako dodatku do betonu. Dzięki zastosowaniu mielenia zmniejsza się wodożądność, poprawia urabialność, a także szczelność stwardniałego betonu (Brożyna, Mazurkiewicz 2000).

W Polsce obecnie są stosowane w produkcji betonów popioły fluidalne aktywowane mechanicznie pod nazwą „Flubet” (Zestaw...2001; Zestaw...2002; Giergiczny 2006; Hycnar 2006; Kabała i in. 2006).

2.3. Wytwarzanie zapraw

Popioły fluidalne ze względu na ich właściwości mogą być stosowane jako podstawowy (ponad 80%) składnik spoiw wchodzących w skład zapraw budowlanych (Kabała i in. 2006; Giergiczny 2006). Opracowane zostały zaprawy tynkarska i murarska, w których w charakterze spoiwa stosowane są popioły fluidalne w ilości 3–30% wagowych w stosunku do masy zaprawy (Małolepszy 2005a, b).

2.4. Sorbenty

Jednym z kierunków zastosowania popiołów lotnych jest wykorzystanie ich w procesach odsiarczania spalin. Mieszanina popiołów fluidalnych i $\text{Ca}(\text{OH})_2$ została przebadana pod kątem zastosowania ich jako sorbentu SO_2 . Uzyskano 92–100% przejście CaO w CaSO_4 w ciągu 1 godziny (Wang, Wu 2006).

2.5. Zastosowanie w rolnictwie

Popioły i żużle mogą być stosowane w rolnictwie i leśnictwie do odkwaszania, nawożenia i melioracji gleb (Hycnar 2006).

Popioły fluidalne stosowane są w rolnictwie w celu (Hycnar 2006; Ritchey i in. 1999):

- poprawy migracji wody w glebie,
- zmniejszenia wymywalności nawozów i drobnych frakcji gleby,
- neutralizacji kwaśnych składników gleb,
- nawożenia gleb,
- dezaktywacji skażonych gleb.

W leśnictwie popioły mogą być stosowane w celu podniesienia pH gleby na terenach leśnych oraz do rewitalizacji gleb leśnych (Hycnar 2006).

Badania nad możliwością zastosowania popiołów fluidalnych jako substytutu wapna nawozowego prowadzono w Stanach Zjednoczonych od 1976 r. Wyniki badań potwierdzają, że popioły fluidalne mogą zastąpić nawozy wapniowe (Stout i in. 1997).

2.6. Roboty inżynierskie i drogowe

Odpady z palenisk fluidalnych mogą być stosowane w robotach inżynierskich i drogowych jako (Brożyna, Mazurkiewicz 2000; Hycnar 2006):

- wypełniacz do mas bitumicznych,
- materiał do przygotowania zaczynów do wykonywania ekranów przeciwfiltracyjnych metodą szczelinową,
- czynnik stabilizujący podłoże w pracach drogowych i inżynierskich,
- materiał do budowy nasypów,
- materiał do wykonywania nośnych warstw konstrukcyjnych nawierzchni dróg.

Popioły z palenisk fluidalnych wykazują relatywnie wysokie wytrzymałości, niską ekspansję i niską przepuszczalność, co powoduje, że mogą być stosowane jako materiał do budowy nasypów (Bland i in. 1997; Brown i in. 1997).

Przeprowadzone w Polsce badania pokazały, że popioły fluidalne mogą być stosowane do ulepszenia gruntu (Kabała i in. 2006).

Odpady fluidalne zostały z powodzeniem wykorzystywane do rekultywacji wyrobiska surowców ilastych przy wytwórni keramzytu w Mszczonowie. Odpady pochodzące z Elektrociepłowni Żerań są mieszane z wodą i transportowane do Mszczonowa, gdzie wypełniane jest wyrobisko (Brożyna, Mazurkiewicz 2000).

W Polsce opracowano metodę przetwarzania popiołu dennego, której produktem jest materiał nazywany „stabilizatem”. Stabilizat wykonywany jest przez zagęszczanie mieszaniny popiołu dennego z kotła fluidalnego i popiołu lotnego z kotła pyłowego, który może być stosowany jako materiał konstrukcyjny do robót ziemnych, utwardzania gruntów, izolacji gruntów oraz do wykonywania podbudów drogowych (Jarema-Suchorowska i in. 2007).

Projekt normy europejskiej EN 1328-2 dotyczący normalnie twardniejącego hydraulicznego spoiwa drogowego przewiduje fluidalne popioły krzemionkowe ze złoża fluidalnego jako składnik tego typu spoiw z uwzględnieniem pewnych wymagań.

2.7. Produkcja kruszyw

Popioły fluidalne mogą być stosowane do produkcji kruszyw sztucznych. Badania przeprowadzone przez Bland i in. (1997) potwierdzają, że popioły te mogą być granulowane i przy zastosowaniu 5% dodatku wapna hydratyzowanego można otrzymać kruszywo sztuczne przydatne do wykonywaniu różnych konstrukcji.

Stosowane w wielu krajach – do produkcji materiałów budowlanych i betonów, do budowy dróg oraz jako wypełniacz mas asfaltowych – kruszywo sztuczne „Aardelite” może być produkowane z udziałem 20–60% popiołów fluidalnych. Kruszywo to wytwarzane jest w procesie granulowania mieszanki popiołu lotnego z wapnem i ewentualnie dodatkami przyspieszającymi wiązanie (Hycnar 2006).

W Japonii została opracowana technologia produkcji kruszywa z popiołów fluidalnych dla drogownictwa. W technologii tej popioły mieszane są z wodą, a następnie z uzyskanej mieszaniny formowane kształtki, które są poddawane naporzaniu i rozdrabnianiu. Uzyskane kruszywo charakteryzuje się niewielką gęstością, bardzo dobrymi właściwościami hydraulicznymi i zdolnością do adsorpcji dużej ilości wody (Takada i in. 1995).

Inną metodę produkcji kruszyw dla drogownictwa opracowano w Stanach Zjednoczonych. Popioły fluidalne są mieszane z wodą, granulowane, suszone i rozdrabniane (Wu i in. 1998).

W Polsce opracowano i wdrożono kruszywo z popiołów fluidalnych – tzw. „Stargran”. Kruszywo to otrzymuje się poprzez granulowanie popiołów oraz naporzanie granulatu. „Stargran” spełnia wymagania dla kruszyw budowlanych do betonów lekkich, materiału do ulepszenia nawierzchni dróg gruntowych, do podsadzania podziemnych wyrobisk oraz jako środek do makroniwelacji i rekonsolidacji terenów zdegradowanych (Hycnar 2006).

Opracowano również granulaty o nazwie „EURO-W” uzyskany poprzez proces bezciśnieniowego formowania popiołów fluidalnych (Hycnar 2006), który może być wykorzystany do wykonywania podbudowy dróg (Hycnar 2006).

2.8. Unieszkodliwianie odpadów

Popioły fluidalne mogą być stosowane do unieszkodliwiania osadów ściekowych z oczyszczalni ścieków, neutralizowania kwaśnych płynnych odpadów oraz do zestalania różnych odpadów płynnych (Commercial... 2006).

2.9. Stosowanie w górnictwie podziemnym

Górnictwo podziemne – a w Polsce szczególnie kopalnie węgla kamiennego – jest od wielu lat masowym odbiorcą odpadów przemysłowych. W pierwszym rzędzie wykorzystywane są odpady własne kopalń. W ubiegłym wieku, głównie w latach sześćdziesiątych i siedemdziesiątych, była szeroko stosowana technologia podsadzki hydraulicznej. Umożliwiała ona wykorzystywanie odpadów jako dodatku do materiału podstawowego, którym był piasek podsadzkowy. W podsadce hydraulicznej nie można było stosować popiołów lotnych. Powodem była zbyt duża ilość drobnych ziarn popiołu, mniejszych od 0,1 mm. Próby wykorzystywania popiołów lotnych w tej technologii zawsze kończyły się niepowodzeniem i koniecznością czyszczenia wypełnionych popiołem osadników wód dołowych. Granulowanie popiołów umożliwiało ich wykorzystanie w tej technologii, ale było zbyt drogie i nie zostało wdrożone w skali przemysłowej.

Przełomowe dla masowego stosowania popiołów lotnych w kopalniach podziemnych było opracowanie i wdrożenie technologii zawiesinowej (Mazurkiewicz i in. 1997). Popioły lotne pod wpływem dynamicznego mieszania z wodą – w proporcjach 1 i więcej części popiołu na 1 część wody – tworzą zawiesinę o następujących właściwościach, mających istotne znaczenie praktyczne:

- korzystne właściwości reologiczne umożliwiające grawitacyjny transport rurociągami kopalnianymi na znaczne odległości,
- zawiesina nie sedymentuje, a na jej powierzchni tworzy się warstwa wody nadosadowej (odstój) o objętości zazwyczaj nie większej niż 15% zawiesiny,
- zawiesina wiąże i twardnieje. Proces ten zaczyna się po 1,5–300 godz. i trwa do 480 a nawet więcej godzin,
- stwardniała zawiesina (po 28 dobach sezonowania próbek) charakteryzuje się wytrzymałością na ściskanie $R_c = 0\text{--}9$ MPa i wodoprzepuszczalnością $10^{-4}\text{--}10^{-8}$ m/s.

Jak widać z powyższego zestawienia zawiesiny charakteryzują się zróżnicowanymi właściwościami, które są uzależnione od właściwości stosowanego popiołu lotnego bądź jego mieszaniny z odpadem z odsiarczania spalin, a także od przyjętego w/s (stosunek wody do popiołu). Obserwuje się, że dla tych samych popiołów lotnych im mniejsze jest w/s tym szybciej wiąże zawiesina osiągając większe wartości R_c , ale mniej korzystne parametry transportu. Do zawiesin mogą być dodawane inne odpady. Zazwyczaj są to drobnofrakcyjne odpady przerobcze węgla kamiennego.

Zawiesiny są wykorzystywane w kopalniach podziemnych w następujących technologiach górniczych:

- doszczelnianie i izolacja zrobów zawałowych,
- profilaktyka pożarowa,
- likwidacja wyrobisk korytarzowych,
- zmniejszanie porowatości zawału w systemach ścianowych,
- podsadzanie w zabierkowym systemie eksploatacji,
- tworzenie sztucznych stropów przy eksploatacji warstwowej,

- wiązanie wód silnie zmineralizowanych,
- procesy likwidacji kopalń,
- likwidacja płytko zalegających pustek w górotworze oraz pustek Webera,
- likwidacja szybów i szybików,
- wypełnianie pustek za obudową,
- podsadzka samozestalająca się.

Popioły fluidalne znalazły zastosowanie w większości tych technologii. Sporządzane z nich wodne zawiesiny charakteryzują się właściwościami podobnymi do właściwości zawiesin przygotowanych z innych popiołów lotnych. Do zawiesin z popiołów fluidalnych również można dodawać inne odpady drobnofrakcyjne, w tym popioły denne, a więc istnieje możliwość zagospodarowania w technologii zawiesinowej wszystkich odpadów z kotłów fluidalnych.

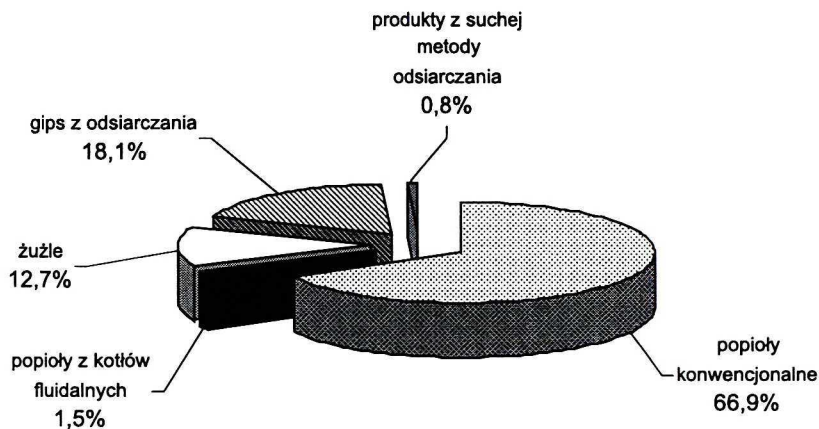
Popioły denne mogą być wykorzystywane jako materiał do podsadzki hydraulicznej. Badania (Brożyna i in. 2003) wykazały, że odpady te są wartościowym materiałem podsadzkowym. Zalecono jego stosowanie szczególnie w przypadku tworzenia mieszanin z piaskiem podsadzkowym lub skałą płoną. Wykonano również badania modelowe i próby techniczne w KWK Wieczorek, których wyniki potwierdziły wnioski z badań laboratoryjnych (Kawala i in. 2003). Dodatek popiołu dennego (5–30%) do skały płonnej istotnie poprawił właściwości mechaniczne podsadzki. Próbki materiału pobieranego z tam podsadzkowych charakteryzowały się korzystniejszymi właściwościami od tych, które przygotowano w laboratorium. Oprócz zmniejszenia ściśliwości materiału, zaobserwowano również wiązanie tych dwóch komponentów, efektem czego było nie wysypywanie się materiału po rozcięciu płótna, z którego była wykonana tama podsadzkowa.

Reasumując dotychczasowe doświadczenia można stwierdzić, że kopalnie podziemne – a szczególnie kopalnie węgla kamiennego – mogą być i są chętnym odbiorcą odpadów z kotłów fluidalnych instalowanych w zakładach energetycznych.

Podsumowanie

Przedstawione rozwiązania techniczne lub ich propozycje pokazują, że potencjalnie istnieje wiele możliwości gospodarczego wykorzystania odpadów z kotłów fluidalnych. Jednak ich zastosowanie w aplikacji jest obecnie ograniczone. Przykładowo, w krajach UE-15 w 2005 r. popioły fluidalne stanowiły 1,5% (955 tys. ton) ogólnej produkcji UPS (rys. 1). Z całkowitej ilości wytworzonych popiołów fluidalnych gospodarczo wykorzystano 81% (www.ecoba.org).

W krajach UE-15 popioły z kotłów fluidalnych stosowane są przede wszystkim do rekultywacji – 306 tys. ton w 2005 r. (tab. 3). Podobnie sytuacja przedstawia się w przypadku Stanów Zjednoczonych gdzie popioły fluidalne stosowane są głównie do budowy dróg (tab. 4).



Rys. 1. Produkcja ubocznych produktów spalania w krajach UE-15 w 2005 r. (www.ecoba.org)

Fig. 1. Production of combustion by-products in the UE-15 in 2005

W Polsce informacje dotyczące produkcji ubocznych produktów spalania podawane są w opracowaniu Agencji Rynku Energii S.A. – „Emitor – Emisja Zanieczyszczeń Środowiska w Elektrowniach i Elektrociepłowniach zawodowych”. Jednak w opracowaniu tym nie ma podziału na rodzaje popiołów lotnych i żużli, podawana jest jedynie ilość całkowita.

W ostatnich latach zwiększa się liczba elektrowni i elektrociepłowni stosujących kotły fluidalne, obecnie stosują je zarówno elektrownie spalające węgiel kamienny, jak również węgiel brunatny.

TABELA 3

Przykładowe zastosowanie popiołów fluidalnych w krajach UE-15 w latach 2003 i 2005 [tys. Mg]
(www.ecoba.org)

TABLE 3

The examples of fluidized ash use in the UE-15 in 2003 and 2005 [thousand tons]

Rodzaj zagospodarowania	Ilość wykorzystanych popiołów fluidalnych w latach	
	2003	2005
Produkcja cementu	0	22
Wzmacnianie terenu	84	63
Stabilizacja podłoża	1	22
Podbudowa nawierzchni drogowej	72	46
Rekultywacja	178	306
Tymczasowe składowanie	40	142
Składowanie	314	36

TABELA 4

Przykładowe zastosowanie gospodarcze popiołów fluidalnych w Stanach Zjednoczonych w 2005 i 2006 [Mg] (www.aaaa-usa.org)

TABLE 4

The examples of economic use of fluidized ash in the USA in 2005 and 2006 [tons]

Rodzaj zagospodarowania	Ilość wykorzystanych gospodarczo popiołów fluidalnych w latach	
	2005	2006
Drogownictwo	200 000	453 602
Stabilizacja odpadów/wiązanie odpadów	140 555	81 000
Modyfikacja gleby/stabilizacja	216 787	179 003
Budowa nasypów, wałów	140 300	360 115
Zastosowanie w górnictwie	70 802	0

Obecnie w Polsce popioły fluidalne stosowane są m.in. jako dodatek mineralny do betonu – Flubet, przy zastosowaniu którego produkowana jest np. kostka brukowa (www.eltur-wapore.com.pl) oraz w przemyśle cementowym w roli regulatora czasu wiązania (Kabała i in. 2006). Jednak biorąc pod uwagę specyficzne właściwości popiołów fluidalnych największe perspektywy dla ich gospodarczego wykorzystania w Polsce są w kopalniach podziemnych oraz w pracach drogowych.

LITERATURA

- Bland A.E., Brown T.H., Wheelton J.M., 1997 – Pressurized fluidized bed combustion ash. 1. Construction-related use options. *Fuel*, vol. 76, no 8, p. 733–740.
- Brandštettr J., Havlica J., Odler I., 1997 – Properties and use of solid residue from fluidized bed coal combustion. Noyes Publishers, Westwood, New Jersey.
- Brown T.H., Bland A.E., Wheelton J.M., 1997 – Pressurized fluidized bed combustion ash. 2. Soil and mine amendment use options. *Fuel*, vol. 76, no 8, p. 741–748.
- Brożyna M., Mazurkiewicz M., 2000 – Możliwości wykorzystania odpadów z palenisk fluidalnych. *Materiały Szkoły Gospodarki Odpadami, Ryto*, s. 33–44.
- Brożyna M., Mazurkiewicz M., Piotrowski Z., 2003 – O możliwościach zastosowania odpadów z kotłów fluidalnych jako materiału w podsadze hydraulicznej – badania laboratoryjne. *Miesięcznik WUG Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie* nr 6(106).
- Brylicki W., Lysek N., 1996 – Właściwości a wykorzystanie odpadów powstających w procesie odsiarczania gazów w złożu fluidalnym. *Cement Wapno Beton* nr 3.
- Commercial Use of Coal Utilization By-products and Technology Trends, 2006. www.netl.doc.gov
- Emitor 1998, 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005 Emisja Zanieczyszczeń Środowiska w Elektrowniach i Elektrociepłowniach Zawodowych, Agencja Rynku Energii, Warszawa.
- EN 196-1 Methods of testing cement – Part 1: Determination of strength
- EN 196-2 Methods of testing cement – Part 2: Chemical Analysis of cement

- EN 196-3 Methods of testing cement – Part 3: Determination of setting time and soundness.
- EN 451-1 Method of testing fly ash – Part 1: Determination of free calcium oxide content.
- Gawlicki M., Roszczynialski W., 2000 – Nowe elementy w gospodarce odpadami energetycznymi. Materiały Szkoły Gospodarki Odpadami, Ryto, s. 91–100.
- Giergiczny Z., 2006 – Rola popiołów lotnych wapniowych i krzemionkowych w kształtowaniu właściwości współczesnych spoiw budowlanych i tworzyw cementowych. Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Monografia nr 325, Kraków.
- Glossary of terms concerning the management and use of coal combustion products (CCPs). American Coal Ash Association, 2003.
- Havlica J., Brandštettr J., Odler I., 1998 – Possibilities of utilizing solid residues from Pressured Fluidized Bed Coal Combustion (PFBC) for the Production of Blended Cements. Cement and Concrete Research 28, p. 299–307.
- Hycnar J.J., 2006 – Czynniki wpływające na właściwości fizykochemiczne i użytkowe stałych produktów spalania paliw w paleniskach fluidalnych. Wyd. Górnicze, Katowice.
- Jarcma-Suchorowska S., Zajac A., Kanafek J., 2007 – Stabilizator popiołowy i zagadnienie wymywalności jonów siarczkowych z popiołów lotnych. Materiały XIV Międzynarodowej Konferencji „Popioły z Energetyki”, Międzyzdroje/Świnoujście.
- Kabała J., Brzozowski B., Roszczynialski W., Małolepszy J., 2006 – Właściwości i zastosowanie ubocznych produktów spalania węgla w kotłach fluidalnych. Materiały Konferencji pt. „Popioły z energetyki”, Kraków, s. 121–142.
- Kawala A., Mazurkiewicz M., Piotrowski Z., 2003 – O możliwości zastosowania odpadów z kotłów fluidalnych w podsadce hydraulicznej – badania modelowe i techniczne. Miesięcznik WUG Bezpieczeństwo Pracy i Ochrona Środowiska w Górnictwie nr 7(107).
- Małolepszy J., Roszczynialski W., Kabała J., Brzozowski B. i in., 2005a – Zaprawa tynkarska. Zgłoszenie patentowe Nr 378086, Warszawa.
- Małolepszy J., Roszczynialski W., Kabała J., Brzozowski B. i in., 2005b – Zaprawa murarska. Zgłoszenie patentowe Nr 378087.
- Mazurkiewicz M., Piotrowski Z., Tajduś A., 1997 – Lokowanie odpadów w kopalniach. Biblioteka Szkoły Eksploatacji Podziemnej, Kraków.
- PN-EN 197-1. Cement. Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku.
- PN-EN 451-1 Popiół lotny do betonu. Część 1: Definicje, specyfikacje i kryteria zgodności.
- Ritchev K.D., Zaifnejad M., Clark R.B., Baligar V.C., Martens D.C., 1999 – Renovation of Acidic Appalachian Soil with FGD Gypsum and FBC Residue: Soil Leachate Evaluation. Proceedings of International Ash Utilization Symposium, Center for Applied Energy Research University of Kentucky. www.flyash.info
- Roszczynialski W., 2002 – Odpady z kotłów fluidalnych jako dodatki do cementów. Semianrium Naukowo-Techniczne „Zagospodarowanie popiołów fluidalnych”, Łódź.
- Roszczynialski W., Gawlicki M., 2004 – Uboczne produkty spalania jako składniki spoiw mineralnych. Materiały Szkoły Gospodarki Odpadami, Ryto, s. 211–220.
- Roszczynialski W., Nocuń-Wczelik W., 2004 – Studies of cementitious systems with new generation by-products from fluidised bed combustion. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, Vol. 77, p. 151–158.
- Sebök T., Šimonik J., Kulisek K., 2001 – The compressive strength of samples containing fly ash with high content of calcium sulfate and calcium oxide. Cement and Concrete Research 31, p. 1101–1107.
- Sheng G., Zhai J., Qin L., Li F., 2007 – Utilization of fly ash coming from a CFBC boiler co-firing coal and petroleum coke in Portland cement. Fuel 86, p. 2625–2631.
- Staněk T., Sulovský P., 2007 – Zagospodarowanie popiołów lotnych i fluidalnych jako surowców do wypalania klinkieru portlandzkiego. Materiały XIV Międzynarodowej Konferencji „Popioły z Energetyki”, Międzyzdroje/Świnoujście.

- Stout W., Daily M.R., Nickenson T.L., Svendsen R.L., Thompson G.P., 1997 – Agricultural uses of alkaline fluidized combustion ash: case studies. *Fuel*, vol. 76, no 8, p. 767–769.
- Takada T., Hashimoto I., Shibata Y., Yamamaro S., Kamada T., Inoue K., Tsuzura K., Yoshida K., 1995 – Utilization of coal ash from fluidized-bed combustion boilers as road base material. *Resources, Conservation and Recycling* 14, p. 69–77.
- Uliasz-Bocheńczyk A., Mokrzycki E., Piotrowski Z., Pomykała R., 2007 – Składowanie CO₂ z zawiesinami popiołowo-wodnymi pod ziemią. Wyd. IGSMiE PAN, Kraków.
- Wang S., Wu H., 2006 – Environmental-bening utilisation of fly ash as low-cost adsorbents. *Journal of Hazardous Materials B136*, p. 482–501.
- Wu M.M., Winschel R.A., Hansenfus G.J., 1998 – Production of manufactured aggregates from coal combustion by-products. *Proceedings of Advanced Coal-Based Power & Environmental Systems '98 Conference*, Morgantown, USA, www.netl.doc.gov
- www.aaa-usa.org
- www.ecoba.org
- Zestaw materiałów – dodatek Flubet i domieszka Betostat do modyfikacji betonu i stabilizacji kruszyw cementem. Aprobata techniczna IBDiM nr AT/2002-04-1249, Warszawa 2002.

MOŻLIWOŚCI GOSPODARCZEGO WYKORZYSTANIA ODPADÓW Z KOTŁÓW FLUIDALNYCH

Słowa kluczowe

Odpady z kotłów fluidalnych, popioły fluidalne, gospodarcze wykorzystanie

Streszczenie

Technologię spalania w złożu fluidalnym polska energetyka zawodowa zaczęła stosować w połowie lat dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku. Spalanie w kotłach fluidalnych spowodowało pojawienie się nowych rodzajów odpadów.

Z względu na specyficzne właściwości odpadów z kotłów fluidalnych ich zastosowanie w szeregu przemysłach jest obecnie ograniczone. Potencjalnie istnieje jednak wiele możliwości ich wykorzystania. Najważniejszym kierunkiem zagospodarowania popiołów fluidalnych w Polsce jest górnictwo podziemne, które umożliwi masowe wykorzystanie tych odpadów w różnych technologiach górniczych. Innym kierunkiem gospodarczego wykorzystania popiołów fluidalnych jest produkcja cementów, w których mogą spełniać rolę regulatora czasu wiązania, superpucolany lub kompleksowego dodatku pucolanowo-siarczanowego. W przemyśle materiałów budowlanych popioły te mogą być również stosowane jako dodatek do wytwarzania betonów, ale przy zastosowaniu odpowiednich plastyfikatorów lub po ich wcześniejszym zmieszeniu.

Popioły te mogą również znaleźć gospodarcze zastosowanie w procesach odsiarczania spalin w energetyce zawodowej oraz w rolnictwie i leśnictwie do odkwaszania, nawożenia i melioracji gleb.

Odpady fluidalne mogą być stosowane z powodzeniem w geotechnice jako wypełniacz do mas bitumicznych, do wykonywania zaczynów iniekcyjnych, jako czynnik stabilizujący podłoże w pracach drogowych i inżynierskich oraz do budowy nasypów.

POSSIBILITIES OF ECONOMIC USE OF FLUIDIZED BED BOILER WASTE

Key words

Fluidized bed boilers waste, fluidized ash, economic use

Abstract

Fluidized bed combustion technology has been employed in Polish professional power industry since the mid 1990s. Combustion in fluidized bed boilers has brought to life some new types of waste. Due to particular fluidized bed boiler waste properties, its use in different industries is currently limited. However, there are a lot of possibilities of its use. The most important trend in fluidized ash management in Poland is underground mining, which allows the mass use of this waste in various technologies. Another tendency of economic use of fluidized ash is cement production, with the function of bonding time regulator, superpozzolan or comprehensive pozzolanic-sulfate addition. In the industry of building materials this ash may be also used as an addition in concrete production, but with the employment of appropriate plasticizers or after prior grinding.

This ash may be economically used in the processes of desulphurization of fumes in professional power industry as well as in agriculture and forestry, for deacidification, fertilization and amelioration of soil.

Fluidized waste may be successfully used in geotechnics as an asphalt filler, for slurry injection, as a factor stabilizing the foundation during road works and engineer works as well as in embankment works.

The possibilities of economic use of fluidized bed boilers waste have been presented in the article.