

Irena Trzepierczyńska, Dorota Zamorska-Wojdyła

## Próby zestalania odpadów z odsiarczania spalin

Przemysł paliwowo-energetyczny zajmuje w Polsce pierwsze miejsce nie tylko pod względem wielkości emisji dwutlenku siarki, ale także pod względem ilości produkowanych i nagromadzonych odpadów w ciągu roku [1]. Duża ilość odpadów wiąże się z koniecznością budowy i utrzymania oraz zabezpieczenia składowisk, stanowiących istotny problem ekologiczny i społeczny. Na stan ten ma wpływ nie tylko energetyka zawodowa, ale także przemysłowa i komunalna. W związku z intensyfikacją wdrażania metod odsiarczania spalin energetycznych wzrasta ilość odpadów, co powoduje konieczność podejmowania badań w zakresie możliwości ich wykorzystania lub bezpiecznego składowania. Zarówno utylizacja odpadów, jak też ich bezpieczne składowanie zależą od właściwości fizyczno-chemicznych, a więc od warunków powstawania odpadów.

Śród opracowanych dotychczas metod odsiarczania spalin, tylko niektóre znalazły zastosowanie przemysłowe. Należą do nich metody wapniowe, polegające na usuwaniu dwutlenku siarki z gazów za pomocą związków wapnia, takich jak  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Ca(OH)}_2$  i  $\text{CaO}$ , lub też substancji o charakterze zasadowym, zawierających wapń. Ze względu na sposób dozowania sorbentu i odbioru produktu odsiarczania metody wapniowe można podzielić na suche, półsuche i mokre. Do suchych metod wapniowych należy zaliczyć także odsiarczanie spalin w kotłach fluidalnych, jakkolwiek sposób prowadzenia procesu znacznie je różni od metod konwencjonalnych. Podział metod wapniowych odsiarczania spalin obrazuje, jak różnorodny może być sposób prowadzenia procesu odsiarczania, a zarazem jak różne pod względem fizyczno-chemicznym będą powstające odpady i zależny od tego sposób ich utylizacji.

W krajach zachodnich dominują tendencje takiego prowadzenia przemysłowego procesu odsiarczania spalin, aby produkt końcowy stanowił dwuwodny siarczan wapnia, tj. gips. W Japonii i Stanach Zjednoczonych stanowi on atrakcyjny surowiec, wykorzystywany w dużych ilościach [2,3]. Przykładem może być także energetyka niemiecka, w której dominuje mokra metoda wapienna, a produkt siarczanowy, o ściśle zdefiniowanych właściwościach fizyczno-chemicznych, stanowi substytut gipsu naturalnego [4,5]. Na podstawie danych literaturowych można określić udział gipsu syntetycznego w ogólnej ilości gipsu stosowanego przemysłowo w krajach Europy Zachodniej. Szacuje się, że przekroczył on 30%. W Niemczech gips ten zastąpił około 90% stosowanego w gospodarce gipsu naturalnego, przy skali zużycia 10-krotnie większej niż w Polsce [6].

Do największych spośród realizowanych obecnie w Polsce inwestycji w zakresie odsiarczania spalin należą instalacje odsiarczania w elektrowniach „Opole”, „Skawina” i „Bełchatów”, zbudowane wg technologii zachodnich, opartych na

metodzie mokrej, wapniakowej, z produkcją gipsu. Szacuje się, że w Polsce w 2000 roku ilość gipsu odpadowego, który trzeba będzie zagospodarować, wyniesie ponad 2 mln ton [7], przy zapotrzebowaniu na gips w cementowniach wynoszącym maksymalnie 700 tys. ton [8]. Ocena możliwości wykorzystania gipsu syntetycznego do produkcji spoiw i wyrobów gipsowych w Polsce jest bardzo trudna, gdyż taka utylizacja wymaga kosztownej dehydratacji gipsu do odmiany  $\beta$ - lub  $\alpha$ - $\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ , a również wprowadzenia na dużą skalę, innych od tradycyjnych, metod budowania oraz szerokiej akcji promującej te metody. Uwzględniając również takie wykorzystanie (ok. 500 tys. t/a) oraz intensyfikację budowy instalacji do odsiarczania spalin należy stwierdzić, że problem zagospodarowania gipsu odpadowego nie tylko będzie istniał nadal, ale będzie się pogłębiał.

Oprócz metody wapniakowej stosowane są również technologie, w których powstający odpad ma odmienne właściwości. Należą do nich, stosowane zwłaszcza w energetyce komunalnej i przemysłowej, zmodyfikowana metoda dwualkaliczna (DAM), metody suche i półsuche oraz zapoczątkowane w latach 70. metody odsiarczania w kotle fluidalnym.

W Instytucie Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej opracowano suchą technologię odsiarczania spalin pod nazwą WAWO (wdrożoną w EC „Wrocław”) [9]. Instalacja pracująca na podstawie metody WAWO wymaga dużo niższych – niż zachodnie – nakładów inwestycyjnych, ograniczonej powierzchni terenu pod zabudowę oraz niewielkiej modyfikacji urządzeń kotła. Proces odsiarczania spalin metodą WAWO jest dwustopniowy. Pierwszy stopień polega na wprowadzeniu do strefy spalania suchego sorbentu w ilości zależnej od stopnia zsiarczenia paliwa. W wyniku zachodzących zjawisk fizyczno-chemicznych następuje częściowe odsiarczenie spalin i wytworzenie produktów odsiarczania, tj.  $\text{CaSO}_4$  i  $\text{CaO}$ , które wraz ze spalinami są transportowane do reaktora. Drugi stopień usuwania  $\text{SO}_2$  odbywa się w reaktorze, gdzie spaliny są zraszane wodą z zasadowym addytywem. Nawilżenie powoduje aktywację sorbentu i wymaga procesu wiązania  $\text{SO}_2$ . Rozpylana w reaktorze woda odparowuje, zaś suchy produkt odbierany jest w elektrofiltrze. Produkt końcowy stanowi mieszaninę substancji powstających w wyniku zachodzących zjawisk fizyczno-chemicznych z udziałem popiołów lotnych, sorbentu i  $\text{SO}_2$ .

Na podstawie badań [10,11] stwierdza się podobieństwo w składzie chemicznym i niektórych właściwościach fizycznych odpadów z elektrofiltru w metodzie WAWO i odpadów z odpylacza kotła fluidalnego pracującego w Lubaniu Śląskim. Z doniesień literaturowych [12,13] wynika, że odpady uzyskiwane w suchych i półsuchych metodach odsiarczania spalin oraz w kotle fluidalnym [14] wykazują aktywność pucolanową zależną od zawartości wolnego tlenu wapnia w odpadach [15]. Dzięki temu odpady te mogą być wykorzystywane w przemyśle wiążących materiałów budowlanych,

pod warunkiem ograniczonej zawartości sumy CaO i MgO oraz siarki i niespalonego węgla. Ze względu na zawartość substancji zasadowych odpady te nie mogą być stosowane do produkcji betonów [16].

Właściwości wiążące popiołów ujawniają się m.in. wówczas, gdy składa się je technologią gęstej mieszaniny (suspensji lub emulgatu) popiołowo-wodnej [17,18], w której na 1+3 części popiołu przypada 1 część wody. Po zdeponowaniu emulgatu woda stanowi niezbędny czynnik wywołujący proces wiązania. Właściwości wiążące nadają popiołom również produkty odsiarczenia spalin [19]. Znanе jest korzystne działanie odpadu z metody półsuchej odsiarczenia spalin (absorber umieszczony za elektrofiltrem) na zdolność zestalenia się popiołów z elektrofiltrem pod wpływem wody [20]. Mieszanka odpadu z popiołem lotnym (1:1) wykazuje po naturalnym twardnieniu przez 3 doby zbliżoną porowatość, lecz mniejszą przepuszczalność niż sam popiół lotny. Wynika to z efektu pucolanowego, czyli zdolności wiązania przez popiół lotny tlenku wapnia w środowisku wodnym, z utworzeniem związków o właściwościach hydraulicznych [21,22]. Właściwości wiążące nadają popiołom również produkty odsiarczenia spalin.

Uszczelnianie i wzmacnianie gruntów popiołami lotnymi znane jest i stosowane od dawna w drogownictwie, głównie do stabilizacji gruntów. Metoda ta polega na wytworzeniu kompozytu krzemianowo-popiołowego. Podstawowymi surowcami do wytwarzania kompozytu są zmieszane w odpowiednich stosunkach popioły lotne z węgla kamiennego, w razie potrzeby z dodatkiem aktywatora, i roztwór szkła wodnego. Wykładziny z kompozytów popiołowych można wykonywać na dnie i skarpacech zbiorników. Mają one odpowiednią sprężystość, którą zachowują w czasie. Dobrze przylegają do podłoża i do ciał obcych (beton, stal), są odporne na przemarzanie i działanie zdecydowanej większości związków chemicznych, deponowanych w różnego rodzaju odpadach. Parametry fizyczno-chemiczne wykładzin zależą od ich składu i są charakteryzowane przez współczynnik filtracji, który powinien wynosić  $10^{-9}+10^{-12}$  m/s [23].

W literaturze krajowej jest niewiele danych na temat odpadów z rodzimych instalacji odsiarczających spaliny, co wynika z niedługiego okresu pracy instalacji w skali pełnoprzemysłowej. Z danych literaturowych i badań wstępnych wynika, że odpady z odsiarczenia spalin metodą półsuchą, suchą (metoda WAWO) i w kotle fluidalnym wykazują właściwości wiążące. Celowe zatem wydaje się podjęcie badań dotyczących przydatności tych odpadów do budowy warstw uszczelniających składowiska odpadów przemysłowych i komunalnych. Jest to temat ważny, nie tylko ze względów środowiskowych, ale i ekonomicznych, gdyż takie gospodarce wykorzystanie odpadów może przynieść wymierne korzyści ekonomiczne.

## Cel i zakres badań

W pracy podjęto próbę określenia przydatności odpadów z suchej metody odsiarczenia spalin (WAWO) do uszczelniania składowisk lub bezpiecznego składowania. W badaniach zostały wykorzystane odpady pobrane spod elektrofiltrow, tj. z I i II sekcji, w postaci pierwotnej i zmodyfikowanej. Odpady modyfikowane stanowiły kompozyty z odpowiednio dobranymi dodatkami typu gips, cement, wapno. Przeznaczenie odpadów do konkretnego zastosowania wymaga poznania ich charakterystyki jakościowej, dlatego pierwszy etap pracy polegał na określeniu składu chemicznego odpadów surowych i ich wyciągów wodnych, filtratów oraz wyciągów z odpadów po zestaleniu. Badania rozpoznawcze pozwoliły na ocenę

właściwości odpadów oraz określenie ich wpływu na środowisko [24]. Następnie określono wymywalność rozpuszczalnych składników odpadów surowych i modyfikowanych dodatkiem cementu i gipsu. Odpady modyfikowane badano po ich zestaleniu w reakcji z wodą.

W ocenie przydatności odpadów do izolacji dna składowisk największe znaczenie upatruje się w składzie granulometrycznym, a zwłaszcza w wysokiej zawartości frakcji pyłowej i ilastej, od której zależą właściwości filtracyjne i sorpcyjne odpadów. Dlatego też w badaniach uwzględniono skład frakcyjny badanych odpadów oraz skład chemiczny wybranych frakcji. Najważniejszym czynnikiem w ocenie właściwości uszczelniających odpadów jest współczynnik filtracji (wskaźnik wodoprzepuszczalności), który powinien wynosić  $10^{-9}+10^{-12}$  m/s. W celu określenia wskaźnika przepuszczalności badaniom poddano odpady surowe oraz modyfikowane dodatkiem cementu i gipsu. Efektem tej pracy powinna być możliwość zagospodarowania powiększających się ilości odpadów z instalacji do odsiarczenia spalin, bez dodatkowych nakładów na budowę nowych miejsc do ich składowania, a także możliwość tworzenia przy ich udziale warstw zabezpieczających składowiska odpadów szkodliwych dla środowiska.

## Wyniki badań

### Skład frakcyjny odpadów

Wyniki badań składu frakcyjnego odpadów z elektrofiltrow przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Skład frakcyjny odpadów z elektrofiltrow (technologia WAWO)

Frakcja, mm	Udział masowy, %
0,045+0,05	3,6
0,05+0,056	7,0
0,056+0,080	22,2
0,080+0,100	45,7
0,100+0,125	9,8
0,125+0,250	8,14
>0,250	3,16

Odpady odbierane pod elektrofiltrem były drobnoziarniste, ponad 87% stanowiły ziarna mniejsze od 0,10 mm. Do dalszych badań wybrano frakcję, której udział w składzie odpadów był największy, mając na uwadze znikomą wpływ pozostałych frakcji na właściwości odpadów.

### Skład chemiczny odpadów

Wyniki badań składu chemicznego poszczególnych frakcji odpadów przedstawiono w tabeli 2. Wraz ze zmniejszaniem się średnicy ziaren malały wartości strat prażenia, zawartość krzemionki i części nierozpuszczalnych. Tendencję wzrostową wykazywały natomiast siarczany (IV) i tlenek wapnia.

### Wymywalność odpadów

Składowanie odpadów stwarza możliwość ich kontaktu z wodami opadowymi, powierzchniowymi i podziemnymi. Może to mieć zasadniczy wpływ na zmianę składu tych wód, a co za tym idzie, przyczynić się do zmiany składu gleb. Do oceny możliwości bezpiecznego składowania odpadów przeprowadzono badania stopnia wymywalności rozpuszczalnych składników odpadów. Badania wymywalności przeprowadzono metodą dynamiczną oraz metodą statyczną. Uzyskane roztwory wodne nazwano odpowiednio wyciągiem wodnym i filtratem. Skład fizyczno-chemiczny uzyskanych roztworów zamieszczono w tabeli 3.

Tabela 2. Skład chemiczny odpadów surowych z technologii WAWO

Składnik %	Frakcja, mm				
	Całość	<0,125	0,125-0,100	0,100+0,080	0,080-0,050
Straty prażenia	15,20	20,28	19,05	17,12	14,79
SiO <sub>2</sub> + subst. nierozpuszczalne	29,47	39,66	41,01	38,38	34,81
w tym SiO <sub>2</sub>	25,95	26,70	29,25	28,79	27,20
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,21	nb	5,44	4,61	5,23
CaO	14,19	9,34	11,72	15,544	15,18
w tym wolny CaO	0,20	0,34	0,17	0,22	0,22
SO <sub>3</sub> z SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	13,85	6,23	12,742	12,8586	5,725
SO <sub>2</sub> z SO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	11,67	11,08	9,60	10,54	18,33

Tabela 3. Skład chemiczny wyciągów wodnych z odpadów (I – odpady surowe, II – związane z 10% cementu, III – związane z 10% gipsu) oraz filtratów z odpadów (IV – związane z 10% cementu, V – związane z 10% gipsu)

Parametr, jednostka	I	II	III	IV	V	Wartość dopuszczalna
pH, –	12,55*	10,10*	9,35*	6,10	7,10	6,5-9,0
Przewodn., μS/cm	5250	1960	1995	1015	980	–
Zasadowość M, mol/m <sup>3</sup>	39,65	1,50	2,50	1,50	–	–
Zasadowość F, mol/m <sup>3</sup>	37,10	0,50	1,00	–	1,75	–
Chlorki, gCl/m <sup>3</sup>	1200*	600	600	120	72	1000
Fluorki, gF/m <sup>3</sup>	22,0*	0,68	0,64	0,25	0,30	15,0
Siarczany (VI), gSO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> /m <sup>3</sup>	1772*	1334*	1353*	941*	694*	500
Siarczany (IV), gSO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> /m <sup>3</sup>	59,6	48,0	52,0	26,4	13,6	–
Wapń, gCa/m <sup>3</sup>	1980	760	740	320	450	–
Magnez, gMg/m <sup>3</sup>	nw	3,20	17,5	2,50	8,50	–
Sód, gNa/m <sup>3</sup>	18,2	24,0	19,2	21,0	16,0	800
Potas, gK/m <sup>3</sup>	7,0	62,0	37,2	58,0	32,0	80,0
Substancje rozp., g/m <sup>3</sup>	6289*	1962	2048*	1183	1135	2000
Rozpuszczalność, %	6,30	1,96	2,04	1,18	1,13	–

\*Przekroczenie wartości dopuszczalnej (Dz.U. nr 116/91, poz. 503)

Charakteryzując wyciągi wodne należy stwierdzić, że odczyn wyciągu wodnego z odpadów surowych był silnie zasadowy. Ponadto przekroczona była dopuszczalna zawartość substancji rozpuszczonych, w tym chlorków, fluorków i siarczanów (VI). Wyraźne było obniżenie wartości tych wskaźników w roztworach uzyskanych z odpadów modyfikowanych, tzn. pH=9,3+10,1, nie były przekroczone normy dopuszczalne stężeń chlorków i fluorków. Znacznemu obniżeniu uległa zawartość siarczanów, jednak w dalszym ciągu przekraczała normę dopuszczalną. Filtraty wykazywały jedynie przekroczenie wartości dopuszczalnej stężenia siarczanów, których było prawie 2-krotnie mniej niż w wyciągu z odpadów surowych i w wyciągach z odpadów związanych.

### Zawartość metali w wyciągach wodnych

Na podstawie analiz oceniono zawartość toksycznych metali ciężkich i przejściowych w wyciągach wodnych z odpadów surowych oraz modyfikowanych dodatkami, po związaniu. Wyniki badań przedstawiono w tabeli 4. Stwierdzono, że zawartość metali ciężkich i przejściowych w wyciągach wodnych z odpadów surowych i z dodatkami po związaniu nie przekraczała norm dopuszczalnych.

Tabela 4. Zawartość metali ciężkich w wyciągach wodnych z odpadów (I – surowe, II – związane z 10% cementu, III – związane z 10% gipsu)

Metal g/m <sup>3</sup>	I	II	III	Wartość dopuszczalna
Cu	0,01	0,02	0,02	0,05
Cd	0,05	0,02	0,02	0,1
Pb	0,000	0,0097	0,032	0,5
Cr	0,3	0,05	0,05	0,5
Zn	nw	nw	nw	2,0
Ni	0,6	0,04	0,06	2,0
Fe	0,2	0,1	0,15	10
Mn	0,2	0,02	0,02	–
Hg	0,00027	0,0013	0,00064	0,02

### Współczynnik filtracji

Do oceny przydatności badanych odpadów do uszczelniania składowisk niezbędne jest określenie wskaźnika wodoprzepuszczalności. Wyniki badań przedstawiono w tabeli 5.

Tabela 5. Wartości współczynnika filtracji odpadów

Surowe odpady	Dodatek		Wymagany współczynnik k <sub>10</sub> dla warstwy uszczelniającej
	cement 10%	gips 10%	
(1+5)·10 <sup>-7</sup> m/s	8,16·10 <sup>-8</sup> m/s	1,98·10 <sup>-7</sup> m/s	10 <sup>-9</sup> -10 <sup>-12</sup> m/s

Zredukowany wskaźnik wodoprzepuszczalności w próbie z dodatkiem 10% cementu był zdecydowanie najbliższy wymaganiom (odpowiadał grustom nieprzepuszczalnym). Można stwierdzić, że wprowadzenie dodatków, a zwłaszcza cementu, powodowało polepszenie właściwości uszczelniających badanego materiału.

### Wnioski

♦ Odpady z odsiarczania spalin metodą WAWO, jak również ich wyciągi wodne, zawierały metale ciężkie w ilościach poniżej wartości dopuszczalnych, w większości wypadków blisko granicy wykrywalności analitycznej, co pozwala zaliczyć je do IV klasy szkodliwości, z możliwością składowania w środowisku. Pierwiastki śladowe występowały w odpadach w znikomych ilościach, ich związki były trudno rozpuszczalne, czemu sprzyjał zasadowy odczyn roztworu (pH=12,5).

♦ Rozpuszczalność odpadów w wodzie, jako ocena stopnia wymywania substancji zawartych w odpadach, wynosiła średnio dla odpadów surowych z elektrofiltru 6,3%, natomiast dla odpadów związanych około 2%. Ze względu na rozpuszczalność badane odpady można zaliczyć do średniorozpuszczalnych.

◆ Stężenie substancji rozpuszczonych w wyciągach wodnych z odpadów surowych było większe od wartości dopuszczalnej dla ścieków wprowadzanych do wód i do ziemi. Na przekroczenie to miało wpływ przede wszystkim zwiększenie w stosunku do normy stężenie siarczanów, fluorków i chlorków. Zasadowy odczyn ( $\text{pH}=9,3+10,1$ ) i zawartość substancji rozpuszczonych, w tym siarczanów, wykazywały także wyciągi wodne z odpadów z dodatkiem gipsu i cementu po związaniu. Dzięki właściwościom pucolanowym odpadów, w wyniku powolnego kontaktu z wodą, nastąpi wiązanie odpadów, a także wydatnie zmniejszy się przepuszczalność i ilość wymytych składników z odpadów. Filtry uzyskane z odpadów modyfikowanych cementem i gipsem po związaniu wykazywały odczyn obojętny i jedynie przekroczone wartości dopuszczalne siarczanów.

◆ Wyznaczone współczynniki filtracji odpadów nie odpowiadały wymaganiom dla warstw uszczelniających (niezbędne są dalsze badania nad modyfikacją składu odpadów), jednakże pozwolą na w pełni bezpieczne składowanie odpadów.

## LITERATURA

- Ochrona Środowiska. 1998. GUS, Warszawa 1998.
- D. MERRICK, J. VERNON: Review of flue gas desulfurization systems. Chem. Ind., 1989.
- Y. S. PAN: Recent advances in flue gas desulfurization technologies. Report DOE/PETC/Tr-914, 1991.
- J. KAPPE, W. ELLISON: Utilization of residues from flue gas desulfurization. Environ. Progress, 1986, Vol. 5, No. 36.
- H. HAMM: Coping with the FGD gypsum problem – a task for the European Gypsum Industry. Zement-Kalk-Gips, 1994, 47, pp. 251–258.
- S. GRZESZCZYK: Możliwość utylizacji odpadów z odsiarczania spalin do produkcji materiałów budowlanych. Cement, Wapno, Gips, 1993, nr 4.
- J. PIETROŃ i in.: Gips syntetyczny z pierwszej w Polsce instalacji odsiarczania spalin Elektrowni „Bełchatów”. Cement, Wapno, Gips, 1995, nr 3.
- M. GAWLICKI: Możliwości zastąpienia w przemyśle materiałów budowlanych gipsów naturalnych produktami odsiarczania spalin. Mat. konf., OPOLWAP SA, Tarnów Opolski 1995.
- M. A. GOSTOMCZYK i in.: Doświadczenia eksploatacyjne z wdrażania technologii WAWO w EC „Wrocław”. Mat. III symp. „Ograniczenie emisji zanieczyszczeń do atmosfery – POL-EMIS '96”, PZITS, PWr., Szklarska Poręba 1996, ss. 79–84.
- I. TRZEPIERCZYŃSKA: Charakterystyka i możliwości utylizacji odpadów z odsiarczania spalin. Ochrona Środowiska, 1997, nr 1(64), ss. 9–12.
- I. TRZEPIERCZYŃSKA: Ocena uciążliwości dla środowiska i możliwości zagospodarowania odpadów z odpylacza kotła fluidalnego. Raporty Inst. Inż. Ochr. Środow. PWr., 1995, nr SPR-22 (praca nie publikowana).
- J. KUCOWSKI, D. LAUDYN, M. PRZEKWAŚ: Energetyka a ochrona środowiska. WNT, Warszawa 1994.
- J. F. SANDERS, T. C. KEENER, J. WANG: Heated fly ash/hydrated lime slurries for  $\text{SO}_2$  removal in spray dryer absorbers. Ind. Eng. Chem. Res., 1995, 34, pp. 302–307.
- E. J. ANTHONY, E. M. BULEWICZ, K. DUDEK: Problemy chemiczne utylizacji popiołów z palenisk fluidalnych. Mat. IV symp. „Ograniczenie emisji zanieczyszczeń do atmosfery – POL-EMIS '98”, PZITS, PWr., Szklarska Poręba 1998, ss. 5–14.
- F. KIEŁBOWSKI: Wykorzystanie popiołów podymnicowych do budowy składowisk odpadów komunalnych i rekultywacji terenu. Mat. konf. „Ekologiczne aspekty zagospodarowania popiołów z elektrociepłowni”, PZITS, Poznań 1995.
- G. ZAPOTOCZNA-SYTEK: Badania odpadów powstałych przy różnych metodach odsiarczania spalin w aspekcie ich wykorzystania do produkcji betonów. Mat. konf. „Zagospodarowanie pyłów i popiołów z energetyki i ciepłownictwa – technologia, organizacja, ekonomika”, Sopot 1996.
- M. J. ŁĄCZNY, Ł. DĄBROWSKA: Chemizm wód gęstych mieszanin popiołów lotnych na przykładzie składowiska Groszowice w Opolu. Współczesne problemy hydrogeologii, t. VII, Kraków 1995.
- J. J. HYCNAR: Właściwości fizykochemiczne suspensji popiołowo-wodnych. Energetyka, 1995, nr 1.
- D. C. DUSING, P. L. BISHOP, T. C. KEENER: Effect of redox potential on leaching from stabilized/solidified waste materials. J. Air Waste Manag. Assoc., 1992, Vol. 42, No. 1, pp. 56–62.
- D. LAUDYN: Instalacja odsiarczania spalin w duńskiej elektrowni Studstrup. Energetyka, 1992, nr 1.
- J. R. PETERSON, G. T. ROCHELLE: Aqueous reaction of fly ash and  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  to produce calcium silicate absorbent for flue gas desulfurization. Envir. Sci. Technol., 1988, Vol. 22, pp. 1299–1304.
- B. W. HALL, C. SINGER, W. JÓZEWICZ: Current status of the ADVACATE process for flue gas desulfurization. J. Air Waste Manag. Assoc., 1992, Vol. 42, No. 1, pp. 103–110.
- J. HERMAN: Aspekty ekologiczne stosowania kompozytu popiołowo-cementowego do uszczelniania wysypisk odpadów komunalnych. Ekologia i Technika, 1994, nr 5, s. 24.
- D. ZAMORSKA-WOJDYŁA, I. TRZEPIERCZYŃSKA: Badania właściwości wiążących odpadów z odsiarczania spalin metodą WAWO i w kotle fluidalnym w aspekcie ich przydatności do uszczelniania składowisk. Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej, nr 547, Szczecin 1998.

## On the Solidification of Wastes from FGD Process

*The disposal of wastes from flue gas desulfurization (FGD) has become a serious nationwide problem in Poland. Investigations are underway in many different research centres. In this paper reported are investigations into the wastes from an electrostatic precipitator receiving gases which have been treated in an FGD system by the dry WAWO method. The precipitator and the FGD system are operated by the thermal-electric power station of Wrocław (about 750,000 inhabitants). Analyzed were the chemical properties of the wastes and the physicochemical properties of water extracts (using a dynamic and static method)*

*in order to assess potential environmental impacts. The wastes were solidified with cement and gypsum to upgrade their binding and sealing properties. Following solidification, the pH of the extracts and of the filtrates decreased from 12.5 (raw wastes) to 10.1–9.4 and 7.1–6.1, respectively. The values of the filtration coefficients ( $5 \cdot 10^{-7}$  to  $8.2 \cdot 10^{-8}$  m/s) substantiated the noticeable improvement of the sealing properties in the presence of cement, which allows a safe disposal of the investigated wastes by landfilling.*