

TADEUSZ KAPUŚCIŃSKI*, EWA STRZAŁKOWSKA**

Ługowalność pierwiastków podstawowych i śladowych z odpadów paleniskowych lokowanych w wyrobiskach górniczych

Słowa kluczowe

Odpady paleniskowe, popiół lotny, żużel, pierwiastki śladowe, ługowalność

Streszczenie

W ramach pracy przedstawiono rezultaty badań ługowalności pierwiastków toksycznych z odpadów paleniskowych (popiołów i żużli) przy zastosowaniu wody destylowanej i odpowiednio dobranych kwasów organicznych, według zmodyfikowanej metody autorstwa Tessiera, stosowanej przy oznaczaniu mobilności pierwiastków toksycznych z odpadów sanitarnych. Adaptując opracowaną przez autorów technikę ługowania odpadów komunalnych do odpadów paleniskowych uzyskano wstępne informacje dotyczące trwałości badanych faz odpadów w środowisku występowania kwasów organicznych.

Wprowadzenie

Z dotychczasowych badań dotyczących występowania pierwiastków toksycznych w popiołach wynika, że większość tych pierwiastków koncentruje się w strukturach stabilnych faz glinokrzemianowych (Strzałkowska 2004) nie ulegających lub ulegających w niewielkim stopniu wyługowaniu w wodzie i tym samym nie stanowiących zagrożenia dla wód gruntowych. Stabilność glinokrzemianów związana jest ogólnie z małą mobilnością jonów glinu, nie przechodzących do roztworu nawet przy zastosowaniu silnych kwasów nieorganicznych.

* Prof. dr hab. inż., Instytut Materiałów Ogniotrwałych, Gliwice.

** Dr inż., Instytut Geologii Stosowanej Politechniki Śląskiej, Gliwice.

Recenzował prof. dr hab. inż. Wiesław Gabzdyl

Natomiast w środowisku występowania kwasów organicznych dochodzi w przyrodzie do ługowania z glinokrzemianów glinu, poprzez utworzenie rozpuszczalnych w wodzie kompleksowych połączeń chemicznych, glinowo-organicznych.

Ze względu na możliwość występowania w obrębie wyrobiska zmian pH roztworów wodnych, sprzyjających wydzieleniu kwasów humusowych, może dojść do zwiększenia mobilności zawartego w glinokrzemianach glinu, a tym samym częściowego wylugowania pierwiastków toksycznych.

Większa koncentracja kwasów organicznych charakterystyczna dla środowiska karbońskiego związana jest z utlenieniem węgla (Stoch 1974) oraz huminizacją zawartej w węglu substancji organicznej. W porównaniu z kwasami nieorganicznymi (np. HNO_3), kwasy organiczne, szczególnie te o małych drobinach (kwas octowy, mrówkowy, szczawiowy, masłowy), są bardziej agresywne, tworząc z niektórymi metalami rozpuszczalne w wodzie związki kompleksowe (chelatowe).

Po raz pierwszy ocena mobilności metali ciężkich w środowisku występowania kwasów organicznych przeprowadzona została dla zawierających metale ciężkie odpadów komunalnych (Tessier, Campbell, Bisson 1979). Poprzez dobór roztworów ługujących o składzie chemicznym zbliżonym do wzbogaconych w kwasy organiczne gleb, dokonano oceny stopnia ługowalności metali ciężkich z odpadów przeznaczonych do nawożenia. Adaptując opracowaną przez autorów technikę ługowania odpadów komunalnych do odpadów paleniskowych, uzyskano wstępne informacje dotyczące trwałości badanych faz odpadów w środowisku występowania kwasów organicznych.

1. Zakres i metodyka badań

Badaniom poddano próbki odpadów paleniskowych powstałych w Elektrowni Łaziska.

Próbki popiołów zostały odseparowane w elektrofiltrze przy technologii odsiarczania na mokro i w filtrach workowych przy półsuchej metodzie odsiarczania. Próbki żużli pobierano z leja żużlowego. Pobrane próbki przygotowano do badań zgodnie z wytycznymi zawartymi w normie PN-90/G04502.

Sformułowany we wstępie cel niniejszej pracy implikował jej zakres, na który złożyły się badania:

- wymywalności z odpadów jonów podstawowych, tj: Ca, Mg, Cl, SO_4 , i wybranych pierwiastków śladowych, tj: As, Cd, Pb, Zn, Cr i Cu przy zastosowaniu wody destylowanej zgodnie z Zarządzeniem nr 78 Głównego Inspektora Ochrony Środowiska. Zawartość pierwiastków śladowych oznaczono metodą atomowej spektrometrii absorpcyjnej w wariacie pieca grafitowego AVANTA GM firmy GBC oraz
- wymywalności z odpadów wybranych pierwiastków podstawowych i śladowych przy zastosowaniu odpowiednio dobranych kwasów organicznych według zmodyfikowanej metody autorstwa Tessiera, stosowanej przy oznaczaniu mobilności pierwiastków toksycznych z odpadów sanitarnych (Tessier, Campbell, Bisson 1979).

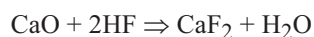
2. Wyniki badań

Dla określenia mobilności jonów podstawowych i pierwiastków śladowych ługowanych z odpadów wykonano dwie serie badań, przy wykorzystaniu jako płynów ługujących: wody destylowanej i roztworów kwasów organicznych z połączeniami chelatowymi.

2.1. Test wymywalności w wodzie destylowanej

Badaniami objęto 10 uśrednionych próbek popiołów i 10 uśrednionych próbek żużli pochodzących z różnych działających w Elektrowni instalacji odsiarczania spalin technologią mokrą i półsuchą. Wyniki wymywalności wybranych kationów i anionów z odpadów paleniskowych przedstawiono w tabelach 1 i 2. Jak wynika z danych pomiarowych, wymywalność w wodzie destylowanej kationów i anionów z badanych odpadów we wszystkich próbkach nie przekraczała stężeń dopuszczalnych (Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 5.11.1991). Normę przekroczył jedynie wskaźnik pH, w większości badanych popiołów alkaliczny, w przedziale 8—11. Taka alkaliczność ekstraktów spowodowana jest łatwym ługowaniem jonów wapniowych (Bahranowski i in.1999), szczególnie w popiołach z instalacji odsiarczania spalin technologią półsuchą (184,4—440,8mg/dm³), w ścisłej korelacji z zawartością w wyciągu anionów HCO₃⁻ (24,3—825mg/dm³).

Zawartość siarczanów w eluacie wodnym jest niewielka, dla popiołów lotnych z instalacji odsiarczania spalin technologią półsuchą średnio 108,98mg/dm³, a dla popiołów z instalacji odsiarczania spalin technologią mokrą średnio 157,3 mg/dm³. Niższą wymywalność siarczanów z popiołów pierwszej instalacji, mimo iż zawartość siarki całkowitej była w nich wyższa, należałoby tłumaczyć trudną rozpuszczalnością obecnych w nich siarczanów wapnia (Jaroń-Kocot 2002). Podwyższona zawartość chlorków, dochodząca nawet do 406 mg/dm³ (próbka P-5) w ekstraktach popiołów z produktami odsiarczania, ma związek prawdopodobnie z technologią powstawania tych odpadów. Użyte jako sorbent, w metodzie półsuchej wapno jest hydratyzowane wodą, która może być nośnikiem chlorków, ponadto wraz z procesem odsiarczania mogą przebiegać reakcje wiązania jonów chloru i fluoru (Tomeczek 1992):



Śladowa, na granicy oznaczalności zawartość kationów metali ciężkich w ekstraktach świadczy o tym, iż tworzą one przy tak dużym pH roztworu formy nierozpuszczalne lub trudno rozpuszczalne w wodzie (Dębowski, Krysik 1994; Girczys, Skrzypczyk, Dąbrowicz 2003).

TABELA 1

Wymywalność jonów podstawowych i pierwiastków śladowych z odpadów
(instalacja odsiarczania spalin technologią półsuchą)

TABLE 1

Elution of basic ions and trace elements from wastes
(system of fumes desulphurization by the use of semi-dry technology)

Oznaczony składnik Numer próbki	Popioły							Żuźle		
	P-2	P-3	P-4	P-5	P-9	P-10	P-11	Ż-3	Ż-4	Ż-9
Mineralizacja [mg/dm ³]	1500	1098	1216	1582	876	974	866	356	296	228
Twardość węglanowa [°n]	38	22,3	27,6	27,5	13,5	20,2	1,1	2,8	2,8	3,4
[mval/dm ³]	13,56	7,9	9,8	9,8	4,8	7,2	0,4	1	1	1,2
Twardość ogólna [°n]	61,7	39,3	49,4	56,2	29,2	30,3	33,6	11,2	9	6,7
[mval/dm ³]	22	14	17,6	20	10,4	10,8	12	4	3,2	2,4
Twardość wapniowa [°n]	61,7	39,3	49,4	56,1	25,8	30,3	30,3	6,7	6,7	4,5
[mval/dm ³]	22	14	17,6	20	9,2	10,8	10,8	2,4	2,4	1,6
Twardość magnezowa [°n]	0	0	0	0	3,4	0	3,4	4,5	2,2	2,3
[mval/dm ³]					1,2		1,2	1,6	0,8	0,8
Cl ⁻ [mg/dm ³]	227,2	215,6	213	406	170,4	227,2	184,6	56,8	53,8	24,8
[mval/dm ³]	6,4	6,1	6	11,4	4,8	6,4	5,2	1,6	1,5	0,7
SO ₄ ²⁻ [mg/dm ³]	31,3	72,98	57,6	110,2	134,9	18,9	337	108,5	100,6	68,2
[mval/dm ³]	0,6	1,5	1,2	2,3	2,8	0,4	7	2,3	2,1	1,4
HCO ₃ ⁻ [mg/dm ³]	825	483,9	598	596,1	292,1	438	24,3	60,4	60,9	73
[mval/dm ³]	13,5	7,9	9,7	9,7	4,8	7,2	0,4	1	1	1,2
Ca ²⁺ [mg/dm ³]	440,8	280,6	352,7	400,8	184,4	216,4	216,4	48,1	48,1	32,1
[mval/dm ³]	22	14	17,6	20	9,2	10,8	10,8	2,4	2,4	1,6
Mg ⁺ [mg/dm ³]	0	0	0	0	14,6	0	14,6	19,4	9,7	9,7
[mval/dm ³]					1,2		1,2	1,6	0,8	0,8
Na+K [mg/dm ³]	6,8	45,3	4,5	65,8	61,4	54,5	9,4	20,7	22,2	18,6
[mval/dm ³]	0,3	1,9	0,2	2,9	2,7	2,4	0,4	0,9	1	0,8
As [mg/dm ³]	0,159	0,219	0,163	0,138	0,16	0,116	0,163	0,113	0,296	0,166
Cd [mg/dm ³]	0,002	0,001	0,002	0,004	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001	0,002
Cr [mg/dm ³]	0,291	0,353	0,358	0,397	0,423	0,355	0,423	0,225	0,064	0,061
Pb [mg/dm ³]	0,04	0,04	0,057	0,075	0,038	0,045	0,06	0,052	0,051	0,041
Zn [mg/dm ³]	0,171	0,067	0,241	0,055	0,02	0,06	0,114	0,133	0,199	0,211
Cu [mg/dm ³]	0,016	0,088	0,034	0,07	0,025	0,013	0,013	0,027	0,031	0,03
pH	11,25	11,14	11,9	11,28	11,3	11,38	8,74	8,04	8,7	8,14

TABELA 2

Wymywalność jonów podstawowych i pierwiastków śladowych z odpadów
(instalacja odsiarczania spalin technologią na mokro)

TABLE 2

Elution of basic ions and trace elements from wastes
(system of fumes desulphurization by the use of wet technology)

Oznaczony składnik Numer próbki	Popioły							Żuźle		
	P-2'	P-3'	P-4'	P-5'	P-9'	P-10'	P-11'	Ż-3'	Ż-4'	Ż-9'
Mineralizacja [mg/dm ³]	310	290	470	574	444	442	444	412	364	338
Twardość węglanowa [°n]	2	5,2	3,9	8,2	6,2	3,4	2,8	4,5	4,5	5,6
[mval/dm ³]	0,7	1,9	1,4	2,9	2,2	1,2	1	1,6	1,6	2
Twardość ogólna [°n]	11,2	9	15,7	19,1	13,5	13,5	15,7	12,3	11,2	12,3
[mval/dm ³]	4	3,2	5,6	6,8	4,8	4,8	5,6	4,4	3,4	4,4
Twardość wapniowa [°n]	7,9	9	14,6	19,1	13,5	13,5	14,6	6,7	5,6	9
[mval/dm ³]	2,8	3,2	5,2	6,8	4,8	4,8	5,2	2,4	2	3,2
Twardość magnezowa [°n]	3,4	0	1,12	0	0	0	1,1	5,6	5,6	3,4
[mval/dm ³]	1,2		0,4				0,4	1,2	2	1,2
Cl- [mg/dm ³]	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	14,2	42,6	56,8	35
[mval/dm ³]	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	1,2	1,6	1
SO ₄ ²⁻ [mg/dm ³]	157	92,2	21,5	221,7	170,5	210,6	227,9	164,8	115,1	86,2
[mval/dm ³]	3,3	1,9	4,4	4,6	3,6	4,4	4,7	3,4	2,4	1,8
HCO ₃ ⁻ [mg/dm ³]	42,6	91,5	85,2	177,9	133,9	73	60,8	97,4	97,4	121,7
[mval/dm ³]	0,7	1,5	1,4	2,9	2,2	1,2	1	1,6	1,6	2
Ca ²⁺ [mg/dm ³]	56,1	64,1	104,2	136,3	96,2	96,2	104,2	48,1	40,1	64,1
[mval/dm ³]	2,8	3,2	5,2	6,8	4,8	4,8	5,2	2,4	2	3,2
Mg ⁺ [mg/dm ³]	14,6	0	4,8	0	0	0	4,8	24,3	24,3	14,6
[mval/dm ³]	1,2		0,4				0,4	2	2	1,2
Na+K [mg/dm ³]	4,31	7,9	9,1	23	25,8	42,2	4,1	30,9	26,5	12,4
[mval/dm ³]	0,2	0,3	0,4	1	1,1	1,8	0,2	1,3	1,1	0,5
As [mg/dm ³]	0,279	0,093	0,36	0,161	0,132	0,11	0,117	0,104	0,182	0,168
Cd [mg/dm ³]	0,002	0,003	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,003	0,002
Cr [mg/dm ³]	0,393	0,357	0,393	0,402	0,451	0,395	0,393	0,261	0,230	0,206
Pb [mg/dm ³]	0,055	0,04	0,055	0,057	0,035	0,038	0,056	0,05	0,055	0,067
Zn [mg/dm ³]	0,103	0,096	0,224	0,023	0,048	0,183	0,045	0,104	0,179	0,145
Cu [mg/dm ³]	0,016	0,033	0,018	0,02	0,041	0,045	0,02	0,014	0,024	0,027
pH	8,44	10,8	9,32	11,22	10,64	10,45	8,21	7,89	8,36	8,03

2.2. Test wymywalności w roztworze kwasów organicznych i połączeń chelatowych

Analizą objęto uśrednione próbki popiołów pochodzące z dwóch działających w Elektrowni instalacji odsiarczania spalin technologią mokrą i półsuchą oraz uśrednioną próbkę żużla paleniskowego.

Ekstrakcja I

Roztwór ługujący — 1M roztwór octanu sodu (NaOAc)¹ pH 8,2.

Preparatyka : 3g z każdej ługowanej próbki, stale mieszając przez 6 godz. w temperaturze pokojowej.

Wyniki ługowalności pierwiastków (ekstrakcja I)

TABELA 3

The results of extraction of elements (extraction I)

TABLE 3

Wyługowany składnik	Popiół lotny z produktami odsiarczania	Popiół lotny bez produktów odsiarczania	Żużel paleniskowy
	[mg/dm ³]		
Si	40,61	29,89	13,49
Ca	339,51	49,68	21,27
V	22,62	24,85	23,64

Metale ciężkie w śladowych ilościach na granicy oznaczalności.

Ekstrakcja II

Roztwór ługujący — 1M roztwór octanu sodu / NaOAc/ zakwaszony kwasem octowym /HOAc/ pH – 5,0.

Preparatyka: 3g z każdej ługowanej próbki, stale mieszając przez 6 godz. w temperaturze pokojowej.

Wyniki ługowalności pierwiastków (ekstrakcja II)

TABELA 4

The results of extraction of elements (extraction II)

TABLE 4

Wyługowany składnik	Popiół lotny z produktami odsiarczania	Popiół lotny bez produktów odsiarczania	Żużel paleniskowy
	[mg/dm ³]		
Ca	670,51	98,6	42,3
Mn	270,0	45,04	36,2

Metale ciężkie w śladowych ilościach na granicy oznaczalności.

¹ Ac — (CH₃COO).

Eksrakcja III

Roztwór ługujący : 0,04M NH₂OH HCl w roztworze 25% kwasu octowego (HOAc)

Preparatyka: 3g każdej z próbki ługowano w roztworze przez 6 godz. stale mieszając w temperaturze 96±3°C

TABELA 5

Wyniki ługowalności pierwiastków (ekstrakcja III)

TABLE 5

The results of extraction of elements (extraction III)

Wyługowany składnik	Popiół lotny z produktami odsiarczania	Popiół lotny bez produktów odsiarczania	Żużel paleniskowy
	[mg/dm ³]		
Si	120,0	125,05	180,34
Al	8,45	7,97	22,68
Fe	6,14	12,41	5,67
As	18,1	19,1	15,03
Zn	61,0	75,0	46,78
Cd	0,05	0,5	0,3
Pb	0,17	0,07	0,1
Cr	0,09	0,05	0,09
Co	0,06	0,1	0,1
Cu	1,93	0,95	1,63
V	13,12	13,15	23,52
Ni	0,61	0,42	25,11

Stosując w poszczególnych ekstrakcjach roztwory ługujące o rosnącej sile ługowania uzyskano podane wyżej wyniki. W ekstrakcji pierwszej przy pH 8,2 doszło do niewielkiego wyługowania Si w formie krzemionki SiO₂, w granicach od 28 do 87mg/dm³, prawdopodobnie wtórnej, towarzyszącej procesowi mullityzacji. Charakterystyczne jest zróżnicowane wyługowanie jonów wapnia (Ca) w granicach: od 21,27mg/dm³ z żużli, do 339,51mg/dm³ z popiołów z produktami odsiarczania i co interesujące — geochemicznie wanadu (V) w granicach 22,62—24,85mg/dm³. Ekstrakcja druga przy zastosowaniu odczynnika organicznego kwaśnego o pH 5,0 wykazała również podwyższoną w popiołach z produktami odsiarczania ługowalność jonów wapnia (Ca) aż 670,51 mg/dm³. Charakterystyczny jest niski stopień wyługowania wapnia (Ca) z żużla paleniskowego, który koncentrował się głównie w popiołach. Na uwagę zasługuje obecność wyługowanego Mn²⁺ zwykle związanego geochemicznie z Fe²⁺, którego w wyciągu brak. Wskazuje to na niską wartość Eh (potencjału oksydacyjno-redukcyjnego) w czasie spalania węgla w kotłach paleniskowych.

Ekstrakcja III doprowadziła do wyługowania obok żelaza niewielkiej ilości glinu w granicach od 7,97 do 22,68 mg/dm³ w żuźlu paleniskowym, przy równoczesnym wyługowaniu krzemionki. Równocześnie doszło do zwiększonej ekstrakcji pierwiastków śladowych, szczególnie Zn (46,78—75 mg/dm³), As (15,03—19,1 mg/dm³), V (13,12—23,5 mg/dm³), Ni (0,42—25,1 mg/dm³) i Cu (0,95—1,93 mg/dm³).

Uzyskane wyniki ługowalności odniesiono do wykonanej w tych samych warunkach ekstrakcji surowego kaolinu pochodzącego ze złoża Sedlec. W założeniu przeprowadzonych porównawczych badań chodziło o wykazanie wpływu przemian termicznych i strukturalnych zachodzących w zawartej w węglu pierwotnej substancji ilastej (kaolinito-illitowej) na stopień jej ługowalności.

TABELA 6

Porównanie ługowalności pierwiastków z kaolinu surowego (Sedlec) i odpadów

TABLE 6

The comparison of elements extraction from raw kaolin (Sedlec) and wastes

Wyługowany składnik	Kaolin	Popiół lotny z produktami odsiarczania	Popiół lotny bez produktów odsiarczania	Żużel paleniskowy
	[mg/dm ³]			
Fe	23,56	6,14	12,41	5,67
Al	1,79	8,45	7,97	22,68

W przypadku kaolinu surowego ługowalność glinu wynosiła 1,79 mg/dm³. Porównując powyższą wartość z wynikami ługowalności tego pierwiastka z odpadów, jest ona dla popiołów prawie 4-krotnie (7,79 i 8,45 mg/dm³), a dla żużli nawet 10-krotnie wyższa (22,68 mg/dm³). Taka podwyższona ługowalność glinu (Al) może wskazywać na częściowe naruszenie struktury glinokrzemianowej. Zawartość żelaza (Fe) uległa natomiast wyraźnemu zmniejszeniu, co należałoby wiązać z przejściem tego pierwiastka w bardziej odporne na ługowanie formy spinelowe. Wyniki potwierdzają założoną wstępnie tezę o istotnym wpływie termicznie zmienionej struktury odpadów paleniskowych na ich stopień ługowalności pod wpływem kwasów organicznych. Widoczne to jest szczególnie w żużlach paleniskowych, w których stopień uporządkowania struktury jest zwykle mniejszy.

Wnioski

1. Wymywalność z odpadów jonów podstawowych przy wykorzystaniu jako medium wody destylowanej nie przekracza stężeń dopuszczalnych, zależna jest jednak od składu chemicznego i fazowego, a tym samym pochodzenia badanych odpadów oraz pH ekstraktów wodnych.

2. Podwyższona alkaliczność ekstraktów popiołów z produktami odsiarczania ma związek z łatwym ługowaniem jonów wapnia z tych odpadów.
3. Zwiększona zawartość chlorków w eluatach popiołów z produktami odsiarczania może wskazywać na równoległy do procesu odsiarczania przebieg reakcji wiązania jonów chloru.
4. Zawartość kationów metali ciężkich w ekstraktach wodnych jest śladowa na granicy oznaczalności; świadczy to o tym, iż tworzą one przy tak dużym pH roztworu formy nierozpuszczalne lub trudno rozpuszczalne w wodzie. Należy jednak pamiętać o tym, że standardowy wyciąg wodny zupełnie pomija problematykę kinetyki odpadów (niektóre odpady dopiero po pewnym czasie lub w specyficznych warunkach uwalniają substancje toksyczne).
5. Przeprowadzone próby ługowania, przy zastosowaniu charakterystycznych dla środowiska karbońskiego kwasów organicznych i połączeń chelatowych (organiczno-metalicznych), wykazały agresywne oddziaływanie tych roztworów na strukturę odpadów. Poprzez wyługowanie glinu i krzemionki z matrycy glinokrzemianowej doszło do naruszenia jej struktury i uwolnienia niektórych pierwiastków toksycznych (Cr, Ni, V, Zn, As). Wyniki stanowią otwarcie dla odrębnych, uściślonych badań — tym bardziej uzasadnionych, że dotyczyć mogą odpadów z innych elektrowni, z uwagi na zbliżoną strukturę i skład fazowy.
6. Mała ługowalność glinu z kaolinu surowego w porównaniu do odpadów paleniskowych potwierdza założoną wstępnie tezę o istotnym wpływie przeobrażeń termicznych na zmniejszenie trwałości poszczególnych faz odpadu.

LITERATURA

- Bahranowski K., Górniak K., Ratajczak T., Sikora W., Szydłak T., Wyszomirski P., 1999 — Wymywalność niektórych pierwiastków głównych i śladowych z zawiesiny wodnej popiołów lotnych. *Polskie Towarzystwo Mineralogiczne — Prace Specjalne z. 13*, s. 35—41.
- Dębowski Z., Krysiak M., 1994 — Badania nad wymywalnością związków chemicznych z odpadów stałych używanych do podsadzki hydraulicznej. *Prace Naukowe GIG, Katowice*, s. 3—7.
- Girczys J., Skrzypczyk H., Dąbrowicz W., 2003 — Sposób składowania odpadów niebezpiecznych zawierających metale ciężkie. Patent nr 186256B.
- Jaroń-Kocot M., 2002 — Oddziaływanie odpadów drobnociarnistych na środowisko wodne kopalni. *Przegląd Górniczy* nr 6.
- Rozporządzenie Ministra Ochrony Środowiska, Zasobów Naturalnych i Leśnictwa z dnia 5.11.1991r. *Dziennik Ustaw* z dnia 16 grudnia 1991.
- Stoch L., 1974 — *Minerały ilaste*. Wyd. Geol., Warszawa.
- Strzałkowska E., 2004 — Wpływ technologii spalania węgla z odsiarczaniem spalin stosowanych w Elektrowni „Łaziska” na właściwości powstających żużli i popiołów w aspekcie ich oddziaływania na środowisko. Praca doktorska, niepubl. Politechnika Śląska, Gliwice.
- Tessier A., Campbell P.G.C., Bisson M., 1979 — Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Analytical Chemistry*, vol. 51, no. 7.
- Tomeczek J., 1992 — Spalanie węgla. Skrypty Uczelniane Nr 1667, Politechnika Śląska Gliwice.

EXTRACTION OF BASIC AND TRACE ELEMENTS FROM COMBUSTION WASTES LOCATED IN MINING EXCAVATIONS

Key words

Combustion wastes, fly ash, slag, trace elements, extraction

Abstract

The paper shows the examination results of extraction of toxic elements from combustion wastes (ashes and slag) with the application of distilled water and well-matched organic acids according to modified Tessier's method applied in marking the mobility of toxic elements from sanitary wastes. The technique of municipal wastes extraction from combustion wastes worked out by Authors helped to obtain the basic information concerning durability of examined wastes phases in the environment of organic acids occurring.