

## MOŻLIWOŚĆ ZASTOSOWANIA POPIOŁÓW – ODPADÓW PRZEMYSŁU ENERGETYCZNEGO – DO USZCZELNIANIA I REKULTYWACJI SKŁADOWISK ODPADÓW

### RE-USAGE OF POWER INDUSTRY ASHES IN SEALING AND RECLAMATION OF LANDFILLS

BEATA ŁUCZAK-WILAMOWSKA<sup>1</sup>

**Abstrakt.** Odpady przemysłu energetycznego opartego na węglu kamiennym lub brunatnym to w głównej mierze popioły. Są one układem wieloskładnikowym i wielofazowym. W artykule rozważana jest możliwość wykorzystania odpadów paleniskowych – popiołów, w budowie konstrukcji składowiska odpadów. Ponadto sygnalizowana jest możliwość wykorzystania ich na etapie zamykania składowisk odpadów i/lub rekultywacji terenów powysypiskowych.

**Słowa kluczowe:** popioły przemysłu energetycznego, składowisko odpadów, popioły z węgla kamiennego i brunatnego, odpady paleniskowe, konstrukcja składowiska odpadów, odpady komunalne.

**Abstract.** Ashes are the main waste type from power plants driven by hard coal or brown coal. They form a multicomponent and a multiphase system. This article discusses the possibility of application of grate waste – ashes – in construction of landfills. Moreover, also the possibility of using ashes at the closing stage of landfills and/or in reclamation of waste disposal sites is also indicated.

**Key words:** power industry ashes, landfill, hard coal ashes, brown coal ashes, grate waste, landfill construction, community waste.

### WSTĘP

Głównym źródłem pozyskiwania energii elektrycznej i ciepłej w Polsce jest spalanie węgla kamiennego i brunatnego. W procesie przemysłowego spalania tych surowców, oprócz energii, powstają gazy oraz uboczne produkty spalania (UPS) – odpady stałe. Powstają one przede wszystkim w kotłach energetycznych, a także w instalacjach służących ograniczeniu emisji szkodliwych dla środowiska przyrodniczego zanieczyszczeń. Stałe produkty spalania to popiół

lotny, popiół denny, żużel kotłowy oraz – w instalacjach odsiarczania spalin – odpady stałe z suchej lub półsuchej technologii odsiarczania spalin.

Według katalogu odpadów (Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 27 września 2001 r. w sprawie katalogu odpadów; Dz.U. Nr 112, poz. 1206), uboczne produkty spalania, w zależności od źródła ich powstawania, należą do grupy 10 podgrupy 01.

### ŹRÓDŁO POCHODZENIA POPIOŁÓW

Popioły są ubocznym produktem w procesie energetycznego spalania węgla kamiennego i brunatnego we wszystkich elektrowniach. Popiół tworzą niepalne domieszki mineralne zawarte w węglu. Mogą one stanowić do 25% masy

węgla kamiennego i nawet do 40% masy węgla brunatnego. Paliwo jest rozdrabniane, a następnie wdmuchiwane do komory spalania kotła energetycznego. Wraz ze spalinami z kotła usuwane są niespalone cząstki paliwa. Instalacje od-

<sup>1</sup> Uniwersytet Warszawski, Wydział Geologii, Katedra Ochrony Środowiska i Zasobów Naturalnych, al. Żwirki i Wigury 93, 02-089 Warszawa; b.luczakw@uw.edu.pl

prowadzania spalin najczęściej wyposażone są w elektrofiltry (elektrostatyczne) lub filtry tkaninowe (mechaniczne), które powinny wychwytywać jak największe ilości cząstek pylistych wynoszonych z gorącymi gazami spalinowymi. Substancje wychwytywane przez filtry zwane są popiołami lotnymi i stanowią około 70% ubocznych produktów spalania węgla (Rocznik Statystyczny GUS, 2006, 2007). Oprócz popiołów lotnych, do grupy odpadów zwanej popiołami zaliczane są także popiół denny, mikrosfery oraz żużel kotłowy. Wszystkie te odpady powstają w procesie spalania węgla.

W większości elektrowni popioły odprowadzane są transportem hydraulicznym na składowisko odpadów pale-

niskowych. Na powierzchni wody nadosadowej stawów osadowych, na zasadzie różnicy gęstości pozornej cząstek jako lżejsze wydzielane są mikrosfery. Są to kuliste ziarna popiołów lotnych z zamkniętymi wewnątrz gazami spalinowymi.

Do klasyki literatury przedmiotu należy zbiór artykułów opublikowanych z okazji odbywającego się w Częstochowie w 1973 r. sympozjum nt. „Składowanie i zagospodarowanie odpadów energetycznych i hutniczych”.

Popioły stanowią zasadniczą masę wszystkich ubocznych produktów spalania. Oprócz nich są jeszcze produkty odsiarczania spalin z suchej i półsuchej adsorpcji oraz gips z mokrego odsiarczania spalin (Feuerborn, 2008).

## CHARAKTERYSTYKA POPIOŁÓW LOTNYCH

Popioły otrzymywane są w wyniku spalania węgla kamiennego i brunatnego w konwencjonalnych kotłach spalania. Największy wpływ na rodzaj, ilość i jakość odpadów paleniskowych ma rozwój technologii spalania węgla. W zależności od stosowanej technologii (stopień rozdrobnienia węgla-wsadu do kotła, temperatura spalania, rodzaj kotła, dodatki do odsiarczania spalin) powstają różne odpady paleniskowe. Ponadto właściwości popiołu zależą od rodzaju spalanego paliwa. Klasyfikację i terminologię dotyczącą rodzaju stosowanego węgla oraz technologie spalania zawiera norma BN-79/6722-09.

Podstawowym składnikiem chemicznym popiołów lotnych są glinokrzemiany stanowiące od 60 do 70% suchej masy odpadów. Tlenki żelaza, wapnia, magnezu i potasu występują w ilościach kilkuprocentowych, tlenki tytanu, sodu, fosforu i manganu maksymalnie do 2%. Tlenki siarki mogą stanowić od 2 do 7% masy popiołu z węgla kamiennego i od 1 do 5% masy popiołu z węgla brunatnego. Zawartość niespalonego węgla w popiele waha się w szerokich granicach, a najczęściej od 2 do 5% (Ramsden, Shiboaka, 1982; Ratajczak i in., 1999; Kłojzy-Karczmarczyk, 2003; Giergiczyński, Pużak, 2009).

W zależności od zawartości podstawowych składników chemicznych norma BN-79/6722-09 dzieli popioły lotne na: krzemianowe, krzemianowo-glinowe, siarczanowo-wapniowe (tab. 1).

W składzie mineralnym popiołów dominują: kwarc- $\beta$ , mullit ( $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ ), hematyt ( $Fe_2O_3$ ), magnetyt ( $Fe_3O_4$ ),

niespalony węgiel oraz faza szklista w ilości uzależnionej od temperatury spalania (Ramsden, Shiboaka, 1982; Smółka, 1997; Ratajczak i in., 1999).

Ze względu na skład mineralny, popioły lotne można podzielić na dwie grupy: niskowapniowe (bez produktów odsiarczania gazów spalinowych) i wysokowapniowe (z produktami odsiarczania gazów odlotowych). W składzie popiołów niskowapniowych przeważa szkliwo glinokrzemianowe, w niewielkich ilościach występuje mullit, kwarc, sillimanit powstały w wyniku chłodzenia odpadu. W składzie popiołów wysokowapniowych składniki krystaliczne są bardzo zróżnicowane. Między innymi występuje kwarc i anhydryt, glinian trójwapniowy, siarczan-glinian czterowapniowy, gelenit i anortyt. Fazę szklistą stanowią glinokrzemiany z domieszką wapnia, potasu i żelaza (Ratajczak i in., 1999; Kłojzy-Karczmarczyk, 2003).

Najmniejsze uziarnienie mają popioły z węgla kamiennego spalanego w technologii z suchym odsiarczaniem spalin, nieco grubsze – popioły ze spalania węgla brunatnych, natomiast najgrubsze – popioły ze spalania węgla kamiennych bez odsiarczania spalin.

Uziarnienie popiołów lotnych odpowiada granulometrycznie – w klasyfikacji gruntów naturalnych – pyłom lub piaskom pylistym, gdyż większość składników ma rozmiary w przedziale od 0,00x do 0,6 mm. Pod względem uziarnienia popioły lotne dzieli się na (Ratajczak i in., 1999):

- drobnoziarniste – o zawartości cząstek  $>0,075$  mm mniejszej niż 25% i o powierzchni właściwej większej niż  $300 \text{ m}^2/\text{kg}$ ;
- średnioziarniste – o zawartości cząstek  $<0,075$  mm od 40 do 75% i o powierzchni właściwej  $150\text{--}300 \text{ m}^2/\text{kg}$ ;
- gruboziarniste – o zawartości cząstek  $<0,075$  mm mniejszej niż 40% i o powierzchni właściwej mniejszej niż  $150 \text{ m}^2/\text{kg}$ .

W składzie popiołów lotnych Ratajczak i in. (1999) wydzielają sześć typów mikromorfologicznych ziaren, których udział w masie popiołu jest bardzo różny. Są to typy:

- porowate – kuliste i nieregularne zaokrąglone;
- kuliste – mikrosfery;
- szkieletowe;
- nieregularne – ostrokrawędziste, gąbczaste;

Tabela 1

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

Types of ashes originating from coal combustion  
(according to BN-79/6722-09)

Rodzaj popiołu	Symbol	$2SiO_2$ [%]	$3Al_2O_3$ [%]	CaO [%]	$SO_3$ [%]
Krzemianowy	k	$>40$	$<30$	$<10$	$<4$
Krzemianowo-glinowy	g	$>40$	$>30$	$<10$	$<3$
Siarczanowo-wapniowy	w	$>30$	$<30$	$>10$	$>3$

- kuliste – krystaliczne i dendrytyczne;
- ostrokrawędziste masywne.

Ziarna porowate, kuliste zaokrąglone występują najliczniej i we wszystkich typach popiołów. Głównie są zbudowane ze szkliwa (szkliwo/mullit), puste wewnątrz lub wypełnione gazami spalinowymi, a także drobniejszymi ziarnami kulistymi.

Ziarna kuliste – mikrosfery, tak jak poprzedni typ, zbudowane są głównie ze szkliwa. Ich wielkość dochodzi do 300  $\mu\text{m}$ , zaś ziaren nieregularnych nawet do 500  $\mu\text{m}$ . Jednak najliczniejsze są ziarna kuliste wielkości około 1  $\mu\text{m}$ .

Ziarna szkieletowe to przede wszystkim niespalone okruszki węgla. W ich porowatym wnętrzu mogą się znajdować drobne, kuliste ziarna szkliwa. Najczęściej są one duże, o średnicy do kilku mikrometrów.

Ziarna nieregularne ostrokrawędziste i gąbczaste uznawane są za niespalone i wypalone agregaty minerałów ilastych. Często widoczna jest zachowana budowa blaszkowa. Osiągają wielkość do kilkudziesięciu mikrometrów.

Ziarna kuliste krystaliczne i dendrytyczne buduje faza żelazista.

Ziarna ostrokrawędziste masywne stanowią przede wszystkim kwarc i kalcyt.

W popiołach zawierających produkty odsiarczania spalin można wyróżnić dodatkową grupę, którą stanowią agregaty kalcytu, portlandytu, gipsu i anhydrytu. Cechą charakterystyczną tej grupy jest stapianie się poszczególnych składników ze sobą, co jest spowodowane dużą zawartością tlenków wapnia w ich składzie. Jest to zwane cementacją (Żygadło, Woźniak, 2009).

Odpady paleniskowe charakteryzują się odmiennymi właściwościami, aczkolwiek pod wieloma względami przypominają niespoiste grunty naturalne. Mogą być wykorzystywane zamiast mineralnych materiałów naturalnych w wielu dziedzinach gospodarki jako surowiec, m.in. do produkcji materiałów w budownictwie, rolnictwie i rekultywacji terenów zdegradowanych.

Pod względem uziarnienia popioły odpowiadają piaskom pylastym lub pyłom piaszczystym z dodatkiem żwiru, lecz ich gęstość właściwa jest niższa od gęstości właściwej gruntów naturalnych. Różnice dochodzą tu nawet do 35%. W porównaniu z gruntami naturalnymi, których gęstość właściwa wynosi około 2,65  $\text{g}/\text{cm}^3$ , w popiołach lotnych waha się od 1,7 do 2,3  $\text{g}/\text{cm}^3$  (Ramsden, Shiboaka, 1982; Ratajczak i in., 1999; Kłojzy-Karczmarczyk, 2003). Właściwość ta jest bardzo korzystna w przypadku wykorzystania odpadów jako materiału do budowy nasypów na podłożu słabonośnym lub gdy w odległości ekonomicznego transportu nie występują złoże gruntów naturalnych do budowy takich obiektów.

Korzystną cechą grupy popiołów niskowapniowych są właściwości pucolanowe, które są wynikiem występowania w składzie popiołów związków krzemianowych i glinokrzemianowych. Aktywność pucolanowa polega na tworzeniu się z nich związków o charakterze wiążącym pod działaniem wody na drodze reakcji chemicznej z wodorotlenkiem wapnia (Giergiczny, 1996; Giergiczny, Pużak, 2009). Krzemionka wchodzi w reakcje z wodorotlenkiem wapniowym uwal-

nianym w procesie hydratacji, tworząc związki krzemianów i glinianów wapnia. Te z kolei wpływają na wzrost wytrzymałości materiału konstrukcyjnego wykonanego z popiołów lotnych. Uziarnienie i rozwinięta powierzchnia właściwa ziaren bezpostaciowej krzemionki decydują o wartości aktywności pucolanowej.

Właściwość pucolanowa sprawia, że dodatek popiołów lotnych niskowapniowych do mieszanki cementowej wpływa pozytywnie na wiele cech betonu z niej wykonanego. Najważniejsze zalety to:

- zwiększenie wytrzymałości,
- zmniejszenie wodożądności,
- zmniejszenie porowatości,
- zwiększenie odporności chemicznej,
- zmniejszenie wodochłonności,
- redukcja pęcznienia,
- polepszenie urabialności.

Aktywność hydrauliczną wykazują te popioły wysokowapniowe, które w swym składzie zawierają od 10 do 40% wolnego CaO. Są to głównie popioły powstałe ze spalania węgla brunatnego oraz popioły zawierające domieszkę odpadów z odsiarczania spalin. W ich składzie występują bezwodne i słabo rozpuszczalne w wodzie tlenki, które w obecności wody uruchamiają proces wiązania przez tworzenie związków uwodnionych (Giergiczny, 1996). Dzięki tej właściwości popioły lotne aktywne hydraulicznie są cenionym materiałem do produkcji spoiw hydraulicznych i zaczynów iniekcyjnych.

Aktywność pucolanowa i hydrauliczna umożliwia osiągnięcie niskiej wodoprzepuszczalności warstw popiołowych stosowanych w geotechnice i rekultywacji terenów. Obie te cechy powodują, że odpady transportowane na składowisko w postaci pulpy wodnej po niedługim czasie stają się podobne pod względem struktury do osadowych (okruszowych) skał spoiw. Ich wytrzymałość rośnie w funkcji czasu.

Aktywność pucolanowa wpływa na zmniejszenie wodoprzepuszczalności (Wdowska, Lipiński, 2006). Odpady świeżo składowane mają współczynnik filtracji rzędu  $10^{-5}$ – $10^{-6}$  m/s, natomiast po miesiącu zalegania na składowisku – już w granicach przydatności materiału mineralnego do konstruowania warstw mineralnego uszczelnienia składowisk odpadów komunalnych (Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 24 marca 2003 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących lokalizacji, budowy, eksploatacji i zamknięcia, jakim powinny odpowiadać poszczególne typy składowisk odpadów (Dz.U. Nr 61, poz. 549), tj.  $10^{-9}$  m/s (Coufal, Myszkowska, 2004).

Popioły lotne są układami wielofazowymi, których skład zależy od rodzaju spalanego węgla i technologii jego spalania. W każdym jednak przypadku zawierają rozpuszczalne sole. Mogą być one wymywane przez wody opadowe, wody płynące – w przypadku wałów przeciwpowodziowych – lub wody zanieczyszczone – ścieki lub odcieki ze składowisk odpadów. To z kolei może powodować szersze zanieczyszczenie wód powierzchniowych, gruntowych, podziemnych oraz gruntów. Wymywalność jonów pierwiastków głównych

i śladowych jest dość ważnym czynnikiem decydującym o ich przydatności do konstruowania obiektów inżynierskich, a także obiektów służących ochronie środowiska. Wielkość wymywalności zależy w dużej mierze od warunków i czasu składowania popiołów (lub funkcjonowania w konstrukcjach obiektów). Wiadomo, że z upływem czasu zachodzi w odpadach proces starzenia. Może być on zarówno pozytywny, jak i negatywny dla środowiska przyrodniczego (Stefanowicz i in., 1994). Odpady w chwili składowania mogą się charakteryzować bardzo małą wymywalnością, a po kilku latach może ona znacząco wzrosnąć lub procesy starzenia mogą przynieść skutek odwrotny. Odpady o wysokiej wymywalności początkowej z czasem mogą stać się praktycznie nielugowalne.

W badaniach wymywalności w wodzie soli wapnia stwierdzono, że do roztworu przechodzi od 12 do 28% ich całkowitej zawartości w popiele. W przypadku popiołów wysokowapniowych może to dochodzić nawet do 12 g Ca/kg popiołu. Innym łatwo wymywanym jest jon sodu.

Do roztworu wodnego może przechodzić od 9 do 34% jego całkowitej zawartości. Niski udział tego jonu w popiołach (0,2–0,9% wag.) sprawia, że jego bezwzględna wymywalność nie przekracza 1,2 g/kg popiołu. Wymywalność Mg i K jest jeszcze niższa i nie przekracza 10% całkowitej zawartości tych jonów w popiołach (Bahranowski i in., 1999).

Z pierwiastków śladowych w roztworach ługowanych popiołów wykryto tylko cynk i chrom. Dla cynku maksymalna wymywalność wynosiła 7,2 mg/kg popiołu, zaś dla chromu – 19,2 mg/kg. Stężenie innych badanych jonów metali ciężkich, jak Cd, Pb, Co, Ni, Cu było niższe od granicy wykrywalności metodą ICP-AAS, co świadczy o bardzo niskiej ich wymywalności (Bahranowski i in., 1999).

Niska wymywalność świadczy o małym lub znikomym wpływie popiołów na otoczenie w środowisku wodnym. Dodatkowo potwierdzono, że wymywalność maleje z biegiem czasu i procesy starzenia odpadu wpływają na obniżenie i tak małego, negatywnego wpływu popiołów na środowisko gruntowo-wodne.

## PODSUMOWANIE

Przedstawione powyżej popioły – odpady przemysłu energetycznego opartego na węglu kamiennym lub brunatnym – mogą posłużyć jako materiał lub domieszka do gruntów mineralnych w konstrukcjach składowisk odpadów. Konstrukcja takiego składowiska zależy od budowy geologicznej wybranej lokalizacji i rodzaju składowanych odpadów, a więc konieczne jest także indywidualne podejście projektanta do konkretnego obiektu (ETC 8, 1994; Łuczak-Wilamowska, 1997, 2008; Drągowski, Łuczak-Wilamowska, 2007). Tego też wymagać będzie rozważenie możliwości wykorzystania odpadów paleniskowych w budowie konkretnych elementów konstrukcji składowiska odpadów, np. odpadów komunalnych. Ponadto należy również rozważyć wykorzystanie tych odpadów na etapie zamykania ich składowisk i/lub rekultywacji terenów powysypiskowych.

Za zaletę tego wielofazowego materiału mineralnego należy uznać wysoką wartość powierzchni właściwej, niską gęstość właściwą, niski współczynnik filtracji, właściwości wiążące materiału – aktywność hydrauliczną i pucolanową (co podnosi wytrzymałość materiału konstrukcyjnego) oraz niską wymywalność jonów. Trzeba również podkreślić powszechne występowanie popiołów na terenie kraju związane z dominującą konwencjonalną energetyką, opartą na węglu, i dodatkowo z zapotrzebowaniem tego typu materiału na potrzeby budowy składowisk odpadów komunalnych, a to z kolei jest związane z ośrodkami urbanistyczno-przemysłowymi.

Ponadto ten sposób wykorzystania odpadów energetycznych jest ze wszech miar proekologiczny, biorąc pod uwagę, że w Polsce rocznie składowuje się 2,2 mln t tego rodzaju materiałów.

## LITERATURA

- BAHRANOWSKI K., GÓRNIAK K., RATAJCZAK T., SIKORA W., SZYDŁAK T., WYSZOMIRSKI P., 1999 — Wymywalność niektórych pierwiastków głównych i śladowych zawiesiny wodnej popiołów lotnych. *W: Polskie Towarzystwo Mineralogiczne, Pr. Spec.*, 13: 35–41. Kraków.
- BN-79/6722-09 — Popioły lotne i żużle z kotłów opalanych węglem kamiennym i brunatnym. Podział, nazwy i określenia. Warszawa.
- COUFAL R., MYSZKOWSKA A., 2004 — Infiltracja wody przez wbudowaną warstwę popiołową na terenie zrehabilitowanym. XI Międzynarodowa Konferencja pt. „Popioły z Energetyki”. Zakopane: 389–401.
- DRĄGOWSKA., ŁUCZAK-WILAMOWSKA B., 2007 — Grunty spoiste surowcem do formowania mineralnych barier izolacyjnych – zasady wstępnej oceny ich przydatności. *Górn. Odkr.*, 7: 9–12. Instytut Górnictwa Odkrywkowego Poltegor, Wrocław.
- ETC 8 (Europejski Komitet Techniczny), 1994 — Geotechnika składowisk odpadów. Projektowanie i roboty zabezpieczające. Zalecenia techniczne. przyg. przez Europejski Komitet Techniczny nr 8 (ETC 8) działający przy Międzynarodowym Stowarzyszeniu Mechaników Gruntów i Fundamentowania. Opracowane przez Niemieckie Stowarzyszenie Geotechniczne. Wyd. Geoteko, Warszawa.
- FEUERBORN H., 2008 — Produkty spalania węgla i REACH. *W: Międzynarodowa Konferencja EuroCoalAsh: 189–206.*
- GIERGICZNY Z., 1996 — Wykorzystanie aktywności pucolanowej i hydraulicznej popiołów lotnych w przemyśle materiałów wiążących. *W: Gospodarcze wykorzystanie popiołów i produktów odsiarczania spalin.* Kiekrz-Poznań.
- GIERGICZNY Z., PUŻAK T., 2009 — Popiół lotny jako składnik betonu z cementów żużlowych. *W: Cement Wapno Beton, 2: 67–74.* Kraków.

- KLOJZY-KARCZMARCZYK B., 2003 — Zastosowanie odpadów energetycznych w ograniczaniu transportu zanieczyszczeń ze składowisk odpadów górniczych. Zeszyty Instytutu Gospodarki Surowcami Mineralnymi i Energią. PAN, Kraków.
- ŁUCZAK-WILAMOWSKA B., 1997 — Modelowanie właściwości ilów neogeńskich z Mszczonowa jako warstw izolacyjnych (praca doktorska). Arch. Wydz. Geol. UW, Warszawa.
- ŁUCZAK-WILAMOWSKA B., 2008 — Mineralne bariery izolacyjne składowisk odpadów – zasady wstępnej oceny przydatności gruntów spoistych na przykładzie Polski. *Geol. Kwart. AGH*, **34**, 4: 691–699.
- RAMSDEN A.R., SHIBOAKA M., 1982 — Characterization and analysis of individual fly ash particles from coal-fired power stations by a combination of optical microscopy, electron microscopy and quantitative electron microprobe analysis. *Atmosph. Environ.*, **16**: 2191–2206.
- RATAJCZAK T., GAWEL A., GÓRNIAK K., MUSZYŃSKI M., SZYDLAK T., WYSZOMIRSKI P., 1999 — Charakterystyka popiołów lotnych ze spalania niektórych węgla kamiennych i brunatnych. *W: Polskie Towarzystwo Mineralogiczne, Pr. Spec.*, **13**: 9–34. Kraków.
- ROCZNIK STATYSTYCZNY Głównego Urzędu Statystycznego, 2006 — GUS, Warszawa.
- ROCZNIK STATYSTYCZNY Głównego Urzędu Statystycznego, 2007 — GUS, Warszawa.
- ROZPORZĄDZENIE MINISTRA ŚRODOWISKA z dnia 27 września 2001 r. w sprawie katalogu odpadów (Dz.U. Nr 112, poz. 1206).
- ROZPORZĄDZENIE MINISTRA ŚRODOWISKA z dnia 24 marca 2003 r. w sprawie szczegółowych wymagań dotyczących lokalizacji, budowy, eksploatacji i zamknięcia, jakim powinny odpowiadać poszczególne typy składowisk odpadów (Dz.U. Nr 61, poz. 549).
- SKŁADOWANIE I ZAGOSPODAROWANIE odpadów energetycznych i hutniczych, 1973 — Sympozjum SITG, Częstochowa.
- SMOŁKA D., 1997 — Badania geochemiczno-mineralogiczne popiołów lotnych z wybranych elektrociepłowni (praca doktorska). Arch. UŚI., Katowice.
- STEFANOWICZ T., NAPIERALSKA-ZAGODA S., OSIŃSKA N., SZWANKOWSKI S., 1994 — Test wymywalności zanieczyszczeń jako kryterium oceny szkodliwości składowania odpadów przemysłowych. *Arch. Ochr. Środ.*, 1/2: 177–194.
- WDOWSKA M.K., LIPIŃSKI M.J., 2006 — Ocena przepuszczalności gruntu antropogenicznego w świetle badań laboratoryjnych. SGGW, Katedra Geoinżynierii, Warszawa.
- ŻYGADŁO M., WOŹNIAK M., 2009 — Obserwacje popiołów powęglowych w procesach wietrzeniowych. *Energetyka*, **11**: 771–775.

## SUMMARY

The analysis of ashes from power plants revealed a number of favourable features of this material for sealing of landfills. The main advantages of this mineral material are: high specific surface, low density, low hydraulic conductivity, binding properties and low leachability of ions. Such wastes can be used in construction of landfills both as

a raw material and as an admixture to mineral soils. The construction of a landfill depends on many factors, therefore, individual approach is needed in designing a particular landfill. Similarly, an individual approach is indispensable in applying the power plant wastes at the stage of closing of a landfill and/or in reclamation of waste disposal sites.

