

Beata CWALINA*

Paweł NOGAJ*

Andrzej GOŁEK*

Lucyna BUŁAŚ*

BIOEKSTRAKCCJA METALI Z PIRYTÓW WĘGLOWYCH W DUŻEJ SKALI LABORATORYJNEJ

Badano efektywność chemicznej i bakteryjnej ekstrakcji metali z piritów węglowych w dużej skali laboratoryjnej, w warunkach ciągłej cyrkulacji płynu ługującego (w reaktorze) oraz okresowego zraszania materiału ługowanego (w kopcu). Stwierdzono, że analizowane procesy przebiegają z większą wydajnością w warunkach ługowania w reaktorze a ich efektywność nie odbiega zasadniczo od uzyskiwanej w małej skali laboratoryjnej w optymalnych warunkach. Obecność bakterii *Thiobacillus ferrooxidans* FPI-87 powoduje 20-30 %-owy wzrost wydajności ługowania.

1. Wprowadzenie

Zainteresowanie możliwością wykorzystania metody bakteryjnego ługowania do pozyskiwania metali z ubogich rud i materiałów odpadowych oraz do odsiarczania węgla znajduje odzwierciedlenie w obszernej literaturze światowej (Karawajko i wsp., 1972; Dugan i Apel, 1978; Lundgren i Silver, 1980; Lundgren i Malouf, 1983; Kargi, 1984; Dugan, 1986; Andrews i wsp., 1988; Srivastava i wsp., 1989). W przemysłowych procesach mikrobiologicznego ługowania metali z minerałów siarczkowych wykorzystywane są głównie bakterie *Thiobacillus ferrooxidans*, z uwagi na ich zdolność utleniania jonów żelazawych oraz siarki i jej związków nieorganicznych (Karawajko i wsp., 1972; Lundgren i Silver, 1980), a także ze względu na wyjątkową zdolność adaptacji do wysokich stężeń metali (Karawajko, 1985). Właściwość ta jest szczególnie istotna w przypadku ługowania rud i koncentratów zawierających znaczne ilości metali, zwłaszcza ciężkich, a tak-

* Śląska Akademia Medyczna, Katedra Biochemii i Biofizyki, 41200 Sosnowiec

że w przypadku ługowania materiałów polimetalicznych, w których ilości poszczególnych metali są wprawdzie niewielkie, ale po wyługowaniu następuje ich kumulacja w roztworze, co wywiera niekorzystny wpływ na aktywność metaboliczną drobnoustrojów. Do tego typu materiałów można zaliczyć piryty węglowe, będące jednym z bardziej uciążliwych odpadów powstających w energetyce. Ich niekorzystne oddziaływanie na środowisko wiąże się ze znaczną zawartością w nich siarki siarczkowej (do 30%), głównie w postaci pirytu FeS_2 (Cwulina, 1985; Hycnar, 1985; Twardowska, 1986; Cwulina i Farbiszewska, 1989). W rezultacie chemicznego i bakteryjnego utleniania siarczków oraz procesów ługowania innych minerałów, zachodzących samistnie w zwałowanym materiale pod działaniem czynników atmosferycznych i wielu mikroorganizmów, następuje zakwaszenie i skażenie metalami ciężkimi wód gruntowych oraz gleb (Hycnar, 1985; Twardowska, 1986; 1987). Istnieje kilka koncepcji utylizacji tych odpadów. Obejmują one zarówno działania umożliwiające zmniejszenie intensywności ich autoługowania w zwałowiskach, np. przez topienie pirytów w wodzie (Twardowska, 1986; Girczys i wsp., 1988) lub mieszanie ich z popiołami lotnymi (Girczys i wsp. 1988), jak i zmierzające do wykorzystania pirytów np. jako środka nasilającego w procesie odzysku metali kolorowych z żużli powstających w hutnictwie miedzi (Mazanek i wsp., 1979), albo też jako surowca do produkcji kwasu siarkowego i magnetytu (Hycnar, 1985).

Występowanie w omawianych odpadach oprócz siarczków żelaza także zwiększonych ilości związków innych metali, w tym metali ciężkich, sugerowało możliwość ich detoksykacji z ewentualnym równoczesnym odzyskiem zawartych w nich metali przy wykorzystaniu metody bakteryjnego ługowania. We wcześniejszych badaniach (Cwulina, 1985; Cwulina i Zawada, 1988; Cwulina i Dzierżewicz, 1989; Cwulina i Farbiszewska, 1989; Cwulina i wsp., 1989; Cwulina i wsp., 1990) wykazano możliwość bioekstrakcji metali z testowanych odpadów i ustalono warunki efektywnego przebiegu tego procesu w małej skali laboratoryjnej.

Celem niniejszej pracy była ocena efektywności ługowania odpadowych pirytów węglowych w dużej skali laboratoryjnej, przy wykorzystaniu wyników dotychczasowych badań dotyczących tak wydajności procesu, jak i mechanizmów jego przebiegu.

2. Materiały i metodyka

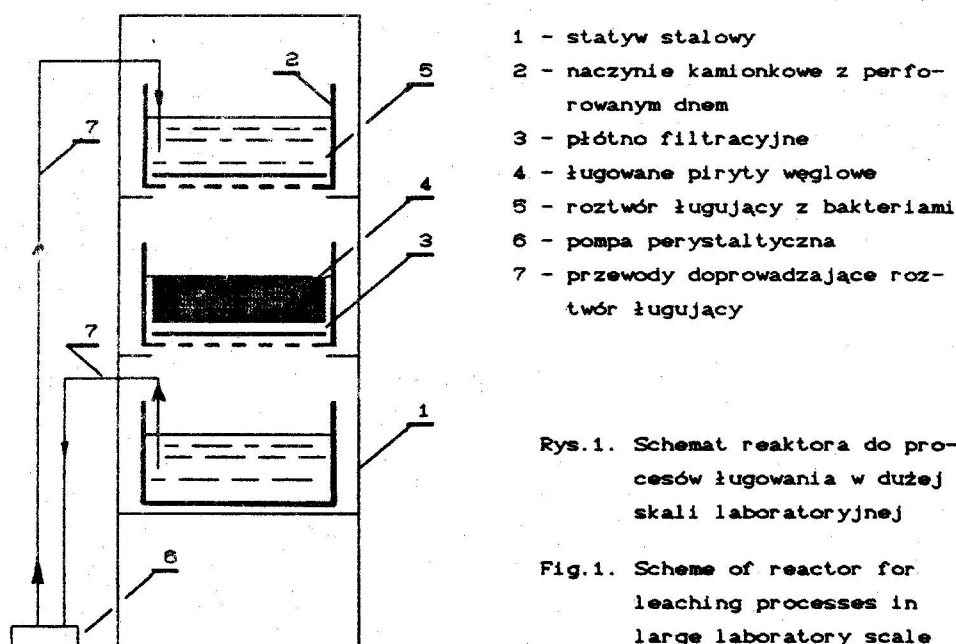
W przeprowadzonych doświadczeniach wykorzystano partię pirytów węglowych z elektrowni "Siersza" oznaczoną symbolem IIa. Ługowany materiał zawierał między innymi: 16,3% S, 14,8% Fe, 1,6% Mg, 0,03% Ni, 0,015% Pb, 0,035% Mn, 0,04% Zn, <0,01% Cu i Co. Wyniki analizy chemicznej i mineralogicznej tego materiału przedstawiono wcześniej (Cwulina i wsp., 1990).

Wielkość ziaren młynowych odpadów węglowych, w tym także pirytowych, w stanie naturalnym dochodzi do 10mm. Według Hycnara (1985), procentowy udział poszczególnych frakcji ziarnowych w odpadach pirytowych jest następujący: 9,5% ziaren w klasie <0,5 mm; 11,5% w klasie 0,5 + 1,0 mm; 17,5% w klasie 1,0 + 2,0 mm; 28,5% w klasie 2,0 + 5,0 mm i 33,0% w klasie 5,0 + 10,0 mm. Zawartość siarki pirytowej w ziarnach o wymienionym rozdrobieniu wynosi odpowiednio: 11,3; 18,4; 22,8; 27,5 oraz 22,9%. Ługowaniu poddano odpady pirytowe w stanie naturalnym. Przed rozpoczęciem procesu próbkowania materiału ługowanego suszono w suszarce (100°C) dla usunięcia wilgoci. Doświadczenia prowadzono przy wykorzystaniu autochtonicznego szczepu bakterii *T. ferrooxidans* FP1-87, wyizolowanego z pirytów węglowych (Cwalina i Farbiszewska, 1989). W etapach ługowania "chemicznego" (oznaczanego symbolem CHD) jako roztwór ługujący stosowano wodę destylowaną zakwaszoną kwasem siarkowym do pH=1,8. W etapach ługowania "bakteryjnego" (oznaczanego symbolem B) stosowano ubogi roztwór ługujący (Cwalina i wsp. 1990), który zawierał siarczan amonowy $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ (2,0g/dm³), kwaśny fosforan potasowy K_2HPO_4 (0,02g/dm³) oraz kwas siarkowy w ilości potrzebnej do uzyskania pH=1,8.

Badania przebiegu ekstrakcji metali z pirytów węglowych przeprowadzono w dwóch wariantach: jako ługowanie w reaktorze kamionkowym przedstawionym schematycznie na rysunku 1 oraz jako ługowanie w kopcu. Masa suchego materiału ługowanego wynosiła 20 kg (warstwa grubości 11cm), a objętość cyrkulującego płynu ługującego - 15 dm³, przy wydajności pompy perystaltycznej równej 5,2 dm³/h. Dla uniknięcia błędów w ocenie zawartości metali w płynach ługujących, wynikających ze strat wody, przeprowadzono wstępne zwilżenie materiału ługowanego wodą destylowaną (2,0 dm³) oraz uzupełniano ubytki spowodowane parowaniem przez dolewanie wody destylowanej do uprzednio zaznaczonego poziomu. Codziennie pobierano próbki 5 cm³ roztworu ługującego do analizy. W etapach ługowania bakteriijnego płyn ługujący szczepiono bakteriami *T. ferrooxidans* FP1-87 do uzyskania ich wyjściowej koncentracji rzędu 10⁷ komórek w 1cm³ roztworu, co wymagało wprowadzenia do roztworu ługującego objętości ok. 50cm³ hodowli zawierającej od 3·10⁹ do 4·10⁹ komórek w 1cm³. Hodowlę prowadzono w pożywce 9K wg Silvermana i Lundgrena (1959), naprzemiennie z dodatkiem lub bez dodatku sterylnych pirytów węglowych, w termostатованей (30°C) wstrząsarce laboratoryjnej typ 317. Jako inoculum wykorzystywano hodowlę bez dodatku odpadów. Przy zastosowaniu takiej procedury do płynu ługującego wprowadzano maksymalnie ok. 450mg żelaza. Jego początkowe stężenie w roztworze wynosi więc zaledwie 0,03 g/dm³ i jest bez znaczenia dla przebiegu procesu (Lundgren i Malouf, 1983).

Prowadzono po dwa 10-dniowe ługowania chemiczne umożliwiające stabilizację kwasowości układu oraz po trzy etapy, także 10-dniowe, łu-

gowania bakteriynego. Każdy wariant realizowano w dwóch seriach. Pełny cykl ługowania wynosił 50 dni. W zależności od etapu eksperymentu - co 10 dni wymieniano sam płyn ługujący lub płyn ługujący z bakteriami. Ługowanie w kopcu prowadzono przy wykorzystaniu naczynia kamionkowego identycznego jak dolny zbiornik reaktora kamionkowego. W naczyniu tym usypywano z 20 kg pirytów węglowych kopiec (stożek) wysokości ok. 30 cm, który wstępnie zraszano wodą destylowaną dla zwilżenia, a następnie płynem ługującym (wyjściowa objętość 15dm^3), w odstępach 12-godzinnych.



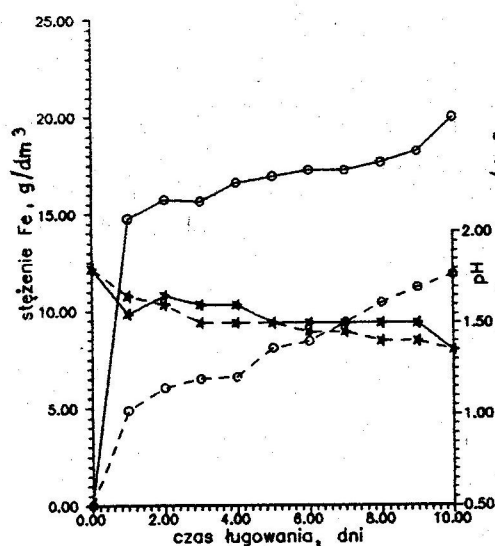
Rys.1. Schemat reaktora do procesów ługowania w dużej skali laboratoryjnej

Fig.1. Scheme of reactor for leaching processes in large laboratory scale

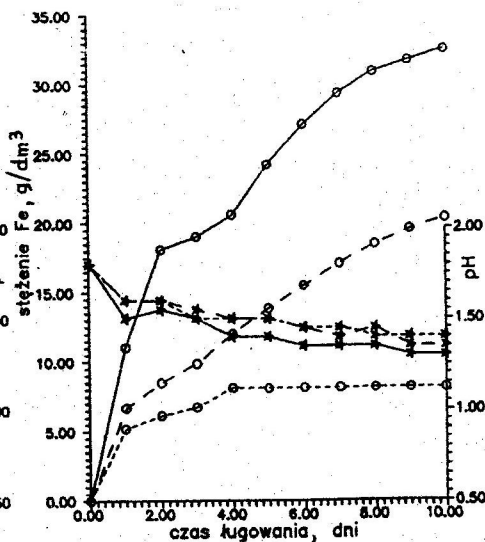
Analizę zawartości metali w roztworach ługujących wykonano przy użyciu spektrofotometru absorpcji atomowej typ AAS-3 firmy Carl Zeiss - Jena, natomiast pomiary pH wykonywano przy użyciu pH-metru typ N-517 firmy MERA-ELWRO z elektrodą kombinowaną.

3. Wyniki

Rezultaty badania przebiegu ługowania żelaza z pirytów węglowych w poszczególnych etapach procesu prowadzonego w reaktorze kamionkowym bez udziału bakterii (CH - chemicznego) lub z udziałem *T. ferrooxidans* FP1-87 (B - bakteriynego) przedstawiono na rysunkach odpowiednio 2 i 3 w postaci dynamiki zmian całkowitego stężenia jonów żelaza w roztworze ługującym oraz zmian jego kwasowości (pH).



Rys. 2. (Fig. 2)



Rys. 3. (Fig. 3)

Rys. 2 i 3. pH (*) i stężenie żelaza (o) w płynie ługującym po etapach ługowania chemicznego (— 1CH; --- 2CH; rys. 2) i bakteriijnego (— 1B; --- 2B; - - - - 3B; rys. 3).

Fig. 2 and 3. pH (*) and iron concentration (o) in the leaching medium after the chemical leaching stages (— 1CH; --- 2CH; fig. 2) and the bacterial ones (— 1B; --- 2B; - - - - 3B; fig. 3).

Wyniki badania efektywności ekstrakcji wybranych metali, tj. żelaza, kobaltu, magnezu, manganu, niklu, ołowiu, cynku, miedzi, cyny i molibdenu z testowanych odpadów w poszczególnych etapach ługowania chemicznego i bakteriijnego w reaktorze kamionkowym zamieszczono w tabeli 2. Efektywność wylugowania metali (%) obliczano przy uwzględnieniu objętości 15 dm³ roztworu ługującego. W rzeczywistości jest ona 1,13 razy większa, jednak dla celów praktycznych mogą być brane pod uwagę jedynie ilości metali znajdujące się w odciekającym roztworze ługującym.

Na rysunku 4 przedstawiono wyniki badania wydajności chemicznego i bakteriijnego ługowania metali z testowanych odpadów, prowadzonego w kopcu. Porównanie sumarycznej efektywności wylugowania metali z pirytów węglowych IIa w procesach prowadzonych w reaktorze kamionkowym i w kopcu zawarto na rysunku 5.

Tabela 2. Wyługowanie metali z pirytów węglowych IIA w poszczególnych etapach ługowania chemicznego (CH) i bakteriynego (B) w reaktorze kamionkowym

Pierwiastek	Stężenie metalu w roztworze ługującym [mg/dm ³]				
	1CH	2CH	1B	2B	3B
magnez Mg	3698,0	2143,2	1137,7	1164,2	1476,2
żelazo Fe	19973,0	11874,7	32603,7	20385,7	8143,0
mangan Mn	178,1	63,8	47,1	11,5	43,0
miedź Cu	7,3	6,0	8,0	6,7	4,1
ołów Pb	42,7	43,7	40,6	42,7	30,5
kobalt Co	14,6	4,3	16,0	10,6	2,9
nikiel Ni	60,0	60,0	66,0	51,8	39,2
cynk Zn	7,3	10,1	8,1	7,6	6,5
cyna Sn	46,9	32,5	21,2	12,6	21,8
molibden Mo	3,0	2,1	2,7	1,8	1,2

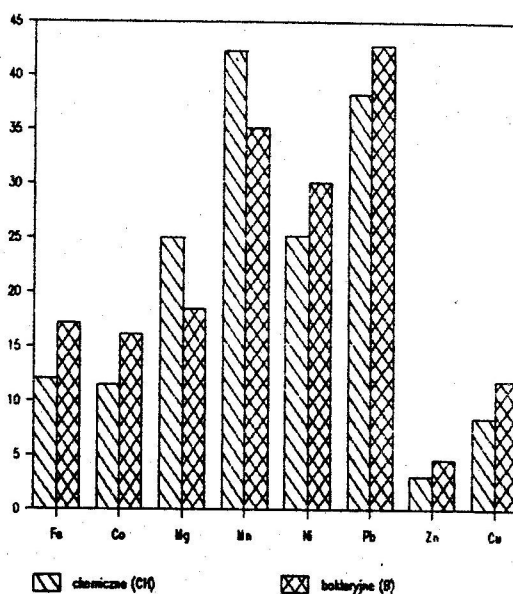
Pierwiastek	Efektywność wyługowania metalu [%]				
	1CH	2CH	1B	2B	3B
magnez Mg	17,2	10,0	5,3	5,4	6,9
żelazo Fe	10,1	6,0	16,5	10,3	4,1
mangan Mn	38,2	13,7	10,1	2,5	9,2
miedź Cu	5,5	4,5	6,0	5,0	3,1
ołów Pb	21,4	20,9	17,3	21,4	15,3
kobalt Co	11,0	3,2	12,0	8,0	2,2
nikiel Ni	15,0	15,0	17,0	12,9	9,8
cynk Zn	1,4	1,9	1,5	1,4	1,2

4. Omówienie wyników i dyskusja

W przeprowadzonych badaniach bakteriynego ługowania metali z pirytów węglowych w dużej skali laboratoryjnej wykorzystano rezultaty dotychczasowych doświadczeń w zakresie przebiegu procesu w małych układach laboratoryjnych (kolby Erlenmayera). Pierwszym etapem było przeprowadzenie stabilizacji kwasowości środowiska, dokonywane przy użyciu wody zakwaszonej kwasem siarkowym do pH=1,8 (Cwulina i wsp. 1990). Stwierdzono, że zwłaszcza w warunkach ługowania prowadzonego w zbiorniku kamionkowym już od pierwszego dnia następował intensywny proces ługowania chemicznego pod działaniem zakwaszonej wody (rys. 2). Proces kontynuowano jako pierwszy etap ługowania chemicznego (1CH), analizując zarówno zmiany stężenia żelaza w roztworze, jak i jego kwasowość (pH). Okazało się, że dalsze wyługowanie żelaza z pirytów węglowych przebiega już ze znacz-

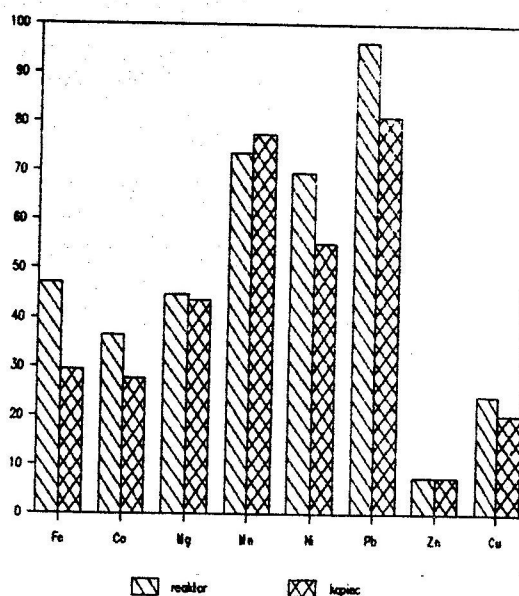
Rys. 4. Wydajność procesów chemicznego (CHD) i bakteriologicznego (B) ługowania metali z pirytów węglowych, prowadzonych w kopcu.

Fig. 4. Yield of the processes of chemical (CHD) and bacterial (B) heap leaching of metals from coal pyrites.



Rys. 5. Porównanie sumarycznej wydajności ekstrakcji metali po ługowaniu prowadzonym w reaktorze i w kopcu.

Fig. 5. Comparison of the total yield of extraction of metals after leaching carried out in the reactor and in the heap.



nie mniejszą szybkością, która praktycznie nie ulegała zmianie między 2 a 10 dniem trwania procesu. Po 10 dniach wymieniono roztwór ługujący na świeżą zakwaszoną wodę i kontynuowano proces jako drugi etap ługowania chemicznego (2CH-rys.2). Już po pierwszym dniu stwierdzono wzrost stężenia żelaza w roztworze, jednak wydajność procesu była ok. trzykrotnie niższa od obserwowanej w I etapie. Między 1 i 2 dniem szybkość procesu spadła pięciokrotnie i nie ulegała zmianie do 10 dnia, kiedy to wymieniono płyn ługujący na świeży, tym razem zaszczepiony bakteriami *T.ferrooxidans* FP1-87. Etap ten określono jako I etap ługowania bakterieryjnego (1B-rys.3). Bakterie w znacznym stopniu intensyfikowały proces ługowania, a wysoką ich aktywność obserwowano do 2 dnia trwania procesu. Po tym czasie szybkość ekstrakcji żelaza z pirytów węglowych malała, jednak i tak pozostawała większa od obserwowanej w takim samym przedziale czasowym podczas etapów ługowania chemicznego. Kolejne powtórzenia procedury wymiany płynu ługującego i bakterii powodowały każdorazowo wzrost szybkości procesu w jego początkowej fazie (1-2 dzień) i spadek w dalszych dniach jego trwania - aż do zupełnego zahamowania procesu w 4 dniu trzeciego etapu ługowania bakterieryjnego (tj. w 44 dniu trwania procesu). Taki wzrost szybkości ekstrakcji żelaza w początkowej fazie przebiegu kolejnych etapów ługowania (tak chemicznego, jak i bakterieryjnego) ciągle tego samego materiału jest intrygujący, gdyż świeże roztwory ługujące praktycznie nie zawierały żelaza. Nie wchodzi więc w grę intensyfikacja ługowania chemicznego. Z kolei przyczyną spadku szybkości procesu w kolejnych etapach ługowania nie może być jedynie postulowane często zmniejszenie się dostępności czynnika ługującego do powierzchni minerałów, ponieważ wymiana płynu ługującego powodowała za każdym razem wzrost szybkości procesu, a przecież między poszczególnymi etapami ługowania tego samego materiału w jego obrębie nie mogły zajść żadne zmiany sprzyjające intensyfikacji procesów degradacyjnych. Obserwowany wzrost szybkości ługowania pirytów węglowych w początkowej fazie każdego następnego etapu może być związany z możliwością łatwiejszego rozpuszczania się powstających soli w świeżych płynach ługujących. W miarę postępu procesu roztwory mogą ulegać nasyceniu, a nawet przesyleniu, co może hamować procesy roztwarzania materiału ługowanego. Warto odnotować, że we wszystkich analizowanych etapach następował jednakowy spadek pH roztworu ługującego: od wartości 1,8 do 1,4, niezależnie od ilości wyługowanego żelaza. Może to wskazywać na ustalenie się pewnych stanów równowagi, przy których układ staje się samobuforującym. Generalnie można stwierdzić, że procesy ługowania przebiegały z największą szybkością w czasie pierwszej doby trwania doświadczenia. W tym też czasie obserwowano największy spadek pH roztworu ługującego. Przeprowadzenie wymiany tak samego płynu ługującego jak i płynu wraz z bakteriami umożliwiło intensyfikację ługowa-

nia w czasie pierwszych dwóch dni od chwili zastosowania tej procedury. W kolejnych dniach szybkość procesu malała.

Analiza wydajności ekstrakcji wybranych metali (Fe, Co, Mg, Mn, Ni, Pb, Zn, Cu, Sn i Mo) w poszczególnych etapach ługowania prowadzonego w reaktorze kamionkowym (Tab. 2) sugeruje, że mogą istnieć conajmniej trzy możliwości przebiegu procesów uwalniania metali z pirytów węglowych: 1/ metal może uwalniać się z jednakową szybkością niezależnie od wprowadzenia świeżego roztworu (tak nie szczepionego jak i szczepionego bakteriami); 2/ efektywność wylugowania metalu może maleć w każdym następnym etapie; 3/ efektywność ługowania tak chemicznego jak i bakteriynego może maleć w kolejnych etapach - chociaż przejście z zasilania roztworem sterylnym na roztwór szczepiony bakteriami prowadzi do wzrostu wydajności procesu. Powoduje to zróżnicowanie sumarycznej wydajności ekstrakcji poszczególnych metali po 50 dniach trwania procesu (chemicznego i bakteriynego). W przypadku ługowania pirytów w reaktorze kamionkowym waha się ona w granicach od ok. 7% dla cynku do 90% dla ołowiu, natomiast ługowanie w kopcu zachodzi z wydajnością w granicach od 7% dla cynku do 80% dla manganu i ołowiu (Rys. 5). Przyczyn takiego zróżnicowania wydajności ługowania poszczególnych metali można upatrywać w formach ich występowania w materiale ługowanym. Przytoczone dane sugerują również, że procesy prowadzone z ciągłą cyrkulacją płynu ługującego (reaktor) umożliwiają uzyskanie większej wydajności ekstrakcji metali niż prowadzone w warunkach okresowego zraszania lub zalania materiału ługowanego (kopiec), co może być związane z lepszym natlenieniem układu. Obecność bakterii stymuluje przebieg procesu, co przejawia się 20-30%-owym wzrostem efektywności ługowania metali z badanych pirytów węglowych (Rys. 4). W chwili obecnej trudno przesądzać o znaczeniu aplikacyjnym analizowanego procesu, jednak intensywny rozwój badań nad możliwością wykorzystania metod ekstrakcji cieczowej i wymiany jonowej, a także selektywnej akumulacji metali przez mikroorganizmy, do odzysku lub usuwania metali z bardzo rozcieńczonych roztworów (Urbański, 1970; Lundgren i Malouf, 1983) sugeruje możliwość praktycznego wykorzystania uzyskanych wyników.

Praca finansowana z funduszy CPBP 03.08. oraz Śl.AM.

Literatura

- Andrews G., Darroch M., Hansson T., 1988. *Biotechnol. Bioeng.* 32: 813-820
Cwalina B., 1986. Analiza procesu biometalurgicznego wydzielania metali z pirytów węglowych. Praca doktorska. Politechnika Śl., Gliwice
Cwalina B., Zawada Z., 1988. *Prz. Gór.* 44(6): 10-15
Cwalina B., Dzierżewicz Z., 1989. *Prz. Gór.* 45(5): 20-24
Cwalina B., Farbiszevska T., 1989. *Fizykochem. Probl. Mineralurgii.* 21: 201-10
Cwalina B., Dzierżewicz Z., Naglik T., 1989. *Rudy Metale.* 34(5): 173-176
Cwalina B., Farbiszevska T., Dzierżewicz Z., 1990. *Fizykochem. Probl. Mineralurgii.* 22: 153-160
Dugan P. R., 1986. *Biotechnol. Bioeng. Symp.* No 16: 185-203

- Dugan P.R., Apel W.A., 1978. W: Murr L.E., Torma A.E., Brierley J.A. (eds) *Metallurgical Applications of Bacterial Leaching and Related Microbiological Phenomena*. Acad. Press, New York: 223-250
- Girczys J., Nowak Z., Romańczyk E., 1988. *Fizykochemiczne Problemy Metalurgii*. 20: 37-46
- Hycnar J., 1985. *Gospodarka Paliwami i Energia*. 1: 1-3
- Karavaiko G.I., 1985. *Microbiological Processes for the Leaching of Metals from Ores*. Torma A.E. (ed) UNEP, Moscow
- Karawajko G.I., Kuzniecowa S.I., Gołomzik A.E., 1972. *Rol mikroorganizmów w wyszczelnianiu metali z rud*. Nauka, Moskwa
- Kargi F., 1984. W: Mizrahi A., van Wezel A.L., (eds) *Advances in Biotechnological Processes 3*. Alan R. Liss, Inc., New York: 241-272
- Lundgren D.G., Malouf E.E., 1983. W: Mizrahi A., van Wezel A.L., (eds) *Advances in Biotechnological Processes 1*. Alan R. Liss, Inc., New York: 223-249
- Lundgren D.G., Silver M., 1980. *Ann. Rev. Microbiol.* 34: 263-283
- Mazanek Cz., Ziółek B., Szklarski W., Bogacz A., Gospoś J., Chamer R., Byszyński L., Hycnar J., Pietras Z., 1979. *Sposób odzyskiwania metali kolorowych z żużli hutnictwa miedzi*. Patent PRL Nr 88217. Int.Cl. C22B 7/04: 1-3
- Silverman M.P., Lundgren D.G., 1959. *J. Bacteriol.* 77: 642-647
- Srivastava R.D., Campbell I.M., Blaustein B.D., 1989. *Chemical Engineering Progress*: 45-53
- Urbański T., 1979. *Rudy Metale*. 24(9): 442-448

Abstract

Cwalina B., Nogaj P., Gołek A., Bułaś L., 1991. Bioextraction of metals from coal pyrites in large laboratory scale. *Physicochemical Problems of Mineral Processing*. 24: 95-104 (polish text).

The efficiency of chemical and bacterial extraction of metals from coal pyrites was investigated on a large laboratory scale at a continuous circulation of the leaching medium (reactor) or periodical sprinkling of the material leached (heap). A larger yield of the leaching of metals was observed during processes carried out in the reactor. The efficiency of extraction was not very different from that obtained in a small laboratory scale at optimal conditions. The presence of bacteria *T. ferrooxidans* FP1-87 caused 20-30% increase in the yield of leaching.

СОДЕРЖАНИЕ

Б.Цвалина, П.Ногая, А.Голэк, Л.Булась, 1991. Биозэкстракция металлов из угольных пиритов в великом лабораторном масштабе. *Физикохимические вопросы обогащения*. 24: 95-104.

Исследовано эффективность химической и бактериальной экстракции металлов из угольных пиритов в великом лабораторном масштабе, в условиях непрерывной циркуляции выщелачивающего раствора (в реакторе) и периодического орошения выщелачиваемого материала (в холме). Удостоверено, что анализируемые процессы проходят более производительнее в реакторе чем в холме, а их эффективность не отличается от получаемой в малом лабораторном масштабе, в оптимальных условиях. Присутствие бактерий *T. ferrooxidans* FP1-87 вызывает 20-30% повышение производительности выщелачивания.