

Jan HYCNAR*

METODY WYDZIELANIA KONCENTRATÓW METALI Z POPIOŁÓW ELEKTROWNIANYCH

Popioły elektrowniane są nośnikami metali, których ilość waha się od 23 do 30% mas. W popiołach występują m.in. związki glinu, żelaza, wapnia, potasu, magnezu, sodu, tytanu, manganu, wanadu, cynku, chromu, miedzi, arsenu, selenu, ołowiu, niklu, kadmu, germanu itd. W procesie spalania węgla dochodzi do wzrostu stężenia niektórych pierwiastków w popiołach lotnych.

Poprzez dobór węgla, warunków jego spalania oraz stosowanie odpowiednich rozwiązań układów odpylania i odpopielenia zachodzą warunki do wydzielania frakcji popiołowych najbogatszych w metale. Koncentraty metali z popiołów lotnych uzyskuje się poprzez stosowanie procesów prostej selekcji, wzbogacania, energotechnologicznych i głębokiej przeróbki popiołów lotnych.

Popioły lotne stosowane są jako źródło koncentratów glinu (ZSRR, PRL), żelaza (PRL, Kanada, NRD), wapnia (ZSRR, NRD, PRL) i germanu (W. Brytania, CSRS). Intensywne badania prowadzone są w wielu krajach nad opanowaniem ekonomicznych metod produkcji glinu z popiołów.

1. Wprowadzenie

Analiza kierunków rozwoju bazy energetycznej wykazuje, że w najbliższych 30 latach nastąpi dalszy wzrost wykorzystania węgla. Wg danych EKG-ONZ tylko w latach 1976-2000 nastąpi średnio 2,4-krotny wzrost zużycia węgla do produkcji energii cieplnej i elektrycznej. Oznacza to, że również ilość powstających popiołów lotnych i żużli będzie odpowiednio rosła. Na podstawie danych EKG-ONZ [1] i RWPG [2] ocenia się, że tylko w 1980 r. na świecie powstało ok. 350 Tg popiołów lotnych i żużli.

* Zakład Technologii Zagospodarowania Odpadów Elektrownianych, ZPBE "Energopomiar", 40-816 Katowice

z tego na kraje europejskie (bez ZSRR) przypada 143 Tg, a na kraje RWPG ok. 160 Tg.

2. Ocena popiołów elektrownianych jako źródła koncentratów metali

Coraz częściej popioły lotne uzyskiwane ze spalania węgla kamiennych i brunatnych traktowane są jako alternatywne źródło szeregu metali. Między innymi, w Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej [3-7] prowadzone są intensywne badania nad opanowaniem ekonomicznych technologii odzasku glinu, tytanu, germanu i innych metali z popiołów; zakładają, że w latach 90-tych gospodarka USA będzie mogła uniezależnić się od importu boksytu, rud tytanu i innych w wyniku przeróbki popiołów. Również w ZSRR [8-10] trwają prace zmierzające do uruchomienia przerobu popiołów z węgla ekibastuskich, bogatych w związki glinu i metale rzadkie. W skali przemysłowej natomiast, wytwarzane są popiołowe koncentraty żelaza, glinu, germanu i galu w W. Brytanii, Czechosłowacji, Japonii, Kanadzie i Polsce.

Problem ewentualnego wykorzystania krajowych popiołów do produkcji metali jest interesujący jeżeli uwzględnimy, że aż ok. 30% ich masy stanowią składniki metaliczne - tablica 1. Oznacza to, że w 1980 r. przy wypadzie popiołów lotnych (bez żużli) w ilości 16.467.650 Mg i zawartości metali w ilości 28.5% mas., popioły zawierały:

- glinu	14,45 % mas	co odpowiada	238 Gg,
- żelaza	6,51 % mas		1089 Gg,
- wapnia	2,36 % mas		389 Gg,
- potasu	1,71 % mas		282 Gg,
- magnezu	1,44 % mas		238 Gg,
- sodu	0,96 % mas		159 Gg,
- tytanu	0,76 % mas		127 Gg,
- manganu	0,08 % mas		14 Gg,
- wanadu	0,04 % mas		7 Gg,
- cynku	0,03 % mas		5 Gg,
- chromu	0,02 % mas		4 Gg,
- Cu, As, Se, Pb, Ni, Cd, Ga	0,03 % mas		5 Gg.

Konfrontując zawartość składników metalicznych w popiołach z ich zapotrzebowaniem przez gospodarkę narodową widać, że dysponujemy dużymi rezerwami m.in. surowca glinowego.

Podstawowymi założeniami tych koncepcji są:

Tablica 1

Bilans pierwiastków występujących w popiołach lotnych wyprodukowanych w 1980 r.

Określenia	Popioły lotne rodząją								Razem Mg
	krzemianowego		glinowego		wapniowego		Ilość Mg	Ilość Mg	
	średnia zawartość składnika %	Ilość Mg	średnia zawartość składnika %	Ilość Mg	średnia zawartość składnika %	Ilość Mg			
Wypad popioł. lot.	-	11.151.206	-	3.998.855	-	1.317.589	16.467.650		
Zawartość związków chemicznych:									
- krzem jako Si	23,3	2.598.230	22,74	909.339	20,9	275.375	3.782.944		
- glin jako Al	12,8	1.427.354	16,96	678.205	10,6	139.664	2.380.934		
- żelazo jako Fe	8,8	981.306	1,32	52.784	4,2	55.338	1.089.428		
- mangan jako Mn	0,1	11.151	0,014	559	0,15	1.976	13.686		
- tytan jako Ti	0,7	78.058	0,97	38.788	0,76	10.013	126.859		
- wapń jako Ca	2,0	233.024	1,35	53.984	8,54	112.522	389.530		
- magnez jako Mg	1,57	175.073	0,82	32.790	2,27	29.909	237.772		
- sól jako Na	1,2	133.814	0,54	21.593	0,31	4.084	159.491		
- potas jako K	1,9	211.872	1,38	55.184	1,11	14.625	281.681		
- fosfor jako P	0,09	10.036	0,14	5.598	0,13	1.712	17.346		
- siarka jako S	0,05	5.575	0,05	1.999	0,17	2.239	9.813		
- S siarczkowa	0,01	1.115	0,01	399	0,01	131	1.645		
- miedź jako Cu	0,014	1.561	0,007	279	0,008	105	1.945		
- arsen jako As	0,0004	44	0,01	1.999	0,01	131	2.174		
- beryl jako Be	0,001	111	0,01	39	0,001	13	163		
- chrom jako Cr	0,019	2.118	0,01	1.999	0,01	131	4.248		
- cynk jako Zn	0,04	4.460	0,009	359	0,012	158	4.977		
- ołów jako Pb	0,016	1.784	0,002	79	0,001	13	1.876		
- nikiel jako Ni	0,007	780	0,003	119	0,004	52	951		
- wanad jako V	0,03	3.345	0,05	1.999	0,09	1.185	6.329		
- kadm jako Cd	0,0002	22	0,001	7	0,0002	2	31		
- kobalt jako Co	0,001	111	0,001	39	0,001	13	163		
- gal jako Ga	0,002	223	0,001	39	0,0039	51	313		

1. fakt występowania w popiołach lotnych i żużlach związków metali (stwierdzono występowanie związków 81 pierwiastków) w ilościach od 23,6 do 29,06%;
2. fakt wzbogacania się niektórych frakcji popiołów lotnych w metale od kilku do kilkudziesięciu razy;
3. fakt istnienia możliwości wydzielania koncentratów metali z popiołów;
4. fakt opracowania technicznych i technologicznych rozwiązań procesów selektywnego wydzielania i składowania wybranych popiołów i koncentratów metali oraz metod ich dalszej przeróbki lub stosowania;
5. fakt doskonalenia rozwiązań odzysku koncentratów metali z popiołów i globalnej racjonalizacji korzystania z surowców naturalnych, stwarzających przesłanki ekonomiczne do masowego użytkowania popiołów jako źródła metali.

3. Metody wydzielania popiołowych koncentratów metali

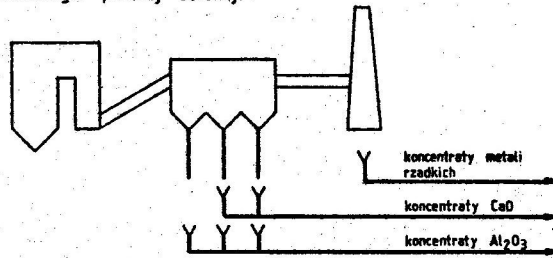
W procesie spalania, szereg metalicznych składników popiołów węgla ulega wzbogaceniu, koncentrując się w popiele lotnym lub żużlu. Szczególnie wyraźne zmiany koncentracji metali w popiołach lotnych i żużlach obserwuje się w stosunku do metali kolorowych i rzadkich, które w procesie spalania węgla tworzą lotne związki. W popiołach lotnych gromadzą się głównie związki ołowiu, cynku, molibdenu, germanu i galu; a w żużlach związki itru, wanadu i uranu [11-14].

Analiza procesów spalania węgla i przeprowadzone bilansy pierwiastków metalicznych w stałych produktach spalania dają praktycznie odpowiedź na ew. metody wydzielania koncentratów metali z popiołów lotnych i żużli. Ze względu na wymagany stopień przeróbki popiołów lotnych i żużli, koncentraty metali uzyskiwać można [15]:

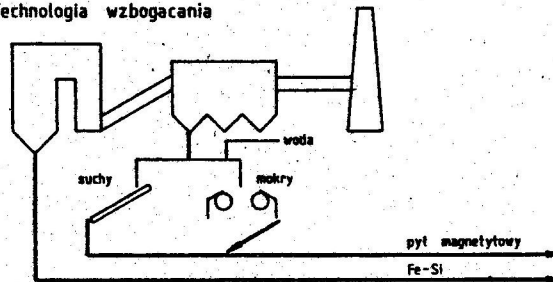
- technologią prostej selekcji,
- technologią wzbogacania,
- technologią energotechnologiczną,
- technologią głębokiej przeróbki popiołów lotnych i żużli.

Technologie prostej selekcji dotyczą zazwyczaj makro-składników, których zawartość w żużlu i popiołach lotnych nie wykazuje istotnych różnic, a ewentualne różnice stężeń występują w popiołach w zależności od miejsca ich poboru w elektrofiltrze. W ten sposób są lub mogą być wydzielane popiołowe koncentraty wapniowe i glinowe. Koncentrat wapniowy przeznaczony dla rolnictwa i drogownictwa wydzielany jest w El. Pątnów i Konin poprzez selektywny odbiór popiołu z 2 i 3 strefy elektrofiltrowego. Natomiast popioły lotne wydzielane przy spalaniu węgla brunatnego z Turoszowa są w całości przydatne do produkcji glinu - rys. 1.

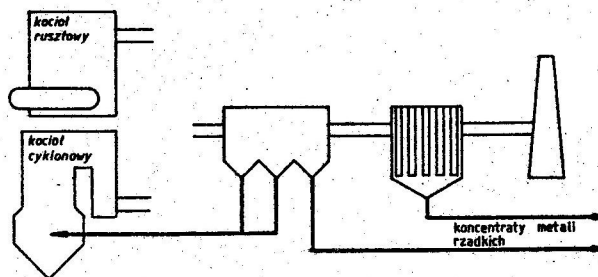
1. Technologia prostej selekcji



2. Technologia wzbogacania



3. Proces energetyczny



Rys. 1. Technologie odzysku koncentratów metali z popiołów lotnych

Fig. 1. Schematic representation of technologies applied for production of concentrates of metals from fly ashes

Technologie wzbogacania polegają na zastosowaniu odpowiednich metod obróbki popiołów, dla wydzieleniażądanego składnika. Typowym przykładem jest metoda magnetyczna wydzielenia składników ferromagnetycznych z popiołów lotnych i żużli - rys. 1. Do tych technologii należy zaliczyć stosowanie hydrocyklonu do otrzymywania popiołów wzbogaconych w związki żelaza (do 30%) oraz metodą elektrostatyczną pozwalającą na wydzielenie związków żelaza i niespalonego węgla z popiołów. Dla zwiększenia odzysku pyłu magnetytowego korzystną może być dokruszanie ziarn popiołowych metodą wstrząsu termicznego (wzrost odzysku pyłu magnetytowego o 50%). Technologie energetyczne polegają na połączeniu procesu wytwa-

rzania energii cieplnej z procesem otrzymywania koncentratów metali. Na obecnym etapie, technologie te dotyczą głównie otrzymywania koncentratów metali, które w procesie spalania podlegają wzbogacaniu i przechodzą do popiołów lotnych, np. Ge, Ga itd. W technologiach energotechnologicznych koniecznym jest zapewnianie następujących warunków;

- wysoką zawartość danego pierwiastka w spalonych węglach,
- wysoką temperaturę w komorze spalania, zapewniającą możliwie pełne przechodzenie danego pierwiastka z żużla do spalin (popiołu lotnego),
- wysoki stopień wiązania popiołu zawartego w węglu w żużel,
- wysoką sprawność wielostrefowych urządzeń odpylających,
- zawrót popiołów lotnych z I i ew. II strefy elektrofiltra do komory paleniskowej.

W takich warunkach, przy maksymalnym odparowaniu lotnych związków metali następuje ich kondensacja na stosunkowo małej ilości ziarn popiołów lotnych, co prowadzi do wzrostu zawartości metali "lotnych" w popiołach. Ponieważ proces wzbogacania ziarn popiołowych w związki metali "lotnych" ma charakter powierzchniowy, to ilość nagromadzonego metalu na ziarnach popiołowych w stosunku do ich masy zależy od średnicy ziarn i przy założeniu masy właściwej popiołów 2 g/cm^3 ma się jak stosunek $\frac{3}{2}r^{-1}$. A zatem, czym mniejsza średnica ziarna popiołowego tym wyższe stężenie analizowanego pierwiastka. Praktycznie oznacza to, że najbogatsze koncentraty zapewniają kotły rusztowe i cyklonowe z zawrotem popiołu, wyposażone w wysoko sprawne elektrofiltry wielostrefowe i dodatkowo wyposażone w filtry workowe. Tym też należy tłumaczyć, że produkcja koncentratów germanowych prowadzono przez wiele lat w kotłach rusztowych i cyklonowych, rys. 1.

Technologie głębokiej przeróbki popiołów lotnych polegają głównie na ich spiekaniu, topieniu, lub roztwarzaniu kwasami lub ługami. Przeznaczone są głównie do produkcji związków glinu, żelazokrzemu oraz kompleksowej przeróbki popiołów, pozwalającej na odzysk większości metali w nich zawartych. Badania literaturowe 16 wykazują, że z popiołów można wydzielić 22 metale; metodami hydrometalurgii Ag, Al, Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Sn, Sb, Th, Ti, U, V i Zn; a metodami pirometalurgicznymi Al, Ca, Cu, Ga, Ge, Fe, Fe-Si, Fe-V, Mg, Mn, Ni, Sb, Si, Sn, Th, Ti, U i V. Nie zarejestrowano natomiast metod wydzielenia Co, Cr i Sr.

4. Otrzymywanie koncentratów metali z popiołów lotnych

Analizą tą zostały objęte koncentraty wapnia, żelaza, glinu, germanu, galu i uranu.

4.1. Koncentraty wapnia

Popioły lotne rodzaju wapniowego zawierające powyżej 10% mas. CaO są przedmiotem zainteresowania rolnictwa [17] jako źródła jonów wapnia oraz budownictwa jako źródła CaO i CaSO₄. Popioły zawierające powyżej 20% CaO są stosowane w rolnictwie jako nawozy wapniowe do nawożenia i odkwaszania gleb. W Polsce do nawożenia gleb wykorzystuje się od 30 do 90 Gg nawozu popiołowego, a od 1990 r. planowany jest wzrost ich zużycia do 1100 Gg rocznie. W ZSRR wykorzystanie popiołów wapniowych dla rolnictwa przekracza 1400 Gg.

Dla zapewnienia jak najwyższej koncentracji związków wapnia w nawozie popiołowym, popioły lotne z elektrofiltra odbiera się selektywnie. Zazwyczaj najbogatszymi są frakcje odbierane z 2-giej i 3-ciej strefy elektrofiltra.

Dodatkową zaletą nawozów popiołowych jest w nich obecność związków magnezu i mikroelementów. Efektywność działania nawozów popiołowych jest wyższa od typowych nawozów wapniowych (wapno nawozowe itp.).

4.2. Koncentraty żelaza

Procesy wydzielania magnetycznych związków żelaza z popiołów lotnych są znane [18-21] i nie wymagają specjalnego omówienia. Można "dorzucić", że dla zwiększenia zawartości związków żelaza w nadawie na separator w CSRS zaproponowano wcześniejsze wzbogacanie popiołu na hydrocyklonie. Odzysk pyłu magnetytowego z popiołów prowadzony jest w PRL, NRD, Kanadzie i USA. W Polsce produkcja pyłu magnetytowego osiągnęła najwyższą wartość 12 Gg w 1977 roku; w ostatnich latach obserwuje się tendencję spadku produkcji pyłu magnetytowego aż do 1 Gg.

W najnowszych rozwiązaniach technologicznych odzysku metali z popiołów obserwuje się tendencje stosowania separatorów magnetycznych jako etapu wstępnego przygotowania popiołów do głębokiej przeróbki np. dla odzysku związku glinu [7,22,23]. W tych rozwiązaniach pył magnetytowy stanowi produkt pośredni produkcji tlenku glinu.

W ostatnich latach w ZSRR opracowano i wdrożono technologie odzysku żelazokrzemu z żużli topionych [24]. Zawarty żelazokrzem w żużlu w ilości 0,8 do 4,2% mas. podlega wydzieleniu w procesie jego transportu, na zasadzie różnic w gęstościach właściwych. Wytworzony w El. Starobieszeńskiej żelazokrzem charakteryzuje się gęstością w granicach 6,58-6,95 g/cm³. Opracowana technologia jako bardzo prosta, ma być wdrożona we wszystkich elektrowniach w których pracują kotły cyklonowe, a żużel topiony zawiera żelazokrzem.

W Polsce, w tym zakresie nie prowadzi się badań, prawdopodobnie ze

względu na minimalny udział kotłów cyklonowych, natomiast w latach 60-tych były prowadzone badania nad otrzymywaniem żelazokrzemu przez celowe stapianie popiołów lotnych w łuku elektrycznym dla otrzymania żelazokrzemu.

4.3. Koncentraty glinu

Większość prowadzonych badań na świecie dotyczą wypracowania ekonomicznej metody produkcji tlenku glinu [7,15,22,23]. O ile szereg metod jest rozwiązanych technologicznie i technicznie, to w dalszym ciągu brak jest metody, która by dawała tańsze aluminium niż technologie tradycyjne.

W Polsce znane są i przygotowane do wdrażania podstawowo dwie technologie: spiekowo-rozpadowe wg Grzymka i kwaśna [25-29].

W latach 70-tych rozpoczęto budowę zakładu produkcji tlenku glinu w Nowinach, niestety sytuacja ekonomiczna kraju zdecydowała o przerwaniu tej inwestycji. Czynnione są próby uruchomienia i zakończenia tego zadania inwestycyjnego. W takiej sytuacji, najważniejszym zadaniem jest zapewnienie selektywnego składowania popiołów lotnych z El. Turów, by mogły stać się surowcem w przyszłości.

4.4. Koncentraty germanu

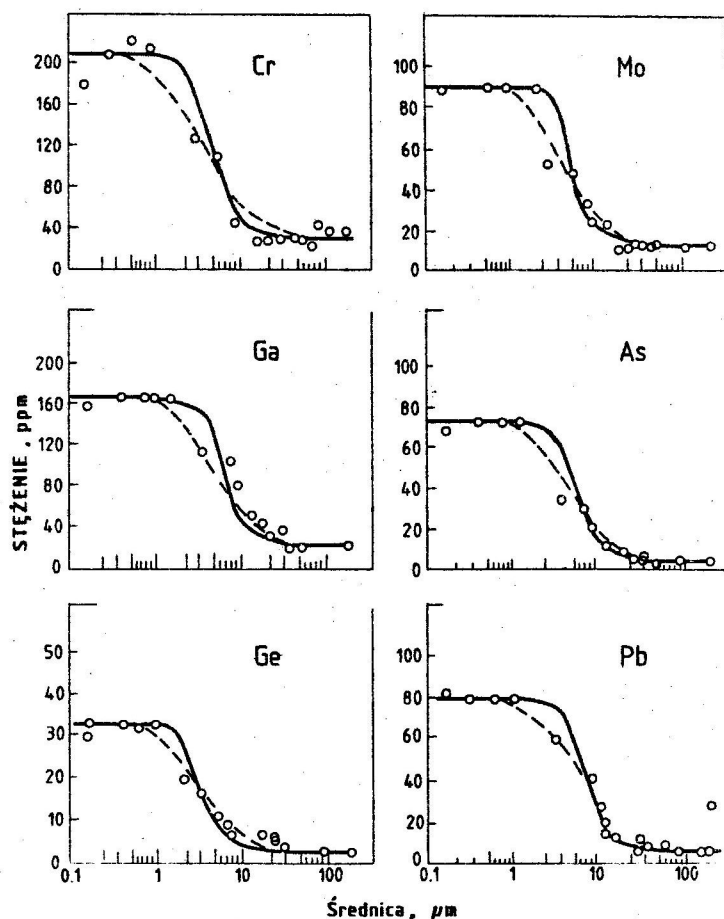
Metody odzysku związków germanu z popiołów opierają się o procesy energotechnologiczne i technologie głębokiej przeróbki popiołów.

Technologie głębokiej przeróbki popiołów, bazujące na roztwarzaniu szkieletu glinokrzemianowego, gwarantują ilościowy i kompleksowy odzysk zawartych metali, w tym również związków germanu - z wprowadzeniem ich do praktyki przemysłowej należy jeszcze zaczekać, aż te technologie będą ekonomicznie opłacalne. Obecnie, praktyczne znaczenie dla odzysku związków germanu mają tylko procesy energotechnologiczne.

Powierzchniowy charakter procesu osadzania się związków germanu na ziarnach popiołowych, uzależnia stężenie związków germanu w masie popiołów od wielkości ziarn popiołowych. Nowsze badania [30] wykazują jednak, że wzrost stężenia związków lotnych nie ma charakteru ciągłej zależności;

$$C_{Ge} = f \left(\frac{3}{2} r^{-1} \right)$$

a ma charakter skokowego wzrostu stężenia związków lotnych przy przejściu od ziarn wielkości od 10 μm , do ziarn poniżej 1 μm - rys. 2 i tabela 2. W ziarnach, o średnicy poniżej 1 μm nie obserwuje się przyrostu stężenia lotnych związków ze spadkiem ich średnicy. Oznacza to, że pro-



Rys. 2. Średnie stężenie lotnych związków metali w zależności od średnicy ziarn popiołowych

Fig. 2. Average content of volatile metal compounds vs. average fly ashes particles size

cesy wydzielenia popiołowych koncentratów germanowych powinny być oparte o selektywne wydzielenie frakcji ziarnowych poniżej 1 μm lub wydzielenie frakcji najbogatszych w ziarna poniżej 1 μm.

Drugim ważnym warunkiem gwarantującym wyższe stężenia germanu w popiołach jest dobranie takich rozwiązań komór paleniskowych by ilość popiołów lotnych uchodzących ze spalinami była jaknajniższa (kotły z paleniskami fluidalnymi, rusztowymi i cyklonowymi). Mała ilość popiołów lotnych w spalinach, przy obniżeniu temperatury spalin poniżej temperatury kondensacji lotnych związków germanu, decyduje o większym koncentrowaniu się kondensujących związków na ziarnach popiołowych.

Tablica 2

Wpływ wielkości cząstek popiołów lotnych na zawartość pierwiastków śladowych

Pierwiastek	Zawartość $\mu\text{g/g}$	
	Cząstki powyżej $8 \mu\text{m}$	Cząstki poniżej $0,32 \mu\text{m}$
Zn	135 - 365	4250 - 6200
As	33 - 64	695 - 770
Cr	125 - 225	515 - 570
Cu	265 - 330	1760 - 1140
Cd	4,0 - 7,0	51 - 89
Mn	235 - 630	2420 - 1930
Se	59 - 110	3160 - 8730

Dodatkowe wzrosty stężeń związków germanu w popiołach lotnych gwarantuje stosowanie zawrotu popiołów lotnych do komory paleniskowej [15, 31, 32], m.in. z tytułu ich resublimacji.

Jest oczywistym, że wymieniane warunki wzbogacania i ostatecznej zawartości związków germanu w wybranych frakcjach popiołu zależą będą w dużym stopniu od zawartości germanu w spalonym węglu. Czym wyższe zawartości germanu w węglu, tym większe możliwości uzyskania bogatych koncentratów germanowych. Uzyskanie węgla bogatych w german jest możliwe na drodze wyboru najbogatszych węgla lub ich wzbogacania. Fakt, że podstawowa masa związków germanu związana jest z częścią organiczną węgla [9, 15, 33, 34], świadczy o możliwościach takiego wzbogacania węgla. Najbogatsze popiołowe koncentraty germanowe można uzyskać spalając wyselekcjonowane węgle wysoko germanowe w paleniskach fluidalnych, rusztowych lub cyklonowych oraz stosując wielostopniowy układ oczyszczania spalin, uzupełniamy filtrami tkaninowymi.

W Angrenie (Uzbekistan - ZSRR) uruchomiono zakład produkcji tlenku germanu z popiołów lotnych [35] wydzielonych w elektrowni opalanej węglem o zawartości popiołu 55%. Technologia produkcji tlenku germanu polega na topieniu popiołów w piecach elektrycznych i wychwytywaniu na filtrach tkaninowych kondensujących z gazów tlenków metali (głównie germanu). Wartość uzyskiwanego tlenku germanu jest kilkakrotnie większa niż wartość samego węgla.

4.5. Koncentraty uranu

W ostatnich latach nastąpiło uaktywnienie badań i zwiększenie zainteresowania popiołami, jako źródło związków uranu, ze względu na dy-

namiczny rozwój energetyki jądrowej i prognozowane trudności (faktyczne i pozorowane) uzyskania taniego paliwa jądrowego.

Na możliwość wykorzystania popiołów do produkcji uranu zwrócono uwagę już w czasie pierwszej konferencji pokojowego wykorzystania energii jądrowej (Jugosławia 1955).

Z badań hiszpańskich [36] wynika, że w przypadku węgla brunatnego z kopalni Calof (Barcelona) aż 98,40% związków uranu znajduje się w mineralnej części paliwa, a pozostała ilość przypada na część organiczną. Zawartość popiołu w węglu wynosiła 28,55%, a uranu 161,2 $\mu\text{g/g}$.

Interesujące są również informacje z RFN, gdzie wykryto "żyłę" węgla uranonośnego zawierająca 1,33% uranu. W wyniku spalania węgla w piecu mufowym w temperaturze 1050°C, otrzymany popiół zawierał 5,6% U, głównie w postaci $\text{Ca}_2\text{U}_2\text{O}_7$. W omawianym pokładzie oceniano, że zawartość U_3O_8 wynosi 5,6 Mg.

5. Wnioski

Ze względu na masowe występowanie i prognozowany dalszy rozwój energetyki na bazie węgla, popioły lotne powinny być w większym stopniu wykorzystywane do produkcji koncentratów metali.

Dla zabezpieczenia racjonalnego wykorzystania surowców, popioły metalonośne powinny być selektywnie składowane by mogły stać się surowcami przyszłości.

Literatura

1. Livrasion de combustibles solides pour la production d'electricite. sinst que pour la production combinee electricite chaleur en 1980. Comite de l'Energie Electrique. Geneve 1982.
2. Hycnar J., Sostajanie i perspektywy ispolzowania zoły i szlaków TES w narodnom chazajajstwie stran. Dokład. Zasedanie specjalistów. Sekcja 2 po Tieplowym Elektrostancjom. Moskwa, Nojabr 1982.
3. Morrison R.E., Power plant ash - a new mineral resource. Proceedings 4th International Ash Utilization Symposium St. Louis March 24-25, 1976.
4. Morton W.E., Direct reduction of fly ash into ferro-silicon. *ibid.* 3.
5. Wright J.H., Roffman H.K., Coal ash - a potential mineral source. Proc. Inst. Environ. Sci., 1976. 22 nd Annu. Techn. Meet. Environ. 76 Philadelphia Pa 1976.
6. Imnich Ch., Metal recovery from coal ash to defray costs of mined

- land reclamation. Spec. Distrib. Publ. Sae Geol. Surv. Univ. Kans. 1972, nr 62.
7. Harnby N a.o., Mineral recovery from coal conversion solid waste. ASH TECH 84. London 1984.
 8. Diemidow E.G., Panin W.I., O niektórych putjach ispolzowania zoły twierdowo topliwa. *Chimija Twierdowo Topliwa* 1974, nr 3.
 9. Judowicz Ja.E., *Geochimija iskopajemych uglej*. Nauka. Leningrad 1978.
 10. Romanow E.G. i dr., *Tiechnologija kompleksnoj pierierabotki mineralnoj czasti energetycznych uglej na glinoziem, ciemient i ferrosiliej. Mało i bezotchod. tiechnoż. w energ. kak sriedstwa zaszczyty okruz. sriedy i powysz. effekt. topliwoispolz. Materiały Wsies. sowieszcz Moskwa 1984, Cz. 1. 1985, 115-121.*
 11. Wołodawskij I.Ch. i dr, *Raspriedielenije niekotorych riedkich i owietnych metalażkow pri szigani uglej*. *Chimija Twierdowo Topliwa* Nr 2, 1968.
 12. AN SSSR, *Issliedowanije form swjazi germanija s uglem jego powiedienija pri piroliziej i szigani*. Nauka. Nowosibirsk 1972.
 13. Hycnar J., Musialik H., *Badanie możliwości otrzymania z odpadów paleniskowych koncentratów bogatych w pierwiastki rzadkie*. *Prace FPTE* Nr 2.7.9. Cz. I i II, ZEOPd K-ce 1968, 1969.
 14. Krejczirzik L., *Ispolzowanije twiordych otchodow elektrostancji dla metalażgiczkieskich cielej*. VII World Power.
 15. Hycnar J., Osadnik Z., i inni, *Opracowanie kryteriów techniczno-ekonomicznych stosowania popiołów jako surowców koncentratów metali*. *Sprawozdanie z I etapu badań PR-8.2.4.5.1.a2*. PZOEl, Katowice 1982.
 16. Morse J.G., *Potentials for trace element removal from coal flyash*. *Miner. and Energy Resour.* 1980, no 5.
 17. Zięba St., *Surowce wtórne do nawożenia gleb PWRiL*, Warszawa 1982.
 18. Baroszek B., Ptasieński Z., Wróblewski J., Brühl L., *Urządzenia do separacji magnetycznej materiałów sypkich*. Patent Nr 48609.
 19. Kopański F., *Oddzielanie tlenków żelaza z popiołów lotnych*. *Praca zbiorowa; Popioły lotne*. OITEB. Warszawa 1965.
 20. Ptasieński Z., *Zasady działania oraz charakterystyka separatora płytowego*. *Biul. Post. Techn. - Ekon. i Wynalazczości Pracowniczej Zj. En. Seria Ciepłno, Mechniaczna* Nr 3/4, 1966.
 21. Kochański B. i inni, *Badania i prace nad doskonaleniem metod i technologii separacji pyłu magnetytowego i innych surowców wtórnych z popiołów lotnych*, FPTE 154-01, Etap I do V ZDUOE Katowice 1971-1975.
 22. Noone J.M., *Mineral extraction from fly ash*. Second International Conference on Ash Technology and Marketing. Barbican Centre.

London, September 16th - 21st 1981.

23. Kruger R.A., Verbaan B., Cornell D., Economical utilisation of pulverrised fuel ash - recovery of minerals ibid 22.
24. Połuczienije czuguna dla otliek s ispolzowaniem metalliczeskoi frakcii energetycznych szałaków. AN USSR. Institut Problem Litja. Kijew 1981.
25. Grzymek J., Odzyskiwanie tlenku glinu przy produkcji klinkieru portlandzkiego z popiołów lotnych. Praca zbiorowa; Popioły lotne OITEB. Warszawa 1965.
26. Grzymek J., Metoda spiekowo-rozpadowa wytwarzania tlenku glinu i cementu portlandzkiego z żupków z Nowej Rudy i z pyków dymnicowych względnie ilów turoszowskich. Ogólnokrajowa konferencja. Turosszów 1971.
27. Kosacka E., Rajczyk K., Metoda spiekowo-rozpadowa. J. Grzymka wytwarzanie tlenków glinu i cementu z surowców krajowych. Przegląd Geologiczny Nr 5, 1974.
28. Kawocki W., Perspektywy wykorzystania popiołu turosszowskiego do produkcji tlenku glinowego metodą kwaśną. Ogólnokrajowa konferencja. Turosszów 1971.
29. Porowski J., Perspektywy obniżki kosztów inwestycyjnych oraz kosztów eksploatacyjnych przy zastosowaniu popiołu turosszowskiego zamiast gliny do produkcji hutniczego tlenku glinowego metodą kwaśną. Ogólnokrajowa Konferencja. Turosszów 1971.
30. Smith R.D., Campbell J.A., Felix W.D., Atmospheric trace element pollutants from coal combustion. Mining Engineering 1980 November.
31. Hycnar J., Popioły lotne źródłem koncentratów metali. VII Konferencja Naukowo-Techniczna, Wisła 81 na temat; Badania naukowe w nowoczesnej technologii - surowce wtórne metali nieżelaznych. SITPH - Pol. Śl., Komisja Utylizacji Odpadów PAN Oddział Katowice. Wisła 18-20.11.1981.
32. Keinhorst H., Schwermetallemissionen aus Steinkohlenstaubfuuerungen mit Flu ssigem Ascheabzug und Staubrückführung Staub - Reinhalt, Luft 1981, nr 1.
33. Ratyński W.M., Genezis germaniewowo sojedienienija i racionalnyje sposoby sziganije germanienosnych uglej. Chimija Twiordowo Topliwa 1977, Nr 2.
34. Titowiec G.I., Opritow W.W., O charakterie swjazi giermanija s organiczeskiej massoj burowo uгля. Chimija Twierdowa Topliwa 1970, Nr 1.
35. German z odpadów. PAP. Nauka i Technika. Serwis Zagraniczny Nr 1186 -1187, 21-28.1.83.

36. Andre's J.M., Romeró C., Gavilen J.M., Analisis y extraccion de Uranic de un lignito espanol. Afinidad 1981, No 378.

ABSTRACT

Hycnar J., 1987. Methods of obtaining metal concentrates from fly ashes.. Physicochem. Probl. Miner. Process., 19. 243-257 (polish text).

Power station fly ashes are carriers of such metals as Al, Fe, Ca, K, Mg, Na, Ti, Mn, V, Zn, Cr, Cu, As, Se, Pb, Ni, Cd, Ge and others. The proper selection of coal, its burning conditions and application of adequate dedusting procedure along with appropriate separation technique may provide rich metal concentrates from fly ashes. The proper selection of coal and burning conditions, and the application of adequate dedusting and precipitation fly-ash designs provide conditions for obtaining maximal metal fractions from fly ashes. The metal concentrates of fly ashes are obtained by using simple selection processes, enrichments, deep fly-ash recasting and energy technologies. Fly ashes are used as sources of aluminium concentrates (USSR, POL), iron concentrates (POL, CAN, GDR), calcium concentrates (USSR, GDR, POL), and germanium concentrates (UK, CSSR). In many countries intensive studies are being carried out to develop an economical method of producing aluminium from fly ashes.

СОДЕРЖАНИЕ

А. Хичнар, 1987. Методы выделения концентратов металлов из летучей золы. Физикохимические вопросы обогащения, 19; 243-257.

Летучая зола является носителем металлов, количество которых колеблется в пределах 23-30% мас. В золе содержатся м.пр. соединения алюминия, железа, кальция, калия, магния, натрия, титана, марганца, ванадия, цинка, хрома, меди, мышьяка, селена, свинца, никеля, кадмия, германия и др. В процессе сжигания углей происходит рост концентрации некоторых элементов в летучей золе.

Посредством подбора угля, условий его сжигания, а также применения соответствующих установок удаления пыли и золы, образуются условия для выделения зольных фракций самых богатых в металлы. Концентраты металлов из летучей золы получают посредством применения прямой селекции, обогаще-

ния, энерготехнологических процессов и глубокой переработки летучей зола. Летучая зола применяется в качестве источника концентрата алюминия /СССР, ПНР/, железа /ПНР, Канада, ГДР/, кальция /СССР, ГДР, ПНР/ и германия /Англия, ЧССР/. Во многих странах ведутся интенсивные исследования в области разработки экономичных методов производства алюминия из зола.