

## WPŁYW LITOLOGICZNEGO ZRÓŻNICOWANIA NADAWY NA WSKAŹNIKI TECHNOLOGICZNE W ZAKŁADACH WZBOGACANIA RUD KGHM POLSKA MIEDŹ S.A.

### THE EFFECT OF LITHOLOGICAL DIVERSITY OF FEED ON PROCESS EFFICIENCY INDEXES IN KGHM POLSKA MIEDŹ S.A. CONCENTRATOR PLANTS

WITOLD PAWŁOS<sup>1</sup>, EDWARD POZNAR<sup>1</sup>, MAŁGORZATA KRZEMIŃSKA<sup>1</sup>

**Abstrakt.** W artykule przedstawiono efektywność wzbogacania urobku dostarczonego z zakładów górniczych w świetle jego właściwości fizykochemicznych, charakterystycznych dla trzech głównych odmian litologicznych skał złożowych będących jego składnikami. W tym celu określono podatność na wzbogacanie poszczególnych wydzieli litologicznych obecnych w urobku, stanowiącym nadawę do procesu wzbogacania. Na przykładzie jednego z Rejonów O/ZWR wyznaczono zależność funkcyjną pomiędzy uzyskiem a jakością koncentratu [ $\varepsilon = f(\beta)$ ], która obrazuje wpływ zawartości składników litologicznych na osiągnięte wskaźniki wzbogacania. Wykazano, że przemysłowe wzbogacanie jest bardzo czułe na zmiany jakości nadawy w aspekcie zawartości poszczególnych składników litologicznych, a także udziału głównych składników użytecznych i towarzyszących.

**Słowa kluczowe:** wzbogalność, litologia, uzysk, jakość koncentratu, piaskowiec, dolomit, łupek.

**Abstract.** The paper presents the performance of ore beneficiation process carried out on KGHM Polska Miedź S.A. run-of-mine ore relating to its physicochemical properties. The properties are strongly associated with the lithology of rock formations. The susceptibility of specific lithological fraction occurred in the ore for the beneficiation process is described. Functional relationship between recovery and concentrate grade [ $\varepsilon = f(\beta)$ ] was developed as the example for one of the KGHM Polska Miedź S.A. concentrators plants. The variety of ore properties and its effect on process efficiency is discussed. It has been proved that industrial process efficiency is very sensitive to both the alteration of lithological fractions and the content of major valuable metals and accompanying compounds.

**Key words:** ore beneficiation, lithology, recovery, concentrate grade, sandstone, dolomite, black shale.

### WSTĘP

Zmienność litologiczna i mineralogiczna złoża rud miedzi Legnicko-Głogowskiego Okręgu Miedziowego (LGOM) oraz sposób eksploatacji bezpośrednio wpływają na jakość nadawy, która charakteryzuje się dużą zmiennością parametrów (litologicznych i mineralogiczno-petrograficznych). Do najważniejszych z nich należą: rodzaj i ilość siarczków miedzi, zawartość pierwiastków towarzyszących miedzi w nadawie, udział poszczególnych typów litologicznych oraz rodzaj składników płonnych. Parametry te odgrywają

decydującą rolę w procesach realizowanych w ciągu technologicznym Oddziału Zakłady Wzbogacania Rud (O/ZWR). Planowanie wskaźników technologicznych, bazując jedynie na zawartości składników użytecznych (głównie Cu) w urobku, nie odzwierciedla więc w pełni możliwości ich późniejszego odzysku w procesach przeróbki mechanicznej.

Jak już wspomniano, charakter urobku (jego jakość) stanowiącego nadawę do procesu przeróbki silnie wpływa na wyniki technologiczne (uzysk i jakość koncentratu),

<sup>1</sup> KGHM Polska Miedź S.A., Oddział Zakłady Wzbogacania Rud, ul. Kopalniana 1, 59-100 Polkowice; e-mail: Witold.Pawlos@kghm.com.

dlatego istotne znaczenie, z punktu widzenia technologii wzbogacania, mają informacje geologiczne dotyczące rudy eksploatowanej i planowanej do eksploatacji. Szczególnie ważne są dane dotyczące zawartości poszczególnych frakcji litologicznych, gdyż, jak wskazuje literatura przedmiotu i liczne opracowania powstałe w KGHM Polska Miedź S.A., decydują one o efektywności procesu wzbogacania. Stano-

wiące urobek piaskowce, dolomity i łupki charakteryzują się zupełnie różnymi możliwościami odzysku minerałów siarczkowych. Zróżnicowana litologicznie nadawa kierowana do procesów przerobczych wymusza stosowanie skomplikowanych technologicznych układów wzbogacania, co jest zarazem przyczyną trudności w utrzymaniu wysokich wskaźników flotacji.

## CHARAKTERYSTYKA MINERALOGICZNO-PETROGRAFICZNA

Złoże rud miedzi monokliny przedsudeckiej występuje w osadach czerwonego spągowca i cechsztynu. Należy do złóż typu stratoidalnego i tworzy nagromadzenia minerałów siarczkowych, występujących w warstwie piaskowców czerwonego spągowca, cechsztyńskich łupków miedzionośnych oraz w skałach węglanowych, w których dominują dolomity (tab. 1) (Piestrzyński, 1996).

Jak wskazują dane zawarte w tabeli 1, złoże jest zróżnicowane pod względem ilościowego udziału poszczególnych wydzieleni stratygraficznych i składu petrograficznego. Dodatkowo złoże to jest niejednorodne pod kątem struktury mineralizacji kruszcowej, zawartości miedzi oraz pierwiast-

ków współwystępujących. Zmienne warunki geologiczno-złożowe oraz możliwości stosowanej technologii górniczej, wraz z innymi uwarunkowaniami bezpośrednio wpływają na sposób prowadzenia eksploatacji, a tym samym na jakość otrzymanego urobku (Piestrzyński, 1996).

Urobek z trzech kopalń trafia jako nadawa do Zakładów Wzbogacania Rud (ZWR). Obecne w niej poszczególne odmiany litologiczne zawierają te same podstawowe minerały skałotwórcze, ale w różnych proporcjach ilościowych. W tabeli 2 podano skład mineralogiczny poszczególnych typów rud, a w tabeli 3 – składy litologiczne urobku przerabianego w Rejonach ZWR (Lubin, Polkowice, Rudna).

Tabela 1

### Litostratygrafia rejonu złoża rud miedzi na monoklinie przedsudeckiej (Konopacka, Zagożdżon, 2014)

Lithostratigraphy of the copper ore region in the Fore-Sudetic Monocline (Konopacka, Zagożdżon, 2014)

Stratygrafia		Litostratygrafia	Miąższość [m]	Wysztalcenie litologiczne	
Perm	cechsztyń	cyklotem Werra PZ1	anhydryty górne	20–70	anhydryty oczkowe
			sól kamienna najstarsza	do ok.100	sól kamienna (tylko w NW części LGOM)
			anhydryty dolne	30–70	anhydryty masywne i gruzełkowate
			wapienie i dolomity	7–140, śr. 45	wapienie dolomityczne i dolomity wapniste
				do kilku metrów	dolomity ilaste
			łupki miedzionośne	zwykle do 0,5, maks. 1,7	w dolnej części łupki ilaste (smolące), w górnej margliste i dolomityczne
	dolomit graniczny	0,3	dolomit drobnoziarnisty		
	biały spągowiec	0,5–40, śr. 6–12	szare i białe piaskowce		
	czerwony spągowiec	300–450	czerwone piaskowce, riolity, tufy, ilowce, zlepieńce		

Tabela 2

### Średni skład mineralny odmian frakcji litologicznych rud miedzi (Kijewski, Jarosz, 2007)

The average mineral composition of copper ore types (Kijewski, Jarosz, 2007)

Minerały	Ruda		
	piaskowcowa [%]	dolomitowa [%]	łupkowa [%]
Kwarc	72,0	3,0	5,0
Minerały ilaste	15,0	16,5	39,0
Minerały węglanowe	8,0	72,0	42,0
Minerały siarczanowe	2,0	5,0	–
Substancja organiczna	śladowa	0,5	6,0
Minerały siarczkowe miedzi	3,0	3,0	8,0

Tabela 3

### Skład litologiczny urobku przerabianego w poszczególnych zakładach przerobczych KGHM Polska Miedź S.A. w 2001 r.

Lithological composition of ore processed in KGHM Polska Miedź S.A. concentrator plants in 2001

Rejon ZWR	Lubin [%]	Polkowice [%]	Rudna [%]
Ruda piaskowcowa	70	1	56
Ruda węglanowa	11	80	38
Ruda łupkowa	19	19	6

Fracja piaskowcowa składa się głównie z drobnoziarnistych jasnoszarych piaskowców o spoiwie ilastym, węglanowym lub ilasto-węglanowym. Cechą charakterystyczną rudy piaskowcowej jest to, że minerały kruszcowe występują głównie w lepszemu w klasie ziarnowej od 50 do 200  $\mu\text{m}$ . Frakcja ta charakteryzuje się małą zwięzłością, co sprawia, że zawarte w niej minerały łatwo ulegają uwolnieniu i w konsekwencji charakteryzują się bardzo dobrą wzbogalnością.

Fracja dolomitowa, reprezentowana przez drobnoziarniste dolomity wapieniste, a rzadziej przez wapienie dolomityczne, zawiera wiele minerałów, takich jak: dolomit, kalcyt, gips, anhydryt i domieszki minerałów ilastych (illit, kaolinit). Minerały miedzionośne występują w niej w postaci drobnych wprysnięć, przeważnie w ziarnach o wielkości średnio 50  $\mu\text{m}$ . Frakcja dolomitowa jest klasyfikowana jako średniowzbogalna.

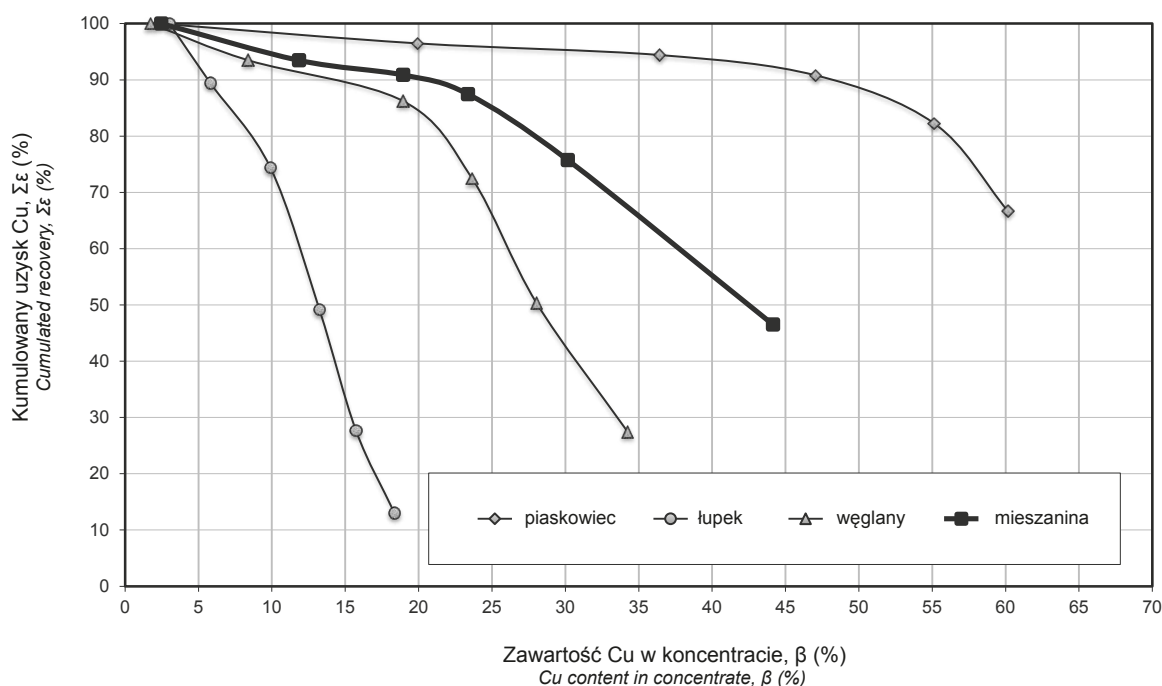
Fracja łupkowa jest zbudowana z czterech głównych składników petrograficznych o zróżnicowanym udziale minerałów ilastych (ok. 45–50%), ponadto węglanów, głównie dolomitu (ok. 40%), substancji organicznej (ok. 7%) oraz kwarcu (ok. 3%). Frakcja ta jest klasyfikowana jako trudno-wzbogalna. Występujące w niej minerały miedzionośne są wielkości rzędu od pojedynczych do ok. 20  $\mu\text{m}$ . W trakcie operacji rozdrabniania i wzbogacania nigdy nie dochodzi do wyraźnego uwolnienia minerałów siarczkowych zawartych w tej odmianie rudy, a część łatwo uwalniających się składników ilastych może skutecznie utrudniać flotację dobrze na ogół wzbogalnych siarczkowych minerałów miedzi (Łuszczkiewicz, 2000). Jak podaje Jarosz (1968) oraz Harańczyk (1972) większa część kruszców w łupkach występuje w postaci skupień rozproszonych w masie skalnej o rozmiarach mniejszych niż 7 lub 10 mm.

## WZBOGACANIE UROBKU

Urobek przerabiany w Oddziale Zakłady Wzbogacania Rud charakteryzuje się znacznym zróżnicowaniem wzbogalności, zależnym od składu litologicznego, mineralnego i chemicznego oraz od wielkości uziarnienia i rodzaju występujących w nim siarczków miedzi. Zmienne parametry jakościowe urobku wymagają ciągłego doskonalenia procesu technologicznego, a jego okruszcowanie siarczkami miedzi determinuje sposób wzbogacania. Rozkład uziarnienia minerałów kruszcowych w odmianach litologicznych

rudy warunkuje wymogi rozdrabniania (mielenia) w procesie technologicznym. Jak wspomniano wyżej, poszczególne typy litologiczne rudy różnią się przede wszystkim charakterem wzbogalności, co pokazano na [figurze 1](#).

Różnice we flotowalności poszczególnych odmian litologicznych wynikają ze struktury ich okruszcowania oraz rodzaju minerałów miedzionośnych i składników płonnych. Najgorszą wzbogalność wykazują łupki, w których zawartość składników organicznych i drobnowprysniętych



**Fig. 1. Wzbogalność poszczególnych frakcji litologicznych obecnych w urobku przerabianym w O/ZWR (Trybalski i in., 2008; Foszcz i in., 2009)**

The beneficiation efficiency for specific lithology fractions in the ore processed in KGHM (Trybalski *et al.*, 2008; Foszcz *et al.*, 2009)

minerałów miedzi jest największa. Piaskowce natomiast wzbogacają się najłatwiej i charakteryzują się największą podatnością na rozdrabnianie, największymi ziarnami kruszców, a także niemal zupełnym brakiem substancji organicznej, która utrudnia wzbogacanie.

Dodatkowo z przeprowadzonych analiz wynika, że flotacje selektywne czystych odmian litologicznych nadawcy nie są tożsame z zachowaniem się tych frakcji występujących w mieszaninie. Zgodnie z [figurą 1](#) wyniki flotacji dla mieszaniny litologicznej lokują się na krzywej wzbogacania pomiędzy flotacją piaskowca i dolomitu. Zmiany udziałów poszczególnych frakcji litologicznych będą jednak wpływały na położenie tej krzywej. Dotychczas nie ma aktualnego i szczegółowego rozpoznania dotyczącego wpływu zmian zawartości poszczególnych odmian litologicznych w pełnym zakresie (0–100%) na efektywność flotacji.

Największe problemy w procesie stwarza frakcja łupkowa. Charakteryzuje się ona najwyższymi zawartościami miedzi (średnio od kilku do kilkunastu procent) oraz metali towarzyszących: srebra, ołowiu, cynku, kobaltu, niklu, molibdeny, wanadu i renu. Mimo to łupki należą do najtrudniej wzbogacalnych flotacyjnie odmian litologicznych urobku, co potwierdzono w licznych opracowaniach (Wójtowicz, 1968; Kotowski i in., 1975; Nowakowska i in., 1981; Łuszczkiewicz, 1987, 1988, 2000), w których wielokrotnie podkreślano negatywny wpływ łupka na proces wzbogacania w układach technologicznych.

Słaba wzbogacalność łupków wynika głównie z ich niejednorodności, struktury okruszcowania (bardzo drobnej mineralizacji) oraz rodzaju minerałów i składników płon-

nych. Minerale ilaste, takie jak illit i kaolinit, w procesach przeróbki ulegają dużemu zdyspergowaniu i w znacznym stopniu są wynoszone do produktu pianowego, obniżając jego jakość. Zjawisko to zachodzi zarówno na skutek wyniesienia mechanicznego, jak i oddziaływań typowo fizykochemicznych. W łupkach występujących w urobku przerabianym w zakładach wzbogacania KGHM Polska Miedź S.A., minerale ilaste tworzą struktury z substancją organiczną, co znacznie zwiększa ich naturalną tendencję przechodzenia do produktu pianowego. Ponadto znacznie rozwinięta powierzchnia minerałów ilastych blokuje siarczkom miedzi dostęp do powierzchni pęcherzyków powietrza. Minerale ilaste osadzają się na ziarnach minerałów miedzi oraz na innych minerałach siarczkowych, pokrywając je powłoką hydrofilną. W rezultacie takie ziarno nie może być wyflotowane, co powoduje dalszą stratę użytku miedzi w koncentracie.

Substancja organiczna dodatkowo charakteryzuje się znaczną zdolnością do absorpcji odczynników flotacyjnych, zwłaszcza spieniaczy. Substancje organiczne wywierają podwójnie niekorzystny wpływ na flotację. Na skutek ich naturalnej hydrofobowości przechodzą bardzo łatwo do koncentratu, obniżając jakość produktu finalnego. Dlatego każdorazowy wzrost zawartości rudy łupkowej w urobku, stanowiącym nadawę do procesu wzbogacania, oznacza wyraźne pogorszenie wskaźników wzbogacania. Taki charakter zależności potwierdzono wielokrotnie i w różnej skali, poczynając od laboratoryjnej, a na przemysłowej kończąc. Trudność sprawia ilościowe oszacowanie wielkości tego wpływu (Konieczny i in., 2014).

## WPLYW ZMIENNOŚCI WŁAŚCIWOŚCI UROBKU NA WYNIKI WZBOGACANIA

Jak wynika z obserwacji, dyskusji i opracowań, udział poszczególnych typów rud w nadawach kierowanych do Zakładów Wzbogacania Rud zależy od aktualnie eksploatowanej partii złoża. Oznacza to, że do procesu przeróbki trafia bardzo zmienny jakościowo urobek, co bezpośrednio wpływa na wyniki wzbogacania. Na podstawie rzeczywistych wyników otrzymanych dla jednego z zakładów wzbogacania, z okresu ostatnich kilkunastu lat, wyznaczono zmienność składu litologicznego ([fig. 2](#)), oraz mineralogicznego ([fig. 3](#)) urobku w czasie. Przy czym, dla wykazania zmian składu mineralogicznego wykorzystano jedynie trzy główne miedzionośne minerale siarczkowe – chalkozyn, bornit oraz chalkopiryt.

Z analizy [figury 2](#) wynika, że dla piaskowca i dolomitu zmienność udziału w rudzie przybierała największe wartości. Dla piaskowca wynosiły one od 20 do 85%, a dla dolomitu od 5 do 75% udziału w urobku. Dla łupka natomiast zauważalny jest znacznie węższy zakres zmienności, wynoszący od 5 do 15%. Ocena zmienności składu mineralogicznego ([fig. 3](#)) wskazuje, że zawartość chalkozynu w urobku zmieniała się od 15 do 57%, bornitu od 7,5 do 53%, a chalkopiryty od 1 do 35%.

W związku z tym, że stopień koncentracji minerałów siarczkowych w poszczególnych typach litologicznych jest różny, utworzono macierz korelacji pomiędzy poszczególnymi frakcjami litologicznymi a głównymi siarczkami miedzi (chalkozynem, bornitem i chalkopirytem), którą przedstawiono w [tabeli 4](#).

Macierz korelacji ([tab. 4](#)) pokazuje, że wzrost średniej zawartości dolomitu w urobku powoduje podwyższenie średniej zawartości chalkozynu. Współczynniki dla korelacji

**Tabela 4**

### Macierz korelacji siarczków miedzi w składnikach litologicznych urobku

Correlation matrix between copper sulphides and lithological compounds of ore

Minerał	Piaskowiec	Łupek	Dolomit
Chalkozyn	-0,29	-0,26	0,36
Bornit	0,12	0,16	-0,19
Chalkopiryt	0,26	0,29	-0,34

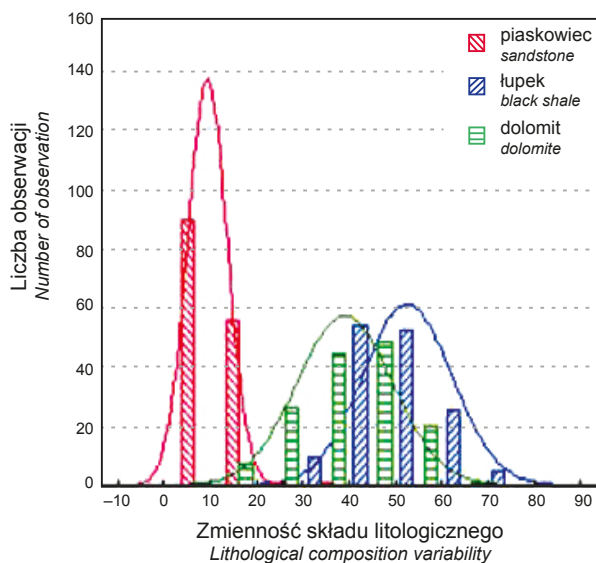


Fig. 2. Histogram zmienności składu litologicznego urobku w wybranym Zakładzie Wzbogacania Rud (Foszcz, 2004)

Histogram of lithological composition variability in selected KGHM ore concentrator plant (Foszcz, 2004)

chalkozynu z łupkiem i piaskowcem są ujemne, co sugeruje, że wraz ze wzrostem średniej zawartości tych składników będzie spadać średnia zawartość chalkozynu w urobku. Udział bornitu wykazuje najsilniejsze powiązanie z udziałem frakcji dolomitowej. Otrzymany w tym przypadku ujemny współczynnik korelacji informuje o tym, że wraz ze wzrostem średniej zawartości dolomitu będzie spadać śred-

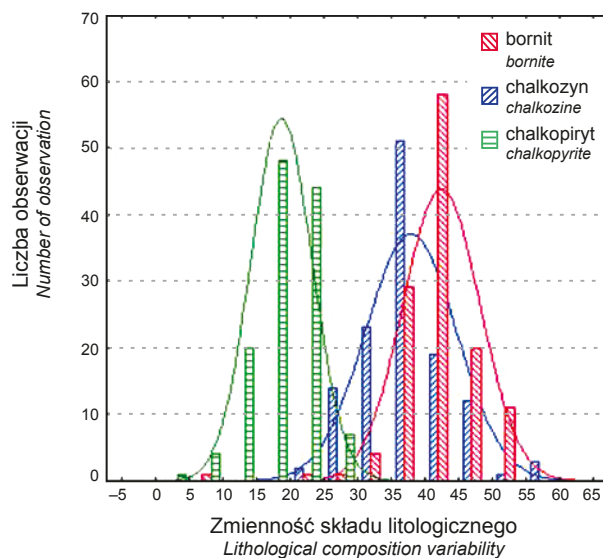


Fig. 3. Histogram zmienności składu mineralogicznego urobku w wybranym Zakładzie Wzbogacania Rud (Foszcz, 2004)

Histogram of mineralogical composition variability in selected KGHM ore concentrator plant (Foszcz, 2004)

nia zawartość bornitu, z kolei przyrost średniej zawartości łupka i piaskowca spowoduje wzrost średniej zawartości bornitu. Podobna zależność występuje dla chalkopiryty – wzrost średniej zawartości dolomitu spowoduje spadek średniej zawartości chalkopiryty, średnia zawartość chalkopiryty natomiast zwiększy się wraz ze wzrostem udziału frakcji łupkowej i piaskowcowej.

## GRANICZNA TEORETYCZNA ZAWARTOŚĆ MIEDZI W KONCENTRACIE

Przyjmując wskaźniki technologiczne (uzysk i jakość koncentratu) jako wiodące parametry oceny wzbogacania, które są powiązane zależnością [1], należy mieć na uwadze to, że na ich wartości ma wpływ wiele różnych parametrów urobku, m.in. rodzaj i ilość siarczków, ilość i wzajemny stosunek frakcji litologicznych itd.

$$\varepsilon = \frac{\gamma \cdot \beta}{\alpha} [\%] \quad [1]$$

gdzie:

- $\varepsilon$  – uzysk miedzi w koncentracie,
- $\alpha$  – zawartość miedzi w nadawie,
- $\beta$  – zawartość miedzi w koncentracie,
- $\gamma$  – wychód koncentratu.

Znając ilość i rodzaj siarczków można wyznaczyć tzw. Graniczną Teoretyczną Zawartość miedzi w koncentracie ( $GTZ_{Cu}$ ), zakładając stuprocentowy uzysk minerałów siarczkowych (Trybalski i in., 2008; Foszcz i in., 2009).  $GTZ_{Cu}$  wyznacza się wg zależności [2]:

$$GTZ_{Cu} = \sum \frac{\text{teoretyczna zawartość Cu w siarczkach}}{100} \cdot \frac{\text{zawartość siarczków Cu w nadawie}}{100} [\%] \quad [2]$$

Parametr  $GZT_{Cu}$  umożliwi wyznaczenie maksymalnej, możliwej do uzyskania zawartości miedzi w koncentracie. Wartości te są uzależnione w głównej mierze od składu mineralogicznego (rodzaju minerałów). Zakładając jednocześnie korelacje pomiędzy mineralogią a litologią, ostatecznie można określić wyniki technologiczne wzbogacania przemysłowego, tj. jakość koncentratu i jego uzysk, jako stopień uzyskania  $GTZ_{Cu}$ . W rzeczywistych warunkach mamy do czynienia z mieszaniną minerałów w nadawie o różnych wymiarach i z wieloma czynnikami, które powodują, że zawartość miedzi w koncentracie kształtuje się na niższym poziomie – flotują dodatkowo składniki skały płonnej, szczególnie w przypadku frakcji łupkowej oraz do odpadów przechodzą minerały zamknięte w skałe płonnej i minerały utlenione. W procesie rzeczywistym wszystkie te przypadki i uwarunkowania zachodzą jednocześnie.

W tabeli 5 przedstawiono rzeczywiste wyniki wzbogacania uwzględniające parametr  $GTZ_{Cu}$  oraz stopień jego osiągnięcia dla poszczególnych Rejonów ZWR. Na podstawie tej tabeli można określić, że najniższymi parametrami  $GTZ_{Cu}$  cechuje się urobek wzbogacany w Rejonie ZWR Lubin. Z przedstawionych wartości wynika, że jakość koncentratu



Tabela 5

## Przykładowe wskaźniki wzbogalności rud miedzi (2002 r.)

Examples of some ore processing indices (2002)

Rejon ZWR	Zawartość Cu w nadawie	Zawartość Cu w koncentracie		Stopień osiągnięcia GTZ <sub>Cu</sub>	Stopień wzbogacenia	Uzysk Cu
		GTZ <sub>Cu</sub>	rzeczywista			
	%					
Lubin	1,32	52,27	19,43	37	14,7	87,15
Polkowice	1,79	69,37	26,81	39	15,0	87,62
Rudna	1,86	65,23	27,54	42	14,8	89,74

GTZ<sub>Cu</sub> – Graniczna Teoretyczna Zawartość miedzi w koncentracie

w tym Rejonie cechuje się o 20÷25% niższą teoretycznie wartością możliwą do osiągnięcia w porównaniu z pozostałymi rejonami ZWR.

Podsumowując, parametr GTZ<sub>Cu</sub> jest wartością teoretyczną, charakteryzującą jakość koncentratu w funkcji zawartości Cu w siarczku oraz ilość siarczku. Z definicji

wyznacza górne granice możliwe do osiągnięcia w postaci jakości koncentratu. Parametr ten może być doskonałym wskaźnikiem procesu wzbogacania, dzięki któremu można określić zarówno najważniejsze cechy nadawy, jak i główne wskaźniki oceny procesu wzbogacania.

### PROGNOZOWANIE WPŁYWU SKŁADU LITOLOGICZNEGO NA WZBOGALNOŚĆ UROBKU

Z przeprowadzonych analiz wynika, że istnieją zależności pomiędzy zawartością poszczególnych typów litologicznych obecnych w urobku a otrzymywanymi w procesie wzbogacania podstawowymi wskaźnikami, tj. jakością i uzyskiem miedzi w koncentracie. Na tej podstawie dla urobku przerabianego w jednym z Rejonów ZWR, o parametrach podanych w tabeli 6, przy wykorzystaniu omawianych w referacie zależności, wyznaczono model doświadczalny.

Model ten na podstawie składu litologicznego nadawy ukazuje zależność uzysku od jakości koncentratu. Na figurze 4 przedstawiono krzywą wzbogacania wykreśloną dla nadawy o parametrach podanych w tabeli 6. Dodatkowo model pozwala określić wpływ zmiany składu litologicznego na otrzymywane wskaźniki wzbogacania, co również pokazano na figurze 4.

Z przebiegu krzywej  $\varepsilon = f(\beta)$  (fig. 4) wynika, że zmiana uzysku ma charakter nieliniowy, a dynamika spadku uzysku  $\varepsilon$  jest nieproporcjonalna przy wzroście parametru  $\beta$ .

Tabela 6

## Parametry nadawy kierowanej do przerobu w ZWR

The parameters of run-of-mine ore delivered to ore processing plants

	Nadawa	Piaskowiec	Dolomit	Łupek
Zawartość miedzi [%]	0,96	0,68	0,96	2,25
Udział [%]	100	75,3	8,4	16,3

Dzięki tym zależnościom funkcyjnym jest możliwe ustalenie skutków podniesienia jakości koncentratu, które powodują spadek wartości uzysku  $\varepsilon$ . Ponadto jest widoczny wpływ zmienności zawartości poszczególnych frakcji litologicznych na otrzymywane efekty technologiczne. Zawartość frakcji piaskowcowej determinuje wzbogalność urobku (fig. 4). Wzrost piaskowca powoduje obniżenie zawartości miedzi w nadawie, co nie wpływa na obniżenie wskaźnika uzysku. Z kolei zmniejszenie zawartości frakcji piaskowcowej w urobku, a tym samym wzrost frakcji łupkowej lub dolomitowej, wpływa na zwiększenie zawartości miedzi w nadawie. Pomimo wzrostu Cu w nadawie (co jest związane z większą zawartością łupka i/lub dolomitu) parametry

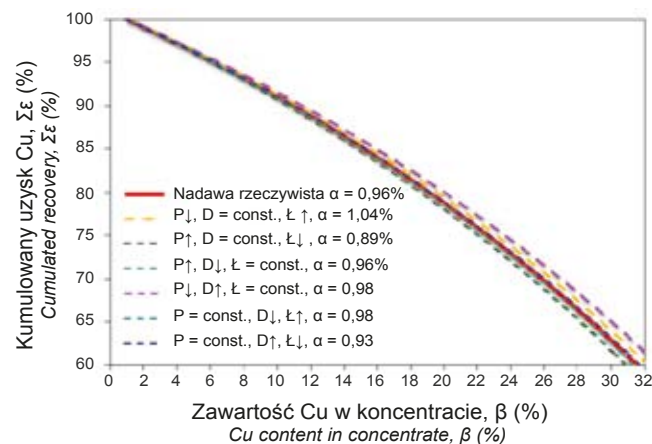


Fig. 4. Zależność uzysku od jakości koncentratu

Relationship between recovery and concentrate grade

wzbogacania nie zwiększają się. Świadczy to o tym, że na wartość osiąganych wyników technologicznych zasadniczy wpływ ma zawartość składników litologicznych i ich wzajemny stosunek ilościowy oraz zawartość miedzi w nadawie  $\alpha$ . Wyznaczona zależność funkcyjna w prosty sposób obrazuje wpływ jakości urobku na końcowe parametry

wzbogacania – uzysk i zawartość miedzi w koncentracie. W celu otrzymania dokładniejszych zależności należy przeprowadzić bardziej szczegółowe analizy w tym kierunku, które pozwolą jednoznacznie określić wpływ składu litologicznego na (w pełnym zakresie) otrzymywane parametry wzbogacania.

## PODSUMOWANIE

Zmienny charakter złoża rud miedzi sprawia, że skład litologiczny urobku, stanowiącego nadawę kierowaną do zakładów wzbogacania, ulega zmianom zarówno pod względem zawartości miedzi i pierwiastków towarzyszących, jak i właściwości fizykochemicznych. Ruda wydobywana nawet z tego samego rejonu często wykazuje niejednorodność pod względem wzbogalności, a te same frakcje litologiczne pochodzące z różnych rejonów złoża charakteryzują się odmiennym składem mineralnym. Dodatkowo pojedyncze odmiany litologiczne są zróżnicowane względem siebie, a w obrębie danej warstwy litologicznej często obserwuje się kilka różnych pododmian petrograficznych. Wszystkie te różnice mają istotny wpływ na przebieg procesów wzbogacania, którym jest poddawany urobek. Wynika to głównie z tego, że każdy ze składników posiada odrębną charakterystykę petrograficzną i wymaga odpowiedniego przygotowania do wzbogacania.

Dzięki znajomości składu litologicznego nadawy można z większą dokładnością obliczyć podstawowe parametry wzbogacania, gdyż możliwość produkcji koncentratów o określonych parametrach jest związana nie tylko z zawartością miedzi w nadawie, lecz także z rodzajem i udziałem

poszczególnych minerałów siarczkowych, wchodzących w skład nadawy o trójskładnikowej strukturze litologicznej.

Obecnie prowadzenie procesu wzbogacania w O/ZWR nie uwzględnia składu litologicznego i innych właściwości mineralogicznych urobku, a jedynie zawartość miedzi w nadawie. Produkcja koncentratów powinna być na bieżąco korelowana z szeroko rozumianą jakością nadawy na podstawie systematycznie prowadzonych analiz. Znajomość właściwości przerabianej rudy pozwoli na pełniejsze jej wykorzystanie przez właściwe prowadzenie i sterowanie procesami oraz dobór parametrów takich jak: czas mielenia, parametry klasyfikacji, rodzaj i ilość odczynników flotacyjnych, czas flotacji itp. W związku z tym, istotne znaczenie w dostosowaniu technologii do parametrów przerabianej nadawy mają informacje geologiczne. Dzięki nim możliwe jest określenie maksymalnego stopnia wzbogacania, jakie można osiągnąć w danych warunkach przemysłowych z rudy aktualnie przerabianej, cechującej się określoną podatnością na wzbogacenie. Dodatkowo systematyczne gromadzenie danych pozwoli na wypracowanie metod, które razem ze znajomością składu litologicznego, dadzą możliwość dokładniejszego prognozowania wyników w skali przemysłowej.

## LITERATURA

- FOSZCZ D., 2004 — Analiza możliwości uzyskiwania wysoko jakościowych koncentratów miedzi w KGHM Polska Miedź S.A. w różnych układach technologicznych w warunkach zmiennego składu mineralogiczno-litologicznego nadawy kierowanej do Zakładów Wzbogacania Rud. Sprawozdanie, Kraków.
- FOSZCZ D. i in., 2009 — Określenie wpływu wzbogalności przerabianych rud na jakość koncentratów miedziowych dla potrzeb optymalizacji górniczo-hutniczego procesu wytwarzania miedzi. Etap III, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, raport z badań [niepubl.].
- HARAŃCZYK C., 1972 — Mineralizacja kruszcowa dolnocechsztyńskich osadów eusynicznych monokliny przedsudeckiej. *Arch. Mineral.*, **30**, 1/2: 13–171.
- JAROSZ J., 1968 — Charakterystyka mineralogiczno-petrograficzna złoża „Lubin”. *Rudy i Metale*, **13**, 12: 625–634.
- KIJEWSKI P., JAROSZ J., 2007 — Właściwości kopaliny. *W: Monografia KGHM Polska Miedź S.A. (red. A. Piestrzyński i in.): 244–246. Wyd. II. KGHM Cuprum Sp. z o.o., Lubin.*
- KONIECZNY A., KRZEMIŃSKA M., PAWŁOS W., KSIEŹNIAK K., 2014 — Rola i znaczenie węgla organicznego w ciągu produkcyjnym realizowanym w KGHM Polska Miedź S.A. *W: Konferencja Inżynierii Mineralnej MEC2014. Istebna, 15–18 września 2014 r.: 75–80. Politechnika Śląska, Gliwice.*
- KONOPACKA Ż., ZAGOŹDŹON K.D., 2014 — Łupek miedzionośny (red. J. Drzymała, P.B. Kowalczyk): 7–12. WGGG PW, Wrocław.
- KOTOWSKI C. i in., 1975 — Wyodrębnienie głównych typów technologicznych rudy miedzi i określenie optymalnych warunków ich mielenia i klasyfikacji. AGH, NT 77, Kraków.
- ŁUSZCZKIEWICZ A., 1987 — Opracowanie podstaw flotacyjnego wydzielenia łupków bitumicznych z rudy i półproduktów wzbogacania rud miedzi. Raport Instytut Górnictwa Politechniki Wrocławskiej Nr I-11/S-211/87, Wrocław.
- ŁUSZCZKIEWICZ A., 1988 — Flotacja substancji organicznej z rud miedzi. Raport Instytut Górnictwa Politechniki Wrocławskiej Nr I-11/S-33/88, Wrocław.
- ŁUSZCZKIEWICZ A., 2000 — Wykorzystanie frakcji czarnych łupków miedzionośnych rud z rejonu lubińskiego-głogowskiego. *W: Seminarium naukowe pt. „Współczesne problemy przeróbki rud miedzi w Polsce”. Polkowice, 16 listopada 2000 r.: 137–156. Wydaw. Komitet Górnictwa PAN i KGHM Polska Miedź S.A., Linea, Lubin.*

- NOWAKOWSKA B., JANICKA E., STEC R., 1981 — Sprawozdanie nr 8/TP/81 z badań nad możliwością rozdziału produkowanych koncentratów flotacyjnych miedzi na dwa produkty o różnej jakości. Zakład doświadczalny „Cuprum”, Lubin.
- PIESTRZYŃSKI A., 1996 — Okruszcowanie. *W*: Monografia KGHM Polska Miedź S.A. (red. A. Piestrzyński i in.): 200–237. Wydaw. CBPM Cuprum, Lubin.
- TRYBALSKI K. i in., 2008 — Określenie wpływu wzbogacalności przerabianych rud na jakość koncentratów miedziowych dla potrzeb optymalizacji górnictwo-hutniczego procesu wytwarzania miedzi. Etap II, Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie [raport z badań – niepubl.].
- WÓJTOWICZ J., 1968 — Opracowanie metody flotacyjnego wydzielenia frakcji łupkowo-węglanowej z odzyskiem miedzi z tej frakcji. IMN, Gliwice.

## SUMMARY

The quality of run-of-mine ore affects significantly its further processing in concentrators plants. The content of valuable components in ore planned to be excavated should not be the only parameter considered while describing ore grade. It is because the copper content in run-of-mine ore ( $\alpha$ ) does not correspond entirely with possibilities of its recovery during mineral processing. While discussing the ore beneficiation efficiency, the crucial effects are related to the proportions of specific lithological fractions present in the feed to be processed. The mineral processing efficiency is definitely different for sandstones, dolomites and black shales. Based on bibliography and studies presented in this article, it is stated that sandstone is the most susceptible rock formation to be processed, however, it contains the lowest copper content. Dolomite has slightly worse beneficiation properties. Black shale has the worst processing properties, however, it is a lithological fraction with the highest contents copper and other valuable components, including silver. The black shale fraction is the worst susceptible for processing but the best if concerning floatability. It has been observed that selective flotations of specific lithological types do not correspond with the behaviour of these fractions presented in blended ore. Hence, a func-

tional relationship between recovery and concentrate grade was developed for one of the KGHM Polska Miedź S.A. concentrators plants, including the influence of lithological structure. It demonstrates the theoretical achievable beneficiation parameters at the specific lithological structure of feed. It certainly shows that there are limitations of ore beneficiation possibilities, including recovery and concentrate grade, coming from the conditions of ore.

The scope of this research, carried out in KGHM Polska Miedź S.A. Division of Concentrators, covers also variability of proportions between specific lithological fractions in the feed to be processed. It has been observed that changes in lithological components directly influence the presence of specific sulphide minerals in feed and, concerning different processes of efficiency observed for sandstones, dolomites and black shales, they finally affect the relationship between lithological parameters and ore beneficiation efficiency.

Taking into account the entire technological chain in KGHM Polska Miedź S.A., the conclusion is that it is reasonable to introduce current analysis of excavated orebody and perspective resources, including mineralogical and petrographic properties, aimed to plan more precisely production in KGHM Polska Miedź S.A. Division of Concentrators.