ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 2000
Seria: GÓRNICTWO z. 245 Nr kol. 1479

Tadeusz RATAJCZAK, Adam PIESTRZYŃSKI
Akademia Górniczo-Hutnicza, Kraków

WZBOGACENIE MAGNETYCZNE POPIOŁÓW LOTNYCH JAKO METODA ODZYSKANIA I MOŻLIWOŚCI IDENTYFIKACJI NIEKTÓRYCH ICH SKŁADNIKÓW

Streszczenie. Zastosowano chemiczne i metalurgiczne metody do identyfikacji frakcji magnetycznej w popiołach z elektrowni Mielec i Bełchatów. Stwierdzono w nich występowanie minerałów z grupy spineli – magnetytu, Al-magnetytu, magnetytu-hercenitu oraz siarki.

APPLICATION OF MAGNETICAL SEPARATION METHOD FOR IDENTIFICATION OF SOME COMPONENTS OF TECHNOLOGICAL ASHES

Summary. The metallurgical and chemical methods were use for determination of the components of ashes from Mielec and Bełchatów power plants.
The Al-spinel-magnetite, Al-magnetite, magnetite-hercenite as well as sulphur were found.

Wstęp

Popioły lotne stanowią jedną z odmian odpadów energetycznych. Ze względu na swój skład mineralny są materiałem heterogennym (Łączny 1983, Bahranowski et al. 1997, Ratajczak et al. 1999). Ich ostateczny kształt, forma, postać, a zwłaszcza skład fazowy i chemiczny są efektem wzajemnych reakcji i powiązań, które zachodzą pomiędzy substancją organiczną a składnikami mineralnymi węgla w efekcie oddziaływania wysokiej temperatury. Jej zakres przy konwencjonalnym spalaniu węgla wynosi 900-1600°C.

Odpady energetyczne, m.in. z uwagi na dużą skalę wytwarzania, od dawna stanowią przedmiot wielokierunkowych badań i zainteresowań. Wynika to z następujących przesłanek:

- ekologicznych: ich nagromadzenia stają się źródłem zagrożeń dla środowiska naturalnego;

- technicznych: ze względu na swoje specyficzne własności mają potencjalne szerokie możliwości zastosowania w różnych procesach technologicznych;
- ekonomicznych: stanowią niezwykle atrakcyjny surowiec wtórny;
- naukowych i poznawczych: ich skomplikowany charakter powoduje potrzebę dalszych kompleksowych badań.

Od lat prowadzone są prace mające na celu wykazanie kierunków utylizacji popiołów lotnych. Zdaniem wielu autorów, w tym także specjalistów od problematyki gospodarki surowcami mineralnymi (m.in. A. Bolewski 1993), powinny one odgrywać coraz większą rolę w gospodarce tymi surowcami. Wynika to chociażby stąd, że stanowią ich odmianę pochodzenia antropogenicznego. Problem ten doczekał się obfitej i bogatej literatury. Funkcjonujące i aktualne trendy dotyczące kierunków i możliwości wykorzystywania popiołów lotnych można podzielić na:

- przemysł mineralny: są tutaj stosowane w charakterze substytutów surowców naturalnych (przemysł ceramiki budowlanej, cementowy, produkcja kruszyw);
- roboty inżynieryjne i drogowe, do niwelacji terenu, stabilizacji gruntów, produkcji mas bitumicznych;
- materiał podsadzkowy dla górnictwa:
  - metoda sucha
  - metoda mokra (emulgaty wodno-popiołowe)
  - mieszaniny mułowo-popiołowe
- inne: rolnictwo, sorbenty naturalne, odzysk metali itp.

Spośród tych kierunków, wprawdzie marginalny, ale szczególnie interesujący i jak na razie nie posiadający znaczącej literatury naukowej jest problem odzyskiwania metali z popiołów lotnych. Łączy się to z ich składem mineralnym i chemicznym, oraz wykazywaną niejednokrotnie podwyższoną obecnością związków mineralnych niektórych pierwiastków metalicznych, w tym głównie żelaza.

Substancja mineralna w węglach

Własności fizyczne, a także skład mineralny i chemiczny popiołów lotnych pozostają w ścisłym związku z charakterem procesów technologicznych prowadzących do wytwarzania energii elektrycznej z węgli. Poza rodzajem i typem spalanych kopalin, głównie zależą one od charakteru obecnej w nich substancji mineralnej.

Substancja mineralna węgli brunatnych i kamiennych, ma dwojakie pochodzenie. Część jej jest związana z mineralnymi składnikami roślin węglotwórczych. Reszta to pozostałości gromadzące się w węglach na różnych etapach ich uwęglania. Niekiedy wyróżnia się substancję mineralną wewnętrzną (związaną z organiczną materią węgla) i zewnętrzną.

Skład fazowy substancji mineralnej jest dość złożony. Do najczęściej spotykanych jej składników należą minerały ilaste, węglany, siarczki Fe, a także kwarc i chalcedon. Rzadziej obecne są tlenki i wodorotlenki żelaza, fosforany, oraz inne poza kwarcem – minerały krzemianowe.

Konwencjonalne spalanie węgli jest połączone z oddziaływaniem wysokich temperatur. Powodują one nie tylko procesy egzotermiczne w przypadku węgli, ale przemiany fazowe składników substancji mineralnej. W kontekście omawianej w referacie problematyki łączą się z tworzeniem m.in. minerałów żelaza oraz mieszanin eutektycznych typu spineli.

W pierwszym przypadku są to magnetyt, hematyt, maghemit, wüstyt, a także metaliczne żelazo. Spinele stanowią zazwyczaj układ tlenków SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, CaO. Według Łącznego (1983) oraz Kucowskiego (1993) α- Fe_2O_3 występują w popiołach w ilości 2 – 9.5% obj., a FeO i Fe_2O_3 w granicach 0.9 – 12.5% obj. Fakt ten powoduje, że hematyt i magnetyt należą do składników bardzo rozpowszechnionych w popiołach, z kolei spinele, wüstyt i maghemit są rozpowszechnione, natomiast goethyt, ferryt dwuwapniowy, pirotyn, oksysiarczki Fe i syderyt bywają rzadsze.

Podwyższone koncentracje niektórych minerałów żelaza w popiołach od lat budziły zainteresowania praktyczne. Zmierzały one do ich odzyskania. O próbach takich wspominają Bolewski et al. (1991). Ich efektem miały być koncentraty magnetytu i metalicznego Fe. Michalikowa et al. (1994) charakteryzują magnetyt odzyskany z popiołów metodą flotacji i separacji na mokro w słabym polu magnetycznym. Dudla et al. (1996) omawiają światowe doświadczenia dotyczące otrzymywania koncentratów minerałów żelaza z popiołów lotnych. Zwracają uwagę również na to, że ten typ odpadów mineralnych może być z powodzeniem wykorzystywany jako surowiec do produkcji metalicznego Al. O innej ciekawej możliwości odzyskiwania rzadkiego metalu - galu – z popiołów lotnych traktuje praca Abishewej et al. (1994). Zdaniem autorów spalanie węgli kamiennych w paleniskach cyklonowych prowadzi do powstania glinokrzemianów o strukturze Ca, Al. $(Si, Al.)_2O_7$ zawierających w swej sieci krystalicznej gal zastępujący diadochowo Al.

Cel pracy oraz materiał badawczy

Celem pracy była identyfikacja składników fazowych frakcji magnetycznej różnych odmian popiołów lotnych. Reprezentowały one typy powstałe w wyniku:

- spalania węgla kamiennego bez odsiarczania (elektrociepłownia Mielec, próbka M-1, i elektrociepłownia KWK Zofiówka, próbka Z-1);
- spalania węgla kamiennego z odsiarczaniem spalin (elektrociepłownia Mielec, próbka M-2);
- spalania węgla brunatnego bez odsiarczania spalin (elektrociepłownia Bełchatów, próbka B-1).

Metodyka badań

Frakcje magnetyczne badanych próbek popiołów uzyskano w wyniku wzbogacania elektromagnetycznego w separatorze płytowym z wirującym polem magnetycznym. Separator składa się z dwóch płaskich płyt rowkowych wykonanych z blach transformatorowych. W rowkach płyt znajdują się uzwojenia prądu trójfazowego, wytwarzające trzy niezależne strumienie magnetyczne. Strumień wypadkowy jest więc analogiczny jak wirujące pole magnetyczne silnika trójfazowego. Pole magnetyczne zmieniające się w czasie i przestrzeni ma charakter falowy i porusza się wzdłuż płyt z określoną prędkością.

Efektem rozdzielenia magnetycznego próbek popiołów z zastosowaniem separatora płytowego było uzyskanie frakcji magnetycznej. Stanowiła ona przedmiot badań. Zarówno w jej przypadku, jak i naturalnych odmian popiołów ustalono skład mineralny i chemiczny.

Zastosowano następujące metody badań:

- **fazowe**
  - mikroskopowe z zastosowaniem mikroskopu polaryzacyjnego do badań w świetle przechodzącym i odbitym oraz scaningowego mikroskopu elektronowego firmy JEOL (JSEM 5200) z mikroanalizatorem rentgenowskim (EDS) systemu LINK;
  - rentgenograficzne z użyciem dyfraktometrów DRON 3.0 i PHILIPS;
- **chemiczne**

analizę zawartości pierwiastków głównych wykonano przy zastosowaniu następujących metod: absorpcyjnej spektroskopii atomowej (AAS), atomowej spektroskopii emisyjnej indukowanej strumieniem plazmy (ICP-AES) oraz neutronowej analizy aktywacyjnej (INAA). Badania te wykonano w Activation Laboratories w Kanadzie;

- **chemiczne w mikroobszarze**

skład chemiczny wydzielonych spineli określono za pomocą mikroanalizatora rentgenowskiego JEOL JCXA-753. Badania wykonano w Instytucie Metali Nieżelaznych w Gliwicach wykorzystując następujące wzorce i linie pomiarowe: Si Kα (SiO_2), SKα (FeS_2), FeKα (100%), TiKα (100%), AlKα (Al2O3), MgKα (MgCO3), PLα (GaP), CaKα ($CaSiO_3$), Zn Kα (100%), CuKα (100%).

Wyniki badań

Naturalne popioły lotne

Wyniki wykonanych analiz chemicznych (Ratajczak et al. 1999) wskazują, że zgodnie z normą BN-79/7729-09 badane popioły należą do odmian:

- krzemianowych: ten typ reprezentują popioły pochodzące ze spalania węgli kamiennych bez odsiarczania spalin (próbki M-1 i Z-1);
- wapniowych: zaliczono do nich popioły powstałe w wyniku spalania zarówno węgli kamiennych z odsiarczaniem spalin (próbka M-2), jak i węgli brunatnych bez ich odsiarczania (próbka B-1);

Ilościowy skład mineralny popiołów krzemianowych ustalony drogą badań mikroskopowych podaje tabela 1 (Ratajczak et al. 1999). Dominującym ich składnikiem są kryptokrystaliczne agregaty mullitowe o zróżnicowanych kształtach. Jako wrostki lub zrosty z nimi występują m.in. tlenkowe minerały żelaza.

Dominującym składnikiem popiołów wapniowych są kuliste formy zbudowane z amorficznego szkliwa lub kryptokrystaliczne agregaty zawierające słabo wykształcony mullit (tab.1). Kuliste formy zbudowane są również z idiomorficznych kryształów różnego typu spineli i hematytu.

Tabela 1

Wyniki ilościowej analizy mikroskopowej popiołów lotnych (Ratajczak et al. 1999)

Składnik	Pochodzenie i odmiana popiołu			
	popioły krzemianowe		popioły wapniowe	
	ze spalania węgla kamiennego bez odsiarczania spalin		ze spalania węgla kamiennego z odsiarczaniem spalin	ze spalania węgla brunatnego bez odsiarczania spalin
	M-1	Z-1	M-2	B-1
Agregaty mullitowe[1]	43,0	53,3	27,4	59,4
Sfery ze szkliwa[2]	8,3	4,0	10,8	23,3
Niespalona substancja węglowa	43,4	35,7	23,5	10,0
Ziarna kwarcu	4,3	1,3	1,0	3,3
Sfery nieprzezroczyste podatne magnetycznie	1,0	5,7	2,3	3,7
Agregaty węglanowe i powęglanowe[3]	-	-	31,4	-
Inne	+[il]	+[A]	3,6[A]	0,3[A,S]
Razem:	100,0	100,0	100,0	100,0

[1,2] W agregatach i w sferach szklistych występują ponadto domieszki innych składników popiołu.

[3] Minerały węglanowe w agregatach reprezentuje kalcyt, natomiast fazami powęglanowymi są: tlenek wapnia, portlandyt i anhydryt.

[A] Głównie anhydryt w zrostach z innymi składnikami, [il]agregaty niecałkowicie zdegradowanej termicznie substancji ilastej, [S] skaleń.

Badania z zastosowaniem mikroskopu polaryzacyjnego obydwóch odmian popiołów lotnych wykazały, że ich podrzędnymi składnikami są fazy podatne magnetycznie. Mają one przeważnie kształty sferyczne i odznaczają się zróżnicowanym składem. Wyróżniono w nich magnetyt, hematyt, spinele Al-Mg, wüstyt, pirotyn, a ponadto niekiedy Fe-metaliczne. Obecność tych faz została potwierdzona rentgenologicznie (tab. 2).

Jeden z typów morfologicznych ziaren popiołów krzemianowych, kulisty (krystaliczny lub dendrytyczny), jest zbudowany z faz żelazistych. Samodzielnie tego typu ziarna występują nielicznie. Znacznie częściej tworzą przerosty ze szkliwem (szkliwo/mullit – faza żelazista), oraz obecne są one we wnętrzu centrosfer w formie kryształów o pokroju słupkowym. Struktury sferyczne są zbudowane głównie z drobnych kryształów różnego typu spineli i hematytu. Zawartość Fe_2O_3 w badanych odmianach popiołów lotnych jest podana w tabeli 3.

Tabela 2

Wyniki analizy rentgenograficznej frakcji magnetycznej popiołów lotnych (wg Ratajczak et al. 1999)

Rodzaj popiołu	Pochodzenie i symbol próbki	Faza mineralna i zawartość składnika			
		Ma	He	Q	Pl
krzemianowy	Popioły ze spalania węgli kamiennych bez odsiarczania spalin				
	Mielec (M-1)	++	++	–	–
	Zofiówka (Z-1)	++	++	+?	+?
wapniowy	Popioły ze spalania węgli kamiennych z odsiarczaniem spalin				
	Mielec (M-2)	++	++	–	–
	Popiół ze spalania węgla brunatnego bez odsiarczania spalin				
	Bełchatów (B-1)	++	++	+	+

Oznaczenia: He - hematyt, Ma - magnetyt i inne fazy o strukturze spinelu, Pl - plagioklaz, Q - kwarc. Krzyżykami oznaczono udział zidentyfikowanej fazy: ++ - składnik główny, + - składnik poboczny, +? - składnik występuje w ilości śladowej, na granicy wykrywalności, lub jego obecności nie można wykluczyć ze względu na koincydencje pików dyfrakcyjnych, – - brak fazy lub zawartość mniejsza od poziomu wykrywalności metodą rentgenograficzną.

Tabela 3

Zawartość Fe_2O_3 w badanych odmianach popiołów lotnych

Odmiana popiołów i symbol próbki	Zawartość Fe_2O_3 (% wag.)
popiół krzemianowy ze spalania węgla kamiennego bez odsiarczania spalin – próbka M-1	7.75
- próbka Z-1	7.79
popiół wapniowy: ze spalania węgla kamiennego z odsiarczaniem spalin – próbka M-2	4.97
ze spalania węgla brunatnego bez odsiarczania spalin – próbka B-1	6.64

Skład mineralny frakcji magnetycznej

Wyniki wzbogacania magnetycznego badanych odmian popiołów są podane w tabeli 4.

Badania składu fazowego wykazują, że obydwie odmiany popiołów lotnych posiadają podobny skład mineralny (Piestrzyński, Ratajczak 2000). Różnią się jedynie udziałami poszczególnych faz. Charakterystyka mineralogiczna zidentyfikowanych faz mineralnych frakcji magnetycznej przedstawia się następująco.

Tabela 4

Wyniki wzbogacania magnetycznego badanych odmian popiołów lotnych

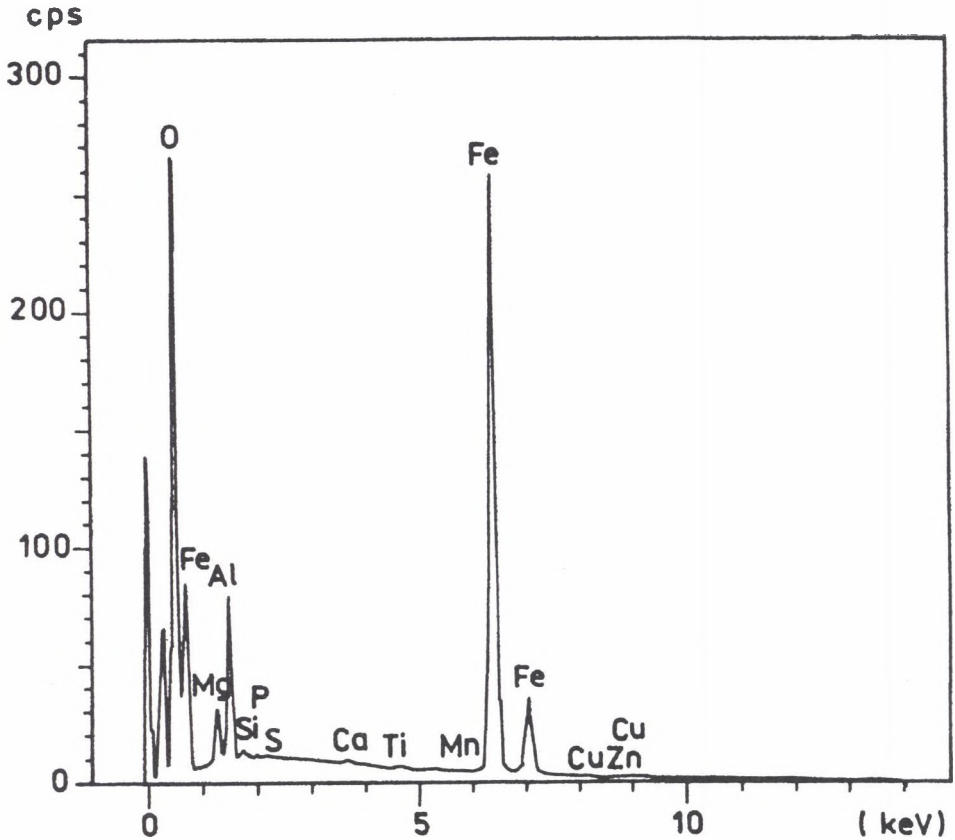
Odmiana popiołów i symbol próbki	Wychód produktu magnetycznego (% wag.)
popiół krzemianowy ze spalania węgla kamiennego bez odsiarczania spalin	
próbka M-1	2.4
próbka M-2	3.1
popiół wapniowy ze spalania węgla kamiennego z odsiarczaniem spalin – próbka M-2	1.9
ze spalania węgla brunatnego bez odsiarczania spalin – próbka B-1	0.20

Magnetyt

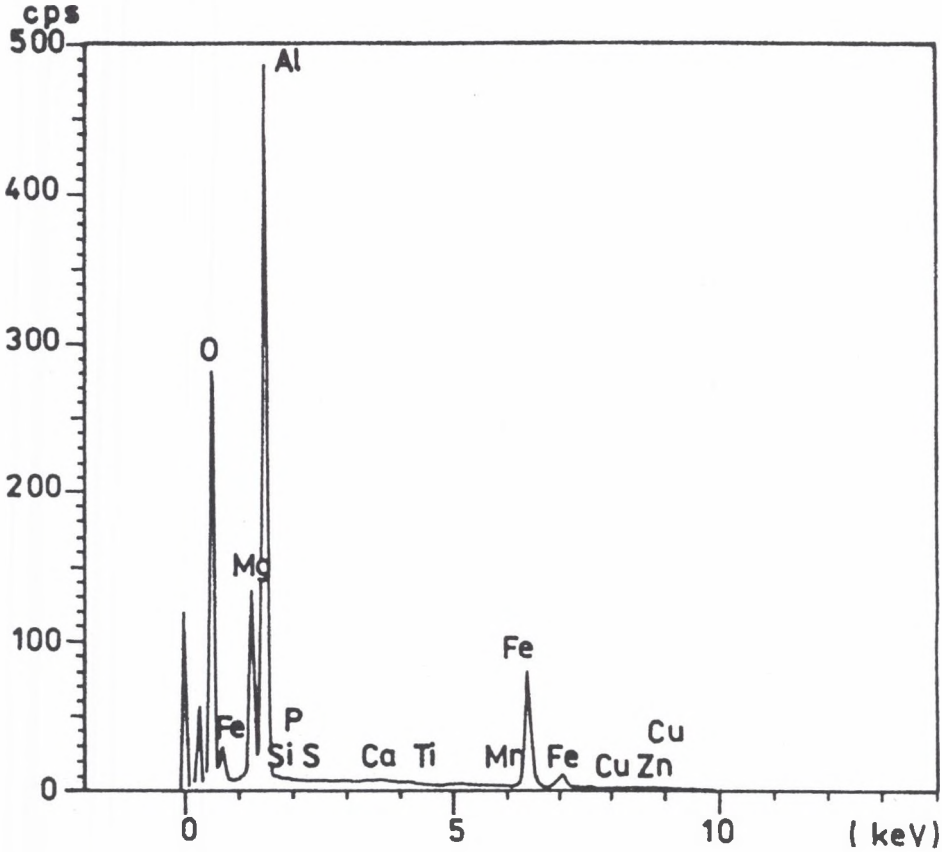
Obserwacje mikroskopowe Michalikowej et al. (1994) wskazują, że magnetyt obecny w badanych przez tych autorów popiołach lotnych przybiera najczęściej formy kuliste. Mają one wymiary dochodzące do 0.1 mm. Minerał ten odznacza się większą porowatością w porównaniu z odmianą naturalną. Wskutek tego ma też niższą gęstość (3.3–4.4 g/cm^3), mniejszą podatność magnetyczną i twardość (5–5.5). Występował on w formie nieprzeźroczystych, izometrycznych, masywnych ziaren o czarnym lub brunatno czarnym zabarwieniu. Tworzył także wrostki w kwarcu. Spotykano go także w formie drobnych kuleczek „przylepionych" do okruchów szkliwa.

Badania optyczne frakcji magnetycznej badanych przez nas popiołów wykazały, że magnetyt jest podstawowym składnikiem wszystkich kulistych agregatów. Ich wielkość nie przekracza 100 μm, zaś rozmiary poszczególnych kryształów wahają się w przedziale 1-8 μm. W agregatach o małych rozmiarach (poniżej 20μm) magnetyt tworzy uporządkowane kryształy szkieletowe w krzemianowej matrycy. Agregaty o większych rozmiarach składają się z dobrze wykrystalizowanych faz szeregu magnetyt – spinel. Widoczna jest strefowa budowa faz tego szeregu z zauważalnymi odcieniami barwy. Odcienie barwne wskazują na zmianę składu chemicznego. Skład chemiczny wpływa na poziom zdolności refleksyjnej. Spotykane są również struktury, które wskazują na zatrzymany proces zastępowania spinelu przez magnetyt. Kryształy te występują w zrostach lub są pozlepiane szkliwem. Rzadko obserwuje się fazę metaliczną Fe i siarczku Fe cementujące kryształy magnetytu i spinelu. W agregatach spinelowych obserwuje się struktury odmieszania do hematytu i wustytu. W pojedynczych przypadkach stwierdzono obecność wykropleń metalicznych wśród agregatów magnetytowych. Zewnętrzna powierzchnia kulistych agregatów poddana jest procesowi utleniania do hematytu. Świadczą o tym czerwonawe refleksy wewnętrzne zewnętrznych powierzchni kulistych agregatów.

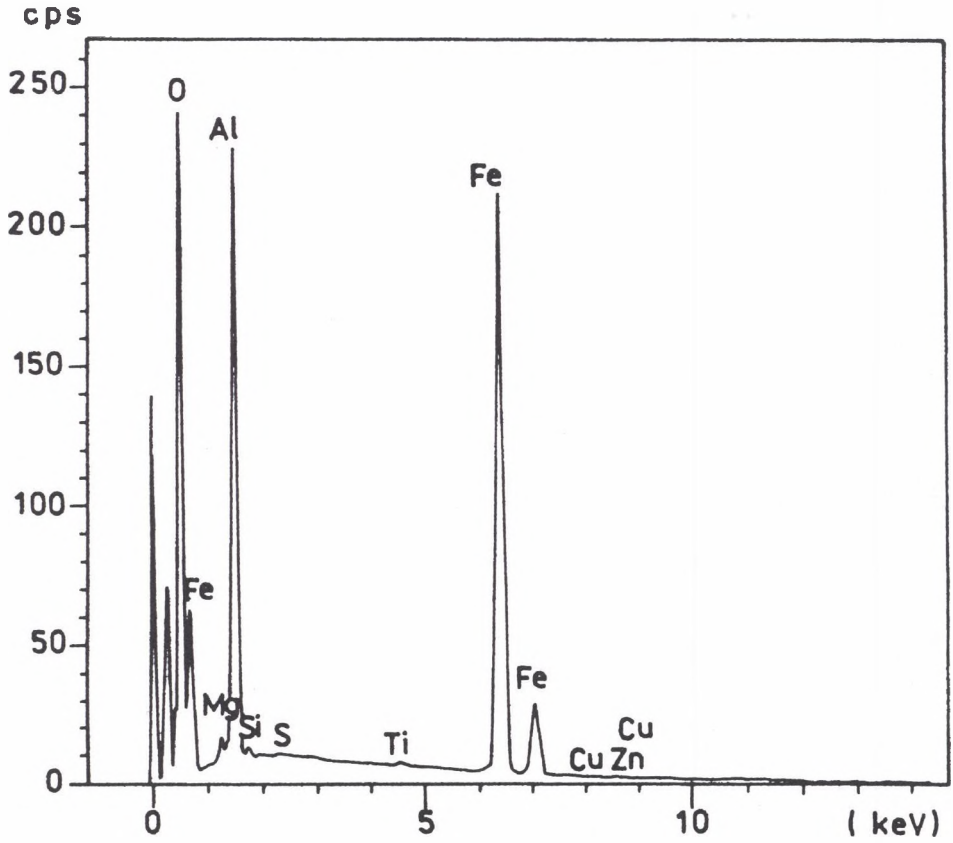
Badania chemiczne w mikroobszarze potwierdzają wyniki obserwacji mikroskopowych. Jednoznacznie wskazują na obecność „czystego" magnetytu i obecność faz o składzie magnetyt - hercynit oraz magnetyt - spinel (rys. 1, 2, 3, 4). Badane fazy o strukturze spinelu to: magnetyt, Al-magnetyt, spinel Al-Fe (faza sztuczna), oraz fazy o składzie mieszanym:



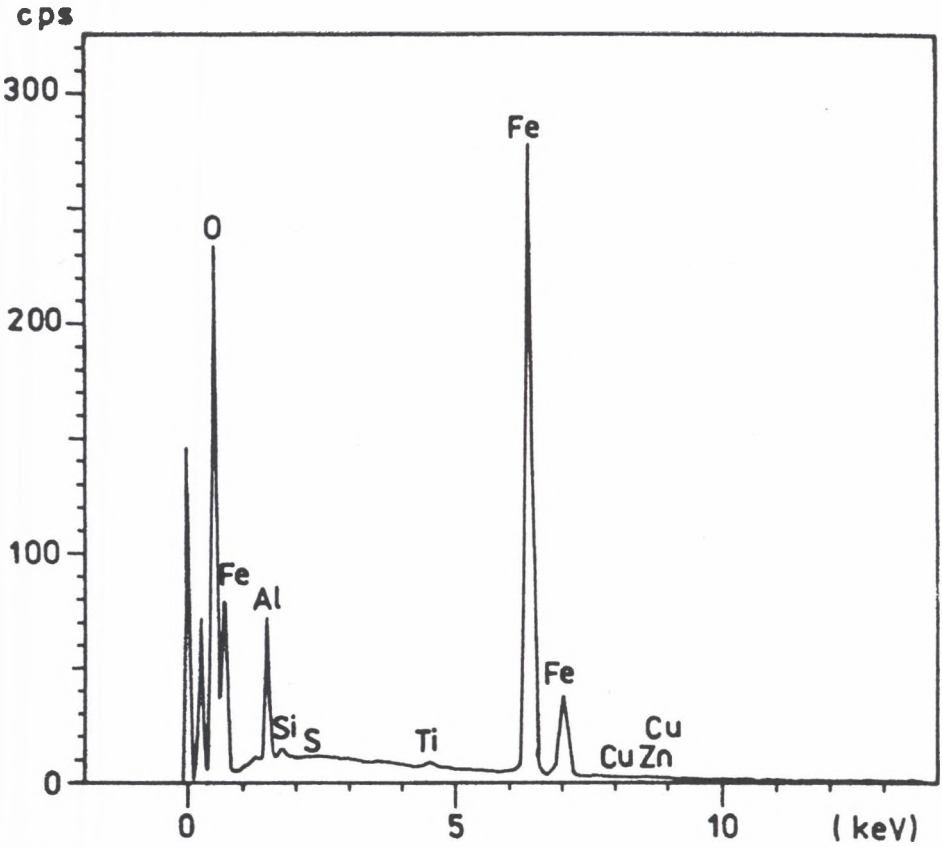
Rys. 1. Rentgenowskie widmo emisyjne spinelu Al-Mg-Fe
Fig.1. EDS spectra of the Al-Mg-Fe-type of spinel



Rys. 2. Rentgenowskie widmo emisyjne Fe-odmiany spinelu glinowego
Fig.2. EDS spectra of the Fe-type of Al-spinel



Rys. 3. Rentgenowskie widmo emisyjne spinelu Fe-Al
Fig.3. EDS spectra of the FE-Al-type of spinel



Rys. 4. Rentgenowskie widmo emisyjne Al-magnetytu
Fig 4. EDS spectra of Al-variety of magnetite

magnetyt-hercynit i magnetyt - spinel. Analizowane spinele wykazują domieszki Ca, Ti, Si i S. Domieszka S najprawdopodniej nie wchodzi w strukturę spinelu. Możliwe jest, że siarka zachowała się jako gaz zamknięty w mikroporach spineli w trakcie szybko przebiegającego procesu spalania i ochładzania drobin mineralnych pyłów.

Hematyt

Charakterystykę mikroskopową hematytu obecnego w popiołach lotnych przytaczają m.in. Michalikowa et al. (1994). Minerał ten występował w formie kulistych, nieprzeźro-czystych ziaren o czarnym zabarwieniu i szklistym połysku. Kulki te były pokruszone, ich powierzchnia była zniszczona, a co za tym idzie - nierówna. Zauważyli także ostro-krawędziste, izometryczne, masywne ziarna tego tlenku o zabarwieniu czarnym lub brunatnoczerwonym.

Obecność hematytu wykazano we wszystkich badanych przez nas próbkach. Występował on w dużo mniejszej ilości niż magnetyt. Obserwowany był głównie w postaci zrostów z magnetytem i wüstytem. Powierzchniowe tlenienie agregatów spineli do hematytu zauważalne jest w postaci czerwonawych refleksów wewnętrznych. Hematyt tworzy również roztwory stałe z wüstytem, widoczne sporadycznie jako samodzielne kuliste agregaty charakteryzujące się czerwono-pomarańczowymi refleksami wewnętrznymi. Spotykany jest również w zrostach z goethytem, powstających podczas utlenienia spineli.

Fazy metaliczne

Fazy te stwierdzono w większości badanych próbek. Największą ich ilość zaobserwowano w próbce Z-1, gdzie ziarna metalicznego Fe mogą być obserwowane makroskopowo. Drobne kulki żelaza metalicznego stwierdzono na powierzchni szkliwa. Pochodzenie dużych (powyżej 0,2 mm) ziarn Fe-metalicznego jest trudne do wytłumaczenia. Faktem jest, że niektóre z nich są utleniane do goethytu, co może sugerować obecność tych procesów w fazie spalania. Wśród Fe-metalicznego istnieją jednak takie przykłady, które jednoznacznie wskazują na związek z procesem spalania i tworzenia się niepalnej fazy mineralnej żużli i pyłów. Np. Fe-metaliczne występujące wewnątrz kulistych agregatów posiadających zewnętrzny pierścień zbudowany z różnego rodzaju spineli pochodzi z redukcyjnego etapu spalania. Agregaty Fe-metalicznego wykazują wyraźny dwufazowy skład. Badania ilościowe w mikroobszarze stwierdziły różnicę tylko w zawartości siarki. Faza ciemna Fe-metalicznego zawiera domieszkę S na poziomie 0.12 %wag., zaś faza jasna nie zawiera siarki. Widoczne różnice w barwie i zdolności refleksyjnej są prawdopodobnie wynikiem obecności dwu różnych krystalicznych faz metalicznego żelaza.

W próbce M-2 stwierdzono ziarno fazy metalicznej o własnościach optycznych wskazujących na mosiądz.

Siarczki

Siarczki zostały stwierdzone we wszystkich badanych próbkach. Największe ich ilości stwierdzono w próbce B-2. Występują one w zrostach ze spinelami i Fe-metalicznym głównie

w postaci drobnych inkluzji lub matrycy (próbka B-2). Własności optyczne wskazują na obecność dwóch odmian pirotynu lub pirotynu i thiosiarczanu (faza ciemniejsza).

Badania ilościowe w mikroobszarze wykazują obecność tlenu w fazie ciemniejszej. Może być ona związana z wtórnym utlenieniem siarczku do thiosiarczanu w temperaturze poniżej 220°C. Reakcja taka zachodzi najprawdopodobniej w górnej części pieca.

Wodorotlenki Fe

Stwierdzono obecność wydłużonych fragmentów wodorotlenków Fe. Najczęściej jest to mieszanina goethytu o różnym stopniu uwodnienia i o trudnej do ustalenia genezie oraz fragmentów z wyraźnym utlenieniem zrostów spinelu i hematytu do goethytu. Ten drugi przykład jest dowodem na intensywne utlenienie popiołów w środowisku pary wodnej.

Wnioski

Zawartość frakcji magnetycznej w badanych odmianach popiołów jest nieznaczna. Nie wykazuje ona także wyraźnego zróżnicowania ilościowego. Tym samym flotacyjne i magnetyczne wzbogacenie tych odmian odpadów energetycznych jest procesem prowadzącym do odzyskania tego typu faz mineralnych.

Identyfikowane frakcje magnetyczne reprezentowały dwie odmiany popiołów lotnych - krzemianową i węglanową. Uzyskano je ze spalania węgli kamiennych i brunatnych w elektrowniach i elektrociepłowniach zarówno w efekcie zastosowania technologii z odsiarczaniem, jak i bez odsiarczania spalin. Skład mineralny i chemiczny tych odmian popiołów jest wyraźnie zróżnicowany.

Wykazany mikroskopowo i rentgenograficznie skład fazowy frakcji magnetycznej z obydwóch odmian popiołów jest zbliżony. Stwierdzono w nich obecność minerałów z grupy spineli - magnetytu, Al-magnetytu, magnetytu-hercynitu, magnetytu-pleonastu. Zidentyfikowano również dwie fazy metaliczne Fe. W tych frakcjach obecne są także siarczki żelaza.

Niektóre odmiany spineli ujawniają obecność różnie zaawansowanych procesów utleniających. Ich rezultatem jest pojawianie się hematytu i goethytu.

Morfologia zidentyfikowanych faz mineralnych frakcji magnetycznych jest zróżnicowana. Stanowi to efekt urozmaiconych i zmiennych procesów transformacyjnych zachodzących w obrębie substancji mineralnej spalanych węgli.

We frakcji magnetycznej stwierdzono również obecność siarki, najprawdopodobniej gazowej. Występuje ona w mikroporach kulistych spineli.

Badania stanowiące treść artykułu zostały wykonane w ramach tematu prac własnych Akademii Górniczo-Hutniczej im. S. Staszica (nr pracy 10 10 140 579 „Mineralne surowce odpadowe, typy i odmiany, skład mineralny, własności fizykochemiczne i możliwości zagospodarowania").

LITERATURA

1. Abishewa Z.S., Blaida I.A., Ponomariewa E.I., Beisembajew B.B., 1994: Obróbka popiołu lotnego ze spalania węgla do celów energetycznych, prowadząca do pozyskiwania metali rzadkich. Materiały z XII Międzynarodowego Kongresu Przeróbki Węgla.
2. Bahranowski K., Gaweł A., Górniak K., Muszyński M., Ratajczak T., Skowroński A., Szydłak T., Wyszomirski P., 1997: Charakterystyka popiołów lotnych z wybranych elektrowni i elektrociepłowni Polski. Materiały z VII Konferencji: Aktualia i perspektywy gospodarki surowcami mineralnymi.
3. Bolewski A., (red.) 1993: Encyklopedia surowców mineralnych. Wydawnictwo CPPGSMiE PAN, Kraków.
4. Bolewski A., Budkiewicz M., Wyszomirski P., 1991: Surowce ceramiczne. Wydawnictwo Geologiczne, Warszawa.
5. Dudla N.N., Górecki W., Piwniak G.G., Rychlicki S., Zięba A., 1996: Energetyka cieplna. W: „Ochrona środowiska w aspekcie źródeł energii". Wydawnictwo Towarzystwa Geosynoptyków GEOS.
6. Kucowski J., 1993: Energetyka a ochrona środowiska. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne.
7. Łączny M., 1983: Model emisji zanieczyszczeń ze składowisk odpadów energetycznych do wód podziemnych. Wydawnictwo Instytutu Kształtowania Środowiska, Katowice.
8. Michalikowa N., Bugiel M., Żelenak F., 1994: Przeróbka popiołów z węgla kamiennego metodą flotacji i separacji na mokro w słabym polu magnetycznym. Materiały z XII Międzynarodowego Kongresu Przeróbki Węgla.
9. Norma BN-79/6722-09: Popioły lotne i żużle z kotłów opalanych węglem kamiennym i brunatnym.
10. Piestrzyński A., Ratajczak T., 2000: Skład fazowy frakcji magnetycznej popiołów lotnych pochodzących ze spalania polskich węgli kamiennych i brunatnych. PTMin. – Prace Specjalne zeszyt 16.
11. Ratajczak T., Gaweł A., Górniak K., Muszyński M., Szydłak T., Wyszomirski P., 1999: Charakterystyka popiołów lotnych ze spalania niektórych węgli kamiennych i brunatnych. PTMin. – Prace Specjalne zeszyt 13.

Recenzent: Dr inż. Zdzisław Adamczyk

Abstract

Chemical and mineralogical methods were applied for identification of magnetic fractions separated from ashes as a result of hard coal and lignite combustion. Ashes were collected from electrofilters of power station located at Mielec and Bełchatów using different purification methods of combustion gases. In the magnetic fraction Al-spinel-magnetite, Al-magnetite and magnetite-hercenite variety of minerals have been identified. In some samples

Fe-sulphides and two different faces of metallic iron were also distinguished. Some spinel grains show oxidation rims composed of goethite and hematite. Chemical methods reveal also presence of sulphur that is collected in micropores of spinel aggregates.