

Kazimierz Żmudziński
Maria Kowalska

Zakład Doświadczalny "CUPRUM" w Lubinie

ODTWARZALNOŚĆ WSKAŹNIKÓW TECHNICZNYCH I TECHNOLOGICZNYCH SKALI PÓŁTECHNICZNEJ W ZAKŁADACH PRZEMYSŁOWYCH WZBOGACANIA RUD MIEDZI

1. Wstęp

Skala półtechniczna stanowi ostatnio ogniwo całego cyklu badań przy opracowaniu technologii wzbogacania rud z danego złoża czy konkretnej kopalni. Celem prób półtechnicznych w tego typu badaniach jest ostateczne określenie wskaźników wzbogacania ($\alpha, \beta, \psi, \varepsilon$) oraz ewentualna korekta niektórych węzłów technologicznych w kierunku poprawy wyników. Zwykle w skali półtechnicznej sprawdza się kilka (2-3) wariantów schematu opracowanego w skali laboratoryjnej wybierając wariant optymalny, przy którym uzyskano najlepsze wyniki, za podstawę do projektowania zakładu przerobczego. Przy prawidłowym planowaniu projektowania i budowy zakładu podstawą projektu powinny być dane uzyskane w skali półtechnicznej.

W praktyce projektowania zakładów LGOM, spotykaliśmy się niestety często z przypadkami wyprzedzania prac projektowych w stosunku do prób półtechnicznych, co powodowało konieczność korygowania projektów, a niekiedy wprowadzano pewne zmiany technologiczne już w fazie budowy zakładu.

Szczegółowy program prób półtechnicznych zależy oczywiście od wielkości zakładu pilotowego. Brak danych literaturowych z zakresu metodyki prowadzenia badań półtechnicznych zmusił nas do wyprowadzenia własnej metodyki, która w głównej mierze oparta była na ogólnej wiedzy przerobczej i stopniowo nabywanej praktyce.

Dysponując dużą ilością danych z prób półtechnicznych i zakładów przemysłowych pragniemy przedstawić w możliwie krótkiej formie nasze doświadczenia i spostrzeżenia. Będą one dotyczyły porównania parametrów technologicznych operacji przerobczych i wskaźników

wzbogacania w skali półtechnicznej i przemysłowej.

Rozważania zawarte w referacie będą próbą odpowiedzi w jakim stopniu parametry i wskaźniki wzbogacania można przenosić ze skali półtechnicznej do przemysłowej. W referacie będzie omówiony przykład wzbogacania rudy miedzi z kopalni "Rudna".

2. Charakterystyka podstawowych maszyn przeróbczych

Porównanie warunków i wyników wzbogacania w zakładzie pilotowym z zakładami przemysłowymi, wymaga przedstawienia na wstępie krótkiej charakterystyki podstawowych maszyn przeróbczych z podaniem ich wielkości, co pozwoli na zorientowanie się w stosunku obu porównywalnych skal (półtechnika - zakład przemysłowy).

Dane charakteryzujące wielkości podstawowych maszyn przeróbczych zestawiono w tabeli 1.

Z przedstawionych danych widać, że skala przeniesienia o półtechniki wielkości urządzeń wynosi dla ZWR "Rudna"

- objętości młynów kulowych 250.

- objętości maszyn flotacyjnych 60.

Przepustowości porównywanych zakładów przedstawiają się następująco:

półtechnika t/h 1,2-1,6

ZWR "Rudna" t/h 300 skala przeniesienia 225

Wielkość półtechniki pod względem stosowanych maszyn i przepustowości (25-30 t/dobę) jest wielokrotnie mniejsza nawet od małych zakładów przeróbczych stąd nie można ją określić jako zakład pilotowy.

Stosowane w świecie zakłady pilotowe posiadają przepustowość 200-500 t/dobę. Z kolei półtechnika jest znacznie większa od stosowanych zagranicą (Anglią, Francją, ZSRR) instalacji badawczych o ruchu ciągłym, których dobowy przerób wynosi od 2 do 3 ton rudy. Stąd wniosek, że nasza półtechnika pod względem wielkości jest raczej nietypowa, albowiem w literaturze znaleźliśmy tylko jeden opis zakładu badawczego w Australii tej wielkości, przeznaczonego głównie do badania nad wzbogacaniem rud cynkowo-ołowiowych.

3. Schemat wzbogacania

Opracowany w wyniku badań laboratoryjnych Instytutu Metali Nieżelaznych i Półtechnicznych Zakładu Doświadczalnego "Cuprum" schemat

T a b e l a 1

Charakterystyka podstawowych maszyn

Nazwa maszyny		Późtechn.	ZWR "Ručna"	Stos.wielk. 3:2
1		2	3	4
1. Młyn prętowy			41,01	
średnica,	m	0,5	2,7	5,4
długość,	m	1,2	3,6	3,0
objętość,	m ³	0,23	20,6	89,6
2. Młyn kulowy			41,03	
średnica,	m	0,6	4,2	7,0
długość,	m	0,9	4,7	5,2
objętość,	m ³	0,25	65,1	12,60
3. Klasyfikator			98,37	
średnica spirali,	m	0,5	2,6	5,2
długość koryta,	m	4,5	11,8	2,6
4. Hydrocyklony				
średnica,	mm	75	200	2,6
		100	350	3,5
		150	500	3,3
5. Maszyny flotacyjne				
typ		mechan.	pneumo- mechan. IZ-5	
pojemność komory,	m ³	0,1	6,0	60
6. Zgęszczacz			M05-218a	
średnica,	m	5	40	8
7. Filtr próżniowy			FTPW-90	
typ		bębnowy	tarczowy	
średnica,	m	1,25	2,6	
powierzch.filtru,	m ²	2	90	45
8. Suszarka			95,27	
typ		promienn.	bębnowa	
wydajność,	t/h		20 t/h	

technologiczny został dostosowany do składu i własności rudy z kopalni Rudna. Stąd konieczne jest podanie krótkiej charakterystyki tej rudy w celu uzasadnienia przyjętych rozwiązań technologicznych.

Ruda z kopalni Rudna zawiera miedź w postaci siarczków, którymi okruszczone są trzy warstwy skał: piaskowce, łupki i węglany (dolomit, kalcyt).

W piaskowcach ziarna siarczków miedzi występują w spoiwie węglanowo ilastym zlepiającym ziarna kwarcu. W łupkach i węglanach siarczki miedzi występują w postaci drobnych wprysnięć i impregnacji oraz niekiedy kilku milimetrycznych żyłek [1]. Udział piaskowców w rudzie waha się od 50 do 80%, średnio przewidyuje się 70%. Przedstawiony na rys. 1 schemat technologiczny uwzględnia wyżej opisany skład rudy. Schemat ten stanowi ostateczną wersję prób póltechnicznych, która została wdrożona w I i II ciągu ZWR Rudna [2].

Charakterystycznymi elementami tego schematu są następujące operacje:

1. Rozdział rudy po młynie prętowym na frakcje piaskową i węglanową,
2. Flotacja wstępna w obiegu mielenia frakcji węglanowej,
3. Krótka flotacja wstępna frakcji piaskowcowej,
4. Wspólna flotacja główna obu frakcji.

3.1. Mielenie i klasyfikacja

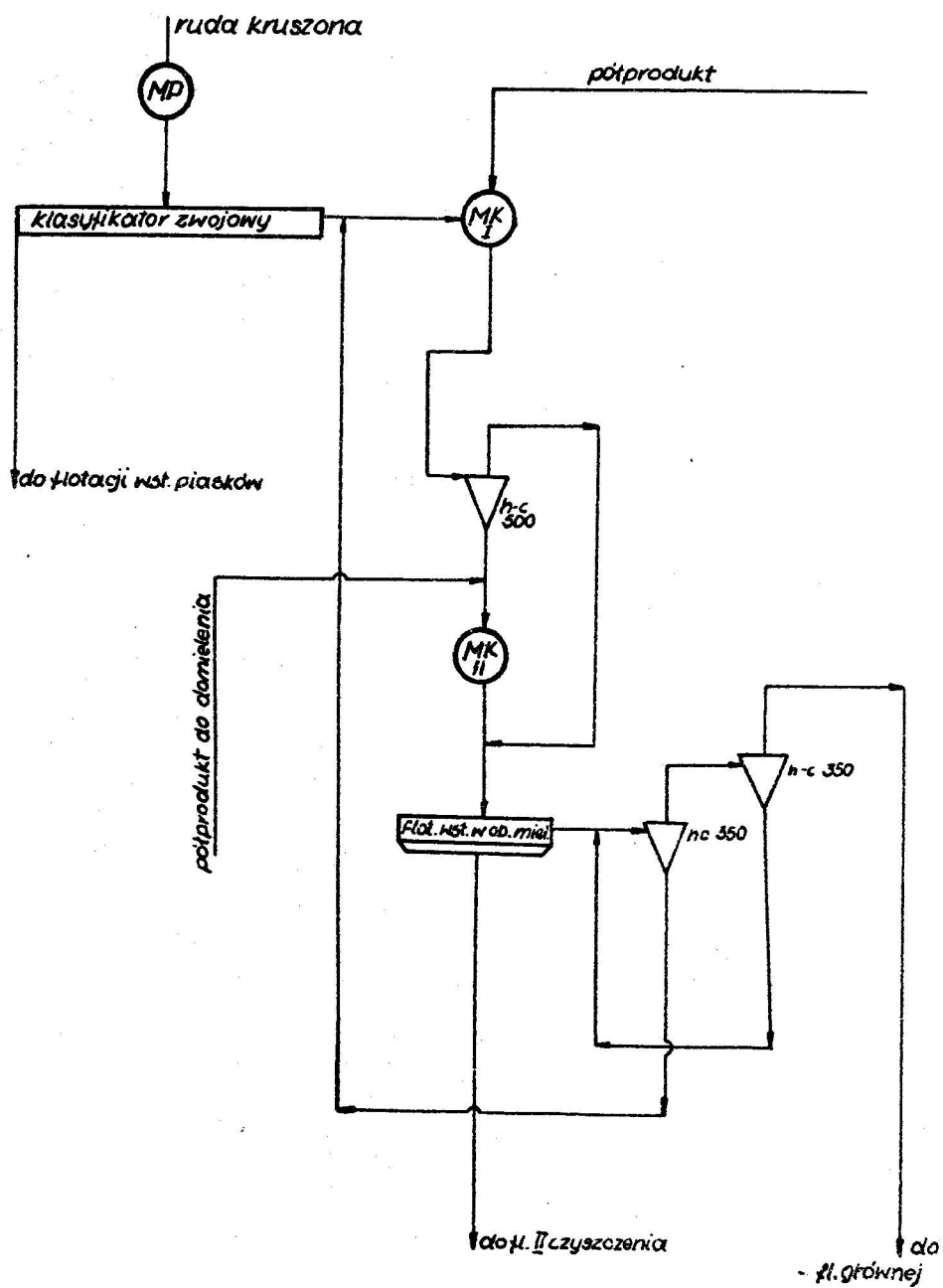
Najtrudniejszymi operacjami zarówno pod względem zaprogramowania prób póltechnicznych jak i oceny wskaźników są mielenie i klasyfikacja. W operacjach tych bowiem wielkości urządzeń, w szczególności średnice młynów i hydrocyklonów, w zasadniczy sposób wpływają na ich wydajność i uziarnienie produktów. Stąd wynika podstawowa trudność przenoszenia wskaźników tych operacji do skali zakładu przemysłowego.

Schemat mielenia i klasyfikacji poza wielkością urządzeń różnił się w porównaniu z póltechniką (rys. 1) ilością młynów kulowych (ϕ 4,2) oraz dodatkową klasyfikacją w hydrocyklonach (ϕ 500 mm) jak pokazano na rys. 2.

Schemat mielenia I ciągu ZWR Rudna obejmuje dwa równoległe układy przedstawione na rys. 2.

Z kolei zaznaczyć trzeba, że w póltechnice młyn prętowy nie był wypełniony prętami, transportował jedynie rudę kruszoną poniżej 10 mm do klasyfikatora, w którym następował rozdział rudy na frakcję piaskową i węglanową. Założono bowiem, że uziarnienie rudy kruszonej - 10 mm odpowiada w zakładzie przemysłowym produktowi młyna prętowego.

Rys. 1. Schemat technologiczny
prób półtechnicznych



Rys. 2. Schemat mielenia w ZWR Rudna

Z tego względu porównanie wszystkich wskaźników mielenia w półtechnice i w zakładzie przemysłowym będzie dokonane z pominięciem młyna prężowego.

Ocenę efektywności mielenia i klasyfikacji przeprowadzimy porównując uziarnienie produktów końcowych mielenia kierowanych do flotacji oraz wydajności sumarycznej, ogólnej młynów kulowych.

T a b e l a 2

Uziarnianie produktów mielenia
[2, 3, 4]

Produkt - symbol	Półtechn.	ZWR "Rudna"	Uwagi
1. Frakcja piaskowa R-2			
wychód klasy +0,3mm, %	2,8	1	
udział frakcji w % od rudy	30	32	
2. Nadawa flotacji wstępnej			
w obiegu mielenia R-5			
wychód klasy +0,3mm, %	15,1	7,6	
wychód klasy -0,075mm, %	45,6	41,2	
wychód w stosunku do frakcji węglanowej	310	270	obieg kołowy mielenia
3. Nadawa flotacji głównej			
R-8			
wychód klasy -0,075mm, %	88,4	87,1	

W tabeli 2 zestawiono uziarnienia tych produktów z podaniem wychodów klas istotnych dla danego produktu. Uziarnienie końcowych produktów mielenia i klasyfikacji kierowanych do flotacji jest prawie jednakowa w skali półtechnicznej i przemysłowej. Pewne odchylenia wykazują jedynie wielkość obiegu kołowego, która w ZWR Rudna jest o 40% niższa niż w półtechnice.

Biorąc pod uwagę, że uziarnienie nadawy i kulekowych produktów nie-
nia jest prawie identyczna (nadawa do flotacji grubej) dla porówna-
nia wydajności młynów kulowych obliczono wydajności ogólne a nie dla
klasy obliczeniowej tj. wychodząc z ilości nadawy kierowanej do mły-
nów kulowych i sumarycznej objętości wszystkich młynów kulowych. W
tab. 3 zestawiono porównanie wydajności młynów kulowych półtechniki
i ZWR Rudna [2, 3, 4] .

T a b e l a 3

Porównanie wydajności młynów kulowych w półtechnice i ZWR Rudna

Wskaźnik	Półtechnika ilość młynów		ZWR Rudna
	3	4	
Przerób t/h rudy suchej	1,102	1,339	292
Wychód frakcji węglanowej, %	70	70	68
Ilość nadawy młynów kulowych, t/h	0,815	0,937	198
Objętość młynów, m ³	1,145	1,526	260
Wydajność młynów, t/h · m ³	0,711	0,615	0,763

Obliczone w ten sposób wydajności jednostkowe młynów kulowych są
bardzo zbliżone do obu wielkości zakładów. Uwzględniając jednak
współczynnik przeliczeniowy

$$K = \sqrt{\frac{D_2 - 0,15}{D_1 - 0,15}} \quad (5)$$

biorący pod uwagę zwiększenie wydajności młynów o większej średnicy,
wydajność młynów w ZWR Rudna powinna być większa.

Współczynnik ten dla omawianych młynów półtechniki i ZWR Rudna
wynosi $K = 2,325$ stąd wydajność jednostkowa młynów ZWR Rudna powinna
wynosić:

$$q_2 = q_1 \cdot K = 0,615 \cdot 2,325 = 1,43 \text{ t/h} \cdot \text{m}^3$$

gdzie q_1 - wydajność młynów półtechniki, t/h m³,

q_2 - wydajność młynów ZWR Rudna, t/h m³,

$K = 2,325$ (współczynnik uwzględniający różnicę średnic młynów)

Oczywiście ryzykowne byłoby stwierdzenie, że tak wysoką wydajność
powinny mieć młyny w ZWR Rudna, ponieważ współczynnika tego nie można

stosować przy tak dużej różnicy średnic młynów. Niemniej jednak można stwierdzić, że zakład posiada pewne rezerwy w przepustowości młynów, co zostało stwierdzone w czasie rozruchu zakładu. Rezerwę tą można ostrożnie określić na ok. 10% w stosunku do przepustowości projektowanej młynów.

3.2. Flotacja

Przy porównywaniu poszczególnych stadiów flotacji uwzględniono następujące parametry i wskaźniki:

- czasy flotacji w min.,
- obciążenie (wydajność maszyn flotacyjnych w t/hm^3),
- wskaźniki wzbogacenia ($\alpha, \beta, \gamma, \varepsilon$).

Dane te dotyczą dwóch prób półtechnicznych według schematu podanego na rys. 1 [2], przy czym druga próba prowadzona była ze zmniejszoną ilością komór flotacji i przy zwiększonym przerobie rudy. Wyniki prób przemysłowych zaczerpnięto z danych pochodzących z opróbowania ZWR Rudna po jej uruchomieniu [3, 4].

W tabeli 4 zestawiono pojemności maszyn flotacyjnych i ich procentowy udział w poszczególnych operacjach.

W tabeli 5 podano natomiast porównanie wydajności maszyn i czasów flotacji, a w tabeli 6 porównanie wskaźników wzbogacania w identycznym układzie jak w tabeli 4.

Porównując wskaźniki wzbogacania poszczególnych operacji tab. 5 można stwierdzić, że największe odstępstwa od półtechniki wykazuje flotacja wstępna w obiegu mielenia zarówno pod względem jakości koncentratu jak i uzysku operacyjnego miedzi. Wynika to jednak ze świadomego skrócenia czasu flotacji tej operacji w stosunku do półtechniki z 5,1 min. i 3,9 min. do 2,4 min. Operacja ta jednak zarówno w półtechnice jak i w skali przemysłowej wykazuje najmniejszą stabilność. Wprawdzie uzysk Cu w tej operacji jest znacznie gorszy niż w półtechnice, lecz nastąpiła przy tym znaczna poprawa jakości koncentratu. Z kolei porównując wyniki flotacji głównej w ZWR Rudna osiągnięto znacznie wyższy uzysk w porównaniu z próbami półtechnicznymi a to wskutek przedłużenia czasu flotacji tej operacji z 13,1 i 9,7 min. (próba I i II) do prawie 21 min. kosztem flotacji wstępnej piasków i flotacji w obiegu mielenia.

4. Końcowe wskaźniki wzbogacania

Aczkolwiek w poprzednich rozdziałach wykazano dużą powtarzalność wskaźników wzbogacania poszczególnych operacji, to decydującym kry-

Tabela 4

Porównanie objętości maszyn flotacyjnych poszczególnych stadiów flotacji

Lp.	Operacja	Próby półtechniczne				ZWR "Radna"	
		I		II		m ³	%
		m ³	%	m ³	%		
1.	Flotacja wstępna w obiegu mielenia	0,3	8,8	0,3	10,3	36	4,3
2.	Flotacja wstępna piasek	0,3	8,8	0,2	6,9	36	4,3
3.	Flotacja główna	2,0	58,8	1,8	62,1	576	68,5
4.	Flotacja I czyszczenia	0,6	17,7	0,4	13,8	144	17,1
5.	Flotacja II czyszczenia	0,2	5,9	0,2	6,9	50	5,8
	Ogółem	3,4	100,0	2,9	100,0	842	100,0

T a b e l a 5

Porównanie czasów flotacji i wydajności maszyn flotacyjnych.

Lp.	Operacja	Próby półtechniczne						ZWR "Rudna"	
		I		II					
		t min.	Q t/m ³ h	t min.	Q t/m ³ h	q t/m ³ h	t min.	q t/m ³ h	
1.	Flot.wstęp.w obiegu miel.	5,1	7,72	3,9	9,70	14,00	2,4	14,00	
2.	Flotacja wstępna piasków	18,8	1,05	16,1	1,96	2,83	4,3	2,83	
3.	Flotacja główna	13,1	0,78	9,7	0,94	0,60	20,9	0,60	
4.	Flotacja I czyszczenia	12,1	0,58	6,5	1,62	1,02	11,7	1,02	
5.	Flotacja II czyszczenia	11,1	0,77	7,9	1,57	1,82	8,1	1,82	
Ogółem		-	0,34	-	0,39	-	-	0,348	

T a b e l a 6

Porównanie wskaźników wzbogacania poszczególnych operacji

Lp.	Operacja	Sym- bol próby na schem.	Wska- źnik	Próby półtechn.		ZWR "Rudna"
				I	II	
1	Flotacja wstępna piasek.	R-2	α	2,90	4,50	3,06
		R-3	β	8,14	15,25	25,22
		R-4	γ	0,32	1,02	0,42
			δ	32,55	24,45	10,6
			ϵ	92,60	82,88	87,8
2.	Flotacja wstęp. w obiegu miel.	R-5	α	1,35	2,04	2,48
		R-4	β	12,40	19,0	35,17
		R-6	γ	0,47	0,84	1,59
			δ	7,38	6,61	2,65
			ϵ	67,75	61,54	37,58
3.	Flotacja główna	R-8	α	0,30	0,50	0,65
		R-9	β	0,80	1,25	1,94
		R-10	γ	0,16	0,21	0,19
			δ	21,87	27,88	26,28
			ϵ	58,33	34,85	78,4
4.	I czyszczenie	R-14	α	1,24	1,84	1,80
		R-15	β	5,25	8,52	3,40
		R-16	γ	0,56	0,65	0,48
			δ	14,50	15,12	45,20
			ϵ	61,39	70,01	85,39
5.	II czyszczenie	R-11	α	8,57	15,85	10,66
		R-12	β	24,36	35,36	25,10
		R-13	γ	1,72	2,36	1,57
			δ	30,26	40,88	38,63
			ϵ	86,00	91,20	90,96

Porównanie wskaźników końcowych wzbogacania

Wskaźnik	Próby półtechn.		po roz- ruchu	ZWR "Rudna"				
	I	II		stycz.	Okres I kw.		I kw.	
					luty	marzec		
Nadawa, % Cu	2,72	4,02	3,18	2,78	2,90	2,65	2,78	
Koncentrat, % Cu	24,36	35,36	25,01	25,06	26,73	25,77	25,85	
Uzysk, % Cu	94,75	95,35	95,1	93,23	93,49	93,17	93,20	
Odpady, % Cu	0,16	0,21	0,19	0,21	0,21	0,20	0,21	

terium są końcowe wskaźniki wzbogacania. W tym celu w tabl. 7 zestawiono końcowe wskaźniki wzbogacania obu prób półtechnicznych [2], z oprobrowania zakładu po jego uruchomieniu [3, 4] oraz z I kwartału 1975 r.

Ze względu na dość znaczne różnice w zawartości Cu w nadawach najlepiej porównywać wyniki I próby półtechnicznej z wynikami I kwartału ZWR Rudna. Porównanie tych wskaźników wykazuje dużą zgodność, przy czym uzysk Cu w próbie półtechnicznej jest nieco wyższy o ok. 1,5%.

Na pokreślenie zasługuje fakt dużej stabilności wskaźników zakładu przemysłowego, które w przeciągu trzech miesięcy ulegają bardzo małym wahaniom. Korzystnym jest również fakt, że w przypadku bogatszej rudy zawartość Cu w odpadach nie wzrasta.

Wnioski ogólne

W referacie zilustrowano odtwarzalność wskaźników wzbogacania półtechniki w zakładzie przemysłowym na przykładzie przeróbki rudy z kopalni Rudna. Oczywiście zamieszczone w referacie dane nie obejmują wszystkich przeprowadzonych prób półtechnicznych a jedynie dwie które były ostateczną podstawą wdrożonego schematu w ZWR Rudna. Ramy niniejszego referatu nie pozwoliły na omówienie dalszych przykładów wzbogacania rudy z innych kopalń, co pozwoliłoby na wyciągnięcie bardziej ogólnych wniosków. Niemniej jednak przedstawione w referacie dane dają dość syntetyczny obraz powtarzalności wskaźników technicznych i technologicznych.

Wskaźniki technologiczne poszczególnych operacji i całego procesu uzyskane w zakładzie przemysłowym wykazują dużą zgodność z wynikami prób półtechnicznych. Nieliczne różnice wskaźników niektórych operacji są wynikiem świadomych zmian wprowadzonych w zakładzie przemysłowym (zmiany czasów flotacji). Dużą zgodność wskaźników technicznych, udział pojemności maszyn flotacyjnych, wydajności maszyn i czasy flotacji dla poszczególnych operacji i całego procesu świadczy o dużej odtwarzalności ilościowej wychodów większości półproduktów.

Najtrudniejszy problem stanowi ilościowe określenie skali przeniesienia pod względem wydajności jednostkowej młynów. Sprawdzenie w omawianym przypadku występuje duża zgodność tego wskaźnika, niemniej jednak zarówno z teorii jak i praktyki wiadomo, że wskaźnik ten nie odzwierciedla rzeczywistej wielkości możliwej do uzyskania w zakładzie przemysłowym. Bardziej precyzyjne określenie tego stosunku wydajności młynów wymaga przeprowadzenia specjalnych badań półtechnicznych.

LITERATURA

- 1 Praca zbiorowa pod red. B. Konstanymowicza, Monografia przemysłu miedziowego w Polsce, Wyd. Geolog. 1972, t. 1, s. 178.
- 2 Rynans B., Lulkiewicz J., Próba półtechniczna z uproszczonym schematem technologicznym dla ZWR Rudna, Spraw. ZD "Cuprum", nr 26/TP/73.
- 3 Kowalska M., Rynans B., Mucha M., Opracowanie ilościowych schematów dla ZWR Rudna, Spraw. ZD "Cuprum", nr 21/TP/74.
- 4 Madej J., i inni, Badanie wzbogacalności rudy miedzi z kopalni "Rudna", Spraw. IMN nr 1474/V/75.
- 5 Praca zbiorowa pod red. Bogdanow O.C., Sprawozdanie po obogaszczaniu rud, t.1, Wyd. Nedra, Moskwa 1972.