

TADEUSZ TUMIDAJSKI*, EWELINA KASIŃSKA-PILUT**, TOMASZ GAWENDA***,
ZDZISŁAW NAZIEMIEC****, RADOSŁAW PILUT**

Badania energochłonności procesu mielenia oraz podatności na rozdrabnianie składników litologicznych polskich rud miedzi

Wprowadzenie

Charakterystyka litologiczno-petrograficzna oraz właściwości fizyczne składników urobku dostarczanego do zakładów wzbogacania decydują o doborze odpowiedniej technologii zapewniającej skuteczność procesu wzbogacania.

Z powodu wymienionych zasad w dwóch oddziałach zakładów wzbogacania rud w Kombinacie Górniczo-Hutniczym miedzi wprowadzono rozdział rudy na dwa strumienie nazywane popularnie strumieniem (stroną) piaskowcowym i węglanowym. W przypadku Oddziału Polkowice jest wzbogacony tylko jeden strumień ze względu na zdecydowaną przewagę w rudzie frakcji węglanowej (tab. 1). Bardziej szczegółowo schematy wzbogacania poszczególnych strumieni zostaną przedstawione w następnym rozdziale.

Przygotowanie nadawy do flotacji to złożony układ procesów rozdrabniania i klasyfikacji z zawrotami. Podstawową operacją jest mielenie, które przebiega w młynach prętowych i kulowych lub tylko kulowych. Doprowadzenie materiału (nadawy, rudy) do uziarnienia poniżej 0,3 mm a nawet 0,1 mm jest bardzo energochłonne. Ilość energii potrzebnej do odpowiedniego rozdrobnienia jest zależna przede wszystkim od składu litologicznego rudy oraz stosowanych maszyn i reguł technologicznych (np. wielkość ziarna nadawy do młyna pierwszego mielenia).

* Prof. dr hab., *** Dr inż., Akademia Górniczo-Hutnicza w Krakowie, Wydział Górnictwa i Geoinżynierii, Katedra Przeróbki Kopalni i Ochrony Środowiska, Kraków; e-mail: tadeusz.tumidajski@agh.edu.pl

** Mgr. inż., KGHM

**** Dr inż., Instytut Szkła, Ceramiki, Materiałów Ogniotrwałych i Budowlanych, Oddział Mineralnych Materiałów Budowlanych w Krakowie

TABELA 1

Średni skład litologiczny urobku dostarczanego do O/ZWR

TABLE 1

Mean lithologic composition of output delivered to O/ZWR

Rejon		Piaskowiec	Węglany	Łupek
Lubin	I ciąg	39,30	52,90	7,80
	II ciąg	72,00	22,00	6,00
Rudna	Str.A	70,90	21,50	7,60
	Str.B	42,90	44,70	12,40
Polkowice		13,50	72,60	13,90

Układ tych czynników decyduje także o składzie ziarnowym nadawy do flotacji oraz stopniu uwolnienia minerałów miedzi, czyli podatności rudy na wzbogacanie flotacyjne.

Wydaje się sensownym przeprowadzenie badań układów przygotowania rud miedzi do wzbogacania, które w sposób kompleksowy połączyłyby ocenę wpływu ich charakterystyk fizykomechanicznych, zmiennych udziałów występujących w nich typów litologicznych oraz warunków pracy młynów z uzyskiwanymi efektami rozdrabniania. Fragmentaryczne takie wyniki istnieją, ale brak ich jednolitego opracowania i gromadzenia.

W prezentowanym artykule zostaną przedstawione wstępne badania dotyczące indeksów Bonda dla wybranych typów litologicznych rud miedzi z różnych rejonów eksploatacyjnych, traktując je jako wstęp do szerzej zakrojonych badań. Zostanie także przedstawiony projekt dalszych kompleksowych badań, których zakres został zarysowany powyżej.

1. Analiza układów wzbogacania polskich rud miedzi

W zakładach wzbogacania rud miedzi występuje praktycznie pięć typów układów technologicznych, które formalnie pracują na różnych mieszankach podstawowych typów litologicznych (tab. 1). Są to dwa układy w O/ZWR Rejon Lubin i Rejon Rudna oraz jeden układ w O/ZWR Rejon Polkowice.

1.1. Analiza układów wzbogacania frakcji piaskowcowo-węglanowych

W O/ZWR Rejon Lubin i Rudna stosuje się technologię wzbogacania rud miedzi uwzględniającą różnicę we właściwościach poszczególnych typów litologicznych. Wymienione zakłady wzbogacania posiadają odrębne układy technologiczne, jedno dostosowane do wzbogacania urobku o zwiększonej zawartości frakcji piaskowcowej i drugie dostosowane do wzbogacania urobku o podwyższonej zawartości węglanów.

Przesiewanie urobku dostarczanego z zakładów górniczych pozwala na wstępny rozdział rudy pod względem litologicznym. Frakcja piaskowcowa charakteryzująca się małą zwięzłością ulega znacznemu rozdrobieniu w procesie urabiania i transportu w zakładach górniczych, co powoduje iż stanowi ona w większości produkt dolny przesiewacza. Natomiast bardziej zwięzłe węglany stanowią produkt górny, który kierowany jest do kruszenia w kruszarkach młotkowych.

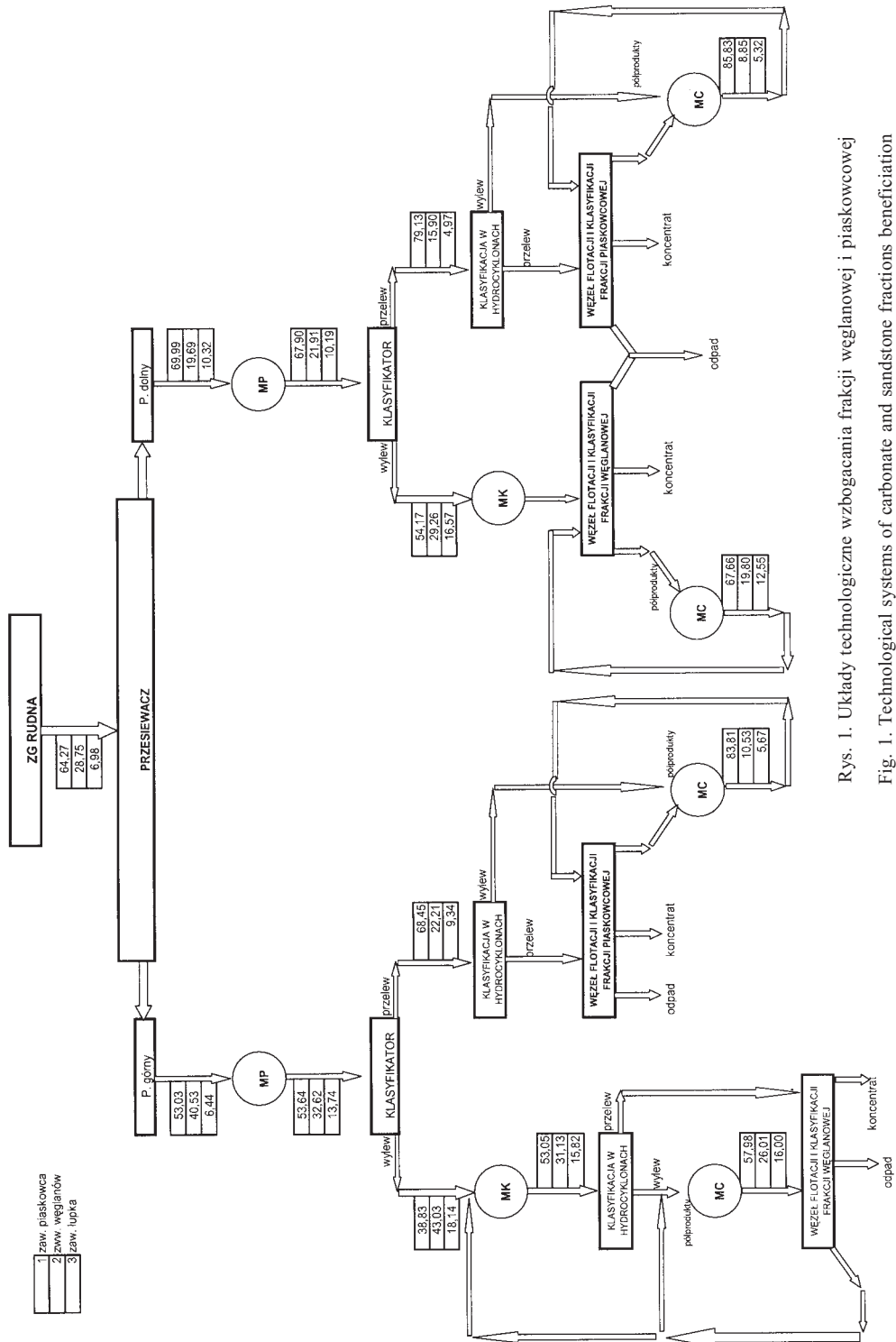
Skuteczność wydzielenia frakcji piaskowcowej na przesiewaczu jest stosunkowo niska i uzależniona od wielkości strumienia nadawy kierowanej na przesiewacz, zawartości substancji ilastych oraz wilgotności. Rozdzielony urobek zostaje skierowany do dalszej przeróbki na ciągi, charakteryzujące się odmiennymi układami technologicznymi.

Kolejny rozdział materiału na frakcje piaskowcową i węglanową realizowany jest w układach młyn prętowy – klasyfikator. Jest on wynikiem zarówno zróżnicowanej podatności na mielenie poszczególnych frakcji jak i zastosowanych układów klasyfikacji. Materiał z młynów prętowych poddawany jest rozdziałowi w klasyfikatorach spiralnych. Większość drobnouziarnionej frakcji piaskowcowej przechodzi do przelewu klasyfikatora, natomiast bardziej odporna na mielenie frakcja węglanowa stanowi dużą część jego wylewu, który stanowi nadawę do młynów drugiego mielenia.

Mielenie w młynach kulowych wpływa na uwolnienie drobnych wprysnięć minerałów użytecznych ze skały płonnej co decyduje o prawidłowym przebiegu procesu wzbogacania, jednakże wpływa również na przemienienie dużych wolnych ziaren siarczków i powstanie ziaren drobnych, trudno flotujących. W celu ograniczenia tego zjawiska zastosowano flotację w obiegu mielenia, która wpływa na wzrost efektywności procesu wzbogacania, zubożając zawroty w układzie (rys. 1).

Odrębny układ wzbogacania rud piaskowcowych i węglanowych umożliwia zastosowanie obiegów flotacyjnych dostosowanych do składu litologicznego nadaw. Przygotowanie nadawy do flotacji ze względu na charakterystykę pracujących urządzeń klasyfikujących powoduje występowanie – między innymi – trudno wzbogacalnych zrostów skały płonnej z minerałami użytecznymi. Wydzielane są one jako półprodukty układów flotacyjnych, wymagające dodatkowego głębszego mielenia w celu uwolnienia minerałów siarczkowych. Półprodukty obiegów piaskowcowych różnią się pod względem budowy od półproduktów flotacji węglanów. Proces domielenia pełni dla każdego z nich w pewnym stopniu odmienną funkcję. Półprodukty ze wzbogacania frakcji piaskowcowej wymagają głównie oczyszczenia powierzchni minerałów miedzionośnych z pozostałości lepiszcza i form utlenionych. Półprodukty flotacji węglanów wymagają w dużym stopniu rozbicia ziaren zawierających przerosty siarczkowe. Charakterystyka wylewów młynów domielających wpływa na różnicę w zachowaniu się obu frakcji w poszczególnych procesach flotacji.

Układ wzbogacania frakcji węglanowej wymaga dłuższego czasu flotacji i innego reżimu parametrów technologicznych niż blok piasków. Podwyższona zawartość łupka i charakter wprysnięć we frakcji węglanowej powoduje konieczność prowadzenia flotacji czyszczącej trójstopniowej, podczas gdy czyszczenie koncentratów z obiegu piasków odbywa się w układzie dwustadialnym.



Rys. 1. Układy technologiczne wzbogacania frakcji węglanowej i piaskowcowej
 Fig. 1. Technological systems of carbonate and sandstone fractions beneficiation

Zastosowanie odrębnych układów technologicznych do wzbogacania rozdzielonych frakcji litologicznych pozwala na zwiększenie uzyskiwanych wskaźników wzbogacania. Ze względu na zmienny skład urobku dostarczanego z kopalni powodowany techniką wydobycia wprowadza szereg trudności w prowadzeniu procesu.

W zależności od ilości poszczególnych składników urobku zmienia się przepływ masy i objętościowy w poszczególnych węzłach, co powoduje dodatkowe trudności technologiczne.

1.2. Analiza układu wspólnego wzbogacania frakcji litologicznych

W O/ZWR Rejon Polkowice z uwagi na niewielki udział w urobku frakcji piaskowcowej nie uzyskuje się istotnego rozdziału na odmienne typy litologiczne i dlatego nie zastosowano odmiennego schematu wzbogacania.

W młynach pierwszego mielenia jako mielników użyto kule $\phi 120$ mm, które działają na zwięźle węglany w dużej mierze poprzez udar. Cechą charakterystyczną przyjętej technologii jest dwustadialność mielenia z węzłem klasyfikacji. Przelewy klasyfikatorów kierowane są do hydrocyklonów $\phi 500$ mm, których przelewy stanowią nadawę do flotacji wstępnej. Wylewy urządzeń klasyfikujących trafiają do młynów drugiego mielenia, w celu ponownego zmielenia.

Stosunkowo niska skuteczność rozdziału w klasyfikatorach spiralnych i stosowanych hydrocyklonów wpływa na zwiększenie zawrotów i przeciążenie młynów drugiego mielenia. Spora ilość ziaren gotowych do procesu flotacji poddawana jest przemieleniu, natomiast ziarna niedomielone wydostają się z układu mielenia i wpływają na zaburzenia procesu wzbogacania. Z tego powodu po pierwszym stopniu flotacji (flotacja wstępna) następuje klasyfikacja jej odpadu w hydrocyklonach $\phi 350$ mm. Wylewy po klasyfikacji zostają domielone w młynach cylpepsowych i stanowią zawrót do flotacji wstępnej. Przelewy hydrocyklonów stanowią nadawę do flotacji głównej, której odpad jest odpadem końcowym.

Koncentraty flotacji głównej pomimo stosunkowo dużej zawartości frakcji węglanowej poddawany jest dwustadialnemu procesowi czyszczenia.

Wszystkie ciągi O/ZWR Polkowice pracują w układach analogicznych, jedyną różnicą jest realizacja pierwszego i drugiego etapu mielenia w młynie typu 41.03 pracującym w układzie zamkniętym z klasyfikatorem w III ciągu technologicznym.

2. Energochłonność mielenia – indeksy pracy Bonda polskich rud miedzi

Energochłonność procesów mielenia opisują energetyczne teorie rozdrabniania, które polegają na powiązaniu stopnia rozdrabniania materiału uziarnionego ze zużytej energią. Wszystkie istniejące energetyczne teorie rozdrabniania są hipotezami, które posiadają

bardzo ogólne uzasadnienia, a ich zgodność z rzeczywistością potwierdza się wyłącznie doświadczalnie. Zasadniczymi teoriami są teorie: Rittingera, Kicka oraz Bonda (a także teorie Bracha i Papadakisa) (Rittinger 1867; Kick, 1885; Bond 1952, Holmes 1957; Hukki 1962; Lowrison 1974). Najlepiej rozbudowaną i wykorzystywaną jest teoria Bonda, dzięki opracowanym przez niego wskaźnikom (indeksom) pracy.

Indeks pracy Bonda W_i wyznaczany jest w standardowym młynku kulowym. Młynek ten ma wymiary wewnętrzne: 12×12 cali (długość i średnica) czyli 305×305 mm. Wypełniony jest 285 kulami (mielnikami) o łącznej masie 20,125 kg. Kule mają średnice między 0,6 cala (15,2 mm) a 1,5 cala (38,1 mm), przy czym 120 z nich musi mieć wymiar powyżej 1 cala. Liczba obrotów młynka jest ustalona i wynosi 70 obrotów na minutę. Wyjściową próbkę materiału badanego stanowi 700 cm^3 materiału o uziarnieniu poniżej 3,35 mm. Po załadowaniu materiału młynek wykonuje 100 obrotów, a po zatrzymaniu materiał rozdrobniony jest przesiewany na sicie kontrolnym (wybrany sicie seryjnym). Do produktu nadsitowego dodaje się świeżą nadawę, aby znów uzyskać 700 cm^3 .

Mieszanina ta jest kierowana do młynka, który wykonuje tyle obrotów, aby uzyskać zawrót 250%, tzn. aby zawierał 28,6% klasy przechodzącej przez sito kontrolne (np. o oczkach $100 \mu\text{m}$). Powtarzanie prób jest kontynuowane do momentu, gdy masa netto produktu kontrolnego (podsitowego) liczona na jeden obrót pozostaje stała; oznaczamy ją przez G . Nazwijmy tę wielkość podatnością na rozdrabnianie.

Jeżeli F jest wielkością oczka sita przez które przechodzi 80% nadawy (wsadu do młynka), a P jest wielkością sita kontrolnego, to indeks pracy Bonda określa wzór:

$$W_i = 1,1 \frac{44,5}{P^{0,23} G^{0,82} \left[\frac{10}{P^{0,5}} - \frac{10}{F^{0,5}} \right]} \text{ [kWh/t]} \quad (1)$$

Dla rozdrabniania (mielenia) suchego indeks pracy Bonda uzyskuje się mnożąc W_i przez 1,3.

Do badania przygotowywano jednorazowo 3–4 kg materiału, o granulacji poniżej 3,35 mm. Następną czynnością było oznaczenie w nadawie frakcji poniżej $100 \mu\text{m}$. Dla uzyskania wymaganej dokładności, oznaczenie to wykonywano nie na cząstkowej próbce pobieranej z przygotowanej do badań masy (700 cm^3), lecz na całej próbce. Dla skrócenia czasu oznaczania pozostałości na sicie $100 \mu\text{m}$, a przede wszystkim dla ochrony tego sita przed zniszczeniem (w czasie jednej próby oznaczania podatności na mielenie należy wykonać kilka przesiewów całego wsadu młynka) zastosowano wstępne odsiewanie grubszych frakcji na sitach 2000, 1000 i $500 \mu\text{m}$.

Metoda Bonda zakłada przemiał w pozorowanym cyklu zamkniętym, przy czym rolę separatora spełnia sito kontrolne ($100 \mu\text{m}$). Krotność obiegu wynosi 250%. Oznacza to, że do młynka należy zwracać 2,5 g nadawy na 1 g produktu. Następnie oblicza się masę materiału w gramach dla frakcji poniżej $100 \mu\text{m}$, którą należy uzyskać w wyniku próby: powinna ona wynosić 28,5 % (waga 700 cm^3 wsadu do młynka dzielona przez 3,5 – 1 g produktu plus 2,5 g

nadziarna) w stosunku do masy nadawy do młynka. Tak obliczona ilość materiału (poniżej 100 μm) wyrażona w gramach jest wielkością, którą powinno się uzyskać; stanowi ona właśnie 28,5% masy nadawy. Po każdym cyklu przemiału oznacza się współczynnik podatności na mielenie G ze wzoru

$$G = \frac{A}{n_1} \quad (2)$$

gdzie:

- G – współczynnik podatności na mielenie [g/obr.],
- A – ilość frakcji poniżej 100 μm uzyskana w pierwszym cyklu mielenia [g],
- n_1 – liczba obrotów wykonanych przez młynek w pierwszym cyklu przemiału.

Następnie uzupełnia się wsad młynka pierwotną nadawą w ilości równej A . Kolejno oblicza się liczbę obrotów młynka dla następnego cyklu przemiału według wzoru

$$n_2 = \frac{D-K}{G} \quad (3)$$

gdzie:

- n_2 – liczba obrotów młynka,
- D – ilość materiału, którą ma się uzyskać (28,5% nadawy) [g],
- K – ilość frakcji poniżej 100 μm , która zostaje wprowadzona do młynka (w ilości A) z pierwotną nadawą [g].

Próbę mielności prowadzi się według wyżej podanego schematu, aż do momentu uzyskania zbliżonych wartości G . Ta końcowa wartość współczynnika mielności stanowi podstawę do obliczenia indeksu pracy W_i i oblicza się go z empirycznego wzoru

$$W_i = \left(\frac{16}{G^{0,82}} \right) \cdot \sqrt{\frac{\sqrt{P_0}}{100}} \quad (4)$$

gdzie:

- W_i – indeks pracy Bonda [kWh/t],
- G – współczynnik mielności [g/obr],
- P_0 – wielkość otworów sita kontrolnego [μm].

Wzór podaje zużycie energii na tak zwaną „krótką tonę” („krótka tona” = 907 kg); dla przeliczenia na tonę metryczną należy wartość W_i pomnożyć przez 1,1. Wskaźnik pracy W_i pozwala na proste obliczenie zapotrzebowania mocy dla młyna kulowo-bęnowego przy określonych wymiarach ziarn nadawy i końcowego produktu opierając się na wzorze (5) (Kasińska-Pilut 2008)

$$E = W_i = \left(\frac{10}{\sqrt{P}} - \frac{10}{\sqrt{F}} \right) \quad (5)$$

gdzie:

E – energia potrzebna do przejścia z nadawy ($P = d_{80}$) do produktu ($F = d_{80}$) wyrażona w [kWh/Mg].

3. Wstępna analiza zmienności indeksów pracy Bonda dla polskich rud miedzi

Próby pozwalające określić indeksy pracy Bonda dla czystych typów litologicznych polskich rud miedzi oraz ich mieszanek przeprowadzono po raz pierwszy w 2004 roku porównawczo w Instytucie Szkła Ceramiki Materiałów Ogniotrwałych i Budowlanych, Oddział Mineralnych Materiałów Budowlanych w Krakowie oraz w Katedrze Przeróbki Kopalni i Ochrony Środowiska Akademii Górniczo-Hutniczej. Celem tych badań było sprawdzenie dokładności metody i wyeliminowanie ewentualnych błędów systematycznych. Materiał był pobrany z urobku w O/ZWR Rejon Rudna (Praca zbiorowa AGH, 2004). Analogiczne badania przeprowadzono także w AGH w 2008 roku dla prób pobranych z urobku w O/ZWR Rejon Lubin końcem czerwca 2008 roku. Wyniki tych badań zamieszczono w tabelach 2 i 3.

Analiza danych geologicznych O/ZWR Rejon Lubin z lat 2002 do 2006 wykazała, że udziały frakcji litologicznych zmieniały się w granicach: dolomit 10–24,7%, łupek 12,3–18,4%, piaskowiec 61,2–76,1%. W zakresie danych miesięcznych różnice te były nieznacznie większe. Z tego powodu, a także z powodu niewielkiej masy próby wyjściowej wykonano próby dla trzech mieszanek typów litologicznych o udziałach podanych w tabeli 2.

Porównując wyniki należy stwierdzić, że te uzyskane w obu pracowniach są zbliżone do siebie, co dowodzi powtarzalności metody. Wyniki uzyskane dla różnych obszarów

TABELA 2

Zbiorcze zestawienie wyników uzyskanych dla czystych typów litologicznych

TABLE 2

Joined juxtaposition of results given for pure lithologic types

Typ litologiczny rudy miedzi	IMMB	AGH
	Indeksy pracy W_i , [kWh/t]	
Piaskowiec*	16,9	16,9
Dolomit*	10,7	9,5
Łupek*	15,9	14,8
Piaskowiec	–	9,32
Dolomit	–	8,30

* Wyniki sprzed 5 lat.

TABELA 3

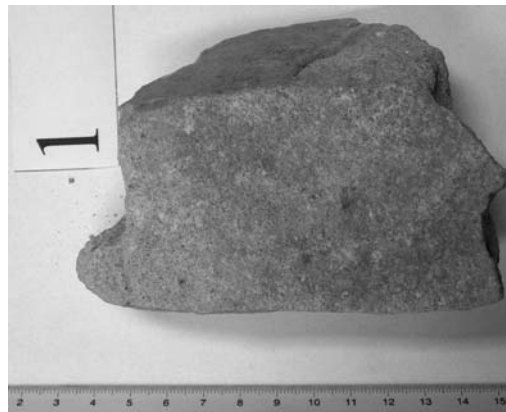
Zbiorcze zestawienie wyników uzyskanych z mielenia różnych mieszanek rud

TABLE 3

Joined juxtaposition of results given by various ores mixtures grinding

Nr mieszanki	Udział procentowy mieszanki			Indeks pracy W_i [kWh/t]
	piaskowiec	dolomit	łupek	
1*	70	25	5	15,2
2	75	15	10	12,2
3	65	20	15	10,8
4	55	25	20	10,96

* Wynik sprzed 5 lat.



Rys. 2. Piaskowiec zwięzły

Fig. 2. Consistent sandstone



Rys. 3. Piaskowiec słabo zwięzły z wyraźnymi śladami utlenienia siarczków miedzi

Fig. 3. Low consistent sandstone with significant traces of copper sulfides oxidation

eksploatacyjnych różnią się między sobą. Jest to spowodowane różną strukturą (teksturą) rud występujących w tych obszarach (rys. 2 i 3). Dane literaturowe podają bardzo szerokie zakresy zmienności indeksów pracy Bonda dla skał.

4. Uwagi końcowe

Określenie indeksów pracy Bonda jest bardzo praktycznym i efektywnym sposobem charakteryzowania właściwości fizykomechanicznych rud, dzięki któremu można skalkulować ilość energii potrzebnej do zmielenia nadawy w młynie kulowym (prętowym) do wymaganego uziarnienia. Posiadanie takich danych może być podstawą uzasadnienia stosowania reżimów poszczególnych operacji oraz przeliczania bilansów technologicznych mających na celu wyznaczenie wielkości zawrotów (Kasińska-Pilut 2008).

Biorąc pod uwagę właściwości nadawy w przebiegu procesu mielenia – decydującego o przygotowaniu nadawy do flotacji – zasadniczy wpływ na jego przebieg mają jej składy – litologiczny i ziarnowy. Jak już zauważono we wstępie, w realiach KGHM występuje szeroki zakres zmian składów litologicznych surowca kierowanego do mielenia. Należy oczekiwać, że wyniki mielenia w poszczególnych ciągach różnią się między sobą, co powoduje dalsze konsekwencje w przebiegu następnych procesów oraz wyników wzbogacania. Wprowadzona zmiana wielkości ziarn (zmniejszenia) nadawy do młyna dała także zauważalne rezultaty; teoretyczną ocenę podano w pracy (Kasińska-Pilut 2008).

Praca młyna kulowego zależy od dużej liczby zmiennych, których wpływ na wyniki jest zróżnicowany. Wielkością bezpośrednio związaną z zapotrzebowaniem energetycznym na zmielenie materiału do pożądanego uziarnienia jest czas mielenia decydujący także o wydajności procesu mielenia. Tak rozumiany czas mielenia determinowany jest także przez uziarnienie nadawy. Pozostałymi wielkościami decydującymi o przebiegu mielenia są gęstość nadawy (lub stosunek ruda – woda przy mieleniu na mokro), dodatek mielników i ich rodzaj i – bardzo istotna – częstość obrotów młyna, która określa (determinuje) trajektorię ruchu mielników (rodzaj działania kruszącego). W naszych rozważaniach możemy pominąć mniej znaczące wielkości charakteryzujące konstrukcje młyna (np. wykładziny).

Wpływ całego zespołu czynników – skład ziarnowy nadawy (wychód klasy najgrubszej), skład litologiczny (udział frakcji piaskowcowej i proporcjonalnie dostosowane udziały frakcji węglanowej i łupków), gęstość nadawy w młynie, prędkość obrotowa młyna oraz ilość mielników – na wyniki mielenia, mierzone wychodem wybranej klasy można ocenić laboratoryjnie w eksperymencie czynnikowym ²⁵.

Możliwe jest zhierarchizowanie wpływu czynników (skład litologiczny rudy, uziarnienie nadawy, parametry pracy młyna) na efekty mielenia, określenie rodzaju i siły ich współdziałań i dzięki temu stworzyć podstawy metodyczne badań przemysłowych układów przygotowania nadawy do procesów wzbogacania.

LITERATURA

- Bond F.C., 1952 – Trans. AIME, 193.
 Holmes J.A., 1957 – Trans. Instn Chem. Eng. 35.
 Hukki R.T., 1962 – Trans. AIME, 223.
 Kasińska-Pilut E., 2008 – Wybrane problemy pracy układów przygotowania rudy do flotacji w Zakładach Wzbogacania Rud KGHM Polska Miedź S.A. Wyd. Politechniki Śląskiej Górnictwo i Geologia, kwartalnik t. 3, z. 3, Gliwice.
 Kick F., 1885 – Das Gesetz der proportionalen Widerstand und seine Anwendung. Felix, Leipzig.
 Lowrison G.Ch., 1974 – Crushing and Grinding. Butterworths, London.
 Monografia KGHM Polska Miedź S.A. Wyd. CUPRUM, Lubin 1996.
 Praca zbiorowa AGH – Określenie możliwości techniczno-technologicznych obniżenia energochłonności procesu mielenia, określenie podatności na rozdrabnianie składników litologicznych przerabianego urobku – Etap I. AGH 2004.
 Rittinger P.R., 1867 – Lehrbuch der Aufbereitungs Kunde. Ernst and Korn, Berlin.

**BADANIA ENERGOCHŁONNOŚCI PROCESU MIELENIA ORAZ PODATNOŚCI NA ROZDRABNIANIE
SKŁADNIKÓW LITOLOGICZNYCH POLSKICH RUD MIEDZI**

Słowa kluczowe

Energochłonność procesu rozdrabniania, typy litologiczne polskich rud miedzi, indeks pracy Bonda

Streszczenie

Polskie rudy miedzi są mieszaniną trzech typów litologicznych: piaskowców, łupków i węglanów. Każdy z tych typów charakteryzuje się innymi wartościami właściwości fizykomechanicznych, co wpływa na ilość energii potrzebnej na ich rozdrobnienie. Dalszą konsekwencją tego faktu jest inny przebieg rozdrabniania rudy mającej różne udziały typów oraz konieczność stosowania innego układu operacji wzbogacania przy różnych przepływach materiału w strumieniach. Przykładowe rozwiązania linii technologicznych wzbogacających różne, pod względem składu litologicznego, mieszanki (tab. 1) przedstawiono na rysunku 1. Ocenę zapotrzebowania na energię potrzebną do zmielenia nadawy przeprowadzono metodą wyznaczania indeksów pracy Bonda. Wyniki analiz przedstawiono w tabelach 2 i 3. Wykazują one różnice wskaźników w zależności od lokalizacji próbki w złożu (także czasu pobrania). Badania te będą kontynuowane. Omówiono także wstępnie program dalszych badań pozwalających lepiej charakteryzować pracę układu przygotowania nadawy do wzbogacania.

**INVESTIGATION OF GRINDING PROCESS ENERGY CONSUMPTION AND GRINDABILITY
OF LITHOLOGIC COMPONENTS OF POLISH COPPER ORES**

Key words

Energy consumption of comminution process, lithologic types of polish copper ores, Bond work index

Abstract

Polish copper ores are the mixtures of three lithologic types: sandstones, shales and carbonates. Each of them features by different values of physico-mechanical characteristics, what influences on amounts of energy required to their comminution. The further consequence of this fact is other course of comminution process of the ore having various lithologic types contents and necessity of application of the other beneficiation operations system by

various material streams flows. The examples of solutions for technological systems beneficiating various mixtures taking into account lithologic composition were presented in table 1 and on fig. 1. The evaluation of energy demand needed to feed grinding process was conducted by the method of Bond work indexes. The results of analyzes were shown in tables 2 and 3. They show the differences between factors in dependence on sample location in the deposit (also time of sampling). Furthermore, the program of further investigation was initially discussed, allowing to better characterize work of the system of feed preparation to beneficiation process. The research will be continued.