

Barbara ROŻEK
Élżbieta KONOPKA
Stanisław ROŻEK
Tadeusz TUMIDAJSKI

Instytut Przeróbki i Wykorzystania
Surowców Mineralnych AGH, Kraków

ZASTOSOWANIE BAKTERII THIOBACILLUS THIOPARUS W PROCESIE ŁUGOWANIA BIOLOGICZNEGO CYNKU Z RUD CYNKOWO-OŁOWIOWYCH

Wstęp

W badaniach nad kompleksowym wykorzystaniem surowców mineralnych w ostatnich latach coraz częściej sięga się do niekonwencjonalnej metody ich wzbogacania przy współudziale niektórych mikroorganizmów chemosyntetycznych czerpiących energię do procesów życiowych z utleniania związków nieorganicznych.

Ługowanie bakteryjne za pomocą bakterii z rodzaju Thiobacillus znajduje coraz szersze zastosowanie w praktyce przemysłowej na całym świecie do odzysku miedzi z ubogich rud i materiałów odpadowych o charakterze kwaśnym jako metoda efektywna i tańsza od tradycyjnych metod przeróbki rud [3, 4, 16].

Ługowanie bakteryjne może być również wykorzystane przy odzyskiwaniu metali ze złóż polimetalicznych.

Metoda kwaśnego ługowania cynku i ołowiu z krzemianowych złóż przy pomocy mikroorganizmów została pracowana w skali laboratoryjnej przez zespół badaczy radzieckich [6]. Ze względu na węglanowy charakter krajowych złóż cynkowo-ołowiowych powyższa metoda nie nadaje się do zastosowania w naszych warunkach.

Badania nad wykorzystaniem mikroorganizmów w procesach ługowania cynku i ołowiu w środowisku obojętnym są w pełni oryginalne i wymagają przede wszystkim poznania podstawowych mechanizmów tych procesów.

W procesach przemiany występujących w przyrodzie związków siarki biorą udział pośrednio bądź bezpośrednio żyjące w niej drobnoustroje.

Zródłem siarki dla drobnoustrojów mogą być; związki nieorganiczne (siarczany, siarczyny, nadsiarczany, tiosiarczany, siarczki, tetratio-niany, tiocyjaniany, siarka pierwiastkowa i inne), połączenia organiczne (cystyna, cysteina, metionina, tauryna, tiamina, biotyna i inne). Drobnoustroje utleniające siarkę należą do autotrofów utleniając jej

związki w ilościach znacznie przewyższających ich własne potrzeby pokarmowe. Utlenianie siarki stanowi dla nich źródło energii niezbędnej do redukcji CO_2 [8].

W procesie utleniania w/w związków bierze udział system cytochromowy, a energia uwalniająca się jest magazynowana w ATP.

Bakterie utleniające związki siarki nieorganicznej wewnątrz i na zewnątrz komórek zaliczane są do grupy gramujemnych, chemolitotroficznych bakterii metabolizujących siarkę, należą do rodziny Nitrobacteriaceae z rodzajów; Thiobacillus, Sulfolobus, Thiobacterium, Macromonas, Thiovulum, Thiospira [2, 12, 13].

Bakterie z rodzaju Thiobacillus były pierwszymi chemoautotrofami których wykazano udział ATP w procesach przekazywania energii pomiędzy reakcją utleniania substratu a reakcją asymilacji i redukcji CO_2 .

Najczęściej w środowisku naturalnym zawierającym związki siarki stwierdza się obecność autotroficznych bakterii należących do rodzaju Thiobacillus. Niemal w każdym ekosystemie o odczynie obojętnym występują bakterie z gatunku Thiobacillus thioautotrophicus.

Przedstawiona praca dotyczy badań nad wykorzystaniem zdolności biologicznych bakterii z gatunku Thiobacillus thioautotrophicus do ługowania cynku z siarczkowych rud cynkowo ołowionych w środowisku o odczynie obojętnym.

Założenia wstępne do opracowania modelu ługowania

Bakterie z gatunku Th.thioautotrophicus wyizolowano ze środowiska naturalnego rudy, wody kopalnianej oraz wody z osadnika kopalni "Trzebieżka" - jako grupę najliczniej występującą w rozpatrywanym środowisku. Powstała więc koncepcja kompleksowego przebadania aktywności życiowej tych bakterii a także oceny ich przydatności do biologicznego ługowania cynku z rud cynkowo-ołowionych. Naszym celem uaktywnienia bakterii z gatunku Th.thioautotrophicus poprzez wprowadzenie do ich środowiska siarczkowych form siarki przy równoczesnym zmniejszeniu głównego składnika pożywki - tiosiarczanu sodu.

Ługowaniu poddawano próbki blendy i galeny wyizolowane z rudy cynkowo ołowionej okręgu olkuskiego. Dzięki temu materiał przeznaczony do badań charakteryzował się zwiększonym udziałem formy siarczkowej metali przy równoczesnym zminimalizowaniu zawartości ich form utlenionych. Skład ich podano w tabeli nr 1, 2.

Przeprowadzono serię doświadczeń, w których medium dla bakterii była pożywka wg Beijerincka sporządzona na wodzie kopalnianej i wodzie z osadnika z dodatkiem odpowiedniego siarczku (blendy, galeny) oraz róż-

Tabela 1.

Skład chemiczny i mineralogiczny blendy

Składnik	% wag.	Faza	%
Zn (siarcz)	63,51	sfaleryt	97,03
Zn (utl)	0,50	smitsonit	0,96
Pb (siarcz)	0,29	galena	0,33
Pb (utl)	0,27	cerusyt	0,35
Cd	0,020	-	-
Ag	min	-	-
FeO	1,95	markasyt	0,77
S	32,26	-	-
CO ₂	0,54	-	-
Razem	99,65		99,65

Tabela 2.

Skład chemiczny i mineralogiczny galeny

Składnik	% wag.	Faza	%
Pb (siarcz)	84,11	galena + argentyt	97,17
Pb (utlen)	0,38	cerusyt	0,49
Zn (siarcz)	0,75	sfaleryt	1,08
Zn (utl)	0,07	smitsonit	0,13
FeO	0,56	markosyt	0,62
Ag	0,036		
Cd	n.n.		
S	13,46		
CO ₂	0,13		
Razem	99,496		99,49

nych dawek Na₂S₂O₃.

Skład pożywki wg Beijerincka:

Na ₂ S ₂ O ₃ · 5 H ₂ O	- 5 g	pH - 8,5
NH ₄ Cl	- 0,1 g	
NaHCO ₃	- 1,0 g	
Na ₂ HPO ₄ · 2 H ₂ O	- 0,2 g	
MgCL ₂ · 6 H ₂ O	- 0,1 g	
FeSO ₄	- ślady	
H ₂ O	- 1000 ml	

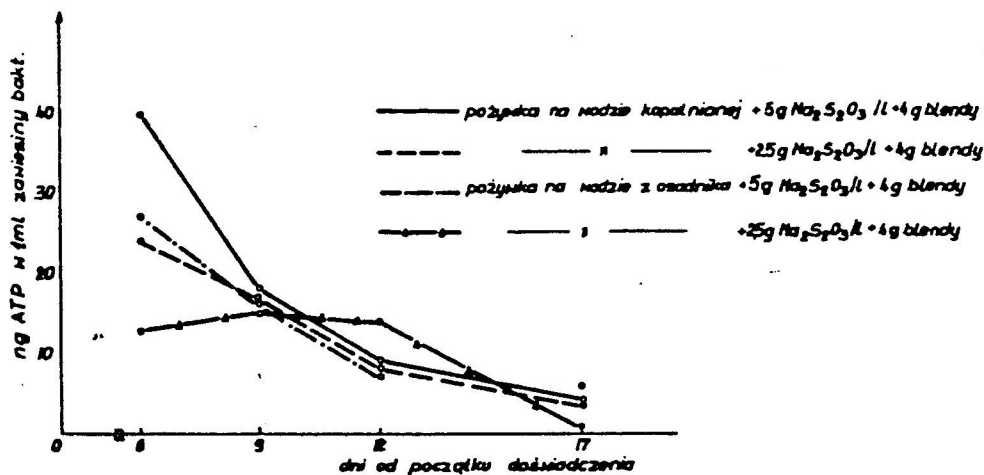
Inkubację bakterii prowadzono w temperaturze 28° C w ciągu 17 dni aż do całkowitego zaniku ich aktywności życiowej. Doświadczenia te potwierdziły możliwość hodowli bakterii tlenowych na zastosowanych podłożach płynnych, przy czym wystąpiło zróżnicowanie ich aktywności życiowej w zależności od rodzaju dodawanego siarczku jak również wody na której sporządzano pożywkę.

Aktywność życiową bakterii charakteryzowano wielkością zwaną poziomem adenylozotrójfosforanu (ATP) w określonej objętości zawiesiny bakteryjnej. Zmiany ilościowe ATP wynikające ze zmian aktywności życiowej bakterii oraz ich ilości w związku z działalnością biochemiczną w rozpatrywanym środowisku śledzono wykorzystując zjawisko bioluminescencji wywołane działaniem enzymu lucyferazy [1, 15].

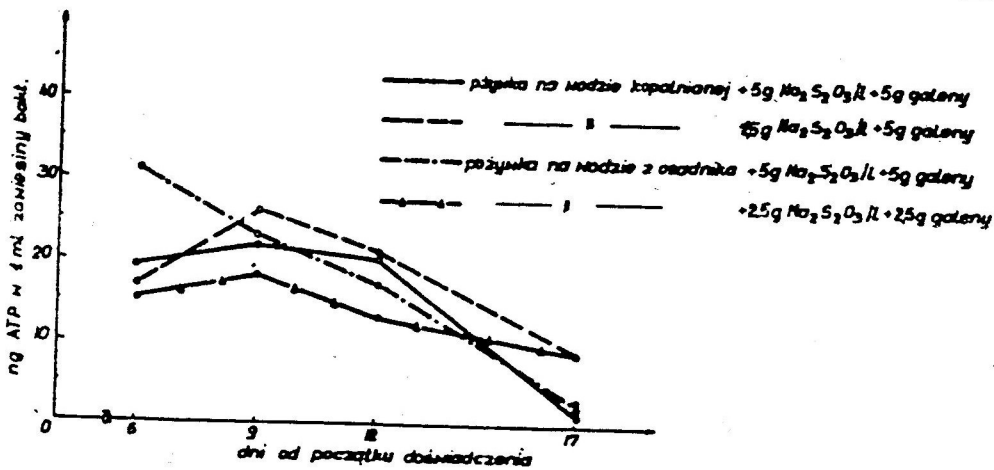
Zaproponowanie poziomu ATP jako precyzyjnego wskaźnika informującego o aktywności życiowej bakterii wynika z obecności tego związku w żywych komórkach i jego ilościowego wzrostu towarzyszącego zmianom aktywności tych żywych komórek.

Wyniki badań nad zmianą zawartości ATP przedstawiono na rys. 1, 2. W doświadczeniach w których zastosowano dodatek blendy serwuje się po upływie 6-ciu dni hodowli bakterii znacznie wyższą wartość ATP w środowisku wody kopalnianej niż w analogicznym doświadczeniu wykonanym przy użyciu wody z osadnika.

Nieco odmienny obraz w tym samym czasie uzyskano przy zastosowaniu w doświadczeniach galeny. Stwierdza się, że ogólnie rozwój bakterii z gatunku *Th. thioparus* w pożywkach sporządzonych na wodzie kopalnianej



Rys. 1. Dynamika zmian zawartości ATP w zawieszynie bakteryjnej *Thiobacillus thioparus* w zależności od czasu hodowli i składu chemicznego pożywki



Rys. 2. Dynamika zmian zawartości ATP w zawieszynie bakteryjnej *Thiobacillus thioeparus* w zależności od czasu hodowli i składu chemicznego pożywki

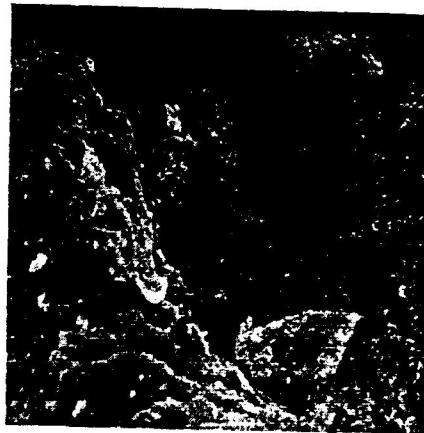
lub z osadnika jest znacznie wolniejszy z tym, że lepsze efekty uzyskuje się przy zastosowaniu wody z osadnika posiadającej bogatsze życie biologiczne.

Jak więc widać bakterie *Th. thioeparus* mają korzystniejsze warunki rozwoju w środowisku zawierającym ZnS niż PbS.

Niżej przedstawione zdjęcia powierzchni ziarn blendy i galeny przed i po procesie żugowania po upływie 43 dni (zdjęcia 1-6). Zostały one wykonane w mikroskopie elektronowym typu ISM-35 Jeol przy różnych powiększeniach.



1. Bakterie z gatunku *Th. thioeparus*, uczestniczące w procesie żugowania (pow. x 6000)



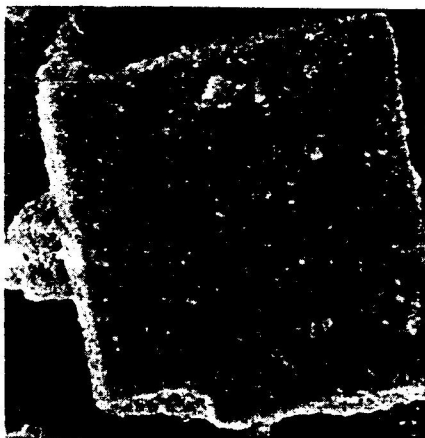
2. Powierzchnia blendy przed procesem żugowania (pow. x 6 000)



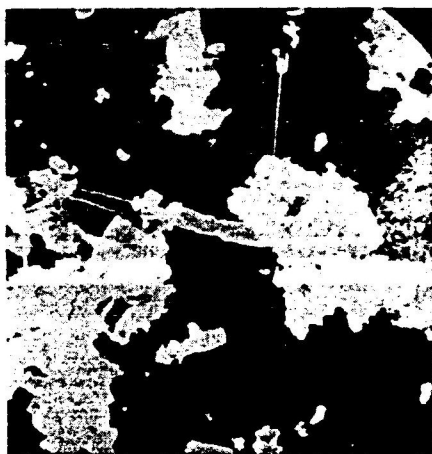
3. Powierzchnia blendy po 38 dniach ługowania bakteriynego (pow. x 6000)



4. Powierzchnia galeny przed procesem ługowania (pow. x 3600)



5. Powierzchnia galeny po 48 dniach ługowania bakteriynego (pow. x 3000)



6. Ziarna galeny z bakteriami *Th. thioparus* po dłuższym okresie ługowania (pow. x 9800)

Ze względu na stwierdzone doświadczalnie korzystniejsze warunki rozwoju bakterii *Th. thioparus* w środowisku zawierającym ZnS dalsze prace ograniczono tylko do badań nad efektywnością bakteriynego ługowania cynku z blendy.

Celem tych doświadczeń było określenie wpływu zmiennych parametrów środowiska na przebieg procesu bakteriynego ługowania, a także określe-

nie współdziałania tych parametrów.

Na podstawie wyników badań własnych [7, 14] do planu czynnikowego doświadczeń wybrano następujące cztery parametry;

- pH - doświadczenia prowadzono przy wartościach pH = 7, pH = 8, pH = 9, (stężenie jonów wodorowych środowiska naturalnego waha się w granicach 8,20),
- temperaturę - obserwacje prowadzono w temperaturach 20° C, 28° C, 35° C (optimum rozwoju bakterii *Th. thiooparus* istnieje w temp. 28° C),
- ilość $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ w roztworze ługującym - zastosowano następujące stężenia 0g/l, 2,5g/l, 5,0g/l. ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ jest głównym składnikiem pożywki wg Beijerincka),
- ilość dodawanej blendy - zastosowano następujące ilości w przeliczeniu na 1 l pożywki; 6 g, 13 g, 20 g.

Wyniki poszczególnych doświadczeń oraz macierz planowania czynnikowego zamieszczono w tab. 3.

Część doświadczalna

Hodowla aktywnych szczepów bakterii z gatunku *Th. thiooparus*

Ze środowiska naturalnego wyizolowano w czystej hodowli bakterie z gatunku *Th. thiooparus*; inkubowano je na pożywce płynnej wg Beijerincka w temperaturze 28° C.

Po 10-ciu dniach hodowli zawiesinę bakteryjną zagęszczono poprzez wirowanie przy obrotach 15 tys. obr./min. i inkubowano w objętości 15 ml (13 ml pożywki + 2 ml odwirowanej zawiesiny bakteryjnej) w temp. 28° C.

Do badań nad efektywnością procesu bakteryjnego ługowania stosowano szczepy *Th. thiooparus* uzyskane w hodowli ciągłej tj. drogą kolejnych zagęszczeń i przeszczepień na świeże pożywki.

Dzięki temu osiągnięto bardzo korzystne z punktu widzenia efektów ługowania wydłużenie w czasie fazy wzrostu logarytmicznego przy równoczesnym skróceniu fazy adaptacyjnej z 10 do 3 dni.

Przeprowadzenie doświadczeń

W pracach nad ługowaniem bakteryjnym cynku każdorazowo przeprowadzono dwie równoległe serie doświadczeń. Ługowaniu poddawano blendę której dokładny skład podano w tabeli 1. Badania prowadzono zgodnie z założonym planem czynnikowym doświadczeń typu 2^4 (tab. 3). Do kolbek o pojemności 300 ml dodawano określoną ilość badanej blendy i zalewano 190 ml pożywki wg Beijerincka o określonym składzie. Do tak przygotowanych wysterylizowanych prób dodawano po 10 ml odwirowanej zawiesiny

bakteryjnej o zawartości 18^8 bakterii/ml.

Jedno pełne doświadczenie trwające 48 dni podzielono na cztery 12-to dniowe okresy badawcze z tym, że po 24 dniach wymieniano całkowicie roztwór ługujący tzn. badane próbki zalewano świeżym roztworem zaszczeplonym zawiesiną bakteryjną.

Do oznaczeń pobierano z kolbek po 20 ml roztworu i natychmiast uzupełniano ubytek świeżą pożywką doszczeploną zawiesiną bakteryjną tak, aby w dalszym ciągu proces zachodził w stałej objętości. Ilościowe oznaczenie zawartości cynku wykonano metodą absorpcji atomowej na spektrofotometrze typu ASA-1 prod. NRD.

Ze względu na nietypowy skład chemiczny analizowanych roztworów, z jakimi mamy do czynienia w pracach nad ługowaniem bakteryjnym należało uprzednio opracować metodykę oznaczenia zawartości cynku w/w metodą.

Przed przystąpieniem do właściwych pomiarów analitycznych przeprowadzono szereg oznaczeń z zastosowaniem wzorca wewnętrznego - do roztworu pożywki z dodatkiem blendy dodawano ściśle określone ilości standardu, którym był mianowany roztwór $ZnCl_2$.

Celem tych badań było określenie stopnia powtarzalności wyników ilościowych oznaczeń cynku w roztworze ługującym przy zmodyfikowanej metodyce pomiaru, co było konieczne ze względu na charakter środowiska bakteryjnego ługowania.

Oznaczenie zawartości cynku w próbach z bakteriami porównywano każdorazowo ze sterylną próbą kontrolną.

Z uzyskanych danych wynika, że w naszych badaniach należy uwzględnić dwa rodzaje ługowania; biologiczne i chemiczne [7, 14] oraz ze względu na przedział pH w jakim zachodzi proces - również nierozpuszczalne formy wyługowanego cynku. Wszystkie te uwagi uwzględniono w pracach analitycznych oznaczania cynku metodą absorpcji atomowej.

Pomiary pH wykonywano przy użyciu pehametru typu H-512.

Ilość bakterii w zawieszynie oznaczano metodą nefelometryczną. Przeprowadzono kalibrowanie fotometru wykreślając krzywe wzorcowe przy wykorzystaniu międzynarodowego wzorca charakteryzującego bakterie o zbliżonych wymiarach do bakterii *Th. thioparus*.

Pomiary wykonywano na aparacie "Specol" firmy Carl-Zeiss-Yena przy długości fali 610 nm oznaczając tzw. OD (Optical Density). Wskaźnikiem dynamiki przyrostu ilości bakterii w zawieszynie było określenie narastającego w czasie zmętnienia.

Oznaczenie ilości bakterii tą metodą okazało się bardzo przydatne do naszych celów.

Wyniki wszystkich omówionych wyżej badań przedstawiono w tabelach nr 4, 5, 6, 7.

Tabela 3
Założenia i wyniki doświadczeń czynnikowych ługowania Zn przy współudziale bakterii

Nr dośw.	Wartość pH	Ilość $\text{Fe}_2\text{S}_2\text{O}_3$ x_2 g/l	Temperatura $^{\circ}\text{C}$ x_3	Ilość do- dawanej rudy x_4 g/l	Zawartość wylugowanego Zn w roztworze ppm/ml											
					12dni				24dni				Po wylugowanie ługującego			
					2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	8/0/ 9/+1/ 7/-1/	2,5/0/ 5/+1/ 0/-1/	28/0/ 35/+1/ 20/-1/	13/0/ 20/+1/ 6/-1/	0,15	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,50	0,00	1,00	1,50	0,50	
2	+	+	-	-	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,70	0,00	2,40	
3	+	+	-	-	1,80	0,60	0,00	0,00	0,00	0,00	10,00	0,00	8,70	10,00	9,50	
4	+	+	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,00	0,00	9,40	12,00	9,50	
5	+	+	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,20	0,50	1,40	
6	+	+	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,30	0,50	0,50	
7	+	+	-	-	0,60	2,60	0,00	0,00	0,00	0,00	12,00	0,00	9,40	10,80	9,50	
8	+	+	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,90	11,50	9,70	
9	+	+	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,80	0,00	1,40	
10	+	+	-	-	6,80	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	12,00	0,00	1,80	0,00	0,50	
11	+	+	-	-	1,50	1,40	0,00	0,00	0,00	0,00	8,40	0,00	0,70	12,00	10,80	
12	+	+	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,40	0,00	1,80	15,00	10,80	
13	+	+	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,70	0,00	2,60	
14	+	+	-	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,70	0,00	0,60	
15	+	+	-	-	7,80	5,50	0,00	0,00	0,00	0,00	15,00	0,00	1,00	12,00	11,50	
16	+	+	-	-	7,90	6,60	0,00	0,00	0,00	0,00	8,50	0,00	1,00	12,00	11,50	
17	+	+	-	-	7,80	7,60	0,00	0,00	0,00	0,00	8,50	0,00	1,00	16,00	11,50	
18	0	0	0	0	7,90	7,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8,20	0,00	1,10	15,00	8,80	
19	0	0	0	0	7,90	1,20	0,00	0,00	0,00	0,00	8,40	0,00	1,10	15,00	9,00	
20	0	0	0	0	7,80	3,40	0,00	0,00	0,00	0,00	10,00	0,00	1,10	15,00	9,00	
21	0	0	0	0	7,90	5,50	0,00	0,00	0,00	0,00	8,20	0,00	1,20	12,00	8,80	

Tabela 4.

Zmiana pH w roztworze żugującym w zależności od czasu hodowli bakterii
oraz składu chemicznego pożywki

Nr doświadczenia	pH wyjściowe	pH								
		48 godz.	12 dni		24 dni		Po wymyianie roztworu żugującego			
			36 dni		48 dni					
1	7,07	8,43	8,55	8,86	8,46	9,06	8,80	8,70	9,10	8,70
2	9,06	8,57	8,87	8,82	8,76	9,09	8,70	8,70	7,82	5,24
3	7,15	8,07	8,15	5,40	8,73	5,50	8,70	7,51	5,08	4,06
4	9,05	8,45	8,70	4,77	8,70	4,92	8,70	6,06	4,16	4,02
5	7,20	8,50	4,24	8,80	4,77	9,05	8,76	8,76	8,62	8,53
6	9,00	8,72	4,32	8,82	4,55	-	8,82	8,82	8,67	8,70
7	7,04	7,60	3,97	4,50	4,57	5,03	4,38	5,70	5,64	5,70
8	9,09	8,42	4,17	4,40	4,20	5,18	4,98	4,75	5,25	4,67
9	6,90	8,23	8,55	8,72	8,55	8,90	8,60	8,59	9,02	8,57
10	8,98	8,83	8,79	8,87	8,72	9,00	8,85	8,66	9,10	8,71
11	6,90	8,14	8,76	5,04	8,60	5,01	8,25	4,95	9,60	6,12
12	9,08	8,65	8,77	6,30	8,70	4,70	7,08	4,37	6,10	5,85
13	7,10	8,41	4,72	8,84	8,70	8,96	8,74	8,58	9,07	8,65
14	8,80	8,72	6,37	8,86	4,57	8,95	8,79	8,62	9,12	8,69
15	7,04	8,41	4,18	5,20	4,21	4,54	5,85	5,60	6,50	5,96
16	8,90	8,17	3,99	5,28	4,32	4,36	7,38	4,31	5,45	5,75
17	7,70	8,32	4,45	8,24	4,38	5,66	5,52	6,97	5,47	5,82
18	7,98	7,72	4,32	5,25	4,36	5,34	5,25	5,28	5,38	5,53
19	8,85	8,24	4,28	8,58	4,41	5,12	4,85	8,43	5,33	-
20	7,81	8,22	4,20	7,28	4,68	6,30	7,08	4,92	5,88	5,20
21	8,20	7,70	4,48	5,48	4,57	5,34	4,98	5,14	5,43	4,51

Tabela 6

Zestawienie wyników doświadczeń, w których ługowanie Zn zachodziło najintensywniej

Nr doświadczenia	Warunki założenia doświadczeń			Ilość wyługowanego Zn /ppm/ml/	Ilość bakterii w 1 ml zawiesiny $\times 10^4$	pH końcowe	
	pH	Na ₂ S ₂ O ₃ [g/l]	temp. [°C]				ilość rudy [g/l]
3	7,0	5	20	6	18,85	800	4,06
4	9,0	5	20	6	20,75	1050	4,02
7	7,0	5	35	6	20,25	750	5,70
8	9,0	5	35	6	20,20	750	4,67
11	7,0	5	20	20	23,10	850	6,12
12	9,0	5	20	20	23,45	750	5,85
15	7,0	5	35	20	25,50	1150	5,96
16	9,0	5	35	20	27,75	800	5,75
17-21	8,0	2,5	28	13	21,00	2920	5,36

Tabela 7

Wyniki oznaczeń ilości bakterii w 1 ml $\times 10^4$ roztworu żugującego metodą nefelometryczną

Nr doświadczenia	12 dni		24 dni		36 dni		48 dni	
	Wzrost	Żug	Wzrost	Żug	Wzrost	Żug	Wzrost	Żug
1	-	-	-	250	-	50	-	150
2	-	-	-	250	-	50	-	3100
3	1900	250	1100	500	100	100	200	800
4	1900	300	1250	550	100	100	200	1050
5	-	-	-	250	400	400	150	-
6	-	-	-	250	-	-	750	150
7	1450	300	500	750	750	750	1650	750
8	-	750	-	500	350	350	200	750
9	-	-	200	250	100	100	200	200
10	-	-	200	150	-	-	1100	200
11	1900	200	1300	600	1500	1500	1100	850
12	1450	200	1250	600	2800	2800	250	750
13	-	200	-	250	350	350	250	150
14	-	-	200	250	650	650	100	100
15	1800	700	200	550	350	350	1500	1150
16	1300	1100	300	600	700	700	300	800
17	1500	350	550	600	300	300	400	4200
18	1300	300	250	600	250	250	700	3100
19	1500	-	750	500	-	-	300	500
20	1550	200	800	550	-	-	200	3000
21	1150	300	700	500	-	-	250	3800

Wnioski

1. Przeprowadzone prace badawcze potwierdziły możliwość wykorzystania uzdolnień biochemicznych bakterii z gatunku *Thiobacillus thioparus* do procesu bakteryjnego ługowania siarczkowych rud cynkowo - ołowio- wych a szczególnie do ługowania cynku.
2. Najkorzystniejsze warunki procesu zapewniają następujące wartości parametrów:
 - obecność w roztworze ługującym $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ w ilościach 2,5 g - 5 g/l,
 - ilość aktywnych komórek bakteryjnych z gatunku *Th. thioparus* rzędu 10^8 w 1 ml zawiesiny,
 - kwasowość środowiska; pH = 4,02-6,12.
3. Na podstawie uzyskanych wyników stwierdza się, że całkowita ilość wyługowanego cynku w rozpatrywanym okresie badawczym dla istotnych eksperymentów mieści się w granicach 18,85-27,75 ppm/ml.
4. Analizując zmiany pH roztworu ługującego w zależności od czasu hodow- li bakterii oraz składu chemicznego roztworu można stwierdzić, że w początkowej fazie rozwoju bakterii następuje wyrównanie wartości pH do poziomu 8,07 - 8,72 niezależnie od pH roztworu wyjściowego. Jest to wartość pH najkorzystniejsza dla rozwoju bakterii z gatunku *Th. thioparus*, występująca zresztą w warunkach naturalnych. Od tego mo- mentu następuje stopniowe obniżenie wartości pH do około 5,0, co z kolei jest bardzo korzystne z punktu widzenia efektu ługowania. Na- leżałoby zastanowić się czy zwiększenie zawartości cynku w roztworze było spowodowane bezpośrednią działalnością bakterii czy metodą po- średnią przez stworzenie przez nie odpowiednich warunków dla ługowa- nia chemicznego.
5. Analizując wyniki doświadczeń należy stwierdzić, że proces bakteryj- nego ługowania cynku z rudy cynkowo-ołowiowej jest procesem bardzo niestabilnym i dlatego powtarzalność wyników jest bardzo niska. Do- tyczy to przede wszystkim okresu początkowego (12 dzień) i po wymia- nie roztworu ługującego (36 dzień), kiedy to wprowadza się do roz- tworu szczepy bakterii i równowaga środowiska ulega zakłóceniu, w sposób niekontrolowany. W tej sytuacji daje się zauważyć tylko istotny i dodatni wpływ ilo- ści dodawanego tiosiarczynu. Prowadzenie dalszych doświadczeń mających na celu opracowywanie właściwego modelu matematycznego wymaga udoskonalenia techniki do- świadczeń gwarantującej większą powtarzalność wyników.

LITERATURA

- [1] Barbaro A., Rożek St., Acta Soc. Bot. Pol. XLIV, nr 3.
- [2] Bergey's Manual of Determinative Bacteriology The Williams i Wilkins Company, Baltimore 1974.
- [3] Biswas A.K., Davenport W.G., Extractive metallurgy of copper, Pergamon Press, Oxford 1974.
- [4] Chmielowski J., Łabużek S., Petrycka H., Fiz. Chem. Probl. Przeróbki Kopalni, z. 3, s. 121-147, Politechnika Śląska, Gliwice 1969.
- [5] Gráčev J.P., Matematičeskije metody planirovanija eksperimentov, Moskva 1979.
- [6] Ilialetdinov A.N., Kamałow M.N., Stukanov W.A., Mikrobiologija, T. 46, 5, 1977, 857-866.
- [7] Konopka E., Rożek B., XII Krakowska Konferencja Naukowo Techniczna Przeróbki Kopalni, 1979.
- [8] Marszewska-Ziemięcka J., Mikrobiologia gleby i nawozów organicznych, PWRiL, W-wa 1969.
- [9] Nalinow W.W., Czernowa N.A., Statystyczne metody planowania doświadczeń ekstremalnych, WNT, W-wa 1967.
- [10] Ostrowski W., Krawczyk A., Acta Biochemica Polonica, 4, 1957.
- [11] Proteau G., Silver M., Can. J. Microbiol. 23, 1977.
- [12] Piwowarowa T.A., Karawajko I., Mikrobiologija 43, 1974, 282.
- [13] Siuta J., Rejman-Czajkowska M., Siarka w biosferze, PWRiL, W-wa 1980.
- [14] Sprawozdanie IPiWSiZ - Kraków 1978 - 1990, Kompleksowe wykorzystanie składników surowców mineralnych przy pomocy metod wzbogacania biologicznego.
- [15] Stehler B., Totter J.R., Arch. Biochem. Biophys., 40, 1952, 23.
- [16] Żmudzinski K., Pluskota B., Rudy i Metale 14, nr 2, 1969.

USING THE THIOBACILLUS THIOPARUS BACTERIA IN THE PROCESS
OF Zn-Pb ORES BIOLOGICAL LEACHING

Biochemical properties of the *Th. thioparus* bacteria in biological leaching of Zn from sulphide ores have been investigated. A sample of ore containing 7,35 % Zn has undergone leaching. A mathematical description of the variable parameters (pH, temperature, Na₂S₂O₃, ore) effect on the course of the leaching.

The biological process of sulphide Zn ores with the use of the *Th. thioparus* bacteria is most efficient in the case of leaching of Zn at

the pH 8.5, temp. 28°C, C, $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ 2.5 g/l - 5.0 g/l.

Based on the obtained results, these being a mean of two experiment cycles, it has been found that the quantities of the leaching Zn being a sum of the leaching metal quantity, after 24 and 48 days of the experiment course, are - for Zn, from 18.85 to 27.25 ppm/ml.