

Michał Głomba

Odpady paleniskowe jako źródło sorbentu dwutlenku siarki

Realizacja krajowego programu ograniczania emisji dwutlenku siarki do atmosfery, w jego zarysach do 2000 i 2010 r., wymagać będzie stosowania przede wszystkim mokrych i półsuchych metod odsiarczania spalin kotłowych. Metody te oparte są na pochłanianiu SO_2 przez wodną zawiesinę związków wapnia. Z tego względu należałoby zwiększyć produkcję wapnia o 0,8+0,9 mln tCaO/a w roku 2000 oraz o 1,5+1,7 mln tCaO/a w roku 2010 [1]. W poszukiwaniu tanich metod odsiarczania spalin kotłowych zwrócono uwagę na znaczne ilości popiołów lotnych i żużli, stanowiących odpady z kotłowni i elektrowni węglowych. W skład odpadów paleniskowych – niekiedy w bardzo znacznych ilościach – wchodzi tlenki wapnia, magnezu, sodu i potasu. Są to związki ulegające w wodzie częściowemu wypłukiwaniu z żużli i popiołów. Stwierdzono, że wodorotlenki i siarczany wapnia, magnezu, sodu i potasu stanowią ponad 98 % masy wszystkich ulegających wylugowaniu składników. W największych ilościach przechodzą z odpadów do wody takie pierwiastki jak siarka, wapń, magnez, sód i potas [2]. Związki wapnia, magnezu, sodu i potasu nadają wodzie zasadowy odczyn, przekraczający wartości dopuszczalne dla wód powierzchniowych. Podwyższona wartość pH roztworów oraz zawarte w nich wylugowane składniki zasadowe to właściwości, które można i należy wykorzystywać w procesach absorpcji kwaśnych gazów odlotowych, a zwłaszcza SO_2 . Próby zastosowania popiołów lotnych w mokrych metodach odsiarczania spalin w krajach zachodnich poczyniono już w latach 1973+1979 [3–7].

W Polsce na popioły lotne i żużle, jako czynnik wiążący SO_2 , zwrócono uwagę w latach osiemdziesiątych [8–11]. O ewentualnym ich wykorzystaniu w technologiach odsiarczania spalin kotłowych przesądzają takie parametry jak skład chemiczny, zawartość związków rozpuszczalnych w wodzie i ich rozpuszczalność oraz pojemność sorpcyjna i pH wody uzyskane po procesie ługowania.

Skład chemiczny odpadów paleniskowych

Rozpuszczanie części odpadów paleniskowych w wodzie wynika z występowania w nich rozpuszczalnych związków chemicznych. Związki te pochodzą z rodzimej substancji mineralnej węgla lub powstają wskutek przemian zachodzących podczas spalania węgla. W tym drugim przypadku powstawanie związków chemicznych zależy od wytworzonej w palenisku kotłowym temperatury i zawartości w spalinach SO_x , CO_2 , NO_x i pary wodnej, a także par lotnych związków cynku, ołowiu, galu i molibdenu. Poszczególne gatunki węgla mogą znacznie różnić się rodzajem i ilością substancji mineralnych, występujących w postaci krzemianów, węglanów, siarczków i siarczanów [12]. W strefie wysokich temperatur pale-

niska kotłowego związku te mogą ulegać dysocjacji termicznej, utlenianiu lub redukcji. Powstają wtedy różnego rodzaju eutektyki krystaliczne i niekrystaliczne, fazy mineralne i związki bezpostaciowe.

Skład fazowy popiołów lotnych, na podstawie danych literaturowych, przedstawiono w pracy [12]. Wynika z niej, że takie minerały naturalne jak: gelanit ($\text{Ca}_2\text{Al}(\text{Si},\text{Al})\cdot\text{O}_7$), hildebrandyt ($2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2\cdot\text{H}_2\text{O}$), kaolinit ($\text{Al}_4\text{OH}_8\text{Si}_4\text{O}_{10}$), melilit ($((\text{Ca},\text{Na})_2(\text{Mg},\text{Al})\cdot(\text{Si},\text{Al})\cdot\text{O}_7)$), ulegają działaniu czynników klimatycznych. Działaniu wody ulega larnit ($\beta\text{Ca}_2\text{SiO}_4$). Do nierozpuszczalnych należą: atanas (TiO_2), kwarc (SiO_2), krystobalit (SiO_2), trydymit (SiO_2), korund (Al_2O_3), hematyt (Fe_2O_3), magnetyt (Fe_3O_4), wustyt (FeO), peryklaz (MgO), metakaolinit odwodniony ($2\text{SiO}_2\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$), wolastonit (CaSiO_2), mullit ($3\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 2\text{SiO}_2$) i magnezioferyt (MgFe_2O_3). Z grupy minerałów sztucznych nierozpuszczalne są: ferryt dwuwapniowy ($2\text{CaO}\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$) i glinian wapnia ($5\text{CaO}\cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3$). Do grupy rozpuszczalnych minerałów sztucznych zalicza się: tlenek wapnia (CaO), alun sodowy ($\text{NaAl}(\text{SO}_4)_2$), alun potasowy ($\text{KAl}(\text{SO}_4)_2$), melanteryt odwodniony (FeSO_4), siarczan potasu (K_2SO_4), mirabilit ($\text{Na}_2\text{SO}_4\cdot 10\text{H}_2\text{O}$), siarczan magnezu (MgSO_4) oraz siarczan glinu ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$). Gips półwodny ($\text{CaSO}_4\cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) oraz anhydryt (CaSO_4) są związkami trudno rozpuszczalnymi. Praktycznie nierozpuszczalne są: kalcyt (CaCO_3), krzemian wapnia (CaSiO_3) i krzemian żelaza (FeSiO_3).

Dla wykorzystania odpadów paleniskowych w technologiach odsiarczania spalin istotne jest to, że zawartość wolnego CaO może dochodzić nawet do kilku procent [12,13]. Bardziej praktyczne znaczenie ma skład tlenkowy żużli i popiołów. Jak wynika z wieloletnich badań przeprowadzonych przez Zakłady Badawczo-Pomiarowe Energetyki „Energopomiar” w Gliwicach [2], skład chemiczny odpadów paleniskowych zależy od rodzaju spalane go węgla, ilości i rodzaju zawartych w nim części niepalnych (składników substancji mineralnych) oraz parametrów technicznych palenisk kotłowych, sposobu przygotowania paliwa i rodzaju urządzeń odpylających. Udziały głównych składników w ogólnej masie odpadów paleniskowych przedstawiono w tabeli 1.

Wymienione w niej składniki stanowią 99,7+99,9 % całkowitej masy odpadów. Interesujące, że względu na wykorzystanie odpadów paleniskowych w technologiach mokrego odsiarczania spalin, są znaczne udziały w ich składzie tlenków wapnia, magnezu, sodu i potasu. Kształtują się one w szerokim zakresie ze znaczną przewagą udziału tlenku wapnia. W przypadku węgla kamiennego największy jego udział stwierdzono w popiołach lotnych, a najmniejszy w suchym żużlu. Jeszcze bardziej zróżnicowane są udziały tlenków w przypadku odpadów z węgla brunatnych. Można zauważyć prawidłowość, iż skład żużli i popiołów lotnych jest charakterystyczny dla węgla wydobywanych z określonych pokładów.

Większe udziały alkalicznych tlenków w odpadach z węgla kamiennych w stosunku do zawartości siarki w węglu stwierdzono w przypadku kopalń „Mysłowice”, „Powstańców Śląskich”, „Hałęmba”, „Jankowice” i „Knurów”, najmniejsze natomiast w przypadku kopalń „Sołnica”, „Jaworzno”, „Miechowice”, „Wawel”, „Marcel”, „Moszczenica”, „Rydułtowy” i „Brzeszcze”. Najwięcej tlenków alkalicznych występuje w popiołach z węgla brunatnych wydobywanych w Pątnowie i Bełchatowie, najmniej natomiast w Turowie. Mikroelementy, nazywane również pierwiastkami śladowymi, stanowią 0,1+0,3 % całkowitej masy odpadów paleniskowych. Ich zawartość w zależności od rodzaju spalane go węgla i miejsca poboru badanych odpadów przedstawiono w tabeli 2.

Na szczególną uwagę zasługuje obecność w ich składzie takich mikroelementów jak chrom, kobalt, nikiel i miedź. Pierwiastki te obok żelaza i manganu, które występują w skali makro (tab.1), w mokrych metodach odsiarczania spalin pełnią rolę katalizatorów utleniania siarczynów występujących w cieczach absorpcyjnych. Różnice w zawartościach niektórych składników w popiołach i odpadach składowanych na mokro (większe zawartości w popiołach) świadczą o tym, że w palenisku kotłowym te składniki uzyskują dużą lotność, a po odparowaniu kondensują dopiero w strefie niższych temperatur, stając się tym samym składnikiem najdrobniejszych frakcji popiołów.

Tabela 1. Skład tlenkowy odpadów paleniskowych, % mas. [2]

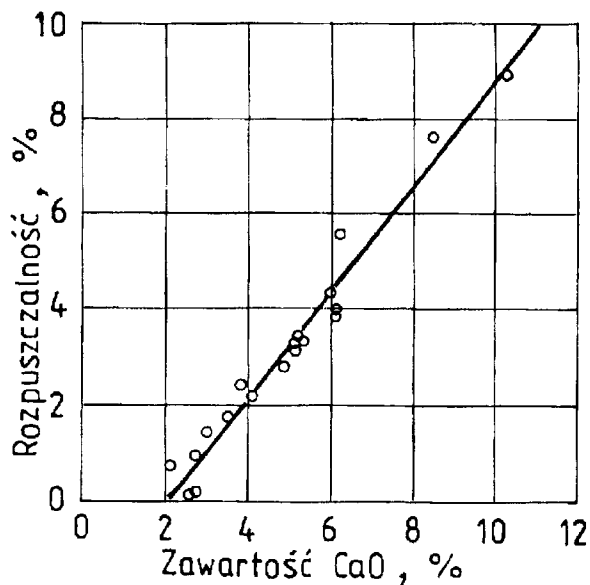
Symbol związku chemicznego	Miejsce poboru próbek, rodzaj węgla			
	Elektrofiltr, węgiel kamienny	Mokre składniki odpadów		Żużel z węgla kamiennego
		z węgla kamiennego	z węgla brunatnego	
SiO ₂	40÷55	42÷65	40÷70	40÷54
Al ₂ O ₃	15÷30	15÷28	4÷37	12÷21
CaO	2÷12	3÷9	2÷28	2÷8
SO ₃	0,5÷6	0,2÷5	1÷8,5	0,1÷2
Fe ₂ O ₃	4÷17	3÷15	3÷18	2÷13
Mn ₃ O ₄	0,05÷0,3	0,01÷0,2	0,03÷0,3	–
MgO	1,5÷8	1÷8	0,3÷11	1÷6
Na ₂ O	0,3÷0,7	0,3÷0,8	0,03÷0,7	0,6÷2
K ₂ O	1,7÷3,8	1,8÷3,6	0,1÷3,3	1÷2,6
P ₂ O ₅	0,2÷0,8	0,2÷1	0,06÷0,5	1÷0,8
TiO ₂	0,6÷1,9	0,6÷1,9	0,04÷2,3	0,5÷1,5
strata prażenia	0,7÷15	1÷15	1,2÷26	–

Tabela 2. Zawartość mikroelementów w odpadach paleniskowych, mg/kg [2]

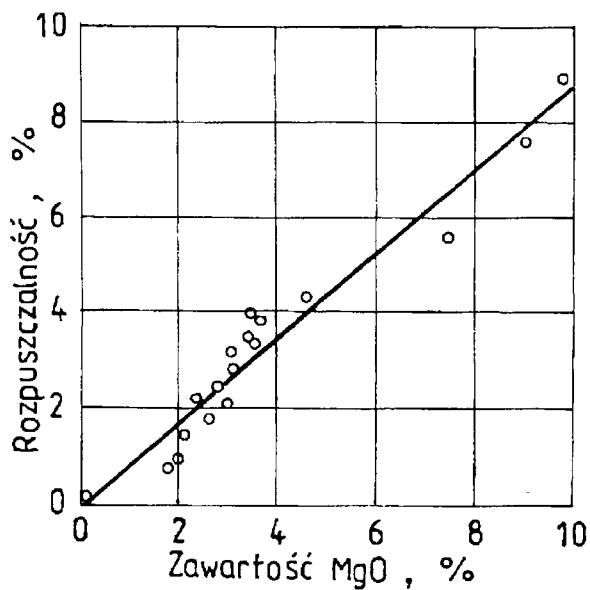
Symbol pierwiastka chemicznego	Odpady			
	po elektrofiltrze		z mokrego składowiska	
	spalanie węgla kamiennego	spalanie węgla brunatnego	spalanie węgla kamiennego	spalanie węgla brunatnego
Pb	30÷560	10÷50	230÷560	8÷50
Cd	1÷5	1÷2	0,2÷1	0,8÷4
Cu	85÷240	20÷70	50÷670	20÷110
Zn	100÷520	60÷470	320÷1200	20÷340
B	100÷200	–	–	–
Cr	125÷272	70÷278	80÷110	60÷278
Ni	50÷110	30÷73	20÷180	33÷200
Se	2÷400	–	–	–
Sr	50÷430	40÷60	30÷170	80÷460
As	7÷50	100÷280	50÷170	–
Li	300÷800	50÷200	100÷300	10÷90
Co	20÷37	9÷20	20÷30	9÷30
Mo	10	2÷6	–	–

Tabela 3. Współczynniki regresji i korelacji do równania (1)

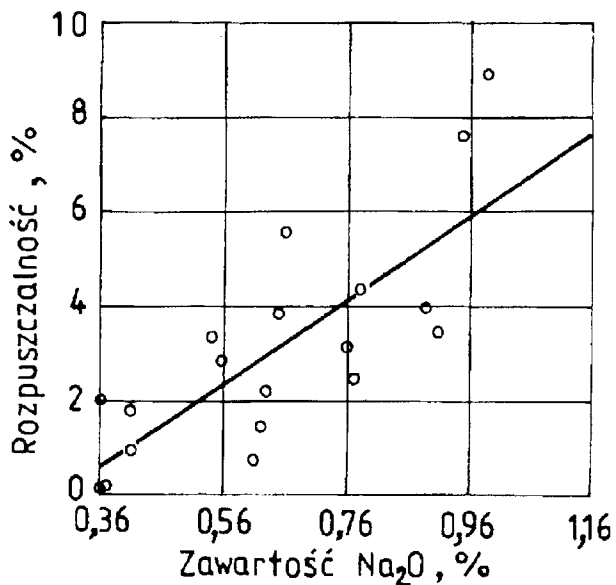
Składnik odpadów	Współczynnik regresji		Współczynnik korelacji		Błąd stand. estym.
	a	b	R	R ² , %	
CaO	-2,28311	1,10228	0,98110	96,26	0,46514
MgO	-0,08121	0,88266	0,97366	94,80	0,54818
Na ₂ O	-2,64323	8,88286	0,78043	60,91	1,50317
K ₂ O	8,96806	-2,95923	-0,84064	70,67	1,30208



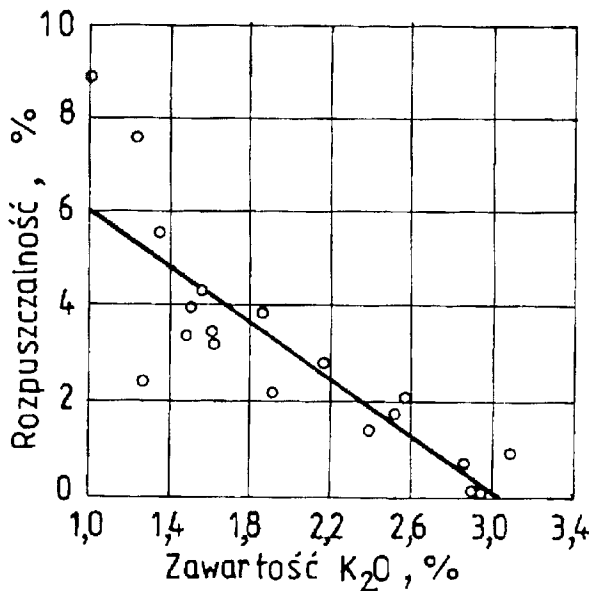
Rys. 1. Zależność rozpuszczalności odpadów paleniskowych od zawartości tlenku wapnia



Rys. 2. Zależność rozpuszczalności odpadów paleniskowych od zawartości tlenku magnezu



Rys. 3. Zależność rozpuszczalności odpadów paleniskowych od zawartości tlenku sodu



Rys. 4. Zależność rozpuszczalności odpadów paleniskowych od zawartości tlenku potasu

Rozpuszczalność odpadów paleniskowych

Na podstawie badań amerykańskich, przeprowadzonych dla kilkudziesięciu rodzajów popiołów lotnych z węgla kamiennego stwierdzono, że rozpuszczeniu w wodzie ulega 47 % ich całkowitej masy [14]. Analizy chemiczne wykazały obecność w wodzie przede wszystkim kationów wapnia, magnezu, sodu i potasu oraz anionu siarczanowego. Stwierdzono, że w zamkniętych systemach hydraulicznego transportu odpadów paleniskowych z polskich węgla, wypłukiwaniu ulega 30÷50 % części rozpuszczalnych (0,5÷1,5 % sm odpadów), a w systemach otwartych 20÷30 % (0,3÷0,9 % sm odpadów) [2]. Znacznie większą rozpuszczalność odpadów (od 0,5 do 10 %) stwierdzono w badaniach laboratoryjnych [15], a także wykazano zależność pomiędzy zawartością CaO, MgO i K₂O w krzemianowych popiołach lotnych a ich rozpuszczalnością [14]. Nie stwierdzono natomiast wpływu składnika popiołów – Na₂O – na ich rozpuszczalność, co jest o tyle dyskusyjne, że w tej samej pracy podano równanie wielokrotnej regresji liniowej, uwzględniające również jego wpływ na rozpuszczalność w wodzie krzemianowych popiołów lotnych.

Ponieważ brak jest szerszych opracowań na temat rozpuszczalności popiołów i żużli występujących w mieszaninie (co ma miejsce podczas transportu hydraulicznego odpadów paleniskowych na składowisko), w niniejszej pracy przedstawiono między innymi wyniki badań rozpuszczalności w wodzie popiołów lotnych zmieszanych w stosunku masowym 1:1 z żużlami pochodzącymi z tych samych palenisk kotłowych. Z żużli, po rozdrobnieniu, wydzielono do badań ziarna przechodzące przez sito o wymiarze oczka 1,5 mm. Próbkę odpadów paleniskowych pobrano z 19 palenisk kotłowych wyposażonych w ruszt mechaniczny. Przygotowanie próbki do analizy polegało na ługowaniu 20 g mieszaniny popiołu i żużla w 1 dm³ wody w zamkniętym naczyniu, wstrząsanym przez 6 godzin z częstotliwością 3.000 cykli w ciągu godziny. Procentową zawartość tlenków wapnia, magnezu, sodu i potasu wyznaczono osobno dla popiołów lotnych i żużli, a dla próbek mieszanin poddanych badaniom – jako średnią arytmetyczną. Wyniki badań przedstawiono w postaci zależności stopnia rozpuszczenia masy próbek odpadów paleniskowych od procentowego udziału w nich mas każdego z rozpatrywanych składników (rys.1÷4), a także od sumy procentowych udziałów mas wszystkich czterech składników (rys.5). Stosując liniową aproksymację tych wyników wyznaczono współczynniki regresji i korelacji dla zależności przedstawionych na rysunkach 1÷4 (tab.3).

Równania korelacyjne mają postać:

$$Y = a + bX \quad (1)$$

gdzie:

Y – rozpuszczalność odpadów paleniskowych (%),

a, b – współczynniki regresji,

X – masowy udział składnika w odpadach paleniskowych (%).

Dla zależności przedstawionej na rysunku 5 znaleziono liniową funkcję regresji wielorakiej w postaci:

$$Y = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_4X_4 \quad (2)$$

gdzie:

Y – rozpuszczalność odpadów paleniskowych (%),

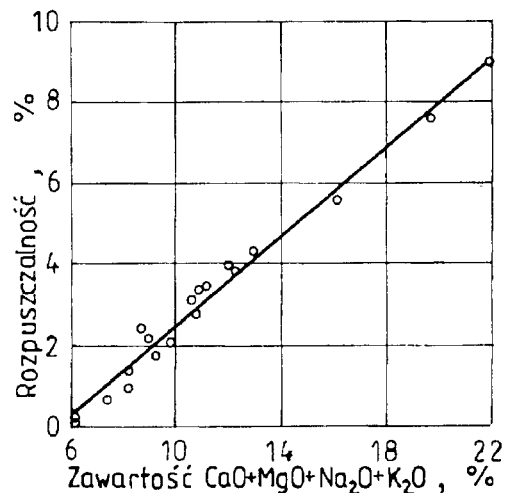
a₀...a₄ – współczynniki cząstkowe regresji,

X₁...X₄ – udział poszczególnych składników (CaO, MgO, Na₂O, K₂O) w odpadach paleniskowych.

Otrzymane równanie ma postać:

$$Y = -1,035587 + 0,523649X_1 + 0,418903X_2 + 0,692X_3 - 0,189921X_4 \quad (3)$$

Wszystkie współczynniki regresji są istotne na poziomie 0,0, kwadrat współczynnika korelacji wielorakiej poprawiony na stopnie swobody R-SQ (ADJ)=1,000, a standardowy błąd oceny SE=0,000878. Z przeprowadzonych obliczeń wynika, że największymi współczynnikami korelacji charakteryzują się zależności rozpuszczalności odpadów paleniskowych od udziałów masowych tlenków wapnia i magnezu. Słabszą korelację stwierdzono w przypadku tlenków sodu i potasu. Na podstawie przebiegu prostej na rysunku 4 i współczynników regresji można wnioskować, że wraz ze wzrostem zawartości K₂O w odpadach paleniskowych maleje ich rozpuszczalność. Z wykresu na rysunku 3 i współczynników regresji wynika, że obecność Na₂O w odpadach paleniskowych sprzyja ich rozpuszczaniu. Ponieważ udziały masowe CaO i MgO znacznie przewyższają udziały Na₂O i K₂O, stąd też ich wpływ na rozpuszczalność jest decydujący. Równanie (3) służyć może do ilościowego oszacowania rozpuszczalności odpadów paleniskowych z węgla kamiennych.

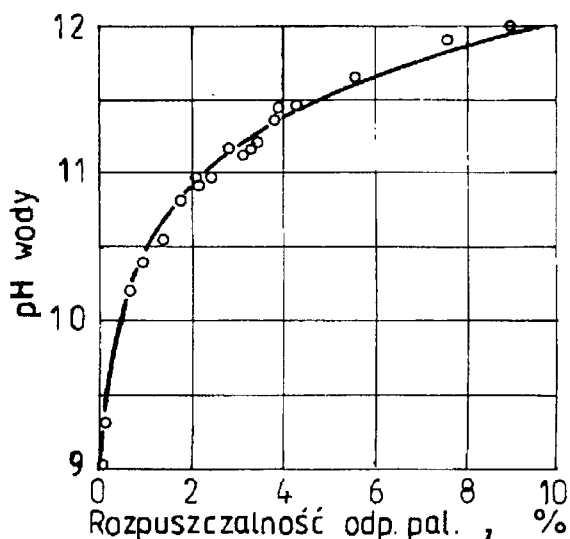


Rys.5. Zależność rozpuszczalności odpadów paleniskowych od sumy zawartości tlenków wapnia, magnezu, sodu i potasu

Wartość pH wody

Pomiary pH wykonano dla cieczy uzyskanej w wyniku wylugowania rozpuszczalnych składników z 20 g odpadów do 1 dm³ wody destylowanej. Wyniki badań zależności pH wody od rozpuszczalności odpadów paleniskowych przedstawiono na rysunku 6.

Można zaobserwować, iż najintensywniej wzrasta pH przy jednoczesnym wzroście rozpuszczalności do 0,5 % masy odpadów. W zakresie rozpuszczalności od 0,5 do 2,0 % wzrost pH cieczy w stosunku do wzrostu rozpuszczalności jest znacznie mniejszy. Powyżej 2,0 % zależność pH od rozpuszczalności jest niemal prosto liniowa, przy czym prosta ta posiada mały współczynnik kierunkowy. Badania wykazały, że różnice w składzie odpadów pod względem poszczególnych składników alkalicznych nie wpływają na pH wylukującej je wody pod warunkiem, że ich sumaryczna zawartość w odpadach jest taka sama lub zbliżona. Mając na uwadze, że w mokrych technologiach odsiarczania spalin kotłowych stosunek masy odpadów paleniskowych do ilości podawanej do skrubców cieczy jest zbliżony do przyjętego w badaniach można przyjąć,



Rys.6. Zależność pH wody od rozpuszczalności odpadów paleniskowych

że korzystne pH cieczy wypłukującej składniki alkaliczne uzyskuje się przy rozpuszczalności odpadów nie mniejszej niż 0,5 %. W takich warunkach odsiarczanie spalin zachodzi na zasadzie absorpcji w cieczy wspomaganą towarzyszącą jej szybką reakcją chemiczną, a sam proces przebiega z wysoką skutecznością.

Pojemność absorpcyjna wody po ługowaniu odpadów

Oprócz wysokiego pH wody wymywającej z odpadów paleniskowych związki alkaliczne istotna dla procesu odsiarczania spalin jest jej pojemność absorpcyjna względem dwutlenku siarki. Można przypuszczać, że rośnie ona wraz z rozpuszczalnością ługowanych żużli i popiołów. I tak rzeczywiście jest, o czym świadczą przeprowadzone badania na instalacji odsiarczania spalin, pracującej według metody ŁŻP (ługowanie żużla i popiołu) [16], na ciągu spalin emitowanych z kotła WR-10. Badania przeprowadzono w dwóch okresach charakteryzujących się odmiennymi parametrami paliwa oraz parametrami pracy instalacji. Parametry charakteryzujące spalane paliwo w okresach badań przedstawiono w tabeli 4.

Na podstawie stwierdzonych udziałów masowych tlenków wapnia, sodu, magnezu i potasu w żużlu i popiołach lotnych przy pomocy równania (3) oszacowano, że ich rozpuszczalność w pierwszym okresie badań wynosiła 0,08 %, natomiast w drugim – 1,25 % masy odpadów. Z tego względu badane odpady można zakwalifikować do grupy żużli i popiołów o nieznacznej rozpuszczalności. Zmierzone parametry pracy instalacji oczyszczającej spaliny, emi-

Tabela 4. Charakterystyka techniczna paliwa

Parametr techniczny paliwa	I okres badań	II okres badań
Rodzaj paliwa	węgiel kam. M I + M II	węgiel kam. M I + M II
Wartość opałowa, k/kg	16.310	17.600
Zawartość popiołu, %	36,0	22,0
Zawartość siarki palnej, %	1,38	0,6
Suma udziałów CaO, MgO, Na ₂ O		
i K ₂ O w odpadach paleniskowych, %	5,1	7,6

Tabela 5. Parametry pracy instalacji oczyszczającej spaliny według metody ŁŻP

Parametr techniczny instalacji	I okres badań	II okres badań
Strumień obj. spalin, Nm ³ /h	35.860	27.760
Emisja SO ₂ za kotłem, g/s	19,870	8,590
Skuteczność odsiarczania, %	91,2	86,4
Ilość odpadów palenisk., kg/h	720	330
Strumień objętości cieczy abs., m ³ /h	69	60
pH cieczy absorpcyjnej, –	10,0	9,0
Zapotrzeb. stech. CaO, g/s	15,9	6,5
Pozyskanie sorbentu z odpadów pal. w przeliczeniu na CaO, %	7,7	53,3

towane z kotła WR-10, według metody ŁŻP przedstawiono w tabeli 5.

W pierwszym okresie badań, kiedy odpady charakteryzowały się małą zawartością tlenków wapnia, magnezu, sodu i potasu (5,1 %), a zawartość siarki palnej w paliwie wynosiła 1,38 %, wylugowane z nich składniki alkaliczne zmniejszały stechiometryczne zapotrzebowanie absorbentu w przeliczeniu na CaO tylko o 7,7 %. W drugim okresie badań zawartość składników alkalicznych w odpadach wynosiła 7,56 %, a zawartość siarki palnej w spalonym węglu 0,6 %. W takich warunkach wylugowanych składników alkalicznych wystarczyło do obniżenia zapotrzebowania na CaO o 53,3 %. W pierwszym przypadku stosunek sumy udziałów związków alkalicznych w odpadach do zawartości siarki palnej w spalonym węglu wynosił 3,7, a w drugim 12,6. Jeżeli pojemność absorpcyjną wody wzbogaconej w alkaliczne składniki odpadów paleniskowych zdefiniuje się jako stosunek masy SO₂ pochłoniętego przez wylugowane składniki do masy całkowitej zaabsorbowanego SO₂ to można stwierdzić, że w pierwszym okresie badań odpady paleniskowe ustalały pojemność absorpcyjną wody na poziomie 0,077 g/g, a w drugim – 0,533 g/g. Niedobór absorbentu w odpadach paleniskowych uzupełniano przez kontrolowane dozowanie mleka wapiennego do zładu instalacji.

Podsumowanie

Badania składu chemicznego odpadów paleniskowych potwierdzają występowanie w nich składników alkalicznych (tlenków wapnia, magnezu, sodu i potasu), których zawartość w odpadach pochodzących ze spalania węgla jest bardzo zróżnicowana i zależy od lokalizacji kopalni. Rozpuszczalność odpadów jest również zróżnicowana, przy czym im więcej zawierają one rozpatrywanych tlenków, tym większą mają rozpuszczalność. Wraz ze wzrostem rozpuszczalności odpadów wzrasta pH wody wypłukującej z nich składniki rozpuszczalne.

Na podstawie badań opracowano równanie opisujące zależność rozpuszczalności odpadów paleniskowych od udziałów masowych zawartych w nich tlenków wapnia, magnezu, sodu i potasu. Równanie to może służyć do ilościowej oceny rozpuszczalności żużli i popiołów pochodzących ze spalania węgla kamiennych. Odpady paleniskowe, w ślad za zróżnicowaną rozpuszczalnością, charakteryzują się również zróżnicowaną pojemnością absorpcyjną względem dwutlenku siarki. Badania przeprowadzone na przemysłowej instalacji odsiarczania spalin emitowanych z kotła WR-10 wykazały, że nawet przy mniej niż średniej zawartości alkalicznych składników odpadów paleniskowych (suma składników alkalicznych

7,56 %) można uzyskać znaczne oszczędności absorbentu handlowego (o 53,3 % przy zawartości siarki palnej w paliwie 0,6 %), jeżeli proces odsiarczania spalin prowadzi się według metody ŁŻP. Pełne pokrycie na absorbent w tych warunkach wystąpiłoby wówczas, gdyby zawartość składników alkalicznych w odpadach wynosiła około 14,2 %.

LITERATURA

1. M. GŁOMBA: Popioły żużel – bezyteczne odpady, czy źródło absorbentu tlenków siarki i azotu. Mat. Symp. POL-EMIS 94, Politechnika Wrocławska, PZITS, Wrocław 1994.
2. J. KUCOWSKI, D. LAUDYN, M. PRZEKWAŚ: Energetyka a ochrona środowiska. WNT, Warszawa 1987.
3. P.H. TUFTE et.al.: Pilot plant scrubber tests to remove SO₂ using the soluble alkali in western coal fly ash. Proc. Lignite Symp., Grand Forks. North Dakota, 1975.
4. C.A. JOHNSON: Using fly ash to remove SO₂ from flue gas. Materiały reklamowe Peabody International Corporation, 1979.
5. C. GRIM et.al.: The Colstrip Flue Gas Cleaning System. Chem. Eng. Prog., 1979, Vol. 74, pp. 51-57.
6. H.M. NESS, F.I. HONEA, E.A. SONDRÉAL: Flue gas desulfurization using fly ash alkali derived from western coals. Raport EPA No. 600/7-77-075, 1977, pp. 279-301.
7. P. DITL, R.W. COUGHIN: Sorption and diffusion interactions with fly ash of SO₂ in air, SO₃ in air, H₂O in air, SO₂+H₂O in air, SO₃+H₂O in air. Env. Sci. Techn., 1977, Vol. 11, pp. 701-706.
8. T. WASĄG, J. GAŁKA: Popioły lotne z elektrowni jako czynnik wiążący dwutlenek siarki. Ochr. Pow., 1980, nr 2, ss. 41-45.
9. M.A. GOSTOMCZYK, M. GŁOMBA, A. SIKORA: Aktualne kierunki rozwoju mokrych metod odsiarczania. Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej, 1983, nr 291 (7), ss. 30-38.
10. T. WASĄG, M. KRYSIAK, S. JANUSZ, H. ADAMCZYK: Odsiarczanie gazów spalinowych elektrowni za pomocą popiołów lotnych. Prace Naukowe Politechniki Szczecińskiej, 1985, nr 291 (7), ss. 143-147.
11. M. GŁOMBA: Przydatność odpadów paleniskowych do oczyszczania spalin kotłowych z SO₂. Problemy Higieny, 1992, nr 37, ss. 105-110.
12. J.M. ŁĄCZNY: Powstawanie rozpuszczalnych połączeń w popiołach lotnych. Energetyka, 1979, nr 6, ss. 213-216.
13. J. PACHOWSKI: Popioły lotne i ich zastosowanie w budownictwie. WKiŁ, Warszawa 1976.
14. J.M. ŁĄCZNY: Rozpuszczalność popiołów lotnych w wodzie. Energetyka, 1979, nr 12, ss. 485-486.
15. J.M. ŁĄCZNY: Badania nad przydatnością popiołów lotnych do usuwania biogenów z wód naturalnych i zwalczania eutrofizacji. Rozprawa doktorska. Akademia Rolnicza, Szczecin 1978.
16. Zgłoszenie patentowe nr P 300571.

FLY AND BOTTOM ASHES FROM COAL COMBUSTION FOR POWER GENERATION AND THEIR USE AS SULPHUR-DIOXIDE SORBENTS

The urgent need of abating SO₂ emissions from power generation has directed the attention of environmental scientists and engineers to cheap and effective methods of boiler flue gas desulphurization, which should be substituted for those in use. One of such substitutes is the utilization of fly and bottom ashes containing certain quantities of calcium, magnesium, sodium and potassium oxides. The fly and bottom ashes under study came from the combustion of domestic bituminous and brown coals. Experiments were run on 19 randomly selected ash samples varying in their chemical composition. The results

show that their solubility depended on the CaO, MgO, Na₂O and K₂O content. When solubility increased, so did the pH of the water by which the soluble constituents were removed. The absorbing capacity of the water also increased with the solubility of the dissolved ash components. These findings were corroborated by the results of a study carried out for an industrial flue gas desulphurization system (treated were flue gases from the 11.6 MW boiler). The composition of the fuel burnt and the operating parameters of the flue gas desulphurization system are given.